

TEMPERATUR SISTEM *RESIDENTIAL AIR CONDITIONING* HIBRIDA PADA PROSES CHARGING DAN DISCHARGING DENGAN *THERMAL ENERGY STORAGE*

Azridjal Aziz¹, Herisiswanto¹, Eko Prasetyo¹, Rahmat Iman Mainil¹

¹) Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
azridjal@yahoo.com

ABSTRACT

The use of thermal energy storage (TES) in the hybrids residential air conditioning (RAC) can provide energy saving of electricity consumption for air conditioning and water heater. The condenser side is cooled with water at TES as a water heater (Hot TES/HTES) and the absorption of heat in the evaporator is carried out by brine (a liquid with a freezing point below the freezing point of water 0°C) are still in liquid phase at TES temperature as a coolant brine (Cold TES/CTES). In this research, the process of charging mode and the discharging mode were done on two conditions. In the condition 1 of charging mode, the charging process is done for 220 minutes to cool the brine in the ice storage, ice storage obtained the lowest temperature -1.4°C, while in condition 2 of charging mode for 240 minutes, ice storage obtained the lowest temperature of -2.4°C. The average of hot water temperature is 57.82° C with temperature of drying chamber is 45.56°C for condition 1 of charging mode, while for condition 2 of charging mode, the average of hot water temperature is 46.43°C with temperature of the drying chamber is 42.29°C. Discharging mode on condition 2 provide cooling process for 270 minutes, while discharging mode on condition 1 provide cooling process only for 120 minutes.

Keywords: thermal energy storage, air conditioning, brine, charging, air cooled

INTISARI

Penggunaan *thermal energy storage* (TES) pada *residential air Conditioning* (RAC) hibrida dapat menghasilkan penghematan pemakaian listrik untuk keperluan penyejuk udara ruangan dan pemanas air. Sisi kondensor didinginkan dengan air pada TES sebagai pemanas air (Hot TES/HTES) dan penyerapan kalor di evaporator dilakukan oleh *brine* (cairan dengan titik beku dibawah titik beku air 0 °C) yang masih bewujud cair pada temperatur TES sebagai pendingin *brine* CTES (Cold TES). Pada penelitian ini dilakukan proses *Charging mode* dan *Discharging mode* pada dua kondisi. Pada *charging mode* kondisi 1, proses *charging* dilakukan selama 220 menit untuk mendinginkan *brine* di *ice storage*, diperoleh temperatur *ice storage* terendah -1,4 °C, sedangkan pada *charging mode* kondisi 2 selama 240 menit diperoleh temperatur *ice storage* terendah -2,4 °C. Temperatur air panas rata-rata diperoleh 57,82 °C dengan temperatur ruang pengering 45,56 °C untuk *charging mode* kondisi 1, sedangkan untuk *charging mode* kondisi 2 temperatur air panas rata-rata diperoleh 46,43 °C dengan temperatur ruang pengering 42,29 °C. *Discharging mode* pada kondisi 2 memberikan proses pendinginan selama 270 menit, sedangkan *discharging mode* pada kondisi 1 hanya memberikan pendinginan selama 120 menit.

Kata kunci: *thermal energy storage, air conditioning, brine, charging, air cooled*

PENDAHULUAN

Siklus kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam siklus refrigerasi/siklus pendingin (Stoecker, 1994). 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 merusakkan lapisan ozon dapat menimbulkan kanker kulit (Stoecker, 1994).

Salah satu usaha dalam meningkatkan efisiensi pemakaian energi adalah dengan memanfaatkan kembali (*recovery*) energi yang selama ini dibiarkan terbuang pada suatu mesin konversi energi. Alasan paling umum digunakan dalam usaha memodifikasi mesin refrigerasi adalah menghasilkan mesin refrigerasi yang hemat energi. (Rahman dkk, 2007).

Air Conditioning (AC) adalah suatu mesin refrigerasi sebagai sistem pengkondisi udara yang digunakan dengan tujuan untuk

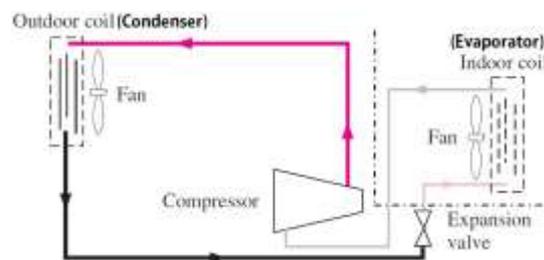
memberikan rasa nyaman bagi penghuni yang berada dalam suatu ruangan/gedung. Jadi AC tidak hanya berfungsi memberikan efek dingin tetapi yang lebih penting adalah memberikan rasa kenyamanan (*comfort air conditioning*) yaitu suatu proses perlakuan termodinamik terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya. (Stoecker, 1994).

Perkembangan pemakaian sistem pengkondisian udara sudah sangat pesat, hal ini dapat dilihat bahwa hampir semua gedung bertingkat, pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, perumahan (*residential*) menggunakan fasilitas ini. Peningkatan penggunaan *Residential Air Conditioning* saat ini meningkat dengan tajam seiring makin membaiknya daya beli masyarakat golongan menengah ke atas dan pengaruh perubahan iklim akibat pemanasan global. Fasilitas ini dirancang untuk memenuhi salah satu faktor yang dapat membantu membuat rasa nyaman bagi penghuni dalam melakukan berbagai aktivitas.

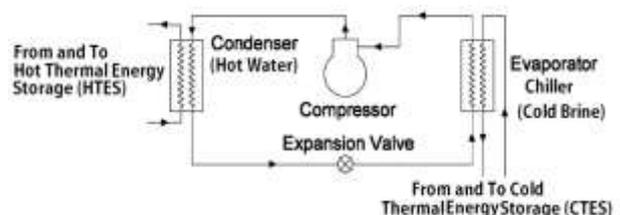
Mesin refrigerasi yang berfungsi sebagai *Residential Air Conditioning* digunakan untuk mengkondisikan berbagai ruangan pada bangunan rumah seperti ruang kerja, ruang tidur, ruang tamu maupun ruang keluarga sehingga diperoleh rasa sejuk dan nyaman. Rasa sejuk dan nyaman diperoleh sebagai efek pendinginan dari evaporator yang dilengkapi dengan filter udara dan ionizer, sehingga kualitas kenyamanan dan kebersihan udara ruangan dapat terjaga dengan baik. 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. Demikian juga pada mesin pompa panas, sejumlah energi dibutuhkan untuk menghasilkan efek pemanasan dengan cara menyerap panas dari lingkungan. Panas yang diserap dari lingkungan sebetulnya dapat dimanfaatkan untuk mendinginkan sesuatu, tapi biasanya cenderung dibiarkan terbuang (Ji dkk 2003, 2005).

Tinjauan Pustaka

Residential Air Conditioning (RAC) didisain untuk memindahkan kalor dari dalam ruangan (*indoor*) dan membuangnya ke bagian luar ruangan atau ke lingkungan (*outdoor*). Pembuangan kalor terjadi secara langsung ke lingkungan baik menggunakan udara atau air pendingin (*air and water cooled*). Sistem RAC yang umumnya digunakan adalah RAC dengan pendinginan udara baik pada sisi kondensor maupun evaporator seperti tampak pada Gambar 1. Sedangkan RAC hibrida dengan *Thermal Energi Storage* (TES) pendingin pada sisi kondensor dan evaporator dilakukan dengan cairan berupa air pada kondensor dan cairan *brine* pada evaporator seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 1. Sistem RAC yang umum digunakan dengan pendinginan udara (diadaptasi dari Cengel, 2006)



Gambar 2. Sistem RAC Hibrida yang akan diteliti dengan pendinginan cairan (air atau cairan *brine*) (diadaptasi dari Garimella, 2003)

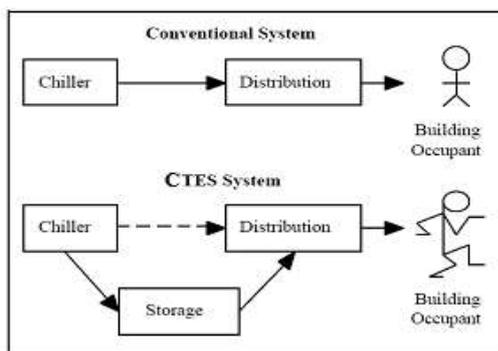
Tujuan utama penggunaan *Cold Thermal Energy Storage* (CTES) adalah untuk mengurangi penggunaan energi pada kondisi beban puncak. CTES adalah teknologi penyimpanan energi dingin dalam suatu media penyimpan kalor (*thermal storage*). "Gambar (3)" menunjukkan penyimpan energi sistem pengkondisian udara 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.

Pada sistem konvensional, *chiller* digunakan hanya saat bangunan membutuhkan udara dingin. Pada sistem CTES, *chiller* dapat digunakan sewaktu-waktu ketika udara dingin dibutuhkan untuk melayani gedung (Pete, 1996).

Ada beberapa jenis teknologi *cool storage* (CS) atau penyimpanan dingin didasarkan beberapa kombinasi media penyimpan (*storage*), strategi *charging* dan *discharging* pada periode basis waktu dan prioritas layanan. Media utama sebagai CS adalah air, es, atau campuran air garam. Untuk penggunaan skala kecil biasanya sistem CS yang dipilih adalah sistem *ice storage* (IS). Sistem IS dapat dikelompokkan menjadi *ice harvesting*, *ice on coil* (*internal melt* atau *external melt*), *ice slurry* dan *encapsulated/packed ice* (ASHRAE, 1993).

Pada penggunaan strategi *charging* dan *discharging*, CTES secara bebas dapat didisain untuk melayani pola *full storage* (penyimpanan penuh) atau *partial storage* (penyimpanan sebagian), opsi terakhir ini dapat digunakan untuk pilihan berdasarkan tingkat beban pendinginan atau tingkat berdasarkan kebutuhan. Pada dasarnya dengan tingkat beban pendinginan tertentu, sistem strategi berdasarkan prioritas dapat digunakan baik untuk prioritas sistem *chiller* atau prioritas sistem *storage*.



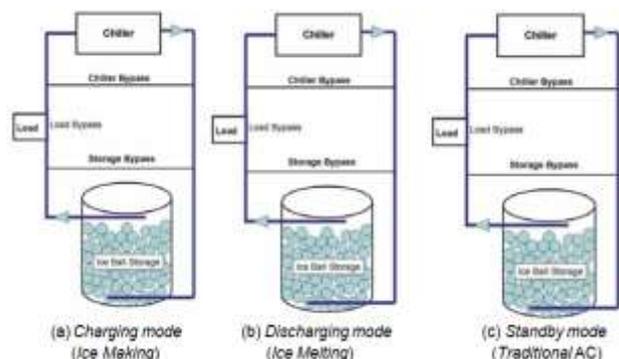
Gambar 3. Perbandingan RAC sistem *conventional chiller* dengan CTES (Pete, 1996)

Pada penelitian ini sistem yang dipilih adalah sistem *ice storage* (IS) pada CTES. Penggunaan sistem IS memberikan dua keuntungan dibanding menggunakan sistem *chilled water storage*. Pertama, lebih

banyak energi yang dapat disimpan pada volume penyimpanannya. Panas yang dibutuhkan untuk mencairkan es adalah 144 BTU/pound, sedangkan air dapat menyerap kalor kurang dari 20 BTU/pound pada penerapan penyimpanan dingin. Sehingga sistem *ice storage* membutuhkan hanya 1/5 dari volume yang dibutuhkan pada sistem *chilled water*. Kedua, pada sistem *ice storage* es selalu mencair pada temperatur tetap selama proses perubahan fasanya menjadi air, sehingga menjaga suplai air dingin relatif konstan selama perubahan fasa es. Kekurangan sistem *ice storage* adalah karena penggunaan efisiensi penggunaan energinya rendah. Evaporator harus beroperasi pada temperatur yang lebih rendah dari sistem *chilled water*, sehingga COP akan turun sekitar 20%-40%, namun kekurangan ini dapat dikompensasi karena proses pembuatan tidak dilakukan pada beban puncak.

Sistem operasi CTES yang akan digunakan adalah sistem *ice storage* seperti tampak di Gambar 4., menggunakan tiga mode yaitu (Off Peak Cooling, 2007):

- Charging Mode (Ice Making)* yaitu mode pembuatan es dengan mengalirkan cairan *brine* pada temperatur -5°C sampai -3°C ke CTES.
- Discharging Mode (Ice Melting)* yaitu mode pencairan es pada CTES dimana cairan *brine* pada CTES dialirkan ke koil pendingin untuk penyejuk udara ruangan.
- Standby Mode (Traditional AC)* yaitu mode tanpa penggunaan es /mode pendinginan langsung dari cairan *brine* dari *chiller* langsung dialirkan untuk penyejuk udara ruangan.



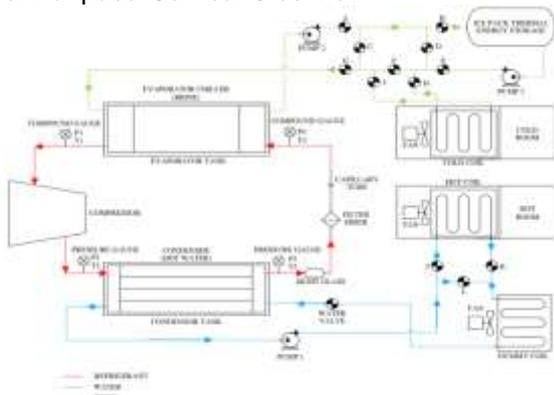
Gambar 4. Sistem Operasi *Ice Storage* (IS) (Of Peak Cooling, 2007)

Keuntungan pemakaian *Cold thermal energy storage (ice thermal)* antara lain (Cracken dan Mark, 2005):

- mengurangi biaya pemakaian energi listrik untuk AC 20%-40%
- mengurangi biaya awal sekitar 10%
- mengurangi konsumsi energi sekitar 10%-20%.
- mengurangi penggunaan energi pada gedung sampai 14%
- mengurangi biaya pemakaian energi pada pembangkit 8%-34%.
- mengurangi emisi sampai 50%
- biaya operasional dan maintenance yang rendah

Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan secara esperimental pada alat uji *Residential Air Conditioning* hibrida menggunakan *thermal energy storage* (TES). Proses pendinginan di tangki evaporator disirkulasikan ke *ice storage*. Sedangkan proses pembuangan kalor di tangki kondensor untuk memanaskan air, kemudian disirkulasikan ke hot TES, yang kemudian digunakan untuk keperluan pengeringan. Instalasi pengujian yang digunakan 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 refrigerasi), kompresor, *sight glass*, *filter drier*, pipa kapiler, kondensor dan evaporator ditempatkan diatas meja dudukan. Sedangkan koil pemanas dan pompa air sirkulasi, ditempatkan dibagian bawah meja dudukan alat, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Skematik *Residential Air Conditioning* Hibrida dengan *Thermal Energy Storage*

Fluida kerja yang digunakan pada instalasi pengujian *residential air conditioning* hibrida dengan *thermal energy storage* adalah refrigeran R-22. Pengujian dilakukan pada

dua kondisi, dimana masing-masing kondisi dilakukan pada dua mode yaitu:

1. *Charging Mode (Ice Making)*

Untuk pengujian *charging mode*, cairan *brine* pada *evaporator tank* dipompakan kemudian katup A dan B dibuka penuh, sedangkan katup C dan D ditutup penuh, sehingga cairan *brine* tersebut mengalir masuk ke *ice pack thermal energy storage*. Lalu cairan *brine* yang keluar dari *ice pack thermal energy storage* dipompakan dengan katup E, F, dan G dibuka penuh, sedangkan katup H dan I ditutup penuh, sehingga cairan *brine* yang mengalir keluar dari *ice pack thermal energy storage* kemudian masuk kembali ke dalam *evaporator tank*.

2. *Discharging Mode (Ice Melting)*

Untuk pengujian *discharging mode*, cairan *brine* pada *evaporator tank* dipompakan kemudian katup A dan B dibuka penuh, sedangkan katup C dan D ditutup penuh, sehingga cairan *brine* tersebut mengalir masuk ke *ice pack thermal energy storage*. Lalu cairan *brine* yang keluar dari *ice pack thermal energy storage* dipompakan dengan katup E dan H dibuka penuh dengan katup F ditutup penuh, sehingga cairan *brine* tersebut mengalir masuk *cold coil* yang berada pada *cold indoor*, selanjutnya cairan *brine* mengalir keluar dari *cold coil* kemudian masuk kembali ke dalam *evaporator tank* dengan katup I dan G dibuka penuh.

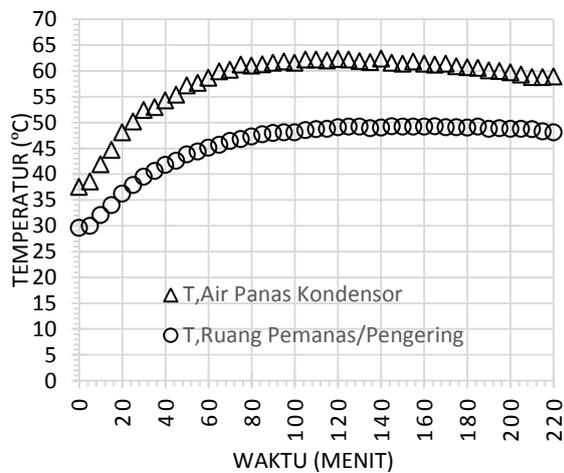
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi 1 (Proses *Charging Mode 1*)

Pada proses *Charging Mode 1* ini, proses pendinginan yang dilakukan yaitu saat sistem refrigerasi mulai bekerja. Pada kondisi ini, cairan *brine* di tangki evaporator di sirkulasikan ke *ice storage* secara terus menerus selama 220 menit. Cairan *brine* yang untuk mendinginkan *brine* oleh evaporator dari sistem refrigerasi dengan temperatur *ice storage* yang tercapai $-1,40^{\circ}\text{C}$, seperti yang terlihat pada Gambar 6.

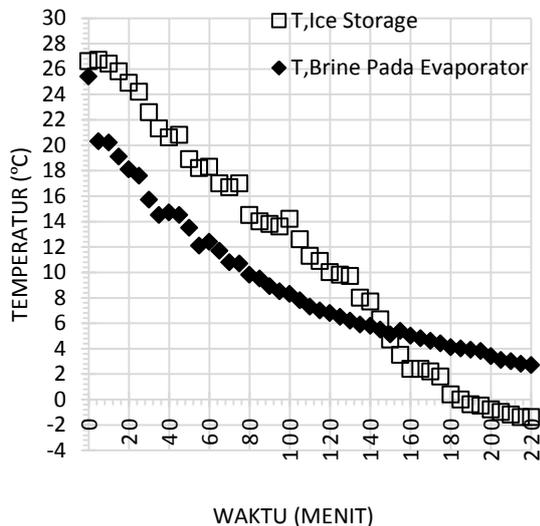
Temperatur air panas di kondensor dan temperatur ruang pemanas/pengering yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6. Temperatur rata-rata air panas adalah $57,82^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur ruang pemanas/pengering pada temperatur $45,56^{\circ}\text{C}$. Selisih antara temperatur air panas dan temperatur ruangan berkisar $12,26^{\circ}\text{C}$, 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 6. Temperatur Air Panas Kondensor dan Temperatur Ruang Pemanas/Pengering

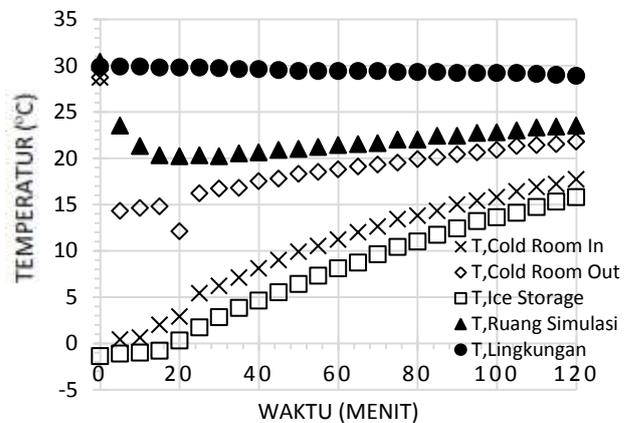
Distribusi temperatur *ice storage* (TES) dan temperatur cairan *brine* pada evaporator terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 7. Temperatur rata-rata *brine* di evaporator adalah 9,23 °C dengan temperatur terendah pada 2,70 °C, sedangkan temperatur rata-rata cairan *brine* di *Ice Storage* 11,40 °C dengan temperatur terendah -1,40 °C.



Gambar 7. Temperatur *Ice Storage* (TES) dan Temperatur Cairan *Brine* Pada Evaporator

Kondisi 1 (Proses *Discharging Mode* 1)

Untuk Gambar 8, kondisi temperatur yang diperoleh pada proses *Discharging Mode*, temperatur terendah pada *ice storage* yaitu -1,40 °C perlahan-lahan naik sering terjadinya pertukaran kalor antara cairan *brine* di koil pendingin di ruang simulasi dengan temperatur di ruang simulasi. Proses pendinginan pada saat *Discharging Mode* berlangsung selama 120 menit, dimana proses pendinginan saat *Charging Mode* berlangsung selama 220 menit, sehingga pada saat proses *Discharging Mode* lebih cepat dilakukan untuk mengetahui pada waktu 120 menit temperatur yang diperoleh di *ice storage* 15,8 °C dengan temperatur lingkungan 28,90 °C yang memiliki selisih temperatur sebesar 13,10 °C.

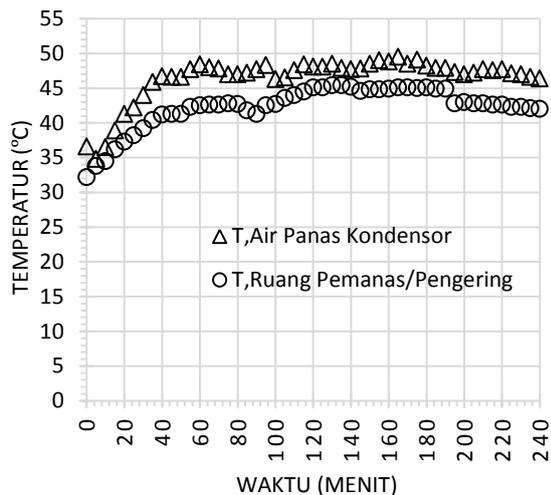


Gambar 8. Temperatur Ruang Pendingin dan Temperatur *Ice Storage* (TES)

Dengan didapatkan selisih yang besar, dapat disimpulkan bahwa proses *Discharging Mode* harus lebih lama dari pada proses *Charging Mode* untuk melakukan pendinginan di ruang simulasi sampai mencapai temperatur lingkungan.

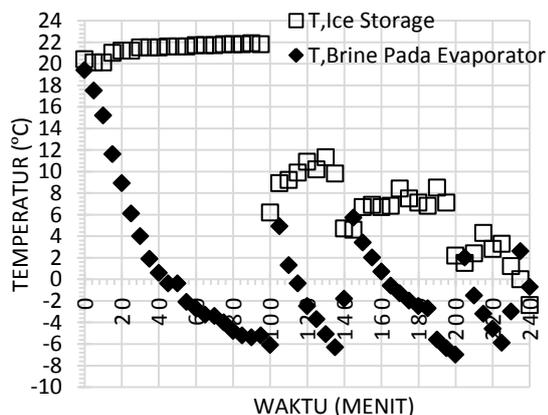
Kondisi 2 (Proses *Charging Mode* 2)

Pada proses *Charging Mode* 2 ini, proses pendinginan yang dilakukan yaitu saat sistem refrigerasi mulai bekerja, cairan *brine* di tangki evaporator didinginkan terlebih dahulu baru kemudian di sirkulasikan ke *ice storage*, setelah itu cairan *brine* di *ice storage* dipompakan ke tangki evaporator untuk didinginkan kembali. Kemudian disirkulasikan kembali ke *ice storage*, dilakukan secara terus menerus selama 240 menit dengan temperatur *ice storage* yang tercapai -2,40°C, seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Temperatur Air Panas Kondensator dan Temperatur Ruang Pemanas/Pengering

Distribusi temperatur air panas di kondensator dan temperatur ruang pemanas/pengering terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 9. Dari Gambar 9. tampak bahwa, temperatur rata-rata air panas adalah 46,43 °C dengan temperatur ruang pemanas/pengering pada temperatur 42,29 °C. Selisih antara temperatur air panas dan temperatur ruangan berkisar 4,14 °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.

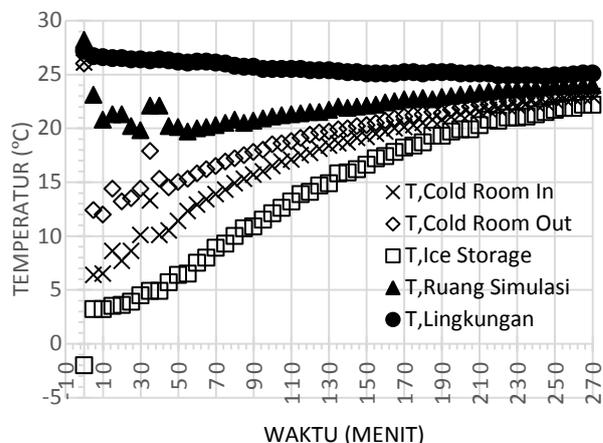


Gambar 10. Temperatur Ice Storage (CTES) dan Temperatur Brine Pada Evaporator

Temperatur *ice storage* (CTES) dan temperatur cairan *brine* pada evaporator terhadap temperatur dapat dilihat pada Gambar 10. Temperatur rata-rata cairan *brine* di evaporator adalah -0,04 °C dengan temperatur terendah pada -7,00 °C, sedangkan temperatur rata-rata *brine* di *Ice*

Storage 12,27 °C dengan temperatur terendah -2,40 °C.

Kondisi 2 (Proses *Discharging Mode* 2)



Gambar 11. Temperatur Ruang Pendingin dan Temperatur *Ice Storage* (TES)

Untuk Gambar 11, kondisi temperatur yang diperoleh pada proses *Discharging Mode*, temperatur terendah pada *ice storage* yaitu -2,0 °C perlahan-lahan naik seiring terjadinya pertukaran kalor antara cairan *brine* di koil pendingin di ruang simulasi dengan temperatur di ruang simulasi. Proses pendinginan pada saat *Discharging Mode* berlangsung selama 270 menit, dimana proses pendinginan saat *Charging Mode* berlangsung selama 240 menit, sehingga terdapat penghematan penggunaan pendinginan selama 30 menit dengan temperatur *ice storage* 22,2 °C, sedangkan untuk temperatur lingkungan 25,1 °C. Adapun selisih sebesar 3 °C disimpulkan bahwa proses *Discharging Mode* yang telah lebih penggunaan pendinginan selama 30 menit dari proses *Charging Mode*, mampu melakukan pendingin ruang simulasi untuk beberapa menit lagi, sampai *ice storage* mencapai temperatur yang sama dengan temperatur lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian terhadap temperatur sistem *residential air conditioning* hibrida pada proses *charging* dan *discharging* dengan *thermal energy storage* telah dilakukan. Pengujian dilakukan pada dua kondisi pengoperasian pada *charging mode* dan *discharging mode*. Pada proses *charging* kondisi 1 selama 220 menit untuk mendinginkan cairan *brine* di *ice storage*, diperoleh temperatur *ice storage* terendah -1,4°C, dengan temperatur air panas rata-rata

diperoleh 57,82°C dan temperatur ruang pengering 45,56 °C. Sedangkan pada *charging* mode kondisi 2 selama 240 menit diperoleh temperatur *ice storage* terendah - 2,4°C dengan temperatur air panas rata-rata 46,43°C dengan temperatur ruang pengering 42,29°C. Untuk *discharging* mode kondisi 2 memberikan waktu pendinginan yang lebih lama yaitu 270 menit (dengan *charging* 240 menit), sedangkan pada pengoperasian kondisi 1 hanya memberikan waktu pendinginan 120 menit (dengan *charging* 220 menit). Jadi pengoperasian dengan kondisi 2 memberikan pendinginan yang lebih lama dibanding pengoperasian kondisi 1 pada mode *discharging*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti dan LPPM Universitas Riau yang telah membiayai penelitian ini melalui Dana Penelitian Hibah Bersaing tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

ASHRAE handbook: fundamentals, 1993.
Cengel, Y. A., dan Boles, M. A., 2006. *Thermodynamics an Engineering Approach*. 5th ed. McGraw-Hill, New York.
Cracken, M., dan Mark, M., 2005, *21st Century Cooling With Thermal Storage*.

Garimella, S., 2003, Innovations in energy efficient and environmentally friendly space-conditioning systems, *Energy*, 28(15): 1593–1614.

Ji, J., Chow, T., Pei, G., Dong, J., dan He, W., 2003, Domestic Air-Conditioner and Integrated Water Heater for Subtropical Climate, *Applied Thermal Engineering*, 23 (5): 581–592.

Ji, J., Pei, G., Chow, T., He, W., Zhang, A., Dong, J., dan Yi, H., 2005, Performance of multi-functional domestic heat-pump system, *Applied Energy* , 80(3): 307–326.

Off Peak Cooling, 2007, *Air Conditioning for the 21st Century*, Innovative Cooling Technologies of Canada Limited.

Pete, W., 1996, *Source Energy and Enviromental Impact of Thermal*. California Energy Commision.

Rahman, M. M., Meng, C. W. dan Adrian, Ng., 2007, Air Conditioning and Water Heating-An nvironmental Friendly and Cost Effective Way of Waste Heat Recovery, *AEESEAP Journal of Engineering Education*, 31(2): 38-46.

Stoecker, W.F., dan Jones, J.W, 1994, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Erlangga, Jakarta.