

# PENGGUNAAN *ENCAPSULATED ICE THERMAL ENERGY STORAGE* PADA *RESIDENTIAL AIR CONDITIONING* MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROKARBON SUBSTITUSI R-22 YANG RAMAH LINGKUNGAN

Azridjal Aziz <sup>(1)</sup>, Afdhal Kurniawan Mainil <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Riau

<sup>(2)</sup> Staf Pengajar, Jurusan Teknik Mesin Universitas Bengkulu

## ABSTRACT

*Residential Air Conditioning is the wide option used to get the cool and comfortable in house. Improvement usage of AC caused by the good recovery of economics and the good range of price AC for residential achieved, especially for the family from middle to up level. Escalation usage of AC in the residential caused by increase the environmental air temperature heat as effect of climate change (global warming). Usage of AC for house or residential consume the electricity 45% - 66 % from totalizing usage of electricity for house or residential, so that most expense of electricity invoice used to pay for the freshness which obtainable. Usage of Encapsulated Ice Thermal Energy Storage at Residential AC system can economize the use of electricity 20% - 60%, this matter because the using compressor most replaced by pump to distribute the chilled fluid. Electricity cost-saving also can be improved with the use of hydrocarbon refrigerant as substitution of R-22 refrigerant, which can economize the usage of electricity 10% - 20%. Can concluded that usage of Encapsulated Ice Thermal Energy Storage at Residential Air Conditioning of vapor compression refrigeration machine with hydrocarbon refrigerant as Substitution R-22 refrigerant can cost economize that required to get the comfortable room to various use condition.*

**Keywords:** AC, Thermal Energy Storage, Encapsulated Ice, Refrigeran Hidrokarbon

## 1. 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. 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 <sup>[1]</sup>.

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* 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 (*energy efficient*)<sup>[2]</sup>.

Siklus kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam siklus refrigerasi/siklus mesin pendingin<sup>[1]</sup>. 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<sup>[1]</sup>.

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<sup>[3]</sup>. 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<sup>[4]</sup>.

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<sup>[5]</sup>.

*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*)<sup>[6]</sup>.

## 2. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *literature review method*. Pada penelitian ini dilakukan review beberapa literatur yang mendukung dan berhubungan dengan topik yang dibahas. Metode *literature review* biasanya digunakan sebagai langkah awal untuk melakukan penelitian berikutnya. Hasil yang diperoleh pada *literature review* sangat mendukung penelitian berikutnya, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan untuk pengembangan sistem *thermal energy storage* menggunakan *encapsulated ice* dengan refrigeran hidrokarbon.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemakaian AC pada bangunan (rumah/gedung) mengkonsumsi energi listrik antara 45% - 66% “tabel (1)”<sup>[7]</sup>. Penggunaan *thermal energy storage* dan penggunaan refrigeran hidrokarbon pada sistem pendinginan siklus kompresi uap dapat menghemat penggunaan energi listrik untuk sistem pendinginan.

### *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.

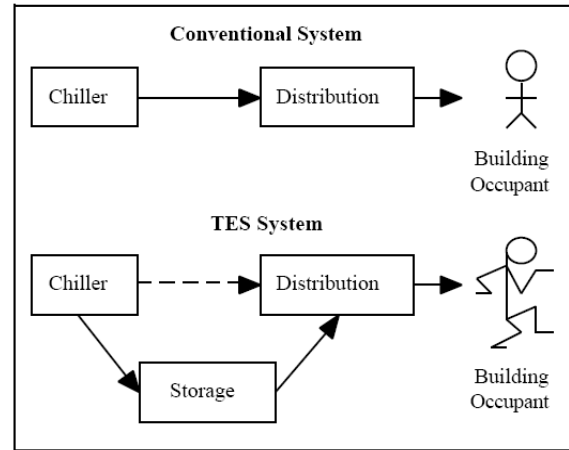
Sedangkan pada sistem pendinginan konvensional memiliki dua komponen utama yaitu :

- *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.

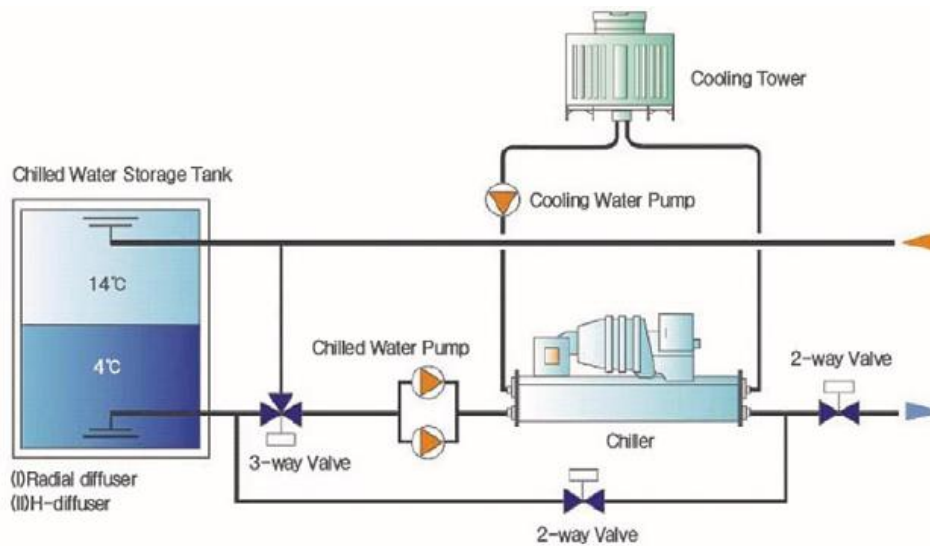
Tabel 1. Profil Penggunaan Energi Pada Bangunan <sup>[7]</sup>

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

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<sup>[8]</sup>.



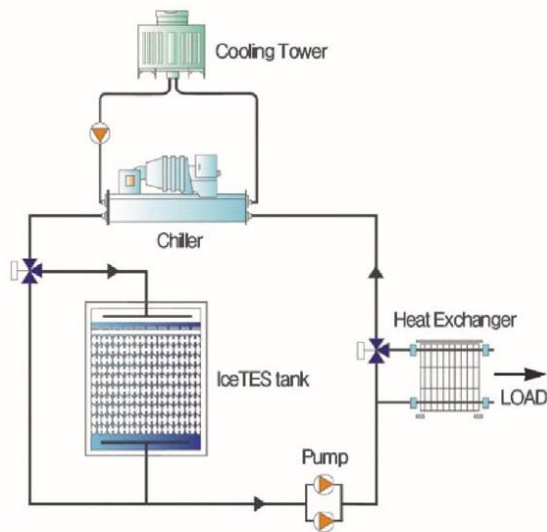
Gambar 1. Komponen utama untuk sistem pendinginan<sup>[8]</sup>.



Gambar 2. TES dengan *Water Tank Storage* <sup>[9]</sup>.

*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* "Gambar (2)" 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.

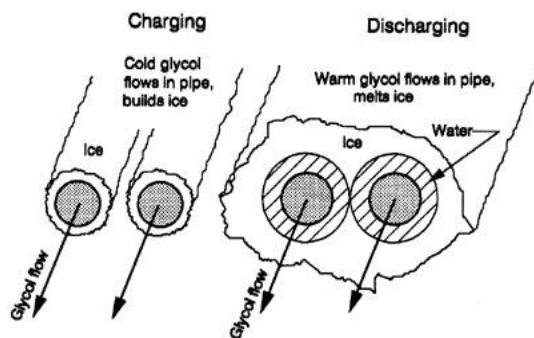
*Thermal Ice Storage* "Gambar (3)" merupakan *thermal energy storage* yang menyimpan kalor dalam bentuk kalor laten (es). Dibandingkan dengan kalor sensibel air, kalor laten air lebih besar, yaitu 80 kal./gr atau 4180 J/kg. Sehingga volume penyimpanan kalor laten lebih kecil dibandingkan dengan volume penyimpanan kalor sensibel. Akibatnya investasi *thermal ice storage* lebih murah daripada *thermal water tank storage*<sup>[2]</sup>.



Gambar 3 TES dengan Thermal Ice Storage<sup>[9]</sup>

### Ice Freezing on Coil, Coil Melt

Sistem *ice freezing on Coil* “Gambar (4)”, 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*.<sup>[10]</sup>

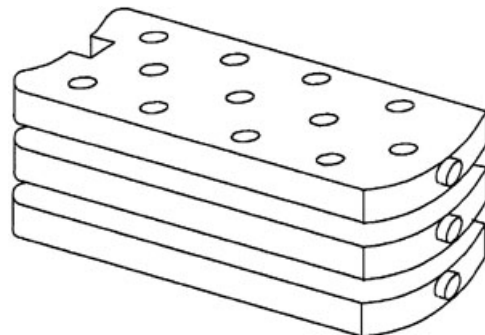


Gambar 4 Ice on coil<sup>[11]</sup>

### Encapsulated Ice system

*Encapsulated Ice system* “Gambar (5)” terdiri dari air atau gel yang terdapat dalam wadah atau kontainer plastik yang dicelupkan dalam cairan pendingin, yang terdapat dalam sebuah tangki penyimpanan. Selama siklus pembekuan (*charging*) cairan pendingin di bawah titik beku disirkulasikan ke dalam tangki penyimpanan sehingga membekukan cairan dalam kontainer plastik. Pada proses penggunaan (*discharging*) cairan pendingin bersuhu lingkungan atau normal disirkulasikan ke dalam tangki penyimpan dan melewati kontainer plastik dan mencairkan es dalam kontainer tersebut.

*Encapsulated Ice* biasanya berbentuk kotak plastik persegi, kemasan plastic yang lentur, kemasan bola plastik<sup>[11]</sup>.



Gambar 5 Encapsulated Ice<sup>[11]</sup>

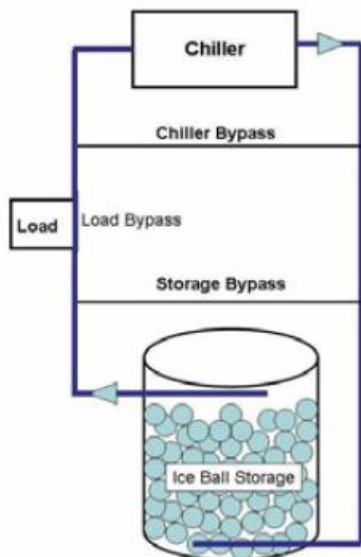
### Sistem Ice Storage

Pada sistem *ice storage*, es dibuat dan disimpan pada malam hari, menyediakan kapasitas pendinginan untuk menjaga kondisi udara pada siang hari tanpa mengoperasikan sistem *chiller*. Pada sistem *ice storage* umumnya digunakan larutan *ethylene glycol* untuk media perpindahan panas, karena larutan ini mempunyai titik beku yang lebih rendah dari air. Media perpindahan panas pada unit *chiller* harus diganti dengan brine apabila dikombinasikan dengan sistem *ice storage*. Larutan ini dapat digunakan untuk merubah fasa air menjadi es, sehingga jika didistribusikan ke *ice tank* akan menghasilkan es dalam skala besar, *ethylene glycol* juga dikenal dengan nama *brine*.

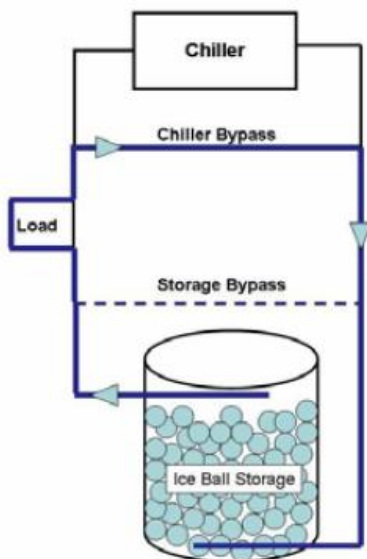
Pada sistem storage dibutuhkan tempat penyimpanan yang besar dan beberapa asesori tambahan pada penggunaannya. Volume penyimpanan sebanding dengan volume ruang yang akan didinginkan. Pada sistem Chilled water storage dibutuhkan 20 -30 ft<sup>3</sup>/ton-hour, dan pada sistem ice storage dibutuhkan 3 – 4 ft<sup>3</sup>/ton-hour. Sebagai contoh untuk mendinginkan gedung perkantoran dengan luas 100.000ft<sup>2</sup> dibutuhkan 3000 ft<sup>3</sup> sistem *ice storage* atau dibutuhkan 100.000 gallons untuk sistem *water storage*.

Penggunaan sistem *ice storage* 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

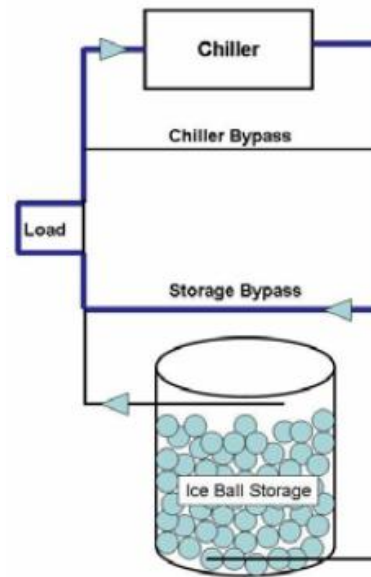
tetap selama proses perubahan fasanya menjadi air, sehingga menjaga suplai air dingin relatif konstan selama perubahan fasa es. Kekurangan sistem *ice storage* adalah karena penggunaan efisiensi penggunaan energinya rendah. Evaporator harus beroperasi pada temperatur yang lebih rendah dari sistem *chilled water*, sehingga COP akan turun sekitar 20% – 40%.<sup>[10]</sup>



**a**



**b**



**c**

Gambar 6. a. *Charging mode* b. *Discharging mode* c. *Stanby mode*<sup>[12]</sup>

**Sistem Operasi Ice Storage**

Sistem operasi Ice Storage seperti tampak di “Gambar (6)”, dibagi dalam tiga mode operasi yaitu<sup>[12]</sup>:

- a. *Charging Mode (Ice Making)*
- b. *Discharging Mode (Ice Melting)*
- c. *Standby Mode (Traditional AC)*

**Charge Cycle – Ice Making**

Dalam *charge mode* cairan *ethylene glycol* didinginkan sampai temperatur - 4 °C – - 2 °C pada sistem *chiller*. Cairan ini disirkulasikan ke *encapsulated ice/ice balls* yang terdapat dalam tangki penyimpanan dan membuatnya menjadi es. Biasanya sistem *chiller* kecil pada AC konvensional dapat digunakan pada kinerja dan efisiensi optimalnya yang dicapai dengan mengoperasikannya pada malam hari dalam kondisi temperatur lingkungan yang baik (rendah) ditambah keuntungan penggunaan *thermal energy storage*. *Charging* normal dilakukan selama kondisi beban rendah pada malam hari, dengan tanpa melewati beban pengkondisian udara, dan ketika biaya listrik rendah.

**Discharging Mode – Ice Melting**

Selama *discharge mode* *chiller* di *bypass* (tidak dilewati). Cairan *ethylene glycol* disirkulasikan untuk mengambil kalor dari sistem pendinginan udara dan kemudian cairan tersebut masuk kembali ke tangki penyimpanan es. Cairan *ethylene glycol* yang lebih hangat mencairkan es dan proses pendinginan ini

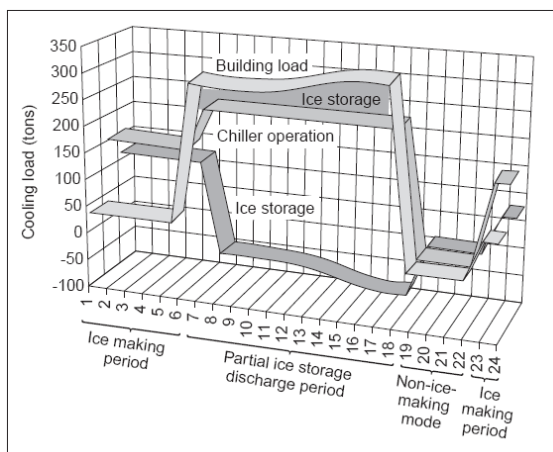
berlangsung kembali. Cairan *ethylene glycol* dingin (didinginkan oleh *encapsulated ice/ice balls* bukan oleh *chiller*) dipompakan kembali ke beban pendinginan untuk memberikan pengkondisian udara (proses pendinginan) dan loop tersebut akan berulang kembali (siklus pendinginan). Siklus Discharge digunakan selama sehabian untuk memberikan kenyamanan pada saat beban puncak ketika proses pendinginan sangat dibutuhkan. Dengan menggunakan es untuk mendinginkan *ethylene glycol*, *chiller* pada kondisi *off* selama sehabian, sehingga akan menurunkan secara berarti beban listrik dan akan menghemat uang yang harus dikeluarkan untuk listrik.

### Standby Mode – Traditional AC

Pada *standby mode thermal energy storage* tidak dilewati (di *bypass*) dan *chiller* menyediakan cairan dingin secara langsung tanpa menggunakan es. Kondisi ini digunakan jika periode pendinginan yang dibutuhkan lebih panjang atau kebutuhan yang tinggi justru pada saat biaya listrik yang tinggi.

### Pemakaian Energi

Alasan utama pemakaian *thermal energy storage* yaitu untuk menurunkan biaya awal (investasi) dan biaya operasional pemakaian "Gambar (7)". Biaya investasi dapat ditekan jika lamanya beban yang harus diatasi pendek sehingga *thermal storage* memiliki waktu yang panjang sebelum bebannya dipergunakan. Misalnya sebuah gedung pertemuan atau fasilitas gedung olah raga atau rumah dengan kapasitas pengkondisian udara yang cukup besar, pemakaiannya kurang dari 6 jam per hari dan frekwensi pemakaian pun beberapa hari dalam satu minggu.



Gambar 7 Beban pendinginan harian suatu bangunan gedung<sup>[13]</sup>.

Hal ini perlu dipertimbangkan pemakaian *thermal energy storage* dengan tujuan agar kapasitas sistem refrigerasi yang dipilih bisa lebih kecil. Biaya kapital

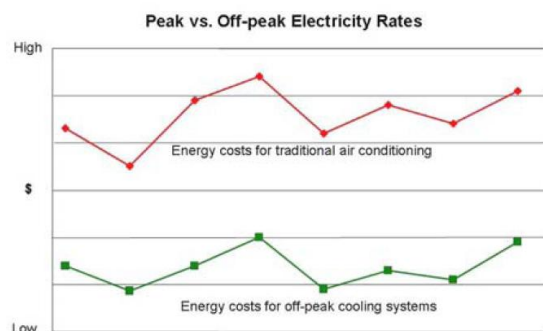
sekunder *thermal storage* lebih rendah, karena kebutuhan energinya lebih rendah. Jika temperatur es yang berada dalam *ice storage* makin rendah maka temperatur distribusi udara makin turun (gambar 8). Hal ini akan menyebabkan pemakaian *fan* dan saluran udara (*duct*) lebih kecil, dan pada akhirnya akan mengurangi jumlah luas ruang yang dibutuhkan<sup>[2]</sup>.

Keuntungan pemakaian *thermal energy storage (ice thermal)* antara lain<sup>[14]</sup> :

- 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

### Refrigeran Hidrokarbon

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 : 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*)).



Gambar 8 Biaya sistem pendingin traditional vs sistem *ice storage*<sup>[12]</sup>

Tabel 2 Perbandingan Performansi HCR-12 dan R-12 Pada Lemari Es Rumah Tangga (Hasil pengujian pada Laboratorium Termodinamika, Pusat Antar Universitas ITB)<sup>[5]</sup>.

Parameter	HCR12	R-12	Perubahan (%)	
			Naik	Turun
Refrigeran mass (g)	33	100		67
COP	3.0	2.2	35	
Rasio Kompresi	5.8	6.7		13.4
Konsumsi energi (W)	100.8	126		25

Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon. 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<sup>[5]</sup>. 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)<sup>[4]</sup>. 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 "Tabel (2)".

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan sistem *Encapsulated Ice Thermal Energy Storage* pada *Residential Air Conditioning* yang menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R-22 pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap dapat menghemat penggunaan energi listrik 20% - 40%. Penghematan akan meningkat dengan penggunaan refrigeran hidrokarbon yang juga dapat menghemat konsumsi listrik pada sistem pendingin kompresi uap sampai 25%. Penggunaan sistem *Encapsulated Ice Thermal Energy Storage* pada *Residential Air Conditioning* yang ramah lingkungan berkontribusi terhadap lingkungan global untuk pemakaian jangka panjang dan dapat menekan biaya operasional dan *maintenance* sistem.

#### PUSTAKA

1. **Stoecker, W.F. and Jones, J.W.**, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1996.
2. **Tjitro, Soejono. dan Sunandar, Herry.**, *Pemakaian Thermal Storage pada Sistem*

*Pengkondisi Udara*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 1, no. 1. UK Petra, Surabaya, hal 19 – 23, 1999.

3. **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.
4. **Pasek, A.D., Tandian, N.P., Adriansyah W.**, *Training of Trainer Refrigeration Servicing Sector*, Training Manual, ITB, Bandung, 2004.
5. **Pasek, A.D., Tandian, N.P.**, *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. SNI 03-6196-2000, *Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional (BSN).
8. **Wilson, Pete**, *Source Energy and Environmental Impact of Thermal*, California Energy Commission, 1996.
9. **Anonim**, *Green Building Design Guide*, Air Conditioned Building.
10. **Wulfinghoff, D.R.**, 1999, *Energy Efficiency Manual*, Energy Institute Press, Wheaton, MD, page 416, 1999
11. *Thermal Storage System*, Takasago Thermal Eng, Co. Ltd.
12. *Off Peak Cooling, Air Conditioning for the 21<sup>st</sup> Century*, Innovative Cooling Technologies of Canada Limited, 2007
13. *Thermal energy storage system used for office expansion*, CADDET Energy Efficiency, 2000.
14. **MacCracken, Mark M.**, *21st Century Cooling With Thermal Storage*, 2005