

PERFORMANSI *MODULAR CHILLER* KAPASITAS 120 TR

Azridjal Aziz¹, Joko Harianto¹, Afdhal Kurniawan Mainil²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Bengkulu

Jl. Subrantas km 12,5, Pekanbaru

Telepon: (0761) 566786

Email: azridjal@yahoo.com

Abstract: Performance of Modular Chiller With 120 TR Capacity. Modular chiller is a central Air Conditioning (AC) system, which consists of several modules that work together to reject the heat that absorbed by the chilled water from the building to be discharged into the environment. Chiller type is also a solution for the efficient use of electrical energy due to the number of units in operation can adjust to the heat load generated by the building. Heat load tends to fluctuate depending on the amount of space used, the number of electronic tools are used, the number of people in activity, and other heat load factors. Chiller is operated at setting temperature 6°C. The analysis showed that the actual cooling capacity (Q_L) in the evaporator, the actual compressor power (W_k) and the actual waste heat capacity (Q_H) in the condenser respectively are 357.5 kW to the total 845 kW cooling capacity availability, 66.1 kW to the total 157 kW of power compressor, and 423.6 kW to the total 1002 kW of the potential heat rejected by condenser, with COP of the chiller is 5.4. Cooling capacity provided 57.7% greater than the total cooling capacity actual, so it is more than enough to meet the overall cooling load at the Y hotel, to obtain the appropriate thermal comfort standard by SNI 03-6572-2001.

Keywords : Central AC, Modular Chiller, evaporator, condenser, COP

Abstrak: Performansi Modular Chiller Kapasitas 120 TR. Modular Chiller adalah suatu central Air Conditioning (AC) yang terdiri dari beberapa modul yang bekerja bersama-sama untuk membuang panas yang diserap oleh chilled water dari gedung untuk dibuang ke lingkungan. Chiller jenis ini juga merupakan solusi untuk penghematan penggunaan energi listrik karena jumlah unit yang beroperasi dapat menyesuaikan diri dengan beban panas yang dihasilkan gedung yang cenderung berubah-ubah tergantung pada jumlah ruangan yang digunakan, jumlah alat elektronik yang digunakan, jumlah orang yang beraktifitas, dan faktor-faktor beban lainnya. Chiller dioperasikan dengan temperatur acuan 6°C. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan aktual (Q_L) pada evaporator, daya kompresor aktual (W_k) dan kapasitas panas aktual (Q_H) yang dibuang di kondensor berturut-turut adalah sebesar 357,5 kW dari total 845 kW kapasitas pendinginan yang tersedia, 66,1 kW dari total daya kompresor 157 kW, dan 423,6 kW dari total 1002 kW potensi panas yang dibuang dengan COP chiller sebesar 5,4. Kapasitas pendinginan yang tersedia 57,7 % lebih besar dari total kapasitas pendinginan aktual, sehingga lebih dari cukup untuk memenuhi beban pendingin keseluruhan hotel Y, untuk memperoleh kenyamanan termal yang sesuai standar SNI, 03-6572-2001.

Kata kunci : Central AC, Modular Chiller, evaporator, kondensor, COP

PENDAHULUAN

Penggunaan mesin refrigerasi dan mesin pengkondisian udara sekarang ini sudah menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan manusia moderen, untuk meningkatkan kualitas hidup dari berbagai proses refrigerasi dan memperoleh kenyamanan termal pada mesin pengkondisian udara (AC). Peningkatan penggunaan mesin pengkondisian udara salah satunya akibat pengaruh pemanasan *global* (*Global Warming Potential/ GWP*),

yang menyebabkan terjadinya peningkatan temperatur bumi yang dirasakan dampaknya oleh seluruh penduduk bumi.

Peningkatan temperatur ini menyebabkan menurunnya tingkat kenyamanan sehingga kebanyakan berbagai fasilitas seperti rumah, mobil, kantor, gedung, hotel dan yang lainnya menggunakan mesin pengkondisian udara untuk meningkatkan kenyamanan termal. Kriteria kenyamanan termal menurut SNI 03-

6572-2001 dibagi menjadi: sejuk nyaman, antara temperatur efektif $20,5^{\circ}\text{C} \sim 22,8^{\circ}\text{C}$, nyaman optimal, antara temperatur efektif $22,8^{\circ}\text{C} \sim 25,8^{\circ}\text{C}$, hangat nyaman, antara temperatur efektif $25,8^{\circ}\text{C} \sim 27,1^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban relatif 40% - 60%. Zona kenyamanan termal di Indonesia untuk perancangan umumnya diambil : $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban udara relatif $55\% \pm 10\%$.

Pada gedung-gedung bertingkat proses pengkondisian udara umumnya dilakukan di luar gedung yang terpusat pada satu tempat yang disebut *central AC*. Mesin pengkondisian udara ini terdiri dari 2 sistem, yaitu : 1. Unit *outdoor* yaitu *chiller* sebagai unit pendingin, 2. Unit *indoor* AHU (air handling unit dan FCU (fan coil unit), AC sentral juga dilengkapi dengan *circulation pump* untuk sirkulasi *chilled water*.

Disamping mengatur temperatur dan kelembaban udara, maka faktor lain yang juga diatur oleh sistem AC sentral adalah ventilasi udara, gerakan aliran udara, kebersihan (bau dan debu), penyebaran dan distribusi yang merata ke seluruh ruangan. Kelebihan AC sentral antara lain adalah suara di dalam ruangan tidak berisik sama sekali dan estetika ruangan terjaga, karena tidak ada unit *indoor*.

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 (Cengel, 2011, Stoecker, 1996, Aziz, 2005).

Pada siklus kompresi uap ideal, di evaporator refrigeran akan menyerap atau menghisap panas dari ruangan sehingga panas tersebut akan menguapkan refrigeran yang menyebabkan turunnya temperatur ruangan untuk mencapai kondisi nyaman. Kemudian uap refrigeran akan dikompresikan oleh kompresor hingga mencapai tekanan kondensor, dalam kondensor, uap refrigeran akan dikondensasikan dengan cara membuang panas yang diserap di ruangan oleh uap refrigeran ke lingkungan sekitar.

Kemudian refrigeran akan kembali diteruskan ke dalam evaporator setelah tekanannya turun setelah melewati alat ekspansi (Cengel, 2011, Stoecker, 1996).

Pada sistem refrigerasi 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 : 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) dan tidak merusak lapisan ozon (non-ODP/Ozone Depleting Potential) (Stoecker, 1996, Ambarita, 2001, Aziz, 2005).

Sifat fisik dan termodinamik dari refrigeran yang baik adalah refrigeran yang mampu menghasilkan kapasitas refrigeran per satuan daya kompresi yang tinggi. Adapun sifat-sifat fisik dan termodinamik refrigeran yang mempengaruhi daya kompresi dan kapasitas refrigerasi, adalah tekanan penguapan, tekanan pengembunan, kalor laten penguapan dan volume spesifik, konduktivitas termal, viskositas refrigeran (Stoecker, 1996, Aziz, 2005).

Kajian tentang performansi *Chiller* banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi untuk pengoperasian *Chiller*. F.W. Yu dan K.T. Chan, 2011, telah melakukan analisis performansi *chiller* menggunakan *cluster analysis*. Penelitian ini menunjukkan metode sistematis untuk meningkatkan pengaturan variabel terkendali untuk meningkatkan COP sistem *chiller* yang diberikan. K.T. Chan, J. Yang, and F.W. Yu, 2011 juga menganalisis penghematan energi sistem *chiller* yang kondensornya didinginkan dengan pengkabutan air, sehingga dapat menghemat konsumsi energi *chiller* sampai 10,9%.

Orhan Ekren, and Banu Y. Ekren, 2011, melakukan disain eksperimental untuk meningkatkan performansi *chiller* dengan analisis regresi. Empat faktor yang dipertimbangkan dalam disain eksperimental,

adalah: temperatur air, laju aliran air, persentase pembukaan katup ekspansi elektronik, dan kompresor kecepatan. Luaran yang dipertimbangkan dalam disain eksperimental adalah koefisien kinerja (COP), kapasitas evaporator, kapasitas kondensor, konsumsi daya kompresor, temperatur kondensasi, dan temperatur evaporasi.

Pada penelitian ini dilakukan analisis performansi sistem *modular chiller* dengan kapasitas pendinginan 120 TR (ton refrigeration). Penelitian dilakukan untuk mengetahui kapasitas pendinginan, kapasitas pemanasan, dan COP dari sistem *modular chiller* terhadap kapasitas terpasangnya. Apakah sistem *modular chiller* yang digunakan sudah memenuhi kebutuhan atau malah kapasitasnya melebihi kebutuhan saat digunakan.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Hotel 'Y' untuk mengetahui *plant sytem* untuk sebuah *central AC*, mengetahui prinsip kerja, dan performansi dari unit *chiller* yang tersedia. Sistematika pelaksanaan penelitian berupa diagram penelitian, disajikan pada Gambar 1.

Pengkondisian udara di Hotel 'Y' menggunakan *central AC*, dengan beban pendinginan keseluruhan area gedung hotel kecuali *grand ball room* dilayani oleh 3 buah *chiller*. Namun untuk *daily operation* hanya digunakan 2 buah *chiller* yaitu *Chiller II* dan *Chiller III*, dengan beban pendingin masing-masing 120 TR. Jenis *chiller* yang digunakan adalah *Modular Chiller* Fujiaire (Gambar 2). Masing-masing *chiller* memiliki 6 modul yang bekerja bergantian dengan kontrol temperatur evaporator pada 6°C.

Pada penelitian ini data yang diambil adalah temperatur evaporasi (T_e), temperatur kondensasi (T_k), dan kapasitas pendinginan (Q_L). Selanjutnya dihitung performansi berupa efek refrigerasi (ER), kerja spesifik kompresor (w_k), kapasitas panas yang dibuang kondensor (Q_H), daya kompresor ($W_{in,net}$), dan coefficient of performance (COP).

Efek refrigerasi

Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran.

Nilai ER dihitung menggunakan persamaan 1.

$$ER = h_1 - h_4 \quad (1)$$

dimana :

ER = Efek Refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi Refrigeran Masuk Kompresor (kJ/kg)

h_4 = Entalpi Refrigeran Masuk Evaporator (kJ/kg)

Kerja Spesifik Kompresor

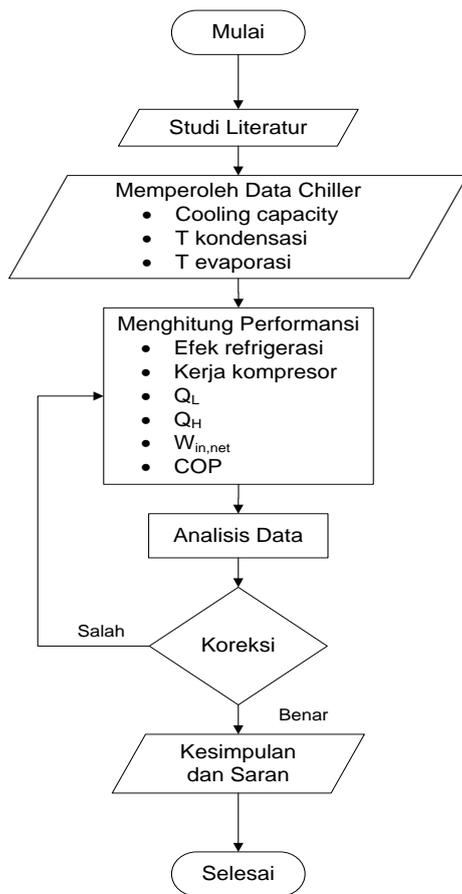
Besarnya kerja kompresor sama dengan selisih entalpi uap refrigeran yang keluar kompresor dengan entalpi uap refrigeran yang masuk ke kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan 2 (Cengel, 2011, Stoecker, 1996).

$$w_k = h_2 - h_1 \quad (2)$$

dimana :

w_k = Kerja Spesifik Kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi Gas Refrigeran Keluar Kompresor (kJ/kg)



Gambar 1 Diagram alir Penelitian



Gambar 2. Chiller dengan Air Cooled Condenser (<http://www.fujiaire.com.my/air-cooled.html>)

Kapasitas Pendinginan pada Evaporator

Jumlah kalor yang diserap evaporator dikalikan dengan laju aliran massa refrigeran disebut dengan kapasitas pendinginan pada evaporator atau *cooling capacity*, yang dirumuskan pada persamaan 3.

$$Q_L = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (3)$$

dimana :

Q_L = Kapasitas Pendinginan pada Evaporator (kW)

\dot{m} = Laju Aliran Massa Refrigeran (kg/s)

Kalor Buang Total Kondensor

Kalor buang total kondensor adalah kalor yang dibuang kondensor dikalikan dengan laju pendaoran refrigerasi, besarnya dihitung menggunakan persamaan 4.

$$Q_H = \dot{m} (h_2 - h_3) \quad (4)$$

dimana :

Q_H = Kapasitas Buang Total Kondensor (kW)

Daya Kompresor

Kebutuhan daya total kompresor adalah laju aliran massa dikalikan dengan kerja spesifik kompresor selama proses kompresi isentropik, dihitung menggunakan persamaan 5.

$$W_{net,in} = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (5)$$

dimana :

$W_{net,in}$ = Daya Kompresor (kW)

Coefficient of Performance (COP)

COP dipergunakan untuk menyatakan performa (unjuk kerja) dari siklus refrigerasi. COP tidak mempunyai satuan karena merupakan perbandingan antara kapasitas refrigerasi dengan daya kompresor, atau efek refrigerasi dengan kerja spesifik kompresor. COP dihitung menggunakan persamaan 6.

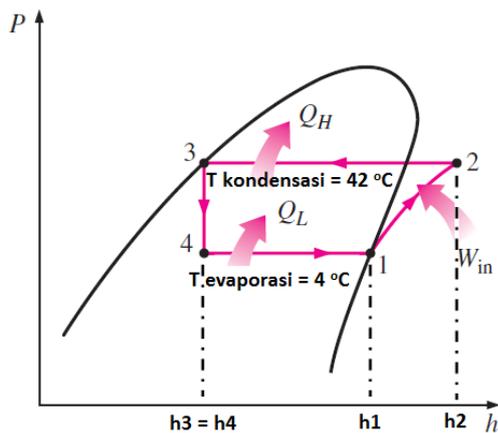
$$COP = \frac{Q_L}{W_{in}} \quad (6)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh pada penelitian ini dianalisis menggunakan persamaan 1 – persamaan 6. Untuk mendapatkan sifat-sifat termodinamika dengan asumsi diagram p-h pada kondisi ideal, digunakan Tabel sifat R-22 jenuh dan Tabel sifat R-22 uap super panas.

Data yang diperoleh dari Modul 1 (3 siklus kompresi uap) *diplot* seperti tampak pada Gambar 3.

Dimana temperatur kondensasi sebesar 42°C, kemudian temperatur evaporasi sebesar 4°C. Penyerapan kalor di evaporator adalah $Q_L = 97,5$ kW.



Gambar 3. Diagram P-h Modul 1 (diadaptasi dari Cengel, 2011)

Pada Titik 1, temperatur evaporasi = 4 °C (Tabel A-6 Refrigeran R-22: *Saturated Properties*) (Stoeker,1996)

$$P_{sat} = 565,71 \text{ kPa}$$

$$h_1 = h_g @ T = 4^\circ\text{C} = 406,793 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_g @ T = 4^\circ\text{C} = 1,74604 \text{ kJ/kg K}$$

Pada Titik 2, Temperatur kondensasi = 42 °C (Tabel A-7 Refrigeran 22: *Superheated Properties*) (Stoeker,1996)

$$P_{sat} = 1609,6 \text{ kPa}$$

$$s_2 = s_1 = 1.74604 \text{ kJ/kg K}$$

Interpolasi

$$h_2 = h @ T_{sat} = 42^\circ\text{C}, s = 1,74604 \text{ kJ/kg K}$$

T	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)
55	429,101	1,7349
T_2	h_2	1,74604
60	433,617	1,7486

$$h_2 = 429,101 - (429,101 - 433,617) \left(\frac{1,7349 - 1,74604}{1,7349 - 1,7486} \right)$$

$$h_2 = 432,773 \text{ kJ/kg}$$

Pada Titik 3, Temperatur kondensasi = 42 °C (Tabel A-6 Refrigeran R22: *Saturated Properties*)

$$P_{sat} = 1609,6 \text{ kPa}$$

$$h_3 = h_f @ T = 42^\circ\text{C} = 252,352 \text{ kJ/kg}$$

Pada Titik 4, Temperatur kondensasi = 4 °C

$$P_{sat} = 565,71 \text{ kPa}$$

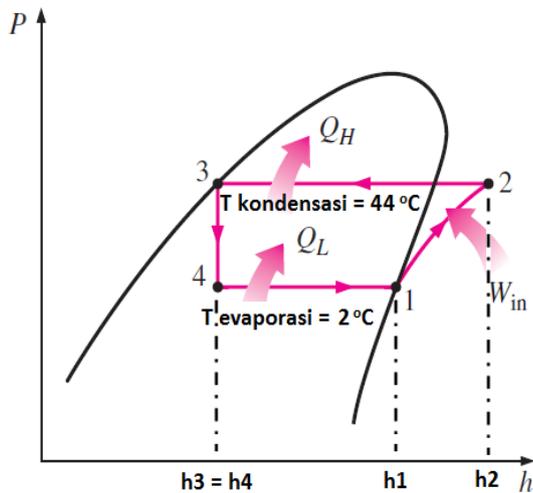
$$h_4 = h_3 = 252,352 \text{ kJ/kg}$$

Sifat-sifat termodinamika yang diperoleh dari Modul 1 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Termodinamika Modul 1

Sifat Termofisik	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4
Tekanan, kPa	565,7	1609,6	1609,6	565,71
Enthalpy, kJ/kg	406,8	432,31	252,35	252,35
Entropy, kJ/kg.K	1,74604	1,74604		

Data yang diperoleh dari Modul 2-6 (2 siklus kompresi uap) *diplot* seperti tampak pada Gambar 4. Dimana temperatur kondensasi sebesar 44°C, kemudian temperatur evaporasi sebesar 2°C. Penyerapan kalor di evaporator adalah $Q_L = 65$ kW.



Gambar 4. Diagram P-h Rata-rata Modul 2-6 1 (diadaptasi dari Cengel, 2011)

Sifat-sifat termodinamika yang diperoleh dari Modul 2-6 disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Termodinamika Modul 2-6

Sifat Termofisik	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4
Tekanan, kPa	530,83	1688,5	1688,5	530,83
Enthalpy, kJ/kg	406,1	434,97	255,04	255,04
Entropy, kJ/kg.K	1,74889	1,74889		

Performansi *Modular Chiller*, modul 1 dan modul 2-6 yang diperoleh dari analisis perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Performansi *Modular Chiller*

Performansi	Modul 1	Modul 2-6
ER (kJ/kg)	463,3	302,1
W_k (kJ/kg)	77,9	57,2
Q_L (kW)	97,5	65
Q_H (kW)	113,8	77,4
$W_{net,in}$ (kW)	16,4	12,42

COP	5,9	5,23
-----	-----	------

Setelah performansi masing-masing modul diperoleh, selanjutnya dapat diperoleh total kalor yang diserap pada evaporator, total kalor yang dibuang pada kondensor, total input energi dan COP keseluruhan dari *chiller* dengan cara menjumlahkan performansi masing-masing unit.

Gambar 5 menunjukkan sketsa *modular chiller* yang digunakan, dimana masing-masing *chiller* terdiri dari modul 1 sampai modul 6 dengan kondisi aktif dan non-aktif. Performansi *Modular chiller* yang diperoleh dari analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Chiller 1

Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4	Modul 5	Modul 6
non-aktif	non-aktif	aktif	non-aktif	aktif	non-aktif

Chiller 2

Modul 1	Modul 2	Modul 3	Modul 4	Modul 5	Modul 6
non-aktif	non-aktif	aktif	non-aktif	aktif	non-aktif

Gambar 5. Sketsa *Modular Chiller* 1 dan 2, masing-masing terdiri dari 6 *chiller* serta kondisi setiap *chiller*

Besar penyerapan kalor atau kapasitas pendinginan total di evaporator, daya kompresor total, pembuangan kalor di kondensor dan kinerja atau performansi dari modular chiller yang aktif pada kondisi aktual adalah sebagai berikut:

$$Q_{L \text{ Total}} = 357,5 \text{ kW}$$

$$W_{in \text{ Total}} = 66,1 \text{ kW}$$

$$Q_{H \text{ Total}} = 423,6 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 5,4$$

Hasil perhitungan

Jika diasumsikan Hotel 'Y' memiliki 2 unit modul 1 dan 10 unit modul 2 dan semuanya aktif digunakan, maka besar penyerapan kalor total di evaporator, daya

kompresor total, pembuangan kalor di kondensor dan kinerja atau performansi dari modular chiller yang aktif adalah sebagai berikut:

$$Q_{L \text{ Total}} = 845 \text{ kW}$$

$$W_{\text{in Total}} = 157 \text{ kW}$$

$$Q_{H \text{ Total}} = 1002 \text{ kW}$$

$$\text{COP} = 5,4$$

Beberapa proses kegiatan untuk penghematan energi pada *plant* refrigerasi yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Optimasi Alat Penukar Panas
2. Pemeliharaan Permukaan Penukar Panas
3. Multi-Tahap untuk Efisiensi
4. Mencocokkan Kapasitas terhadap Beban Sistem
5. Pengendalian Kapasitas dan Efisiensi Energi
6. Refrigerasi Bertingkat bagi Kebutuhan Pabrik
7. Penyimpan Air Dingin/ *Chilled water*
8. Fitur Perancangan Sistem

Beberapa aturan *Rules of Thumb* (UNEP, 2006) yang umumnya berlaku adalah:

1. Kapasitas refrigerasi berkurang 6 persen untuk setiap kenaikan 3,5 °C pada temperatur pengembunan.
2. Penurunan temperatur pengembunan sebesar 5,5 °C menyebabkan penurunan 20–25 persen dalam pemakaian energi kompresor.
3. Penurunan 0,55 °C dalam temperatur air pendingin pada pemasukan kondenser mengurangi pemakaian energi kompresor 3 persen.
4. Pembentukan kerak 1 mm pada pipa kondenser dapat meningkatkan pemakaian energi sebesar 40 persen.
5. Kenaikan 5,5 °C pada temperatur *evaporator* menurunkan pemakaian energi kompresor sebesar 20–25 persen.

Dari analisis tersebut dapat dipahami bahwa *maintenance* penting dilakukan secara berkala agar mesin tetap beroperasi pada *top performance*. Mesin yang dapat dijaga pada *top performancenya* dapat mencegah penggunaan daya listrik boros atau berlebih pada *chiller* yang kapasitas pendinginannya sudah melebihi beban pendinginan yang ada.

SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kapasitas pendinginan pada evaporator (Q_L) adalah sebesar 357,5kW dari total 845kW, daya kompresor ($W_{\text{in,net}}$) adalah sebesar 66,1 kW dari total 157 kW, kapasitas panas yang dibuang kondensor (Q_H) adalah sebesar 423,6 kW dari total 1002 kW, dan COP *chiller* adalah 5,4. Kapasitas pendinginan yang tersedia melebihi beban pendinginan maksimum yang ada, sehingga lebih dari cukup untuk memenuhi beban pendingin keseluruhan hotel Y, guna mendapatkan kenyamanan termal yang sesuai standar SNI, 03-6572-2001.

DAFTAR RUJUKAN

- Ambarita, Himsar., 2001, *Perancangan dan Simulasi Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida dengan Refrigeran HCR-12 sebagai Pengganti R-12 yang Sekaligus Bertindak sebagai Mesin Refrigerasi pada Lemari Pendingin (Cold Storage) dan Pompa Kalor pada Lemari Pengereng (Drying Room)*, Tesis Pascasarjana, Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana ITB.
- Aziz, Azridjal., 2005, 'Performansi Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Terhadap Massa Refrigeran Optimum Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon', *Jurnal Teknik Mesin*, vol 2, no.1, pp. 29-33.
- Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., 2011. *Thermodynamics An Engineering*

Approach, 7th Edition, McGraw Hill Companies, New York .

Yu, F.W., dan Chan, K.T., 2012, 'Assessment of operating performance of chiller systems using cluster analysis', *International Journal of Thermal Sciences*, vol 53, pp. 148–155.

Chan, K.T., Yang, J., dan Yu, F.W., 2011 'Energy Performance Of Chillers With Water Mist Assisted Air-Cooled Condensers', Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 2088-2095, Sydney.

Ekren, Orhan., dan Ekren, Banu Y., 2011, 'Experimental Design and Regression Analysis for Performance of a Chiller

System', *Journal of Thermal Science and Technology*, vol 31, no. 1, pp. 59-65.

SNI 03-6572-2001, 2001, Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung.

Stoecker, F.Wilbert., 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Jakarta Penerbit Erlangga.

UNEP 2006, *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia Chapter- AC dan Refrigeration*, tersedia di internet www.energyefficiencyasia.org

<http://www.fujiaire.com.my/air-cooled.html>