

POTENSI PEMANFAATAN ENERGI PANAS TERBUANG PADA KONDENSOR AC SENTRAL UNTUK PEMANAS AIR HEMAT ENERGI

Azridjal Aziz¹, Joko Harianto¹, Afdhal Kurniawan Mainil²

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau

Jl. Subrantas, km 12,5, Pekanbaru 28293, , Telp.: 0761 566786

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Bengkulu

Jl. WR Supratman Kandang Limun Bengkulu 38371A, Telp.: 0736 21170

Email: azridjal@yahoo.com

Abstract: Utilization Potential of Waste Heat Energy In Condenser of Central AC For Water Heating. Central air conditioning is one type of refrigeration machine that is widely used in large or multi-storey buildings such as offices, hotels or shopping malls. Waste heat energy from the condenser of refrigeration machine is generally rejected as useless energy. Actually, this thermal energy can be utilized for energy-efficient water heater, as a source of energy obtained for free from the condenser waste heat energy. To determine the wasted heat energy that can be used for the water heater, it is necessary to count the heating potential. The calculation and analysis of data obtained showed that the energy potential of waste heat in the condenser that can be used as a water heater is equal to 228.318 kW with a maximum condenser inlet temperature is 57.78 °C.

Keywords: potential, Central Air Conditioning, refrigeration machine, water heater, condenser

Abstrak: Potensi Pemanfaatan Energi Panas Terbuang Pada Kondensor Ac Sentral Untuk Pemanas Air Hemat Energi. AC sentral merupakan salah satu jenis mesin pendingin yang banyak dipakai di gedung-gedung bertingkat seperti perkantoran, hotel atau mal. Energi panas yang terbuang dari kondensor pada mesin pendingin, umumnya dibiarkan terbuang begitu saja. Energi panas ini sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk keperluan pemanas air yang hemat energi, karena sumber energinya diperoleh secara gratis dari energi panas buang kondensor tersebut. Untuk mengetahui energi panas terbuang yang dapat dimanfaatkan untuk pemanas air tersebut, maka perlu dihitung potensi pemanasannya. Hasil perhitungan dan analisis data yang diperoleh menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan energi panas yang terbuang di kondensor yang dapat digunakan sebagai pemanas air adalah sebesar 228,318 kW dengan temperatur masuk kondensor maksimum sebesar 57,78 °C.

Kata kunci: potensi, AC sentral, mesin pendingin, pemanas air, kondensor

PENDAHULUAN

Mesin refrigerasi atau mesin pendingin merupakan sebuah mesin yang secara termodinamika dapat memindahkan energi dari area bertemperatur rendah (media yang akan didinginkan) ke area bertemperatur tinggi (temperatur sekitar atau temperatur lingkungan) dengan bantuan energi masukan berupa kerja kompresor. Kebanyakan mesin refrigerasi untuk keperluan penyejuk ruangan beroperasi

menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap (SKU).

Penamaan mesin refrigerasi tergantung pada tujuan penggunaannya. Mesin refrigerasi yang digunakan untuk tujuan pendinginan atau penyejuk ruangan dinamakan mesin refrigerasi atau mesin pendingin (*refrigerator machine*), sedangkan mesin pendingin yang digunakan untuk tujuan pemanasan sebagai pemanas air atau pemanas ruangan dinamakan mesin pompa kalor

(*heat pump*). Mesin pendingin yang digunakan baik untuk tujuan pendinginan dan untuk tujuan pemanasan secara bersamaan dinamakan mesin refrigerasi hibrida (*hybrid refrigeration machine*). Untuk menjaga keseimbangan termodinamika agar proses pendinginan dan pemanasan berlangsung dengan baik pada mesin refrigerasi hibrida, maka sebagai panas tersebut harus dibuang ke lingkungan sekitar (Cengel, 2011, Stoecker, 1996, Aziz, 2005, Ambarita, 2001).

Penggunaan mesin refrigerasi sebagai pengkondisian udara ruangan untuk gedung atau bangunan yang berukuran kecil sampai sedang umumnya menggunakan mesin refrigerasi jenis terpisah (*AC split*) dengan kapasitas pendinginan yang tidak terlalu besar. Sedangkan penggunaan mesin refrigerasi sebagai pengkondisian udara untuk gedung atau bangunan berukuran sedang dan besar biasanya menggunakan mesin refrigerasi jenis terpusat (*AC central*) yang memiliki kapasitas pendinginan yang cukup besar. Pada umumnya baik mesin refrigerasi dengan kapasitas pendinginan kecil, sedang maupun besar kalor yang dibuang di sisi kondensor yang bertemperatur tinggi, biasanya dibiarkan terbuang percuma. Kalor ini bisa dimanfaatkan untuk pemanas air secara bersamaan pada saat proses penyerapan kalor untuk menciptakan nyaman ruangan yang dihuni, sehingga didapat air panas secara gratis tanpa perlu lagi menggunakan elemen pemanas listrik untuk memanaskan air. Pemanfaatan kalor buang di kondensor ini akan menghemat penggunaan energi listrik untuk keperluan air panas.

Penggunaan mesin refrigerasi hibrida di daerah tropis seperti Indonesia berpotensi tinggi untuk dikembangkan. Saat ini penggunaan refrigerasi hibrida di Indonesia masih sangat sedikit, umumnya mesin refrigerasi hibrida tersebut digunakan sebagai pendingin ruangan dan juga sebagai pemanas air,

sehingga potensi pemanfaatan mesin refrigerasi hibrida untuk pemanas air perlu diketahui. Potensi penggunaan mesin refrigerasi sebagai pendingin ruangan sekaligus sebagai pemanas air untuk diterapkan di hotel sangat besar, mengingat intensitas penggunaan air panas yang cukup tinggi di perhotelan.

Mesin pengkondisian udara yang beroperasi dengan SKU menggunakan refrigeran sebagai zat pendingin yang akan membawa kalor dari daerah bertemperatur rendah ke daerah bertemperatur tinggi. Mesin refrigerasi yang menggunakan SKU memiliki empat komponen utama. Komponen pertama adalah kompresor yang akan mengkompresikan gas refrigeran bertemperatur dan bertekanan rendah sehingga menjadi gas refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan tinggi. Kemudian gas ini akan dikondensasikan sehingga fasanya berubah menjadi cairan refrigeran bertemperatur dan bertekanan tinggi di dalam komponen kedua yaitu kondensor. Kondensor akan melepaskan kalor ke lingkungan, dimana kalor ini berasal dari kalor yang diserap atau diambil di evaporator (ruangan yang akan didinginkan) pada temperatur dan tekanan rendah. Cairan refrigeran ini selanjutnya akan memasuki komponen ketiga yaitu katup ekspansi sehingga tekanan dan temperaturnya turun. Dari katup ekspansi cairan ini akan memasuki komponen keempat disebut evaporator, dimana cairan refrigeran bertemperatur dan bertekanan rendah ini akan berubah fasa menjadi uap atau gas karena mengambil atau menyerap kalor dari lingkungan/ruangan sekitar evaporator yang bertemperatur lebih tinggi. Gas refrigeran ini kemudian akan dihisap memasuki kompresor sehingga tekanan dan temperatur naik dan selanjutnya memasuki kondensor, proses ini akan berulang dalam suatu siklus, sehingga temperatur ruangan yang dikondisikan akan tercapai setelah pengoperasian selama waktu tertentu (Cengel, 2011, Stoecker, 1996).

Besarnya kalor yang dibuang atau dilepaskan di kondensor secara termodinamika merupakan jumlah dari kerja kompresor yang diberikan ditambah kalor yang diserap atau diambil oleh evaporator dari ruangan yang udaranya dikondisikan pada kondisi nyaman (*comfortable room*). Kalor yang dibuang di kondensor ini pada umumnya dibiarkan terbangun begitu saja tanpa dimanfaatkan. Kalor buangan kondensor inilah yang dapat dimanfaatkan secara gratis untuk kebutuhan pemanas air atau udara untuk berbagai keperluan, sehingga terjadi penghematan energi.

Pemanfaatan panas buang kondensor untuk keperluan pemanasan air telah dilaporkan oleh banyak peneliti (Jie Ji, Tin-tai Chow, Gang Pei, Jun Dong, Wei He, 2003, Fei Liu, Hui Huang, Yingjiang Ma, dan Rong Zhuang, 2008, Jie Ji, Gang Pei, Tin-Tai Chow, Wei He, Aifeng Zhang, Jun Dong, dan Hua Yi, 2005, Jie Jia, dan W.L. Lee, 2014, Yilmaz, Mehmet, 2003, Rahman, M. M., Wai Meng, Chin. dan Ng, Adrian, 2007, U. Kongre, U. V. Chiddarwar, A. Dhumatkar, R. P. C. dan Ari S, A.B., 2013). Penggunaan AC yang juga berfungsi sebagai pemanas air akan memberikan kinerja yang lebih baik, karena adanya penghematan energi untuk keperluan air panas. Rahmat Iman Mainil dan Afdhal Kurniawan Mainil, 2011, melaporkan bahwa pemanfaatan panas buang *chiller* untuk kebutuhan air panas di hotel dapat memanaskan air hingga temperatur 56°C dalam waktu 67 menit dengan syarat pemanasan dilakukan secara kontinu dengan potensi penghematan energi listrik untuk pemanasan air hingga 90%. I Made Rasta, 2009 telah meneliti pemanfaatan energi panas terbangun pada kondensor AC sentral jenis *water chiller* untuk pemanas air hemat energi. Temperatur air panas maksimum yang bisa dicapai adalah 34°C - 47,5 °C dalam waktu 10 menit – 150 menit dengan laju aliran air 0,5 liter/menit – 2,5 liter/menit.

Kapasitas kalor yang dibuang di kondensor dari sebuah mesin refrigerasi dengan SKU, bergantung pada kapasitas pendinginan mesin di evaporator. Kalor yang dibuang di kondensor makin besar jika kapasitas pendinginan mesin di evaporator juga besar, artinya potensi pemanfaatan kalor buang tersebut sebagai pengematan energi untuk keperluan pemanasan air juga semakin besar pula. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi energi (kalor) yang dibuang di kondensor dari AC sentral yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pemanasan air di perhotelan.

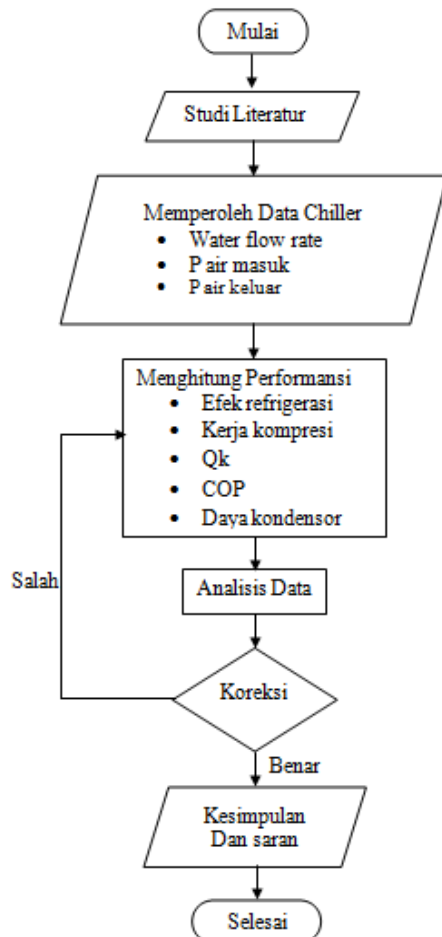
METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir metodologi penelitian (Gambar 1.) Perhitungan potensi panas buang yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air didasarkan pada prinsip-prinsip termodinamika sebuah mesin refrigerasi sistem SKU pada kondisi siklus ideal, spesifikasi AC sentral yang diteliti dan data hasil pengujian yang diperoleh.

Proses pengambilan data dilakukan pada sebuah Hotel di kota Pekanbaru yang menggunakan AC sentral untuk pengkondisian udaranya. Proses pengkondisian udara pada hotel ini dilakukan oleh 3 buah *chiller*, dengan beban pendinginan berasal dari seluruh area dalam hotel, tidak termasuk gedung pertemuan. *Chiller* yang dioperasikan pada penggunaan sehari-hari hanya 2 buah *chiller* yaitu *chiller* II dan *chiller* III, dengan beban pendingin 120 TR. Sedangkan *chiller* yang tidak digunakan (*Chiller* I) berfungsi sebagai *chiller* cadangan yang akan dioperasikan jika terjadi kerusakan pada salah satu dari *chiller* yang beroperasi.

Chiller yang digunakan adalah tipe *modular chiller* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Masing-masing *modular chiller* memiliki 6 buah modul yang bekerja secara bergantian dengan

pengendalian temperatur evaporator pada 6°C. Modul 1 memiliki perbedaan dengan dengan modul 2 - 6, dimana modul 1 terdiri atas 3 siklus kompresi uap, sedangkan modul 2 - 6 hanya terdiri atas 2 siklus kompresi uap.



Gambar 1. Metodologi Penelitian



Gambar 2. Modular Chiller dengan 6 modul

Performansi mesin refrigerasi SKU dihitung berdasarkan prinsip keseimbangan termodinamika untuk masing-masing komponen yang terlibat dalam sistem sebagai SKU siklus ideal.

Koefisien prestasi dihitung berdasarkan manfaat yang diperoleh dari mesin refrigerasi, apakah sebagai pendingin (refrigerasi) atau sebagai pemanas (pompa kalor) atau kedua-duanya.

Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan (Q_L) atau efek refrigerasi (*refrigeration effect*) merupakan jumlah energi yang diserap oleh refrigeran di evaporator dalam basis massa (Arora C.P., 2001).

$$Q_L = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad (1)$$

dimana h_1 dan h_4 adalah entalpi refrigeran yang keluar dan masuk ke evaporator.

Kerja Kompresi (w_k)

Besarnya kerja kompresi (w_k) sama dengan selisih entalpi uap refrigeran yang keluar kapasitas pendingin kompresor dengan entalpi uap refrigeran yang masuk ke kompresor (Arora C.P., 2001).

$$w_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad (2)$$

dimana h_2 adalah entalpi uap refrigeran yang keluar kompresor.

Kalor yang dibuang di Kondensor (Q_k)

Kalor yang dibuang oleh refrigeran di kondensor sama dengan kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator ditambah dengan kalor yang setara dengan kerja kompresi di kompresor. Q_k dinyatakan sebagai berikut (Arora C.P., 2001).

$$Q_k = h_2 - h_3 \quad (3)$$

$$\text{atau } Q_k = w_k + Q_L \quad (4)$$

dimana h_3 adalah entalpi refrigeran yang keluar kondensor

Koefisien Prestasi (COP)

COP (*Coefficient of Performance*) atau koefisien prestasi dipergunakan untuk menyatakan kinerja dari siklus refrigerasi, yaitu perbandingan antara kapasitas pendinginan (Q_L) terhadap kerja kompresi (w_k) (Arora C.P., 2001)

$$\text{COP} = Q_L / w_k \quad (5)$$

Keseimbangan Kalor

Keseimbangan kalor yang terjadi di kondensor dan di evaporator dapat ditentukan dari persamaan (6) dan (7).

a. Keseimbangan kalor di kondensor

Di dalam kondensor, refrigeran akan melepaskan sejumlah kalor dan kalor tersebut akan diserap oleh udara (Dincer, 2010):

$$m_{ref} \cdot (h_2 - h_3) = m_{ud} \cdot C_{pud} \cdot (t_2 - t_1) \quad (6)$$

dimana m_{ref} adalah laju aliran refrigeran (kg/menit), m_{ud} adalah laju aliran massa udara (kg/menit), C_{pud} adalah kapasitas panas jenis udara pada tekanan tetap (kJ/kg K), kemudian t_1 dan t_2 masing-masing adalah temperatur udara masuk dan keluar kondensor ($^{\circ}\text{C}$).

b. Keseimbangan Kalor di Evaporator

Refrigeran akan menyerap kalor yang dilepaskan oleh air sehingga temperatur air keluar evaporator menjadi turun atau rendah. Keseimbangan kalor di evaporator dapat dihitung dengan persamaan:

$$m_{air} \cdot C_{air} \cdot (t_1 - t_2) = m_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \quad (7)$$

dimana m_{air} adalah Laju aliran massa air (kg/menit), C_{air} adalah kapasitas panas jenis air (kJ/kg $^{\circ}\text{K}$), t_1 & t_2 adalah temperatur air masuk dan keluar evaporator ($^{\circ}\text{C}$), m_{ref} adalah laju aliran massa refrigeran (kg/menit), h_1 dan h_4 adalah entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator (kJ/kg)

Daya yang dibuang di kondensor

Besar daya yang dibuang di evaporator ditunjukkan pada persamaan 7.

$$P_{kond} = m_{ref} \cdot (h_2 - h_3) \quad (7)$$

dimana m_{ref} adalah Laju aliran massa refrigeran (kg/menit).

Modul yang aktif pada *chiller* saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

- *Chiller* II : Modul 1, modul 3 dan modul 5
- *Chiller* III : Modul 3 dan modul 5

HASIL DAN PEMBAHASAN

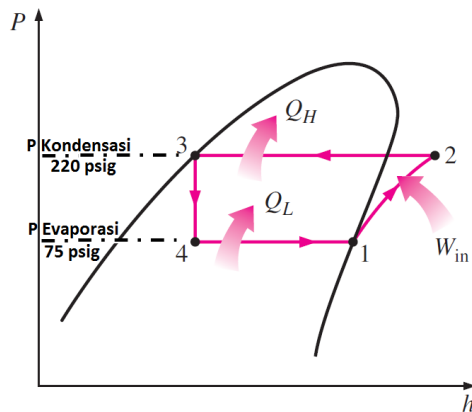
Data tekanan pada *Modular Chiller* yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pada Modul 1
Tekanan kondensasi = 220 psig
Tekanan evaporasi = 75 psig
- Pada Modul 3 dan Modul 5 (rata-rata)
Tekanan kondensasi = 216 psig
Tekanan evaporasi = 78 psig

Berdasarkan pada diagram hubungan temperatur (T) dengan entropi (s) dan tekanan (P) dengan entalpi (h) untuk siklus kompresi uap ideal serta tabel sifat-sifat termodinamika (Stoecker, 1996), maka dapat diperoleh sifat-sifat termodinamika refrigeran R22 untuk Modul 1 dan Modul 3 dan Modul 5.

Diagram tekanan (P) dan entalpi (h) *Modular Chiller* untuk Modul 1 dapat

dilihat pada Gambar 2. Sedangkan diagram tekanan (P) dan entalpi (h) *Modular Chiller* untuk Modul 3 dan Modul 5 dapat dilihat pada Gambar 3.

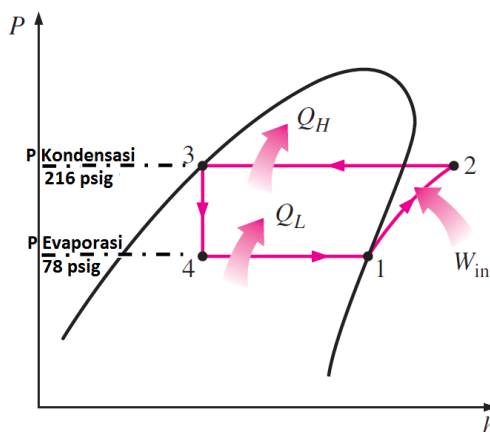


Gambar 2. Diagram P- h *Modular Chiller* pada Modul 1 (diadaptasi dari Cengel, 2011)

Hasil perhitungan sifat-sifat termodinamika refrigeran R-22 dari *Modular Chiller* Modul 1 ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat Termodinamika R-22 Modul 1

Sifat	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4
Tekanan (kPa)	517,1	1516,8	1516,8	517,1
Temperatur (°C)	1,184	39,55	39,55	1,184
Enthalpy (kJ/kg)	405,8	432,8	249,1	249,1
Entropy (kJ/kg K)	1,7501	1,7501		



Gambar 3. Diagram P- h *Modular Chiller* pada Modul 3 dan Modul 5 (diadaptasi dari Cengel, 2011)

Hasil perhitungan sifat-sifat termodinamika refrigeran R-22 dari *Modular Chiller* Modul 3 dan Modul 5 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat Termodinamika R-22 Modul 3 dan Modul 5

Sifat Termofisik	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4
Tekanan (kPa)	537,791	1489,267	1489,267	537,791
Temperatur (°C)	2,404	38,8	38,8	2,404
Enthalpy (kJ/kg)	406,225	432,258	248,09	248,09
Entropy (kJ/kg K)	1,7483	1,7483		

Performansi *Modular Chiller* pada Modul 1, Modul 3 dan Modul 5 dihitung menggunakan persamaan 1 sampai dengan persamaan 7. Hasil perhitungan performansi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Performansi *Modular Chiller* (Modul 1, Modul 3 dan Modul 5)

Performansi	Modul 1	Modul 3 & 5
QL	156,7007 kJ/kg	158,135 kJ/kg
wk	27,05192 kJ/kg	26,003 kJ/kg
Qk	183,7526 kJ/kg	184,168 kJ/kg
COP	5,792591	6,08
P _{kond}	45,846 kJ/s	45,618 kJ/s
T _{2'}	57,78 °C	57,12 °C

Besar kalor yang terbuang di kondensor pada Modul 1 cenderung sama dibandingkan dengan kalor yang terbuang pada Modul 3 dan Modul 5, hal ini disebabkan karena nilai *water flow rate* pada Modul 1 juga cenderung sama dari Modul 3 dan Modul 5.

Setelah dilakukan perhitungan performansi *Modular Chiller* dapat diketahui total kalor yang dibuang di kondensor dan daya yang dibuang di kondensor serta dapat diketahui suhu buang kompresor (lihat Tabel 3), sebagai berikut:

1. Total kalor spesifik yang terbuang di kondensor yang berpotensi sebagai pemanas air adalah:

$$\begin{aligned} Q_k &= Q_{k \text{ CII M1}} + Q_{k \text{ CII M3}} + Q_{k \text{ CII M5}} + Q_{k \text{ CIII M3}} + Q_{k \text{ CIII M5}} \\ &= 183,7526 \text{ kJ/kg} + 184,168 \text{ kJ/kg} + 184,168 \text{ kJ/kg} + 184,168 \text{ kJ/kg} + 184,168 \text{ kJ/kg} \\ &= 920,4246 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Total Daya atau panas yang dibuang di kondensor

$$\begin{aligned} P_{\text{kond}} &= P_{\text{kond CII M1}} + P_{\text{kond CII M3}} + P_{\text{kond CII M5}} + P_{\text{kond CIII M3}} + P_{\text{kond CIII M5}} \\ &= 45,846 \text{ kJ/s} + 45,618 \text{ kJ/s} + 45,618 \text{ kJ/s} + 45,618 \text{ kJ/s} + 45,618 \text{ kJ/s} \\ &= 228,318 \text{ kJ/s} \\ &= 228,318 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Temperatur buang kompresor pada Modul 1 adalah sebesar 57,78 °C dan temperatur buang kompresor pada modul 3 dan Modul 5 adalah sebesar 57,12 °C.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa total kalor spesifik yang terbuang di kondensor yang berpotensi sebagai pemanas air adalah sebesar 920,4246 kJ/kg dengan total total daya atau kalor yang dibuang di kondensor sebesar 228,318 kW. Temperatur buang kompresor maksimum yang dapat dimanfaatkan sebagai pemanasan air adalah sebesar 57,78 °C. Karena kalor buang kondensor yang cukup besar maka pemanfaatan energi panas buang kondensor AC tersebut cukup efektif untuk memanaskan air untuk kebutuhan perhotelan.

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 Pengering (Drying Room)*, Tesis Pascasarjana, Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana ITB.
- Arora, C. P., 2001., *Refrigeration and Air Conditioning*, Second edition, Tata McGraw-Hill Inc., Singapore.
- 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 .
- Dincer, Ibrahim., 2010, *Refrigeration System and Applications*, Second Edition, Wiley, UK.
- Ji, Jie., Chow, Tin-tai., Pei, Gang., Dong, Jun., dan He, Wei., 2003, 'Performance of Multi-functional Domestic Heat-pump System', *Applied Thermal Engineering*, vol 23, pp. 581-592
- Ji, Jie., Pei, Gang., Chow, Tin-Tai., He, Wei., Zhang, Aifeng., Dong, Jun., dan Yi, Hua., 2005, 'Performance of multi-functional domestic heat-pump system', *Applied Energy*, vol 80, pp. 307-326.
- Jia, Jie dan Lee, W.L., 2014, 'Applying storage-enhanced heat recovery room air-conditioner (SEHRAC) for domestic water heating in residential buildings in Hongkong', *Energy and Buildings*, vol. 78, pp. 132 -142.

- Kongre, U. V. Chiddarwar, A. Dhumatkar, R. P. C. dan Ari S, A.B., 2013, 'Testing and Performance Analysis on Air Conditioner cum Water Dispenser', *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol 4, pp. 772-775.
- Liu, Fei., Huang, Hui., Ma, Yingjiang., dan Zhuang, Rong., 2008, 'Research on The Air Conditioning Water Heater System', *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, Purdue University, paper 893.
- Mainil, Rahmat Iman., dan Mainil Afdhal Kurniawan., 2011, 'Simulasi Pemanfaatan Panas Buang *Chiller* untuk Kebutuhan Air Panas di Perhotelan', *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 94-103.
- Rahman, M. M., Wai Meng, Chin., dan Ng, Adrian., 2007, 'Air Conditioning and Water Heating-An Environmental Friendly and Cost Effective Way of Waste Heat Recovery', *Journal of Engineering Education*, vol 31, pp. 38-46.
- Rasta, I Made., 2009, 'Pemanfaatan Energi Panas Terbuang pada Kondensor AC Sentral Jenis Water *Chiller* untuk Pemanas Air Hemat Energi', *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, vol. 3 no. 2, pp.114-120.
- Stoecker, F. Wilbert., 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Yilmaz, Mehmet., 2003, 'Performance Analysis of a Vapor Compression Heat Pump Using Zeotropic Refrigerant Mixtures', *Energy Conversion and Management*, vol 44, pp. 267-282.