

ANALISIS PERFORMANSI INTEGRASI *HEAT RECOVERY* PADA SISTEM PENGKONDISIAN DENGAN PENGATURAN DEBIT AIR MASUK

Luh Putu Ike Midiani

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali
Kampus Bukit Jimbaran Badung – Bali
email : ike.midiani@gmail.com

Abstrak : Telah banyak riset yang dilakukan untuk memaksimalkan pemanfaatan panas buang dari sistem pengkondisian udara (AC) untuk pemanasan air. Pemanfaatan panas buang sistem AC dilakukan tanpa mengganggu fungsi dari sistem AC tersebut. Sistem AC dijaga agar tetap dapat bekerja secara simultan sehingga performansi sistem dapat meningkat.

Dalam penelitian ini sebuah unit *heat recovery* diintegrasikan untuk memanfaatkan uap superheat dari kerja kompresi pada sistem AC. Unit *heat recovery* diuji performansi energi berdasarkan pengaturan debit air masuk *heat recovery*. Debit air masuk ke *heat recovery* akan mempengaruhi laju aliran massa dan laju aliran massa akan mempengaruhi jumlah panas yang dapat direcovery. Pengaturan debit air masuk *heat recovery* diperlukan untuk menjaga agar panas yang ditransfer ke air dan panas yang akan digunakan untuk kerja kondensor tetap seimbang, sehingga performansi dari sistem AC tetap dapat terjaga.

Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa pengaturan debit air masuk ke *heat recovery* akan mempengaruhi jumlah panas yang direcovery. Panas yang dapat direcovery meningkat sebanding dengan meningkatnya debit air masuk *heat recovery*. Peningkatan ini dapat berbanding lurus disebabkan hanya laju alir massa yang berpengaruh terhadap panas yang dapat direcovery, sedangkan c_p dan ΔT_{HE} adalah tetap. Selanjutnya pengaturan debit air masuk *heat recovery* melalui perhitungan ini akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan jumlah panas yang akan direcovery sehingga didapatkan COP yang terbaik.

Kata kunci: *heat recovery, air conditioning, performansi, debit air*

Abstract : There has been a lot of research undertaken to maximize heat disposal from air conditioning (AC) to boil water. The utilization of AC heat disposal has been done without disturbing the AC system and function. The system is protected in order for it work simultaneously that its performance increases.

In this research a heat recovery unit is integrated to utilize superheat steam of compression on AC system. The unit energy performance was examined pursuant to water debit adjustment entering into heat recovery. The water debit will influence mass stream rapidly which then will influence heat amount that can be recovered. The adjustment of water debit is required to balance of heat transferred to water and that which will be used for condenser. This is done to keep AC system performance.

The research result indicated that adjusting entering water debit to heat will influence the amount of heat recovered. The recovered heat increases in line with increase of entering water debit into heat recovery. The increase is in line as the result of mass stream rapidity to recovered heat, however, c_p and ΔT_{HE} is constant. The adjustment of entering water debit to heat recovery will be used as reference to determine amount of heat that will be recovered that the COP is obtained.

Key words : *heat recovery, air conditioning, performance, water debit.*

I PENDAHULUAN

Saat ini sistem air conditioning (AC) atau pengkondisian udara merupakan sebuah kebutuhan untuk mendapatkan suatu kondisi yang nyaman yang mampu mendukung aktivitas manusia dalam kehidupan sehari-hari. Sistem AC ini merupakan suatu sistem yang didesain untuk mengambil panas dari daerah bertemperatur rendah (ruang interior yang dikondisikan) ke daerah bertemperatur tinggi (temperatur lingkungan luar). Panas yang dibuang ke lingkungan pada kondensor ini merupakan panas yang berasal dari efek refrigerasi dan kerja kompresi. Proses pelepasan panas yang terjadi ini selain dilepaskan langsung ke lingkungan luar, juga dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan sirkulasi air,

seperti yang terjadi pada sistem *cooling tower*. Sistem pengkondisian udara ini biasanya disebut dengan sistem water chiller. Bila dipandang dari sudut konversi energi, pelepasan panas ini masih dapat dimanfaatkan untuk kerja lain yang bermanfaat. Secara teori dan aplikasi penggunaan panas yang terbuang ini masih dapat dimanfaatkan untuk pemanasan air (water heating) [1].

Berdasarkan fakta tersebut, telah banyak dilakukan riset untuk memaksimalkan pemanfaatan panas ini sebagai pemanasan air (*domestic hot water*). Pemanfaatan panas ini dapat dilakukan melalui berbagai jenis piranti penukar kalor (*heat exchanger*) seperti misalnya memodifikasi sistem air conditioning dengan heat pump. Penelitian ini telah dilakukan oleh

Hepbasli[2]. Pemanfaatan panas ini harus diperhitungkan juga agar tidak mengganggu kerja atau fungsi dari sistem air conditioning atau *heat pump* itu sendiri. Dengan adanya pemanfaatan panas yang terbuang dan menjaga kerja sistem AC tetap dapat bekerja secara simultan, merupakan suatu usaha untuk meningkatkan efisiensi energy dari sistem itu sendiri.

Di pasaran nasional sendiri pemanas air dengan memanfaatkan panas kompresi pada sistem air conditioning (AC water heater) maupun heat pump telah banyak beredar (merk Wika dan Mizui). Cara kerja AC water heater tersebut adalah memanfaatkan *tubular concentric heat exchanger* yang ditempatkan pada tabung air untuk mengambil panas *superheat* suatu refrigerant yang keluar dari pipa *discharge* kompresor. Kapasitas dari alat ini sangat tergantung dari kapasitas AC, kapasitas dan model *heat exchanger* dan tabung air yang digunakan. Air panas yang dihasilkan dapat mencapai temperatur 40° Celcius. Tetapi hasil pemanasan air alat tersebut masih mempunyai berbagai kelemahan dan keterbatasan. Salah satunya yang sudah jelas adalah terbatasnya level temperatur yang dapat dicapai. Hal ini dikarenakan kondisi dari sistem refrigerasi itu sendiri, temperatur kondensasi maksimum untuk refrigerant R22 dan R134 adalah 60°C. Sedangkan pada pada kompresor maksimum *superheat* yang diijinkan adalah 95°C. Jika melebihi dari itu maka sistem pelumasannya akan terganggu. Berikut adalah berbagai riset yang memanfaatkan panas buang sistem AC atau *heat pump* yang biasa disebut sebagai AC water heater atau *heat pump water heater*, yaitu:

Telah dilakukan penelitian tentang *heat pipe enhanced solar assisted heat pump water heater* (HPSAHP) [3], yang mempelajari kombinasi dari performansi dari heat pump konvensional dan *solar collector heat pipe*. Uji pada unit outdoor pada kajian ini menunjukkan bahwa COP dari sistem hybrid ini dapat mencapai 3,32. Naik 28,7 % dibandingkan dengan COP konvensional *heat pump*.

Penelitian yang lain tentang analisis terhadap performansi *direct expansion solar assisted heat pump* (DX-SAHP) untuk beberapa refrigerant[4]. Hasil kajiannya menyatakan bahwa R12 memberikan nilai COP heat pump yang tertinggi, diikuti dengan R22 dan R134A. Untuk mixture refrigerant R410 menunjukkan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan R407C atau R404A.

Hasil penelitian yang melakukan investigasi DX SAHP dengan kompresor rotary berkecepatan konstan, koil kondenser yang tercelup dan dengan evaporator/kolektor plat aluminium, menyatakan bahwa COP yang didapatkan mencapai 6,61 selama tengah hari dan 3,1 pada malam hari [5].

Investigasi pada aplikasi sistem IX SAHP untuk produksi air panas di Hongkong dilakukan. Sebuah model matematis dari sistem dikembangkan untuk memprediksi performansi operasi dari sistem dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah. Hasilnya

bahwa performansi sistem sangat dipengaruhi oleh perubahan laju aliran sirkulasi, luasan area solar kolektor dan temperatur air pada *preheating solar tank*[6].

Selanjutnya hal penting yang harus diperhitungkan dalam perancangan pemanfaatan panas buang dari sistem AC ini adalah koefisien performansi (COP). Semakin besar harga koefisien performansi (COP) maka semakin baik kerja dari sistem refrigerasi tersebut. COP ini identik dengan efisiensi pada motor bakar. Kalau efisiensi biasanya nilainya lebih kecil dari 1 sedangkan COP biasanya lebih besar dari 1.

Pengertian performansi atau yang lebih dikenal dengan koefisien performansi (COP : *Coefficient Of Performance*) merupakan perbandingan antara kapasitas refrigerasi (KR) dengan daya (P_k) yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor. Untuk satu-satuan massa refrigeran maka koefisien performansi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara efek refrigerasi (ER) sistim dengan kerja (W_k) yang dibutuhkan untuk mengkompresi refrigeran di kompresor. Makin besar nilai COP makin baik kinerja sistim refrigerasi itu. COP merupakan besaran tanpa dimensi sehingga:

$$COP = KR / P_k \text{ atau}$$

$$COP = ER / W_k$$

Untuk memperoleh hasil yang baik, pengukuran performansi tidak hanya dilakukan pada sistem AC saja, pengukuran performansi juga dilakukan pada sistem *heat recovery*. *Heat recovery* pada unit AC pada dasarnya adalah sebuah penukar kalor (*heat exchanger*). Penukar kalor merupakan suatu piranti yang memfasilitasi perpindahan panas diantara aliran 2 atau 3 fluida pada temperatur yang berbeda. *Heat recovery* pada sistem AC telah banyak diaplikasi baik pada AC split maupun water chiller. Besarnya panas yang dapat dipindahkan dapat dihitung dengan rumus:

$$\dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,in} - T_{h,out}) \text{ dan}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,out} - T_{c,in})$$

Dengan subscript *c* dan *h* untuk fluida dingin dan panas berturut-turut. Fluida panas dalam hal ini merupakan refrigeran yang keluar dari kompresor (*superheat gas*) dan fluida dingin adalah air atau media penyerap panas lainnya. Dari rumus tersebut menyatakan bahwa besarnya panas yang diterima akan dipengaruhi oleh laju aliran massa fluida (*m*), baik itu refrigeran atau air yang akan digunakan sebagai fluida penukar panas. Laju aliran massa ini memiliki komponen pendukung debit dan berat jenis dari fluida yang digunakan.

Pada sistem AC yang menggunakan/memanfaatkan *heat recovery* COP nya akan menjadi seperti rumus berikut :

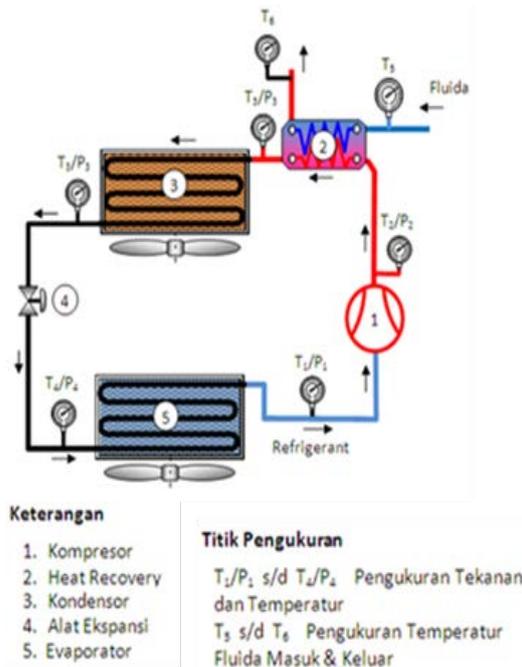
$$COP_{DHR} = \frac{Q_{evap} + Q_{HRHE}}{W_{kp}}$$

Penelitian ini dilakukan di Bali yang akan memvariasikan debit dari fluida kerja (air) pada sistem

heat recovery yang diintegrasikan pada sistem AC. Dicari bagaimana pengaruh variasi debit air yang dipanaskan pada heat recovery terhadap performansi sistem AC.

II METODE PENELITIAN

Rancangan pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat seperti pada gambar 1. Terdapat enam titik pengukuran yang akan dilakukan. Pengambilan data awal merupakan data tentang temperatur dari refrigeran masuk dan keluar dari kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator.



Gambar 1 Titik Pengambilan Data

Pengambilan data temperatur dilakukan bersamaan dengan pengambilan data tekanan masuk dan keluar kompresor. Untuk sistem AC yang terintegrasi dengan heat recovery, akan dilakukan pengambilan data dengan komponen-komponen pengukuran yang sama dengan sistem AC tanpa heat recovery dengan tambahan data temperatur air masuk dan keluar dari heat recovery. Pengambilan data untuk sistem AC yang terintegrasi dengan heat recovery, akan didahului dengan perhitungan variasi debit air masuk pada heat recovery, sehingga selanjutnya perhitungan ini dapat digunakan sebagai acuan pemilihan debit air yang akan digunakan agar memperoleh jumlah besar panas yang terbaik untuk dimanfaatkan sebagai pemanas air.

Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan alat ukur termokopel, dan pengukuran tekanan menggunakan alat ukur manifold gauge. Besarnya arus yang dikonsumsi oleh kompresor diukur dengan tang ampere (energi meter). Proses pengambilan data dilakukan dengan beban pendinginan konstan. Data tersebut diolah dengan program excel, untuk mendapatkan beberapa

parameter yang diperlukan untuk mendapatkan COP sistem AC.

Sistem AC yang terintegrasi dengan heat recovery ini dipengaruhi oleh laju aliran massa air masuk ke heat recovery. Pengaturan debit air masuk ke heat recovery akan dilakukan dengan perencanaan perhitungan terlebih dahulu. Perhitungan dilakukan dengan mengkondisikan bahwa beda temperatur (ΔT_{HE}) air masuk dan keluar dari heat recovery adalah 5°C, 7.5°C, 10°C, 12.5°C, 15°C. Beda temperature yang dipilih tersebut berdasarkan batasan beda temperatur yang diijinkan agar tidak mengganggu kinerja dari sistem AC itu sendiri.

Hasil perhitungan akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan melihat berbagai perbandingan debit air masuk heat recovery pada sistem AC yang menggunakan heat recovery.

III HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan untuk perencanaan debit air masuk heat recovery dilakukan dengan mengkondisikan beda temperatur (ΔT_{HE}) air masuk dan keluar dari heat recovery adalah 5°C, 7.5°C, 10°C, 12.5°C, 15°C. Hasil perhitungan yang telah dilakukan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik berikut :

Tabel 1 Debit air masuk heat recovery dengan berbagai ΔT_{HE}

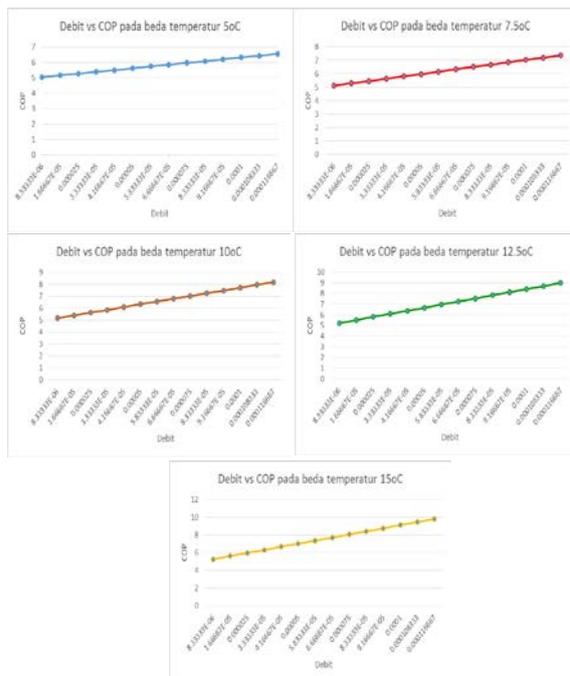
No.	Debit	Berat jenis	Laju alir massa	ΔT_{HE}	cp	Q	COP
1	8.33333E-06	1000	0.008333333	5	4.19	0.174583	5.050731
2	1.66667E-05	1000	0.016666667	5	4.19	0.349167	5.166749
3	0.000025	1000	0.025	5	4.19	0.52375	5.282767
4	3.33333E-05	1000	0.033333333	5	4.19	0.698333	5.398784
5	4.16667E-05	1000	0.041666667	5	4.19	0.872917	5.514802
6	0.00005	1000	0.05	5	4.19	1.0475	5.630819
7	5.83333E-05	1000	0.058333333	5	4.19	1.222083	5.746837
8	6.66667E-05	1000	0.066666667	5	4.19	1.396667	5.862855
9	0.000075	1000	0.075	5	4.19	1.57125	5.978872
10	8.33333E-05	1000	0.083333333	5	4.19	1.745833	6.09489
11	9.16667E-05	1000	0.091666667	5	4.19	1.920417	6.210908
12	0.0001	1000	0.1	5	4.19	2.095	6.326925
13	0.000108333	1000	0.108333333	5	4.19	2.269583	6.442943
14	0.000116667	1000	0.116666667	5	4.19	2.444167	6.558961

No.	Debit	Berat jenis	Laju alir massa	ΔT_{HE}	cp	Q	COP
1	8.33333E-06	1000	0.008333333	7.5	4.19	0.261875	5.10874
2	1.66667E-05	1000	0.016666667	7.5	4.19	0.52375	5.282767
3	0.000025	1000	0.025	7.5	4.19	0.785625	5.456793
4	3.33333E-05	1000	0.033333333	7.5	4.19	1.0475	5.630819
5	4.16667E-05	1000	0.041666667	7.5	4.19	1.309375	5.804846
6	0.00005	1000	0.05	7.5	4.19	1.57125	5.978872
7	5.83333E-05	1000	0.058333333	7.5	4.19	1.833125	6.152899
8	6.66667E-05	1000	0.066666667	7.5	4.19	2.095	6.326925
9	0.000075	1000	0.075	7.5	4.19	2.356875	6.500952
10	8.33333E-05	1000	0.083333333	7.5	4.19	2.61875	6.674978
11	9.16667E-05	1000	0.091666667	7.5	4.19	2.880625	6.849005
12	0.0001	1000	0.1	7.5	4.19	3.1425	7.023031
13	0.000108333	1000	0.108333333	7.5	4.19	3.404375	7.197058
14	0.000116667	1000	0.116666667	7.5	4.19	3.66625	7.371084

No.	Debit	Berat jenis	Laju alir massa	ΔT_{HE}	cp	Q	COP
1	8.33333E-06	1000	0.008333333	10	4.19	0.349167	5.166749
2	1.66667E-05	1000	0.016666667	10	4.19	0.698333	5.398784
3	0.000025	1000	0.025	10	4.19	1.0475	5.630819
4	3.33333E-05	1000	0.033333333	10	4.19	1.396667	5.862855
5	4.16667E-05	1000	0.041666667	10	4.19	1.745833	6.09489
6	0.00005	1000	0.05	10	4.19	2.095	6.326925
7	5.83333E-05	1000	0.058333333	10	4.19	2.444167	6.558961
8	6.66667E-05	1000	0.066666667	10	4.19	2.793333	6.790996
9	0.000075	1000	0.075	10	4.19	3.1425	7.023031
10	8.33333E-05	1000	0.083333333	10	4.19	3.491667	7.255066
11	9.16667E-05	1000	0.091666667	10	4.19	3.840833	7.487102
12	0.0001	1000	0.1	10	4.19	4.19	7.719137
13	0.000108333	1000	0.108333333	10	4.19	4.539167	7.951172
14	0.000116667	1000	0.116666667	10	4.19	4.888333	8.183207

No.	Debit	Berat jenis	Laju alir massa	ΔT_{HE}	cp	Q	COP
1	8.33333E-06	1000	0.008333333	12.5	4.19	0.436458	5.224758
2	1.66667E-05	1000	0.016666667	12.5	4.19	0.872917	5.514802
3	0.000025	1000	0.025	12.5	4.19	1.309375	5.804846
4	3.33333E-05	1000	0.033333333	12.5	4.19	1.745833	6.09489
5	4.16667E-05	1000	0.041666667	12.5	4.19	2.182292	6.384934
6	0.00005	1000	0.05	12.5	4.19	2.61875	6.674978
7	5.83333E-05	1000	0.058333333	12.5	4.19	3.055208	6.965022
8	6.66667E-05	1000	0.066666667	12.5	4.19	3.491667	7.255066
9	0.000075	1000	0.075	12.5	4.19	3.928125	7.54511
10	8.33333E-05	1000	0.083333333	12.5	4.19	4.364583	7.835154
11	9.16667E-05	1000	0.091666667	12.5	4.19	4.801042	8.125199
12	0.0001	1000	0.1	12.5	4.19	5.2375	8.415243
13	0.000108333	1000	0.108333333	12.5	4.19	5.673958	8.705287
14	0.000116667	1000	0.116666667	12.5	4.19	6.110417	8.995331

No.	Debit	Berat jenis	Laju alir massa	ΔT_{HE}	cp	Q	COP
1	8.33333E-06	1000	0.008333333	15	4.19	0.52375	5.282767
2	1.66667E-05	1000	0.016666667	15	4.19	1.0475	5.630819
3	0.000025	1000	0.025	15	4.19	1.57125	5.978872
4	3.33333E-05	1000	0.033333333	15	4.19	2.095	6.326925
5	4.16667E-05	1000	0.041666667	15	4.19	2.61875	6.674978
6	0.00005	1000	0.05	15	4.19	3.1425	7.023031
7	5.83333E-05	1000	0.058333333	15	4.19	3.66625	7.371084
8	6.66667E-05	1000	0.066666667	15	4.19	4.19	7.719137
9	0.000075	1000	0.075	15	4.19	4.71375	8.06719
10	8.33333E-05	1000	0.083333333	15	4.19	5.2375	8.415243
11	9.16667E-05	1000	0.091666667	15	4.19	5.76125	8.763296
12	0.0001	1000	0.1	15	4.19	6.285	9.111348
13	0.000108333	1000	0.108333333	15	4.19	6.80875	9.459401
14	0.000116667	1000	0.116666667	15	4.19	7.3325	9.807454



Gambar 2 Grafik Debit vs COP pada berbagai kondisi beda temperature air masuk *heat recovery*

Pengaturan debit air masuk *heat recovery* akan mempengaruhi COP dari sistem AC. Secara teoritis dengan mengkondisikan beda temperatur (ΔT_{HE}) 5°C dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya debit air masuk *heat recovery*, COP sistem AC juga akan meningkat. Hal ini terjadi karena ΔT_{HE} dikondisikan tetap atau tidak berubah sehingga Q_{HRHE} hanya dipengaruhi oleh m_{HW} . Namun hal ini akan menjadi berbeda bila ΔT_{HE} tidak dikondisikan sebesar 5°C atau berubah sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan.

IV SIMPULAN

Perencanaan debit air masuk *heat recovery* dengan mengkondisikan beda temperatur (ΔT_{HE}) air masuk dan keluar dari *heat recovery* sebesar 5°C, 7.5°C, 10°C, 12.5°C, 15°C ini menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar debit masuk *heat recovery* maka semakin besar panas yang dapat direcovery. Panas yang dapat direcovery meningkat sebanding dengan meningkatnya debit air masuk *heat recovery*. Peningkatan ini dapat berbanding lurus disebabkan hanya laju alir massa yang berpengaruh terhadap panas yang dapat direcovery, sedangkan cp dan ΔT_{HE} adalah tetap. Laju aliran massa disini dipengaruhi oleh debit air masuk *heat recovery*. Peningkatan panas yang dapat direcovery ini juga akan menyebabkan performansi (COP) dari sistem AC meningkat.

Selanjutnya pengaturan debit air masuk *heat recovery* melalui perhitungan ini akan digunakan sebagai acuan untuk pengambilan data bila beda temperatur air masuk *heat recovery* tidak dikondisikan. Jumlah panas yang dapat direcovery ini juga harus diperhitungkan agar seimbang antara panas untuk *heat recovery* dan panas untuk kerja kondensor, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk berapa panas yang diperlukan untuk kerja kondensor. Apabila tidak seimbang, hal ini justru akan menurunkan performa dari sistem AC itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Janargin, E Ronald,(2010), Heat Recovery from Air Conditioning Units, Fact Sheet EES-26, University Of Florida.
- [2] Hepbasli A (2007). Exergetic modeling and assessment of solar assisted domestic hot water tank integrated ground-source heat pump systems for residences. *Energy and Buildings*; 39:1211–7
- [3] Huang BJ, Lee JP, Chyng JP (2005). Heat-pipe enhanced solar-assisted heat pump water heater. *Solar Energy*; 78:375–81.
- [4] Gorozabel Chata, F.B., S.K. Chaturvedi, and A. Almogbel, (2005), “Analysis of a direct expansion solar assisted heat pump using different refrigerants”, *Energy Conversion and Management*, 46(15-16):p. 2614-2624
- [5] Li YW, Wang RZ, Wu JY, Xu YX.,(2007), Experimental performance analysis on a direct-expansion solar-assisted heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 27(17-18): p. 2858-2868.
- [6] Li, H. and Yang, H., (2010), Study on performance of solar assisted air source heat pump systems for hot water production in Hong Kong. *Applied Energy*, 87(9): p. 2818-2825.
- [7] Adriansyah, Willy, (2001), “Combined Air Conditioning and Tap water Heating Plant

- using CO₂ as Refrigerant for Indonesian Climate Condition”
- [8] BPS, (2013), “Bali dalam angka 2011”, Biro Pusat Statistik (BPS) Propinsi Bali, dapat diakses di: <http://bali.bps.go.id/> (diakses:15/04/2013).
- [9] Cengel, Yunus A. (2005), “Heat Transfer, A Practical Approach”, McGraw-Hill Comp, Int. Ed.
- [10] Chow, T.T. (2010), “Modeling and application of direct-expansion solar-assisted heat pump for water heating in subtropical Hong Kong”, *Applied Energy*,87(2): p. 643-649.
- [11] Chyng JP, Lee CP, Huang BJ(2003),“Performance analysis of a solar-assisted heat pump water heater”,*Solar Energy*; 33–44.
- [12] Gaugler, Richard., “Heat Transfer Divices”, U.S. Patent Office, Ohio, 4,2350348, 1994.
- [13] Gunerhan H, Hepbasli A (2007). Exergetic modeling and performance evaluation of solar water heating systems for building applications. *Energy and Buildings*;39:509–16
- [14] Guoying X, Xiaosong Z, Shiming D (2006). A simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*; 26:1257–65.
- [15] Haughton E., (1997), Energy Efficiency In The Hotel Sector In Jamaica, Roundtable on Energy Efficiency-Tourism Sector, Kingston, Jamaica.
- [16] Hawlader MNA, Chou SK, Jahangeer KA, Rahman SMA, Eugene Lau KW (2003), Solar assisted heat-pump dryer and water heater. *Applied*;74:185–93.
- [17] Ji J, Chow T, Pei G, Dong J, He W.(2003). Domestic air-conditioner and integrated water heater for subtropical climate. *Applied Thermal Engineering*; 23:581–92.
- [18] Kara O, Ulgen K, Hepbasli A.(2008), Exergetic assessment of direct-expansion solarassisted heat pump systems: review and modeling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*;12(5):1383–401.
- [19] Kim M, Kim MS, Chung JD, .(2004), Transient thermal behavior of a water heater system driven by a heat pump. *International Journal of Refrigeration* 27:415–2.
- [20] Purwanto, W.W., Nugroho, Y.S., Dalimi, R., Soepardjo, A.H., Wahid, A., Supramono, D., Herminna, D., Adilina, T.A. (2006). *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2006*, Jakarta: Pengkajian Energi Universitas Indonesia
- [21] Sivaraman, Krishna, N Mohan, (2005), Experimental Analysis of Heat Pipe Solar Collector with different L/di Ratio of Heat Pipe. *Journal of Scientific & Industrial Research* Vol. 64, pp 698-701.
- [13] Susila, Dewa Made, (2011), Pengaruh perubahan laju aliran volume air terhadap temperatur air panas pada heat recovery sistem AC jenis water chiller, *Jurnal Logic* Vol 11 No.2 Juli 2011.
- [14] Ta, I Ketut, Sukarma, I Nyoman (2011), Efisiensi Energi di Hotel dengan menggunakan Heat Recovery System (HRS). *Jurnal logic* Volume 11 No.1 Maret 2011.
- [15] Tildsley, S., dan Courtman, D., (2002), *Plumbing engineering services: Design Guide*, the Institute of Plumbing, United Kingdom.
- [16] Xu, G., X. Zhang, and S. Deng, (2006), Experimental study on the operating characteristics of a novel low-concentrating solar photovoltaic/thermal integrated heat pump water heating system. *Applied Thermal Engineering*. In Press, Corrected Proof.
- [17] Zhang J, Wang RZ, Wu JY.(2007), System optimization and experimental research on air source heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*; 27:1029–3.