

POMPA KALOR TEMPERATUR TINGGI BERBANTUAN ENERGI SURYA: DESAIN DAN PENGUJIAN

Djuanda¹, Aryadi Suwono², Ari Darmawan Pasek², Nathanael P. Tandian², Muharram³

¹Universitas Negeri Makassar, Kampus UNM Parangtambung Makassar
022-2502342, djuanda@students.itb.ac.id

²Teknik Mesin Institut Teknologi Bandung
Lab. Termodinamika PPAU-IR ITB

³Teknik Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Politeknik Negeri Bandung

ABSTRAK

Pompa kalor adalah sistem konversi energi yang menawarkan teknologi untuk memanfaatkan sumber-sumber kalor yang tersedia di lingkungan seperti dari udara, tanah, air, matahari maupun sumber lainnya menjadi kalor yang berguna. Dengan menggunakan sedikit masukan energi, pompa kalor dapat meningkatkan temperatur ruangan maupun air ke temperatur yang diinginkan.

Penelitian ini menggunakan pompa kalor kompresi uap dengan mengkonversi kalor masukan pada evaporator. Sistem terbagi atas dua bagian yaitu sub-sistem energi surya yang digunakan sebagai sumber kalor, dan yang kedua adalah sub-sistem pompa kalor. Sub-sistem energi surya menggunakan solar kolektor jenis CPC serta penyimpan kalor menggunakan parafin.

Sub-sistem pompa kalor terdiri dari steam generator vertikal yang berfungsi sebagai kondensor, selain itu terdapat peralatan double pipe internal heat exchanger, preheater, dan evaporator. Sebagai penggerak utama digunakan kompresor torak. Penggunaan konfigurasi ini disesuaikan dengan tujuan utama pompa kalor sebagai penghasil uap.

Evaporator memindahkan energi dari sumber kalor ke refrigeran. Aliran refrigeran dari evaporator melewati penukar kalor internal kemudian dikompresi hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi. Refrigeran kemudian mengalir melalui steam generator, kalor kemudian dipindahkan ke aliran air yang mengalir melalui steam generator sehingga terjadi perubahan fasa menjadi uap. Sebelum memasuki steam generator, air terlebih dahulu dialirkan melalui preheater yang akan meningkatkan temperatur air dari kondisi awal.

Hasil pengujian pompa kalor temperatur tinggi berbantuan pemanas energi surya diperoleh koefisien performansi (COP) pompa kalor ketika evaporator diberi kalor akan mencapai 4 dengan rasio tekanan maksimum yang dapat dicapai adalah 4,4. Temperatur uap keluar steam generator mencapai 120°C. Lift temperatur (perbedaan antara temperatur uap keluar steam generator dan temperatur sumber kalor) dapat mencapai 60°C.

Kata kunci: Pompa kalor temperatur tinggi, energi surya, desain, performansi pompa kalor

1. Pendahuluan

Kepedulian terhadap lingkungan menjadikan fokus akan pemanfaatan sumber-sumber energi yang ramah terhadap lingkungan semakin meningkat. Pengembangan teknologi baru dalam bidang energi, serta aplikasinya dalam kehidupan manusia semata-mata agar suatu teknologi semakin efisien dan berdayaguna.

Dalam bidang pemanas ruangan maupun air, sistem pompa kalor menyediakan teknologi yang efisien dan hemat energi. Sistem ini juga terbukti memberikan kontribusi dalam pengurangan gas-gas yang menyebabkan terjadinya pemanasan global.

Pompa kalor menawarkan teknologi yang dapat memanfaatkan sumber-sumber panas yang tersedia di lingkungan seperti dari udara, tanah, air, matahari maupun sumber lainnya. Dengan menggunakan sedikit energi, pompa kalor dapat meningkatkan temperatur ruangan maupun air ketinggian yang diinginkan.

Pompa kalor juga terbukti mengurangi emisi gas CO₂. Data tahun 1997 menunjukkan total emisi CO₂ global sebesar 22 milyar ton [5]. Dari jumlah tersebut pemakaian energi untuk pemanas ruangan menghasilkan emisi CO₂ 30% sedangkan kegiatan industri menghasilkan emisi sebesar 35%. Dengan



penggunaan pompa kalor maka pengurangan emisi CO₂ dari sektor pemanas ruangan sebesar 31% dibandingkan dengan penggunaan pemanas ruangan dengan menggunakan *oil-fired boiler*. Tahun 2002 Total penghematan emisi CO₂ dengan pemakaian pompa kalor sebesar 1,2 milyar ton, ini berarti sekitar 6% dari total emisi CO₂. Pengurangan emisi ini adalah pengurangan emisi penyebab pemanasan global terbesar yang ditawarkan oleh satu teknologi. Dengan peningkatan efisiensi pembangkit listrik dan pompa kalor diharapkan dimasa depan pengurangan emisi CO₂ dapat mencapai 16%.

Melihat berbagai kelebihan pompa kalor dibandingkan dengan sistem lain, maka pengembangan teknologi pompa kalor sebagai sistem pemanas memiliki prospek yang baik. Teknologi pompa kalor yang terdapat pada negara beriklim dingin lebih banyak ditujukan untuk keperluan pemanas ruangan dan pemanas air, sedangkan untuk daerah tropis seperti Indonesia, pengembangan pompa kalor ditujukan untuk kebutuhan pemanas air dan sistem pengeringan baik untuk perkantoran, hotel maupun industri.

Berbagai jenis pompa kalor saat ini telah tersedia di pasaran pada umumnya dari jenis kompresi uap dengan menggunakan berbagai jenis refrigeran seperti R-22, R114, R-407 maupun R-134a. Karena sistem ini kebanyakan digunakan sebagai pemanas ruangan dan air maka kemampuan pompa kalor saat ini masih terbatas utamanya pada temperatur air yang masih berkisar 60 – 65°C [14]. Beberapa sistem telah dicoba seperti pemakaian siklus EVI (*Enhanced Vapor Injection*) yang dapat menghasilkan temperatur aliran keluaran sampai 90°C [16].

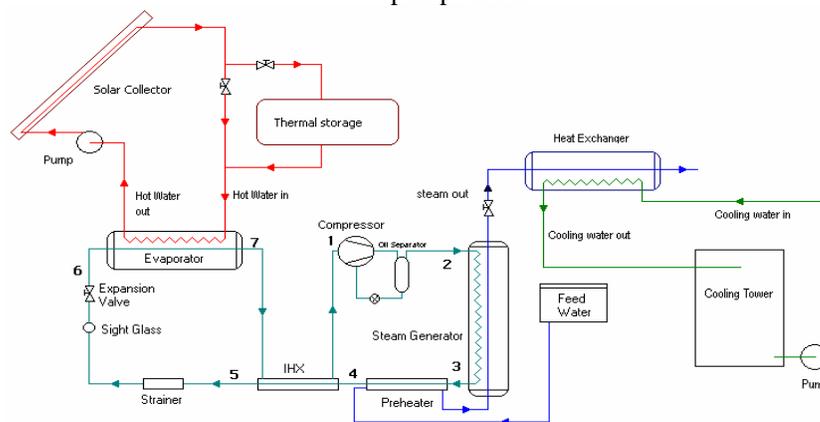
2. Pompa Kalor Temperatur Tinggi

Secara alamiah kalor mengalir dari tempat bertemperatur lebih tinggi ke tempat bertemperatur lebih rendah. Dengan menggunakan sejumlah kecil energi arah aliran dapat dibalik dengan menggunakan teknologi pompa kalor. Teknologi ini bermanfaat karena dapat memindahkan kalor dari sumber-sumber alamiah seperti udara, air, tanah, panas buangan maupun energi surya ke ruangan maupun dimanfaatkan oleh industri.

Terdapat dua jenis utama pompa kalor, yaitu pompa kalor kompresi uap dan pompa kalor absorpsi. Secara teoritis pemompaan kalor dapat dicapai melalui berbagai siklus termodinamika dan proses seperti *Siklus Stirling*, *Siklus Vuilleumier*, *solid-vapor sorbtion system*, *hybrid system* dan proses elektromagnetik dan akustik. Dengan pertimbangan COP yang lebih tinggi maka penelitian ini difokuskan pada pengembangan pompa kalor kompresi uap.

Teori pompa kalor kompresi uap mulai dikembangkan pada akhir abad 19 dan mulai diwujudkan pada permulaan abad 20. Komponen utama dari siklus ini adalah kompresor, alat ekspansi dan dua penukar kalor yang masing-masing berfungsi sebagai evaporator dan kondensator. Pada beberapa sistem pompa kalor CO₂, fungsi kondensator digantikan oleh *gas cooler*.

Pompa kalor temperatur tinggi yang digunakan memanfaatkan sistem kolektor surya sebagai sumber panas serta *steam generator* (pembangkit uap) untuk menggantikan fungsi kondensator. Skema sistem ini dapat dilihat pada Gambar 1, Sistem terbagi atas dua bagian, yaitu sub-sistem pemanas surya yang digunakan sebagai sumber kalor untuk pompa kalor, dan yang kedua adalah sub-sistem pompa kalor.



Gambar 1. Pompa kalor temperatur tinggi berbantuan pemanas energi surya



Evaporator memindahkan energi dari sumber kalor yaitu dari sub-sistem pemanas surya ke sub-sistem pompa kalor. Aliran refrigeran dari evaporator melewati penukar kalor internal kemudian dikompresi di kompresor hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi. Refrigeran kemudian mengalir melalui *steam generator*, kalor kemudian dipindahkan ke aliran air yang mengalir melalui pembangkit uap yang akan merubahnya menjadi aliran uap. Sebelum memasuki pembangkit uap, air terlebih dahulu dialirkan melalui pemanas awal yang akan meningkatkan temperatur air dari kondisi awal.

Beberapa penelitian penggunaan pompa kalor yang dikombinasikan dengan sumber kalor lainnya juga telah dipublikasikan. Odeh dkk [12] melakukan penelitian pada pompa kalor kombinasi energi surya yang menggunakan pemanasan efek ganda pada evaporator. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a dan air digunakan sebagai fluida kerja pada sistem energi surya. Evaporator efek ganda diperoleh dengan menggabungkan kalor yang diperoleh pada evaporator dari air dan udara sekeliling. Laju aliran air yang meningkat pada evaporator akan meningkatkan kalor yang dilepaskan oleh kondensator demikian pula dengan peningkatan temperatur air masuk kondensator akan meningkatkan kalor yang dilepaskan oleh kondensator serta COP pompa kalor.

Pompa kalor dikombinasikan dengan energi surya digunakan oleh Yumrutas dan Kaska [17] untuk keperluan pemanasan ruangan. Pompa kalor menggunakan refrigeran R-22 dan thermal storage menggunakan air sebagai fluida kerjanya. COP pompa kalor berkisar 2.5 untuk cuaca berawan dan 3.5 untuk cuaca terik. Secara keseluruhan COP pompa kalor 15 – 20% lebih rendah dibandingkan dengan COP sistem.

C. Chaichana dkk [18] membandingkan unjuk kerja refrigerant R-22 terhadap refrigeran hidrokarbon (R-290, R-600, R-600a, R-1270), R-717 dan R-744 pada *solar-boosted heat pump*. Hasil analisa menunjukkan bahwa R-717 memiliki keunggulan lebih bila dibandingkan dengan refrigerant lainnya. Dengan tanpa melihat kompatibilitas terhadap

material, R-717 dapat menggunakan compressor R-22. selain itu dengan panas latent yang tinggi massa refrigerant yang dibutuhkan juga semakin kecil. Kelemahan R-717 terletak pada sifatnya yang beracun, korosif terhadap tembaga serta temperatur keluar kompresor yang tinggi yang mencapai 200°C sehingga dapat mengakibatkan dekomposisi dari minyak pelumas. R-290 dan R-1270 dapat langsung disubstitusi ke dalam sistem R-22 dengan sedikit modifikasi untuk pertimbangan keselamatan, hanya saja COP sistem akan sedikit berkurang bila dibandingkan dengan R-22.

Devotta [4] melakukan penelitian berbagai refrigeran sebagai pengganti refrigerant CFC, refrigerant HFE-134 sangat menjanjikan sebagai untuk digunakan pada aplikasi temperatur tinggi sebagai pengganti CFC-114. Sementara untuk pengganti CFC-11 digunakan HCFC-123, sedangkan untuk HFC-245ca dan HFC-143 digunakan sebagai pengganti CFC-11 untuk jangka waktu panjang.

3. Desain Pompa Kalor Temperatur Tinggi

Pompa kalor yang digunakan dalam penelitian ini adalah pompa kalor kompresi uap, yang terdiri dari dua bagian utama; (1) sub-sistem pemanas energi surya, dan (2) sub-sistem pompa kalor.

Sub-sistem pemanas energi surya terdiri dari solar kolektor jenis *vacuum-evacuated tube* tipe CPC (*compound parabolic concentrator*) dengan efisiensi solar kolektor diperoleh dari persamaan [7]:

$$\eta_{sc} = \eta_o - k_1 \frac{\Delta T}{t_c} - k_2 \frac{(\Delta T)^2}{t_c} \quad (1)$$

Dengan k_1 dan k_2 adalah konstanta solar kolektor masing-masing 0,285 W/m²K dan 0,011 W/m²K. Sedangkan η_o adalah efisiensi optikal solar kolektor sebesar 0,614.

Besarnya kalor yang dapat dipindahkan ke evaporator dapat ditentukan dengan persamaan:

$$q_u = \eta_{sc} I_s A_a \quad (2)$$

Pada sub-sistem ini juga terdapat penyimpanan kalor termal (*solar storage*) yang



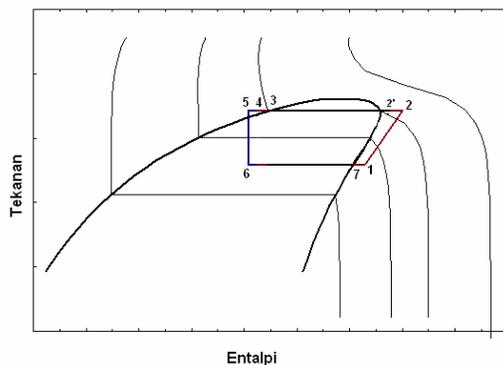
berfungsi sebagai media penyimpan kalor kelebihan dari solar kolektor serta mensuplai kalor ke pompa kalor bila intensitas radiasi berkurang. Kesetimbangan energi yang terjadi pada tangki penyimpan termal dinyatakan sebagai:

$$m_r C_p \frac{dT_{t,j}}{dt} = A_s F_R [n_s I_{tot,j}^+ - U_L (T_{t,j} - T_{amb})] \quad (3)$$

Jika penyimpan termal dilakukan secara laten maka suku pertama persamaan (3) adalah sama dengan:

$$m_r C_p \frac{dT_{t,j}}{dt} = L_{HPCM} \Delta T_{PCM} \quad (4)$$

Jenis refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini adalah isobutana (R-600a). Siklus kerja sistem pompa kalor tetap berada dalam kubah jenuh seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram p-h pompa kalor

Temperatur evaporator pompa kalor didesain pada 50,92 °C dan kondensor pada 110,4°C dengan discharge temperatur 120°C. Fungsi kondensor pada sistem ini menggunakan *steam generator* dan *preheater*. Laju aliran kalor di steam generator dinyatakan dengan:

$$\dot{q}_{SG} = \dot{m}_r h_{fg} + \dot{m}_r C_{p,r} (T_2 - T_{2'}) \quad (5)$$

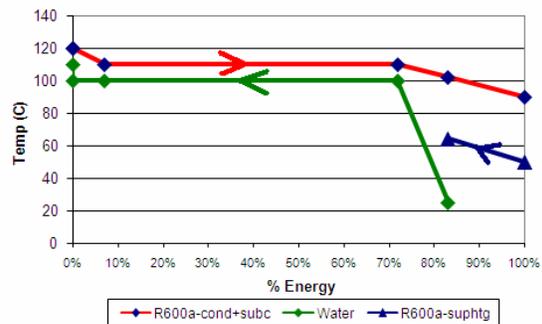
Dan pada preheater:

$$\dot{q}_{PH} = \dot{m}_r C_{p,r} (T_3 - T_4) \quad (6)$$

Kompresor yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis torak dengan tekanan discharge maksimum 24 bar dan jumlah silinder 2 buah. Massa refrigeran yang mengalir dalam sistem dapat dihitung dengan persamaan:

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_{HPCM}}{h_g} \quad (7)$$

Laju aliran energi yang terjadi pada sistem ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Laju aliran energi sistem

Sistem pompa kalor menggunakan steam generator vertikal. Koefisien perpindahan kalor pada steam generator menggunakan korelasi Chen [9].

$$h_{TP} = h_{cD} + h_{ns} = h_{cD} F + h_p S \quad (8)$$

Dengan harga F ditentukan menggunakan parameter Martinelli:

$$\frac{1}{X_{TT}} = \frac{1-x}{(1-x)^{0,75} + x} \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0,5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_v}\right)^{0,1} \quad (10)$$

Untuk:

$$\frac{1}{X_{TT}} \leq 0,1, \quad F = 1 \quad (11)$$

$$\frac{1}{X_{TT}} \geq 0,1,$$



$$F = \frac{2.35 \left(0.213 + \frac{1}{Re} \right)^{0.726}}{1} \quad (12)$$

Koefisien perpindahan panas kalor cairan dapat ditentukan dengan persamaan Dittus-Boelter:

$$h_{L0} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \frac{k}{d} \quad (13)$$

Sehingga koefisien perpindahan kalor untuk pendidihan konveksi diperoleh:

$$h_{c0} = F_0 h_{L0} \quad (14)$$

Dimana:

$$F_0 = F(1-x) \quad (15)$$

Korelasi Chen untuk pendidihan nukleat:

$$h_{nb} = 0.00122 \frac{k^{0.77} c_p^{0.45} Pr^{0.16} Re^{0.75} S^{1.16}}{\mu^{0.47} (h_{fg} Pr)^{0.125}} \quad (16)$$

Dimana *suppression factor* untuk bilangan Reynold aliran dua fasa adalah:

$$S = \frac{1}{1 + 2.44 \times 10^{-5} (Re_{TP})^{1.447}} \quad (17)$$

Dan

$$\theta_F = \Delta T_{sat} = T_w - T_{sat} \quad (18)$$

Serta bilangan Reynold:

$$Re_{TP} = \left(\frac{m}{\mu} \right) (1-x) F^{1.25} \quad (19)$$

Dan Δp_v dari persamaan Clayperon:

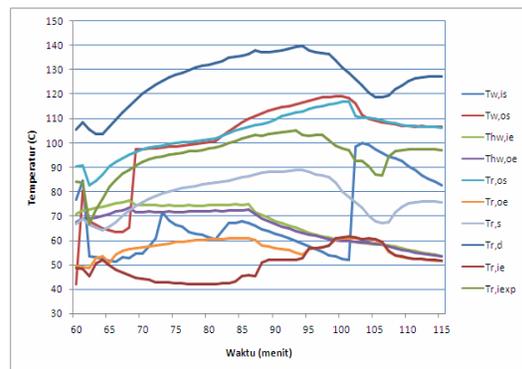
$$\Delta p_v = \frac{\Delta T h_{fg} \rho v}{T_s} \quad (20)$$

4. Hasil Pengujian

Simulasi pengujian pada sub-sistem pompa kalor dilakukan dengan menggunakan masukan kalor dari uap yang dihasilkan oleh

boiler. Uap dilewatkan ke penukar kalor sehingga kalor yang diberikan ke evaporator dapat dikontrol. Pengujian dilakukan dengan menggunakan refrigeran isobutana (R-600a). Kontrol massa refrigeran yang mengalir dalam sistem dilakukan melalui katup ekspansi.

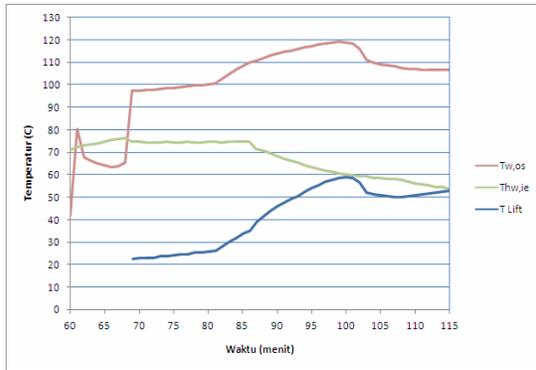
Hasil pengujian pada sub-sistem pompa kalor ditampilkan pada Gambar 5. Dari grafik temperatur yang terjadi pada sistem menunjukkan bahwa temperatur kondensor mengalami peningkatan saat evaporator diberi kalor dari sumber kalor (*boiler*). Temperatur maksimum mencapai 140°C dalam waktu 95 menit dari awal pengujian. Pada waktu yang bersamaan air di dalam *steam generator* juga mengalami proses perubahan fasa, uap terbentuk pada saat temperatur masukan sumber kalor mencapai 75°C. Temperatur uap maksimum yang dihasilkan oleh sub-sistem mencapai 120°C dengan laju aliran mencapai 0,11 kg/menit. Temperatur ini dicapai sesuai dengan kondisi temperatur refrigeran masuk *steam generator* mencapai 130°C.



Gambar 5. Sejarah temperatur pompa kalor

Hal lain yang menjadi perhatian adalah peningkatan temperatur (*lift temperature*) yang dihasilkan oleh sistem pompa kalor. *Lift temperature* didefinisikan sebagai perbedaan temperatur yang dihasilkan antara keluaran *steam generator* dan masukan kalor pada evaporator ($Tr,os - Thw,ie$). Hasil pengujian pada sistem dapat dilihat pada Gambar 6.

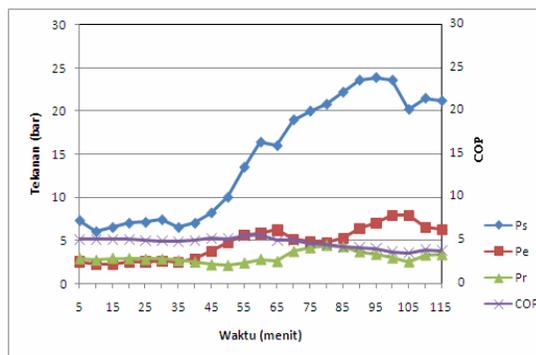




Gambar 6. Lift temperatur pompa kalor

Saat evaporator diberi kalor dari boiler, lift temperatur mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan peningkatan temperatur air masukan ke evaporator sementara temperatur air dalam *steam generator* tidak mengalami peningkatan yang sebanding. Pada saat uap mulai terbentuk dalam *steam generator* terjadi peningkatan temperatur yang sangat tinggi. Lift temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 60°C. Yang kemudian mengalami penurunan dengan semakin naiknya kalor masukan pada evaporator kemudian mencapai stabil pada temperatur sekitar 50°C.

Peningkatan temperatur sistem juga dengan sendirinya mempengaruhi tekanan yang terjadi pada sistem. Tekanan pada steam generator juga mengalami peningkatan yang berarti pada saat kalor diberikan ke evaporator. Tekanan maksimum yang dicapai oleh steam generator mencapai 24 bar serta 8 bar pada evaporator. Rasio tekanan (*pressure ratio*) yang dapat diperoleh dari sistem pompa kalor juga dapat diketahui dari Gambar 7.



Gambar 7. Rasio tekanan dan koefisien performansi pompa kalor

Rasio tekanan maksimum yang dapat dicapai oleh sistem pompa kalor dengan menggunakan isobutan mencapai 5, sedangkan rasio minimum mencapai 2,5. Koefisien performansi (COP) maksimum yang dicapai oleh sistem adalah 5. Koefisien performansi mengalami penurunan saat evaporator diberi kalor. COP akan mengalami penurunan dan berada pada kisaran 3,5. Penurunan ini terjadi disebabkan kondisi kerja refrigeran yang bergeser mendekati titik kritis dari kubah jenuh refrigeran.

4. Kesimpulan

Refrigeran isobutan telah digunakan sebagai fluida kerja pada pompa kalor temperatur tinggi. Dengan memberikan masukan kalor pada evaporator maka lift temperatur pompa kalor dapat ditingkatkan mencapai 60°C sehingga dapat mengubah fasa air dalam *steam generator* menjadi uap. Meskipun demikian performansi pompa kalor (COP) mengalami penurunan sebesar 37%.

Selain itu tekanan keluaran kompresor juga mengalami peningkatan yang mencapai 300% dibandingkan sebelum kalor diberikan ke evaporator. Dan rasio tekanan maksimum yang dicapai oleh pompa kalor mencapai 5. Dari semua hasil yang diperoleh pada penelitian diperoleh kesimpulan akhir bahwa refrigeran isobutan memiliki potensi untuk penerapan pada pompa kalor temperatur tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih peneliti berikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi atas dukungan dana yang diberikan melalui Program Hibah Doktor Tahun Anggaran 2009.

Numenklatur

- A Luas solar kolektor (m^2)
- C_p konduktifitas termal ($J/kg.K$)
- d diameter (m)
- F boiling enhancement factor
- F_R Heat removal factor
- I Intensitas radiasi (W/m^2)
-  Intensitas radiasi surya yang lebih tinggi dari intensitas kritis (W/m^2)
- k konduktifitas termal ($W/m.K$)
- $k_1 k_2$ konstanta solar kolektor (W/m^2K)
- L Kalor laten (J/kg)
- m laju aliran massa (kg/s)



n	putaran kompresor (rpm)	
Pr	Bilangan Prandtl	
q	laju aliran kalor (W)	
Re	Reynold number	
S	Suppression factor	
T	Temperatur (°C)	
U	Koefisien perpindahan keseluruhan (W/m ² .C)	panas
x	quality	
X _{tt}	Martinelli parameter	

Subskrip

a	aperture
amb	lingkungan
cb	convective boiling
g	gas
l	liquid
nb	nucleate boiling
o	optik
pcm	material berubah fasa
ph	preheater
r	refrigeran
sc	solar kolektor
sg	steam generator
t	sesaat
TP	dua fasa
u	kalor berguna
v	vapor
vol	volumetrik

Yunani

η	Efisiensi
ρ	densitas (kg/m ³)
μ	viskositas dinamik (Pa.s)

Referensi

- [1] Brunin, O., M. Feidt and B. Hivet. *Comparison of the working domains of some compression heat pumps and a compression-absorption heat pump*, Int. J. Refrigeration 20:5 (1997) 308 – 318.
- [2] Coelho, L.M.R. *Basics of Heat Pump Technology*, Workshop Groundhit, Brussel, 2006.
- [3] Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*, Jakarta, 2003.
- [4] Devotta, S. *Alternatif heat pump Working fluids to CFCs*, Heat Recovery Systems & CHP 15: 3 (1995) 273-279.
- [5] Halozan, Hermann, Gilli, Paul Viktor. *Heat pump for different world region-Now, and in the future*, 18th World Energy Congress, 2002.
- [6] Hawaiian Electric Company Inc. *Guide to Heat Pump Water Heating for Condomoniums, Comercial, and Institutional Facilities*, Energy Services Department, 2003.
- [7] Hermanto, A., *Pengembangan simulasi sistem pengkondisian udara berpengerak energi surya*, Disertasi Doktor, ITB 2005.
- [8] IEA Heat Pump Centre. *Norwegian heat pump sales boom*, IEA Heat Pump Centre Newsletter, 1:4 (2003)7.
- [9] Kakac, S., Liu, H., *Heat exchangers: selection, rating, and thermal design*, CRC Prees, 1998.
- [10] Kenisarin, M, Khamid,M. *Solar energy storage using phase change materials*, Renewable and Sustainable Energy Review, 2006.
- [11] Narodoslawsky, M., , F. Windisch, F. Mose. *New compression heat pump media for medium and high temperature aplication*, Heat Recovery system & CHP 8:1 (1998) 23-31.
- [12] Odeh, S., Salem N., Bilal A. *Performance evaluation of solar-assisted double-tube evaporator heat pump system*, Int. Comm. Heat Mass Transfer 31:2 (2004) 191 – 201.
- [13] Sarkar, J., Bhattacharyya, S., Gopal, M.R. *Natural refrigerant-based subcritical and transcritical cycles for high temperature heating*, International Journal of Refrigeration, (2006) 1-8.
- [14] Smith, F.J., Meyer JP. *Potential of Non-Zeotropic Refrigerant Mixture as Working Refrigerant in Hot Water Heat Pumps*, Research Group for Heating and Cooling Technology, Laboratory for Energy, Auckland Park, South Africa. 2006
- [15] Ure, Z.. *Positive temperature eutectic (PCM) thermal energy storage systems*, International Congress of Refrigeration, Washington DC. ICR0606, 2003.



- [16] Viessmann. *Technical Series Heat Pumps*, 2004.
- [17] Yumrutas, R., Onder, K, *Experimental investigation of thermal performance of a solar assisted heat pump system with a thermal storage*, International of Journal Energy Research, 28 (2004) 163 – 175.
- [18] Chaichana, C., Aye L., Charters W.W.S., *Natural Working Fluids for Solar-boosted heat pumps*, International Journal of Refrigeration 26 (2003) 1-8.

