

ANALISIS RANCANG BANGUN PEMANAS AIR SURYA SERBAGUNA BERKAPASITAS 600 LITER/HARI (STUDI KASUS PADA PESANTREN DI KURIPAN LOMBOK NUSA TENGGARA BARAT)

P. Dwi Setiawan¹, Wahyu Purwo Raharjo²

¹Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – UNRAM

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Solar energy
Solar water heater
Collector
Present value analysis
Annual value analysis

Abstract :

As one of tropical countries in the world, Indonesia has abundant potential of solar energy, up to 4.8 kWh/m². Due to this fact, its utilization by applied technologies is necessary to investigate. The aim of this research is to analyze the design feasibility of a solar water heater with 600 litres/day capacity to fulfill the requirement of a pesantren dormitory in Kuripan, Lombok Island, West Nusa Tenggara. As a preliminary study, a model of solar water heater with 20 litres capacity is tested. The result indicates that by the average temperature of inlet water 28.5^oC, the average temperature of outlet water obtained is 49.2^oC and its maximum value is 58.1^oC in the sun heating for 8 hours and the collector area of 0.15 m². The average efficiency is 0.54 and its maximum value reaches 0.83. Then the data measured is used to design a water heater with 600 litres/day capacity. There are 4 alternatives of energy sources, i.e. LPG, electricity, solar-LPG and solar-electric energy. By taking material and manufacturing cost into account, the investment cost of these equipments can be estimated. The operational cost is calculated for 1 year. By using the present value analysis, the high net present values are gained for solar-LPG, LPG and solar-electric water heater, respectively. Meanwhile the high net annual values are obtained for solar-LPG and LPG water heater, respectively. The net present and annual value for electric is negative. Due to this analysis, the solar-LPG water heater is considered as the best choice and proper to make.

PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun belakangan ini, pertumbuhan ekonomi global meningkat dengan pesat, tidak terkecuali di Indonesia. Hal ini besar pengaruhnya terhadap ketersediaan sumber daya alam dan lingkungan. Penggunaan bahan bakar fosil secara luas yang diikuti dengan pembalakan hutan besar-besaran mengakibatkan pemanasan global akibat gas rumah kaca yang tidak dapat dikendalikan (Gullison, et al., 2007). Efek negatif tersebut berakibat lebih jauh dengan mencairnya es di kutub utara dan selatan, naiknya permukaan air laut, hilangnya spesies-spesies makhluk hidup serta hutan-hutan yang produktif akibat hujan asam. Penyusutan es merupakan efek yang dianggap paling nyata, dimana pengamatan satelit di Artik sejak 1979 menunjukkan bahwa pada bulan September tahun 2007 es yang ada menyusut dibanding pada tahun-tahun sebelumnya (Kerr, 2007). Oleh karena itu beberapa Negara mengembangkan sumber energi yang berkelanjutan (Stern, 2007).

Dibandingkan dengan sustainable energy yang lain, energi surya (sinar matahari) merupakan sumber yang paling melimpah. Matahari

memancarkan energi sebesar 3,8.1023 kW, dimana lebih kurang 1,8.1014 kW ditangkap oleh bumi yang jaraknya sekitar 150 juta km. Lebih kurang 60% darinya atau 1,08.1014 kW mencapai permukaan bumi. Sisanya dipantulkan ke angkasa oleh atmosfer. Jika 0,1% dari energi ini dimanfaatkan dengan cara dikonversikan dengan efisiensi 10% saja, maka akan didapatkan energi sebesar 4 kali yang dibangkitkan oleh dunia saat ini (Thirugnanasambandam, 2010).

TINJAUAN PUSTAKA

Transfer Energi Surya

Energi surya yang diterima oleh suatu permukaan sebanding dengan intensitas sinar matahari dikalikan dengan proyeksi luas permukaan collector (Duffie, 1991). Hal ini dinyatakan sebagai :

$$E_i = I_o \cdot A \quad (1)$$

dimana :

E_i = energi masuk, W

A = proyeksi luas permukaan collector, m²

I_o = intensitas sinar matahari, W/m²

Sementara itu besar energi yang dapat dimanfaatkan untuk memanaskan suatu fluida dinyatakan dalam persamaan :

$$E_o = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{\Delta t} \quad (2)$$

dimana :

E_o = energi berguna, W

m = massa, kg

C_p = kalor spesifik fluida, J/kg.K

ΔT = beda temperatur, K

Δt = selang waktu pengambilan data, s

Efisiensi perpindahan panas dinyatakan sebagai :

$$\mu = \frac{E_o}{E_i} \cdot 100\% \quad (3)$$

Perpindahan panas konduksi pada plat berbentuk silinder dinyatakan dalam persamaan :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}, \text{ dimana } 0 < r < R, \quad (4)$$

$0 < z < Z, t > 0$

dan

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (5)$$

Kondisi batas dan awal untuk mencari solusi persamaan (4) adalah :

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad \text{pada } r = R, 0 \leq z \leq Z \quad (6)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha_r \cdot h_f - \epsilon_r \cdot \sigma (T^4 - T_{\text{lingk}}^4) - h_w (T - T_{\text{lingk}})$$

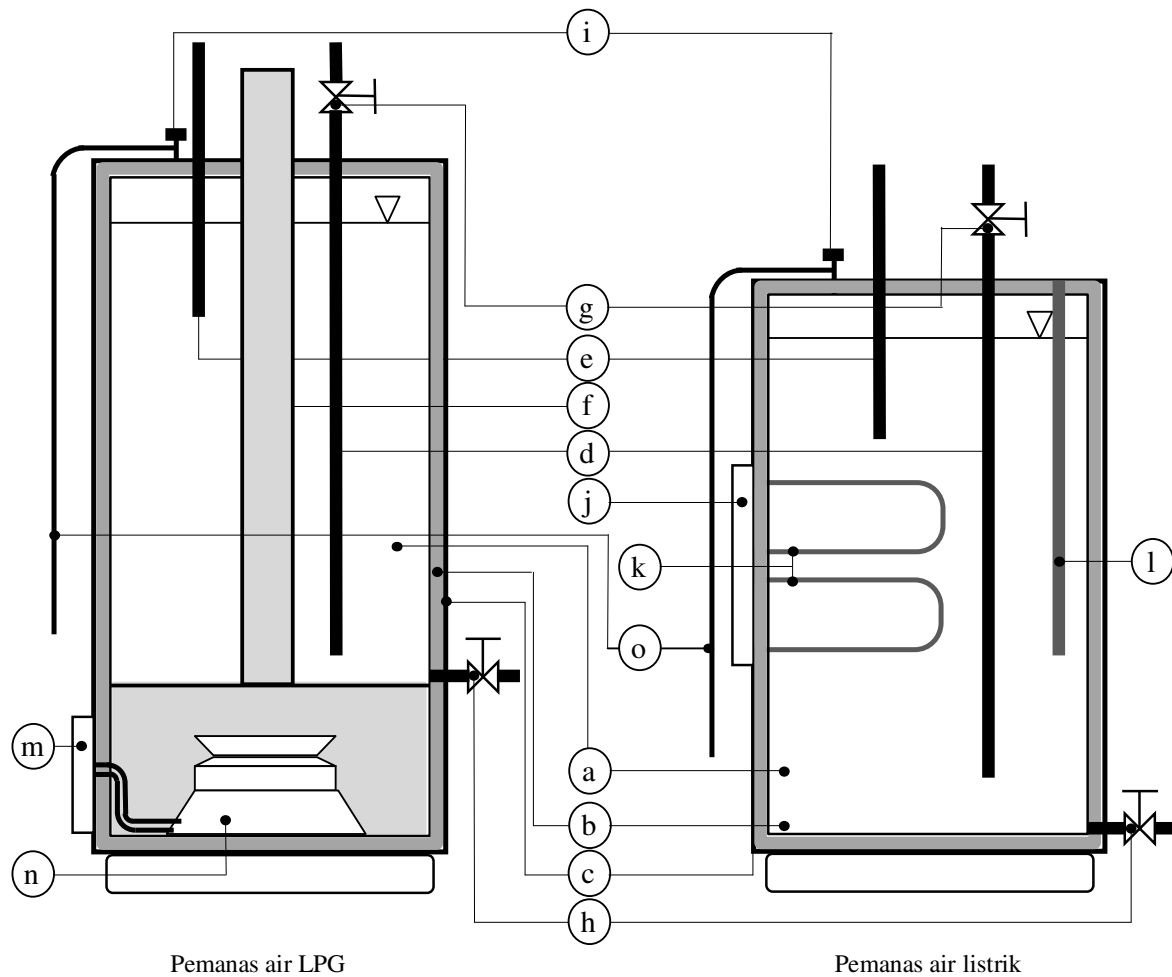
, pada $z = 0, 0 < r < R$ (7)

$$k \frac{\partial T}{\partial z} = -U_i (T - T_f), \text{ pada } z = Z, 0 \leq r \leq R \quad (8)$$

dimana R adalah jari-jari plat, Z adalah ketinggian plat berbentuk silinder, α difusivitas, k konduktivitas, ρ massa jenis dan C_p kalor jenis pada tekanan konstan.

Teknologi Pemanas Air

Saat ini ada beberapa jenis pemanas air seperti pemanas air berbahan bakar gas (LPG), pemanas air bertena gas listrik dan pemanas air surya. Skema pemanas air LPG dan listrik diperlihatkan pada Gambar 1. Sementara itu pemanas air surya yang umum di pasaran menggunakan collector yang terbuat dari plat baja yang di dalamnya terdapat absorber tube yang terbuat dari pipa tembaga.



Gambar 1. Bagian-bagian pemanas air LPG dan pemanas air listrik

Keterangan :

- a. Bejana
- b. Isolator
- c. *Casing* luar
- d. Pipa air masuk (dingin)
- e. Pipa air keluar (panas)
- f. Cerobong asap
- g. Katup utama
- i. *Temperature/pressure relief valve*
- j. Termostat
- k. Elemen pemanas
- l. *Sacrificial anode*
- m. *Burner control*
- n. *Burner*
- o. Pipa *overflow*
- h. Katup kuras

Pembandingan Rencana Investasi

Rencana investasi dapat dianalisis menggunakan beberapa cara, diantaranya Analisis Nilai Sekarang dan Analisis Nilai Tahunan (Siregar dan Samadhi, 1988).

Untuk Analisis Nilai Sekarang (ANS), rencana investasi dinilai layak bila NSB (Nilai Sekarang Bersih) = $NS_{\text{penerimaan}} - NS_{\text{biaya}} > 0$. Alternatif dipilih dari NSB dengan nilai tertinggi.

Sementara itu untuk Analisis Nilai Tahunan (ANT), rencana investasi dinilai layak bila NTB (Nilai Tahunan Bersih) = $NT_{\text{penerimaan}} - NT_{\text{biaya}} > 0$. Alternatif dipilih dari NTB juga dengan nilai tertinggi.

Kajian yang pernah Dilakukan

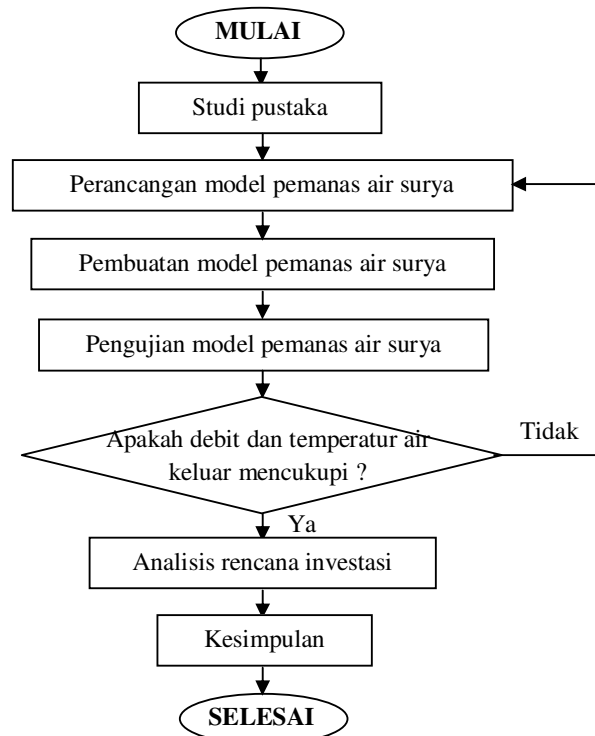
Penelitian Kim dan Seo. (2007) mengenai kinerja termal solar collector pipa kaca dengan variasi bentuk absorber menunjukkan bahwa kinerja termal banyak dipengaruhi oleh bentuk absorber, sudut datang irradiasi cahaya dan konfigurasi pipa. Wang dkk. (2008) melakukan pengujian atas sistem pendingin, pemanas dan pembangkit tenaga berbasis energy surya (CCHP = combined, cooling, heating and power). Sistem ini mengkombinasikan siklus Rankine dan ejector refrigeration, yang mampu menghasilkan output pendinginan, pemanasan dan tenaga secara simultan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa sudut kemiringan solar collector paling optimal adalah 60° pada pukul 10 di bulan Juni. Sementara itu sistem CCHP mencapai kinerja yang optimal dengan sudut 45° pada tengah hari. Efisiensi tertinggi yang didapatkan pada system itu mencapai 60,33%.

Shelmi dkk. (2008) melakukan simulasi untuk solar collector dengan plat datar menggunakan CFD (computational fluid dynamic). Kinerja collector dievaluasi dengan mengamati distribusi temperatur di dalamnya dengan dan tanpa aliran air bersirkulasi. Hasilnya menunjukkan bahwa pada collector tanpa aliran air bersirkulasi, temperature yang diperoleh lebih tinggi. Hal ini disebabkan adanya fenomena perpindahan panas konveksi paksa.

Shukla, dkk. (2009) mengatakan bahwa air yang telah dipanaskan dengan bantuan tenaga matahari dapat disimpan lama dengan memanfaatkan energi termal laten. Kalor laten digunakan untuk mengubah wujud material yang disebut phase change material (PCM). Untuk itu dibutuhkan PCM dengan kalor laten yang tinggi.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini mengacu pada diagram alir yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

DATA DAN DISKUSI**Pengujian Model Pemanas Air Surya**

Pengujian model pemanas air surya diplihatkan secara skematis pada Gambar 3. Data

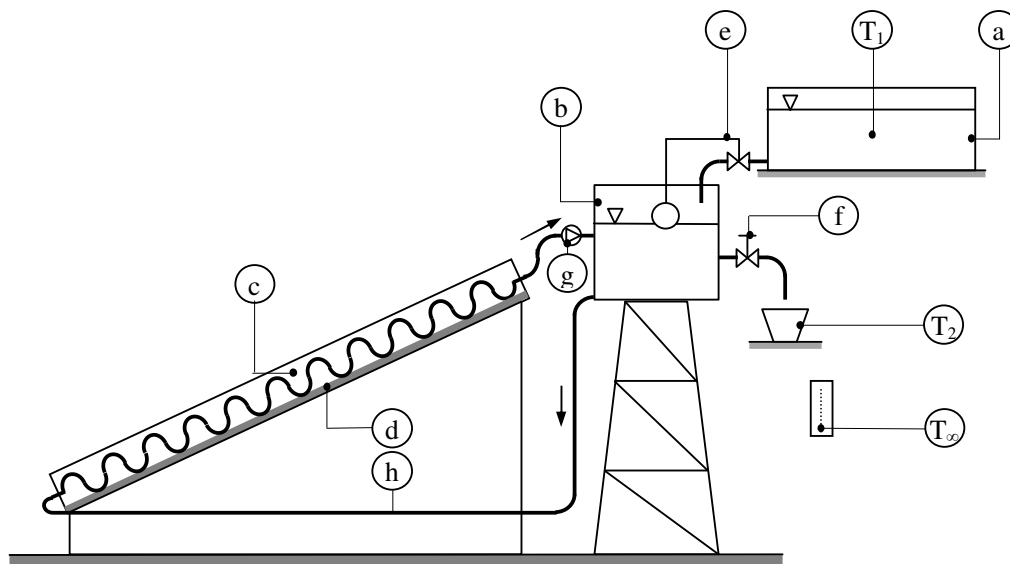
yang didapatkan dari pengujian pendahuluan diplihatkan dalam Tabel 1 dan Gambar 4 s.d. 6.

Tabel 1. Data pengujian pendahuluan

Tanggal pengamatan	4, 5 dan 6 Januari serta 8, 9 dan 10 Pebruari 2011
Waktu pengamatan	08.00 – 16.00 (8 jam)
Lokasi pengambilan data	Kuripan, Lombok, Nusa Tenggara barat
Koordinat bumi	8° 33' 41,16" LS dan 116° 51' 15" BT
Kemiringan <i>collector</i>	25°
Interval pengambilan data	1 jam
Temperatur lingkungan	27,5 – 30°C
Volume air total	20 lt
Volume air yang diambil per jam	2,5 lt
Temperatur rata-rata air masuk	28,5°C

Tabel 2. Spesifikasi model pemanas air surya

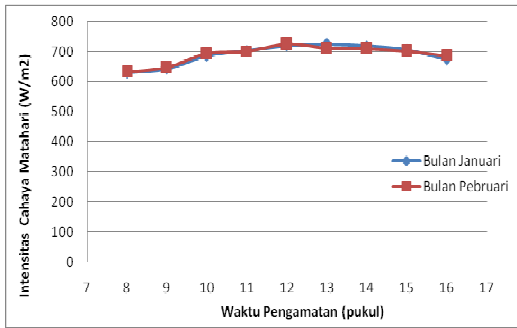
Luas permukaan <i>collector</i>	0,15 m ²	Tebal pipa <i>collector</i>	0,5 mm
Kemiringan <i>collector</i>	25°	Material pipa <i>collector</i>	tembaga
Kapasitas reservoir air	20 lt	Isolator	<i>glasswool</i>
Panjang pipa <i>collector</i>	420 mm	Cover	gelas tebal 3 mm
Diameter pipa <i>collector</i>	¼"		



Gambar 3. Model pemanas air surya

Keterangan :

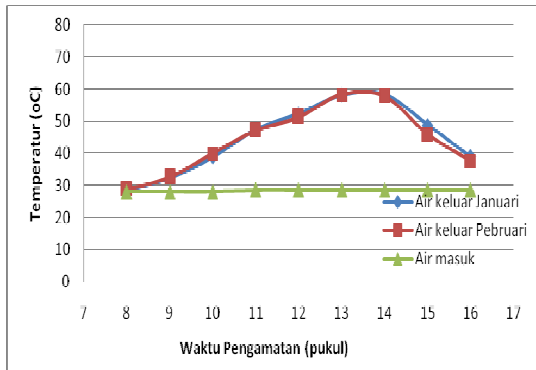
- a. Reservoir 1
- b. Reservoir 2
- c. Solar collector
- d. Isolator
- e. Katup otomatis
- f. Katup air keluar
- g. Katup searah
- h. Pipa tembaga
- T₁ Temperatur air masuk (dingin)
- T₂ Temperatur air keluar (panas)
- T_∞ Temperatur lingkungan



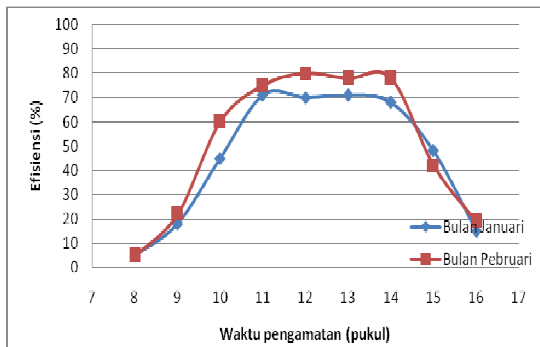
Gambar 4. Intensitas cahaya matahari dari pukul 08.00 s.d. 16.00

Kebutuhan Energi untuk Memanaskan Air

Dengan kalor jenis air = $c_{air} = 4,183 \text{ kJ/kg.K}$ dan volume air yang dipanaskan = $V_{air} = 600 \text{ lt}$ dan massa jenis air = $\rho_{air} = 1\text{kg/l}$, energi panas yang dibutuhkan untuk memanaskan air :



Gambar 5. Temperatur air masuk dan keluar



Gambar 6. Efisiensi perpindahan panas

Tabel 3. Perbandingan biaya pemanasan air

Pemanas	dari 28,5-49,2°C	dari 49,2-100°C	dari 28,5- 100°C
Minyak tanah	Rp 8.774.746,-	Rp 22.621.093,-	Rp 31.395.840,-
LPG	Rp 4.493.525,-	Rp 11.592.025,-	Rp 16.085.550,-
Listrik	Rp 10.995.791,-	Rp 26.799.229,-	Rp 37.795.020,-

$$\begin{aligned}
 Q_{air\ 28,5-49,2} &= m_{air} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \\
 &= \rho_{air} \cdot V_{air} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \\
 &= 1\text{kg/l} \cdot 600\text{lt} \cdot 4,183 \text{ kJ/kg.K} \cdot (49,2-28,5)\text{K} \\
 &= 4,90 \cdot 10^4 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{air\ 49,2-100} &= m_{air} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \\
 &= \rho_{air} \cdot V_{air} \cdot c_{air} \cdot \Delta T \\
 &= 1\text{kg/l} \cdot 600 \text{ lt} \cdot 4,183 \text{ kJ/kg.K} \cdot (100- 49,2)\text{K} \\
 &= 1,26 \cdot 10^5 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

$$Q_{air\ 28,5-100} = Q_{air\ 28,5-49,2} + Q_{air\ 49,2-100} = 1,75 \cdot 10^5 \text{ kJ}$$

Nilai kalor minyak tanah dan LPG masing-masing sebesar $4,4 \cdot 10^4$ dan $4,7 \cdot 10^4$ kJ/kg. Sementara itu efisiensi pemanas minyak tanah dan LPG masing-masing sebesar 40% dan 55%. Massa jenis minyak tanah = $\rho_{minyak} = 0,81 \text{ kg/lt}$.

Kebutuhan minyak tanah untuk memanaskan air :

$$\begin{aligned}
 m_{minyak} &= Q_{air\ 28,5-100} / \eta \cdot (\text{nilai kalor minyak tanah}) \\
 &= 1,75 \cdot 10^5 \text{ kJ} / (40\% \cdot 4,4 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 9,96 \text{ kg} = 12,29 \text{ lt}
 \end{aligned}$$

Dengan harga minyak tanah per liter Rp 7.000,- maka biaya bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan 600 lt air selama 1 tahun mencapai Rp 31.395.840,-.

Kebutuhan LPG untuk memanaskan air :

$$\begin{aligned}
 m_{LPG} &= Q_{air\ 28,5-100} / \eta \cdot (\text{nilai kalor LPG}) \\
 &= 1,75 \cdot 10^5 \text{ kJ} / (55\% \cdot 4,7 \cdot 10^4 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 6,78 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Harga LPG saat ini sebesar Rp 6.500,-/kg, sehingga biaya bahan bakar yang dibutuhkan untuk memanaskan air dengan volume yang sama adalah Rp 16.085.550,-.

Dengan harga listrik rata-rata per kWh sebesar Rp 998,-, melalui cara yang sama, biaya yang dibutuhkan oleh pemanas listrik untuk memanaskan air selama 1 tahun sebesar Rp 37.795.020,-. Perbandingan biaya pemanasan air sebanyak 600 lt selama 1 tahun diperlihatkan dalam Tabel 3.

Dari sini didapatkan 4 alternatif sumber energi untuk pemanas air hingga temperatur 100°C yaitu LPG, listrik, surya-LPG dan surya-listrik.

Berdasarkan ANS didapatkan NSB tertinggi untuk pemanas air surya-LPG diikuti pemanas LPG dan surya-listrik. Nilai NSB ketiganya positif, artinya penerimaan lebih besar dibanding biaya. Hal ini disebabkan penghematannya, karena biaya

operasional yang relatif rendah, per tahun dianggap signifikan dibanding biaya investasi untuk pembelian dan pemasangan alat. Sementara itu nilai NSB untuk pemanas air listrik negatif. Penyebabnya adalah biaya operasionalnya yang tinggi yaitu biaya listrik yang harus dibayar lebih besar dibanding bila menggunakan minyak tanah.

Tabel 4. Alternatif sumber energi untuk pemanas air

Alternatif	A	B	C	D
Sumber energi	LPG	Listrik	Surya-LPG	Surya-listrik
Biaya investasi (Rp)	8.000.000	6.500.000	18.000.000	16.500.000
Umur pakai (tahun)	10	10	5	5
Penghematan per thn (Rp)	15.310.290	-6.399.180	19.803.815	4.596.611
Nilai sisa (Rp)	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000
Tingkat suku bunga	7%	7%	7%	7%

Tabel 5. Hasil perhitungan Nilai Sekarang Bersih dan Nilai Tahunan Bersih

	Alternatif	NSB	NTB	Keterangan
A	LPG	100.047.477,0	14.260.290	Layak
B	Listrik	-50.939.840,3	-7.239.180	Tidak layak
C	Surya + LPG	109.488.996,6	14.463.815	Layak
D	Surya + listrik	5.243.095,7	-278.389	Tidak layak

Penggunaan ANT untuk memperhitungkan rencana investasi menghasilkan urutan yang hampir sama. NTB tertinggi dicapai pada pemanas air surya-LPG disusul dengan pemanas air LPG. Hal ini disebabkan adanya penghematan, karena biaya LPG per tahun dapat dikurangi secara signifikan dengan menggunakan bantuan energi surya. Sementara itu NTB untuk pemanas air surya-listrik dan pemanas air listrik berharga negatif, artinya penghematan per tahun tidak sebanding dengan biaya investasi.

Dari penggunaan ANS dan ANT didapatkan nilai yang positif yaitu pemanas air surya-LPG dan pemanas air LPG. Jika digunakan acuan pada saat ini, pemanas air LPG lebih menguntungkan karena biaya investasi lebih rendah dibanding pada pemanas surya-LPG sementara pada biaya operasional pemanas surya-LPG ada penghematan yang cukup signifikan. Bila menggunakan acuan tiap tahun, yaitu tahun sekarang sampai beberapa tahun yang akan datang, pada tiap tahunnya diperoleh keuntungan yang disebabkan biaya LPG yang dapat dihemat. Dengan pertimbangan bahwa harga LPG cenderung untuk naik dan kenaikannya tidak dapat diprediksi maka pemanas air surya-LPG lebih tepat untuk dipilih.

KESIMPULAN

1. Pada pengujian pendahuluan model pemanas air surya dengan rata-rata temperatur air masuk 28,5°C, didapatkan rata-rata temperatur air keluar

49,2°C dengan temperatur tertinggi mencapai 58,1 °C pada pemanasan matahari selama 8 jam dengan luas permukaan *collector* 0,15 m². Efisiensi rata-rata mencapai 0,54 dengan nilai maksimum 0,83.

2. Terdapat 4 alternatif sumber energi untuk pemanas air berkapasitas 600 lt/hari, yaitu LPG, listrik, surya-LPG dan surya-listrik. Dengan menggunakan ANS didapatkan NSB untuk pemanas air surya-LPG adalah yang tertinggi, disusul dengan pemanas air LPG, surya-listrik dan pemanas air listrik. Sementara itu dengan menggunakan ANT didapatkan nilai tertinggi untuk NTB pada pemanas air surya-LPG, disusul oleh pemanas air LPG, surya-listrik dan pemanas air listrik.
3. Pemanas air surya-LPG mempunyai nilai NSB dan NTB positif sehingga layak dipilih untuk mengantisipasi harga LPG yang tidak dapat diprediksi untuk 5 – 10 tahun mendatang..

DAFTAR PUSTAKA

Duffie, J.A. & Beckman, W.A., 1991, *Solar Engineering for Thermal Process*, John Willey & Sons, New York.
 Gullison RE, et al., 2007, *Tropical Forests and Climate Policy*. Science 2007;316:985–6.
 Jaramillo, O.A., et al, 2008, *A Flat-plate calorimeter for concentrated solar flux evaluation*,

- Renewable Energy 33 (2008), Pp. 2322 – 2328.
- Kerr, R.A., 2007, *Climate change: Is battered arctic sea ice down for the count?*, Science 2007;318:33–4.
- Kim, Y., & Seo, T., 2007, *Thermal performances comparisons of the glass evacuated tube solar collectors with shapes of absorber tube*, Renewable Energy 32 (2007), Pp. 772–795.
- Shelmi, M., et al., 2008, *Validation of CFD simulation for flat plate solar energy collector*, Renewable Energy 33 (2008), Pp. 383–387.
- Shukla, et al., 2009, *Solar water heaters with phase change material thermal energy storage medium: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009), Pp. 2119–2125.
- Siregar, A.B. dan Samadhi, T.M.A.A., 1988, *Manajemen*, Diktat Kuliah, Institut Teknologi Bandung.
- Stern, N., 2007, *The economics of climate change: the Stern Review*. Cambridge University Press, UK, 2007.
- Thirugnanasambandam, M., et al., 2010, *A review of solar thermal technologies*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 312–322.
- Wang, J., et al., 2008, *A new combined cooling, heating and power system driven by solar energy*, Renewable Energy 34 (2008), Pp. 2780 – 2788.