

RANCANG BANGUN PEMANAS AIR TENAGA SURYA TIPE KOTAK SEDERHANA YANG DILENGKAPI PHASE CHANGE MATERIAL DENGAN KAPASITAS 100 LITER AIR

Fauzi¹, Tulus B. Sitorus², Himsar Ambarita³

^{1,2,3}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU
Jl. Almamater, Kampus Padang Bulan, 20155 Medan, Sumatera Utara
fauzifahlevi@yahoo.co.id

Abstract

Solar water heater used in this study is a type of solar water heater simple box incorporating phase change material (PCM) with capacity of 100 liters of water, which is used as a shower. In general, research in Indonesia solar water heater does not use heat storage material, the use of excess heat storage material of box type solar water heater is, one that can be used not only to heat water during the day but also at night. So the research is very interesting to study because it has use phase change material, heats water indirectly is very possible. In this paper, will be on the pillowcase on how the use of PCM in the heats water indirectly. Here also will be reviewed on the design of solar water heater with dimensions of length 2 m, width 1 m, thickness 0.180 m, 0.250 m high, 2 m² absorber surface area for a capacity of 100 liters of hot water and the heat generated is lost in the solar water heater per day was 8.36 MJ. PCM used are Stearic Acid (melting point 51.5 ° C). Test site is in the city of Medan, Indonesia with 4^o latitude 98^o BT.

Keywords: Solar water heater with storage material, PCM.

I. Pendahuluan

Selama ini manusia masih menggantungkan sumber energinya pada batubara, minyak bumi dan gas alam. Namun ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi masalah besar. Hal ini dikarenakan keterbatasan bahan bakar fosil sebagai sumber daya alam yang tidak terbarukan. Pada akhirnya dunia akan kehabisan bahan bakar fosil atau bahan bakar fosil akan menjadi barang yang sangat mahal jika ingin dipertahankan sebagai sumber energi. Disamping itu, bahan bakar fosil merupakan penyebab pencemaran udara, air dan tanah serta menghasilkan gas rumah kaca (*green house gas*) yang berperan dalam pemanasan global. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut, dikembangkan berbagai energi alternatif, di antaranya energi terbarukan.

Potensi energi terbarukan, seperti: biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin dan energi samudera, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan, padahal potensi energi terbarukan di Indonesia sangatlah besar[1].

Sumber daya energi terbarukan akan menawarkan pilihan yang lebih bersih untuk menggantikan bahan bakar fosil. Sumber daya tersebut lebih sedikit atau bahkan tidak mencemari atau pun menghasilkan gas rumah kaca, dan sumber daya tersebut akan tetap tersedia. Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi kalor, energi ini diperoleh dengan adanya beda temperatur sumber panas dengan lingkungan. Energi kalor tersebut dapat dikonversikan ke bentuk energi lainnya sesuai kebutuhan, diantaranya energi listrik, energi mekanik, atau bisa juga energi

panas tersebut digunakan sebagai pemanas langsung melalui suatu medium perantara. Jenis energi panas tersebut bisa diperoleh dari berbagai sumber panas seperti panas Matahari, panas buang dari Mesin dengan kapasitas kalor yang bervariasi, panas pembakaran dan bisa juga panas yang diperoleh dari energi listrik[2].

Di negara berkembang, konsumsi energi digunakan saat ini adalah untuk keperluan mandi air panas. Sebagian besar penggunaan energi untuk memanaskan air adalah berasal dari listrik yang berasal dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil selain merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, bahan bakar jenis ini juga mengakibatkan dampak lingkungan diantaranya menyebabkan pemanasan global, dan mengeluarkan gas beracun akibat pembakaran yang tidak sempurna. Untuk membantu mengatasi permasalahan diatas, maka diperlukan suatu inovasi teknologi yang menggunakan tenaga yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) seperti penggunaan energi matahari untuk keperluan memanaskan air atau yang lebih dikenal dengan kolektor surya. Potensi energi matahari di Indonesia khususnya kota medan sangatlah besar. Oleh karena itu, Penulis tertarik untuk merancang kolektor surya plat datar sehingga dapat menghemat penggunaan bahan bakar fosil dimasa mendatang[3].

II. Studi Literatur

Setiap menit matahari meradiasikan energi sebesar 56×10^{26} kalori. Energi matahari persatuan luas pada jarak jauh dari permukaan bola dengan matahari sebagai pusat bulatan dan jari-jari bulatan 150 juta km (jarak rata-rata bumi dengan matahari)[4].

Dalam era ini, penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui

semakin meningkat seiring dengan meningkatnya populasi manusia, kemajuan teknologi dan lain-lain. Namun hal ini berbanding terbalik dengan ketersediaan sumber daya alam tersebut. Sehingga para ilmuwan telah mencoba mengembangkan potensi sumber daya alam yang dapat diperbarui contohnya air, angin dan energi surya

Konduksi adalah Penghantaran panas melalui suatu benda dengan cara partikel-partikel dalam benda tersebut menstransfer energi melalui tumbukan. Konduksi Panas hanya terjadi apabila terdapat perbedaan temperatur. Panas mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan Hukum Fourrier[5].

$$q = -k \cdot A \left(\frac{dT}{dx} \right) \quad (1)$$

Konveksi adalah proses transfer panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul fluida dari satu tempat ke tempat lainnya. Udara yang mengalir di atas suatu permukaan logam pada sebuah alat pemanas udara surya, dipanasi secara konveksi yaitu konveksi paksa dan konveksi alamiah, apabila aliran udara disebabkan oleh blower maka ini disebut konveksi paksa dan apabila disebabkan oleh gradien massa jenis maka disebut konveksi alamiah. Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan hukum persamaan pendinginan Newton berikut ini.

$$q = h A (T_w - T) \quad (2)$$

Konveksi Paksa adalah aliran dalam, pemanas cairan surya itu laminar adalah relatif pendek, maka bilangan Nusselt rata-rata h dalam g dapat dicari menggunakan grafik seperti yang dianjurkan oleh Duffie dan Beckman. Untuk menggunakan grafik dalam gambar haruslah dihitung terlebih dahulu sebuah bilangan tanpa dimensi lain yang disebut bilangan Prandtl yaitu dengan persamaan

$Pr = C_p (\mu/k)$. Untuk pemanas surya yang bekerja dalam bilangan Reynold antara 2000 sampai 10000, dan nilai bilangan Nusselt dari Cengel edisi ke-2 [5].

$$h_u = \frac{N_u l_c}{k} \quad (3)$$

$$N_u = 0,00269 \quad (4)$$

$$Re = \frac{\rho \vartheta_u l_c}{\mu} \quad (5)$$

Jika aliran fluida terjadi secara alami, sebagai akibat perpindahan panas yang terjadi. Konveksi ini disebut konveksi natural atau kadang disebut konveksi bebas dalam bahasa Inggris disebut *natural convection* atau *free convection*.

Asumsi yang umum digunakan untuk dapat menurunkan persamaan pembentuk aliran pada udara di sekitar plat vertikal ini adalah : aliran 2D, incompressibel, sifat fisik konstan. Untuk memunculkan efek dari perbedaan kerapatan sebagai gaya pendorong aliran fluida, maka pada persamaan momentum arah vertikal, gaya gravitasi harus diperhitungkan. Bilangan-bilangan tanpa dimensi yang sering digunakan untuk menghitung konveksi alamiah adalah dari Incropera[6].

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_r) L^3}{\nu \alpha} \quad (6)$$

Persamaan mencari bilangan Nusselt untuk konveksi alamiah pada plat luar telah diturunkan secara analitik, dengan asumsi bawah aliran adalah laminar. Namun faktanya, aliran tidak selalu laminar melainkan turbulenta. Bilangan Nusselt pada plat vertikal dengan T_s konstan dapat dirumuskan berikut ini.

Jika bilangan $10^{-1} < Ra < 10^{12}$, maka bilangan Nusselt yang dipakai adalah (dari Incropera[6]).

$$Nu = 0.68 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \quad (7)$$

Jika bilangan $Ra < 10^9$, maka bilangan Nusselt yang dipakai adalah Incropera [6].

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 Ra^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (8)$$

Pancaran (radiasi) adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantara foton dan juga gelombang elektromagnet. Proses radiasi adalah fenomena permukaan. Proses radiasi tidak terjadi pada bagian dalam bahan. Tetapi suatu bahan apabila menerima sinar, maka banyak hal yang boleh terjadi. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebahagian akan dipantulkan, sebahagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebahagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan. Tidak seluruh energi yang disebutkan dalam konstanta surya mencapai permukaan bumi, karena terdapat absorpsi yang kuat dari karbondioksida dan uap air di atmosfer[7]

$$q = \frac{\sigma \cdot T_p^4 \cdot T_c^2}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (9)$$

Stearic Acid (Asam stearat) merupakan padatan pada temperatur ruang. Padatan tersebut berupa butiran seperti gula pasir yang berwarna putih seperti lilin. Asam stearat tidak larut dalam air. Asam stearat akan mencair pada suhu 69,5° C dan mendidih pada suhu 361 ° C. Massa jenis dari asam stearat adalah 0,847 g / cm³. Kalor jenis solid dan liquid masing-masing adalah 1763 J/ kg. K dan 2359,42 J/ kg. K. Asam stearat memiliki kalor lebur 198,9 kJ/kg[8].

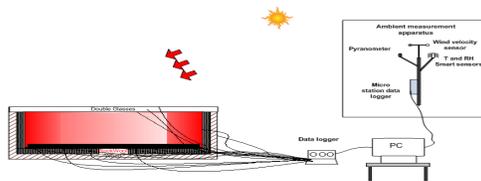
III. Metodologi Penelitian

Pengujian dimulai dengan menghubungkan kabel-kabel termokopel ke agilent dan kemudian sisi termokopel lainnya dihubungkan ke panci pelat absorber, kaca, dan dinding untuk

memperoleh data temperatur, setelah itu, flash disk kemudian dihubungkan ke agilent untuk dibaca. Setelah agilent membaca temperatur selama waktu yang telah kita set, flash disk dicabut dan dibaca dalam bentuk Microsoft excel pada computer.



Gambar 1 Solar water heater



Gambar 2 Experimental Setup solar water heater

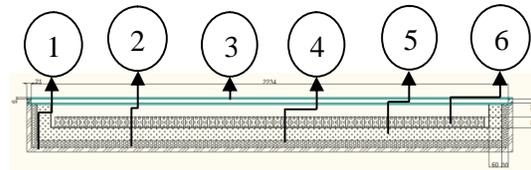
Beberapa parameter yang diukur, *Ambient temperature* (T_a) yaitu temperature lingkungan sekitar pengujian. Dapat diambil lebih dari 1 titik pengujian, yang kemudian akan dirata-ratakan. Radiasi Solar (G_a) ini menunjukkan seberapa besar radiasi solar pada 1 hari dalam 1 m^2 . Biasanya data di hitung setiap jam, dari jam 08:00-17:00 WIB, kemudian dirata-ratakan sehingga didapatkan radiasi solar per hari. *Absorber temperature* (T_p) ini adalah temperature plat absorber. Data dihitung setiap jam dari jam 08:00-17:00 WIB. Waktu (t) parameter ini digunakan untuk mengetahui berapa lama tahan panas *Stearic acid* sebagai penahan panas. Temperature (T) Ini adalah temperature dari permukaan plat, *Stearic acid*, dinding dalam, permukaan kayu luar, udara dalam

kolektor, kaca, air masuk dan air keluar. Dihitung setiap menitnya dengan agilent pada saat pagi sampai siang hari, dan dihitung hasilnya setelah memperoleh hasilnya

Adapun prosedur pengujian yang akan dilakukan, persiapan *solar water heater* pada range waktu pengujian yaitu jam 08:00-17.00 WIB, parameter-parameter yang akan diukur dihubungkan ke data logger dan Komputer, agilent dihidupkan serta hubungkan termokopel ke agilent, ujung termokopel yang lain dihubungkan ke bagian yang akan diukur temperturnya, kemudian *flash disk* dihubungkan ke agilent untuk mengambil data dari termokopel, pengambilan data dilakukan sampai sekitar pukul 17.00 WIB, melakukan pengujian sampai pukul 18.00, air dialirkan melalui pipa tembaga yang dibantu pompa dengan volume 100 liter air dan data pada *flash disk* di agilent diambil dan siap melakukan perhitungan.

IV. Perhitungan Perencanaan Solar Water Heater

Desain *solar water heater* adalah tipe *box* bentuk persegi panjang dengan menggunakan penutup yang berlapis dua kaca. Berikut adalah penampang *solar water heater* beserta ukurannya dalam satuan mm.



Gambar 3 Rancangan Solar Water heater
Keterangan Gambar 3:

- 1) Dinding yang terbuat dari kayu Meranti
- 2) Plat aluminium dengan tipe A380
- 3) Kaca tipe plat
- 4) Polystyrene sebagai isolasi
- 5) Rockwool sebagai isolasi
- 6) Stearic Acid sebagai PCM penyimpan panas.

Menghitung panas yang digunakan untuk memanaskan 100 liter air berdasarkan teori.

$$\begin{aligned}
 m &= 100 \text{ kg} \\
 C_p &= 4,2 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C} \\
 \Delta T &= 30 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{air}} &= 100 \text{ kg} \cdot 0,0042 \text{ MJ/kg} ^\circ\text{C} \cdot (30) ^\circ\text{C} \\
 Q_{\text{air}} &= 12,6 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Data dari hobo panas radiasi yang diserap per luas kolektor adalah 16 MJ/m² dan effisensi pemakaian yang digunakan adalah 40%, persentase ini diambil berdasarkan data dari percobaan *Solar Cooker*, yang merupakan penelitian sebelumnya.

$$\text{Jadi: } 40 \% \cdot 16 \text{ MJ} = 6,4 \text{ MJ/m}^2$$

Sedangkan panas air yang dibutuhkan untuk memanaskan 100 Liter air adalah 12,6 MJ.

$$\begin{aligned}
 A_u &= \frac{12,6 \text{ MJ}}{6,4 \text{ MJ/m}^2} \\
 &= 1,96875 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

jadi luas kolektor yang digunakan adalah 2 m² dengan dimensi ideal untuk *Solar Water Heater* dipilih adalah 2 x 1 (m).

Menghitung panas yang digunakan untuk memanaskan 100 liter air dari data hobo Luas Kolektor(A)=2m²,

$I = 16,6385 \text{ W/m}^2$ (Data dari HOB0 10 September 2012). Selanjutnya dicari Q_{sisa} atau panas tersisa yang dapat digunakan untuk memasak

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kolektor}} &= I \times A \\
 Q_{\text{kolektor}} &= 16,6385 \text{ MJ} \times 2 \text{ m}^2 \\
 &= 33,277 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Maka panas yang dapat diserap dari absorber adalah Q_{sisa} yaitu :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sisa}} &= Q_{\text{kolektor}} \cdot 40\% \\
 Q_{\text{sisa}} &= 33,277 \text{ MJ} \cdot 40\% \\
 Q_{\text{sisa}} &= 13,31 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Penggunaan stearic acid karena melting pointnya di temperatur 55,1°C dan lama tahan panasnya di temperatur tersebut. Sedangkan temperatur air yang panas keluar adalah kira-kira 45 °C.

Menghitung jumlah PCM yang digunakan untuk memanaskan 100 liter air, C_p=1,6kJ/kg°C, ΔT₁= 30 °C, K_i=160 kJ, ΔT₂=20°C,

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{air}} &= m \cdot C_p \cdot \Delta T_1 + m (k_i + \Delta T_2) \\
 Q_{\text{air}} &= m (C_p \cdot \Delta T_1 + k_i + \Delta T_2) \\
 m &= 65,625 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Jadi massa *Stearic Acid* yang digunakan untuk memanaskan air 100 liter adalah 65,625 kg. Maka massa stearic acid digunakan adalah 70kg.

Perhitungan Perancangan Panjang Pipa dilakukan mulai dari debit aliran setelah dilakukan percobaan untuk aliran pipa yang biasa digunakan mandi adalah:

$$Q = 0,16 \text{ L/s} = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

menggunakan pipa 1 inchi, untuk memaksimalkan perpindahan panas dari *stearic acid* ke pipa selanjutnya ke air digunakan pada pipa bercabang ½ inchi yang jumlah cabang idealnya berdasar lebar kolektor adalah 7 cabang, jadi debit alirannya adalah

$$Q = \frac{(1,6 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{7} = 2,29 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Diameter dalam pipa(di)= 1 cm = 0,01 m

Debit air (Q) = 2,29 x 10⁻⁵ m³/s

Massa jenis air (ρ) = 1000 kg/m³

$$\begin{aligned}
 \text{Kecapatan air}(v) &= \frac{Q}{A \text{ pipa}} \\
 &= \frac{2,29 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{3,14 (0,005 \text{ m})^2}
 \end{aligned}$$

Laju aliran massa (ṁ)= ρ x v
= 0,0229 kg/s

T air masuk(T_{in}) = 25 °C

T air keluar(T_{out}) = 45 °C

T_{film} = 35 °C

Sifat air pada T_{film} = 35 °C (308 K) adalah:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 994,0742 \text{ kg/m}^3 \\
 C_p &= 4178,218 \text{ J/Kg K} \\
 \mu &= 7,21 \times 10^{-4} \text{ Ns/m}^2 \\
 k &= 0,624739 \text{ W/m K} \\
 Pr &= 4,818814 \\
 \nu &= 1,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

Menghitung bilangan Renault:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Re = 11726,404368 (termasuk aliran turbulen)

$$Nu = \frac{\frac{f}{8} (Re-1000)(Pr)}{1 + 12,7 \left(\frac{f}{8}\right)^{\frac{1}{2}} (Pr^{2/3} - 1)}$$

$$f = (0,79 \ln(Re) - 1,64)^{-2}$$

$$f = 0,03012$$

$$Nu = 79,628726$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Dh} = 4974,719467 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

LMTD

$$\Delta T_e = T_s - T_e = 70 - 45 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_i = T_s - T_i = 70 - 25 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{in} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln \frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}} = 32,74 \text{ }^\circ\text{C}$$

Laju aliran panasnya adalah

$$Q = m C_p (\Delta T_e - \Delta T_i)$$

$$Q = 0,0229 \text{ kg/s} \times 4178,218 \text{ J/kg K} (45 - 25) = 8398,218180 \text{ J/s}$$

$$Q = h A_s \Delta T_{in}$$

$$A_s = \frac{8398,218180 \text{ J/s}}{4974,719467 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} 32,74 \text{ }^\circ\text{C}} = 0,018562 \text{ m}^2$$

Panjang pipa yang diperlukan adalah

$$A_s = \pi D l$$

$$l = \frac{A_s}{Dh}$$

$$l = 1,86 \text{ m}$$

Jadi panjang pipa yang digunakan dalam kolektor adalah 1,86 m digenapkan sesuai dimensi kolektor 2 m.

Perhitungan Temperatur Air Keluar, kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (V) dapat dicari dengan menggunakan persamaan laju aliran, dimana :

$$A_c = (\pi/4)d^2$$

$$A_c = 5,07 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A_c} = 0,452 \text{ m/s}$$

Pada suhu air masuk, $\bar{T} = 29 \text{ }^\circ\text{C}$ dapat diketahui bahwa sifat air adalah

$$\rho = 995,9179 \text{ kg/m}^3$$

$$Pr = 5,490978$$

$$c_p = 4178,336 \text{ J/kg.K}$$

$$v = 1,482203 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0,616786 \text{ W/mK}$$

Setelah kecepatan rata-rata aliran didapat, maka Re dapat dicari dengan persamaan,

$$Re = \frac{VD}{v} = 19626,80489$$

Setelah Re didapat, maka Nu akan diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$Nu = 3,6 + \frac{0,065(D/L)Re.Pr}{1 + 0,04[(D/L)Re.Pr]^{2/3}}$$

$$Nu = 13,25930088$$

Kemudian koefisien perpindahan panas didapat berikut ini.

$$h = \frac{k \times Nu}{D} = 817,8155132 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Kemudian, untuk mencari suhu keluar, rumusnya adalah,

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{hA_s}{\dot{m}c_p}\right)$$

$$A_s = \pi DL = 0,0628 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = \rho A_c V$$

$$\dot{m} = 0,022764 \text{ kg/s}$$

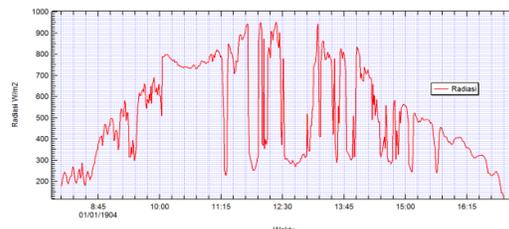
Maka,

$$T_e = T_s - (T_s - T_i) \exp\left(-\frac{hA_s}{\dot{m}c_p}\right)$$

$$T_e = 45,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

Jadi panas air yang keluar dari solar water heater adalah 45,76 °C dan panas air ini sudah bisa digunakan untuk mandi air panas.

Menghitung kehilangan panas pada Solar Water Heater, berikut grafik radiasi matahari

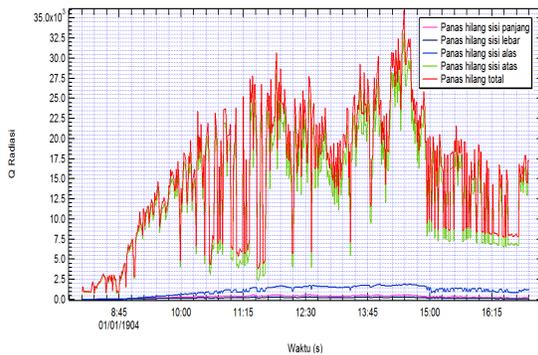


Gambar 4 Grafik Radiasi vs Waktu tanggal 10 september 2012

Total kehilangan panas dari *Solar water heater* adalah 8359666,242 Watt jika dikonversikan ke joule setara dengan $139.328 \text{ Watt} \cdot 60 \text{ s}$, Maka $Q_{\text{LossesTotalBox}} = 8.359.666 \text{ J}$ (8,36 MJ). Berikut hasil perhitungan kehilangan panas pada percobaan:

Tabel 1 Hasil perhitungan kehilangan panas berdasarkan sisi *Solar Water Heater*.

| Q-loss | Nilai | Satuan |
|--------------|-------------|--------|
| Sisi Panjang | 177866,51 | J |
| Sisi Lebar | 93208,32512 | J |
| Sisi Alas | 589806,0994 | J |
| Sisi Atas | 7498785,308 | J |
| Total | 8359666,242 | J |



Gambar 5 Grafik Hasil perhitungan kehilangan panas berdasarkan sisi *Solar Water Heater*.

V. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian sebuah *Solar Water Heater* yang mempunyai Dimensi: Panjang 2 m, Lebar = 1 m, Tebal = 0,180 m, Tinggi = 0,250 m. Dan bahannya berupa Kayu jenis Meranti dengan luas total 4,58 m² dan ketebalannya 2,1 cm, polystyrene dengan luas total 3,9599 m² dan ketebalannya 3 cm, rockwool dengan luas total 3,51398 m² dan ketebalannya 6 cm, kaca tipe *plate* dengan luas total 2 m² dan ketebalannya 0,6 cm. *Water heater* dapat memanaskan air menggunakan energi

matahari sebesar 12,6 MJ/hari. *Solar Water Heater* ini masih perlu dilakukan penelitian untuk mencari kehilangan panas pada radiasi di minimalkan, melakukan penelitian terhadap *PCM* yang pas untuk menyimpan panas selain *stearic acid*, untuk jumlah energi yang dapat diserap, bagian pelat aluminium dicat dengan cat yang mempunyai warna hitam sempurna.

Referensi

- [1] AncheVedi. "Several Instrument for exploiting solar energy" <http://www.catpress.com/bplanet9/evolemac.html> (diakses tanggal 29 Juli 2012)
- [2] Buddhi, D, dkk. "Thermal performance evaluation of a latent heat storage unit for late evening cooking in a solar cooker having three reflectors". India : Energy Conversion and management 44 (2003) 809-817
- [3] Ambarita, Himsar. 2011. "Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor". Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [4] Duffle A John. Solar Engineering
- [5] Incropera, Frank P., David P. Dewitt. 1985. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Second Edition". John Wiley & Sons Inc. : New York
- [6] Yunus A. Cengel. "HeatTransfer A Practical Approach, Second Edition". Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore