

STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI SOLAR WATER HEATER JENIS KOLEKTOR PLAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN *THERMAL ENERGY STORAGE*

Jufrizal, Farel H. Napitupulu, dan Himsar Ambarita

Fakultas Teknik, Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater Kampus Universitas Sumatera Utara, Medan, 20155
Email: atjehb@gmail.com atau atjehb@yahoo.com

Abstrak

Ketersediaan air panas untuk mandi merupakan kebutuhan penting bagi rumah tangga dan industri. Bagi industri perhotelan, fasilitas ini harus dimiliki untuk dapat digolongkan kedalam hotel berbintang. Sehingga manajemen hotel harus mengeluarkan biaya yang besar setiap bulan untuk menghadirkan air panas di setiap kamar hotel. Salah satu solusi bagi ketersediaan air panas termurah dan efektif untuk kebutuhan rumah tangga dan komersial adalah menggunakan *solar water heater* (SWH). SWH yang ada saat ini masih memiliki kelemahan yaitu harga investasi awal masih tergolong mahal dan memerlukan biaya operasional tinggi karena masih menggunakan pemanas tambahan. Metode yang sedang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan pada SWH antara lain adalah dengan penambahan TES menggunakan material berubah fasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan *thermal energy storage* (TES) di dalam kolektor surya plat datar pada proses *charging* dan *discharging*. Jenis material berubah fasa yang digunakan dalam penelitian ini adalah parafin wax sebanyak 19,5 kg. SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES telah dibuat dan diuji dalam skala kecil untuk beberapa hari pengujian. Hasil pengujian pada proses *charging* dapat disimpulkan bahwa massa parafin wax yang melebur terbanyak adalah 18,81 kg dan efisiensi termal tertinggi diperoleh 44,28%. Sedangkan pada proses *discharging* volume air panas terbanyak diperoleh 40 liter untuk temperatur minimum 35°C dan efisiensi termal tertinggi adalah 46,81%.

Kata Kunci: Kolektor, Performansi, Solar Energy, Thermal Energy Storage

Abstract

Availability of hot water for showers is an important requirement for households and industry. For the hospitality industry, this facility should held in order to be classified into five-star hotel. So the hotel management had to incur huge costs each month to supply the hot water in every hotel room. One solution for hot water supply cheapest and effective for household and commercial needs is to use solar water heater (SWH). SWH available today still has a weakness, namely the price of the initial investment is still relatively expensive and require a high operational cost because they use an extra heater. Investigation methods are being developed to address the weaknesses of SWH is by adding TES, using phase change material. This study aims to determine the ability of thermal energy storage (TES) in the flat plate solar collector on the charging and discharging process. Type of phase change material used in this study was 19.5kg of paraffin wax. SWH type of flat plate collector with the addition of TES has been created and tested on a small scale for a few days of testing. Test results on the charging process can be concluded that the mass of melted paraffin wax which is as much as 18.81kg and the highest thermal efficiency obtained is 44.28%. Meanwhile in the process of discharging the highest volume of hot water obtained is 40 liters for a minimum temperature of 35°C and the highest thermal efficiency is 46.81%.

Key Words: Collector, Performance, Solar Energy, Thermal Energy Storage

1. Pendahuluan

Air panas untuk mandi merupakan salah satu kebutuhan manusia. Mandi dengan air bersuhu sekitar 32°C sampai 38°C menurut penelitian dapat membuka pori-pori kulit sehingga membantu mengeluarkan toksin, menurunkan tingkat gula darah, menyembuhkan sakit otot, menghilangkan stres karena pekerjaan dan membantu menjaga usus besar bekerja dengan baik [1,2]. Selain itu disaat sakit flu, dokter sering menganjurkan pasiennya supaya mandi dengan air panas. Mengingat manfaat dari mandi air panas sangat besar maka sudah seharusnya setiap rumah tangga, hotel, dan rumah sakit memerlukan fasilitas ini.

Ketersediaan air panas merupakan salah satu fasilitas yang harus dimiliki oleh sebuah hotel untuk dapat digolongkan kedalam hotel berbintang. Sehingga manajemen hotel harus mengeluarkan biaya yang besar setiap bulannya untuk menghadirkan air panas pada setiap kamar hotel. Hasil simulasi yang penulis lakukan terhadap beberapa hotel berbintang di kotamadya Medan provinsi Sumatera Utara tentang biaya yang harus dikeluarkan jika menggunakan pemanas listrik sebagai penghasil air panas menunjukkan bahwa untuk menghasilkan air panas bersuhu 38°C untuk setiap hotel per bulan harus mengeluarkan biaya listrik yang tergolong besar. Untuk hotel dengan kamar 324 buah membutuhkan biaya listrik sampai dengan Rp.12.500.000,- perbulan. Sehingga terjadi pemborosan energi listrik dan tidak sesuai dengan kebijakan pemerintah yang sedang menggalakkan program penghematan energi nasional sehingga subsidi bahan bakar minyak (BBM) dan listrik dapat dikurangi.

Salah satu solusi bagi ketersediaan air panas adalah dengan memanfaatkan energi

matahari sebagai sumber energi panas. Saat ini peralatan dengan prinsip konversi energi matahari untuk memanaskan air telah ada di pasaran yang dikenal dengan SWH. SWH merupakan penghasil air panas termurah dan efektif untuk kebutuhan rumah tangga dan komersial dibandingkan dengan pemanas air dengan sumber energi yang lain [3]. SWH yang ada saat ini ternyata investasi awal masih tergolong mahal dan memerlukan biaya operasional yang tinggi karena masih menggunakan pemanas tambahan. Permasalahan ini menyebabkan SWH menjadi tidak ekonomis sehingga pengguna SWH hanya terbatas pada golongan ekonomi menengah keatas.

Banyak metode yang sudah dikembangkan dan diteliti untuk memperbaiki kelemahan yang dimiliki oleh SWH yaitu dengan mengintegrasikan sistem penyimpanan panas pada kolektor menggunakan garam hidrat sebagai material berubah fasa [4]. Penambahan sistem penyimpanan energi panas laten pada tangki SWH menggunakan parafin *wax* juga telah diuji [5,6] dan dianalisa secara numerik [7,8,9]. Sedangkan sistem penyimpanan energi panas laten dan alat penukar kalor yang ditambahkan pada sistem pemanas air matahari domestik telah dipelajari secara numerik dan eksperimental menggunakan lauric acid [10]. Pemanas air energi surya tipe kotak sederhana yang dilengkapi material berubah fasa jenis stearic acid juga telah dibuat dan diuji pada proses *charging* dan *discharging* [11,12,13,14].

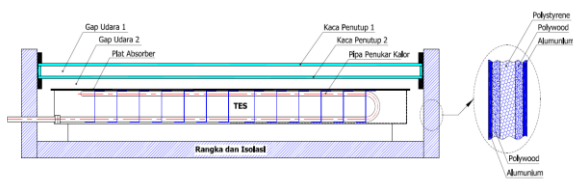
Didasari hasil penelitian terdahulu dan beberapa pertimbangan-pertimbangan teoritis maka penulis bermaksud melakukan kajian secara eksperimental untuk mengetahui performansi SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES menggunakan material berubah fasa. Jenis material berubah fasa yang

digunakan dalam penelitian ini adalah parafin *wax*. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi termal dan massa parafin *wax* yang melebur pada proses *charging*. Serta efisiensi termal dan volume air panas yang dihasilkan pada proses *discharging*. Dari hasil penelitian ini diharapkan prototipe SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES dapat menjadi salah satu peralatan pemanas air alternatif bagi kebutuhan rumah tangga dan komersial.

2. Perpindahan Panas pada Kolektor

2.1. Model Kolektor

Model kolektor plat datar dengan penambahan TES yang akan dianalisa seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Kolektor terdiri dari beberapa komponen yang meliputi permukaan kaca penutup 1, gap udara 1, kaca penutup 2, gap udara 2, plat absorber, TES, pipa-pipa penukar kalor dan rangka serta isolasi. Rangka dan isolasi menggunakan polywood dan polystyrene serta dilapisi dengan plat aluminium supaya tidak mudah rusak akibat panas dan hujan. Pipa-pipa penukar kalor disusun secara paralel supaya air lebih lama mengambil panas dari TES.

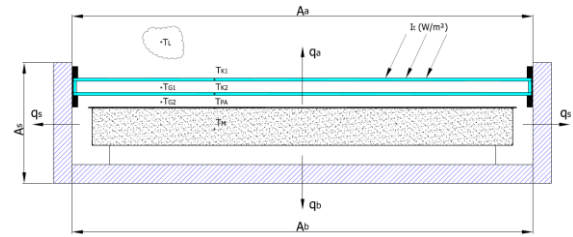


Gambar 1. Model kolektor plat datar dengan penambahan TES

2.2. Kehilangan Energi pada Kolektor

Ilustrasi kehilangan energi panas pada kolektor ketika proses *charging* seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kehilangan energi panas tersebut terjadi dari bagian atas (q_a), bawah (q_b) dan samping (q_s). Indikator perubahan panas ditunjukkan dari perubahan temperatur lingkungan

(T_L), kaca penutup 1 (T_{K1}), gap udara 1 (T_{G1}), kaca penutup 2 (T_{K2}), gap udara 2 (T_{G2}), plat absorber (T_{PA}), dan TES (T_M).



Gambar 2. Skema kehilangan energi panas pada kolektor

Nilai q_a sebanding dengan perkalian koefisien kehilangan energi panas dari bagian atas (U_a) dengan luas sisi kolektor bagian atas (A_a) serta selisih temperatur plat absorber (T_{PA}) dan lingkungan (T_L). Secara matematis dapat dituliskan seperti pada persamaan (1).

$$q_a = U_a \times A_a \times (T_{PA} - T_L) \quad (1)$$

Dimana U_a dalam satuan $W/m^2.K$ dan dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$U_a = \frac{1}{\frac{1}{h_{v-K1}} + \frac{1}{h_{d-K1}} + \frac{1}{h_{v-K2}} + \frac{1}{h_{d-K2}} + \frac{1}{h_{r-PA} + h_{v-PA}}} \quad (2)$$

Kehilangan panas pada bagian bawah ditunjukkan pada persamaan (3).

$$q_b = U_b \times A_b \times (T_{PA} - T_L) \quad (3)$$

Dimana U_b dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$U_b = \frac{1}{\frac{1}{h_{v-Al}} + \frac{1}{h_{d-Isolasi}} + \frac{1}{h_{r-PA}}} \quad (4)$$

Pada perhitungan q_s nilai koefisien U_s sama dengan U_b karena pengaruh ketebalan isolasi peralatan dan kondisi lingkungan selama pengujian. Sehingga q_s dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$q_s = U_s \times A_s \times (T_{PA} - T_L) \quad (5)$$

2.3. Efisiensi pada Proses Charging

Efisiensi termal TES pada proses *charging* sangat bergantung pada

tingginya panas yang mampu disimpan oleh material ($\sum q_M$) perhari dan rendahnya energi panas yang hilang dari dinding kolektor ($\sum q_b + \sum q_s$) serta berbanding terbalik dengan energi panas yang dikumpulkan oleh kolektor ($\sum q_{rad}$). Secara matematis dapat dituliskan seperti pada persamaan (6).

$$\eta_{th-ch} = \frac{\sum q_M - (\sum q_b + \sum q_s)}{\sum q_{rad}} \quad (6)$$

Pada waktu proses *charging*, TES terjadi perubahan fasa dari padat ke cair. Jika jumlah energi panas yang diterima oleh material dari plat absorber adalah sebesar q_M maka ketika fasa padat, q_M berpindah secara konduksi dari plat absorber ke material (q_{d-M}) dan dapat dihitung dengan hukum Fourier seperti pada persamaan (7).

$$q_{d-M} = \frac{2 \cdot k_M \cdot A_M \cdot (T_{PA} - T_M)}{\Delta y} \quad (7)$$

Dimana k_M adalah nilai konduktifitas termal material berubah fasa. A_M dan Δy merupakan luas dan tebal dari TES.

Pada fasa padat ini, material hanya mengalami kenaikan temperatur akibat panas sensibel yang diterima dan jumlah panas yang disimpan menurut Lane adalah seperti pada persamaan (8) [15].

$$q_M = m \cdot c_p \cdot (T_f - T_i) \quad (8)$$

Dimana m adalah jumlah material penyimpan. c_p adalah panas spesifik material pada kondisi solid. T_f dan T_i adalah suhu akhir dan awal material.

Ketika material berubah fasa mulai ada yang melebur maka terjadi perubahan fasa dari padat ke cair dan jumlah panas laten yang disimpan adalah seperti pada persamaan (9).

$$q_M = m' \cdot K_L \quad (9)$$

Dimana m' adalah massa material berubah fasa yang melebur dan K_L adalah panas laten material.

Pada fasa melebur ini q_M masih dianggap berpindah secara konduksi ke material dan dapat dihitung dengan persamaan (7). Jika seluruh material sudah mencair maka material sudah masuk ke fasa cair dan jika pemanasan terus berlangsung, q_M akan berpindah ke material secara konveksi dan jumlah energi panas dapat dihitung dengan persamaan (10).

$$q_{k-M} = h_M \cdot A_M \cdot (T_{PA} - T_M) \quad (10)$$

Besarnya energi panas yang dikumpulkan oleh kolektor (q_{rad}) dalam Watt dapat dihitung menggunakan persamaan (11).

$$q_{rad} = \alpha_{PA} \times \tau_{KI} \times A_K \times I_t \quad (11)$$

Dimana α_{PA} adalah nilai absorsivitas dari plat absorber yang bergantung dari bahan material. Untuk bahan plat aluminium nilai absorsivitas adalah 0,97. τ_K merupakan transmisivitas kaca penutup yaitu 0,82 [16]. Sedangkan A_K dan I_t adalah luas dari kolektor dan intensitas radiasi matahari hasil pengukuran.

2.4. Efisiensi pada Proses *Discharging*

Proses *discharging* terjadi pada saat material kembali membeku disertai dengan perpindahan panas dari material ke air. Performansi pada proses ini juga ditunjukkan oleh efisiensi termal (η_{th-dh}). Dimana η_{th-dh} adalah merupakan perbandingan antara jumlah energi panas yang disimpan air ($\sum q_A$) dibandingkan dengan jumlah energi panas yang disimpan material ($\sum q_M$) dapat dirumuskan seperti persamaan (12).

$$\eta_{th-dh} = \frac{\sum q_A}{\sum q_M} \quad (12)$$

Dimana q_A dapat dihitung dengan persamaan (8).

3. Metode Penelitian

3.1. Alat dan Bahan

SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES yang telah dibuat dan diuji seperti pada Gambar 3. Komponen utama peralatan ini adalah kolektor plat datar yang disusun dari 2 lembar kaca penutup berukuran 1025×435×5 (mm), plat absorber dari bahan aluminium berukuran 973×414×1 (mm) yang bercat hi-temp warna hitam, wadah parafin wax dari bahan aluminium yang berukuran 960×395×65 (mm) dan pipa-pipa penukar kalor berbahan tembaga.



Gambar 3. Peralatan Penelitian

Parafin wax (Gambar 4) yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 19,5kg. Sifat-sifat parafin wax seperti ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Parafin wax

Tabel 2. Sifat-sifat termal dan fisik parafin wax [17,18,19]

Sifat termal dan fisik	Nilai
Temperatur leleh (°C)	59,1

Panas laten/fusi (kJ/kg)	173,6
Massa jenis (kg/m ³)	
Padat	910
Cair	790
Panas spesifik (kJ/(kg.°C))	
Padat	2,00
Cair	2,15
Konduktivitas termal (W/m.K)	
Padat	0,346
Cair	0,220

Peralatan utama yang digunakan untuk pengukuran dalam penelitian ini yaitu HOBO *micro station data logger* dan Agilent *data acquisition* dengan tipe 34972A. HOBO *micro station data logger* yang terdapat di laboratorium *Sustainable and Renewable Energy* Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara seperti pada Gambar 5 memiliki beberapa alat ukur yaitu: *pyranometer*, *wind velocity sensor* dan *ambient measurement apparatus* yang digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan dan kecepatan angin. Alat ini memiliki interval waktu pengukuran 1 detik sampai dengan 18 jam dan akurasi waktu 0 sampai dengan 2 detik serta dihubungkan ke *data logger* untuk proses penyimpanan data secara otomatis.



Gambar 5. HOBO *micro station data logger*

Agilent 34972A (Gambar 6) yang terhubung dengan termokopel berfungsi untuk membaca dan menyimpan data temperatur dari semua titik-titik yang diukur. Alat ini memiliki saluran

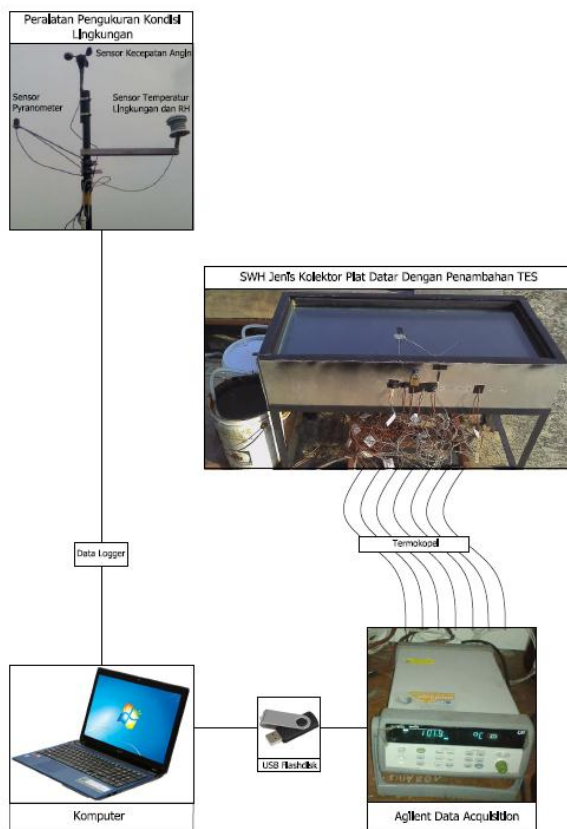
termokopel 20 buah dan mampu memindai data hingga 250 saluran per detik.



Gambar 6. Agilent 34972A

3.2. Eksperimental Setup

Proses pengukuran SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES pada proses *charging* dan *discharging* seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema eksperimental setup

Pengukuran pada proses *charging* dimulai dari pagi sampai sore hari yang meliputi intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, kecepatan angin,

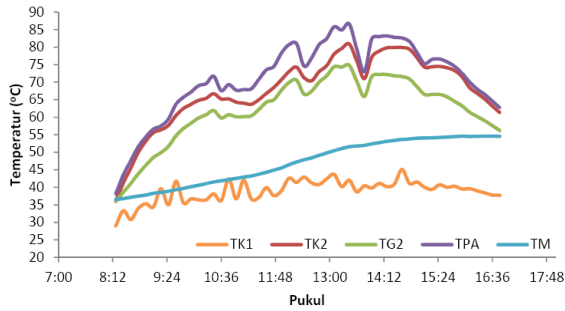
temperatur kolektor dan TES. Setelah SWH terhubung dengan semua alat ukur maka prosedur selanjutnya yang dilakukan pada proses ini yaitu menghidupkan *Agilent 34972A* pada pagi sampai sore hari.

Setelah sore hari dilanjutkan dengan proses *discharging* yaitu dengan melewati air ke pipa-pipa penukar kalor menggunakan pompa untuk mengambil panas dari TES. Proses ini dilakukan terus menerus sampai temperatur air panas minimum 35°C . Skema eksperimental setup pada proses ini hampir sama dengan proses *charging* tetapi pada proses ini perlu dilakukan pengukuran volume air dingin dan panas menggunakan gelas ukur. Setelah selesai pengukuran pada kedua proses maka data pengukuran diambil menggunakan *fleshdisk* dari *Agilent 34972A* dan *HOBO micro station data logger* untuk diolah dan dianalisa.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Proses *Charging*

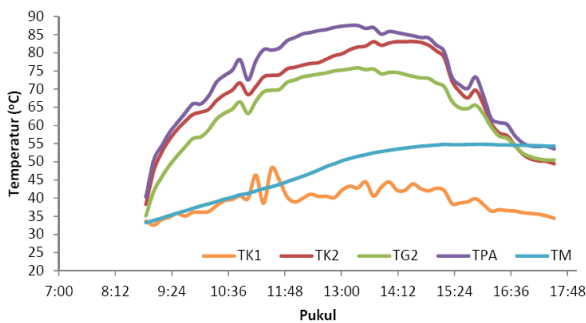
Pengujian pertama dilakukan tanggal 20 Juni 2013 pukul 8.16 sampai dengan 16.46 WIB memperlihatkan bahwa nilai rata-rata temperatur lingkungan, radiasi matahari dan kecepatan angin berturut-turut adalah $33,67^{\circ}\text{C}$, $506,17 \text{ W/m}^2$ dan $3,71 \text{ m/s}$. Sedangkan profil temperatur kolektor seperti ditampilkan pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa selama pengujian temperatur rata-rata setiap komponen kolektor yaitu $T_{K1} = 38,89^{\circ}\text{C}$, $T_{K2} = 67,58^{\circ}\text{C}$ dan $T_{PA} = 71,09^{\circ}\text{C}$. Sedangkan perubahan temperatur rata-rata TES yaitu $18,08^{\circ}\text{C}$ dimana $T_{Mi} = 54,60^{\circ}\text{C}$ dan $T_{Mf} = 36,53^{\circ}\text{C}$. Sehingga menunjukkan bahwa TES tidak seluruhnya mencair karena T_M tidak mencapai temperatur *melting* ($59,1^{\circ}\text{C}$).



Gambar 8. Grafik profil temperatur proses charging tanggal 20 Juni 2013

Hasil pengolahan dan analisa data pada hari ini diperoleh efisiensi termal proses charging hari pertama pengujian adalah 36,94% dan jumlah massa TES yang melebur 17,36 kg.

Gambar 9 memperlihatkan hasil pengukuran hari ke-2 yang merupakan hari dimana cuaca paling cerah. Pengujian dilakukan tanggal 21 Juni 2013 dimulai dari pukul 8.51 sampai dengan 17.31 WIB. Hasil data pengukuran menunjukkan nilai rata-rata temperatur lingkungan dan radiasi matahari adalah 34,27°C dan 523,37 W/m². Sedangkan kecepatan angin rata-rata rendah yaitu 2,18 m/s.



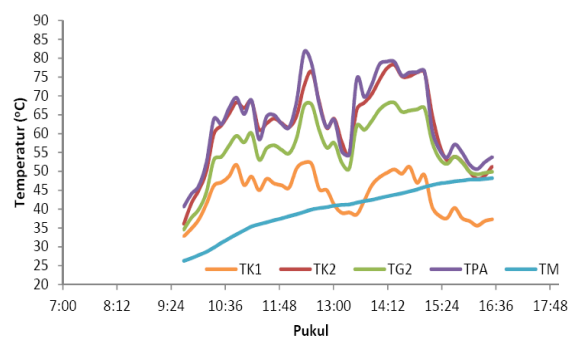
Gambar 9. Grafik profil temperatur proses charging tanggal 21 Juni 2013

Pada hari ini menunjukkan temperatur rata-rata setiap komponen kolektor adalah $T_{K1} = 39,47^{\circ}\text{C}$, $T_{K2} = 69,35^{\circ}\text{C}$ dan $T_{PA} = 73,55^{\circ}\text{C}$. Sedangkan perubahan temperatur rata-rata TES yaitu 21,53°C dimana $T_{Mi} = 26,28^{\circ}\text{C}$ dan $T_{Mf} = 48,19^{\circ}\text{C}$. Sehingga kesimpulan pada pengujian ke-2 sama

dengan pada hari pertama yaitu TES tidak seluruhnya mencair tetapi lebih baik dari hari pertama.

Efisiensi termal proses charging hari ini adalah 38,79% dan jumlah massa TES yang melebur 18,81kg.

Hasil pengukuran hari terakhir tanggal 31 Agustus 2013 ditunjukkan pada Gambar 10 dimana terlihat kurva temperatur dari masing-masing komponen kolektor selalu berubah-ubah mengikuti intensitas radiasi matahari.



Gambar 10. Grafik profil temperatur proses charging tanggal 31 Agustus 2013

Pada hari ini, pengukuran mulai dilakukan dari pukul 9.41 sampai dengan 16.31 WIB. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai rata-rata temperatur lingkungan, radiasi matahari dan kecepatan angin adalah 32,28°C, 553,68 W/m² dan 0,06 m/s.

Temperatur rata-rata untuk masing-masing komponen adalah $T_{K1} = 43,92^{\circ}\text{C}$, $T_{K2} = 62,23^{\circ}\text{C}$ dan $T_{PA} = 63,65^{\circ}\text{C}$. Sedangkan perubahan temperatur rata-rata TES yaitu 21,91°C dimana $T_{Mi} = 26,28^{\circ}\text{C}$ dan $T_{Mf} = 48,19^{\circ}\text{C}$. Pada hari ini bisa disimpulkan bahwa energi panas yang berhasil disimpan kedalam TES lebih rendah dari kedua pengujian sebelumnya.

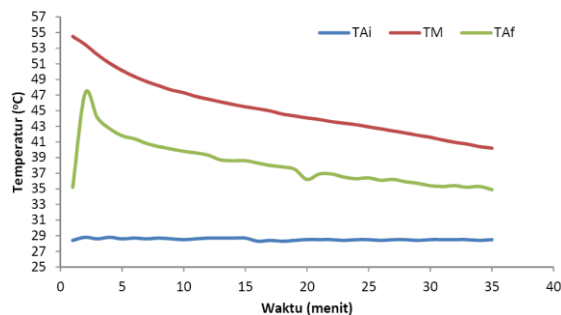
Efisiensi termal pada hari ini merupakan yang tertinggi selama

pengujian yaitu 44,28% tetapi massa TES yang melebur terendah yaitu 13,91kg.

4.2. Proses *Discharging*

Pengujian pada proses *discharging* dilakukan setelah proses *charging* untuk melihat laju perpindahan panas dari material berubah fasa ke air

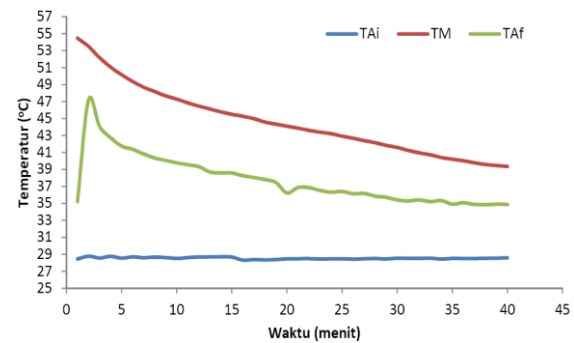
Hasil pengujian pada hari pertama ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa temperatur TES pada permulaan proses *discharging* adalah $T_{Mi} = 54,50^{\circ}\text{C}$ dan akhir $T_{Mf} = 40,20^{\circ}\text{C}$, sehingga perubahan temperatur pada TES adalah $14,30^{\circ}\text{C}$. Sedangkan temperatur rata-rata air sebelum masuk pipa-pipa penukar panas $T_{Ai} = 28,53^{\circ}\text{C}$. Jumlah air panas yang bisa dihasilkan dengan temperatur minimum $T_{Af} = 35^{\circ}\text{C}$ adalah 35 liter. Sedangkan efisiensi termal proses *discharging* pada hari ini diperoleh 46,30%.



Gambar 11. Grafik profil temperatur proses *discharging* tanggal 20 Juni 2013

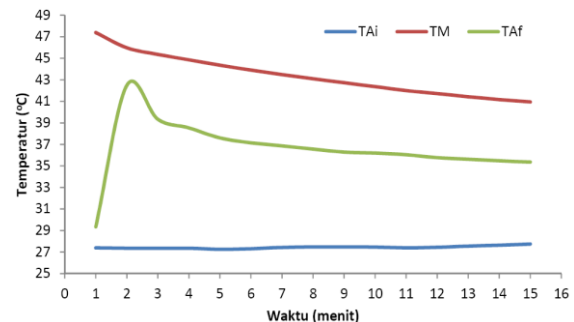
Pada pengujian ke-2 dari proses *discharging* hasilnya ditampilkan pada Gambar 12 yang memperlihatkan bahwa temperatur rata-rata TES pada permulaan proses $T_{Mi} = 54,47^{\circ}\text{C}$ dan akhir $T_{Mf} = 39,35^{\circ}\text{C}$, sehingga perubahan temperatur adalah $15,12^{\circ}\text{C}$. Temperatur air rata-rata sebelum masuk pipa-pipa penukar panas $T_{Ai} = 28,53^{\circ}\text{C}$. Total air panas yang diperoleh dengan temperatur minimum $T_{Af} = 35^{\circ}\text{C}$ adalah 40 liter. Efisiensi termal

merupakan tertinggi selama pengujian yaitu 46,81%.



Gambar 12. Grafik profil temperatur proses *discharging* tanggal 21 Juni 2013

Hasil pengujian di hari ke-3 pada tanggal 31 Agustus 2013 ditampilkan pada Gambar 13, dimana temperatur rata-rata TES pada permulaan proses $T_{Mi} = 47,39^{\circ}\text{C}$ dan akhir $T_{Mf} = 40,94^{\circ}\text{C}$, sehingga perubahan temperatur adalah $6,45^{\circ}\text{C}$. Temperatur air rata-rata sebelum masuk pipa-pipa penukar panas $T_{Ai} = 27,44^{\circ}\text{C}$. Total air panas dengan temperatur minimum $T_{Af} = 35^{\circ}\text{C}$ diperoleh sebanyak 15 liter. Efisiensi termal pada proses ini hanya mencapai 23,58%.



Gambar 13. Grafik profil temperatur proses *discharging* tanggal 31 Agustus 2013

5. Simpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap SWH jenis kolektor plat datar dengan penambahan TES diperoleh kesimpulan bahwa efisiensi termal pada proses *charging* tertinggi diperoleh pada pengujian ke-3 tanggal 31

Agustus 2013 yaitu 44,28% dikarenakan pada hari ini kehilangan panas kolektor ($\sum q_b + \sum q_s$) lebih kecil sehingga jumlah energi panas total yang disimpah oleh TES ($\sum q_M$) lebih banyak. Massa parafin *wax* melebur tertinggi diperoleh pada tanggal 21 Juni yaitu 18,81kg dari total 19,5kg.

Efisiensi termal pada proses *discharging* tertinggi diperoleh pada hari ke-2 pengujian yaitu 46,81% karena pada hari tersebut paling banyak energi panas yang berpindah ke air. Total air panas yang diperoleh dengan temperatur minimum 35°C adalah 40 liter.

Daftar Pustaka

- [1] Tekindo Utama. Mandi Air Hangat, Nikmat dan Sehat. <http://www.pemanasair-wikaswh.com/artikel/49/mandi-air-hangat-nikmat-dan-sehat/>. Diakses tanggal 05 Juli 2012.
- [2] Anonim. Bagaimana Menentukan Suhu / Temperatur Air Mandi Aromaterapi. <http://tanya-cara-untuk.blogspot.com/2012/03/>. Diakses tanggal 29 September 2013.
- [3] Wikaawh. Pemanas Air Bebas Listrik Maupun Gas. <http://wikaawh.blogdetik.com/tag/pemanas-air-tenaga-ac/>. Diakses tanggal 29 September 2013.
- [4] Rabin Y, Bar-Niv I, Korin E, Mikic B. Integrated solar collector storage system based on a salt-hydrate phase change material. *Solar Energy* 1995; 55: 435–444.
- [5] Vikram D, Kaushik S, Prashanth V, Nallusamy N. An Improvement in the Solar Water Heating Systems using Phase Change Materials. *Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries, India; 2006*.
- [6] Nallusamy N, Sampath S, Velraj R. Study on performance of a packed bed latent heat thermal energy storage unit integrated with solar water heating system. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* 2006; ISSN 1009-3095 (Print); ISSN 1862-1775 (Online).
- [7] Felix RA, Solanki SC, Saini JS. An analysis of a packed bed latent heat thermal energy storage system using PCM capsules: Numerical investigation. *Renewable Energy* 2009; 34:1765–1773.
- [8] Talmatsky E, Kribus A. PCM storage for solar DHW: An unfulfilled promise. *Solar Energy* 2008; 82:861–869.
- [9] Kousksou T, Bruel P, Cherreau G, Leoussoff V, El Rhafiki T. PCM storage for solar DHW: From an unfulfilled promise to a real benefit. *Solar Energy* 2011; 85:2033–2040.
- [10] Murray R, Desgrosseilliers L, Stewart J, Osbourne N, Marin G, Safatli A, Groulx D, White MA. Design of a Latent Heat Energy Storage System Coupled with a Domestic Hot Water Solar Thermal System. *World Renewable Energy Congress, Linkoping Sweden; 2011*.
- [11] Fauzi. Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Kotak Sederhana Yang Dilengkapi Phase Change Material Dengan Kapasitas 100 Liter Air (Skripsi). Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia; 2012.
- [12] Lumbantoruan HF. Pengujian Proses Charging Sebuah Pemanas Air Energi Surya Tipe Kotak Sederhana Yang Dilengkapi Phase Change Material Dengan Luas Permukaan Kolektor 2 m² (Skripsi).

- Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia; 2012.
- [13] Setiawan P. Pengujian Proses Discharging Sebuah Pemanas Air Energi Surya Tipe Kotak Sederhana Yang Dilengkapi Phase Change Material Dengan Kapasitas 100 Liter Air(Skripsi). Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia; 2012.
- [14] Sianturi AE. Studi Pemanfaatan Pemanas Air Tenaga Surya Tipe Kotak Sederhana Yang Dilengkapi *Thermal Storage Solar Water Heater*.(Skripsi). Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Indonesia; 2012.
- [15] Sharma A, Tyagi VV, Chen C.R., Buddhi D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009;13:318–345.
- [16] SunGuard. Clear Float Glass. Guardian Industries Corp. http://www.me.en.sunguardglass.com/.../gi_005564; 2010. Diakses tanggal 15 Juni 2012.
- [17] PT. Brataco. Certificate of Analysis Semi Refineo Paraffin Wax. Sinochem Heilongjiang I/E Corporation. China; 2012.
- [18] Zalba B, Martin JM, Cabeza LF, Mehling H. Review on thermal energy storage with phase change: materials heat transfer analysis and applications. *Applied Thermal Engineering* 2003; 23:251–283.
- [19] Khot SA, Sane NK, Gawali BS. Experimental Investigation of Phase Change Phenomena of Paraffin Wax inside a Capsule. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, Volume 2 Issue 2-2011; ISSN: 2231-5381.