

PENGUJIAN PROSES CHARGING SEBUAH PEMANAS AIR ENERGI SURYA TIPE KOTAK SEDERHANA YANG DILENGKAPI PCM (PHASE CHANGE MATERIAL) DENGAN LUAS PERMUKAAN KOLEKTOR 2 M²

Heri Firmansah Lumban Toruan¹, Tekad Sitepu², Himsar Ambarita³, M.Syahril Gultom⁴
Email: heri_lumbantoruan@yahoo.co.id

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Medan Indonesia

Abstrak

Air panas menjadi kebutuhan utama di rumah sakit, hotel, dan restoran. Sumber energi untuk memanaskan air adalah listrik yang dihasilkan dari pembangkit tenaga listrik. Pembangkit tenaga listrik tersebut menggunakan bahan bakar batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Penggunaan bahan bakar unrenewable tersebut tidak akan terus berlanjut karena jumlahnya yang terbatas. Belum lagi kerusakan lingkungan akibat limbah yang dihasilkan oleh bahan bakar. Keterbatasan tersebut membuat banyak orang untuk memanfaatkan energi terbarukan yang langsung menghasilkan energi panas, yaitu energi matahari. Namun, energi matahari hanya diperoleh pada siang hari. Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan adalah memanfaatkan energi tersebut menggunakan thermal storage. Thermal storage ini berfungsi sebagai penyimpan panas yang berisi phase change material (PCM). PCM yang digunakan adalah stearic acid yang merupakan salah satu jenis asam lemak jenuh. Thermal storage ini berada di dalam kolektor surya yang berfungsi untuk menangkap energi radiasi matahari. Kolektor ini dilengkapi dengan penutup kaca ganda (double glass). Hasil pengujian menunjukkan jumlah energi yang tersimpan pada stearic acid mencapai 15,5 MJ dengan efisiensi 41,8 %. Jumlah intensitas radiasi matahari pada kondisi tersebut adalah 16,65 MJ/m². Pemanfaatan energi matahari ini menunjukkan bahwa thermal storage memiliki potensi besar sebagai penyimpan energi panas terbarukan di masa mendatang.

Kata Kunci : energi matahari, thermal storage, stearic acid, efisiensi

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi semakin meningkat dengan adanya kemajuan teknologi. Sumber energi yang banyak dipakai sampai saat ini adalah sumber energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak bumi, batubara, dan gas bumi. Karena kebutuhan energi meningkat maka usaha manusia untuk mengeksplorasi sumber energi di atas turut meningkat. Mengingat terbatasnya persediaan sumber energi tersebut, manusia mulai memanfaatkan sumber energi lain seperti energi matahari, energi gelombang, energi angin, energi pasang surut, dll.

Sekitar setengah energi matahari masuk mencapai permukaan bumi. Bumi menerima 174 penta Watt (PW) radiasi matahari masuk di bagian atas atmosfer [1]. Sekitar 30% tercermin kembali ke ruang sementara sisa diserap oleh awan, samudera, dan

tanah. Total energi matahari yang diserap oleh atmosfer, samudera, dan tanah adalah sekitar 3.850.000 exa Joules (EJ) per tahun. Jumlah energi matahari mencapai permukaan planet ini begitu luas. Bila dibandingkan, energi matahari dua kali lebih banyak daripada semua sumber energi non-terbarukan seperti batu bara, minyak, gas alam, dll.

Sejauh ini, salah satu pemanfaatan energi matahari terbesar yaitu untuk pemanas air. Pemanas air dengan menggunakan tenaga matahari atau lebih dikenal dengan sebutan *Solar Water Heater (SWH)* efisiensinya terus dikembangkan. Pada tahun 2007, penggunaan air panas dunia mencapai 154 GW [2]. Cina merupakan negara terbesar penggunaan air panas sebesar 70 GW pada tahun 2006 dan berencana mencapai 210 GW pada tahun 2020.

Bagi negara berkembang seperti Indonesia, perlu diakui bahwa keterbatasan dana memang merupakan hambatan yang cukup besar. Untuk itu, pemanfaatan energi matahari ini dapat dimulai dari yang sederhana yaitu menangkap energi yang berupa gelombang elektromagnetik itu dengan kolektor plat datar yang kemudian diteruskan ke pipa-pipa yang berisi air.

Kolektor surya plat datar terdiri dari plat penyerap yang memiliki konduktivitas termal yang baik, dimana plat penyerap ini berhubungan dengan pipa-pipa yang mengalirkan cairan, sebuah atau lebih penutup tembus cahaya di bagian atas. Energi radiasi matahari yang datang, ditransmisikan melalui penutup transparan dan diubah menjadi panas oleh plat penyerap dimana bagian dasar dan sisi plat penyerap diberi isolasi. Panas yang diterima oleh plat penyerap selanjutnya dikonduksikan ke pipa-pipa untuk memanaskan cairan.

Kolektor surya yang dirancang merupakan *Thermal Storage* yang menggantikan fungsi tangki penampungan air panas. Sehingga, *Thermal Storage* yang berisikan PCM (*Phase Change Material*) tersebut dapat digunakan untuk memanaskan air setelah dipanaskan pada siang hari.

Penelitian *solar water heater* yang menggunakan PCM telah banyak dilakukan. Shukla dkk. (India) menggunakan *paraffin wax* sebagai PCM. Mereka membuat tiga buah SWH plat datar dengan penutup kaca tunggal. Kolektor pertama berbentuk kotak berdimensi 1,1 m x 0,85 m x 0,15 m yang diisolasi. Kolektor kedua hampir sama dengan kolektor pertama, perbedaannya adalah pada kolektor kedua ini dipasang reflektor. Untuk kolektor ketiga, PCM berada di bawah air yang dipisahkan oleh sekat.

Tarhan dkk. (Turki) menggunakan *lauric acid* dan *myristic acid* [3]. Tujuan penggunaan dua PCM sekaligus adalah untuk mengurangi panas hilang. *Myristic acid* berfungsi sebagai insulator karena temperatur lelehnya lebih tinggi dibandingkan *lauric acid*. Mereka melakukan penelitian

untuk mencari tahu kemampuan *lauric acid* sebagai material pemanas dan *myristic acid* sebagai insulator untuk menjaga distribusi temperatur air di dalam tanki.

Penggunaan PCM sebagai pemanas air menurut Kribus dan Talmatsky (Israel) tidak memberikan keuntungan yang lebih besar dibandingkan dengan memanaskan air menggunakan energi surya tanpa PCM [4]. Bahkan penelitian yang mereka lakukan menunjukkan bahwa penggunaan PCM malah memberikan kerugian. Beberapa kerugian yang mereka peroleh adalah jumlah panas hilang yang besar ke lingkungan ketika memanaskan air pada malam hari, perbedaan performansi yang terlalu kecil di antara keduanya, dan biaya pembuatan *thermal storage* untuk PCM yang tinggi.

Kousksou dkk. (Perancis) membantah penelitian yang dilakukan oleh Kribus dan Talmatsky [5]. Mereka melakukan penelitian untuk membuktikan apakah penelitian Kribus dan Talmatsky benar atau tidak. Dari hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan PCM sebesar 46,5 %, sedangkan tanpa PCM sebesar 45,2 %. Energi *back-up* penggunaan PCM lebih kecil (723 MJ) dibandingkan tanpa menggunakan PCM (843 MJ). Mereka juga mengatakan penggunaan PCM memberikan keuntungan yang besar, yaitu keamanan suplai energi yang tinggi, sistem konstruksi yang mudah, dan mampu mempertahankan energi di dalam *thermal storage* untuk digunakan pada malam hari.

PCM yang digunakan pada penelitian ini adalah *stearic acid* yang meleleh pada suhu 55,1°. Keunggulan penggunaan PCM sebagai pemanas air dibandingkan tanpa PCM adalah volume/ massa dari zat pemanas (yaitu PCM) lebih kecil dibandingkan dengan zat yang dipanaskan (air). Hal ini disebabkan karena zat pemanas memiliki kalor laten yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kalor sensibel zat yang dipanaskan (temperatur lebur zat pemanas lebih

kecil dibandingkan zat yang dipanaskan). *Stearic acid* tersebut menutupi seluruh luasan permukaan luar pipa yang akan dilalui air untuk dipanaskan. Lelehan *stearic acid* tersebut merupakan wujud dari perubahan fasa yang memiliki kalor laten dan sensibel yang cukup besar. Kalor inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan air secara langsung.

Tujuan penelitian proses *charging* kolektor surya ini adalah:

(1)mengetahui intensitas radiasi yang diterima *thermal storage* kolektor surya plat datar.

(2)mengetahui jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan *stearic acid* yang berada di dalam *thermal storage*.

(3)Mengetahui efisiensi *thermal storage* pada proses *charging*.

2. Tinjauan Pustaka

Phase Change material adalah materi yang mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) dimana struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan. Perubahan fasa inilah yang menjadi alasan utama penggunaan PCM karena pada kondisi ini temperatur PCM konstan.

PCM ini merupakan penyimpanan energi bisa dilakukan dalam bentuk panas sensibel, panas laten, atau hasil energi kimia yang dapat balik (*reversibel*). Energi yang disimpan tersebut tidak hanya digunakan untuk memanaskan suatu fluida, tetapi juga mampu untuk mendinginkan atau mempertahankan temperatur suatu fluida agar tetap konstan. Penyimpanan energi kimia belum digunakan secara praktis. Hal ini disebabkan biaya dan penggunaannya memerlukan perhatian khusus. Saat ini, penelitian tentang material penyimpan panas dipusatkan pada panas sensibel dan panas laten [6].

Material yang digunakan sebagai PCM harus memiliki panas laten yang besar dan konduktifitas termal yang tinggi. PCM tersebut juga harus memiliki temperatur titik cair yang bekerja pada rentang temperatur yang diizinkan,

reaksi kimia yang stabil, biaya rendah, tidak beracun, dan tidak menyebabkan korosi [7].

PCM diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu *organik* dan *non organik*. PCM organik merupakan PCM dari golongan hidrokarbon, asam/ ester atau garam, alkohol, freon, dan polimer. Keuntungan penggunaan PCM organik adalah sifat fisik dan kimia yang stabil dan perilaku termal material yang baik. Kerugian penggunaan PCM ini adalah konduktifitas termal rendah, massa jenis rendah, titik lebur rendah, kelembapan tinggi, mudah terbakar, dan perubahan volume.

PCM nonorganik merupakan campuran unsur metal pembentuk garam. Keuntungan penggunaan PCM non organik adalah penyimpanan energi yang tinggi, konduktifitas termal tinggi, dan tidak mudah terbakar. Kerugian penggunaan PCM ini adalah mudah menyebabkan pengkaratan, pemisahan unsur ketika terjadi perubahan fasa, dan penurunan suhu yang drastis.

Stearic acid atau *asam oktadekanot* merupakan salah satu jenis PCM dari asam lemak yang memiliki gugus 18 atom karbon. Asam stearat adalah asam lemak jenuh, yang berarti molekul terdiri dari rantai panjang atom karbon terikat bersama oleh ikatan tunggal dan dengan dua atom hidrogen terikat satu sama dari atom karbon internal [8].

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 $55,1^{\circ}\text{C}$ dan mendidih pada suhu 361°C . Massa jenis dari asam stearat adalah 965 kg/m^3 (solid) dan 848 kg/m^3 (liquid). Kalor jenis solid dan liquid masing-masing adalah $1,6\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ dan $2,2\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Asam stearat memiliki kalor lebur 160 kJ/kg [9].

Panas yang mengalir secara konduksi dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah. Laju perpindahan panas konduksi dapat dinyatakan dengan *Hukum Fourier* [10].

$$\dot{Q} = -kA \left(\frac{T_2 - T_1}{L} \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

- \dot{Q} = Laju perpindahan panas (W)
- k = Konduktivitas Termal (W / (m.K))
- A = Luas penampang yang terletak pada aliran panas (m²)
- T_2 = Temperatur akhir (°C)
- T_1 = Temperatur awal (°C)
- L = Tebal plat (m)

Pada umumnya laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan hukum persamaan pendinginan Newton, yaitu sebagai berikut [11].

$$\dot{Q} = hA (T_s - T_f) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

- \dot{Q} = Laju perpindahan panas (Watt)
- h = Koefisien konveksi (W / m². K)
- A = Luas permukaan kolektor surya (m²)
- T_s = Temperatur plat (K)
- T_f = Temperatur fluida (K)

Nilai koefisien konveksi dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini [11].

$$h = \frac{Nu \cdot k}{L} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,

- h = koefisien konveksi (W / m². K)
- Nu = Bilangan Nusselt
- k = konduktivitas termal (W/m.K)
- L = panjang plat (m)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung bilangan Reynold adalah sebagai berikut[11].

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

- Re = bilangan Reynold
- ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
- U = kecepatan aliran fluida (m/s)
- L = Panjang pipa (m)
- μ = viskositas (Ns/m²)

Bilangan Nusselt sebuah plat dapat ditentukan dengan melihat kasusnya. Berikut ini adalah beberapa kasus dalam menentukan bilangan Nusselt.

1. Pada kasus plat datar dengan temperatur konstan [11].

$$Nu_x = 0,332 \times Re_x^{-1/2} \dots\dots\dots(2.5)$$

untuk $Re < 5 \times 10^5$

$$Nu_x = 0,0296 \times Re_x^{0,8} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(2.6)$$

untuk $5 \times 10^5 \leq Re \leq 10^7$

Dimana,

- Nu_x = Bilangan Nusselt sepanjang x
- Re_x = Bilangan Reynolds sepanjang x
- Pr = Bilangan Prandlt

2. Konveksi natural permukaan luar bidang horizontal.

$$Nu = 0,54 \times Ra_L^{0,25} \dots\dots\dots(2.7)$$

untuk $10^4 < Ra_L < 10^7$

$$Nu = 0,15 \times Ra_L^{1/3} \dots\dots\dots(2.8)$$

untuk $10^7 < Ra_L < 10^9$

Dimana,

- Nu_L = Bilangan Nusselt
- Ra_L = Bilangan Rayleigh

3. Konveksi natural pada ruang tertutup yang dipanasi dari sisi bawah.

$$Nu = 1 + 1,41 \left[1 - \frac{1708}{Ra_L} \right]^+ + \left[\frac{Ra_L^{1/4}}{18} - 1 \right]^+ \dots\dots\dots(2.9)$$

Untuk $Ra_L < 10^5$

Dimana,

- Nu_L = Bilangan Nusselt
- Ra_L = Bilangan Rayleigh

Untuk bilangan Rayleigh sendiri dapat dihitung dari persamaan berikut [12].

$$Ra_L = \frac{g \beta (T_s - T_r) L^3}{\alpha \nu} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana,

- Ra_L = bilangan Rayleigh
- β = $1/T_r$
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)
- T_s = temperatur permukaan plat (K)
- T_r = temperatur referensi (K)

L = panjang karakteristik (Luas permukaan/ keliling permukaan)
 α = difusivitas thermal (m^2/s)
 ν = viskositas kinematik (m^3/s)

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik atau paket-paket energi (*photon*) yang dapat dibawa sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium.

Persamaan radiasi pada atmosfer (G_{on}) yang diajukan oleh Spencer tahun 1971 adalah [13] :

$$G_{on} = G_{sc}(1,00011 + 0,034221\cos B + 0,00128\sin B + 0,000719\cos 2B + 0,00077\sin 2B) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana,
 G_{sc} = Daya radiasi rata-rata yang diterima atmosfer bumi (W/m^2) dengan nilai B (konstanta hari) sebagai berikut [13].

$$B = \frac{(n-1)360}{365} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana,
 G_{sc} = $1367 W/m^2$
 B = konstanta yang bergantung pada nilai n
 G_{on} = radiasi yang diterima atmosfer bumi (W/m^2)
 n = tanggal ke- i

Solar Time atau jam matahari adalah waktu berdasarkan pergerakan semu matahari di langit pada tempat tertentu. Jam matahari (disimbolkan ST) berbeda dengan penunjukkan jam biasa (standard time, disimbolkan STD). Hubungannya adalah [13]:

$$ST = STD \pm 4(L_{st} - L_{loc}) + E \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana,
 STD = waktu lokal
 L_{st} = *standart meridian* untuk waktu lokal ($^\circ$)
 L_{loc} = derajat bujur untuk daerah yang dihitung ($^\circ$); untuk bujur timur, digunakan -4 , untuk bujur barat digunakan $+4$
 E = faktor persamaan waktu

E adalah *equation of time*, dalam satuan menit dirumuskan oleh Spencer pada tahun 1971 [13].

$$E = 229,2(0,000075 + 0,001868\cos B - 0,032077\sin B - 0,014615\cos 2B - 0,04089\sin 2B) \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana,
 B = konstanta yang bergantung pada nilai n
 E = faktor persamaan waktu

Spencer (1971) mengajukan persamaan untuk menghitung sudut deklinasi yaitu [13]:

$$\delta = C_1 + C_2\cos B + C_3\sin B + C_4\cos 2B + C_5\sin 2B + C_6\cos 3B + C_7\sin 3B \dots (2.15)$$

Dimana :
 $C_1 = 0,006918$
 $C_2 = -0,399912$
 $C_3 = 0,070257$
 $C_4 = -0,006758$
 $C_5 = 0,000907$
 $C_6 = -0,002679$
 $C_7 = 0,00148$
 n = hari ke
 δ = sudut deklinasi (rad)
 B = konstanta hari

Sudut *zenith* θ_z adalah sudut yang dibentuk garis sinar terhadap garis *zenith*. Cosinus sudut *zenith* dapat dicari melalui persamaan berikut [13].

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \dots (2.16)$$

Sudut jam matahari (ω) dihitung berdasarkan jam matahari. Definisi sudut jam matahari adalah sudut pergeseran semu matahari dari garis siangnya [13].

$$\omega = 15(STD - 12) + (ST - STD) \times \frac{15}{60} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :
 STD = waktu lokal
 ST = solar time
 ω = sudut jam matahari ($^\circ$)

Dengan estimasi langit cerah, fraksi radiasi matahari yang diteruskan

dari atmosphere ke permukaan bumi adalah [13]:

$$T_b = a_o + a_1 \exp\left(\frac{-k}{\cos \theta_z}\right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

- $a_o = r_o (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2)$
- $a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2)$
- $k = r_k (0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2)$
- A = ketinggian dari permukaan laut (km)
- r_o, r_1, r_k = faktor koreksi akibat iklim

Radiasi *beam* adalah radiasi yang langsung di transmisikan dari atmosphere ke permukaan bumi. Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari radiasi *beam* [13] :

$$G_{beam} = G_{on} T_b \cos \theta_z \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

- G_{on} = radiasi yang diterima atmosfer (W/m^2)
- T_b = fraksi radiasi yang diteruskan ke bumi
- θ_z = sudut *zenith*
- G_{beam} = radiasi yang ditransmisikan dari atmosfer ke permukaan bumi (W/m^2)

Persamaan yang digunakan untuk mencari radiasi *diffuse* adalah [13]:

$$G_{diffuse} = G_{on} \cos \theta_z (0,271 - 0,294 T_b) \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

- G_{on} = radiasi yang diterima atmosphere (W/m^2)
- T_b = fraksi radiasi yang diteruskan ke bumi
- θ_z = sudut *zenith*
- $G_{diffuse}$ = Radiasi yang dipantulkan ke segala arah dan kemudian dapat dimanfaatkan

Radiasi total adalah jumlah dari radiasi *beam* dan radiasi *diffuse* adalah sebagai berikut[13].

$$G_{total} = G_{beam} + G_{diffuse} \dots\dots\dots(2.21)$$

Radiasi total yang diterima oleh suatu permukaan, tidak semuanya mampu diserap oleh kolektor. Panas

hilang radiasi kolektor dapat ditentukan dengan persamaan berikut[12].

$$\dot{Q} = \frac{\sigma A (T_s^4 - T_{c1}^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_s} + \frac{1}{\epsilon_{c1}} - 1\right)} \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana,

- \dot{Q} = Laju perpindahan panas (W)
- A = Luas permukaan plat (m^2)
- σ = konstanta Stefan – Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)
- T_s = Temperatur plat (K)
- T_{c1} = Temperatur kaca terluar (K)
- ϵ_s = emisivitas plat
- ϵ_{c1} = emisivitas kaca terluar

3. Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan tujuan penelitian ini, pengujian dimulai dengan menghubungkan kabel-kabel termokopel antara agilent dan parameter-parameter yang akan diukur temperaturnya. *Flashdisk* dicolokkan ke agilent untuk pencatatan/penyimpanan data selama pengukuran. Setelah agilent membaca temperatur selama waktu yang telah diatur, *flashdisk* dicabut dan dibaca dalam bentuk Microsoft Excel pada computer (Data diambil pada tanggal 10 September 2012)

Adapun parameter-parameter pengujian yang diukur temperaturnya oleh agilent adalah sebagai berikut (lihat Gambar 1) .

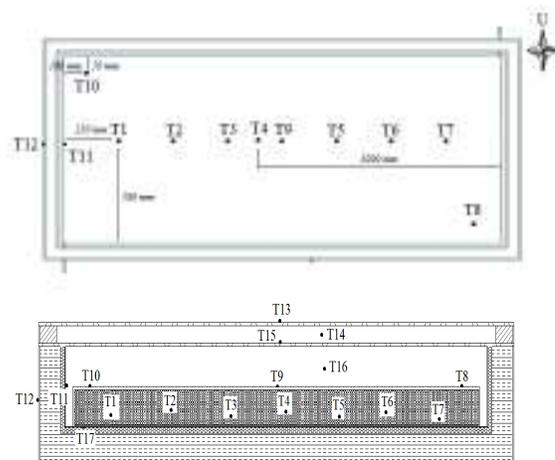
- 7 termokopel ditempatkan pada *stearic acid* (1-7)
- 3 termokopel ditempatkan pada sisi atas *thermal storage* (8-10)
- 1 termokopel ditempatkan pada aluminium (11)
- 1 termokopel ditempatkan pada kayu (12)
- 1 termokopel ditempatkan pada kaca atas (13)
- 1 termokopel ditempatkan pada kaca bawah (15)
- 1 termokopel ditempatkan antara kaca atas dan bawah (14)
- 1 termokopel ditempatkan antara kaca bawah dan *thermal storage* (16)

- 1 termokopel ditempatkan dibawah *thermal storage* (17)

Parameter lain yang akan diukur adalah radiasi matahari ($G_{rata-rata}$) dan lamanya waktu pengujian. Radiasi matahari yang diukur menunjukkan seberapa besar radiasi solar pada 1 hari dalam 1 m² dalam rentang waktu 1 menit.

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah:

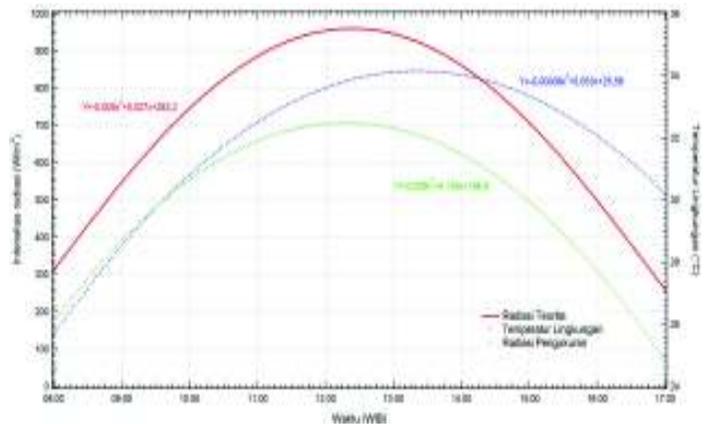
1. Sisi panjang kolektor dihadapkan pada arah mata angin utara dan selatan.
2. Pengujian dilakukan pada kondisi langit cerah.
3. Luas permukaan butiran *stearic acid* dianggap sama dengan luas permukaan absorber.
4. Sifat fisik udara dan *stearic acid* dianggap konstan.
5. Pengambilan data untuk intensitas radiasi dilaksanakan pada pukul 08.00 – 17.00 WIB di Departemen Teknik Mesin USU. Data-data lain yang diperlukan dalam analisa diambil sesuai dengan literatur yang relevan.



Gambar 1 Letak termokopel pada kolektor surya

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pengujian dan analisis data, radiasi pengukuran dan radiasi teoritis dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



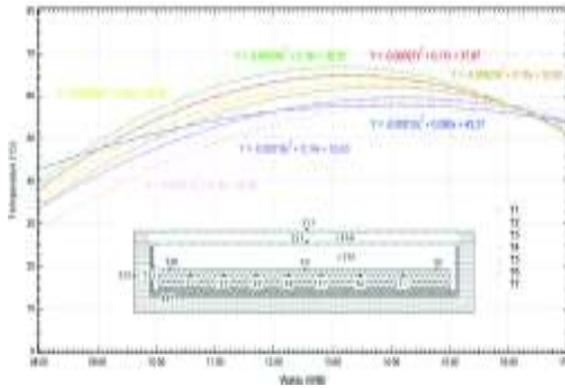
Gambar 2 Grafik Waktu-vs-radiasi teoritis, radiasi pengukuran, dan temperatur lingkungan

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa pola radiasi pengukuran dan teoritis adalah sama. Intensitas radiasi maksimum terjadi sekitar pukul 12.30 WIB.

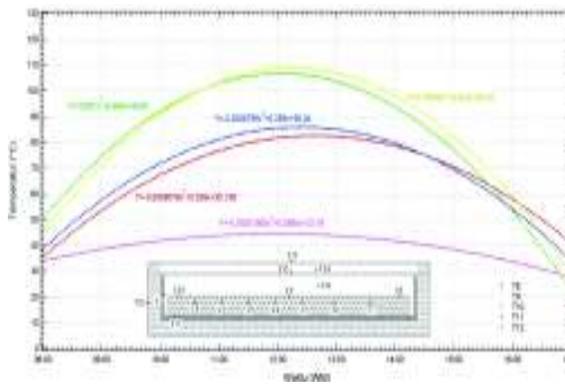
Terdapat perbedaan antara data radiasi teoritis dengan radiasi pengukuran pada Gambar 2. Perbedaan itu dikarenakan beberapa faktor, yaitu:

1. Data radiasi teoritis yang lebih besar dari data radiasi pengukuran disebabkan karena pengukuran dalam kondisi berawan
2. Data radiasi teoritis yang lebih kecil dari data radiasi pengukuran disebabkan karena kemungkinan penyimpangan persamaan yang digunakan. Terutama persamaan (2.13), karena kontanta untuk daerah tropis terlalu luas yaitu antara 23°LU – 23°LS (dari kota Macau, China sampai kota Longreach, Australia sejauh 5.135 km).

Hasil pengukuran T1-T17 dapat dilihat pada gambar berikut ini. Dari gambar tersebut bisa kita ketahui bahwa pola pengukuran temperatur PCM adalah sama. Temperatur maksimum PCM terjadi pada pukul 13.00. Temperatur mulai menurun drastic sekitar pukul 16.00. Hal ini disebabkan intensitas radiasi matahari sangat rendah.

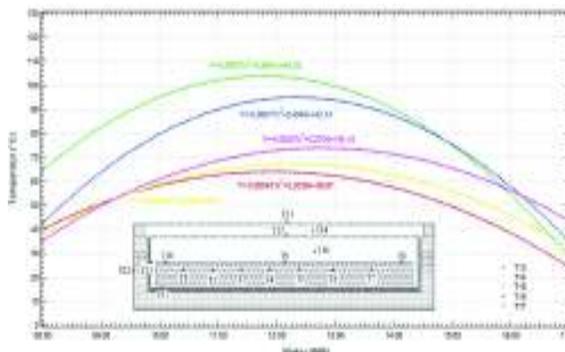


Gambar 3 Grafik waktu-vs-temperatur stearic acid (T1-T7)



Gambar 4 Grafik Waktu-vs-T8-T12

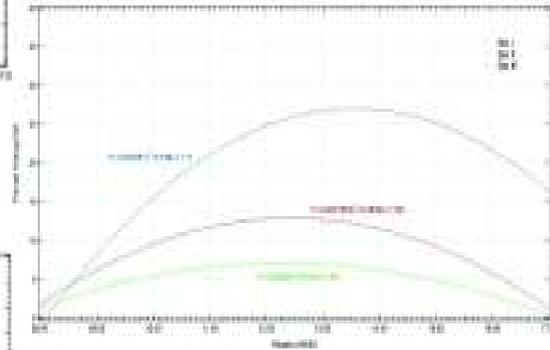
Grafik 4 di atas menunjukkan temperatur absorber (T8-T11) merupakan temperatur tertinggi dan terjadi pada pukul 12.00 WIB. Namun, pada pukul 15.30 WIB temperatur absorber lebih kecil dibandingkan dengan temperatur antar kaca dan absorber (T14 & T16).



Gambar 5 Grafik Waktu-vs-T13-T17

Dari Gambar 5 di atas, temperature maksimum terjadi pada pukul 12.00 WIB. Temperatur tertinggi ketika mencapai puncaknya akan menjadi temperatur paling rendah ketika intensitas radiasi menurun.

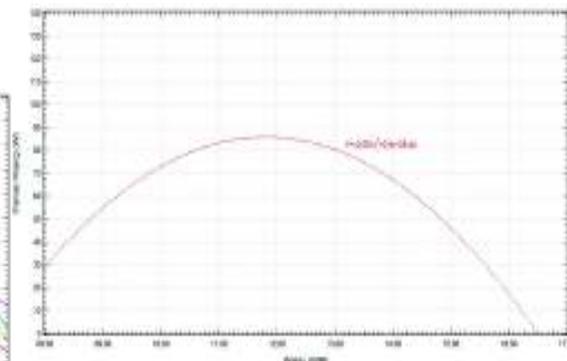
Berikut adalah grafik panas hilang dari sisi dinding dan alas kolektor.



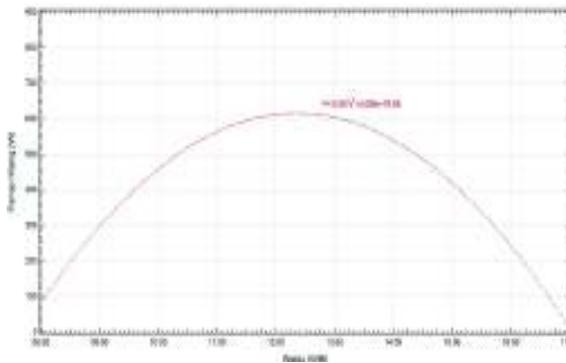
Gambar 6 Grafik Waktu-vs-Panas Hilang sisi I, II, dan III

Panas hilang terbesar terjadi pada sisi alas (Pukul 13.30 WIB). Hal ini disebabkan luas permukaan mempengaruhi jumlah panas yang hilang. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa panas hilang sisi panjang dikali tinggi lebih rendah dari sisi alas. Panas hilang sisi panjang dikali tinggi lebih tinggi dibandingkan dengan panas hilang sisi lebar dikali tinggi.

Untuk panas hilang melalui permukaan kaca dan panas radiasi kolektor dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 7 Grafik waktu-vs-panas hilang permukaan kaca



Gambar 8 Grafik waktu-vs-panas hilang radiasi

Panas hilang maksimum untuk permukaan kaca terjadi pada pukul 12.00 WIB (86 Watt), sedangkan panas hilang radiasi terjadi pada pukul 12.30 WIB (620 Watt). Panas hilang melalui permukaan kaca tidak terjadi lagi mulai pukul 16.30 WIB. Namun, panas hilang radiasi masih terjadi setelah pukul 17.00 WIB. Panas hilang ini terjadi mengikuti pola radiasi matahari.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengujian dan analisis data, jumlah energi radiasi total yang diterima kolektor mulai pukul 08.00-17.00 WIB adalah $16,65 \text{ MJ/m}^2$. Radiasi pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan radiasi teoritis. Panas hilang total kolektor adalah 12,19 MJ (panas hilang sisi dinding dan alas 1,10 MJ, panas hilang melalui permukaan kaca 1,71 MJ, dan panas hilang radiasi 9,38 MJ). Energi yang diserap stearic acid adalah 13,8 MJ. Dengan demikian efisiensi kolektor adalah 41,8 %.

Untuk penelitian selanjutnya, PCM yang digunakan sebaiknya memiliki konduktivitas yang tinggi. Pengujian sebaiknya dilakukan pada musim kemarau agar diperoleh hasil yang maksimal. Perlu ketelitian dan ketepatan dalam meletakkan termokopel pada PCM.

Daftar Pustaka

- [1] http://is.njit.edu/competition/2009/Cat2_2_Winner_Group142/about.html (diakses tanggal 30 Maret)
- [2] Shukla, A., dkk. 2009. *Solar Water Heaters with Phase Change*

Material Thermal Energi Storage Medium: A Review. Elsevier

- [3] Tarhan, S., dkk. 2006. *Temperature distributions in trapezoidal built in storage solar water heaters with/without phase change materials*. Elsevier
- [4] Kribus, E., Talmatsky, A. 2008. *PCM storage for solar DHW: An unfulfilled promise?*. Elsevier
- [5] Kousksou, T., dkk. 2011. *PCM storage for solar DHW: From an unfulfilled promise to a real benefit*. Elsevier
- [6] Agyenim, F., Eames, P., Hewitt, N., Smyth M. 2009. *A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energi storage systems (LHTESS)*. Elsevier
- [7] Barrenechea, C., Cabeza, L.F., Castell, A., de Gracia, A., Fernández, A.I. 2010. *Materials used as PCM in thermal energi storage in buildings: A review*. Elsevier
- [8] Guston, F. 1996. *Fatty Acid & Lipid*. Aspen Publisher : New York
- [9] Buddhic, D., Chena, C. R., Sharma, A., Tyagib, S.K. 2007. *Numerical heat transfer studies of PCMs used in a box-type solar cooker*. Elsevier
- [10] Cengel, A. Yunus. 2002. *Heat Transfer*. Ebook Edition
- [11] Ambarita, H. 2011. *Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara
- [12] Beckman, A.W., Duffie, A.J. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Inc: New York
- [13] Ambarita, H. 2011. *Energi Surya*. Departemen Teknik Mesin