

STUDY EXPERIMENTAL OPTIMASI KOLEKTOR PLAT DATAR DENGAN MENGGUNAKAN PIPA BERSIRIP UNTUK MEMANASKAN AIR 120 LITER

Firman W. Siahaan^{1*}, Himsar Ambarita², Andianto Pintoro³, Zulkifli Lubis⁴

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Email: siahaanfirman4@gmail.com

Abstract.

Solar energy is a renewable energy where heat obtained from the sun can be utilized without damaging the environment. The most common use of solar energy is to heat water both the active system and the thermosifon system. Using photovoltaic cells as an energy source to pump water is a promising breakthrough. This study aims to improve the efficiency of flat plate collectors with a size of 1.62m x 1.14m x 0.08m to heat water with a capacity of 120 L by adding finned pipes as continuous water circulation designed by Herdy and tested in bright conditions. The best results obtained from testing on August 22, 2019, the results of this study are: 1) Comparison of solar radiation calculations with radiation measurements: The theoretical average radiation on August 22, 2019 is 699.1073 W / m² and the average radiation measurement is 378,666 W / m². 2) The net efficiency of the collector is 65.44%. 3) The efficiency of the fins placed on the water circulation pipe is 67.56% using fins n = 234. 4) The maximum water temperature of all research stages is 49.84 O C, which is the first test on August 22, 2019. 5) The energy needed to heat 120 liters of water on the August 22, 2019 test for eight hours is 11065,296 kJ. 5) The amount of energy wasted from the collector during the test on August 22, 2019 is: On the side of the collector at 42153,991 J, on the back front side of 29672,641 J, On the lower side of the collector at 413508,889 J, On the upper side of the collector at 4886778,321 J, Total wasted energy of 5372113,842 J.

Keywords: water heater, solar energy, flat plate collector, finned pipe

Abstrak.

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang dimana panas yang diperoleh dari matahari dapat dimanfaatkan tanpa merusak lingkungan. Pemanfaatan energi surya yang paling umum adalah untuk memanaskan air baik sistem aktif maupun sistem thermosifon. Menggunakan sel photovoltaic sebagai sumber energi untuk memompa air merupakan satu terobosan yang menjanjikan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kolektor plat datar dengan ukuran 1,62m x 1,14m x 0,08m untuk memanaskan air berkapasitas 120 L dengan menambahkan pipa bersirip sebagai sirkulasi air secara kontiniu yang dirancang oleh Herdy dan telah diuji pada kondisi cerah. Diadapat hasil terbaik dari pengujian pada tanggal 22 Agustus 2019, Adapun hasil penelitian ini adalah : 1) Perbandingan radiasi matahari perhitungan dengan radiasi pengukuran : Radiasi rata-rata teoritis pada tanggal 22 Agustus 2019 adalah 699,1073 W/m² dan Radiasi rata-rata pengukuran adalah 378,666 W/m². 2) Efisiensi bersih kolektor didapat sebesar 65,44%. 3) Efisiensi pada sirip yang diletakkan pada pipa sirkulasi air sebesar 67,56% dengan menggunakan sirip n =234. 4) Temperatur air maksimum dari seluruh tahap penelitian adalah 49,84 ° C yaitu pengujian pertama pada tanggal 22 Agustus 2019. 5) Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air sebanyak 120 liter pada pengujian 22 Agustus 2019 selama delapan jam sebesar 11065,296 kJ. 5) Besar energi terbuang dari kolektor selama pengujian pada tanggal 22 Agustus 2019 adalah: Pada sisi samping kolektor sebesar 42153.991 J , Pada sisi depan belakang sebesar 29672.641 J , Pada sisi bawah kolektor sebesar 413508,889 J , Pada sisi atas kolektor sebesar 4886778.321 J , Total energy yang terbuang sebesar 5372113,842 J.

Kata Kunci: pemanas air, energi surya, kolektor plat datar, pipa bersirip

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang dimana panas yang diperoleh dari matahari dapat dimanfaatkan tanpa merusak lingkungan. Energi panas dari matahari dapat dimanfaatkan salah satunya adalah untuk memanaskan air, dimana air panas ini dapat digunakan pada konsumen rumah tangga, rumah sakit, maupun perhotelan.

Pada perhotelan kebutuhan air panas merupakan salah satu yang tertinggi. Air panas ini digunakan untuk kebutuhan memasak, mandi, kolam air hangat, dan juga kebutuhan lainnya. Pada hotel-hotel khususnya daerah wisata yang berada di tempat terpencil hal ini menimbulkan masalah, karena harga bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan air yaitu bahan bakar fosil semakin tinggi.

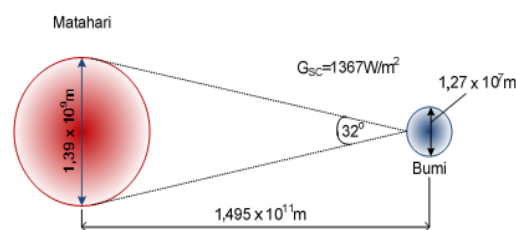
Penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama dalam berbagai kegiatan manusia juga menimbulkan masalah lain. Selain karena bahan bakar ini merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, bahan bakar jenis ini juga mengakibatkan dampak lingkungan diantaranya menyebabkan pemanasan global, dan mengeluarkan gas beracun akibat pembakaran yang tidak sempurna. Oleh sebab itu, sudah menjadi kebutuhan mendesak untuk menggunakan energi terbarukan.

II. TEORI DASAR

2.1 Energi Surya

Salah satu energi terbarukan yang melimpah ketersediaannya yaitu energi surya. Sekitar setengah energi matahari masuk mencapai permukaan bumi. Jumlah energi surya yang mencapai permukaan bumi sangat besar. Bila dibandingkan, energi surya dua kali lebih banyak daripada semua sumber non-terbarukan seperti batu bara, minyak, gas alam, dll.

Bumi mengelilingi matahari dengan lintasan berbentuk *ellipse* dan matahari berada pada pusatnya. Matahari mempunyai diameter $1,39 \times 10^9$ m. Jarak rata-rata matahari dari permukaan bumi adalah $1,49 \times 10^{11}$ m. Daya radiasi surya rata-rata yang diterima atmosfer bumi yaitu (G_{sc}) 1367 W/m^2 . Gambar 2.1 menunjukkan jarak antara matahari dan bumi[5].



Gambar 2.1 Jarak antara matahari dengan bumi

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk elips, maka jarak antara bumi dan matahari tidak konstan. Jarak terdekat adalah $1,47 \times 10^{11}$ m yang terjadi pada tanggal 3 Januari 2011, sedangkan jarak terjauh pada tanggal 3 juli dengan jarak $1,52 \times 10^{11}$ m. Perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi harian yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda.

2.2 Pemanfaat Energi Surya

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 diperbaharui contohnya air, angin dan energi surya. Pembahasan di bawah ini adalah tentang pemanfaatan energi surya, terdapat dua macam pemanfaatan energi surya yaitu:

1. Pemanfaatan *photovoltaic*

Pemanfaatan energi surya ini adalah untuk menghasilkan energi listrik. Menurut Sujono (2009), energi surya yang diubah menjadi energi listrik hanya memiliki efisiensi sekitar 10% [7].

2. Pemanfaatan Thermal

Pemanfaatan ini berupa hanya mengambil energi panas yang dipancarkan oleh matahari tanpa merubah wujud dari energi tersebut. pemanfaatan termalmatahari berupa :

a. Pemanas air tenaga Surya (Solar Water Heater)

Prinsip kerja pemanas air tenaga surya adalah memanaskan air dengan energi surya. Air dialirkan ke pipa-pipa yang pipih, biasanya dicat warna hitam untuk memaksimalkan penyerapan energi surya. Air yang telah mencapai suhu yang diinginkan disimpan ke sebuah silinder sebagai tempat penyimpanan.

b. Pengereng tenaga Surya (Solar Dryer)

Pengereng tenaga matahari adalah proses pengeringan dengan memaksimalkan tenaga matahari saja untuk proses pengeringan . Suhu ruangan yang bisa didapat dari pengereng tenaga matahari berkisar antara 40 C sampai dengan 80 C, tergantung geografis dari dimana pengereng tersebut ditempatkan. Pengereng Tenaga Matahari ini bisa digunakan untuk mengeringkan berbagai produk hasil pertanian dan laut seperti : Kopra, Ubi-ubian, Bawang, Rumput laut, Ikan, Udang, Cumi dll.

c. Solar Cooker

Solar Cooker adalah alat yang memanfaatkan suhu panas dari matahari untuk memasak bahan makanan. Cara kerja dari solar cooker adalah dengan memusatkan panas dari matahari pada panci hingga masakan matang

2.3 Pemanas Air Tenaga Surya (*Solar Water Heater*)

Pemanas air tenaga surya atau populer disebut sebagai *solar water heater* merupakan produk teknologi yang memanfaatkan energi termal surya yang cukup populer dan banyak digunakan, terutama di hotel, villa peristirahatan hingga perumahan. Alat pemanas ini pada terbagi atas dua komponen utama yaitu:

1. Kolektor surya; kolektor surya berfungsi sebagai komponen yang digunakan untuk menangkap energi radiasi matahari yang kemudian akan ditransfer ke air yang mengalir pada pipa sirkulasi yang terdapat di dalam kolektor menggunakan pelat absorber. Kolektor ini pada umumnya menggunakan pelat absorber yang berbentuk pelat rata. Pada bagian atas kolektor akan ditutup dengan lapisan transparan, baik kaca, maupun jenis plastik lainnya.
2. Tangki penyimpanan; tangki penyimpanan adalah komponen alat pemanas air tenaga surya yang berfungsi untuk menyimpan air yang telah dipanaskan kolektor. Tangki ini berperan penting dalam menjaga suhu air yang telah dipanaskan, karena pada umumnya air yang telah dipanaskan, disimpan dalam waktu yang cukup lama sebelum digunakan.

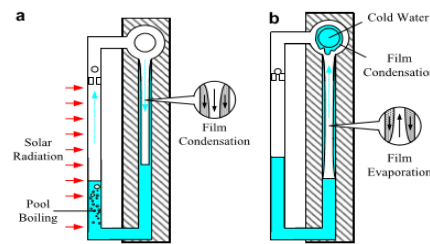
2.3.1. Jenis-jenis Alat Pemanas Air Tenaga Surya

Alat pemanas air tenaga surya (*solar water heater*) secara umum dapat diklasifikasikan menjadi alat pemanas air sistem natural dan alat pemanas air sistem paksa (pompa) menurut cara fluida yang bersirkulasi. Sementara itu jika menurut cara fluida menyerap panas dapat dibedakan menjadi alat pemanas surya sistem pemanasan langsung dan alat pemanas surya sistem pemanasan tidak langsung (Ceylan, 2011).

Berdasarkan cara sirkulasi fluidanya, pemanas air tenaga surya dibedakan menjadi dua jenis yaitu: pemanas air tenaga surya sistem *thermosypon* dan pemanas air tenaga surya sistem aktif.

1. Pemanas air tenaga surya sistem *thermosypon* (sistem pasif)

Menurut Jansen (1995), pemanas air surya paling sederhana tetapi paling efektif adalah pemanas air surya system *thermosypon*. Sistem ini hanya terdiri atas sebuah tangki penyimpanan yang ditempatkan pada bagian atas dari deretan kolektor. Fluida pada kolektor akan dipanasi oleh radiasi matahari, kemudian karena perbedaan massa jenis maka fluida panas akan bergerak kearah tangki dan fluida dingin dari tangki akan bergerak turun untuk menggantikan fluida yang dipanaskan. Gambar 2.20 menunjukkan pemanas surya sistem *thermosypon*[11].

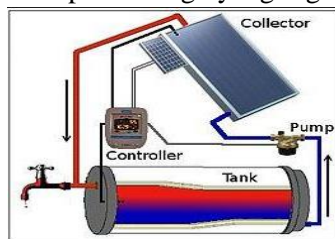


Gambar 2.2 Pemanas air tenaga surya sistem *thermosypon* (a) *charge mode* (b) *discharge mode*.

Sirkulasi pemanasan seperti ini akan terus berlanjut sampai seluruh sistem kira-kira mencapai temperatur yang seragam. Gerakan sirkulasi ini tidak lagi membutuhkan sensor temperatur, alat-alat kontrol, dan pompa sirkulasi serta motor. (Jansen, Ted 1995).

2. Pemanas air tenaga surya sistem aktif

Sistem aktif didefinisikan sebagai sistem pemanas air yang memerlukan energi tambahan (seperti menggunakan pompa) untuk memindahkan air menuju kolektor supaya air menjadi hangat. Energi yang digunakan untuk menggerakkan pompa dapat diperoleh dari energi listrik maupun dari energi matahari yang diubah menggunakan sel *photovoltaic*. Perbedaan utama ke dua sistem ini hanya terletak pada tenaga yang digunakan untuk menggerakkan fluida yang akan dipanaskan.



Gambar 2.3 Pemanas air tenaga surya sistem aktif

2.4 Analisis Sirip

Besarnya laju perpindahan panas benda tidak bersirip dengan benda bersirip berbeda. Pada umumnya, sirip dipasang berfungsi untuk memperluas permukaan dari benda, sehingga laju perpindahan panas konveksinya menjadi besar. Tetapi seberapa besar pengaruh sirip itu di pasang terhadap laju perpindahan panasnya di bandingkan jika tidak di pasang sirip. Yang didinginkan tentunya pengaruh sirip sangat besar terhadap laju perpindahan panas nya agar tidak dirugikan dengan biaya untuk membuat sirip[13].

Apabila sirip dipasang di pipa saluran air yang akan dipanaskan, maka sirip akan dapat membantu pipa saluran air didalam menangkap panas yang diberikan oleh matahari. Semakin luas sirip atau semakin banyak sirip yang akan dipasang di pipa saluran air, maka akan semakin

besar juga panas yang akan dipindahkan ke air. Dengan demikian pemasangan sirip pada pipa saluran air akan sangat berpengaruh terhadap suhu air keluar pemanas air. Pemilihan bahan sirip juga sangat berpengaruh terhadap besarnya panas yang dapat diterima. Penggunaan sirip menggunakan bahan tembaga di pilih karena nilai konduktifitas bahan tembaga sangat bagus untuk menghantarkan laju perpindahan panas.

Efisiensi sirip dapat dihitung melalui perbandingan antara banyaknya panas yang dilepas dengan banyaknya panas yang dipindahkan jika seluruh sirip suhunya sama dengan suhu dasar sirip dan dapat dinyatakan dengan persamaan[13].

$$\eta = \frac{h A_{si} (T_i - T_{\infty})}{h A_{sf} (T_b - T_{\infty})} \quad (1)$$

Keterangan:

η : Efisiensi Sirip

h : Koefisien perpindahan panas konveksi, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A_{si} : Luas permukaan sirip yang bersentuhan dengan fluida, m^2

A_{sf} : Luas permukaan seluruh sirip yang bersentuhan dengan fluida, m^2

T_i : Suhu permukaan sirip, $^\circ C$

T_{∞} : Suhu fluida di sekitar, $^\circ C$

T_b : Suhu dasar sirip, $^\circ C$

2.5 Analisis Energi Pada Kolektor Surya Plat Datar

Nilai kalor yang diperlukan kolektor guna meningkatkan suhu 120 liter air dari suhu 27 $^\circ C$ sampai 50 $^\circ C$ dihitung dengan persamaan :

$$Q_{kolektor} = \dot{m} \cdot C_p (\Delta T) \quad (2)$$

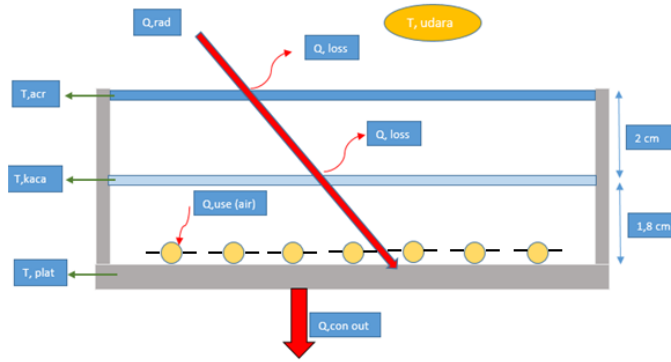
Dengan asumsi efisiensi kolektor sebesar 55%, maka diperoleh nilai $Q_{kolektor}$. Dengan mengetahui nilai rata-rata radiasi yang diperoleh di kota Medan selama satu hari yaitu sebesar 12 MJ, maka luas penampang kolektor dapat diketahui. Luas kolektor diperoleh dengan persamaan :

$$A = Q_{in} / Q_{kolektor} \quad (3)$$

Untuk memperoleh perolehan panas rata-rata per satuan waktu (Watt), selama satu hari penelitian (8 jam), maka digunakan persamaan:

$$q = Q_{kolektor} / (3600 \times 8) \quad (4)$$

Selama kolektor bekerja memanaskan air, terjadi kehilangan panas pada kolektor secara konveksi dan konduksi. Konveksi terjadi pada bagian atas kolektor, sedangkan konduksi terjadi pada bagian bawah dan samping. Nilai panas yang hilang ini akan sangat mempengaruhi efisiensi dari kolektor. Berikut adalah skema kehilangan panas dari kolektor surya :



Gambar 2.4 Skema kehilangan panas pada kolektor

Nilai kalor yang terbangun dari sisi samping kolektor tiap satu menit selama pengujian diperoleh dengan persamaan :

$$q_{out,s} = U \cdot A \cdot (T_p - T_u) \tag{5}$$

$$q_{out,s} = \frac{T_p - T_u}{\frac{1}{h_p} + \frac{t_p}{k_p \cdot A_p} + \frac{t_{pu}}{k_{pu} \cdot A_{pu}} + \frac{t_{pc}}{k_{pc} \cdot A_{pc}} + \frac{1}{h_u}} \tag{6}$$

Nilai energi panas yang terbangun dari sisi samping kolektor tiap satu menit selama pengujian diperoleh dengan persamaan :

$$q_{out,d} = U \cdot A \cdot (T_p - T_u) \tag{7}$$

$$q_{out,d} = \frac{T_p - T_u}{\frac{t_p}{k_p \cdot A_p} + \frac{t_{pu}}{k_{pu} \cdot A_{pu}} + \frac{t_{pc}}{k_{pc} \cdot A_{pc}} + \frac{1}{h_u}} \tag{8}$$

Nilai energi panas yang terbangun dari sisi atas kolektor tiap satu menit selama pengujian diperoleh dengan persamaan :

$$q_{out,a} = U_{tl} \cdot A \cdot (t_{pl} - t_{ul}) \tag{9}$$

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N + f)} \right]^{\epsilon} + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\epsilon_p + 0,00591 N h_w)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0,133 \epsilon_p}{\epsilon_g} N} \tag{10}$$

Nilai energi panas yang terbangun dari sisi bawah kolektor diperoleh tiap satu menit selama pengujian dengan persamaan :

$$q_{out,b} = U \cdot A \cdot (T_p - T_u) \tag{11}$$

$$q_{out,b} = \frac{T_p - T_u}{\frac{1}{h_p} + \frac{t_p}{k_p \cdot A_p} + \frac{t_{pu}}{k_{pu} \cdot A_{pu}} + \frac{t_{pc}}{k_{pc} \cdot A_{pc}} + \frac{t_{acp}}{k_{acp} \cdot A_{acp}} + \frac{1}{h_u}} \tag{12}$$

Total panas yang terbangun dari seluruh sisi kolektor diperoleh dengan persamaan :

$$\Sigma Q_{out} = \Sigma Q_{out,s} + \Sigma Q_{out,d} + \Sigma Q_{out,b} + \Sigma Q_{out,a} \tag{13}$$

Energi yang digunakan untuk memanaskan air adalah jumlah energi yang tersedia di kolektor dikalikan dengan faktor perpindahan panas pada kolektor. Berikut adalah persamaan yang digunakan :

$$q_{use} = F_{R,ave} \cdot (\Sigma q_{in} - \Sigma q_{out}) \tag{14}$$

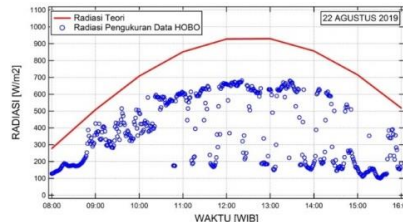
Efisiensi termal kolektor ialah nilai perbandingan antara q_{use} dengan q_{in} . Untuk memperoleh nilai efisiensi kolektor maka digunakan persamaan :

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{q_{\text{use}}}{q_{\text{in}}} \tag{15}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terbaik diperoleh pada tanggal 22 Agustus 2019, Dimana pengujian dimulai pada pagi hari, mulai jam 8:00 pagi sampai berakhir pada sore hari jam 16:00 (hingga intensitas radiasi tidak mencukupi lagi).

3.1 Perbandingan radiasi Teoritis dengan radiasi pengukuran

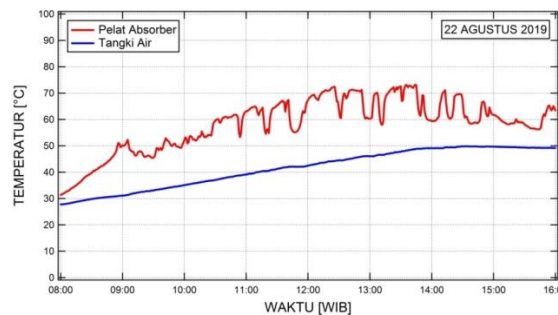


Gambar 3.1 Grafik Perbandingan Radiasi Teoritis vs Radiasi Pengukuran pada tanggal 22 Agustus 2019

Dari gambar 3.1 terlihat terdapat perbedaan antara data radiasi teoritis dengan radiasi pengukuran, dimana data radiasi teoritis lebih besar dibandingkan dengan data radiasi pengukuran hal itu dikarenakan kondisi cuaca dan posisi awan yang bergerak menutup matahari menyebabkan jatuhnya radiasi pada saat pengukuran. Radiasi pengukuran akan mendekati radiasi teoritis jika kondisi langit cerah dan tidak ada yang menghalangi jatuhnya sinar matahari ke permukaan bumi.

Radiasi rata-rata teoritis pada tanggal 22 Agustus 2019 dari pukul 08:00-16:00 adalah 699,1073 W/m². Radiasi rata-rata pengukuran menggunakan *Hobo Microstation Data Logger* pada tanggal 22 Agustus 2019 dari jam 08.00 – 16.00 adalah 378,666 W/m².

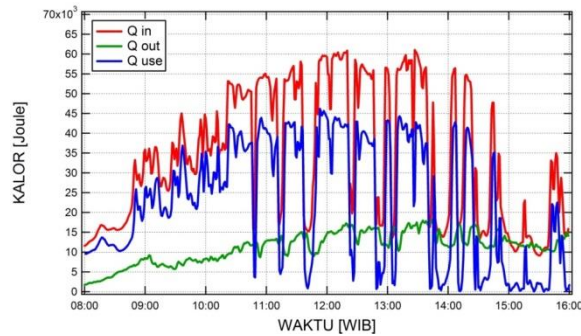
3.2 Perbandingan temperatur Plat Absorber dan Air



Gambar 3.2 Grafik Temperatur Plat dan air vs Waktu

Gambar di atas menunjukkan hubungan temperatur pelat absorber, temperatur air di dalam tangki dan plat absorber terhadap waktu. Dari grafik itu ditunjukkan bahwa temperature maksimum tertinggi masing-masing, yaitu Temperatur air 49,84°C dan Temperatur plat absorber 73,14°C. Dapat juga kita lihat pada grafik bahwa perubahan atau naik turunnya temperature plat absorber berdasarkan dengan kondisi matahari cerah atau tertutup awan yang menyebabkan berkurangnya radiasi yang masuk sehingga menurunnya temperatur pada beberapa titik kolektor dan sebaliknya.

3.3 Perbandingan Qin, Qout, dan Quse



Gambar 3.3 Grafik perbandingan antara kalor yang diterima, yang terbuang, dan yang digunakan pada kolektor vs waktu

Berdasarkan grafik terlihat bahwa energi yang terbuang dari kolektor cenderung konstan, hanya terdapat sedikit kenaikan diantara pukul 11.00 – 12.00. Sementara energi yang digunakan untuk memanaskan air memiliki kecenderungan yang sama dengan energi yang diterima oleh kolektor.

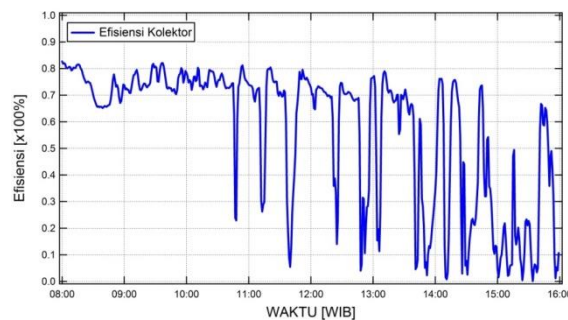
Pada gambar 3.3 ditunjukkan grafik dari Kalor yang diterima (Q_{in}),kalor terbuang (Q_{out}), dan kalor yang digunakan (Q_{use}). Pada kalor yang diterima (Q_{in}) diperoleh sebesar 16378168.5 Joule, pada kalor yang terbuang (Q_{out}) diperoleh sebesar 5372113.8 Joule, dan pada kalor yang digunakan untuk memanaskan air (Q_{use}) diperoleh sebesar 10718404.3 Joule.

3.3 Efisiensi Kolektor

Efisiensi termal kolektor ialah nilai perbandingan antara q_{use} dengan q_{in} .

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{q_{use}}{q_{in}} = \frac{10718404.3 \text{ J}}{16378168.5 \text{ J}} = 0,6544$$

Telah dilakukan pula perhitungan efisiensi tiap menit pada kolektor yang baru selama pengujian. Efisiensi tiap menitnya ditunjukkan pada gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Grafik efisiensi kolektor vs waktu

Berdasarkan grafik dapat terlihat bahwa efisiensi tiap menitnya berubah-ubah sesuai dengan besarnya perolehan energi yang diterima oleh kolektor. Efisiensi termal kolektor tertinggi dicapai pada pukul 08:00 yaitu 0,8264 dan terendah pada pukul 15:34 yaitu 0,0010. Efisiensi kolektor yang berubah-ubah tergantung pada perolehan panas yang diterima oleh kolektor.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan :

Pada penelitian yang telah dilakukan pada pemanas air tenaga surya ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbandingan radiasi matahari perhitungan dengan radiasi pengukuran: Radiasi rata-rata teoritis pada tanggal 20 Agustus 2019 dari pukul 08:00-16:00 adalah 696,9134 W/m² dan Radiasi rata-rata pengukuran adalah 382,8923 W/m².
2. Efisiensi bersih kolektor didapat sebesar 65,44% .
3. Efisiensi pada sirip yang diletakkan pada pipa sirkulasi air sebesar 67,56% dengan menggunakan sirip $n = 234$.
4. Temperatur air maksimum dari seluruh tahap penelitian adalah 49,84°C yaitu pengujian kedua pada tanggal 22 Agustus 2019.
5. Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan air sebanyak 120 liter pada setiap pengujian selama delapan jam yaitu Pada 22 Agustus 2019 sebesar 11065,296 kJ
6. Besar energy terbuang dari kolektor selama pengujian adalah
 - a. Pada sisi samping kolektor (Kiri ,kanan,) sebesar 42153.991 J
 - b. Pada sisi depan belakang sebesar 29672.641 J
 - c. Pada sisi bawah kolektor sebesar 413508,889 J
 - d. Pada sisi atas kolektor sebesar 4886778.321 J
 - e. Total energy yang terbuang sebesar 5372113,842 J

4.2 Saran:

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Sebaiknya termokopel (sensor suhu) dapat diganti agar pengujian berikutnya lebih efektif.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat menambahkan kapasitas air yang akan dipanaskan
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya jangan dilakukan pengisolasian kolektor secara menyeluruh Sebelum melakukan pemasangan termokopel (sensor suhu) pada titik yang akan diukur.

REFERENSI

- [1]Chen, Z, dkk. *Efficiencies of flat plate solar collector at different flow rates*. Science Direct. Energy Procedia 30 (2012) 65 – 72.
- [2]Foste, S, dkk. *Performance and reliability of a high efficiency flat plate collector – final results on prototypes*. Science Direct. Energy Procedia 48 (2014) 48 -57.
- [3]Sintong. 2017. *Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Hybrid Dengan Kapasitas Air 80 Liter*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [4]Pasariibu, Henri.2017.*Studi Eksperimental Optimasi Solar Water Heater Sistem Hybrid Dengan Kapasitas 120 Liter Air*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [5]Duffie, John A, and A William Beckman. 2013.*Solar Engineering of Thermal Processes. 4th*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Halaman : 5
- [6]Ambarita, Himsar.2011a.Energi Surya. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [7]Sujono. 2009. *Inventarisasi Permasalahan Pada Instalasi Solar House Sistem Di Wilayah Yogyakarta*. Teknik Fisika UGM. Yogyakarta .
- [8]Incropera F.P.2011. *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer, 7th ed*. New York : John Wiley & Sons
- [9]Cengel Y.A.2003.*Heat Transfer: A Practical Approach, Second Edition*.McGraw-Hill.Halaman :339
- [10] Holman, J. 1988. *Perpindahan Kalor, Edisi Ke-enam*. Penerbit Erlangga:Jakarta. Halaman :335
- [11] Jansen, T. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya, Edisi Pertama*. PT Pradnya Paramita: Jakarta.

- [12] Chen, Bo-Ren, dkk. *Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater*. Science Direct. Solar Energy 83 (2009) 1048 – 1055.
- [13] Suhananto, Feliks Eko. 2018. *efektivitas dan efisiensi sirip dengan luas penampang bentuk persegi fungsi posisi dan nilai konduktivitas fungsi suhu kasus satu dimensi keadaan tak tunak*. Yogyakarta: Program studi Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- [14] Kenny. 2017. *Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Hybrid Dengan Kapasitas Air 80 Liter*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [15] Helal, O, dkk. *Design and thermal performance of an ICS solar water heater based on three parabolic sections*. Science Direct. Solar Energy 85 (2011) 2421 – 2432.