

Volume 9, Nomor 2, September 2018

ISSN: 1979 - 5858

JURNAL

FLYWHEEL

JURNAL ILMIAH MATERIAL , KONVERSI ENERGI & MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MESIN - INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

Pemimpin Redaksi :

Dr. I Komang Astana Widi, ST., MT.

Anggota Redaksi :

Gerald Adityo Pohan, ST., M.Eng.

Arif Kurniawan, ST., MT.

Penyunting Ahli :

Prof. Dr. I Nyoman Gede Wardana

(Universitas Brawijaya)

Dr. Ir. Esa Haruman, M.Sc.

(Akademisi)

Dr. Ir. Gita Amperiawan, MSc.

(Praktisi)

Sekretaris :

Febi Rahmadianto, ST., MT.

Administrasi :

Iis Sumarni

Analisa Pemanas Air Tenaga Surya Sistem *Hybrid* Dengan Variasi Sudut Kemiringan Kolektor 15° dan 30° Untuk Memanaskan 80 Liter Air

Isra Hutaeruk¹, Himsar Ambarita², Eko Yohanes Setyawan^{3*}

^{1,2}Universitas Sumatera Utara ; Jl. Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Medan, Telp; (061) 8214033

Jurusan Teknik Mesin, FT USU, Medan, Sumatera Utara

³Institut Teknologi Nasional Malang; Jl. Sigura-gura NO. 2 Malang, Telp; (0341) 551431

Jurusan Teknik Mesin, FT ITN Malang, Malang

e-mail : ^{3*}yohanes@lecturer.itn.ac.id

Abstrak

Energi surya merupakan salah satu sumber daya energi terbarukan yang potensial untuk dimanfaatkan terutama di daerah yang beriklim tropis. Pemanfaatan energi surya yang paling umum adalah untuk memanaskan air baik sistem aktif maupun sistem *thermosifon*. Tipe paling umum sistem pemanas air ini menggunakan pelat datar sebagai absorbernya. Pada kebanyakan pemanas air sistem aktif masih menggunakan sumber energi cadangan untuk memompa air. Menggunakan sel *photovoltaic* sebagai sumber energi listrik untuk memompa air merupakan satu terobosan yang menjanjikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi alat Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) yang diuji pada kondisi cerah. Satu buah kolektor pelat datar dengan ukuran 1,5 m x 1 m dengan *double glazing* dari bahan *acrylic* dan kaca telah diuji untuk memanaskan air dengan kapasitas 80 L. Kolektor dimiringkan 15° dan 30° menghadap ke Utara. Air ditampung dalam satu tangki penampungan dan dipompakan, sehingga bersirkulasi secara kontinu dalam pipa kolektor. Adapun hasil penelitian ini adalah: 1) Rata-rata radiasi matahari secara teoritis yang sampai ke kota Medan sebesar 700 W/m² dan rata-rata radiasi pengukuran 376W/m². 2) Temperatur air tertinggi yang dipanaskan dari pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB mencapai temperatur 59,87°C. 3) Efisiensi pemanas air (η) mencapai = 55,94 %

Kata Kunci : pemanas air, energi surya, kolektor plat datar, *hybrid*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan air panas saat ini semakin tinggi. Air panas dibutuhkan oleh masyarakat luas, misalnya untuk air mandi ataupun mencuci barang yang berlemak dimana lebih mudah melarutkannya dalam sabun dengan menggunakan air hangat dibandingkan dengan air dingin. Tidak hanya konsumen rumah tangga yang memerlukan air panas, melainkan juga rumah sakit, industri, perhotelan dan untuk penyediaan air pada kolam renang.

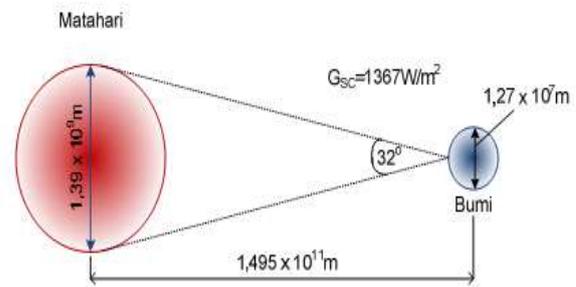
Penelitian tentang penggunaan kolektor surya plat datar telah banyak dilakukan. Chen, Z, dkk melakukan penelitian pada dua buah kolektor surya plat datar dengan memvariasikan laju aliran

untuk meningkatkan efisiensinya Setyawan *et al* (2017). Hasilnya jika laju aliran dinaikkan maka, efisiensi solar kolektor meningkat (Chen, Z, 2012). Penelitian plat datar dengan menggunakan *double glazing* dan diantara *glazing* diisi dengan argon telah dilakukan dan hasilnya meningkatkan efisiensi termal kolektor (Foste, S, 2013). Penelitian dengan menambahkan lapisan *thermochromic* pada plat absorber telah dilakukan, untuk mengurangi *stagnasi* temperatur pada plat absorber (Foste, S, 2015).

Penelitian tentang kolektor surya plat datar di Indonesia juga sudah semakin giat dilakukan. Ardiko dan Richard (2015) meneliti kolektor surya plat datar dengan menggunakan *refrigerant* sebagai

fluida pemanas. Hasilnya penelitian ini dapat memanaskan air dengan kapasitas 3 L dengan suhu tertinggi sekitar 60°C.

Dalam penelitian ini, kolektor yang diuji yaitu kolektor system *hybrid* yaitu sistem pemanfaatan energi surya dengan menggunakan dua teknologi berbeda pada satu alat yang digunakan. Kedua teknologi yang digunakan yaitu kolektor yang memanfaatkan energi surya menjadi energi termal dan sel photovoltaik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Energi surya ini akan digunakan untuk memanaskan air secara langsung dan juga untuk menggerakkan pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan air yang dipanasi.



Gambar 1. Jarak antara Matahari Dan Bumi (Ambarita, H, 2011)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu energi terbarukan yang melimpah ketersediaannya yaitu energi radiasi 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.

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki potensi energi radiasi surya yang sangat besar. Indonesia terletak di daerah khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis dan menerima radiasi surya yang hampir sama sepanjang tahunnya. Potensi energi surya rata-rata nasional adalah 16 MJ/hari. Potensi energi ini dapat digunakan untuk sebagai sumber energi termal maupun sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan sel photovoltaik.

Sel photovoltaik adalah sector teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah sinarmatahari menjadi energi listrik. Di negara maju saat ini giat meneliti pemanfaatan energi tersebut untuk kepentingan manusia, misalnya pemakaian sel fotovoltaik yang menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk penggerak mobil, satelit, hubungan komunikasi ataupun disimpan di dalam baterai.

2.1 Teori Dasar Radiasi

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

Lintasan bumi terhadap matahari berbentuk ellipse, maka jarak antara bumi dan matahari tidak konstan. Jarak terdekat adalah $1,47 \times 10^{11} \text{ m}$ yang terjadi pada tanggal 3 Januari dan jarak terjauh pada tanggal 3 juli dengan jarak $1,52 \times 10^{11} \text{ m}$. Karena adanya perbedaan jarak ini, menyebabkan radiasi yang diterima atmosfer bumi juga akan berbeda. Beberapa Istilah yang biasanya dijumpai pada perhitungan radiasi adalah:

1. *Air Mass* (m)
Adalah perbandingan massa udara sampai ke permukaan bumi pada posisi tertentu dengan massa udara yang dilalui sinar jika matahari tepat pada posisi zenit. Artinya pada posisi tegak lurus (zenit = 0) nilai $m = 1$, pada sudut zenith 60° , $m = 2$.
2. *Beam Radiation*
Radiasi energi dari matahari yang tidak dibelokkan oleh atmosfer. Istilah ini sering juga disebut radiasi langsung (*direct solar radiation*).
3. *Diffuse Radiation*
Radiasi energi surya dari matahari yang telah dibelokkan atmosfer
4. *Total Radiation*
Adalah jumlah beam dan diffuse radiation.
5. *Irradiance* (W/m^2)
Adalah laju energi radiasi yang diterima suatu permukaan persatuan luas permukaan tersebut *Solar irradiance* biasanya disimbolkan dengan G . Dalam bahasa Indonesia besaran ini biasanya disebut dengan Intensitas radiasi.
6. *Irradiation atau Radian Exposure* (J/m^2)

Jumlah energi radiasi (bukan laju) yang diterima suatu permukaan dalam interval waktu tertentu. Besaran ini didapat dengan mengintegalkan G pada interval waktu yang diinginkan, misalnya untuk 1 hari biasa disimbolkan H dan untuk 1 jam biasa disimbolkan I .

7. *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).

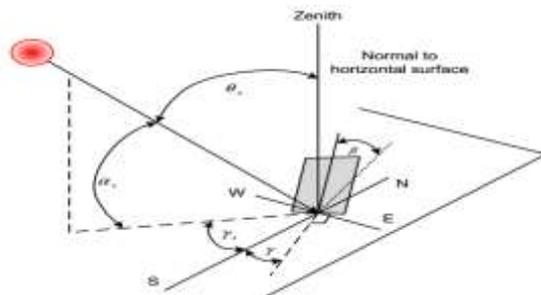
$$STD = ST \pm 4 (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (1)$$

Sementara E adalah persamaan waktu yang dihitung dengan:

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

L_{st} adalah standar meridian untuk waktu local, sementara L_{loc} adalah derajat bujur daerah yang diukur.

Dalam menghitung energi radiasi matahari yang sampai ke suatu permukaan perlu dipertimbangkan beberapa sudut, karena garis edar sumbu matahari yang cukup kompleks. Gambar 2 Menunjukkan beberapa istilah sudut yang sering digunakan dalam analisis energi radiasi surya.



Gambar 2. Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari

Beberapa sudut dalam perhitungan energi radiasi matahari antara lain:

1. Slope β adalah sudut antara permukaan yang dianalisis dengan horizontal.
2. ϕ adalah sudut lintang dimana posisi permukaan berada
3. Sudut deklinasi δ yaitu kemiringan sumbu matahari terhadap garis normalnya. Nilai sudut ini diperoleh dengan menggunakan persamaan yang diajukan oleh Cooper (Ambarita, H, 2011)

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (3)$$

atau dapat juga menggunakan persamaan yang lebih teliti, yang diajukan Spencer (Himsar, 2011)

$$\delta = 6,918 \times 10^{-3} - 3,99912 \cos B + 0,070251 \sin B - 0,006758 \cos 2B + 9,07 \times 10^{-4} \sin 2B - 0,002679 \cos 3B + 0,00148 \sin 3B \quad (4)$$

4. Sudut jam ω adalah sudut pergeseran semu matahari dari dari garis siang. Perhitungan berdasarkan jam matahari (ST), setiap berkurang 1 jam, ω berkurang 15° dan setiap bertambah 1 jam, ω bertambah 15° .

$$\omega = 15 (STD - 12) + (ST - STD) \times \frac{15}{60} \quad (5)$$

Radiasi surya yang sampai k permukaan bumi dapat dihitung secara analitis. Perhitungan radiasi surya secara analitis diberikan oleh Himsar, 2011. Radiasi harian yang sampai ke bumi berbeda setiap harinya, karena lintasan bumi yang berbentuk elips.

Radiasi pada hari ke-n dirumuskan oleh Duffie dan Beckman (1991)

$$G_{on} = G_{sc} (1,00011 + 0,034221 \cos B + 0,00128 \sin B + 0,000719 \cos 2B + 0,000077 \sin 2B) \quad (6)$$

Dimana, B diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$B = (n-1) \times 360/365 \quad (7)$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (8)$$

Parameter lain yang digunakan untuk perhitungan radiasi secara teoritis yaitu, estimasi bahwa langit dalam kondisi cerah. Maka dalam hal ini perlu diketahui τ_b

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp \left(\frac{-k}{\cos \theta_z} \right) \quad (9)$$

Dimana, nilai masing-masing parameter

$$a_0 = r_0 (0,4237 - 0,0082 (6 - A)^2) \quad (10)$$

$$a_1 = r_1 (0,5055 + 0,00595 (6,5 - A)^2) \quad (11)$$

$$k = r_k (0,2711 + 0,01858 (2,5 - A)^2) \quad (12)$$

Dimana, A adalah ketinggian (km) dan r_0 , r_1 , dan r_k adalah koreksi akibat iklim.

Nilai factor koreksi akibat iklim ditampilkan pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 1. Faktor koreksi akibat iklim

Iklim	r_0	r_1	r_k
Tropical	0,95	0,98	1,02
Midiatude summer	0,97	0,99	1,02
Subartic summer	0,99	0,99	1,01
Midiatude winter	1,03	1,01	1,00

Radiasi *beam* adalah radisi matahari yang jatuh langsung ke permukaan bumi.

$$G_{beam} = G_{on} \tau_b \cos \theta_z \quad (13)$$

Radiasi *diffuse* adalah radiasi hasil pantulan atmosphere

$$G_{diffuse} = G_{on} \cos \theta_z (0,271 - 0,294 \tau_b) \quad (14)$$

Maka total radiasi teoritis

$$G_{total} = G_{beam} + G_{diffuse} \quad (15)$$

Menurut Mehmet Esent, besarnya $Q_{incident}$ dapat dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$Q_{incident} = A \int I dt \quad (16)$$

Dimana :

$$A = \text{luas penampang dari pelat absorber} \quad (m^2)$$

$$I = \text{intensitas cahaya matahari} \quad (W/m^2)$$

Energi panas yang sudah diterima oleh kolektor akan diberikan terhadap air. Besarnya energi

tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$Q_u = m_a C_{p_a} (T_2 - T_1) \quad (17)$$

Dimana :

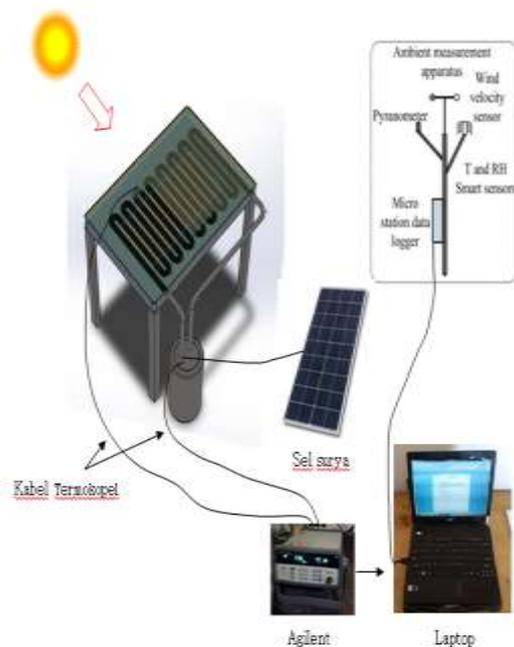
- m_a : massa air (kg)
- C_{p_a} : Panas jenis dari air (kJ/kg.°C)
- T_1 : Temperatur awal air sebelum dipanaskan kolektor (°C)
- T_2 : Temperatur actual setelah dipanaskan oleh kolektor (°C)

Untuk memperoleh nilai efisiensi kolektor maka digunakan persamaan (Duffie and Beckman,1991).

$$n = \frac{q_{use}}{q_{in}} \quad (18)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan Mikro stasiun data Logger untuk mengukur radiasi matahari dan kabel termokopel yang terhubung langsung ke *agilent* ditempelkan ke plat *absorber* pada kolektor dan air di tangki. Berikut ini adalah *Experimental Set Up* pada penelitian ini.



Gambar 3. Setup Eksperimental

Adapun beberapa parameter yang akan diukur ialah:

1. Temperatur Air (T_w).
2. Temperatur *absorber* (T_p)
3. Radiasi Solar ($G_{rata-rata}$)

4. Waktu (t)

Berikut prosedur dalam pengujian, adapun langkah-langkah pengaturan *agilent* sebagai berikut:

1. Tentukan titik-titik yang akan diukur pada kolektor surya, yang tertera pada tabel diatas.
2. Hubungkan termokopel yang telah dipasang pada kolektor ke *Agilent data acquisition*.
3. Tandai kabel-kabel termokopel sesuai chanel pada *agilent data acquisition* dengan memberi label supaya data pengukuran tidak tertukar.
4. Masukkan *flasdisk* ke *port usb*.
5. Hidupkan alat dengan menekan tombol *on/off*.
6. Tekan tombol interval untuk mengatur lama pengukuran yang akan dilakukan. Selanjutnya gunakan tombol pemindah angka dan *switch* perubah angka untuk mengatur waktu yang diinginkan.
7. Jika batas pengukuran telah dicapai, tekan tombol scan lama sampai muncul scan stop pada *display* alat, kemudian keluarkan *flasdisk*.
8. Data pengukuran temperatur telah tersimpan dalam format *Microsoft Office Excel* dan siap untuk diolah.

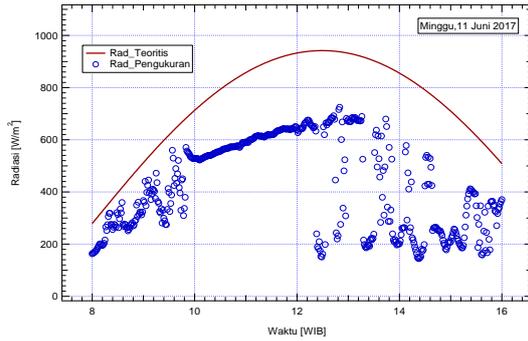
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiasi matahari yang sampai ke bumi dapat diukur dengan menggunakan sensor radiasi. Sensor radiasi yang digunakan pada penelitian ini bernama *station data logger HOBO micro station* dan terdapat di Pusat Riset *Sustainable Energy* yang terdapat di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

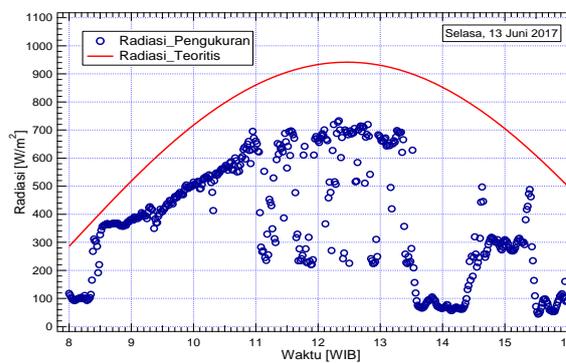
Data radiasi juga bisa dihitung dengan menggunakan pendekatan analitik. Perhitungan radiasi untuk tanggal 9 Juni 2017 dengan asumsi langit cerah. Letak geografis kota Medan, Sumatera Utara adalah sebagai berikut:

- posisi lintang :3,43°LU ($\phi=3,43$) dan 98,44°BT ($L_{loc}=98,44$)
- ketinggian dari permukaan laut: 37,5 m (*Altitude A = 0,0375*)
- waktu meridian ($7 \times (7+GMT)$) : $7 \times 15 = 105^\circ$ ($Lst = 105^\circ$) [standart meridian]

Radiasi matahari yang sampai ke bumi dapat diukur dengan menggunakan sensor radiasi. Sensor radiasi yang digunakan pada penelitian ini bernama *station data logger HOBO micro station* dan terdapat di Pusat Riset *Sustainable Energy* yang terdapat di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

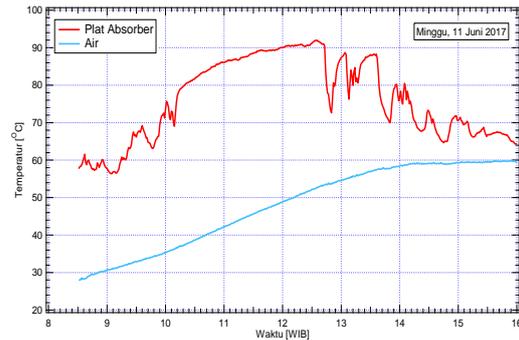


Gambar 4. Grafik perbandingan radiasi teoritis vs radiasi pengukuran pada tanggal 10 Juni 2017



Gambar 5. Grafik perbandingan radiasi teoritis vs radiasi pengukuran pada tanggal 11 Juni 2017

Dari gambar 4.1 dan 4.2 dapat dilihat 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. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa secara teoritis radiasi mengalami peningkatan sampai pukul 12:00 s/d pukul 13:00 dan berangsur-angsur berkurang hingga sore hari, begitu juga dengan grafik radiasi pengukuran menunjukkan hal yang sama. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa radiasi matahari yang sampai ke bumi dari pukul 10:00 s/d 12:00 tidak mengalami perubahan, hal ini dikarenakan pada jam tersebut kondisi langit di kota Medan cukup cerah.

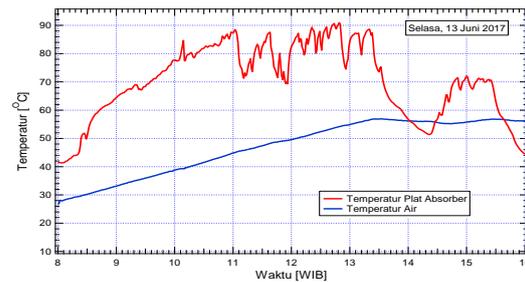


Gambar 6. Grafik Temperatur plat dan air vs waktu tanggal 11 juni 2017

$$Q_{in} = 1,5 \text{ m}^2 \times 12.654.495,62 \text{ Joule/m}^2 = 18.981.743,43 \text{ Joule} = 18,98 \text{ MJ}$$

$$Q_u = 80 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} (59,32-27,95)^{\circ}\text{C} = 10.490,128 \text{ kJ} = 10,49 \text{ MJ}$$

$$n = 55,27 \%$$



Gambar 7. Grafik Temperatur plat dan air vs waktu tanggal 13 juni 2017

$$Q_{in} = 1,5 \text{ m}^2 \times 11.705.593,33 \text{ J/m}^2 = 17.558.389,99 \text{ Joule} = 17,56 \text{ MJ}$$

$$Q_u = 80 \text{ kg} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} (56,20-26,83)^{\circ}\text{C} = 9.823.000 \text{ kJ} = 9,82 \text{ MJ}$$

$$n = 55,92 \%$$

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian alat pemanas air tenaga surya, dan pengukuran intensitas radiasi matahari yang terjadi selama pengujian berlangsung. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini antara lain:

1. Temperatur air maksimum dari seluruh tahap penelitian adalah 59,87° C yaitu pengujian kedua dengan kemiringan kolektor 30° pada

- pukul 15:37 WIB sedangkan pada sudut 15° sebesar 58,28 pada pukul 15:56 WIB.
2. Energi yang diserap 80 liter air pada pengujian sudut 15° adalah 9,82 MJ dan 9,99 MJ dan pengujian sudut 30° adalah 9,10 MJ dan 10,49 MJ.
 3. Efisiensi maksimum dari seluruh tahap penelitian adalah 55,94% yaitu pada pengujian pada sudut 15°

SARAN

1. Untuk mengetahui pengaruh kemiringan kolektor terhadap temperatur maksimum air dan efisiensi kolektor, perlu di lakukan penelitian terhadap dua buah kolektor yang berbeda sudut kemiringannya dan diuji secara bersamaan pada waktu dan lokasi pengujian yang sama.
2. Untuk meningkatkan efisiensi perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh diameter pipa sirkulasi dan laju aliran volume air.
3. Dilakukan analisa pompa yang digunakan untuk mengetahui pengaruh pompa dalam pemanas air ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, Himsar.2011a. *Energi Surya*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU.
- Chen, B, dkk. *Long-term thermal performance of a two-phase thermosyphon solar water heater*. Science Direct. Solar Energy 83 (2009) 1048 – 1055
- Chen, Z, dkk. *Efficiencies of flat plate solar collector at different flow rates*. Science Direct. Energy Procedia 30 (2012) 65 – 72
- Duffie A John. 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes, Second Edition*. John Wiley & Sons Inc. : New York.
- Foste, S, dkk. *Flat plate collectors with thermochromic absorber coatings to reduce loads during stagnation*. Science Direct. Energy Procedia 91 (2014) 42 -48.
- Pardede, A. *Pengujian Pemanas Air Tenaga Surya Sistem Pipa Panas Menggunakan Fluida Kerja Refrigerant R-178 pada Tekanan Vakum 45 cmHg, 40 cmHg, 35 cmHg dengan Variasi Sudut Kolektor 20° dan 30°* . Skripsi Sarjana pada Departemen Teknik Mesin, USU.
- Setyawan Y.E., Djiwo S and Sugiarto T, 2017. “Simulation Model Of Fluid Flow And Temperature Distribution In Porous Media Using Cylindrical, Convergent And Divergent Nozzles” International Journal of Technology and Sciences (IJTS), Vol. 1, No. 1.