

KAJIAN RANCANG BANGUN SOLAR WATER HEATER (SWH) ANALISIS TERHADAP KOEFISIEN LAJU KONVEKSI DAN EFISIENSI PEMANASAN AIR

DESIGN STUDY OF SOLAR WATER HEATER (SWH) ANALYSIS OF CONVECTION RATE COEFFICIENT AND WATER HEATING EFFICIENCY

KA. Ridwan*¹, Aida Syarif¹, Ahmad Buhori¹, Apriansyah¹

¹(Program Studi Teknik Energi / Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jalan Sriwijaya Negara, Palembang 30139, Telp 0711-353414 / Fax 0711-355918
e-mail : *karidwan0@gmail.com/ buhoriahmad96@gmail.com

ABSTRACT

We know that, solar energy can be used as an alternative source. One of them is by converting solar energy into heat energy using solar collectors, which are called solar water heaters. In this study a solar radiation heat absorbent device was used to heat water using copper pipes and aluminum pipes. This study aims to obtain the need for pipe length, find out the heat used to heat water, and analyze the effect of radiation intensity on the heating efficiency of the water produced. This water heater is made through several preparation stages such as literature study, consultation with mentors, tool making, and also final analysis and reporting. With a pipe length of 5 meters and a diameter of 0,5 inch, with the provisions of batch flow at intervals of every 10 minutes, the results of the research shows that the value of useful energy for heating the largest water occurs in the copper pipe is 32,65Btu and an energy loss of 80,33Btu. It can be seen that the greater the intensity of solar radiation, the greater the rate of convection, useful energy, and the efficiency of water heating. With the largest convection rate (h) in aluminum pipes that is 750,4w/m²°c at radiation intensity of 895w/m² and efficiency of 40,52%. While the largest convection rate (h) in copper pipes is 818,6w/m²°c at a radiation intensity of 889,7w m² and efficiency of 54,93%.

Key words: Solar Water Heater, Natural Convection, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Setiap menit matahari meradiasikan energi sebesar 56 x 10²⁶ kalori. Indonesia menerima energi matahari dengan radiasi energi harian rata-rata sebesar 4,8KWh/m². Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi melalui dua macam teknologi, yaitu energi matahari termal dan fotovoltaiik. Energi matahari termal diperoleh dengan cara mengkonversikan energi radiasi cahaya matahari menjadi panas sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan dengan menggunakan kolektor surya. Kolektor surya dibagi menjadi 3 jenis yaitu, pelat datar, konsentrik, dan *evacuated reciever*. Kolektor surya tipe pelat datar adalah kolektor surya yang dapat menyerap energi matahari dari sudut kemiringan tertentu sehingga pada proses penggunaannya dapat lebih mudah dan lebih sederhana, dalam aplikasinya kolektor pelat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air.

Dewasa ini kolektor surya juga dapat dimanfaatkan untuk pemanas air, karena kebutuhan air hangat untuk keperluan mandi, baik untuk skala rumah tangga maupun perhotelan sangatlah penting. Selama ini kebutuhan tersebut terpenuhi dengan air panas yang dipanaskan dengan tungku maupun pemanasan menggunakan listrik. Salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan air panas adalah dengan menggunakan media surya sebagai *supply* energinya Untuk meningkatkan efektifitas pemanfaatan energi surya secara langsung, saat ini telah dikembangkan kolektor pemanas air (Nurhalim,2011).

Pemanas air tenaga surya adalah sebagai sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa alat pemanas air tenaga surya, sebagian cahaya akan dipantulkan kembali ke lingkungan, sedangkan sebagian besarnya akan diserap dan dikonversi menjadi energi panas, lalu panas tersebut dipindahkan kepada fluida yang bersirkulasi di dalam pipa pemanas air (Purnamadkk.,2015).

Adapun pemanas air yang menggunakan energi surya disebut *Solar Water Heater* (SWH). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor1405/menkes/sk/xi/2002 standar temperature air panas untuk keperluan mandi dan mencuci tangan adalah 40–45°C, maka *solar water heater* yang akan dirancang harus mencapai suhu tersebut.

Alat pemanas air yang dirancang dalam penelitian ini merupakan alat pemanas air tenaga surya dengan memanfaatkan panas dari sistem *kolektor thermal*. Pada proses konversi energi di kolektor termal, radiasi matahari jatuh ke atas permukaan kaca dan di pantulkan kembali, dalam waktu bersamaan pelat alumunium yang dicat hitam menyerap panas, sehingga pada rongga kolektor termal akan terkumpul panas. Kemudian panas akan mengenai pipa tembaga sebagai media pemindah panas secara konduksi dan konveksi, sehingga air pada pipa akan mengalami kenaikan suhu. Faktor penting dalam pemanfaatan energi surya dalam pemanas air ialah intensitas radiasi matahari. Dalam konteks penelitian ini bertujuan untuk menganalisa panas yang termanfaatkan untuk memanaskan air dari intensitas radiasi total yang diterima oleh kolektor, dan menganalisa laju konveksi, serta efisiensi pemanasan air pada alat *solar water heater* (SWH).

Kolektor Surya Pelat Datar

Kolektor Surya Pelat Datar merupakan sebuah media yang paling sederhana dari jenis kolektor lainnya, yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan biasanya berupa air, minyak, oli, dan udara. Kolektor suryaplat datar diperuntukkan mempunyai temperatur keluaran dibawah 95°C. Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udaradan air yang berada didalam pipa, pipa dibentuk menyerupai hairpin. Pipa yang digunakan bisa terbuat dari pipa paralon, pipa tembaga, ataupun pipa alumunium yang dicat hitam.

Adapun prinsip kerja pada *solar water heater*(SWH) dengan menggunakan pelat datar, yaitu bahwa air yang masuk ke dalam kolektor melalui pipa distribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Hal ini disebabkan energi radiasi matahari di dalam kolektor yang dibatasi kaca bening tembus cahaya Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa– pipa distribusi maka suhu air didalam pipa tersebut akan secara langsung bertambah, hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan masa jenis. Air yang bersuhu tinggi memiliki massa jenis yang lebih kecil, sehingga cenderung akan mengalir ke arah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak ke bawah, sehingga terjadi konveksi secara alami (Marbun, 2009).

2. METODE PENELITIAN

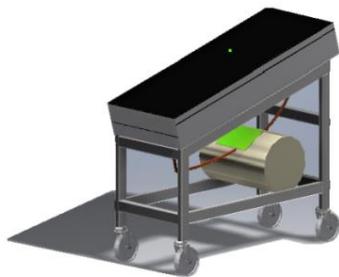
Perancangan alat *solar water heater* (SWH) jenis kolektor plat datar ini menggunakan dua metode perancangan yaitu metode pendekatan desain fungsional dan metode desain struktual.

Pendekatan Desain Fungsional

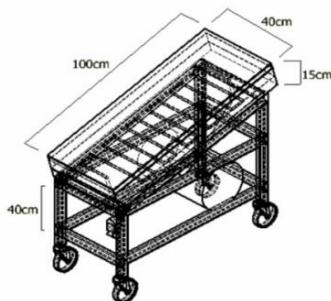
Kolektor tenaga surya merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menangkap panas dari sinar matahari dan menyalurkannya untuk berbagai keperluan seperti pemanasan. Pada umumnya, kolektor surya haruslah memiliki tiga komponen utama yaitu material penutup (*cover*), material penyerap panas dan material pengisolasi panas (Imre, 2006). Dengan begitu tiga komponen utama ini harus terdapat dalam rancangan alat pemanasan air yang dibuat. Untuk itulah perlu dilakukan perancangan yang tepat terhadap kolektor surya yang dibuat.

Pendekatan Desain Struktural

Pada pembuatan alat pemanas air tenaga matahari ini perlu dilakukan suatu rancang bangun alat yang dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Alat Solar Water Heater Tampak 3D



Gambar 2. Alat Solar Water Heater Tampak 2D

Pada gambar diatas dapat dilihat beberapa bagian penting dari alat *Solar Water Heater* sebagai berikut : Kolektor Termal

Pada perancangan *solar water heater*, material-material yang akan digunakan adalah kaca bening sebagai penutup bagian atas kolektor dengan ukuran 90cm x 40cm x 0,3cm, plat alumunium yang dicat hitam doff sebagai *absorber* dengan ukuran 90cm x 40cm x 0,3cm, *glass wool* pada bagian insulator dengan ukuran

90cm x 40cm x 5cm dan besi sebagai rangka keseluruhan kolektor surya.

Pada bagian paling bawah, *glass wool* direkatkan pada rangka, bagian ini merupakan insulator (pengumpul panas). Kemudian pada bagian atas dari insulator, plat alumunium yang telah dicat hitam buram direkatkan pada rangka, bagian ini merupakan *absorber*. Antara insulator dengan plat *absorber* diberi jarak yaitu 2cm. Sedangkan antara pipa dengan kaca diberi jarak 1cm. Celah ini kemudian akan menjadi aliran udara panas masuk ke pipa pemanas sehingga dapat menaikkan temperatur air di dalam pipa.

1. *Feed and product storage*

Feed and product storage berfungsi sebagai tempat penampungan awal dan produk berupa air yang telah dipanaskan dengan desain silinder dan terbuat dari tabung termos, dengan diameter 250mm dan panjang 400mm.

2. Pompa

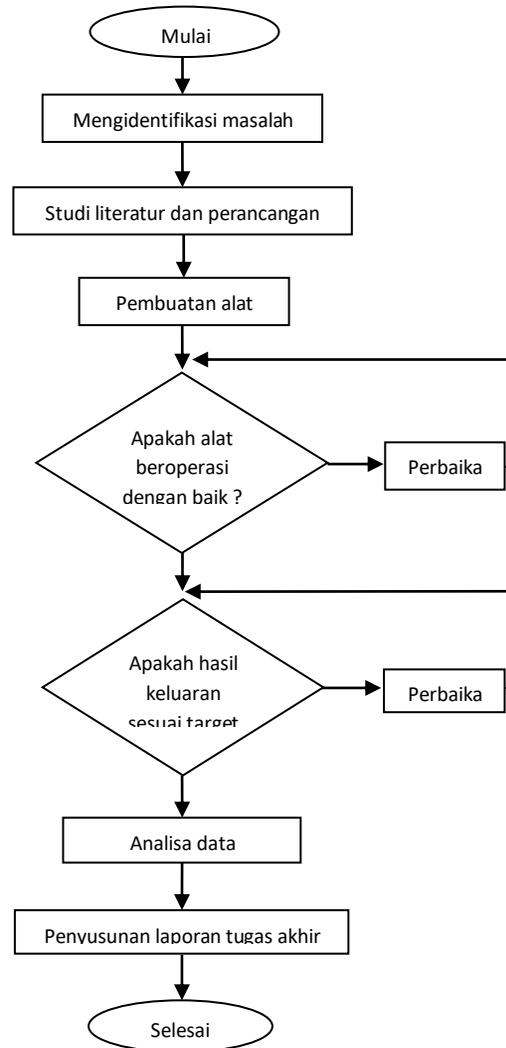
Pompa yang digunakan berjenis pompa air rendam, dengan kapasitas 3000 liter/jam dengan daya 220 volt berfungsi mengalirkan air dari tangki umpan menuju kolektor termal.

3. *Flowmeter*

Flowmeter digunakan untuk mengukur laju alir fluida dengan kelajuan maksimal 8 liter per menit (LPM).

4. Pipa

Pipa yang digunakan berupa pipa alumunium dan pipa tembaga yang dibentuk menyerupai pipa hairpin, dengan masing-masing diameter 0,5inch dan panjang 5m. Penggunaan pipa ini dipakai sebagai variasi perbandingan bahan yang digunakan. Secara umum, proses yang dilakukan pada penelitian digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Skema Rancang Bangun SWH **Membuat Alat Solar Water Heater**

Pada perancangan alat *solar water heater* ini menggunakan material-material berupa kaca bening sebagai penutup bagian atas kolektor dengan ukuran

90cm x 40cm x 0,3cm, plat alumunium yang dicat hitam *doff* sebagai *absorber* dengan ukuran 90 cm x 40cm x 0,3cm, *glass wool* pada bagian insulator dengan ukuran 90cm x 40cm x 5cm dan besi sebagai rangka keseluruhan kolektor surya.

Antara insulator dengan plat *absorber* diberi jarak 2cm. Sedangkan antara pipa tembaga dengan kaca diberi jarak 1cm, pipa tembaga dibuat melingkar menyerupai pipa hairpin. Kemudian pada alat ini juga disediakan tempat penyimpanan awal air dan produk hasil pemanasan air yang dialirkan menggunakan pompa.

Pada penelitian ini dilakukan suatu pengujian terhadap kinerja alat *solar water heater*. Salah satu parameter keberhasilan alat *solar water heater* ialah waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air dengan temperatur yang telah di tetapkan adapun perlakuan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengukur kenaikan suhu tiap interval waktu 10menit sekali dengan aliran *batch*, sehingga dapat diketahui suhu keluaran air mencapai set point.
2. Memvariasikan material pipa yang digunakan antara pipa alumunium dan pipa tembaga.

Uji Pengambilan Data Solar Water Heater

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur dalam waktu 5 hari pada pukul 09.00 sampai dengan 15.00 WIB.

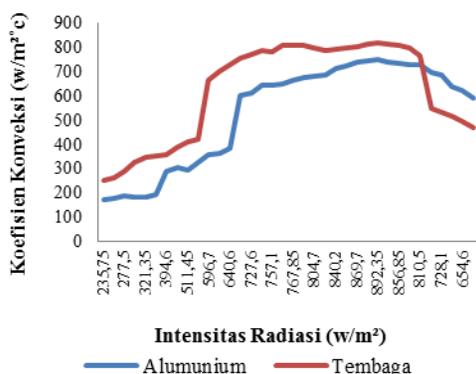
Berikut ini prosedur pengukuran yang dilakukan:

1. Mengisi *feed storage* dengan air
2. Menghidupkan pompa guna mengalirkan air umpan
3. Mengukur temperatur air umpan dengan menggunakan *termokopel*
4. Mengukur intensitas radiasi matahari menggunakan *solar power meter*
5. Mencatat nilai intensitas radiasi matahari
6. Mengukur temperatur pada dinding atas, bawah, kanan, kiri, depan, dan belakang pada kolektor menggunakan *thermogun*
7. Mengukur waktu kenaikan temperatur air yang keluar sampai mencapai *set point*
8. Memvariasikan debit air dengan mengatur bukaan *valve* dan pembacaan menggunakan *flowmeter*
9. Mencatat semua data temperatur yang telah diukur
10. Menganalisa hasil akhir penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hubungan Laju Pemanasan Secara Konveksi Alamiah (h) Terhadap Intensitas Radiasi Matahari

Hubungan laju pemanasan air secara konveksi alamiah (h) terhadap intensitas radiasi matahari dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Hubungan laju konveksi (h) terhadap intensitas radiasi pada pipa alumunium dan tembaga

Pada pukul 09.00WIB radiasi matahari yang diterima, akan mengalami kenaikan dan mulai mencapai radiasi puncaknya antarpukul 11.00 WIB sampai dengan pukul 13.30 WIB. Selepas dari jam tersebut, intensitas radiasi matahari yang diterima secara perlahan-lahan akan

mengalami penurunan hingga menjelang sore hari. Nilai rata-rata radiasi total matahari yang diterima oleh *solar power meter* (SPM) bervariasi, yaitu 195-705w/m² pada pagi hari (jam 09.00-10.50 WIB), 503-895w/m² pada siang hari (jam 11.00- 13.30WIB), dan 599-894w/m² pada sore hari (jam 13.40-15.00WIB).

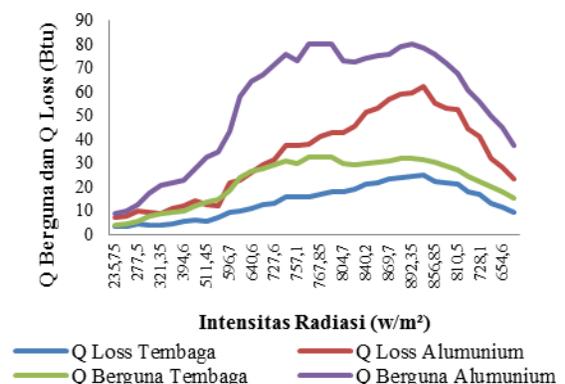
Menurut Jacky (2016), laju konveksi yang terjadi sangat berpengaruh pada suhu air yang disebabkan perbedaan pancaran sinar matahari setiap jamnya. Perbedaan perubahan ketinggian suhu air pada yang terjadi disebabkan oleh lamanya waktu pemanasan dan daya kalor yang diserap oleh pemanas air, sehingga laju konveksi pada setiap jamnya berbeda.

Hal ini dibuktikan dari hasil penelitian bahwa meningkatnya nilai laju pemanasan konveksi alamiah diakibatkan oleh meningkatnya temperatur air keluar karena kenaikan intensitas radiasi matahari. Semakin besar intensitas radiasi maka nilai laju pemanasan konveksi alamiah (h) akan semakin besar pula.

Dari hasil penelitian dapat dianalisa bahwa pengujian menggunakan pipa alumunium dengan intensitas minimal 195w/m² menghasilkan nilai laju pemanasan alamiah sebesar 169w/m²°C dan intensitas maksimal 895w/m² menghasilkan nilai laju pemanasan alamiah sebesar 811w/m²°C. Sedangkan pengujian menggunakan pipa tembaga dengan intensitas minimal 276,5w/m² menghasilkan nilai laju pemanasan ilmiah sebesar 254w/m²°C dan intensitas maksimal 889,7w/m² menghasilkan nilai laju pemanasan alamiah sebesar 818,6w/m²°C. Ini menandakan bahwa laju pemanasan konveksi alamiah dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari. Selain dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, dari hasil perhitungan pada percobaan nilai koefisien konveksi alamiah (h) akan bertambah jika bilangan Rayleigh bertambah, hal ini sesuai dengan pernyataan Handoyo dkk., (2011) yang menyatakan bahwa nilai koefisien konveksi alamiah (h) berbanding lurus dengan bilangan Nusselt dan bilangan Nusselt berbanding lurus dengan bilangan Rayleigh.

B. Hubungan Q Berguna dan Q Loss Terhadap Intensitas Radiasi Matahari

Hubungan Q berguna dan Q loss terhadap intensitas radiasi matahari dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Hubungan Q Berguna dan Q Loss Terhadap Intensitas Radiasi

Pada pengujian menggunakan pipa alumunium dan pipa tembaga, dari grafik diatas dapat dilihat hubungan antara energi yang diserap air (Q Berguna), dan energi yang hilang (Q Loss) terhadap intensitas radiasi matahari. Salah satu faktor yang mempengaruhi energi berguna yang mampu diserap oleh air dari kolektor surya adalah kondisi intensitas radiasi.

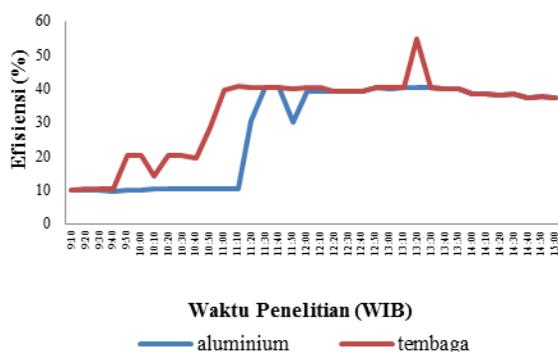
Dari Gambar 7 diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya intensitas radiasi berbanding lurus dengan meningkatnya energi berguna (Q Berguna) dan energi hilang dari kolektor (Q Loss). Hal ini sesuai dengan pernyataan Nizar dkk., (2017) yang menyatakan bahwa dengan semakin besarnya intensitas radiasi matahari yang

diserap oleh kolektor surya menunjukkan semakin besar energi yang diterima oleh pelat penyerap yang digunakan untuk memanaskan air yang ada dalam kolektor. Hal yang sama juga diungkapkan Bambang dan dendi (2015), yang menyatakan bahwa energi berguna semakin naik seiring dengan meningkatnya radiasi matahari yang terjadi.

Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil pengujian. Pada pengujian menggunakan pipa aluminium dengan intensitas maksimal 895 w/m^2 menghasilkan Q berguna terbesar yaitu $25,16 \text{ Btu}$ dan Q loss yaitu $62,23 \text{ Btu}$. Sedangkan dengan intensitas minimal 195 w/m^2 menghasilkan Q berguna terkecil yaitu $3,09 \text{ Btu}$ dan Q loss yaitu $7,1 \text{ Btu}$. Pengujian juga dilakukan menggunakan pipa tembaga dengan intensitas maksimal $889,7 \text{ w/m}^2$ menghasilkan Q berguna terbesar yaitu $32,65 \text{ Btu}$ dan Q loss yaitu $80,33 \text{ Btu}$. Sedangkan dengan intensitas minimal $276,5 \text{ w/m}^2$ menghasilkan Q berguna terkecil yaitu $3,76 \text{ Btu}$ dan Q loss yaitu $8,66 \text{ Btu}$.

C. Hubungan Efisiensi Pemanasan Air (η) Terhadap Waktu Penelitian

Hubungan efisiensi pemanasan air terhadap waktu penelitian dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Hubungan efisiensi pemanasan air terhadap waktu penelitian

Pada grafik hubungan efisiensi pemanasan air terhadap waktu penelitian pada SWH dengan menggunakan pipa tembaga dan aluminium diatas dapat dilihat bahwa tren efisiensi pemanasan air cenderung naik mulai dari pagi hingga siang hari pada pukul 09.10–13.40 WIB. Namun pada pukul 14.50–15.00 WIB tren efisiensi pemanasan cenderung turun. Hal ini terjadi dikarenakan energi termanfaatkan yang dipakai untuk memanaskan air yang ada dikolektor hanya sedikit dari total energi yang diterima oleh kolektor karena masih terdapat *space* atau ruang kosong didalam kolektor. Dengan adanya ruang yang masih tersedia didalam kolektor masih dapat ditambahkan pipa guna memanfaatkan energi panas yang belum termanfaatkan untuk memanaskan air dalam jumlah yang lebih besar, agar energi panas dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Dari grafik diatas, tren efisiensi pemanasan air terhadap waktu penelitian cenderung naik. Namun, tren efisiensi terjadi penurunan baik dengan menggunakan pipa tembaga maupun menggunakan pipa aluminium. Penurunan efisiensi terlihat jelas terjadi pada pipa aluminium yang terjadi pada pukul 11.40 sampai 11.50 WIB dan terjadi kenaikan efisiensi kembali yang terjadi pada pukul 11.50 sampai dengan 13.40 WIB. Penurunan dan kenaikan efisiensi ini terjadi disebabkan oleh adanya penurunan dan kenaikan dari intensitas radiasi matahari yang berpengaruh terhadap efisiensi pemanasan air. Efisiensi pemanasan tertinggi dengan menggunakan pipa tembaga didapatkan pada pukul 13.20 WIB saat intensitas radiasi matahari sebesar 1014 watt/m^2 didapat efisiensi pemanasan air sebesar $54,93\%$. Sedangkan efisiensi tertinggi dengan menggunakan pipa aluminium didapatkan pada pukul 11.40 WIB saat intensitas radiasi matahari sebesar 955 watt/m^2 didapat efisiensi

pemanasan air sebesar $40,52\%$. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dee (2016), yang menyatakan bahwa efisiensi pemanasan berbahan tembaga memiliki efisiensi lebih besar dibandingkan dengan bahan aluminium, besi dan nikel.

Semakin besar intensitas radiasi matahari maka energi yang diterima oleh kolektor semakin besar yang menyebabkan pemanasan air akan berlangsung lebih cepat sehingga efisiensi pemanasan air juga meningkat. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sudjito dkk., (2017) yang menyatakan bahwa semakin tinggi intensitas radiasi matahari maka efisiensi pemanasan air dengan *solar water heater* semakin meningkat.

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian *solar water heater* menggunakan pipa aluminium dan pipa tembaga, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin besar intensitas matahari maka konstanta laju pemanasan semakin besar dengan nilai konstanta laju pemanasan konveksi (h) yang menandakan laju pemanasan yang terjadi semakin cepat. Dengan menggunakan pipa aluminium, konstanta laju pemanasan konveksi (h) terbesar terjadi pada intensitas radiasi 895 w/m^2 dengan konstanta sebesar $750,4 \text{ w/m}^2 \cdot \text{c}$. Sedangkan dengan pipa tembaga, konstanta laju pemanasan konveksi (h) terbesar terjadi pada intensitas radiasi $889,7 \text{ w/m}^2$ dengan konstanta sebesar $818,6 \text{ w/m}^2 \cdot \text{c}$.
2. Peningkatan intensitas radiasi matahari akan diikuti dengan meningkatnya energi berguna (Q Berguna) dan energi hilang (Q Loss) yang terjadi. Energi panas berguna (Q Berguna) kolektor tertinggi terdapat dengan menggunakan pipa tembaga sebesar $32,65 \text{ Btu}$, dan energi hilang (Q Loss) sebesar $80,33 \text{ Btu}$.
3. Efisiensi terbesar dengan menggunakan pipa aluminium sebesar $40,52\%$, sedangkan dengan menggunakan pipa tembaga sebesar $54,93\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang, A., dan Dendi, N., 2015. *Performansi Kolektor Surya Pemanas Air Dengan Penambahan External Helical Fins Pada Pipa Dengan Variasi Sudut Kemiringan Kolektor*. Jurnal Teknik ITS Vol.4 No.1
- Dee, Antonius Montanus. 2016. *Pengaruh Koefisien Perpindahan Kalor Dan Bahan Terhadap Laju Aliran Kalor, Efektivitas, Dan Efisiensi Sirip Dua Dimensi Keadaan tak Tunak*. Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta
- Handoyo, Ekadewi, dan Anggraini. 2011. *Pengaruh Jarak Kaca Ke Plat Terhadap Panas Yang Diterima Suatu Kolektor Surya Plat Datar*. Jurnal Teknik Mesin Vol.3 No.2
- Jacky, Frans Frengky. 2016. *Pembuatan Alat Pemanas Air Tenaga Surya Sederhana Untuk Mengetahui Laju Konveksi*. Jurnal Fisika Universitas Pasir Pengaraian.
- J.P. Holman. 1995. *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*. Erlangga, Jakarta.
- Imre. 2006. *Study Awal Solar Water Heater Dengan Menggunakan Metode Natural Sirkulasi*. Journal of Physics.
- Kern, D.Q. 1950. *Process Heat Transfer*. International Student Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

Marbun. 2009. *Optimasi Jumlah Pipa-Pemanas Terhadap Kinerja Kolektor Surya Pemanas Air*. Jurnal Teknologi. Vol.1, No.1.

Nizar, sari, dan utami. 2017. *Pemanfaatan Kolektor Surya Langsung Sebagai Media Pemanas Air*. Jurnal Neutrino.

Nurhalim. 2011. *Efektifitas Pemanas Air Tenaga Surya*. Jurnal Energi Alternatif.

Purnama, Eko, dan Azhari. 2015. *Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Pada Pemanas Air*. Jurnal Teknologi Energi.

Sudjito, Rizki, dan Mega. 2017. *Studi Kinerja Solar Water Heater Double Plate Dengan Aliran Zig-zag Beralur Balok*. Jurnal Rekayasa Mesin. Vol.8 No.1