

ANALISIS EKSERGI PADA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR

EXERGY ANALYSIS OF FLAT PLAT SOLAR COLLECTOR

Tiara Dwi Putri¹, Felicia Samantha², Daud Ifadah³, Aida Syarif⁴, Irawan Rusnadi⁵, K.A. Ridwan⁶, Ida Febriana⁷

¹²³⁴⁵⁶⁷(Program Studi Teknik Energi / Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jalan Sriwijaya Negara, Palembang 30139, Telp 0711-353414 / Fax 0711-355918

e-mail : aidasyarif@gmail.com⁴

ABSTRACT

The use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) as an energy source for cooking in Indonesia is estimated at 63.1 MBOE in 2020. One form of LPG utilization is generally heating air, both conventional and using water heaters. Limited domestic supply requires substitution to other types of energy specifically renewable energy. The intensity of solar radiation reaching the earth at 1367 W/m² provide great potential for the utilization of solar energy through solar water heater as a source of water heating. The study was conducted with serpentine tube arrangement and using 0.5 liters/minute continuous flow rate which is analyzed by the 2nd law of thermodynamic. This study also aims to analyze the effect of solar intensity to differences temperature of collectors, the amount of exergy gain for heating the water and the effect of solar intensity to exergy destruction. From the research, it was found that the higher solar intensity, the higher the temperature difference between input and output and exergy destruction. The highest efficiency is 3,2%. The low efficiency of collectors is caused by the higher exergy destruction.

Keywords: Renewable Energy, Solar Water Heater, Intensity of Solar Radiation, Serpentine Tube Solar Water Heater

1. PENDAHULUAN

Masyarakat Talang Rimbo menggunakan sumur sebagai sumber air minum. *Reverse Osmosis* merupakan salah satu metode penjernihan air yang menghasilkan air siap minum. Pada prosesnya, selain menghasilkan air siap minum, sistem ini juga menghasilkan air reject (air yang tidak berhasil melewati membrane) dengan perbandingan 1:3. Oleh karena itu, dibuatlah alat Penyedia air minum dan Pemanas Air Tenaga Surya. Produk dari alat ini berupa air siap minum dengan air panas untuk mandi dengan memanfaatkan air buangan RO. Selain itu, alat ini merupakan salah satu aplikasi pemanfaatan tenaga surya di bidang *Thermal Solar Technology* dan juga berperan untuk mereduksi penggunaan energi fosil.

Pemanas Air Tenaga Surya merupakan sistem perpindahan panas yang menghasilkan energi panas dengan memanfaatkan radiasi sinar matahari sebagai sumber energi utama. Ketika cahaya matahari menimpa alat pada 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 (Purnama dkk, 2015). Efektivitas pemanfaatan energi surya dengan cara pemanfaatan langsung dapat ditingkatkan bila menggunakan pengumpul panas, yang biasa disebut kolektor. Sinar-sinar matahari dikonsentrasikan dengan kolektor ini pada satu tempat, sehingga diperoleh suatu suhu yang lebih tinggi (Kadir, 1995). Meskipun demikian, masih terdapat rugi-rugi panas ke permukaan karena konveksi oleh udara yang

bergerak di dalam ruang pada kolektor sebesar 70-80% dari total rugi-rugi panas ke permukaan, menyebabkan efisiensi termal kolektor rendah sebesar 20-40% (Sumarsono, 2005).

Selain ditinjau dari efisiensi termal, kinerja *Solar Water Heater* dapat ditinjau dari exergi sebagai metode pelengkap dari analisis energi namun tidak dapat menggantikannya (Chamoli, 2013). Hal ini disebabkan, persamaan energi tidak memperhatikan beberapa faktor internal dan *conversion loss*. Selain itu, tingginya efisiensi termal daripada *Solar Water Heater* tidak menjamin tingginya efisiensi exergi (Mahadi dkk, 2014). Jumlah energi yang dimanfaatkan (exergi) pada kolektor surya dipengaruhi oleh irreversibilitas perpindahan panas antara matahari dan kolektor, antara kolektor dan udara di lingkungan sekitar dan dalam kolektor (Chamoli, 2013).

Analisis eksergi juga memperhatikan *Exergy Loss* dan *Exergy Destruction* pada *Solar Water Heater* dengan rincian *exergy loss* berupa kehilangan exergi pada alat optik dan kalor, sementara *exergy destruction* yang disebabkan oleh penurunan tekanan, pembentukan entropi, dan perpindahan panas fluida yang mengalir terhadap pelat absorber (Hasan dkk, 2018). Oleh karena itu, dilakukanlah penelitian terhadap *Solar Water Heater* bentuk *serpentine* untuk menganalisis efektivitas kolektor dari distribusi exerginya dengan variasi laju alir.

Prinsip Kerja *Solar Water Heater*

Mekanisme kerja pemanas air tenaga surya yaitu pompa yang mengalirkan air dingin masuk melalui bagian bawah kolektor sehingga berubah menjadi air panas yang keluar melalui bagian atas kolektor menuju tangki penampungan air panas yang sudah di rancang untuk mencegah radiasi panas keluar. Pemanas air tenaga surya memiliki ruang kolektor yang dibuat sehitam mungkin agar terjadi penyerapan maksimal dari panas matahari yang masuk melewati kaca kristal di atasnya. Pipa tembaga yang juga dihitamkan dirancang dengan bentuk berbelok-belok seperti susunan huruf S dengan maksud air akan mengalir lebih lama di dalamnya sehingga penyerapan panas oleh air di dalamnya akan berlangsung lebih baik.

Kolektor Surya Plat 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. Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan 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 kedalam kolektor melalui pipa distribusi yang akan mendapatkan panas yang baik melalui radiasi langsung matahari maupun konveksi. Terjadinya perpindahan panas terhadap pipa – pipa distribusi maka suhu air di dalam 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 kearah yang lebih tinggi. Sebaliknya air yang bersuhu rendah memiliki massa jenis lebih besar dan cenderung akan bergerak kebawah, sehingga terjadi konveksi secara alami (Marbun, 2009).

Exergi pada Kolektor *Solar Water Heater*

Exergi adalah kerja maksimum teoritis yang mampu diperoleh saat sistem tersebut berinteraksi dalam mencapai kesetimbangan. Persamaan umum dari exergi sistem terbuka yakni sebagai berikut:

$$E = h - h_0 - T_0 (S - S_0) + \frac{V^2}{2} + gz$$

Persamaan Exergi Pada Kolektor

Persamaan neraca exergi pada kolektor dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_{in} + E_{out, f} + E_l + E_d = 0 \quad \dots(1)$$

Exergi input ke sistem berasal dari exergi fluida mengalir pada tube dan exergi yang berasal dari insulasi. Sehingga, exergi input fluida dapat dihitung dengan persamaan berikut (Zhong, 2014):

$$E_{in, f} = m C_p (T_{in} - T_a - T_a \ln \left(\frac{T_{out}}{T_a} \right)) \dots(2)$$

Exergi input dari radiasi matahari ke permukaan kolektor dapat dihitung dengan menggunakan temperatur matahari seperti persamaan berikut (Zhong, 2014) :

$$E_{in, solar} = I A_c \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \dots(3)$$

Dengan I merupakan intensitas cahaya dan A_c sebagai luas permukaan kolektor. T_s merupakan Temperatur Apparent dari matahari dengan nilai sebesar 0,75 dari temperatur benda hitam (Kargarsharifabad, 2013). Temperatur benda hitam sebesar 5777 K (Duffie, 2013).

Untuk exergi output yang dibawa oleh fluida mengalir didapatkan dengan persamaan (Zhong, 2014):

$$E_{out, f} = m C_p (T_{out} - T_a - T_a \ln \left(\frac{T_{out}}{T_a} \right)) \dots(4)$$

Sehingga, exergi yang terserap dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Zhong, 2014):

$$E_u = E_{out, f} - E_{in, f} \quad \dots(5)$$

Exergi Destruction pada Flat Plat Collector (FPC) Solar Water Heater, terjadi dikarenakan beberapa sebab. Perpindahan panas dari temperatur matahari yang tinggi ke temperatur plat absorber yang rendah menyebabkan terbentuknya entropi. Pembentukan entropi tersebut merupakan salah satu penyebab terjadinya penghancuran exergi (Farahat, 2009).

$$E_{d, \Delta T_s} = \eta_0 I_T A_p T_a \left(\frac{1}{T_p} - \frac{1}{T_s} \right) \dots(6)$$

Perpindahan panas antara fluida yang mengalir dengan pelat absorber juga merupakan salah satu sebab terjadinya penghancuran exergi (Zhong, 2014).

$$E_{d, \Delta T_f} = m C_p T_a \left(\ln \left(\frac{T_{out}}{T_a} - \frac{(T_{out} - T_{in})}{T_p} \right) \right) \dots(7)$$

Selain dua penyebab kehancuran exergi tersebut, kehilangan radiasi matahari dari permukaan kolektor ke plat absorber juga merupakan salah satu penyebab kehancuran exergi. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan berikut (Zhong, 2014):

$$E_d = I_t (A_c - (\tau \alpha) A_p) \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right) \dots(8)$$

Tidak hanya kehancuran exergi saja, pada kolektor juga terjadi *exergy loss* dikarenakan panas yang hilang dari plat absorber ke lingkungan.

Sehingga, Efisiensi Exergi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Zhong, 2014):

$$\eta_{ex} = \frac{E_{out, f} - E_{in, f}}{I_t A_a \left(1 - \frac{T_a}{T_s} \right)} \dots(9)$$

Dimana:

- A_p = Luas Plat Absorber (m^2)
- A_c = Luas Kolektor (m^2)
- C_p = Kapasitas Panas Fluida ($J/kg \cdot K$)
- I_T = Intensitas Cahaya (W/m^2)
- T_{out} = Temperatur Outlet Fluida (K)
- T_{in} = Temperatur Inlet Fluida (K)
- T_a = Temperatur Ambient (K)
- T_p = Temperatur Plat Absorber (K)

Ed = Exergy Destruction
Ts = Temperatur Apparent Matahari

2. METODE PENELITIAN

Perancangan alat *solar water heater* (SWH) tipe serpentine berdasarkan pendekatan fungsional dan struktural.

Pendekatan Desain Fungsional

Pengolahan air minum dengan menggunakan Filter, Karbon Aktif dan Reverse Osmosis digunakan untuk menyaring dan membersihkan air dari molekul organik, virus, mineral untuk memenuhi baku mutu hingga menjadi air siap minum. Kolektor surya berfungsi sebagai media pemanas air dengan memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi pemanas. Adapun perancangan SWH meliputi beberapa alat:

1. Kolektor Surya

Kolektor surya berfungsi sebagai media pemanas air. Kolektor surya terdiri dari tiga bagian utama yaitu penutup, penyerap, dan pengisolasi panas.

2. Tangki Air Panas

Tangki air panas berfungsi sebagai tempat penyimpanan air panas sebagai output kolektor surya. Tangki air panas dilengkapi dengan back-up heater berupa koil pemanas yang berfungsi sebagai sumber panas pada kondisi lingkungan yang tertutup awan sehingga kolektor surya tidak mendapatkan sumber panas. Besar daya back-up heater yakni 600 Watt.

Pendekatan Desain Struktural

Rancang bangun peralatan dibutuhkan dalam SWH. Spesifikasi peralatan dan rancang bangun dari SWH ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Peralatan *Solar Water Heater*

Peralatan	Spesifikasi
Kolektor	120 cm x 80 cm x 4,5 cm
Kemiringan kolektor	0-90°
Plat absorber	120 cm x 80 cm x 0,2 cm
Panjang tube	15 m
Kapasitas tangki air panas	50 L
Kapasitas heater	600 Watt
Insulasi glasswool	120 cm x 80 cm x 5 cm



Gambar 1. Alat *Solar Water Heater* Tampak 3D

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 120 cm x 80 cm x 4,5 cm, plat aluminium yang dicat hitam *doff* sebagai *absorber* dengan ukuran 120 cm x 80 cm x 0,2 cm, *glass wool* pada bagian insulator dengan ukuran 90 cm x 40 cm x 5 cm dan besi sebagai rangka keseluruhan kolektor surya.

Antara insulator dengan plat *absorber* diberi jarak 2 cm. Sedangkan antara pipa tembaga dengan kaca diberi jarak 1 cm, 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.

1. Kolektor Termal

Pada perancangan *Solar Water Heater*, peralatan yang digunakan berupa kaca dengan ukuran 110 cm x 70 cm sebagai penutup kolektor, pelat aluminium sebagai absorber panas dengan ukuran 120 cm x 80 cm yang dicat hitam buram. Untuk insulasi kolektor, digunakan *glasswool* dengan ukuran 120 cm x 80 cm x 5 cm dan kayu sebagai rangka penyusun kolektor.

2. Tangki

Terdapat tiga tangki yang digunakan. Tangki pertama berfungsi sebagai tangki air siap minum hasil filtrasi reverse osmosis berupa galon air minum berkapasitas 19L. Tangki kedua berfungsi sebagai penampungan buangan reverse osmosis sekaligus tangki *input solar water heater*. Kapasitas tangki kedua sebesar 250 L. Tangki yang ketiga ialah tangki penyimpanan air panas sebagai output dari *solar water heater*. Tangki ketiga berkapasitas 50 L dan di insulasi dengan *glasswool* untuk mencegah keluarnya panas.

Uji Pengambilan Data *Solar Water Heater*

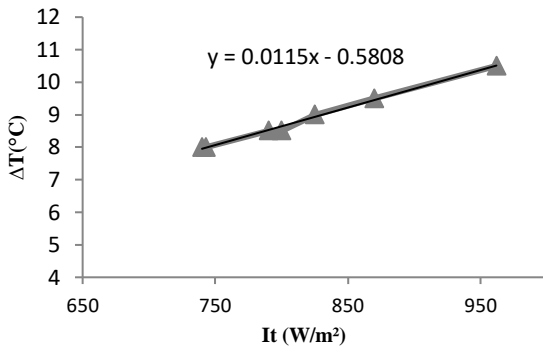
Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran secara langsung menggunakan alat ukur dalam waktu 5 hari pada pukul 09.00 sampai dengan 15.00 WIB.

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

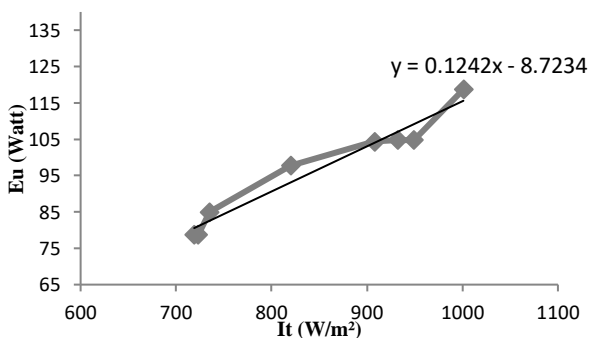
Pengaruh intensitas cahaya matahari terhadap perbedaan suhu input dan output air yang melalui kolektor ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Intensitas Cahaya Terhadap Beda Temperatur

Dari Gambar 2, dapat dilihat pengaruh intensitas cahaya terhadap beda temperatur adalah linear. Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin tinggi pula beda temperatur antara inlet dan outlet kolektor. Hal ini dikarenakan, intensitas cahaya yang menyentuh kolektor merupakan suplai exergi untuk memanaskan air. Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin besar jumlah exergi yang disuplai sehingga semakin banyak exergi yang terserap yang ditunjukkan oleh besarnya beda temperatur antara fluida masuk dan fluida keluar dari kolektor.

Beda temperatur merupakan indikator seberapa besar exergi yang terserap oleh fluida yang mengalir di dalam tube kolektor. Semakin tinggi beda temperatur, maka semakin besar pula exergi terserap yang disebabkan oleh tingginya intensitas cahaya. Penelitian serupa telah diteliti dengan hasil bahwa intensitas cahaya linear terhadap exergi yang terserap, *exergy destruction* dan *exergy loss*(Ge dkk, 2014).



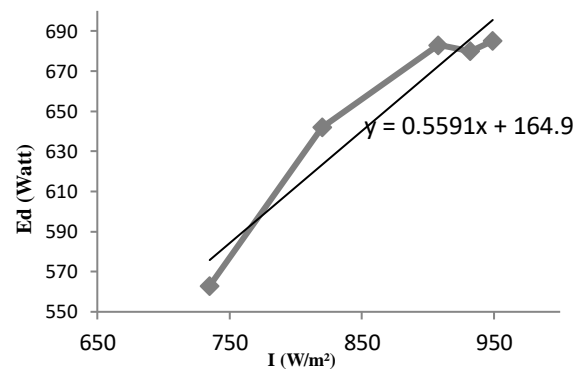
Gambar 3. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Exergy Gain

Dari Gambar 3 didapat intensitas cahaya linear terhadap *exergy gain* (exergi terserap). Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin tinggi pula jumlah

exergi yang terserap oleh fluida mengalir di dalam kolektor.

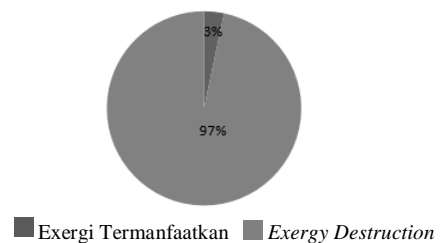
Selain itu, jumlah exergi yang terserap juga dipengaruhi oleh irreversibilitas antara temperatur matahari, di antara kolektor dan temperatur udara ambien serta temperatur di dalam kolektor. Sehingga, intensitas yang tinggi tidak hanya menyebabkan kenaikan beda temperatur namun kenaikan temperatur kolektor dan udara ambien. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan sejumlah *exergy destruction* (kehancuran exergi) (Chamoli, 2013).

Menurut Ge, 2014 terdapat tiga sebab kehancuran exergi pada *Flat Plate Collector Solar Water Heater* yakni kehancuran exergi akibat perbedaan temperatur antara plat absorber dengan matahari, kehancuran exergi disebabkan oleh kehilangan radiasi matahari dari permukaan kolektor ke plat absorber dan kehancuran exergi akibat perbedaan temperatur antara plat absorber dan fluida yang mengalir di dalam *tube*. Sehingga, semakin tinggi intensitas cahaya juga menyebabkan semakin tingginya *Exergy Destruction* pada kolektor. Hal ini dapat dilihat pada grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap *Exergy Destruction*.



Gambar 4. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Exergy Destruction

Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa intensitas cahaya juga linear terhadap *exergy destruction*. Semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin besar pula *exergy destruction*. Hal ini dikarenakan semakin tinggi intensitas cahaya, maka semakin besar pula beda temperatur antara komponen di dalam kolektor dengan udara ambien yang menyebabkan irreversibilitas sehingga semakin tinggi pula *exergy destruction*.



Gambar 5. Distribusi Exergi pada Kolektor

Intensitas cahaya sebagai suplai energi kolektor *Solar Water Heater* tidak hanya memanaskan air yang mengalir di dalam *tube* saja. Ketika cahaya matahari mengenai kolektor, terjadi perpindahan panas baik secara konveksi maupun konduksi. Intensitas cahaya yang disuplai memanaskan udara di dalam kolektor sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi menuju komponen-komponen pada kolektor yakni *tube* pemanas, plat absorber serta komponen lainnya. Ketika cahaya matahari menyentuh komponen tersebut terjadi perpindahan panas secara konduksi sehingga komponen-komponen pada kolektor akan mengalami kenaikan temperatur. Hal ini menunjukkan bahwa dari keseluruhan intensitas cahaya yang disuplai, tidak hanya memanaskan air dalam *tube* saja namun pada saat yang sama juga memanaskan komponen di dalamnya. Pada saat yang sama, perbedaan temperatur antara komponen-komponen di dalam kolektor menyebabkan terjadinya *exergy destruction*. Oleh karena itu, dari sejumlah *exergy* yang disuplai terhadap kolektor *Solar Water Heater*, *exergy* yang termanfaatkan hanya mendapatkan porsi yang sangat kecil dibandingkan dengan *Exergy Destruction*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5. Dari Gambar 5, *exergy* termanfaatkan hanya sebesar 3% sementara *exergy destruction* memiliki nilai terbesar sebesar 97%.

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian *Serpentine Tube Solar Water Heater*, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin besar jumlah *exergy* yang disuplai sehingga semakin banyak *exergy* yang terserap yang ditunjukkan oleh besarnya beda temperatur antara masukan dan keluaran fluida pada kolektor.
2. Semakin besar laju alir maka akan semakin rendah pula beda temperatur antara masukan dan keluaran.
3. Semakin tinggi intensitas cahaya, semakin tinggi juga *exergy destruction* pada kolektor.
4. Efisiensi tertinggi dari *Serpentine Tube Solar Water Heater* pada 0,5 lpm sebesar 3,2%.
5. Rendahnya efisiensi dikarenakan rendahnya *exergy* termanfaatkan yang disebabkan oleh besarnya *exergy destruction* pada kolektor.

DAFTAR PUSTAKA

Chamoli, S. (2013). Exergy Analysis of a Flat Plate Solar Collector. *Journal of Energy in Southern Africa*.

Farahat, H. A. (2009). Exergetic Optimization of Flat Plate Solar Collectors. *Renewable Energy Journal*.

Ge, Zhong., Wang, H., Wang, H., Zhang, S., dan Guan, X. (2014). Exergy Analysis of Flat Plate Solar Collectors. *Entropy*, 2549-2567.

Hasan, M., Mahadi, M., Miyazaki, T., Koyama, S., dan Thu, K. (2018). Exergy Analysis of Serpentine Thermosyphon Solar Water Heater. *Applied Sciences*.

Kadir, A. (1995). *ENERGI: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

Mahadi, H., M, F., Ahammed, Huque, dan Kibria. (2014). Construction, Fabrication, and Performance Analysis of an Indigenously Built Serpentine Type Thermosyphon Solar Water Heater. *3rd International Conference on The Development in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, (pp. 2-7). Dhaka.

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

Padilla, R., Fontalvo, A., Demirkaya, G., Martinez, A., dan Quiroga, A. (2014). Exergy Analysis of Parabolic Trough Solar Receiver. *Application Thermal Engineering*.

Purnama, R., Kurniawan, E., dan Ashari. (2015). Perancangan Alat Peraga Kolektor Surya Pemanas Air Guna Menjelaskan Suhu dan Kalor pada Kelas X SMA Muhammadiyah Purworejo. *Jurnal Pendidikan*.

Sukhatme, S., dan J K, N. (1993). *Solar Energy*. New York: McGraw-Hil.

Sidopekso, S. (2011). Studi Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Pemanas Air. *Berkala Fisika*, 23-26.

Sumarsono, M. (2005). Optimasi Jumlah Pipa Pemanas terhadap Kinerja Kolektor Surya Pemanas Air. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*.

Sutarno. (2013). *Sumber Daya Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Vinubhai, T., R, J., dan Thakkar, K. (2014). A Review : Solar Water Heating Systems. *National Conference on Emerging Vista of Technology in 21st Century* (pp. 1-8). Gujarat: NCEVT.

Vinubhai, T., R, J., dan Thakkar, K. (2014). Review: Solar Water Heating System. *Emerging Vista of Technology in 21st Century* (pp. 1-8). India: NEEVI.

Wiyana, G. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. *JPTK, UNDIKSHA*, 37-46.