

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PERUBAHAN DEBIT ALIRAN PADA EFISIENSI TERMAL SOLAR WATER HEATER DENGAN PENAMBAHAN FINNED TUBE

Rio Adi Kristian*, Arrad Ghani Safitra, Radina Anggun Nurisma

Program Studi Sistem Pembangkit Energi,

Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jalan Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111

*Email: rioadi.pg@gmail.com

Abstrak

Ketersediaan energi surya Indonesia sangat melimpah yang mencapai 4.5-5.1 KWh/m²/hari sepanjang tahunnya, namun besarnya energi tersebut masih belum dimanfaatkan dengan maksimal. Salah satu cara memanfaatkan energi surya adalah sebagai pemanas air atau solar water heater. Pemanasan air yang terjadi di solar water heater berada pada sebuah kolektor surya yang mampu menyerap panas dari energi surya. Pemanasan di kolektor surya dapat ditingkatkan dengan melakukan penambahan fin sehingga efisiensi kolektor surya tersebut dapat juga dapat ditingkatkan. Fin yang ditambahkan pada penelitian ini berupa annular fin dengan debit aliran 75 l/jam, 100 l/jam, serta 125 l/jam untuk didapatkan efisiensi termal yang paling tinggi. Pengujian dilakukan di kawasan PENS (7.2771 LS dan 112.7939 BT) dari tanggal 31 Mei hingga 17 Juni 2017 pada langit cerah dengan kolektor surya horizontal dari pukul 09.00 hingga 15.00 WIB. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah solar water heater dengan penambahan annular fin mampu menghasilkan temperatur air keluar yang lebih tinggi pada setiap variasi debit aliran dan menghasilkan efisiensi termal maksimal yang lebih tinggi daripada tanpa penambahan fin. Temperatur air keluar tertinggi sebesar 45.4°C pada debit aliran 75 l/jam dan efisiensi termal paling tinggi sebesar 57% pada debit aliran 125 l/jam.

Kata kunci: energi surya, solar water heater, annular finned tube, efisiensi termal

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki berbagai macam sumber daya alam yang melimpah, salah satunya adalah energi surya dengan potensi sebesar 4.5 – 5.1 KWh/m²/hari yang selalu ada sepanjang tahun (ESDM 2012). Namun pemanfaatan energi tersebut masih belum serius dilakukan. Salah satu pemanfaatan energi surya adalah untuk pemanasan air dengan menggunakan solar water heater. Solar water heater merupakan peralatan yang digunakan untuk memanaskan air dengan memanfaatkan energi surya.

Pemanasan air yang terjadi di solar water heater sepenuhnya menggunakan radiasi energi surya sebagai sumber utama yang dikonversi menjadi panas di dalam kolektor surya dan diteruskan ke air sebagai media yang dipanaskan. Secara umum terdapat dua jenis kolektor surya untuk solar water heater, kedua jenis tersebut adalah flat-plate solar collector dan evacuated tube solar collector. Keduanya memiliki desain yang berbeda tergantung pada keadaan meteorologi daerah penerapan, tujuan pemanasan, beban pemanasan, dan biaya pemasangan (Renewable & Agency 2015). Penelitian ini menggunakan jenis flat-plate solar kolektor atau kolektor surya plat datar karena memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dengan heat loss yang lebih rendah.

Berbagai penelitian terdahulu mengenai kolektor surya pelat datar telah banyak dilakukan. Diantaranya adalah penelitian mengenai performa termal, ekonomi, dan lingkungan dari thermosiphon solar water heater oleh (Kalogirou 2009). Dalam penelitian tersebut, flat plate solar water heater dengan konfigurasi thermosiphon dapat memenuhi kebutuhan air panas rumah tangga sebesar 79% dengan energi matahari. Sehingga penggunaan solar water heater pada rumah tangga dapat mengurangi biaya operasional pemanasan air dengan heater konvensional.

Penelitian lain yang dilakukan oleh (Gunjo et al. 2017) mengenai studi eksperimen dan numerik flat plate solar water heater pada kondisi steady. Dalam penelitian tersebut menunjukkan bahwa efisiensi termal solar water heater meningkat sebanding dengan kenaikan temperatur udara

ambient, radiasi matahari, dan *massflow rate* air, serta berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur air inlet.

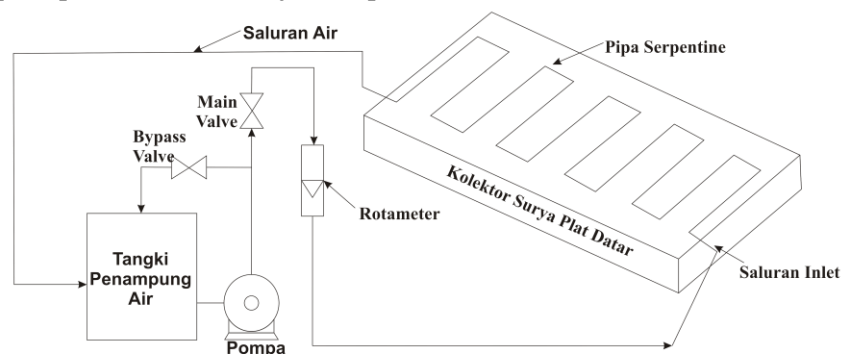
Penelitian lain dilakukan oleh (Nugraha & Dwiyantoro 2015) mengenai pengaruh variasi sudut kemiringan kolektor surya terhadap performansi kolektor surya pemanas air dengan penambahan *external helical fin*. Sudut kemiringan yang divariasikan pada penelitian ini adalah 10°, 20°, dan 30° dengan menggunakan kaca penutup hitam dan bening. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan kaca penutup hitam membuat efisiensi kolektor lebih kecil 11.51% dari kaca bening.

Pada penelitian ini menggunakan jenis *flat-plate collector solar water heater* atau kolektor surya plat datar dengan penambahan *annular fin* pada debit aliran 75 l/jam, 100 l/jam, dan 125 l/jam. Diharapkan pada penelitian ini dengan penambahan *fin* pada pipa pemanas kolektor surya plat datar dan pemilihan debit aliran air yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi termalnya.

2. METODOLOGI

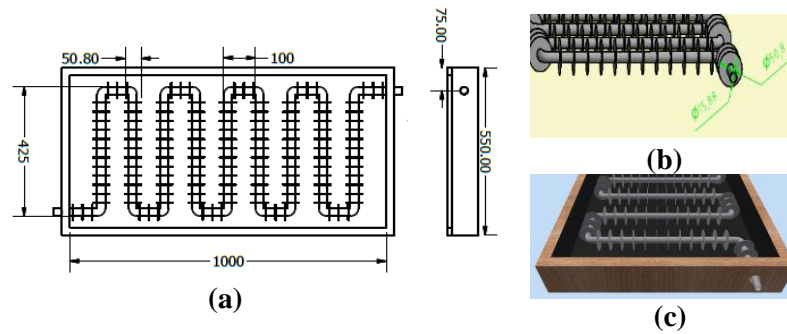
2.1 Perancangan Sistem

Solar water heater yang digunakan pada penelitian ini memuat beberapa komponen penyusun. Komponen penyusun tersebut diantaranya adalah kolektor surya plat datar, tangki penampung, pompa, dan saluran air yang berfungsi sebagai penukar kalor dan menampung air yang telah dipanaskan. Sistem yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem tertutup dengan sirkulasi air yang telah dipanaskan akan masuk kembali ke penampung air utama. Sistem tertutup yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Sistem Tertutup Solar Water Heater

Salah satu komponen *solar water heater* yang sangat penting adalah kolektor surya sebagai komponen penukar kalor. Sesuai dengan fungsinya tersebut, dalam pembuatan kolektor surya plat datar membutuhkan material-material yang dapat menghantarkan panas dengan baik. Susunan kolektor surya plat datar yang digunakan terdiri dari kaca penutup bening dengan ketebalan 5 mm yang diharapkan mampu meneruskan energi surya dengan baik dan mencegah adanya benda asing masuk ke dalam kolektor surya, *absorber* dari material aluminium dengan ketebalan 1 mm dengan pelapisan cat *black flat* yang diharapkan mampu menyerap energi surya dengan baik. Pipa pemanas dan *fin* yang digunakan menggunakan material tembaga dengan pelapisan cat *black flat*. Isolasi menggunakan *glass wool* setebal 50 mm dan kerangka kolektor menggunakan material kayu agar panas yang telah terkumpul tidak hilang ke lingkungan. Kapasitas penampung air yang digunakan sebesar 75 liter. Dimensi dan penambahan *fin* pada kolektor surya plat datar ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Dimensi Kolektor Surya, (b) Desain annular finned tube, (c) finned tube kolektor surya

2.2 Pengujian Sistem

Pengujian *solar water heater* pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi termal dari pemanasan yang terjadi di dalam kolektor surya. Pengujian dilakukan di kawasan PENS (7.2771 LS dan 112.7939 BT) dari tanggal 31 Mei hingga 17 Juni 2017 dengan kondisi langit cerah. Pengujian sistem *solar water heater* melibatkan sensor temperatur yang telah diletakkan pada bagian-bagian kolektor surya, anemometer yang digunakan untuk mengukur kecepatan udara di luar kolektor surya, serta melibatkan pyranometer yang digunakan untuk mengambil data radiasi matahari. Data dari beberapa alat ukur tersebut diambil setiap jam mulai pukul 09.00 hingga 15.00 WIB pada hari pengujian yang dilakukan. Pengujian *solar water heater* ditunjukkan pada Gambar 3. Penelitian ini melakukan variasi debit aliran air 75 l/jam, 100 l/jam, dan 125 l/jam dengan kolektor surya tanpa penambahan *fin* dan penambahan *annular fin*. Sehingga diharapkan dengan model pengujian eksperimental yang dibuat ini dapat menghasilkan kolektor surya pemanas air yang dapat menyerap energi surya dengan efektif.



Gambar 3. Pengujian Solar Water Heater

2.3 Perpindahan Panas dan Efisiensi Termal Kolektor Surya

Besarnya efisiensi termal dan perpindahan panas pada kolektor surya ditentukan oleh besarnya panas yang terserap kolektor surya dan radiasi yang mengenai kolektor surya. Radiasi surya yang mengenai kolektor surya ditentukan dengan persamaan berikut (Deceased & Beckman 2013) :

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + I_{p_g} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \tag{1}$$

Energi panas yang mampu diserap oleh kolektor surya pemanas air secara teoritis di rumuskan dengan persamaan berikut (Deceased & Beckman 2013):

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_i)] \tag{2}$$

Sedangkan energi panas yang digunakan secara aktual untuk pemanasan air adalah (Deceased & Beckman 2013) :

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi}) \quad (3)$$

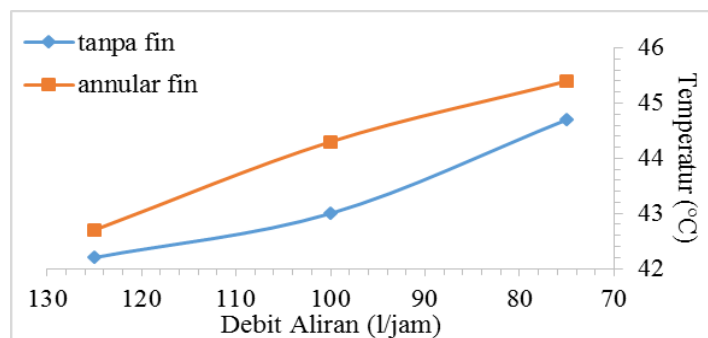
Efisiensi kolektor surya ditentukan dari panas berguna yang dapat diserap kolektor dengan intensitas matahari yang diterima kolektor (Deceased & Beckman 2013), dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{kolektorsurya} = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (4)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Penambahan *Fin* Pada Variasi Debit Aliran Terhadap Temperatur Air Keluar

Setiap pengujian berlangsung selama 6 jam dari pukul 09.00 hingga 15.00 WIB. Temperatur air keluar kolektor surya setelah pengujian berlangsung merupakan hasil dari proses pemanasan air yang terjadi di dalam kolektor surya. Pengaruh penambahan *annular fin* pada debit aliran terhadap temperatur air keluar ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *fin* maka ditunjukkan pula data hasil pemanasan kolektor surya tanpa penambahan *fin*.



Gambar 4. Grafik Penambahan *Annular Fin* Pada Debit Aliran Terhadap Temperatur Air Keluar

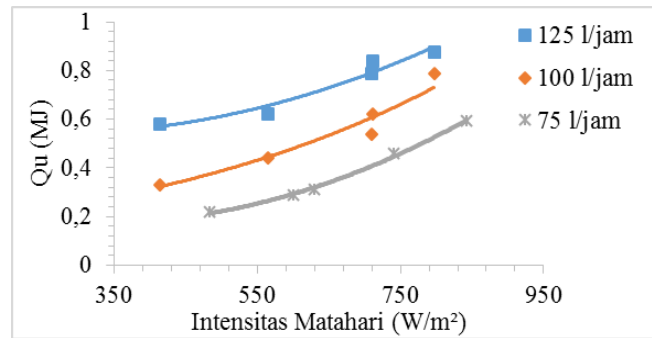
Dari Gambar 4 ditunjukkan bahwa variasi debit aliran air 125 l/jam, 100 l/jam, dan 75 l/jam menghasilkan temperatur air keluar berturut-turut sebesar 42 °C, 43 °C, dan 44.7°C untuk kolektor surya tanpa penambahan *fin*, sedangkan pada kolektor surya dengan penambahan *annular fin* menghasilkan temperatur air keluar sebesar 42.7°C, 44.3°C, dan 45.4°C. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil debit aliran fluida yang mengalir, maka semakin tinggi temperatur air keluar kolektor surya. Hal ini dikarenakan debit aliran fluida yang mengalir di dalam kolektor surya berkaitan dengan laju aliran massa (\dot{m}) di dalam kolektor. Sesuai dengan persamaan $Q_u = \dot{m}C_p(T_{fo} - T_{fi})$, ketika Q_u dan C_p dianggap sama pada perbedaan debit aliran fluida, maka dengan debit aliran fluida yang semakin rendah maka laju aliran massa juga berkurang, sehingga temperatur air keluar akan semakin tinggi.

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa penambahan *annular fin* dapat meningkatkan temperatur air keluar kolektor pada setiap variasi debit aliran. Temperatur air keluar tertinggi sebesar 45.4 °C pada kolektor surya dengan penambahan *annular fin* dan debit aliran 75 l/jam. Hal tersebut terjadi karena pemanasan air yang ada di dalam kolektor surya berkaitan dengan energi berguna yang ditransfer dari pipa ke air. besarnya energi berguna juga berkaitan dengan luas permukaan pipa. Sehingga dengan penambahan *annular fin* luasan perpindahan panas pada pipa semakin besar dan energi berguna yang berpindah juga semakin besar serta temperatur air keluar hasil pemanasan di kolektor surya juga akan semakin besar.

3.2 Pengaruh Penambahan Intensitas Matahari Terhadap Energi Berguna

Energi berguna merupakan jumlah kalor yang mampu diserap oleh air dari kolektor surya untuk meningkatkan temperatur air. Energi berguna pada kolektor surya dipengaruhi oleh besarnya intensitas matahari yang mengenai kolektor surya. Selain itu energi berguna yang mampu diserap

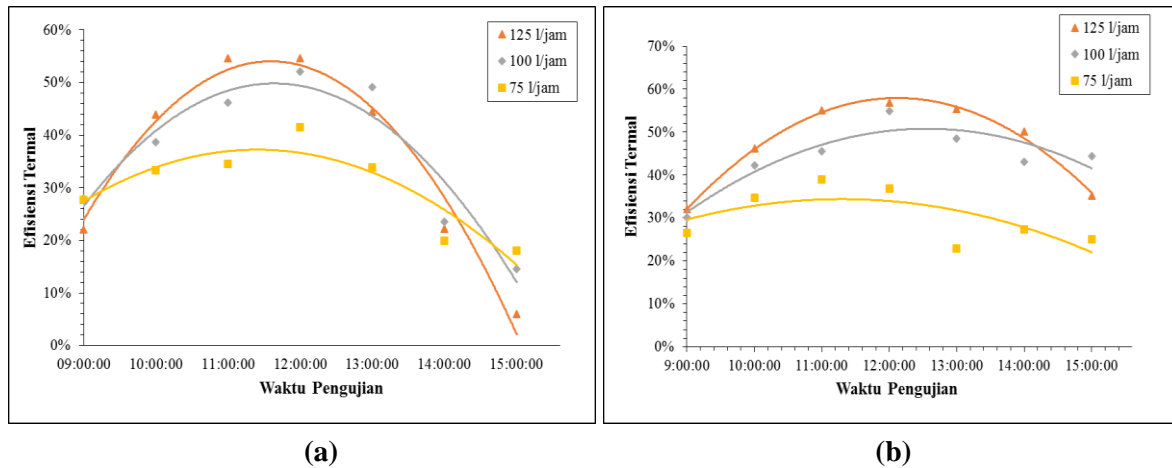
oleh air dari kolektor surya dengan penambahan *annular fin* pada variasi debit aliran juga menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil tersebut ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Energi Berguna Terhadap Intensitas Matahari

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa energi berguna dipengaruhi oleh intensitas matahari dan debit aliran yang mengalir. Energi berguna yang mampu diserap oleh air sebanding dengan intensitas matahari yang mengenai kolektor surya. Hal tersebut dikarenakan energi berguna di dalam kolektor surya merupakan fungsi dari intensitas matahari yang mengenai kolektor surya tersebut. selain intensitas matahari, debit aliran yang semakin besar juga mampu meningkatkan energi berguna yang dapat diserap oleh air. Hal ini dikarenakan oleh penambahan debit aliran yang semakin besar akan meningkatkan *reynold number* aliran air, sehingga koefisien konveksi yang terjadi juga semakin tinggi. Koefisien konveksi yang semakin besar akan mempengaruhi energi berguna yang berpindah semakin besar pula.

3.3 Efisiensi Termal Kolektor Surya Terhadap Waktu Pengujian



Gambar 6. Efisiensi termal kolektor surya pada perubahan waktu pengujian (a) tanpa *fin*, (b) penambahan *annular fin*

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa efisiensi termal kolektor surya dipengaruhi oleh debit aliran fluida, intensitas matahari yang ditunjukkan pada setiap perubahan waktu, dan penambahan *annular fin*. Grafik tersebut menunjukkan bahwa efisiensi kolektor surya terbesar pada pukul 12.00 dimana intensitas matahari yang mengenai kolektor surya berada pada nilai tertinggi. Hal tersebut terjadi karena intensitas matahari yang semakin besar akan meningkatkan energi berguna yang dapat diserap oleh air serta efisiensi pemanasan di dalam kolektor surya juga semakin besar.

Efisiensi kolektor surya tanpa penambahan *fin* paling tinggi mencapai 55% pada debit aliran 125 l/jam, selanjutnya sebesar 52% pada debit aliran 100 l/jam, dan 41% pada debit aliran 75 l/jam. Disisi lain kolektor surya dengan penambahan *annular fin* mampu menghasilkan efisiensi

termal paling besar mencapai 57% pada debit aliran 125 l/jam, selanjutnya sebesar 55% pada debit aliran 100 l/jam, serta 39% pada debit aliran 75 l/jam. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa penambahan debit aliran yang dilakukan pada *solar water heater* mampu meningkatkan efisiensi termal maksimal yang mampu dicapai. Hal ini dikarenakan penambahan debit aliran juga akan meningkatkan laju aliran massa sehingga energi berguna yang didapatkan semakin besar dan efisiensi termal yang dicapai juga semakin tinggi. disisi lain hal tersebut selalu terjadi pada setiap perubahan waktu pengujian. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan intensitas matahari, kondisi cuaca, dan kecepatan angin diluar kolektor yang berbeda pada setiap tanggal pengujian yang dilakukan. Selain itu penambahan *annular fin* juga mampu meningkatkan efisiensi termal tertinggi yang dapat dicapai pada variasi debit aliran yang dilakukan. Hal tersebut berkaitan dengan penambahan luasan permukaan pipa yang dapat meningkatkan perpindahan panas di dalamnya serta meningkatkan energi berguna yang dapat diserap.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat diketahui bahwa penambahan *annular fin* pada kolektor surya menghasilkan temperatur air keluar yang lebih tinggi pada setiap variasi debit aliran dan menghasilkan efisiensi termal maksimal yang lebih tinggi daripada kolektor surya tanpa penambahan *fin*. Temperatur air keluar tertinggi sebesar 45.4°C pada debit aliran 75 l/jam dan efisiensi termal tertinggi sebesar 55% pada debit aliran 125 l/jam. Hal ini disebabkan oleh penambahan *fin* pada kolektor surya dapat meningkatkan luasan perpindahan panas yang terjadi di pipa sehingga semakin banyak energi berguna yang dapat diserap oleh pipa untuk ditransferkan ke air. Disisi lain, penambahan debit aliran sebanding dengan peningkatan efisiensi termal dan berbanding terbalik dengan temperatur air keluar yang disebabkan oleh pengaruh energi berguna yang mampu diserap oleh air.

DAFTAR PUSTAKA

- Deceased, J.A.D. & Beckman, W.A., 2013. *of Thermal Processes Solar Engineering*,
Gunjo, D.G., Mahanta, P. & Robi, P.S., 2017. CFD and experimental investigation of fl at plate solar water heating system under steady state condition. *Renewable Energy*, 106, pp.24–36. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.041>.
Kalogirou, S., 2009. Thermal performance , economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. *Solar Energy*, 83(1), pp.106–115. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2008.06.005>.
Nugraha, D. and Dwiyantoro, A. (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, Tahun 2015.