

Unjuk Kerja Pemanas Air Energi Matahari Sederhana

F. A. Rusdi Sambada

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

*Corresponding e-mail: rusdisambada@yahoo.co.id

Abstrak

Di negara berkembang seperti Indonesia, kayu bakar, minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang banyak digunakan untuk memanaskan air. Pemanfaatan sumber energi matahari merupakan alternatif untuk memanaskan air. Pemanas air yang banyak terdapat di pasaran adalah jenis pelat datar. Permasalahan yang ada dengan jenis pelat datar adalah harga yang mahal dan teknologi pembuatannya yang masih sulit dilakukan di industri lokal. Hal tersebut menyebabkan pemanfaatan energi matahari untuk pemanas air masih sedikit dan masyarakat masih menggunakan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan air panas. Tujuan penelitian adalah membuat model pemanas air energi matahari sederhana menggunakan bahan yang lebih murah dan teknologi yang sederhana serta mengetahui unjuk kerja (temperatur maksimal dan efisiensi) pemanas air yang dapat dihasilkan. Pemanas air ini memiliki dua komponen utama yaitu kolektor dengan kaca penutup dan tangki penampungan air panas berkapasitas 100 liter. Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah temperatur air sisi masuk kolektor (T_i), temperatur air sisi keluar kolektor (T_o), temperatur lingkungan (T), temperature rata-rata tangki penyimpan (T_A), energi matahari yang datang (G). Variabel yang divariasikan pada penelitian pemanas air energi matahari ini adalah luasan reflektor. Variasi luasan reflektor yang digunakan adalah tanpa reflektor (variasi 1), luasan reflektor $0,95 \text{ m}^2$ (variasi 2), luasan reflektor $1,1 \text{ m}^2$ (variasi 3), luasan reflektor $1,35 \text{ m}^2$ (variasi 4) dan luasan reflektor $1,5 \text{ m}^2$ (variasi 5). Hasil penelitian menunjukkan temperatur air panas rata-rata tertinggi sebesar $48,74^\circ\text{C}$ diperoleh pada variasi satu yakni tanpa menggunakan reflektor. Efisiensi tertinggi sebesar 89% diperoleh pada variasi 5.

Kata Kunci: Energi Matahari, Pemanas Air, Sederhana, Unjuk Kerja.

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan. Peran energi dalam pembangunan telah lama dikenal manusia. Sumber energi konvensional yang kita miliki saat ini seperti halnya minyak, batubara dan gas bumi, merupakan kekayaan alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga suatu saat akan habis. Di negara-negara berkembang seperti Indonesia, kayu bakar, minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang banyak digunakan untuk memanaskan air. Pemakaian kayu bakar yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan hutan sehingga dapat mengakibatkan bencana alam seperti banjir dan tanah longsor. Penggunaan kayu bakar secara tradisional juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan karena asap yang ditimbulkan, selain itu pengumpulan kayu bakar memerlukan waktu yang sebenarnya dapat dipergunakan untuk kegiatan lain yang lebih produktif. Semakin menipisnya cadangan minyak dan gas bumi menyebabkan krisis energi, akibatnya harga minyak dan gas bumi semakin mahal, hal ini tentunya akan berdampak pada kenaikan biaya hidup atau harga jual produk yang pada prosesnya menggunakan air panas.

Pemanfaatan energi matahari merupakan alternatif untuk menggantikan sumber alam yang suatu saat akan habis. Energi matahari merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk memanaskan air. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi matahari yang cukup dengan radiasi harian rata-rata $4,8 \text{ kWh/m}^2$ (Menteri Energi, 2003). Penggunaan energi matahari juga sejalan dengan target pengurangan emisi karbondioksida di atmosfer (berdasarkan protokol Kyoto).

Sistem pemanas air energi matahari yang banyak digunakan umumnya adalah jenis kolektor pelat datar dengan komponen utamanya pipa pemanas (*riser*) dan pelat absorber. Pipa pemanas dan pelat absorber umumnya terbuat dari tembaga, absorber berfungsi untuk menambah luasan penerima panas dari energi matahari (berfungsi sebagai sirip bagi pipa pemanas). Pipa pemanas direkatkan pada pelat absorber dengan cara dilas/solder. Pemanas air energi matahari jenis pelat datar yang terbuat dari pipa dan pelat tembaga mempunyai efisiensi yang baik untuk kondisi cuaca di Indonesia, hal ini disebabkan karena tembaga merupakan bahan dengan sifat hantar panas yang baik. Akan tetapi dari sisi biaya yang diperlukan termasuk mahal, hal ini disebabkan harga pipa dan pelat tembaga termasuk mahal. Selain biaya dari sisi teknologi pembuatannya (pengelasan pipa pemanas ke pelat absorber) juga tidak termasuk teknologi yang sederhana. Alternatif disain pemanas air energi matahari yang jauh lebih murah dan tidak memerlukan teknologi yang tinggi tetapi dapat bekerja dengan prinsip yang sama dengan jenis pelat datar adalah jenis pipa spiral. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model pemanas air energi matahari sederhana dan mengetahui unjuk kerja (temperatur rata-rata air panas dan efisiensi) yang dapat dihasilkan.

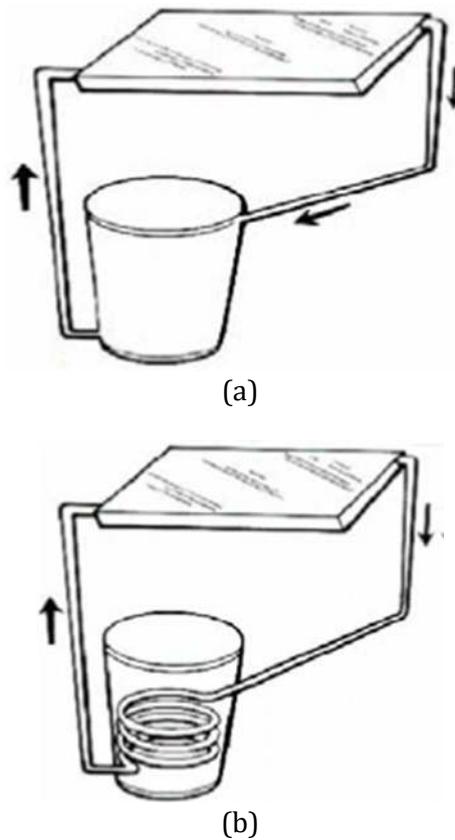
KAJIAN PUSTAKA

Hasil penelitian A.B Copey (1984) memperlihatkan bahwa tangki dengan derajat stratifikasi thermal lebih baik akan menghasilkan fraksi matahari lebih tinggi, M.D.Wuestling (1985) serta G.L Morison dan J.E Braun (1985) mengatakan bahwa unjuk kerja optimum pemanas air terjadi pada laju aliran air rata-rata harian di kolektor yang sama dengan laju aliran air pembebanan. Kolektor CPC sederhana tanpa pevakuman dapat mencapai efisiensi 50% hal ini dapat dicapai dengan penambahan material *honeycomb* sebagai pengontrol laju kerugian konveksi pada kolektor (Pereira, et al., 2003). Pembuatan profil parabola, pengaturan fokus, prosedur pembuatan dudukan pipa pemanas pada reflektor merupakan permasalahan yang umum pada disain sebuah kolektor CPC disamping keuntungan dari kolektor CPC seperti rugi-rugi panas yang kecil dan tempertur kerja yang cukup tinggi (Zheng, et. al, 2004).

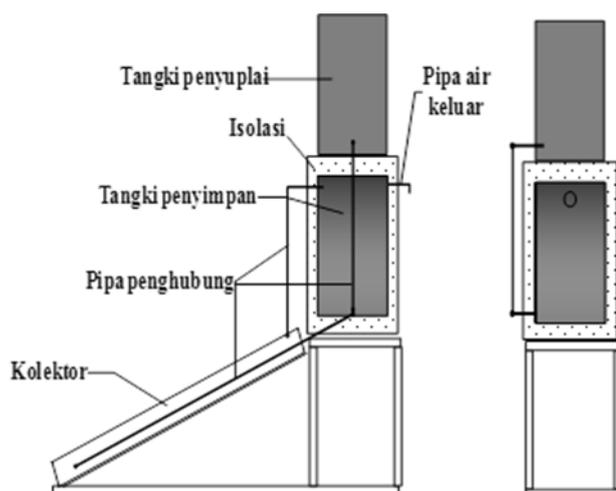
Landasan Teori

Analisa termal untuk menganalisis unjuk kerja pemanas air spiral sampai saat ini belum ada. Hal tersebut disebabkan penelitian pemanas air energi matahari jenis spiral seperti yang akan diteliti dalam penelitian ini belum pernah ada sebelumnya. Analisis unjuk kerja yang akan digunakan dalam penelitian ini akan mengacu pada analisis termal pemanas air yang umum digunakan yakni jenis pelat datar. Hal tersebut dimungkinkan mengingat prinsip kerja pemanas air energi matahari jenis pelat datar memiliki kesamaan dengan jenis spiral yang akan diteliti dalam penelitian ini. Pemanas air jenis pelat datar merupakan jenis kolektor yang paling umum. Ada 2 jenis pemanas air jenis pelat datar yaitu (1) pelat datar konvensional, (2) pelat datar "*evacuated tube*". Jenis pelat datar konvensional adalah jenis yang paling umum digunakan di rumah tangga, perkantoran, hotel dsb (umumnya untuk memanaskan air yang digunakan untuk mandi atau mencuci). Pada prinsipnya terdiri dari kotak berisolasi di dalamnya terdapat pipa/saluran dan pelat absorber dari logam berwarna hitam yang menyerap panas. Energi matahari diterima pelat absorber dan dikonversikan menjadi panas. Fluida dalam pipa/saluran mengambil panas dari pelat absorber. Ada beberapa sistem yang dapat digunakan dalam pengaplikasian dari pemanas air yaitu (1) aktif (menggunakan pompa), (2) pasif (tidak menggunakan pompa dan sirkulasi berlangsung secara alami), (3) direct fluida artinya yang dipanasi langsung dapat digunakan dan (4) indirect artinya terdapat alat penukar panas pada sistem sehingga fluida yang dipanasi digunakan untuk memanasi fluida lain (Gambar 1).

Dalam penelitian ini digunakan sistem pasif dan sistem direct yaitu tidak menggunakan pompa dan fluida air yang dipanasi dapat langsung digunakan. Jumlah radiasi matahari yang diterima kolektor tergantung dari beberapa hal yakni letak geografis, ketinggian (makin tinggi daerah makin besar radiasi), kondisi tempat (banyak pohon, bangunan atau daerah terbuka), orientasi kolektor terhadap posisi harian matahari (kolektor tetap atau dapat mengikuti gerak matahari), waktu (pagi, siang atau sore), musim (hujan atau kemarau) dan kondisi atmosfer (cerah, berawan, uap air, debu, polutan). Pada disain yang paling sederhana pemanas air energi matahari jenis pelat datar (Gambar 2) adalah pemanas air energi matahari yang tidak memerlukan pompa, alat kontrol, sensor, dan jaringan listrik. Air bersirkulasi dari kolektor ke tangki karena adanya perbedaan massa jenis.



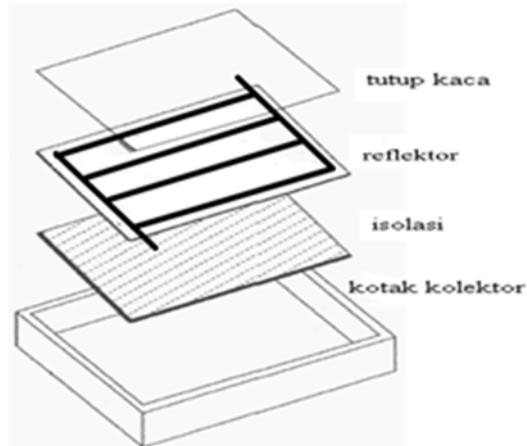
Gambar 1. Cara kerja sistem direct (a) dan indirect (b)



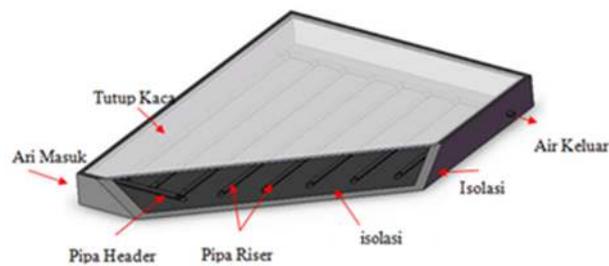
Gambar 2. Bagian Pemanas Air Energi Matahari Jenis Kolektor Pelat Datar

Prinsip kerja pemanas air energi matahari jenis pelat datar adalah sebagai berikut : energi matahari memanasi kolektor sehingga air dalam pipa kolektor menjadi panas, air yang panas ini mempunyai massa jenis yang lebih kecil dari air yang lebih dingin di sekitarnya sehingga bagian air yang panas ini merambat ke bagian atas kolektor, masuk dalam tangki penyimpanan di bagian atas tangki penyimpanan dan mendesak air dalam tangki penyimpanan yang lebih dingin ke bagian bawah tangki penyimpanan. Air dingin yang terdesak ini selanjutnya akan keluar dari tangki penyimpanan dan melalui pipa aliran air dingin masuk kolektor dari bagian bawah kolektor. Karena sirkulasi air panas dari kolektor ke tangki penyimpanan dan air dingin dari tangki penyimpanan ke kolektor terjadi tanpa bantuan pompa maka sirkulasi ini disebut sirkulasi natural atau yang lebih dikenal sebagai prinsip *thermosifon*. Air dingin yang masuk kolektor akan dipanasi lagi dengan energi matahari yang diterima kolektor. Karena temperatur air dalam kolektor lebih tinggi dari temperatur air yang ada dalam tangki penyimpanan maka sirkulasi natural akan terus berlangsung selama kolektor menerima energi matahari dan akibatnya air dalam tangki penyimpanan makin lama makin panas. Temperatur yang dapat dicapai air dalam tangki penyimpanan tergantung pada energi matahari yang diterima kolektor, luas kolektor, banyaknya air, dan kualitas bahan isolasi tangki penyimpanan (umumnya air dalam tangki penyimpanan dapat mencapai temperatur 50°C sampai 80°C). Jika air panas dalam tangki penyimpanan akan digunakan maka keran pengeluaran air panas dibuka, sehingga air panas dalam tangki penyimpanan keluar. Karena antara tangki penyimpanan dan tangki penyuplai terhubung dengan pipa aliran air penyuplai maka air dalam tangki penyuplai akan masuk ke dalam tangki penyimpanan melalui bagian bawah tangki penyimpanan dan mendesak air panas dalam tangki penyimpanan ke atas dan keluar melalui keran pengeluaran air panas. Penempatan keran pengeluaran air panas harus pada bagian atas tangki penyimpanan karena air terpanas dalam tangki penyimpanan selalu berada pada bagian atas (air terpanas mempunyai massa jenis terkecil) sementara penempatan saluran pipa aliran air penyuplai ditempatkan pada bagian bawah tangki penyimpanan agar air penyuplai yang bertemperatur lebih rendah tidak teraduk dengan air terpanas di tangki.

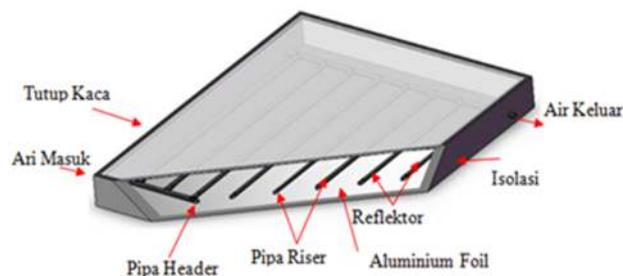
Kolektor merupakan bagian pada pemanas air (Gambar 3) yang menerima energi matahari. Bagian-bagian sebuah kolektor pelat datar yang terbuat dari pipa (Gambar 4). Pada bagian dalam dapat ditambahkan aluminium foil sebagai reflektor (Gambar 5).



Gambar 3. Bagian kolektor pelat datar



Gambar 4. Bagian kolektor pelat datar tanpa reflektor



Gambar 5. Bagian-bagian kolektor pelat datar memakai reflektor

Kolektor matahari terdiri dari 5 bagian yaitu kotak kolektor, yang dimasukkan dalam kotak kayu dengan tebal 10 – 15 cm. Reflektor berprofil datar dapat dibuat dari bahan yang mempunyai sifat pantul energi matahari yang baik seperti pelat stainless steel atau pelat aluminium tipis. Lapisan isolasi yang terbuat dari material yang dapat menahan panas keluar dari kolektor di letakkan di dasar kotak dan umumnya mempunyai tebal 5 cm. Tutup kaca, yang berfungsi untuk mempertahankan panas dalam kolektor, tebal kaca umumnya 4 sampai 5 mm. Tutup kaca harus mempunyai sifat dapat meneruskan energi matahari ke pelat absorber tanpa terlalu banyak bagian energi matahari yang diserap atau dipantulkan oleh tutup kaca tersebut. Selain mempertahankan panas dalam kolektor tutup kaca berfungsi menghindari hilangnya panas karena angin

Efisiensi kolektor sangat menentukan unjuk kerja pemanas air secara keseluruhan. Efisiensi kolektor merupakan fungsi temperatur fluida kerja masuk kolektor, semakin rendah temperatur fluida kerja masuk kolektor efisiensi kolektor akan semakin tinggi, efisiensi sebuah kolektor dinyatakan dengan persamaan

$$FR = \frac{m_F \cdot C_{PF} (T_0 - T_i)}{AC [G(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]} \quad (1)$$

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \left(\frac{T_i - T_a}{G} \right) \quad (2)$$

dengan:

- η : Efisiensi kolektor
- F_R : Faktor pelepasan panas
- G : Radiasi yang datang (W/m^2)
- T_a : Temperatur sekitar (K)
- T_i : Temperatur air masuk kolektor (K)
- U_L : Koefisien kerugian ($W/(m^2.K)$)
- $(\tau\alpha)$: Faktor transmittan-absorpan kolektor
- AC : Luasan kolektor (m^2)
- C_{PF} : Panas jenis fluida kerja ($J/(kg.K)$)
- m_F : Massa air dalam pipa di kolektor (kg)
- T_0 : Temperatur air keluar kolektor (K)

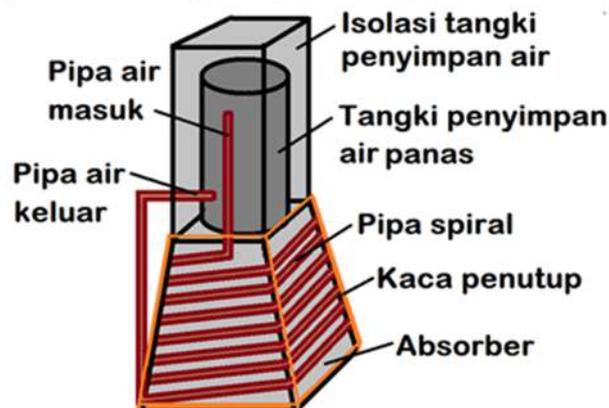
Koefisien kerugian U_L tergantung dari beberapa parameter diantaranya kualitas reflektor, isolasi kolektor dan jumlah tutup kaca. Untuk perancangan praktis harga U_L dapat diambil sebesar $8 W/(m^2K)$.

METODE PENELITIAN

Alat pemanas air energi matahari pada penelitian ini (Gambar 6) terdiri dari 2 komponen utama yakni:

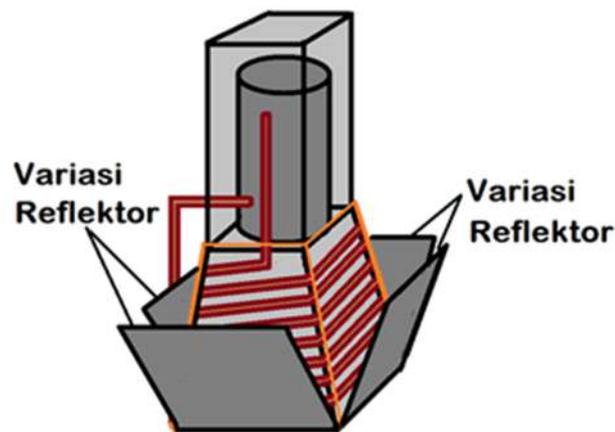
- (1) Kolektor (komponen utama) yang terdiri dari pipa spiral, kaca penutup dan absorber. Pada bagian kolektor matahari ini air dipanaskan.
- (2) Tangki penyimpanan air panas berkapasitas 100 liter. Tangki penyimpanan, pada bagian tangki penyimpanan ini air panas dari kolektor disimpan untuk digunakan pada waktunya, tangki ini diisolasi untuk mencegah agar air dalam tangki tidak cepat menjadi dingin. Posisi tangki penyimpanan harus lebih tinggi dari kolektornya (umumnya berjarak 25 cm sampai 50 cm).

Skema alat dan gambar rancangan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Alat

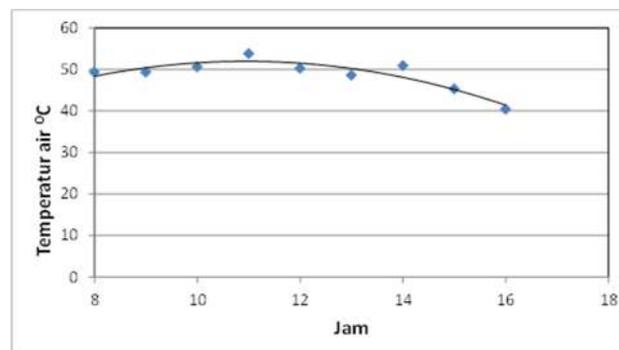
Pengolahan dan analisa data diawali dengan melakukan perhitungan pada parameter-parameter yang diperlukan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Analisa akan lebih mudah dilakukan dengan membuat grafik hubungan parameter-parameter yang berpengaruh pada unjuk kerja pemanas air. Variabel yang divariasikan pada penelitian pemanas air energi matahari ini adalah luasan reflektor (Gambar 7) untuk mevariasikan jumlah energi matahari yang diterima absorber. Variasi luasan reflektor yang digunakan adalah tanpa reflektor (variasi 1), luasan reflektor $0,95 \text{ m}^2$ (variasi 2), luasan reflektor $1,1 \text{ m}^2$ (variasi 3), luasan reflektor $1,35 \text{ m}^2$ (variasi 4) dan luasan reflektor $1,5 \text{ m}^2$ (variasi 5). Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah : temperatur air sisi masuk kolektor (T_i), temperatur air sisi keluar kolektor (T_o), temperatur lingkungan. temperature rata-rata tangki penyimpanan, energi matahari yang datang (G). Pengukuran temperatur digunakan termokopel dan untuk pengukuran radiasi matahari digunakan Global Water/



Gambar 7. Variasi reflektor

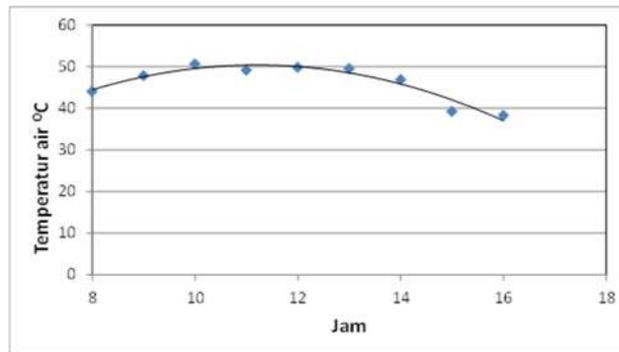
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencatatan data dilakukan oleh sensor yang dapat mengumpulkan data tiap 10 detik selama pengambilan data. Gambar 8 sampai dengan Gambar 12 menunjukkan temperatur air dalam tangki tiap variasi. Terlihat variasi satu (tanpa reflektor) mencapai temperatur air yang terbaik dengan temperatur air rata-rata dalam tangki sebesar $48,74^\circ\text{C}$. Hal tersebut disebabkan radiasi matahari pada hari tersebut adalah yang terbesar dibanding hari lain saat variasi yang lain diambil datanya. Radiasi matahari pada saat variasi satu diambil datanya adalah sebesar $462,05 \text{ W/m}^2$.

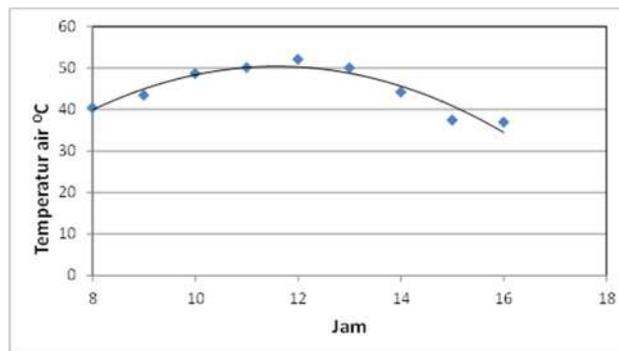


Gambar 8. Temperatur air dalam tangki pada variasi 1

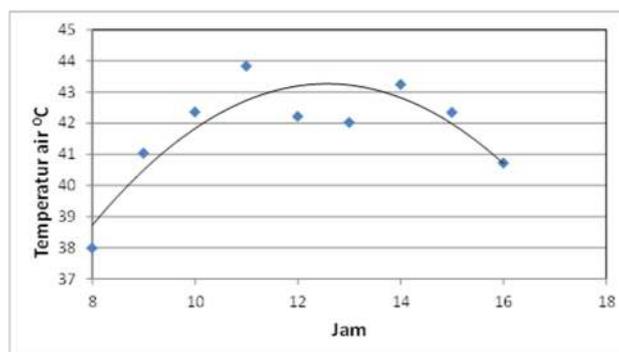
Urutan temperatur air dalam tangki tertinggi setelah variasi satu adalah variasi 2, variasi 3, variasi 5 dan variasi 4. dari Variasi 2 mencapai temperatur rata-rata tangki sebesar $46,14^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata radiasi matahari harian sebesar $408,23 \text{ W/m}^2$. Variasi 3 mencapai temperatur rata-rata tangki sebesar $44,81^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata radiasi matahari harian sebesar $419,23 \text{ W/m}^2$. Variasi 5 mencapai temperatur rata-rata tangki sebesar $44,77^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata radiasi matahari harian sebesar $428,79 \text{ W/m}^2$. Variasi 4 mencapai temperatur rata-rata tangki sebesar $41,74^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata radiasi matahari harian sebesar $303,96 \text{ W/m}^2$



Gambar 9. Temperatur air dalam tangki pada variasi 2



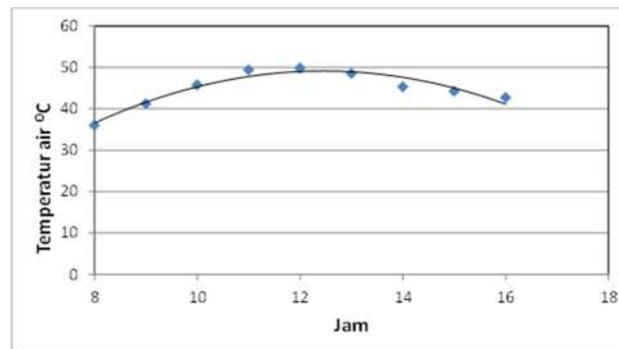
Gambar 10. Temperatur air dalam tangki pada variasi 3



Gambar 11. Temperatur air dalam tangki pada variasi 4

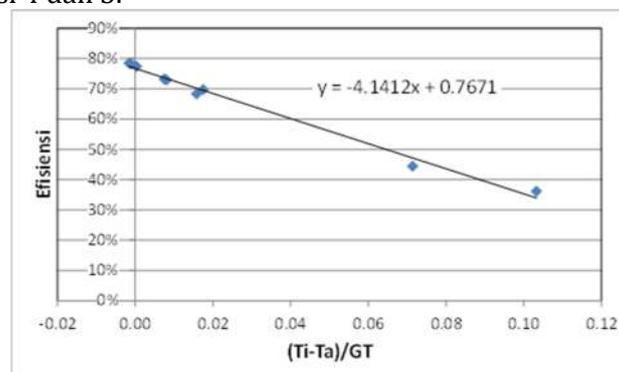
Dari hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa temperatur rata-rata dalam tangki yang dapat dicapai tidak semata-mata ditentukan oleh besarnya radiasi energi matahari yang datang. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya temperatur yang dapat dicapai adalah kerugian panas yang keluar dari tangki dan posisi reflektor terhadap arah datangnya radiasi energi matahari. Arah datangnya radiasi energi matahari ditentukan oleh letak

geografis tempat pemanas air dan waktu. Kerugian panas yang terjadi pada tangki penyimpan ditentukan oleh temperatur udara sekitar dan bahan isolasi panas tangki yang digunakan.

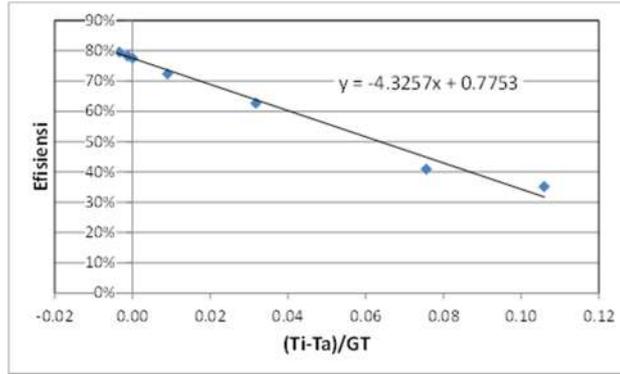


Gambar 12. Temperatur air dalam tangki pada variasi 5

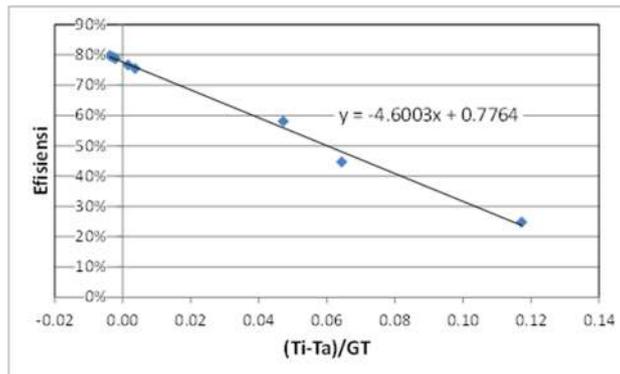
Pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 12 terlihat isolasi tangki penyimpan kurang memadai. Hal tersebut ditunjukkan dengan turunnya temperatur tangki pada semua variasi terutama saat energi radiasi matahari yang datang mulai berkurang yakni setelah jam 12 siang. Gambar 13 sampai dengan Gambar 17 menunjukkan efisiensi yang dapat dihasilkan pemanas air sepanjang hari dari tiap variasi. Efisiensi pemanas air energi matahari merupakan fungsi dari temperatur air masuk. Semakin rendah temperatur air masuk, semakin besar efisiensi pemanas air energi matahari. Urutan variasi yang dapat mencapai efisiensi maksimum adalah variasi 5, variasi 2, variasi 3, variasi 1 dan variasi 4. Variasi 5 menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 89% dengan rata-rata efisiensi harian sebesar 80%. Variasi 2 menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 82% dengan rata-rata efisiensi harian sebesar 68%. Variasi 3 menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 80% dengan rata-rata efisiensi harian sebesar 66%. Variasi satu menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 78% dengan rata-rata efisiensi harian sebesar 67% dan variasi 4 menghasilkan efisiensi maksimum sebesar 77% dengan rata-rata efisiensi harian sebesar 70%. Variasi luas reflektor pada penelitian ini dilakukan dengan dua cara. Pertama dengan luasan reflektor dan kedua dengan pengaturan sudut kemiringan reflektor yang menghasilkan luas *aperture* reflektor yang berbeda. Pengaturan luas reflektor dilakukan pada variasi 1, 2 dan 3 sedangkan pengaturan sudut kemiringan reflektor dilakukan pada variasi 4 dan 5. Cara mevariasikan luas reflektor yang sama akan menghasilkan karakteristik pemanas air yang sama. Hal tersebut terlihat dari persamaan garis efisiensi yang dihasilkan. Variasi 1, 2 dan 3 menghasilkan persamaan garis yang hampir sejajar. Begitu juga dengan persamaan garis efisiensi pada variasi 4 dan 5.



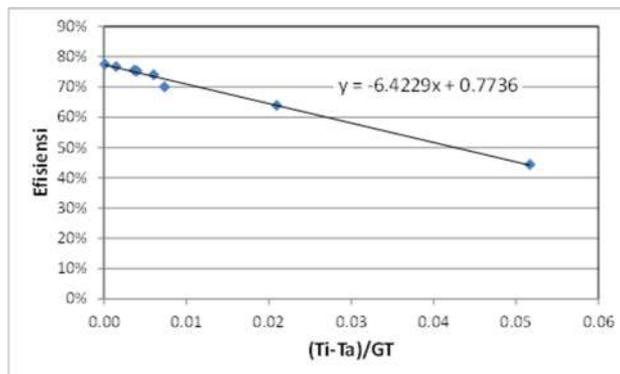
Gambar 13. Efisiensi pada variasi 1



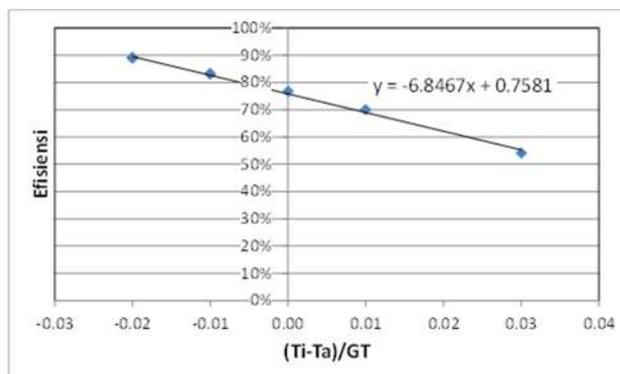
Gambar 14. Efisiensi pada variasi 2



Gambar 15. Efisiensi pada variasi 3



Gambar 16. Efisiensi pada variasi 4



Gambar 17. Efisiensi pada variasi 5

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut 1) model pemanas air dapat bekerja sesuai fungsinya tetapi masih terdapat masalah pada isolasi tangki penyimpan air panas; 2) Temperatur air panas rata-rata tertinggi sebesar 48,74°C diperoleh pada variasi 1 yakni tanpa menggunakan reflektor. Efisiensi tertinggi sebesar 89% diperoleh pada variasi 5 yakni menggunakan reflektor seluas 1,5 m².

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. (1995). *Teknologi Tenaga Matahari*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Copsey, A. B. (1984). A Modification of the f-Chart Method for Solar Domestic Hot Water Systems with Stratified storage. *Thesis*. University of Wisconsin-Madison.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley.
- Malkin, M. P. 1985. *Design of Thermosyphon Solar Domestic Hot Water System*. University of Wisconsin-Madison.
- Morrison, G. L., & Braun, J. E. (1985). System Modeling and Operation Characteristics of Thermosyphon solar Water heaters. *Solar Energy*, 34, 389-405.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. (2003). *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau)*. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Pereira, M. C., & Carvalho, M. J. (2003). New Low Concentration CPC Type Collector With Convection Controller By a Honeycomb Thin Material: A Compromise With Stagnation Temperature Control And Survival Of Cheap Fabrication Materials. *ISES Solar World Congress 2003 Solar Energy for a Sustainable Future*, Goteborg, Sweden.
- Zheng, F., & Li, A. (2004). A Novel CPC Concentrator. *2nd International Energy Conversion Engineering Conference*, Providence, Rhode Island.

