

SIMULASI KINERJA PEMANAS AIR ENERGI SURYA BERDASARKAN PENYELESAIAN PERSAMAAN KESETIMBANGAN ENERGI MENGUNAKAN METODE EULER

FA. Rusdi Sambada^{1*} dan I Gusti Ketut Puja²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Kampus III Paingan Maguwoharjo, Depok,
Sleman, Yogyakarta

*E-mail: sambada@usd.ac.id

ABSTRAK

Metode untuk mengetahui kinerja pemanas air energi surya belum banyak diketahui masyarakat. Penelitian ini bertujuan melakukan simulasi untuk memberikan gambaran kinerja pemanas air energi surya. Metode simulasi dilakukan dengan menyusun kesetimbangan energi dari pemanas air energi surya. Kesetimbangan energi berbentuk persamaan diferensial biasa yang merupakan fungsi waktu dan temperatur air panas. Persamaan diferensial diselesaikan secara numerik menggunakan metode Euler dengan kondisi awal adalah temperatur air mula-mula. Hasil simulasi adalah kinerja pemanas air energi surya berupa temperatur air panas yang dihasilkan. Variabel yang divariasikan adalah massa air yang dipanasi sebesar 238, 283, 332, 385 dan 442 kg, luas kolektor yang digunakan sebesar 1; 1,5; 2; 3 dan 4 m². Kondisi cuaca berupa intensitas energi surya sebesar 67, 133, 235, 267 dan 368 W/m². Kesimpulan yang didapatkan adalah temperatur air panas maksimum sebesar 86,8°C diperoleh pada massa air sebesar 238 kg, luas kolektor 4 m² dan intensitas energi surya sebesar 368 W/m².

Kata kunci: simulasi, pemanas air, euler

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan metode simulasi untuk disain dan optimasi pemanas air energi surya merupakan alternatif dari metode eksperimen fisik yang seringkali terkendala masalah waktu, biaya dan tenaga. Pemanfaatan metode simulasi pemanas air energi surya telah dilakukan sejak 1955 sampai sekarang. Simulasi umumnya dilakukan menggunakan bahasa pemrograman seperti Basic, Fortran, C++ atau perangkat lunak yang khusus seperti Trnsys dan CFD. Simulasi disain dan optimasi pemanas air energi surya umumnya menghasilkan kesalahan yang masih dapat diterima yakni sebesar 5-10% terhadap eksperimen (Shrivastava, dkk., 2017). Namun simulasi menggunakan bahasa pemrograman atau perangkat lunak khusus memerlukan pengetahuan pemrograman dan biaya pengadaan perangkat lunak yang tidak sedikit.

Simulasi pemanas air energi surya umumnya didasarkan pada kesetimbangan energi yang terjadi pada sistem pemanas air tersebut. Kesetimbangan energi pada sistem pemanas air energi surya umumnya berbentuk persamaan diferensial. Simulasi dilakukan dengan mevariasikan variabel-variabel dari penyelesaian persamaan diferensial tersebut. Variabel yang divariasikan adalah variabel yang ingin diketahui efeknya pada kinerja pemanas air energi surya. Penyelesaian persamaan diferensial dapat dilakukan secara matematis atau numeris. Penyelesaian persamaan diferensial secara matematis seringkali sulit dilakukan. Metode Euler merupakan salah satu metode numeris yang paling sederhana dalam menyelesaikan persamaan diferensial untuk simulasi pemanas air energi surya. Penelitian ini bertujuan melakukan simulasi menggunakan metode Euler untuk mengetahui efek massa air yang dipanasi, luas kolektor dan besar intensitas radiasi surya terhadap temperatur air panas yang dihasilkan.

Simulasi untuk mengetahui temperatur air panas yang dihasilkan dari pemanas air energi surya dilakukan berdasarkan kesetimbangan energi pada kaca penutup dan tangki penyimpan air panas di Aljasair, volume tangki air panas adalah 125,6 liter. Radiasi maksimum matahari 400-800 W/m². Temperatur air panas yang diperoleh selama 12 jam pemanasan antara 47-50°C (Hadjiat, dkk., 2018).

Simulasi unjuk kerja termal kolektor pada pemanas air energi surya menggunakan perangkat lunak TrnSys mendapatkan hasil yang sesuai dengan uji eksperimental. Simulasi juga dapat digunakan untuk mendapatkan optimasi ekonomis dari kolektor (Kalogirou, dkk., 2019).

Simulasi pemanas air energi surya menggunakan Trnsys digunakan untuk mengetahui unjuk kerja sistem pemanas dalam jangka panjang di India. Dari simulasi tersebut dapat diketahui jumlah energi berguna serta efisiensi kolektor tiap jam dan tiap bulan (Tiwari, dkk., 2020).

Penelitian peningkatan unjuk kerja pemanas air energi surya dengan modifikasi geometri pipa kolektor dilakukan dengan eksperimen dan simulasi. Modifikasi geometri pipa dapat meningkatkan proses perpindahan panas dari kolektor ke air yang dipanasi. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak CFD (Arun, dkk., 2021a, 2021b).

Massa air yang dipanasi menentukan kapasitas panas sehingga semakin besar massa air pada sistem pemanas air semakin rendah temperatur air panas yang diperoleh. Luas kolektor dan intensitas radiasi surya menentukan besar energi panas yang diterima sehingga semakin besar luas kolektor dan intensitas radiasi surya semakin tinggi temperatur air panas yang diperoleh. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar disain pemanas air energi surya agar sesuai dengan keperluan berdasarkan intensitas radiasi surya yang tersedia.

Pada penelitian sebelumnya simulasi yang dilakukan memerlukan perangkat lunak khusus seperti CFD dan Trnsys. Perangkat lunak khusus tersebut memerlukan biaya yang mahal untuk pembelian perangkat lunak dan pengadaan perangkat keras dengan spesifikasi yang memadai. Selain itu untuk dapat menggunakan perangkat lunak khusus tersebut bukan merupakan hal yang mudah. Metode simulasi yang diusulkan pada penelitian ini memungkinkan simulasi dilakukan dengan biaya dan cara yang jauh lebih murah dan sederhana namun dengan tingkat keakuratan yang masih dapat diterima.

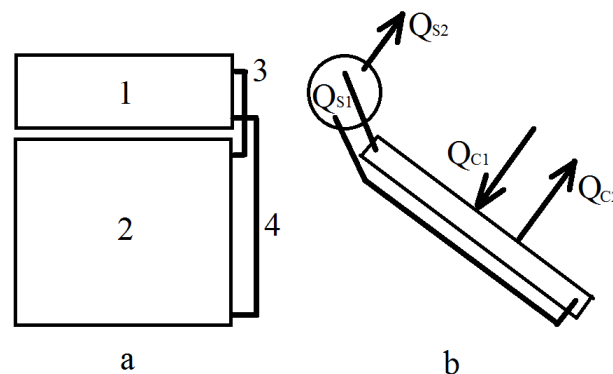
2. METODE

Penelitian ini diawali dengan menyusun kesetimbangan energi pada komponen utama dari sistem pemanas air energi surya yakni kolektor dan tangki penyimpan air panas. Kesetimbangan energi adalah energi panas yang masuk, tersimpan dan keluar kolektor dan tangki penyimpan air panas. Kesetimbangan energi berbentuk persamaan diferensial yang merupakan fungsi temperatur air panas dan waktu. Langkah berikutnya adalah menyelesaikan persamaan diferensial tersebut dengan nilai awal temperatur air mula-mula sebesar 27°C.

Variabel-variabel bebas yang divariasikan adalah volume tangki air panas, luas kolektor dan intensitas radiasi surya. Massa air yang dipanasi divariasikan sebesar 238, 283, 332, 385 dan 442 kg, luas kolektor divariasikan sebesar 1 m², 1,5 m², 2 m², 3 m² dan 4 m². Kondisi cuaca berupa intensitas energi surya divariasikan sebesar 67, 133, 235, 267 dan 368 W/m². Variabel terikat berupa temperatur air panas yang dihasilkan (T_s) dan variabel kontrol berupa waktu pemanasan (θ) yakni selama 12 jam. Pertambahan waktu yang digunakan pada penyelesaian persamaan diferensial menggunakan metode Euler dalam penelitian ini adalah 0,1 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian bagian utama dari sebuah pemanas air energi surya terdiri dari (1) tangki air, (2) kolektor, (3) pipa air panas keluar kolektor dan masuk tangki air serta (4) pipa air dingin keluar tangki air dan masuk ke kolektor (Gambar 1a). Kesetimbangan energi pada sebuah pemanas air energi surya terdiri dari energi panas yang dapat disimpan di air dalam tangki air (Q_{S1}), energi panas yang dapat diterima kolektor (Q_{C1}), energi panas yang keluar dari kolektor atau kerugian panas dari kolektor (Q_{C2}) dan energi panas yang keluar dari tangki air atau kerugian panas dari tangki (Q_{S2}) seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. Energi panas yang dapat disimpan di air dalam tangki air (Q_{S1}) adalah selisih antara energi panas yang dapat diterima kolektor (Q_{C1}) dengan kerugian panas dari kolektor dan tangki air (Q_{C2} dan Q_{S2}).



Gambar 1. (a) Bagian-bagian pemanas air energi surya (tampak depan) dan (b) kesetimbangan energi pada pemanas air energi surya (tampak samping)

Energi panas yang dapat disimpan di air dalam tangki air, Q_{s1} (W) dihitung dengan persamaan (Arismunandar, 1995):

$$Q_{s1} = m_s C_s \frac{dT_s}{d\theta} \quad (1)$$

dengan m_s adalah massa air yang dipanasi (kg), C_s adalah kapasitas panas air J/(kg^oC), dT_s adalah kenaikan temperatur (^oC) dalam tangki air dan $d\theta$ adalah lama waktu pemanasan (detik). Pada penelitian ini digunakan harga C_s sebesar 4187 J/(kg^oC).

Energi panas yang dapat diterima kolektor, Q_{c1} (W) dihitung dengan persamaan (Arismunandar, 1995):

$$Q_{c1} = A_c F' G_T (\tau \alpha) \sin\left(\frac{\pi \theta}{12}\right) \quad (2)$$

dengan A_c adalah luas kolektor (m²), F' adalah faktor efisiensi kolektor, G_T adalah intensitas radiasi surya maksimum (W/m²), τ adalah nilai transmitan kaca penutup kolektor, α adalah nilai absorbtansi absorber dalam kolektor dan θ adalah waktu pemanasan (jam). Dalam penelitian ini digunakan harga F' sebesar 0,95. Nilai τ dan α yang digunakan dalam penelitian ini masing-masing sebesar 0,9.

Energi panas yang keluar dari kolektor atau kerugian panas dari kolektor, Q_{c2} (W) dihitung dengan (Arismunandar, 1995):

$$Q_{c2} = -A_c F' U_L (T_s - T_a) \quad (3)$$

dengan U_L adalah koefien kerugian panas dari kolektor (W/m².^oC), T_s adalah temperatur air panas dalam tangki air (^oC) dan T_a adalah temperatur udara sekitar (^oC). Dalam penelitian ini harga U_L yang digunakan adalah sebesar 4 W/(m².^oC). Tanda negatif menunjukkan energi panas yang keluar dari sistem pemanas air energi surya.

Energi panas yang keluar dari tangki air atau kerugian panas dari tangki, Q_{s2} (W) dihitung dengan (Arismunandar, 1995):

$$Q_{s2} = -U_s A_s (T_s - T_a) \quad (4)$$

dengan U_s adalah koefisien kerugian panas dari tangki (W/m².^oC). Dalam penelitian ini harga U_s yang digunakan adalah sebesar 0,47 W/(m².^oC).

Kesetimbangan energi panas pada sistem pemanas air energi surya dapat dituliskan sebagai berikut (Arismunandar, 1995):

$$Q_{s1} = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{s2} \quad (5)$$

atau

$$m_s C_s \frac{dT_s}{d\theta} = A_c F' G_T (\tau \alpha) \sin\left(\frac{\pi \theta}{12}\right) - A_c F' U_L (T_s - T_a) - U_s A_s (T_s - T_a) \quad (6)$$

agar dapat diselesaikan dengan metode Euler, Persamaan 6 harus dituliskan dalam bentuk berikut:

$$\frac{dT_s}{d\theta} = f(T_s, \theta) \quad (7)$$

sehingga Persamaan 6 dapat dituliskan kembali dalam bentuk berikut:

$$\frac{dT_s}{d\theta} = \frac{-(A_c F' U_L + U_s A_s) T_s}{m_s C_s} + \frac{A_c F' (\tau \alpha) G_T \sin\left(\frac{\pi \theta}{12}\right)}{m_s C_s} + \frac{A_c F' U_L T_a + U_s A_s T_a}{m_s C_s} \quad (8)$$

penyelesaian Persamaan 8 dengan metode Euler adalah (Chapra, 2010):

$$T_{s(i+1)} = T_{s(i)} + f(T_{s(i)} + \theta_{(i)})h \quad (9)$$

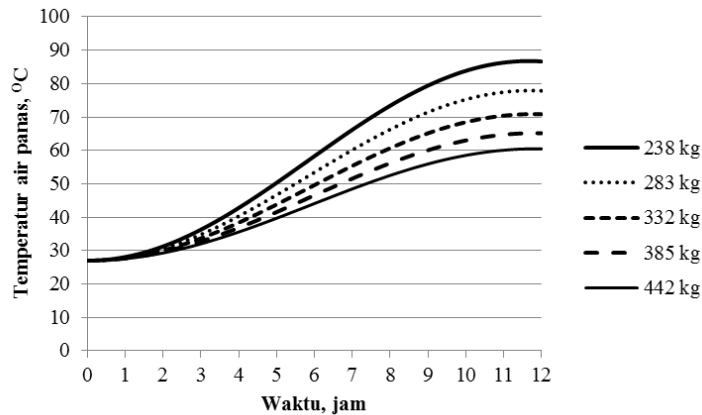
dengan h adalah pertambahan waktu dalam jam. Semakin kecil harga h , semakin kecil kesalahan perhitungan temperatur air panas (T_s) yang didapatkan. Dengan kata lain T_s yang didapatkan dari metode Euler ini semakin mendekati nilai T_s yang diperoleh secara matematis. Dalam penelitian ini nilai h yang digunakan pada Persamaan 9 adalah 0,1 jam atau 6 menit.

Penelitian ini akan melihat efek dari variasi jumlah massa air dalam tangki air, efek dari variasi luas kolektor yang digunakan dan efek dari intensitas radiasi surya terhadap temperatur air dalam tangki air dengan lama waktu pemanasan 12 jam dan temperatur awal air dalam tangki air sebesar 27^oC.

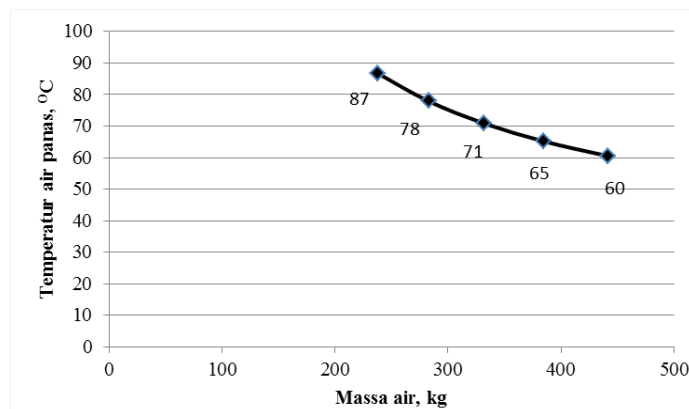
3.1 Efek jumlah massa air dalam tangki air

Tangki air adalah tempat menyimpan air yang akan dipanaskan dengan energi surya. Temperatur air dalam tangki air mula-mula adalah 27°C. Air memenuhi tangki dan kolektor. Kolektor menerima energi panas surya sehingga air dalam kolektor menjadi panas. Air panas dalam kolektor akan bergerak secara alami ke dalam tangki air. Tempat air panas dalam kolektor digantikan air dingin dari tangki air. Sirkulasi alami air panas dari kolektor ke tangki dan air dingin dari tangki ke kolektor terjadi secara alami dan terus menerus sehingga seluruh air dalam tangki menjadi panas. Sirkulasi alami ini dikenal dengan termosifon.

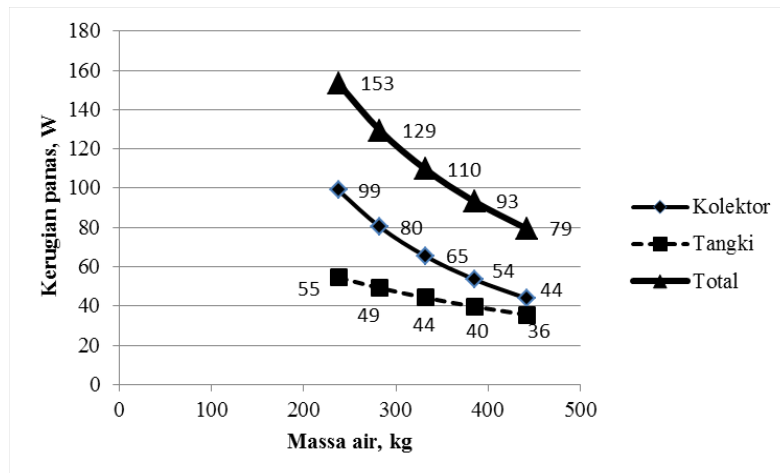
Pada penelitian ini jumlah massa air dalam tangki divariasikan sebanyak 238, 283, 332, 385 dan 442 kg. Gambar 2 menunjukkan temperatur air dalam tangki air tiap jam selama 12 jam untuk semua variasi jumlah massa air dalam tangki air. Gambar 3 menunjukkan temperatur akhir air dalam tangki air setelah pemanasan air selama 12 jam untuk semua variasi jumlah massa air dalam tangki. Semakin banyak jumlah air dalam tangki, semakin besar kapasitas panas air dalam tangki. Semakin besar kapasitas panas air, semakin lama temperatur air meningkat. Temperatur air panas tertinggi sebesar 87°C dan terendah sebesar 60°C dihasilkan pada massa air panas 238 kg dan 442 kg pada intensitas radiasi surya rata-rata sebesar 368W/m² menggunakan kolektor seluas 4m². Gambar 4 menunjukkan kerugian panas dari kolektor, dari tangki air dan kerugian panas total dari kolektor dan tangki air. Kerugian panas dari kolektor terjadi karena perbedaan temperatur antara bagian dalam kolektor dengan temperatur udara sekitar. Temperatur bagian dalam kolektor lebih tinggi dari temperatur udara sekitar sehingga panas mengalir dari bagian dalam kolektor ke sekitar secara konduksi melalui isolasi kolektor dan secara konveksi dari bagian luar kolektor ke sekitar. Kerugian panas dari tangki air terjadi karena perbedaan temperatur air panas dalam tangki air dengan temperatur udara sekitar. Temperatur air panas di dalam tangki air lebih tinggi dari temperatur udara sekitar sehingga panas mengalir dari bagian dalam tangki air ke sekitar secara konduksi melalui isolasi tangki air dan secara konveksi dari bagian luar tangki air ke sekitar. Semakin banyak jumlah massa air dalam tangki air, semakin rendah temperatur air dalam kolektor dan tangki air.



Gambar 2. Temperatur air panas pada variasi massa air yang dipanasi sebagai fungsi lama waktu pemanasan



Gambar 3. Temperatur air panas pada variasi massa air yang dipanasi sebagai fungsi massa air yang dipanasi

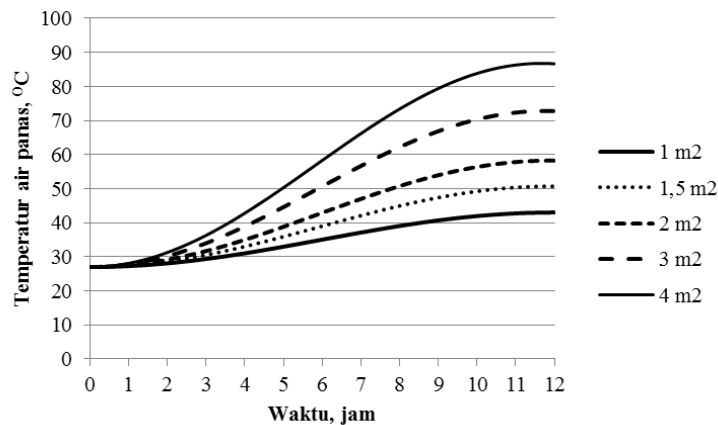


Gambar 4. Kerugian energi panas pada variasi massa air yang dipanasi pada kolektor dan tangki air panas

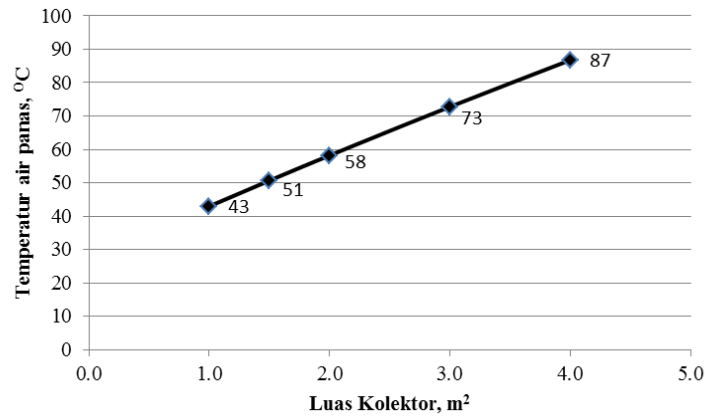
Dengan kata lain semakin banyak jumlah massa air dalam tangki air semakin kecil perbedaan temperatur antara kolektor atau tangki air dengan temperatur udara sekitar. Oleh karena itu kerugian panas dari kolektor atau tangki air semakin rendah dengan semakin banyaknya jumlah massa air dalam tangki air. Kerugian energi panas dari kolektor atau tangki air dipengaruhi luas permukaan kolektor atau tangki air, nilai konduktivitas panas dari bahan isolasi kolektor atau tangki air dan kecepatan angin di sekitar kolektor dan tangki air. Pengaruh nilai konduktivitas panas bahan isolasi dan kecepatan angin dinyatakan dengan besar nilai koefisien kerugian panas kolektor (U_l) dan tangki air (U_s).

3.2 Efek Luasan kolektor

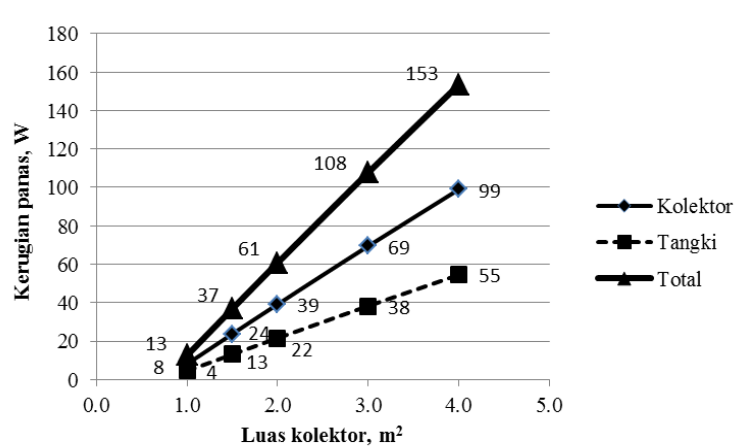
Gambar 5 menunjukkan temperatur air dalam tangki air tiap jam selama 12 jam untuk semua variasi luas kolektor. Gambar 6 menunjukkan temperatur akhir air dalam tangki air setelah pemanasan air selama 12 jam untuk semua variasi luas kolektor. Pada penelitian ini luas kolektor divariasikan sebesar 1 m^2 , $1,5 \text{ m}^2$, 2 m^2 , 3 m^2 dan 4 m^2 . Semakin besar luas kolektor, semakin banyak energi panas surya yang dapat diterima kolektor. Semakin banyak energi panas surya yang dapat diterima kolektor, semakin tinggi temperatur air panas dalam tangki air. Temperatur air panas tertinggi sebesar 87°C dan terendah sebesar 43°C dihasilkan pada luas kolektor 4 m^2 dan 1 m^2 pada intensitas radiasi surya rata-rata sebesar 368 W/m^2 dan jumlah massa air dalam tangki sebanyak 238 kg . Gambar 7 menunjukkan kerugian panas dari kolektor, dari tangki air dan kerugian panas total dari kolektor dan tangki air. Semakin besar luas kolektor, semakin tinggi temperatur air dalam kolektor dan tangki air. Dengan kata lain semakin besar luas kolektor semakin besar perbedaan temperatur antara kolektor dan tangki air dengan temperatur udara sekitar. Semakin tinggi perbedaan temperatur antara kolektor atau tangki air dengan temperatur udara sekitar, semakin besar energi panas yang berpindah ke lingkungan sekitar.



Gambar 5. Temperatur air panas pada variasi luas kolektor sebagai fungsi lama waktu pemanasan



Gambar 6. Temperatur air panas yang dihasilkan pada variasi luas kolektor sebagai fungsi luas kolektor

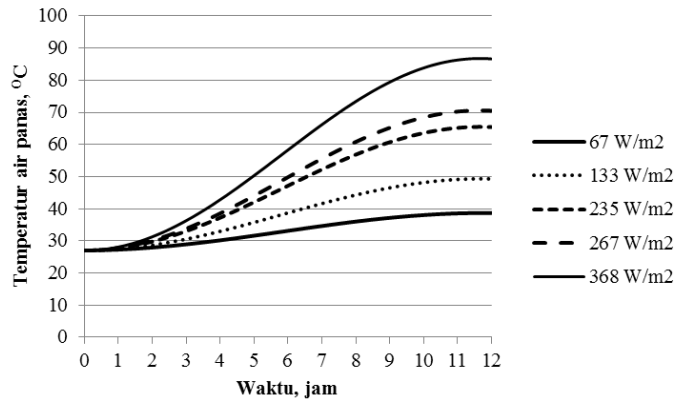


Gambar 7. Kerugian energi panas pada variasi luas kolektor pada kolektor dan tangki air panas

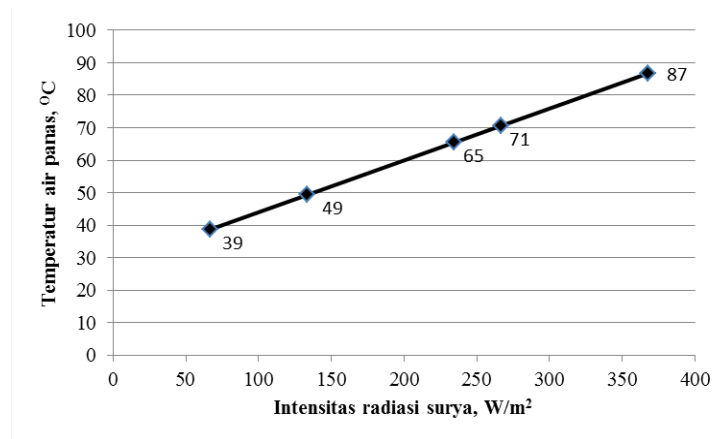
Oleh karena itu kerugian panas dari kolektor atau tangki air semakin tinggi dengan semakin besar luas kolektor. Selain itu luas kolektor yang semakin besar menyebabkan luas kontak perpindahan panas antara kolektor dan udara sekitar semakin besar sehingga perpindahan panas dari kolektor ke lingkungan sekitar atau kerugian energi panas dari kolektor yang terjadi secara radiasi dan konveksi ke lingkungan sekitar juga semakin besar. Kerugian energi panas dari kolektor akan semakin besar jika kecepatan angin disekitar kolektor semakin besar.

3.3 Efek intensitas radiasi energi surya

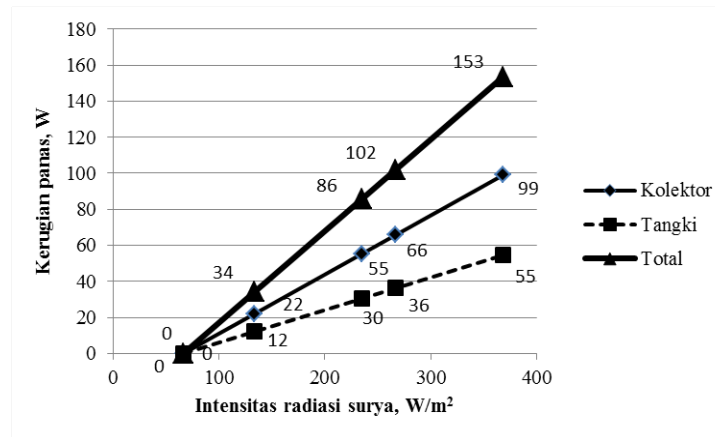
Gambar 8 menunjukkan temperatur air dalam tangki air tiap jam selama 12 jam untuk semua variasi intensitas radiasi surya. Gambar 9 menunjukkan temperatur akhir air dalam tangki air setelah pemanasan air selama 12 jam untuk semua variasi intensitas radiasi surya. Variasi intensitas radiasi surya ini dipengaruhi cuaca, waktu dan juga musim. Saat cuaca mendung, intensitas radiasi surya menjadi rendah. Intensitas radiasi surya juga dipengaruhi waktu. Intensitas radiasi surya pada siang hari umumnya lebih besar dibandingkan pada pagi atau sore hari. Pada penelitian ini intensitas radiasi surya divariasi sebesar 67, 133, 235, 267 dan 368 W/m². Semakin besar intensitas radiasi surya, semakin banyak energi panas surya yang dapat diterima kolektor. Semakin banyak energi panas surya yang dapat diterima kolektor, semakin tinggi temperatur air panas dalam tangki air. Temperatur air panas tertinggi sebesar 87°C dan terendah sebesar 39°C dihasilkan pada intensitas radiasi surya sebesar 368 W/m² dan 67 W/m² menggunakan kolektor seluas 4m² dan jumlah massa air dalam tangki sebanyak 238 kg. Gambar 10 menunjukkan kerugian panas dari kolektor, dari tangki air dan kerugian panas total dari kolektor dan tangki air. Semakin besar intensitas radiasi surya, semakin tinggi temperatur air dalam kolektor dan tangki air.



Gambar 8. Temperatur air panas pada variasi intensitas radiasi surya sebagai fungsi lama waktu pemanasan



Gambar 9. Temperatur air panas pada variasi intensitas radiasi surya sebagai fungsi intensitas radiasi surya



Gambar 10. Kerugian energi panas pada variasi intensitas radiasi surya pada kolektor dan tangki air panas

Dengan kata lain semakin besar intensitas radiasi surya semakin besar perbedaan temperatur antara kolektor atau tangki air dengan temperatur udara sekitar. Oleh karena itu kerugian panas dari kolektor atau tangki air semakin tinggi dengan semakin besarnya intensitas radiasi surya. Besar intensitas radiasi surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah intensitas radiasi surya rata-rata dalam sehari. Dalam disain atau pemilihan pemanas air energi surya besar rata-rata intensitas radiasi surya harian pada suatu daerah merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan. Rata-rata intensitas radiasi surya harian suatu daerah dipengaruhi letak geografisnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa massa air dalam tangki mempengaruhi temperatur air panas yang dihasilkan dan kerugian panas yang terjadi. Semakin besar massa air dalam tangki air panas semakin rendah temperatur air panas yang dihasilkan demikian juga kerugian panas yang terjadi. Luas kolektor mempengaruhi temperatur air panas yang dihasilkan dan kerugian panas yang terjadi. Semakin besar luas kolektor semakin tinggi temperatur air panas yang dihasilkan demikian juga kerugian panas yang terjadi. Intensitas radiasi surya mempengaruhi temperatur air panas yang dihasilkan dan kerugian panas yang terjadi. Semakin besar intensitas radiasi surya semakin tinggi temperatur air panas yang dihasilkan demikian juga kerugian panas yang terjadi.

Bagi peneliti lain, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penelitian serupa dengan bahan *absorber* kolektor, kaca penutup, isolasi kolektor dan tangki yang berbeda. Bagi para pengguna pemanas air energi surya penelitian ini dapat menjadi dasar pemilihan, disain atau optimasi pemanas air energi surya yang akan dibuat atau dibeli.

PUSTAKA

- Arismunandar, W. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Arun, M., Barik, D., Sridhar, K. P., & Vignesh, G. 2021a. Experimental and CFD Analysis of Copper Plain and Dimples Tube at Application of Solar Water Heater. *Materials Today: Proceedings*, 42: 410–415. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.798>
- Arun, M., Barik, D., Sridhar, K. P., & Vignesh, G. 2021b. Experimental and CFD Analysis of Plain and Dimples Tube at Application of Solar Water Heater. *Materials Today: Proceedings*, 42(December 2018): 804–809. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.354>
- Chapra, S.C. & Canale, R.P. 2010. *Numerical Methods for Engineers*. New York: McGrawHill Co. Inc.
- Hadjiat, M. M., Hazmoune, M., Ouali, S., Gama, A., & Yaiche, M. R. 2018. Design and Analysis of a Novel ICS Solar Water Heater with CPC Reflectors. *Journal of Energy Storage*, 16: 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.01.012>
- Kalogirou, S. A., Agathokleous, R., Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., & Palombo, A. 2019. Development and Validation of a New TRNSYS Type for Thermosiphon Flat-Plate Solar Thermal Collectors: Energy and Economic Optimization for Hot Water Production in Different Climates. *Renewable Energy*, 136: 632–644. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.086>
- Shrivastava, R. L., Kumar, V., & Untawale, S. P. 2017. Modeling and Simulation of Solar Water Heater: A TRNSYS Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67: 126–143. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.005>
- Tiwari, A. K., Gupta, S., Joshi, A. K., Raval, F., & Sojitra, M. 2020. TRNSYS Simulation of Flat Plate Solar Collector Based Water Heating System in Indian Climatic Condition. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.794>