

Karakteristik Laju Aliran Air Selama Proses Pendinginan Berdasarkan Perbedaan Warna Lapisan Film Pada Sistem Solar Thermal

Januar Akbar, Hasanudin Wijaya, Akhrom Aryady, Indra Resmana,
Yogi Sirodz Gaos, Mulya Juarsa, Edi Marzuki

Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC) Research Laboratory
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor
Januar30akbar@gmail.com

Abstrak: Mekanisme sistem pembangkitan dengan menerapkan hukum-hukum fisika dan aplikasi teknik menjadi salah satu fokus pengembangan konversi energi dalam sistem energi terbarukan. Salah satu konsep fisika yang telah ada digunakan untuk kasus konversi energi adalah sirkulasi alamiah. Saat ini prinsip kerja sistem sirkulasi alamiah telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, baik yang berhubungan dengan pembangkit listrik, pengelolaan sumber energi, industri dan kebutuhan energi secara umum. Sistem pemanas air matahari atau air panas solar adalah air dipanaskan dengan menggunakan energi matahari. Sistem pemanas solar pada umumnya terdiri dari kolektor panas matahari dan tangki pendingin yang merupakan sebuah tangki penyimpanan air sebagai implementasi dari interkoneksi pipa dan sistem fluida untuk memindahkan kalor dari kolektor ke tangki. Fasilitas eksperimen Solar Thermal Eksperimental Aparatus (STEA) digunakan untuk mengetahui karakter laju aliran fluida selama proses pendinginan pada solar thermal yang dipengaruhi oleh adanya distribusi temperatur dari panas matahari yang diserap oleh kolektor dengan memvariasikan warna lapisan film pada kaca kolektor. Tujuan penelitian ini yaitu, memperoleh karakterisasi laju aliran fluida selama proses pendinginan berdasarkan perbandingan lapisan warna film yang digunakan. Karakterisasi laju aliran fluida dilakukan dengan melakukan pengamatan selama proses pendinginan pada sistem solar thermal serta mengkarakterisasikan laju aliran fluida yang dipengaruhi oleh perbedaan temperatur yang diakibatkan oleh perbedaan lapisan warna filament yang berbeda-beda. Karakterisasi berdasarkan filament warna putih, yaitu: Laju aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $1,2 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 5400$ detik, terendah $1,15 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 1800$ detik, dan laju aliran rata-ratanya adalah $1,17 \times 10^{-6}$ m/s. Karakterisasi berdasarkan filament warna kuning, yaitu: Laju aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $2,13 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 0$ detik, terendah $1,99 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 3600$ detik, dan laju aliran rata-ratanya adalah $2,02 \times 10^{-6}$ m/s. Karakterisasi berdasarkan filament warna merah, yaitu: Laju aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $1,35 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 4500$ detik, terendah $1,28 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 1200$ detik, dan laju aliran rata-ratanya adalah $1,32 \times 10^{-6}$ m/s. Berdasarkan karakterisasi laju aliran air terhadap waktu tersebut diperoleh bahwa, laju aliran tertinggi terjadi pada filament berwarna merah.

Kata-kata kunci: laju aliran, filament, solar thermal.

Pendahuluan

Kebutuhan akan energi pada saat ini semakin meningkat, dunia industri merupakan pengguna energi yang terbesar, sehingga semakin berkembangnya dunia industri maka semakin menipis pula persediaan energi yang ada di bumi. Berdasarkan hal tersebut diperlukan adanya alternatif dalam penyediaan energi. Salah satu alternatif dalam penyediaan energi tersebut adalah pemanfaatan energi matahari yang sedang dikembangkan oleh beberapa negara maju dan berkembang. Energi

matahari merupakan energi yang tidak akan habis dan juga tidak menimbulkan polusi, sehingga energi matahari dapat digunakan untuk berbagai keperluan khususnya dalam aplikasi perpindahan kalor dan mekanika fluida. Energi matahari mampu menggantikan peran dari sumber daya alam yang menimbulkan polusi seperti batu bara, minyak, gas, dan sebagainya (The National Renewable Energy Laboratory, 2003).

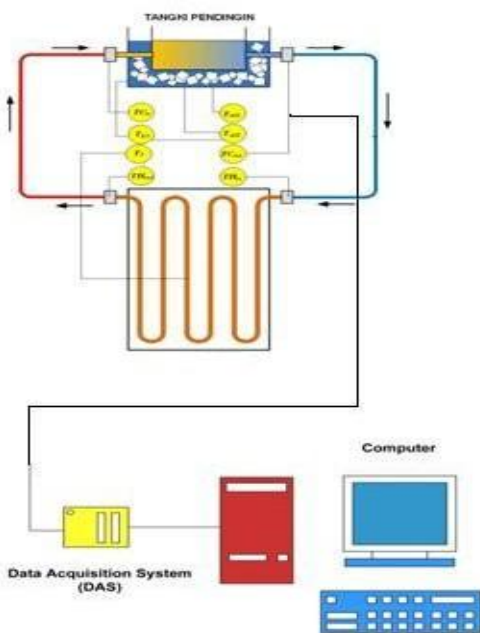
Penelitian mengenai pemanfaatan energi matahari dilakukan di laboratorium *Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC)*

Fakultas Teknik UIKA Bogor. Penelitian tersebut disimulasikan dengan menggunakan fasilitas yang dinamakan *Solar Thermal Eksperimental Aparatus (STEA)*. Mekanisme *solar thermal* adalah proses pemanasan air, dimana air dipanaskan dengan menggunakan panas matahari. Sistem pemanas solar pada umumnya terdiri dari kolektor panas matahari, sebuah tangki penyimpanan air, interkoneksi pipa dan sistem fluida untuk memindahkan kalor dari kolektor ke tangki (Kays, Crawford, Weigand, 2004). Konsep memanaskan air menggunakan panas matahari, melalui kolektor yang sering diikat sistem atau dinding menghadap matahari. Proses pemanasan fluida kerja tidak menggunakan pompa, melainkan didorong oleh konveksi alami atau sirkulasi alamiah (sistem pasif), kemudian fluida panas disimpan dalam tangki penyimpanan air panas. Sistem pasif bekerja berdasarkan hukum fisika, sehingga sirkulasi yang terjadi di dalam *loop* tidak memerlukan alat untuk menggerakkan *fluida* karena aliran sirkulasi alamiah ditentukan oleh ketinggian *loop* dan perbedaan kerapatan *fluida* sebagai akibat dari perbedaan temperatur (panas dan dingin) pada dua titik di dalam *loop* (Dobson, 1993).

Metode Eksperimen

Fasilitas Eksperimen

Skematik *Solar Thermal Eksperimental Aparatus (STEA)* terdiri dari panel kolektor, tangki pendingin, pipa pvc, selang air, perangkat record data menggunakan komputer, Data Acquisition System, dan termokopel, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik Solar Thermal Eksperimental Aparatus (STEA) dan komputerisasi.

Prosedur eksperimen

Cara kerja pada eksperimen dengan menggunakan STEA yaitu dengan meletakkan panel kolektor di tempat yang terkena sinar matahari agar dapat menerima kalor dari sinar matahari dengan baik. Tangki pendingin diletakan di tempat yang tidak terkena sinar matahari pada posisi lebih tinggi dari panel kolektor. Kemudian temperatur diukur oleh termokopel yang telah terkoneksi dengan sistem akuisisi data (DAS). Data temperatur yang telah diperoleh berdasarkan pengukuran tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui karakteristik laju aliran air selama proses pendinginan berdasarkan variasi warna lapisan film.

Perhitungan

Laju aliran massa air (\dot{m}) pada STEA FT-02 diperoleh dengan cara menghitung data hasil dari pengamatan perbedaan temperatur antara panel dan temperatur air dingin pada tangki berdasarkan perbedaan warna filament film dengan sudut kemiringan panel 55° . Data hasil pengamatan perbedaan temperatur air (ΔT) pada tangki dan temperatur air dingin ($T_{Air\ dingin}$) tersebut digunakan untuk menghitung laju aliran massa air yang terjadi. Menghitung laju aliran massa air yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$q_{CONV} = hA\Delta T \dots\dots\dots(1),$$

Dengan, q_{CONV} [W] perpindahan kalor, h [W / m²°C] koefisien perpindahan kalor konveksi, A [m²] luas permukaan perpindahan kalor, ΔT [°C] selisih temperatur yang terjadi. Menghitung laju perpindahan kalor air (h_{air}) menggunakan persamaan(2) pada saat $t = 0$ detik dengan nilai bilangan Nusselt = 3,73 (lihat Tabel 8.1 ref. *heat and mass transfer* hlm 496)

$$\bullet \quad m = Q\rho \dots\dots\dots (2),$$

Dengan \dot{m} [m³/det] laju aliran massa air, Q [m³/det] debit air, ρ [kg/m³] massa jenis. Kecepatan aliran fluida dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$Q = A.v \dots\dots\dots(3),$$

Dengan Q [m³/det] debit air, A [m²] luas permukaan perpindahan kalor, v [m/det] kecepatan fluida (White, 2008). Laju aliran massa air (\dot{m}) yang timbul akibat perbedaan temperatur pada tangki akibat pengaruh sudut kemiringan 55° pada panel dapat dihitung dengan persamaan (4).

$$\dot{m} = \frac{Ak(T_{AIR\ RATA-RATA} - T_{CIN})}{C_p(T_{CIN} - T_{COUT})} \dots\dots\dots (4),$$

Dengan \dot{m} [m/det] laju aliran massa air, A [m²] luas permukaan perpindahan kalor, h [W / m² °C] koefisien perpindahan kalor konveksi, C_p [KJ/kg.°C] kalor jenis pelat alas.
 Kecepatan aliran air dapat dihitung dengan persamaan (5).

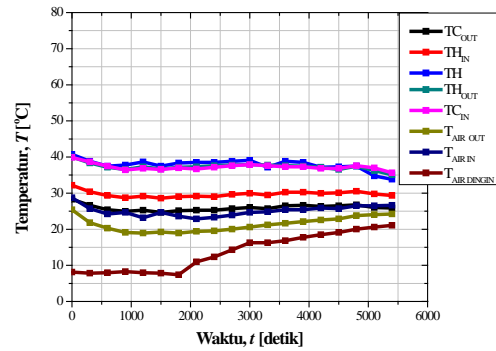
$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \times A} \dots\dots\dots (5).$$

Dengan \dot{m} [m/det] laju aliran massa air, A [m²] luas permukaan perpindahan kalor, v [m/s] kecepatan aliran.

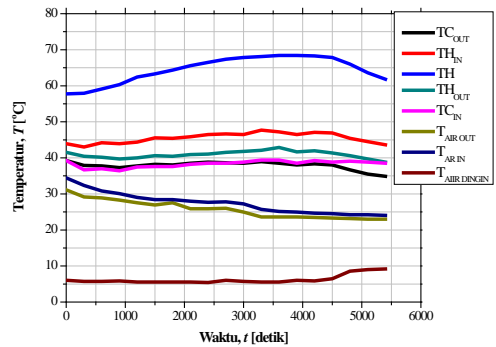
Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran temperature

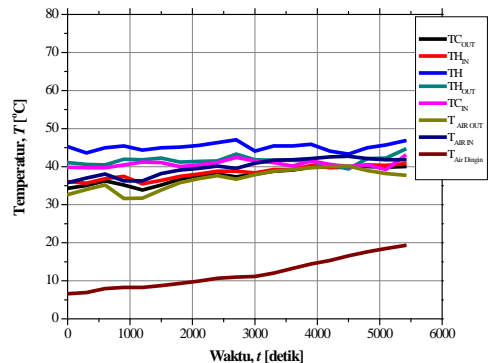
Hasil pengukuran temperatur pada dasarnya dilakukan pada 8 titik pengukuran , untuk penelitian ini hanya 2 titik pengukuran saja yang ditampilkan. Pengukuran dilakukan pagi hari antara jam 10.00 hingga jam 13.00 WIB. Sinar matahari ketika pengambilan data bergantung pada kondisi cuaca. Gambar 2, gambar 3 dan gambar 4 menyajikan hubungan temperatur terhadap waktu secara berturut-turut pada filament warna putih, warna kuning dan warna merah. Fenomena perubahan temperatur selama 40 menit dapat dijelaskan sebagai berikut, pada Gambar untuk filament warna putih perubahan temperatur mengalami penurunan kecuali pada $T_{air\ dingin}$ dari 0 detik 600 detik hal ini dikarenakan matahari terhalang oleh awan, tetapi setelah matahari sudah tidak terhalang awan temperatur $T_{air\ dingin}$ mengalami kenaikan secara cepat yaitu pada 600 detik temperatur diakibatkan perpindahan kalor dari air filament warna putih pada *system solar thermal* dimana data temperatur yang dimasukkan merupakan hasil pembacaan termokopel pada 8 titik pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya. Pada filament warna kuning temperatur tertinggi adalah pada panel kolektor (TH) yaitu hampir mencapai 70°C, ini terjadi karena intensitas sinar matahari pada saat itu sangat tinggi, yang terjadi karena ketidakstabilan kondisi cuaca. Sedangkan untuk filament warna merah terlihat adanya kesamaan profil temperatur dan perbedaan temperaturnya pun tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan kedua jenis filament sebelumnya, hal ini di sebabkan karena distribusi kalor atau temperatur dari panel kolektor mulai merata, mengacu pada penyerapan kalor yang lebih baik pada filament warna merah.



Gambar 2. Hubungan temperatur terhadap waktu pada filament warna putih



Gambar 3. Hubungan temperatur terhadap waktu pada filament warna kuning

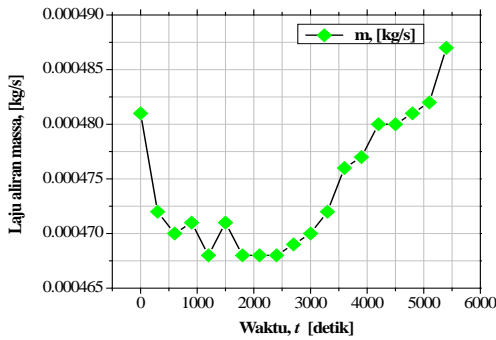


Gambar 4. Hubungan temperatur terhadap waktu pada filament warna merah

Pembahasan

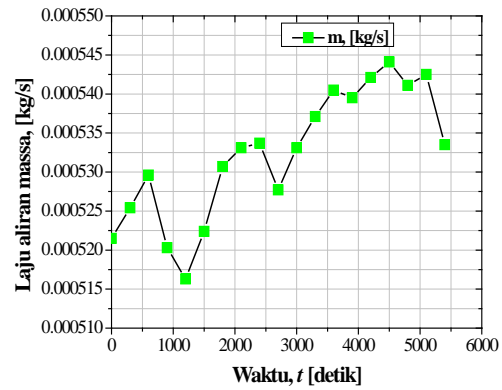
Laju aliran massa air

Berdasarkan data pengukuran temperatur pada daerah TC_{in} dan TC_{out} . Kemudian harga laju aliran massa air pada tangki pendingin dengan variasi warna filament dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4). Hasil perhitungan dari laju aliran massa disajikan pada gambar 5, gambar 6 dan gambar 7 berturut-turut untuk filament warna putih, filament warna kuning dan filament warna merah.



Gambar 5. Kurva laju aliran massa air pada filament warna putih

Gambar 5 menunjukkan ketidakstabilan laju aliran massa air terjadi pada awal dilakukan perekaman data, hal ini terjadi dikarenakan tidak stabilnya sinar matahari akibat adanya awan yang menutupi. Laju aliran massa air perlahan naik mulai di detik ke 2000 dan terus mengalami kenaikan, yang disebabkan oleh distribusi kalor yang mulai merata pada kolektor.

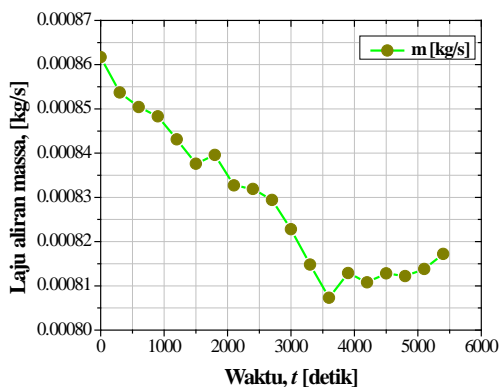


Gambar 7. Kurva laju aliran massa air pada filament warna merah

Gambar 7. Menunjukkan laju aliran massa terhadap waktu berdasarkan filament warna merah, dimana ketidakstabilan aliran kembali terjadi karena kondisi cuaca pun tidak stabil.

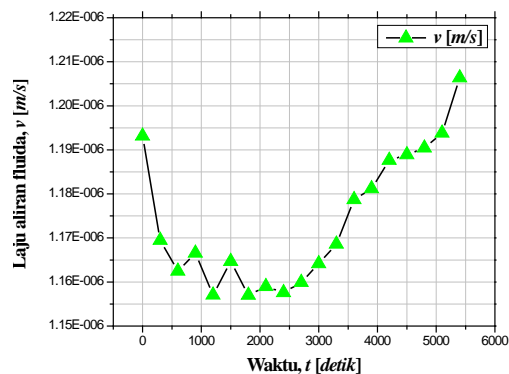
Kecepatan aliran fluida

Data hasil pengamatan perbedaan temperatur air (ΔT) pada tangki dan temperatur air dingin ($T_{Air\ dingin}$) digunakan untuk menghitung laju aliran air yang terjadi. Hasil pengamatan perbedaan temperatur pada tangki dan air dingin dikonversikan menjadi densitas air (ρ) untuk memperoleh perbedaan densitas air ($\Delta\rho$) pada tangki berdasarkan Tabel A-9, sehingga dapat digunakan untuk menghitung laju aliran air yang terjadi di dalam tangki Solar Thermal Eksperimental Aparatus (STEA) FT-02.

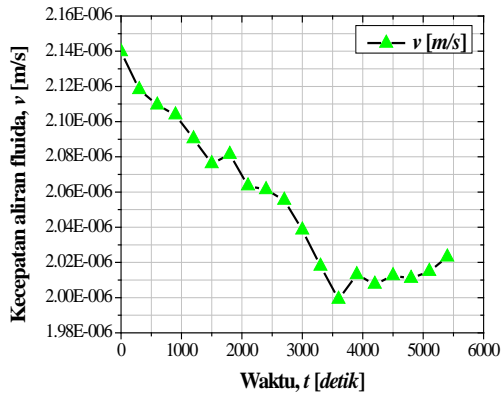


Gambar 6. Kurva laju aliran massa air pada filament warna kuning

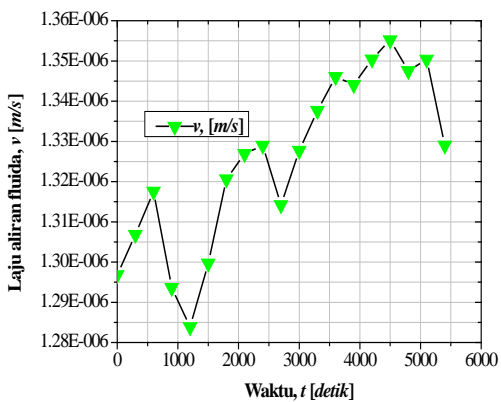
Gambar 6. Menunjukkan laju aliran massa terhadap waktu berdasarkan filament warna kuning terjadi penurunan temperatur. Penyebabnya adalah turunnya temperatur ketika eksperimen yang terjadi karena sinar matahari tidak mencukupi dan temperatur di tangki pendingin terlalu rendah, sehingga nilai laju aliran massa yang dihasilkan pun ikut turun pula.



Gambar 8. Laju aliran air terhadap waktu pada filament warna putih



Gambar 9. Laju aliran air terhadap waktu pada filament warna kuning



Gambar 10. Laju aliran air terhadap waktu pada filament warna merah

Pada Gambar 8, 9, dan 10 terlihat bahwa profil kecepatan aliran berbanding lurus dengan profil laju aliran massa, karena memang keduanya masih merupakan fungsi dari debit aliran. Kecepatan aliran tertinggi terjadi pada kaakterisasi dengan menggunakan filament berwarna merah, ini menunjukkan bahwa *heat absorbtion* dengan filament berwarna merah adalah terbesar.

Kesimpulan

Karakterisasi berdasarkan *filament* warna putih yaitu temperatur rata-rata air (\bar{T}_{air}) tertinggi adalah 27,07 °C; Nilai laju aliran massa yang dihasilkan yaitu tertinggi 0,000487 kg/s pada $t = 5400$ detik; Laju aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $1,206 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 5400$ detik. Kasus serupa pun terjadi pada filament warna kuning, temperatur rata-rata air (\bar{T}_{air}) tertinggi adalah 32,79 °C pada saat $t = 0$ detik; Nilai laju aliran massa yang dihasilkan yaitu tertinggi 0,0008617 kg/s pada $t = 0$ detik; Laju

aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $2,13973 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 0$ detik. Sedangkan pada filament warna merah Temperatur rata-rata air (\bar{T}_{air}) tertinggi adalah 40,61 °C pada saat $t = 3900$ detik; Nilai laju aliran massa yang dihasilkan yaitu tertinggi $5,441 \times 10^{-4}$ kg/s pada $t = 4500$ detik; Laju aliran fluida yang dihasilkan yaitu tertinggi $1,35521 \times 10^{-6}$ m/s pada $t = 4500$ detik. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa warna filament yang lebih gelap, yaitu berwarna merah menghasilkan laju aliran yang tertinggi, mengacu pada penyerapan sinar matahari yang lebih baik dibandingkan dengan warna filament yang lain.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada semua member EDfEC atas bantuan dan kerjasamanya sehingga makalah ini dapat terselesaikan.

Nomenklatur

- A luas permukaan perpindahan kalor (m^2)
- Cp kalor jenis pelat alas (KJ/kg.°C)
- h koefisien perpindahan kalor konveksi ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
- q_{conv} perpindahan kalor konveksi (W)
- Q debit air ($m^3/detik$)
- v kecepatan aliran air (m/detik)

Greeks letters

- ΔT selisih temperatur (°C)
- \dot{m} laju aliran massa air (kg/detik)
- ρ massa jenis (kg/m^3)

Referensi

The National Renewable Energy Laboratory, Heat Your Water with The Sun, A Consumer’s Guide, Energy Efficiency and Renewable Energy, DOE/GO -102003-1824, U.S. Department of Energy, USA, Desember 2003.

Kays, William; Crawford, Michael; Weigand, Bernhard, Convective Heat and Mass Transfer, 4E. McGraw-Hill Professional, New York, 2004.

Dobson, R.T., Transient response of a closed loop thermosyphon, R & D J., 1993.

White, M. Frank., Fluid Mechanics, University Of Rhode Island, Sixth Edition, Mc-GRAW-HILL International Edition, New York, 2008.