

Simulasi Unjuk Kerja Termal Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Pendekatan Temperatur Fluida Kerja

Amrizal

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung, Jln. Sumantri B. No.1 Bandar Lampung, 35145
email: amrizal@eng.unila.ac.id

Abstrak

Unjuk kerja termal kolektor surya diantaranya tergantung kepada nilai temperatur komponen-komponennya seperti temperatur dari pipa, pelat penyerap dan *cover*. Namun masing-masing komponen memberikan respon temperatur yang berbeda-beda karena mempunyai nilai kapasitas panas spesifik yang tidak sama. Untuk penyederhanaan maka diperlukan suatu pendekatan dengan menggunakan metode *lumped capacitance* dimana temperatur keseluruhan komponen tersebut dapat diwakili oleh nilai rata-rata dari temperatur fluida kerja. Makalah ini menyajikan perbandingan hasil simulasi unjuk kerja kolektor surya berdasarkan pendekatan: *rata-rata dari seluruh segmen temperatur fluida (finite difference)* dibandingkan dengan *rata-rata dari hanya temperatur fluida masuk dan keluar*. Nilai parameter hasil simulasi kemudian juga dibandingkan dengan nilai parameter hasil pengujian yang diperoleh dari standar EN 12975 sebagai rujukan. Model yang digunakan dalam simulasi ini merupakan pengembangan dari persamaan Hottel-Whillier-Bliss. Multiple Linear Regression diterapkan untuk mengidentifikasi parameter-parameter dari model yang digunakan. Pemodelan dengan *pendekatan rata-rata dari seluruh segmen temperatur fluida* memberikan nilai parameter unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan *pendekatan rata-rata dari hanya temperatur fluida masuk dan keluar*. Model simulasi ini kemudian dapat digunakan untuk memprediksi unjuk kerja termal dan distribusi temperatur fluida bagian keluar (T_{out}) dengan lebih mudah, murah, cepat dan akurat.

Kata kunci : simulasi, unjuk kerja termal, kolektor surya, temperatur fluida kerja

Latar belakang

Kolektor surya yang menjadi kebutuhan manusia pada saat ini telah banyak dihasilkan oleh berbagai industri di dalam negeri. Sementara itu hasil pengujian unjuk kerja termal kolektor surya ini sangat dibutuhkan untuk keperluan proses desain, sebagai bahan informasi bagi konsumen serta menjadi persyaratan dalam pemasaran produk. Terdapat beberapa standar pengujian saat ini seperti ISO9806-1, ASHRAE 93 – 86 dan EN 12976 [1,2,3].

Berbagai kesulitan pengujian kolektor surya pada kondisi steady telah membawa pengembangan pada pengujian kondisi dinamik. Dengan demikian diharapkan proses pengujian dapat dilakukan sepanjang tahun pada kondisi cuaca yang bervariasi (*dinamik*).

Akan tetapi sangat sedikit literatur yang tersedia terutama yang berkaitan dengan pemodelan unjuk kerja termal kolektor surya khususnya pada kondisi dinamik. Pemodelan ini sangat dibutuhkan untuk memfasilitasi proses pengujian karena memberikan kemudahan pada pengembangan desain kolektor tanpa harus melakukan proses pengujian yang berulang. Sementara itu proses pengujian juga akan membutuhkan peralatan yang lengkap, waktu yang lama, persyaratan kondisi cuaca yang ketat dan biaya yang tinggi. Melalui sebuah model yang

telah divalidasi dan seperangkat data cuaca yang telah ada maka unjuk kerja sebuah kolektor dapat diprediksi dengan mudah seperti dilaporkan pada referensi[4].

Hottel-Whillier-Bliss[5] telah mengembangkan sebuah model dengan pendekatan metode *lumped capacitance* dimana temperatur keseluruhan komponen kolektor (pipa, pelat penyerap, cover dan isolator) dapat diwakili oleh temperature rata-rata dari temperatur fluida masuk dan keluar. Akan tetapi model ini hanya diperuntukkan pada pengujian kondisi steady. Sementara itu Chungpaibulpatana dan Exell [6] melaporkan bahwa pendekatan temperatur rata-rata yang diistilahkan dengan *one node model* memberikan hasil yang tidak konsisten atau berbeda pada setiap pengujian terhadap beberapa kolektor baik dari hasil simulasi maupun dari hasil pengujian. Chungpaibulpatana dkk kemudian melakukan pengembangan dengan menggunakan pendekatan *two node model* dimana komponen cover terpisah dari komponen kolektor lainnya. Hasil yang diperoleh lebih baik dibandingkan dengan hasil pendekatan *one node model*. Akan tetapi model yang dikembangkan mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *one node model* dan membutuhkan keahlian tambahan dalam menggunakan metode Runge Kutta.

Dari beberapa informasi yang telah dijelaskan maka perlu dikembangkan penelitian yang berkaitan dengan simulasi unjuk kerja termal kolektor surya. Penelitian dalam paper ini menyajikan perbandingan hasil simulasi melalui pendekatan: *rata-rata dari seluruh segmen temperatur fluida (finite difference)* dengan *rata-rata dari hanya temperatur fluida masuk dan keluar*. Dalam proses simulasi, pipa yang dialiri oleh fluida kerja dibagi kedalam segmen-segmen kecil dengan area yang sama. Segmen-segmen ini kemudian mewakili temperatur fluida kerja mulai dari kondisi masuk sampai keluar dari pipa.

Model yang digunakan merupakan pengembangan persamaan Hottel-Whillier-Bliss ke dalam bentuk persamaan kondisi dinamis. Hasil simulasi selanjutnya dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari standar pengujian EN 12975.

Model simulasi ini diharapkan dapat memprediksi temperatur fluida (T_{out}) dan unjuk kerja termal kolektor surya dengan murah, mudah, cepat dan akurat.

Metodologi

Model yang digunakan dalam penelitian ini merupakan pengembangan dari persamaan Hottel-Whillier-Bliss seperti terlihat pada persamaan (1) hingga persamaan (3).

Persamaan Hottel-Whillier-Bliss adalah sebagai berikut :

$$q_u = A_c F' [(\tau\alpha)_{en} G - U_L (T_m - T_a)] \quad (1)$$

dimana q_u adalah panas yang dimanfaatkan oleh kolektor (W), A adalah luas kolektor (m^2), $F'(\tau\alpha)_{en}$ adalah parameter efisiensi kolektor, G adalah intensitas radiasi (W/m^2), U adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh (W/m^2K), T_m adalah temperatur rata-rata pelat absorber (K) dan T_a adalah temperatur lingkungan (K).

Persamaan (1) dapat dikembangkan ke dalam persamaan unjuk kerja termal kolektor surya pada kondisi dinamik menjadi persamaan (2)[4]. Disamping itu distribusi temperatur sepanjang pipa pada pelat penyerap dapat dimodelkan dengan metode *finite difference*.

$$C \frac{(T_{ix}^{it} - T_{ix}^{it-1})}{\Delta t} = A_s [F'(\tau\alpha)_{en} K_\theta(\theta) G^{it} - F' U_L (T_{ix}^{it} - T_a^{it})] - m_f c_f (T_{ix}^{it} - T_{ix}^{it-1}) \quad (2)$$

Persamaan (2) diatas dapat disederhanakan kembali menjadi persamaan (3)[4] seperti :

$$T_{ix}^{it} = c_1 \sum_{i=0}^{i=ix-1} G^{it-i} + c_2 \sum_{i=0}^{i=ix-1} T_a^{it-i} + T_0^{it-ix} \quad (3)$$

dimana T_{ix}^{it} adalah temperatur fluida pada setiap segmen, it adalah interval waktu dan ix adalah segmen ke- i .

Sedangkan :

$$c_1 = \frac{F'(\tau\alpha)_{en} K_\theta(\theta) A_s}{m_f c_f + F' U_L A_s}, \quad c_2 = \frac{F' U_L A_s}{m_f c_f + F' U_L A_s}$$

$$\text{dan } c_3 = \frac{m_f c_f}{m_f c_f + F' U_L A_s}$$

Sementara itu persamaan (4) digunakan untuk menentukan nilai kapasitas panas total berdasarkan standar EN 12975.

$$C = \frac{A \eta_0 \int_{t_1}^{t_2} G dt - m c_f \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt - AU \left[\int_{t_1}^{t_2} (T_{in} - T_a) + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \right]}{T_{m2} - T_{m1}} \quad (4)$$

Untuk prosedur pengambilan data, konfigurasi pengujian menggunakan loop tertutup seperti yang dilakukan pada standar pengujian (EN 12975). Seluruh alat ukur dan sensor terhubung ke datalogger CR23X. Sementara itu temperatur fluida kerja masuk dan keluar diukur menggunakan termokopel tipe K. Kecepatan udara diukur dengan Anemometer A100R dan Pyranometer CMP 11 Zip & Konen untuk mengukur intensitas radiasi matahari. Untuk mempertahankan serta memvariasikan temperatur fluida kerja bagian masuk digunakan *Thermostatic Immersion Circulator*. Data pengujian yang diperlukan adalah temperatur fluida kerja pada bagian masuk dan keluar, laju aliran massa fluida kerja, kecepatan udara lingkungan dan intensitas radiasi matahari. Laju aliran massa fluida persatuan luas yang dibutuhkan harus tetap dipertahankan konstan selama pengujian sekitar 0.02 kg/det.m^2 [1,2,3] dengan menggunakan alat ukur *peristaltic pump*.

Pengujian dilakukan terhadap sebuah kolektor surya jenis PV/T dimana bagian penyerap panas yang berbentuk pelat datar merupakan sebuah panel Photo Voltaic (PV) seperti terlihat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan secara *outdoor* di Pusat Studi Energi Matahari-University of Lleida, Spanyol pada bulan Desember tahun 2010 yang

terletak pada 41.36° Lintang Utara dan 0.37° Bujur Timur.



Gambar 1. Instalasi alat uji

Hasil dan Analisa

Tabel 1, 2 dan 3 menyajikan perbandingan unjuk kerja termal kolektor surya antara hasil simulasi dengan hasil yang diperoleh dari standar pengujian EN 12975. Nilai parameter yang terdapat dalam tabel diidentifikasi dengan menggunakan metode Multiple Linear Regression. Parameter-parameter efisiensi ($F'(\tau\alpha)_{en}$) dan koefisien rugi panas menyeluruh (FU_L) didapatkan dari persamaan (1) dan (2). Sementara itu parameter kapasitas panas C diperoleh dari hasil standar pengujian EN 12975. Nilai C dari pengujian yang telah dilakukan adalah 15.426 kJ/K yang selanjutnya akan dijadikan sebagai referensi terhadap nilai parameter kapasitas panas dari hasil simulasi.

Tabel 1. Hasil pengujian kondisi steady dari standar EN 12975

Parameter	Nilai±SE		
	[95% CI	<i>t-ratio</i>	r^2
$F'(\tau\alpha)_{en}$ [-]	0.53±0.00 3	165	
FU_L [W/(m ² K)]	14.2±0.2	140	0.991
c [kJ/K]	-	-	

*SE : Standard Error

CI : Confidence Interval

Tabel 2. Hasil simulasi pendekatan temperatur rata-rata dari hanya temperatur fluida masuk dan keluar

Parameter	Nilai±SE		
	* [95% CI*]	<i>t-ratio</i>	r^2
$F'(\tau\alpha)_{en}$ [-]	0.53±0.00 6	403	
FU_L [W/(m ² K)]	12.7±0.2	116	0.980
c [kJ/K]	15.9±0.1	32	

Parameter	Nilai±SE		
	[95% CI	<i>t-ratio</i>	r^2
$F'(\tau\alpha)_{en}$ [-]	0.53±0.00 8	3886	
FU_L [W/(m ² K)]	14.7±0.3	988	0.999
c [kJ/K]	15.1±0.1	343	

Tabel 3. Hasil simulasi pendekatan temperatur rata-rata dari keseluruhan segmen temperatur fluida

Parameter	Nilai±SE		
	[95% CI	<i>t-ratio</i>	r^2
$F'(\tau\alpha)_{en}$ [-]	0.53±0.00 8	3886	
FU_L [W/(m ² K)]	14.7±0.3	988	0.999
c [kJ/K]	15.1±0.1	343	

Dari hasil perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 1-3 diatas, model dengan pendekatan temperatur rata-rata seluruh segmen memberikan nilai yang terbaik. Hal ini diindikasikan melalui nilai parameter unjuk kerja yang mendekati hasil yang diperoleh dari standar pengujian EN 12975. Secara umum hasil perbedaan antara hasil simulasi dengan pengujian masih dibawah 5% dimana hanya 3.5% yang diberikan oleh parameter FU_L . Begitu juga hasil yang baik ditunjukkan dengan perbedaan nilai parameter kapasitas panas C hanya sekitar 3%. Disamping itu juga terjadi peningkatan nilai koefisien regresi dan *t-ratio* seperti terlihat pada Tabel 3. Definisi *t-ratio* adalah perbandingan antara nilai parameter bersangkutan terhadap standar deviasinya yang diperoleh melalui proses regresi. Semua nilai *t-ratio* harus lebih besar dari nilai kritisnya dimana nilai kritis untuk hasil pengujian dan simulasi masing-masing 1.7 dan 1.95. Jika nilai *t-ratio* yang didapat lebih kecil dari nilai kritisnya maka parameter tersebut tidak berpengaruh dan tidak dapat digunakan dalam model. Selain itu CI (Confidence Interval) dalam pengolahan data baik untuk hasil pengujian maupun untuk simulasi dipilih 95%.

Sementara itu hasil simulasi dengan pendekatan rata-rata dari hanya temperatur fluida masuk dan keluar seperti terlihat pada Tabel 2 memberikan perbedaan nilai yang signifikan yaitu lebih dari 10% khususnya untuk parameter FU_L . Kondisi ini mengindikasikan bahwa model dengan pendekatan rata-rata dari hanya temperature fluida masuk dan keluar tidak dapat memprediksi unjuk kerja dan temperatur fluida dengan baik.

Kesimpulan

Hasil simulasi dari model dengan *pendekatan rata-rata dari seluruh segmen temperatur fluida* memberikan nilai parameter unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan *pendekatan rata-rata dari temperatur fluida masuk dan keluar*. Model dengan *pendekatan rata-rata dari seluruh segmen temperatur fluida* ini mampu memprediksi distribusi temperatur fluida lebih akurat. Hal ini ditunjukkan dengan nilai parameter unjuk kerja mendekati nilai parameter yang diperoleh dari standar pengujian EN 12975 serta terjadinya peningkatan nilai koefisien regresi dan t-ratio. Dengan menggunakan prosedur yang sama dan diaplikasikan pada seperangkat data yang ada maka unjuk kerja kolektor dan temperatur fluida keluar kolektor dapat diprediksi secara mudah, murah, cepat dan akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada **Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi** atas beasiswa yang telah diberikan sehingga memberikan kemudahan dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] ISO 9806-1. Test methods for solar collectors. 1994. Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop.
- [2] ASHRAE 93 – 86. 1978. Method of testing to determine the thermal performance of solar collectors. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. 345 East 47th Street, New York.
- [3] European Standard EN 12975. 2006. CEN European Committee for standardization.
- [4] N. Amrizal, D. Chemisana, J.I. Rosell, J.Barrau. 2012. A dynamic model based on the piston flow concept for the thermal characterization of solar collectors. *Applied Energy*, 94, 244-250.
- [5] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 2006. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. *John Wiley Sons*.
- [6] S. Chungpaibultana, R.H.B.Exell. 1998. The effect the using a one node heat capacitance model for determining solar collector performance parameters by transients test methods. *Solar and Wind Technology*, Vol.5 No.4, 411-421.