

## Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Heat Exchanger Double Pipe

Taufiq

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

Corresponding Author: [taufiquanimal@gmail.com](mailto:taufiquanimal@gmail.com)

**Abstrak** – Alat penukar kalor pipa ganda memiliki konstruksi yang sederhana. Jumlah perpindahan panas yang sangat terperinci sampai setiap bagian terkecil, ini yang membuat penukar kalor pipa ganda perangkat perpindahan panas yang cocok dalam keseharian. Alat penukar kalor pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standar yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Penelitian didasarkan atas tiga alat penukar kalor pipa ganda yang berbeda variasi tube bagian dalam. Adapun varian tube yang diteliti adalah alat penukar kalor pipa ganda dengan tiga tube, alat penukar kalor pipa ganda dengan empat tube, dan alat penukar kalor pipa ganda dengan lima tube. Temperatur yang diteliti juga bervariasi yaitu: 50 °C, 55 °C, dan 60 °C. Dengan durasi waktu pengambilan data adalah selang 5 menit, selama 1 jam 40 menit. Untuk temperatur fluida panas 60, 55, 50 (°C) dari HE 3 tube terjadi penyerapan panas oleh fluida dingin sebesar 10 °C. Dengan  $Q_{panas}$  untuk masing-masing temperatur sebesar 2346 KJ/s – 4483 KJ/s, 2346 KJ/s – 4168 KJ/s, 1681 KJ/s – 3327 KJ/s. Dan kehilangan panas pada masing-masing temperatur sebesar 717 – 683 KJ/s, 691 – 443 KJ/s, 214 – 201 KJ/s. Untuk temperatur fluida panas 60, 55, 50 (°C) dari HE 4 tube terjadi penyerapan panas oleh fluida dingin sebesar 110C. Dengan  $Q_{panas}$  untuk masing-masing temperatur sebesar 2416 KJ/s – 4903 KJ/s, 2416 – 4516 KJ/s, 2031 – 3502 KJ/s. Dan kehilangan panas pada masing-masing temperatur sebesar 799 – 765 KJ/s, 874 – 681 KJ/s, 413 – 117 KJ/s. Untuk temperatur fluida panas 60, 55, 50 (°C) dari HE 5 tube terjadi penyerapan panas oleh fluida dingin sebesar 12 °C. Dengan  $Q_{panas}$  untuk masing-masing temperatur sebesar 2592 – 5324 KJ/s, 2486 – 4938 KJ/s, 2171 – 3783 KJ/s. Dan kehilangan panas pada masing-masing temperatur sebesar 748 – 772 KJ/s, 681 – 1176 KJ/s, 290 – 321 KJ/s. Copyright © 2015 Department of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**Keywords:** Kolektor surya pelat datar, Pemodelan dan simulasi, Perpindahan panas, Temperatur fluida keluar.

### 1 Pendahuluan

Kolektor surya yang baik adalah kolektor surya yang memiliki efisiensi tinggi, ini berarti sebagian besar panas yang menimpa kolektor surya dapat dimanfaatkan untuk memanaskan fluida yang mengalir didalamnya dan hanya sebagian kecil saja panas yang hilang ke lingkungan sekelilingnya. Panas yang hilang ke lingkungan karena dipantulkan kembali oleh penutup dan plat penyerap dan sebagian lagi hilang ke lingkungan melalui bagian dasar dan bagian sisi dari pengumpul surya tersebut. Karena bagian sisi relatif kecil dibandingkan dengan bagian dasar dan atas maka kehilangan panas melalui bagian sisi ini diabaikan. Kolektor surya yang baik ditentukan oleh geometri model dan bahan yang digunakan untuk membuat

kolektor surya tersebut. Secara garis besar kolektor surya terdiri dari bagian penutup, celah udara, absorber, fluida kerja, dan elemen isolasi. Salah satu bagian terpenting dari kolektor surya ialah bagian absorber.

Dewasa ini, seiring berkembangnya penggunaan komputer dalam menganalisa berbagai masalah secara luas, termasuk dalam ilmu termal, salah satunya dengan cara pemodelan dan simulasi.

Pemodelan adalah penggunaan sejumlah persamaan matematis yang bertujuan untuk menjelaskan fenomena fisis dari model yang dikaji. Pada pemanas air kolektor surya, pemodelan bisa diartikan sebagai penggunaan persamaan matematis yang bertujuan mendapatkan fenomena perpindahan panas yang terjadi pada kolektor. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pemodelan dan simulasi perpindahan panas secara

numerik, yaitu dengan menyusun sejumlah persamaan. Persamaan-persamaan tersebut kemudian disimulasi dengan menggunakan software Engineering Equation Solver (EES), kelebihan software ini adalah memiliki sifat-sifat fisik fluida yang lengkap.

Dalam penelitian ini, akan dikembangkan sebuah pemodelan dengan menyusun sejumlah persamaan-persamaan kemudian disimulasi. Banyak pemodelan-pemodelan yang telah diusulkan tetapi sangat tergantung pada lokasi dimana pemodelan dan pengujian dilakukan.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model untuk perhitungan perpindahan panas dan mensimulasi secara matematis pada kolektor surya pelat datar, kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perencanaan ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perhitungan perpindahan panas untuk pemanas air pada kolektor surya pelat datar serta dapat mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi sesuai dengan perkembangan jaman.

## 2 Kajian Pustaka

### 2.1. Pemodelan dan Simulasi

Pemodelan adalah penggunaan sejumlah persamaan matematis yang bertujuan untuk menjelaskan fenomena fisis dari model yang dikaji. Pada pemanas air kolektor surya, pemodelan bisa diartikan sebagai penggunaan persamaan matematis yang bertujuan mendapatkan fenomena perpindahan panas yang terjadi pada kolektor tersebut.

Menurut Dorota Wójcicka (2000), membuat pemodelan pemanas air tenaga surya untuk proses pembuatan makanan dan membandingkan dengan pengukuran pada kondisi nyata dari objek. Pengembangan model matematika didasarkan pada metode numerik yang disebut *Elementary Balance Method* pada setiap elemen kolektor yang diwakili oleh node dan persamaan balans energi yang relevan untuk setiap elemen kolektor.

### 2.2. Energi panas yang berguna dari kolektor surya

Energi panas yang berguna dari kolektor surya dapat ditentukan dengan tiga cara yang berbeda. Berdasarkan kesetimbangan luar absorber, energi panas yang berguna dari kolektor dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\dot{Q}_u = A_a [(\tau\alpha)_{ef} G - U(t_{abs} - t_a)] \quad (1)$$

Energi panas yang keluar berdasarkan temperatur absorber  $t_{abs}$  tidak mudah diketahui karena dengan pengukuran eksperimen kesulitan untuk mengidentifikasi  $t_{abs}$ .

Energi panas yang keluar berdasarkan temperatur fluida rata-rata  $t_m$  lebih mudah diketahui, karena sesuai dengan hasil pengujian eksperimen pada kolektor surya. Temperatur fluida rata-rata dapat diperoleh dengan mudah dari pengukuran temperatur masuk dan temperatur keluar.

Energi panas yang keluar berdasarkan temperatur absorber  $t_{abs}$  tidak mudah diketahui karena dengan pengukuran eksperimen kesulitan untuk mengidentifikasi  $t_{abs}$ .

Energi panas yang keluar berdasarkan temperatur fluida rata-rata  $t_m$  lebih mudah diketahui, karena sesuai dengan hasil pengujian eksperimen pada kolektor surya. Temperatur fluida rata-rata dapat diperoleh dengan mudah dari pengukuran temperatur masuk dan temperatur keluar.

$$t_m = \frac{t_{in} + t_{out}}{2} \quad (2)$$

Energi panas yang keluar dari kolektor berdasarkan temperatur fluida rata-rata ditentukan oleh faktor efisiensi  $F'$ .

$$\dot{Q}_u = A_a F' [(\tau\alpha)_{ef} G - U(t_m - t_a)] \quad (3)$$

Dalam model matematika pada sistem energi surya, untuk menghitung energi panas dan temperatur yang keluar dari kolektor dihitung berdasarkan temperatur masuk. Panas yang berguna berdasarkan temperatur masuk dapat diberikan seperti dalam persamaan 3.

Dalam model matematika pada sistem energi surya, untuk menghitung energi panas dan temperatur yang keluar dari kolektor dihitung berdasarkan temperatur masuk. Panas yang berguna berdasarkan temperatur masuk dapat diberikan seperti dalam persamaan 4.

$$\dot{Q}_u = A_a F_R [(\tau\alpha)_{ef} G - U(t_{in} - t_a)] \quad (4)$$

Untuk mendapatkan temperatur fluida keluar pada kolektor surya pelat datar dengan cara kesetimbangan energi dalam dan luar seperti ditunjukkan dalam persamaan 5.

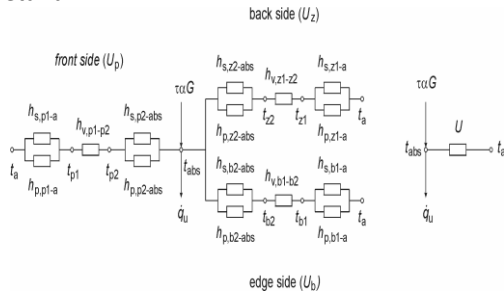
$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T = \dot{m} \cdot cp \cdot \Delta T \quad (5)$$

Kemudian temperatur fluida keluar persamaannya akan menjadi:

$$T_{out} = t_{in} + \frac{Q_u}{\dot{m} cp} \quad (6)$$

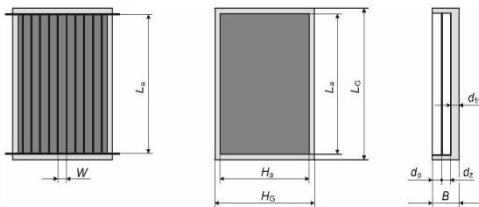
### 3 Metode Penelitian

Proses untuk menyelesaikan pemodelan persamaan perpindahan panas yang terjadi pada kolektor surya plat datar, dengan cara tahanan termal seperti ditunjukkan dalam gambar 1. Oleh karena itu untuk penyelesaiannya diperlukan program komputer karena ada beberapa variabel dan beberapa buah persamaan yang tidak diketahui.



Gambar 1: Tahanan termal kesetimbangan energi pada kolektor surya

Goemetri kolektor surya plat datar seperti ditunjukkan pada gambar 2. Tinggi celah  $L_a$  dianggap sama dengan panjang pipa. Lebar celah  $H_a$  dibagi dengan jumlah pipa  $n_r$  lebar sirip absorber diberikan  $W$  (jarak antara dua sumbu). Ketebalan dari bingkai  $d_{fr}$ , ketebalan lapisan udara sisi depan  $d_p$ , ketebala lapisan udara sisi belakang  $d_z$  dan ketebalan dari kaca  $d_{gl}$  total kedalaman kolektor diberikan B.



Gambar 2: Dimensi kolektor surya  
Sumber : Perencanaan

Spesifikasi dari masing-masing komponen yang disimulasikan adalah:

1. Bingkai kolektor : terbuat dari material aluminium dengan ketebalan 0.03 meter.
2. Panjang kolektor 1 m, lebar kolektor 2 m dan luas kolektor 2 m<sup>2</sup>.
3. Pelat absorber yang digunakan ada dua variasi :
  - Pelat absorber yang digunakan adalah material aluminium dengan ketebalan 0.4 dan 0,6 mm.
  - Pelat absorber seng dengan ketebalan 0,4 dan 0,6 mm.
4. Kaca penutup : kaca bening dengan ketebalan 4 mm.

Pipa absorber kolektor : pipa tembaga dengan diameter luar 10 mm, diameter dalam 8 mm.

### 4 Hasil dan Pembahasan

Berikut ini akan ditampilkan beberapa hasil dari simulasi yang telah dijalankan berdasarkan program yang telah dibuat dengan data masukan yang berbeda dan debit aliran yang digunakan yaitu 200 cc/menit, kemudian hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil pengujian.

#### 1. Kasus I

Data masukan:

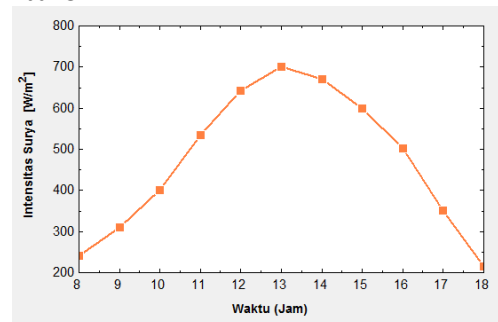
- Intensitas surya diasumsikan pada kondisi langit cerah, temperatur ambient, temperatur fluida masuk.
- Material absorber yang digunakan adalah Aluminium dengan ketebalan 0,4 dan 0,6 mm.
- Material pipa yang digunakan adalah tembaga.
- Waktu pengambilan data dari pukul 8.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB.

#### 2. Kasus II

Data masukan:

- Intensitas surya diasumsikan pada kondisi langit cerah, temperatur ambient, temperatur fluida masuk.
- Material absorber yang digunakan adalah seng dengan ketebalan 0,4 dan 0,6 mm.
- Material pipa yang digunakan adalah besi.
- Waktu pengambilan data dari pukul 8.00 sampai dengan pukul 18.00 wib.

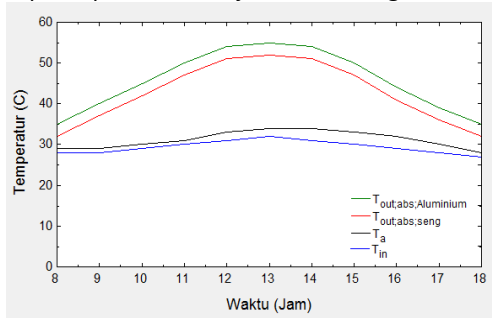
Data-data yang diperoleh dari hasil simulasi dan pengujian pemanas air surya pelat datar, hasil pengujian dan simulasi dibahas dalam bentuk grafik. Grafik intensitas radiasi matahari terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Grafik Intensitas matahari terhadap waktu  
Sumber : Hasil simulasi

Pada awal simulasi pelat absorber yang digunakan adalah aluminium kemudian diganti dengan seng

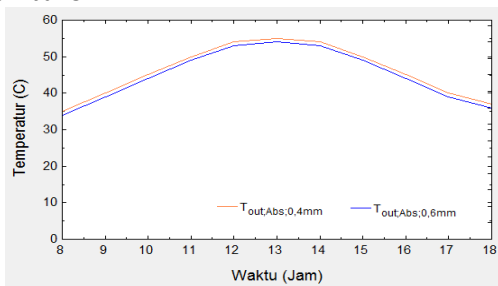
dengan ketebalan yang sama (0,4 mm), dimana temperatur fluida masuk ( $T_{in}$ ), temperatur ambien ( $T_a$ ), temperatur fluida keluar hasil simulasi dengan menggunakan pelat aluminium sebagai absorber ( $T_{out,Abs,Aluminium}$ ) dan temperatur fluida keluar dari hasil simulasi dengan menggunakan seng sebagai pelat absorber ( $T_{out,Abs,Seng}$ ). Hasil simulasi pengaruh media terhadap temperatur ditunjukkan dalam gambar 4.



Gambar 4: Temperatur fluida keluar berdasarkan pelat absorber

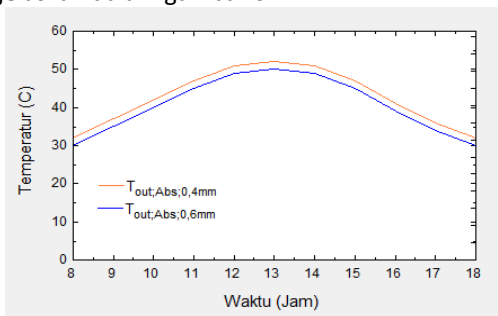
Sumber: Hasil simulasi

Simulasi selanjutnya dengan memvariasi ketebalan pelat absorber menggunakan aluminium dengan ketebalan yaitu 0,4 dan 0,6 mm. Pipa kolektor yang digunakan adalah pipa tembaga. Pengaruh ketebalan terhadap temperatur keluar fluida dapat dijelaskan dalam gambar 5.



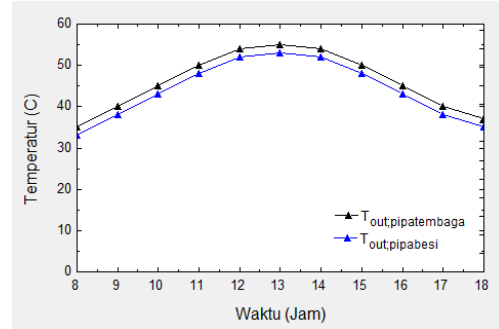
Gambar 5: Grafik temperatur fluida keluar berdasarkan ketebalan pelat absorber

Simulasi selanjutnya memvariasikan ketebalan pelat absorber menggunakan seng dengan ketebalan yaitu 0,4 mm ( $T_{out,Abs,0.4}$ ) dan ketebalan 0,6 mm ( $T_{out,Abs,0.6}$ ). Pengaruh ketebalan terhadap temperatur keluar fluida dapat dijelaskan dalam gambar 6.



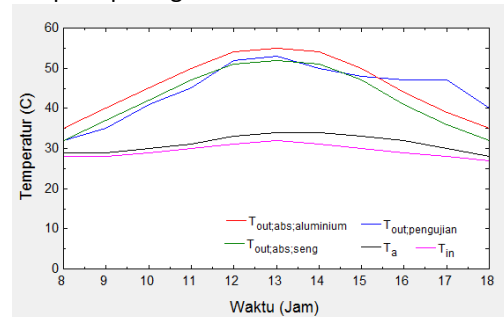
Gambar 6: Grafik temperatur fluida keluar berdasarkan ketebalan pelat absorber

Simulasi selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan pipa kolektor menggunakan pipa tembaga dan pipa besi dengan intensitas surya, temperatur masuk dan temperatur ambien sama. Pengaruh material pipa kolektor terhadap temperatur keluar fluida dapat dijelaskan dalam gambar 7.



Gambar 7: Grafik temperatur fluida keluar berdasarkan material pipa kolektor

Simulasi selanjutnya dengan menggunakan aluminium dan seng dengan ketebalan 0,4 mm sebagai absorber, kemudian membandingkan dengan hasil pengujian pada tanggal 17 juli 2012 dengan menggunakan aluminium sebagai absorber. Perbandingan temperatur keluar hasil simulasi dan hasil pengujian seperti pada gambar 8.



Gambar 8: Grafik temperatur fluida hasil simulasi dan pengujian

## 5 Kesimpulan

Pemodelan dan simulasi ini dilakukan dengan tujuan utama adalah mendapatkan referensi untuk perhitungan perpindahan panas dan material absorber yang digunakan pada kolektor surya plat datar. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian yang dilakukan di kalangan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan pemodelan dengan memasukkan persamaan-persamaan kemudian simulasi dengan software. Dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan :

1. Nilai intensitas surya paling tinggi pada pukul 13.00 WIB, energi panas yang dihasilkan sebesar  $700 \text{ W/m}^2$ , dan paling rendah pada pukul 18.00 WIB sebesar  $215 \text{ W/m}^2$ .
2. Temperatur fluida keluar dengan menggunakan aluminium sebagai absorber jauh lebih tinggi dari pada menggunakan pelat seng sebagai pelat absorber dengan ketebalan pelat yang sama.
3. Temperatur keluar fluida dengan menggunakan pelat aluminium dan seng sebagai absorber, dengan ketebalan 0,4 lebih tinggi temperatur keluarannya dari pada pelat dengan ketebalan 0,6.
4. Temperatur fluida keluar dengan menggunakan pipa tembaga lebih besar dari pada menggunakan pipa besi untuk kolektor pelat datar.  
Temperatur fluida keluar hasil pengujian lebih kecil dari pada hasil simulasi dengan ketebalan pelat absorber yang sama.

## 6 Referensi

- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 2006, *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd edition, Wiley & Sons.
- Migasiuk- Wójcicka Dorota, Chochoowski Andrzej., 2000, *Simulation Model for Solar Water Heating for Food Processing*. Journal of Scientific Research and Development. Vol. II. Warsaw, Poland.
- Ropiudin., 2007, *Pemodelan Sistem Termal dan Simulasi pada Oven Surya*, IPB, Bogor.
- Zima W, Dziewa P., 2011, *Modelling of liquid flat-plate solar collector operation in transient states*, Sage, Poland.
- Hottel, H. C., Woertz, B. B., 1942, *The performance of flat plate solar heat collectors*. Transactions of ASME, 64, 91-104.
- Matuska, T., 2003, *Transparent thermal insulations and their use in solar energy applications*, Ph.D. thesis, CTU in Prague.