

**M8-010 Analisis Performa Kolektor Surya Pelat Datar yang Menggunakan Tabung Vakum  
Sebagai Penutup Kolektor**

**Made Sucipta**

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana  
Kampus Unud, Bukit Jimbaran, Badung, 80361, Indonesia  
Phone/Facs.: +62-361-703321, E-mail: m.sucipta@gmail.com

**ABSTRAK**

*Peningkatan performa kolektor surya pelat datar dapat dilakukan dengan menggunakan tabung vakum sebagai penutup transparan pada kolektor. Pada penelitian ini, kolektor surya yang dirancang adalah sebagai alat pemanas air dengan luas permukaan pelat penyerap sebesar 1 m<sup>2</sup>. Pengujian dilakukan dengan variasi laju alir air sebesar 0,5 kg/menit, 1,0 kg/menit dan 1,5 kg/menit dan temperatur air masuk kolektor dijaga konstan pada 35 °C. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa, temperatur air keluar kolektor rata-rata tertinggi dicapai pada laju alir air 0,5 kg/menit dan terendah dicapai pada laju alir air sebesar 1,5 kg/menit, yaitu sebesar 48,5 °C dan 39,9 °C secara berturut-turut. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa, efisiensi sesaat pemanasan air rata-rata dengan menggunakan tabung vakum ini akan semakin meningkat dengan meningkatnya laju alir air. Efisiensi sesaat rata-rata terendah dicapai pada laju alir air sebesar 0,5 kg/menit, yaitu sebesar 51,2% dan efisiensi sesaat terbesar rata-rata dicapai pada laju alir sebesar 1,5 kg/menit, yaitu sebesar 55,4%. Perlu dicatat bahwa, penurunan temperatur air keluar kolektor dan peningkatan efisiensi sesaat pemanasan air rata-rata dihasilkan tidak linier dengan meningkatnya laju alir air yang dipanaskan.*

*Kata kunci: kolektor surya, tabung vakum, temperatur air, efisiensi sesaat*

**1. Pendahuluan**

Usaha untuk meningkatkan performa kolektor surya pelat datar adalah dengan meningkatkan proses penyerapan radiasi surya pada pelat penyerap, perbaikan proses perpindahan panas ke fluida kerja maupun mengurangi kehilangan panas dari kolektor ke lingkungan. Salah satu usaha peningkatan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan penutup kolektor kaca ganda. Akan tetapi, pada umumnya penggunaan kaca ganda tersebut tanpa diikuti dengan proses vakum diantara kaca tersebut. Meskipun penggunaan kaca ganda ini dapat mengurangi kerugian panas dari kolektor ke lingkungan, namun penambahan kaca penutup yang tanpa diikuti dengan proses vakum diantara kaca tersebut dapat menurunkan transmisivitas radiasi surya yang menimpa pelat penyerap [1,2]. Oleh karena itu, dengan proses vakum pada susunan penutup kaca ganda tersebut diharapkan akan dapat meningkatkan transmisivitas radiasi surya, karena proses pertukaran radiasi yang akan lebih efektif pada kondisi vakum [3].

Secara teknis sederhana, pembuatan kondisi vakum pada susunan penutup kaca ganda akan menjadi sulit kalau memang tidak dibuat secara khusus berupa blok kaca dengan kondisi vakum. Sehingga untuk

pembuatan penutup kaca ganda ini akan menjadi tidak ekonomis lagi terutama bila digunakan untuk kehidupan masyarakat sehari-hari tanpa adanya komersialisasi dengan produksi yang banyak.

Beberapa penelitian tentang penggunaan tabung vakum yang telah dilakukan peneliti lain lebih menekankan pada konfigurasi dimana pipa alur fluida yang akan dipanaskan diletakkan pada suatu tabung yang dikondisikan vakum [1,2]. Berbeda dengan penelitian yang telah dilakukan ini, tabung vakum digunakan sebagai penutup transparan pada kolektor. Dalam hal ini, penggunaan tabung vakum yang disusun sedemikian rupa sehingga menutupi semua permukaan pelat penyerap akan dapat berfungsi pula sebagai pengganti kaca ganda. Penggunaan tabung vakum ini selain sebagai panghalang untuk kehilangan panas kolektor surya dari sisi atas, tabung tersebut akan berfungsi pula untuk lebih memokuskan timpaan radiasi surya pada pelat penyerap kolektor, sehingga diharapkan performa kolektor akan meningkat.

## 2. Dasar Teori

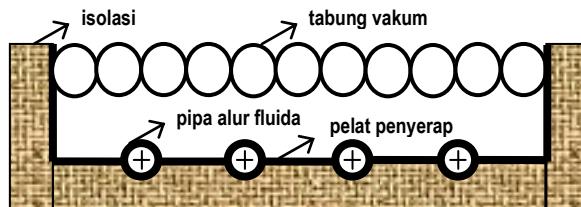
Kolektor surya yang diteliti adalah merupakan suatu alat pemanas air dengan luas permukaan pelat penyerap sebesar  $1 \text{ m}^2$  (panjang 2 m dan lebar 0,5 m) dengan jarak antara pelat penyerap dengan permukaan tabung bagian atas sebesar 0,1 m. Kolektor pemanas air energi matahari ini menggunakan tipe kolektor pelat datar dengan pipa-pipa alur air yang dilas pada pelat penyerap. Adapun skema kolektor surya dengan tabung vakum ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1, prinsip kerja alat pemanas air tenaga matahari dengan menggunakan kolektor surya yang menggunakan tabung vakum sebagai penutup kolektornya dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama, intensitas radiasi matahari menimpa permukaan bagian luar tabung vakum. Sebagian dari radiasi matahari akan dipantulkan kembali ke langit dan sebagian akan diteruskan ke pelat penyerap (dan pipa-pipa alur air) setelah melewati tabung-tabung vakum, dengan mengasumsikan tanpa adanya proses penyerapan radiasi matahari pada tabung vakum. Radiasi yang menuju pelat penyerap, disamping akan terkonduksi ke pipa-pipa alur air setelah diserap di pelat penyerap (dan diserap langsung oleh pipa-pipa alur air), juga akan dipantulkan kembali menuju permukaan tabung vakum bagian bawah.

Dengan adanya pemantulan berulang radiasi matahari diantara pelat penyerap dengan permukaan bagian bawah tabung vakum menyebabkan bagian radiasi matahari yang diserap oleh pelat penyearap akan semakin banyak, demikian pula yang akan diteruskan ke pipa-pipa alur air. Kondisi ini yang mengakibatkan temperatur pipa-pipa alur air akan meningkat. Aliran air yang melewati pipa-pipa alur akan menerima panas secara konveksi dari pipa-pipa alur tersebut, sehingga temperatur air yang keluar kolektor surya akan meningkat.

Selanjutnya, performa kolektor surya dengan tabung vakum sebagai penutup transparan pada penelitian ini ditentukan melalui pengukuran secara langsung temperatur air keluar kolektor dan perhitungan efisiensi pemanasan airnya.

Untuk besaran intensitas radiasi matahari tertentu yang diterima kolektor surya dengan temperatur air masuk kolektor yang dijaga sama, temperatur air keluar kolektor dapat menggambarkan pengaruh penggunaan tabung vakum sebagai pengganti penutup transparan pada kolektor surya pelat datar. Dari temperatur air keluar kolektor akan dapat dihitung besarnya energi pemanasan air melalui persamaan:



Gambar 1. Kolektor surya dengan tabung vakum sebagai penutup transparannya.

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (1)$$

dimana:

$Q_u$  = Energi berguna pemanasan air (W).

$\dot{m}$  = Laju alir air (kg/s).

$c_p$  = Panas jenis air (J/kg. °C).

$T_o$  = Temperatur air keluar kolektor (°C).

$T_i$  = Temperatur air masuk kolektor (°C).

Sedangkan efisiensi sesaat pemanasan air pada kolektor surya merupakan perbandingan antara besarnya energi pemanasan air yang diperoleh dan besarnya intensitas radiasi matahari total yang menimpa kolektor, yang dapat dihitung melalui persamaan yang telah dikembangkan oleh Duffie dan Beckman [1]:

$$\eta_k = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int I_T dt} \quad (2)$$

dimana:

$\eta_k$  = Efisiensi sesaat pemanasan air.

$A_c$  = Luasan kolektor (m<sup>2</sup>).

$I_T$  = Intensitas radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>).

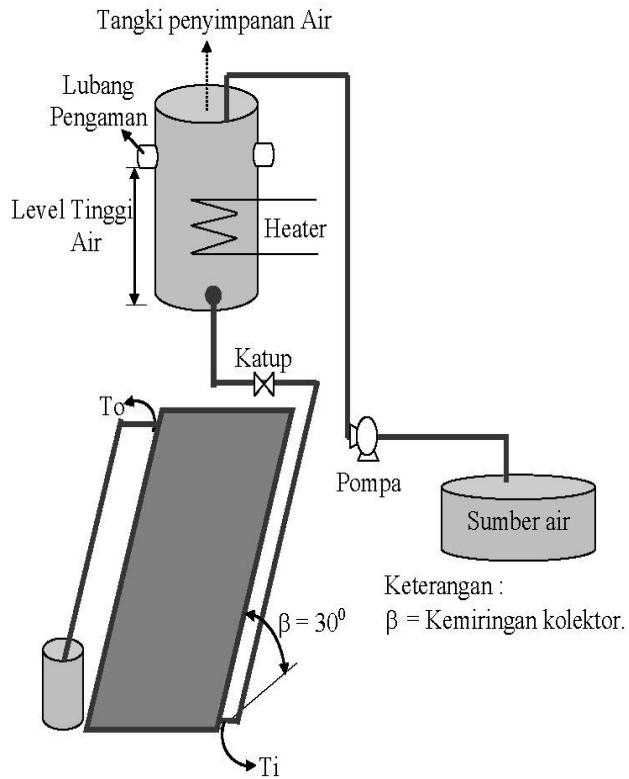
$dt$  = Selang waktu pengujian (s).

### 3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kolektor surya dengan menggunakan tabung vakum sebagai penutup transparan. Dalam proses pembuatannya, tabung vakum yang digunakan adalah terbuat dari tabung lampu neon bekas yang telah dibersihkan lapisan bagian dalamnya sehingga menjadi tabung

transparan (bening) permukaannya. Tabung tersebut kemudian divakum sampai pada tekanan tertentu (sekitar - 70 kPa) dengan mempertimbangkan juga kemampuan material tabung yang digunakan pada tekanan tersebut. Sedangkan pipa-pipa alur air yang dibuat adalah pipa besi yang berdiameter  $\frac{3}{4}$  inch sebanyak 4 buah disusun secara paralel sedemikian rupa sehingga berjarak sama dalam interval lebar kolektor. Dan pelat penyerap juga dibuat dari pelat datar dengan material besi. Pipa-pipa alur dilas dengan pelat penyerap sepanjang kolektor tersebut.

Isolasi sebagai penghalang kehilangan panas dari sisi-sisi samping dan sisi bagian bawah kolektor surya dibuat dengan susunan styrofoam dan triplek dengan ketebalan masing-masing bahan adalah 2 dan 4 cm secara berturut-turut. Sedangkan rangka bagian luar kolektor surya ini dibuat dari kayu. Sifat-sifat material yang digunakan dalam pembuatan kolektor surya ini dan sifat-sifat fluida selama pengujian diambil dari referensi yang ada [3].



Gambar 2. Skema pengujian kolektor surya dengan tabung vakum sebagai penutup kolektornya.

Selama pengujian, kolektor dipasang menghadap ke utara dengan kemiringan  $30^\circ$  terhadap horisontal. Pengujian dilakukan dengan variasi laju alir air sebesar 0,5 kg/menit, 1,0 kg/menit dan 1,5 kg/menit, sedangkan temperatur air masuk kolektor dijaga konstan pada temperatur  $35^\circ\text{C}$ , dengan menggunakan alat pemanas listrik yang dipasang pada tangki penyimpanan air.

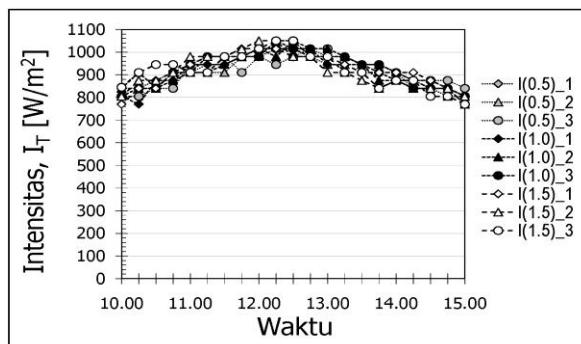
Pada penelitian ini pengujian dilakukan mulai pukul 10.00 sampai pukul 15.00 Wita. Dan untuk masing-masing laju alir air yang direncanakan dilakukan tiga kali pengujian. Untuk menjaga keseragaman tekanan aliran fluida yang masuk ke kolektor, maka level ketinggian air yang akan dipanaskan diatur ketinggiannya dengan membuat lubang pengaman level ketinggian air. Selama pengujian tangki penyimpan diisi air dengan kapasitas tertentu yang dijaga tetap. Adapun skema pengujian dan titik-titik pengukuran selama penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

## 4. Hasil dan Pembahasan

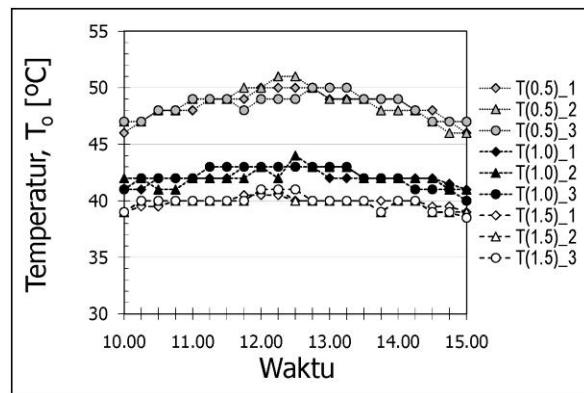
Seperti telah diuraikan pada bagian sebelumnya, bahwa pengujian dilakukan dalam beberapa hari. Dan setiap laju alir air yang diberikan dilakukan pengujian selama tiga kali (tiga hari). Dari hasil pengujian diperoleh bahwa secara umum kisaran untuk intensitas radiasi matahari,  $I_T$ , hampir sama dalam beberapa hari tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Hal ini dapat terjadi karena waktu pengujian yang berdekatan (pengujian dilakukan berturut-turut selama 9 hari untuk laju alir air yang berbeda-beda).

Dengan temperatur laju alir air yang dijaga konstan pada  $35^{\circ}\text{C}$  dan dengan mengasumsikan kondisi udara lingkungan yang juga konstan maka diperoleh variasi temperatur air keluar kolektor untuk masing-masing laju alir air. Tampak bahwa besarnya temperatur air keluar kolektor ini mengikuti kecenderungan besarnya intensitas radiasi matahari yang tersedia, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini dapat terjadi karena memang sumber energi untuk pemanasan air ini adalah energi matahari.

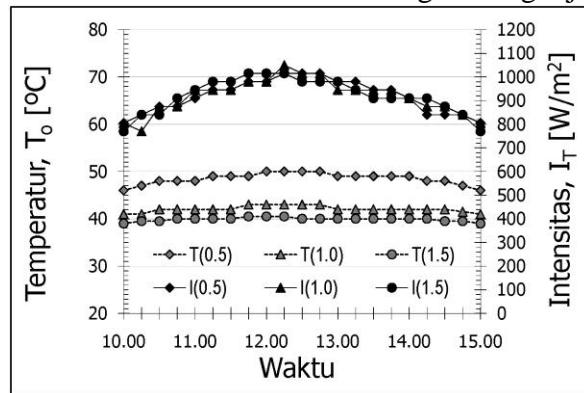
Dari Gambar 4 diperoleh juga bahwa untuk temperatur air masuk kolektor yang sama diperoleh bahwa temperatur air keluar kolektor akan semakin meningkat menjelang siang hari, dan mulai menurun seiring dengan menurunnya intensitas radiasi matahari.



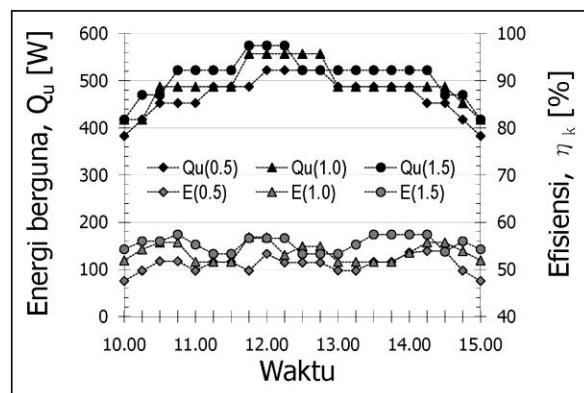
Gambar 3. Variasi intensitas radiasi matahari setiap hari sebagai fungsi waktu.



Gambar 4. Variasi temperatur air keluar kolektor untuk masing-masing laju alir air sebagai fungsi waktu.



Gambar 5. Intensitas radiasi matahari dan temperatur air keluar kolektor untuk masing-masing laju alir air.



Gambar 6. Energi berguna dan efisiensi sesaat pemanasan air untuk masing-masing laju alir air.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa temperatur air keluar kolektor tertinggi dicapai pada laju alir air 0,5 kg/menit yaitu sebesar 51 °C, dan temperatur terendah dicapai pada laju alir air 1,5 kg/menit yaitu sebesar 39 °C. Sedangkan untuk laju alir air 1,0 kg/menit, besarnya temperatur air keluar kolektor yang

dihasilkan berada diantara kedua temperatur air keluar kolektor pada laju alir air yang lain. Hasil tersebut diperoleh pada intensitas radiasi matahari terbesar sesuai dengan hari pengujian untuk masing-masing laju alir air. Untuk memudahkan pembahasan, maka selanjutnya akan ditampilkan data pengujian masing-masing satu set untuk laju alir masa yang berbeda. Seperti tampak pada Gambar 5, bahwa dengan intensitas radiasi matahari yang sama ternyata diperoleh temperatur air keluar kolektor terbesar pada laju alir 0,5 kg/menit, sedangkan temperatur air keluar kolektor terendah adalah pada laju alir air 1,5 kg/menit.

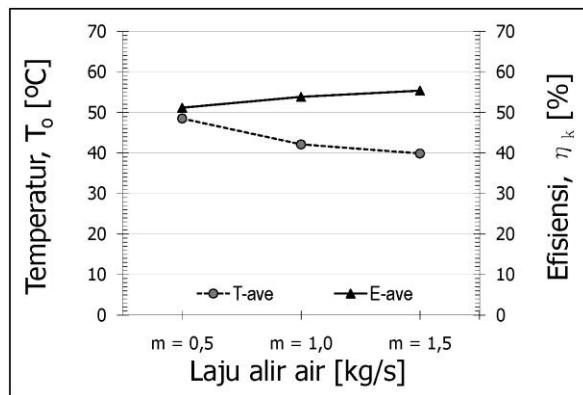
Dengan menggunakan Pers. (1) dan (2) untuk data yang diperoleh selama pengujian dan dengan laju alir air masing-masing, maka diperoleh energi berguna dan efisiensi sesaat pemanasan airnya.

Dari temperatur air keluar kolektor yang diperoleh, maka besarnya energi pemanasan air untuk masing-masing laju alir air dapat dihitung dengan menggunakan Pers. (1). Untuk laju alir air dan temperatur air masuk yang sama, besarnya energi pemanasan air akan merupakan fungsi dari temperatur air keluar kolektor. Sehingga semakin tinggi temperatur air keluar kolektor akan semakin tinggi pula besarnya energi pemanasan air yang mampu diserap oleh air yang mengalir dalam pipa alur.

Secara umum dapat dikatakan pula bahwa, dengan meningkatnya laju alir air maka energi berguna pemanasan air yang diperoleh akan cenderung meningkat pula. Tampak dari Gambar 6, bahwa energi berguna pemanasan air terkecil yang diperoleh adalah pada laju alir air 0,5 kg/menit yaitu sebesar 383,1 W, sedangkan energi berguna pemanasan air yang terbesar diperoleh pada laju air 1,5 kg/menit yaitu sebesar 574,6 W. Akan tetapi, seperti ditunjukkan pula pada Gambar 6, bisa terjadi pada laju alir yang besar yaitu 1,5 kg/menit diperoleh energi berguna pemanasan air yang lebih kecil dibandingkan dengan kedua laju alir air lainnya yang lebih kecil. Hal ini dapat disebabkan karena perubahan intensitas radiasi matahari yang terus terjadi setiap saat sedangkan pengambilan data dilakukan setiap 15 menit sekali membuat data yang diperoleh juga berfluktuasi. Disamping itu pula pengambilan data untuk masing-masing laju alir air pada penelitian ini dilakukan pada hari yang berbeda meskipun seperti sudah diasumsikan diatas bahwa intensitas radiasi matahari yang diperoleh tidak begitu jauh kisarannya, namun hasil sesaat yang diperoleh akan selalu mengikuti kondisi sesaat selama pengujian. Hal inilah yang membuat kecenderungan hasil yang berbeda tersebut. Hasil yang lebih baik mungkin akan diperoleh kalau pengujian dilakukan secara serempak untuk ketiga laju alir air yang diberikan.

Untuk laju alir air yang rendah, energi pemanasan air yang diperoleh juga rendah. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada dasarnya kemampuan pelat penyerap (dan pipa-pipa alur) kolektor masih mampu untuk mentransfer energi panasnya, akan tetapi karena laju alir air yang kecil sehingga hanya sedikit panas pelat penyerap yang mampu dimanfaatkan. Hal ini akan tampak lebih jelas pada laju alir yang besar, dimana dengan intensitas radiasi matahari yang hampir sama namun energi yang mampu dimanfaatkan oleh air akan semakin besar pula sehingga energi berguna yang diperoleh juga akan semakin meningkat.

Perlu dicatat, bahwa pada laju alir air yang semakin besar maka temperatur air keluar kolektor akan semakin kecil, karena beban pemanasan yang besar. Akan tetapi energi pemanasan air yang mampu diserap juga akan semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan melalui Pers. (1), dimana energi pemanasan air juga merupakan fungsi dari laju alir air.



Gambar 7. Temperatur air keluar kolektor dan efisiensi sesaat pemanasan air rata-rata untuk masing-masing laju alir air.

Demikian pula dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan untuk efisiensi sesaat pemanasan airnya. Besarnya efisiensi pemanasan air masing-masing kolektor dapat diperoleh dari besarnya energi pemanasan air dan besarnya intensitas radiasi matahari yang diterima. Efisiensi sesaat pemanasan air terendah diperoleh pada laju alir air sebesar 0,5 kg/menit, dan efisiensi sesaat ini terus meningkat pula seiring dengan meningkatnya laju alir air. Sehingga diperoleh efisiensi sesaat pemanasan air tertinggi diperoleh pada laju alir sebesar 1,5 kg/menit. Sebagai contoh, efisiensi sesaat sebesar 47,6% diperoleh dari hasil perhitungan untuk laju alir air sebesar 0,5 kg/menit, sedangkan efisiensi sesaat sebesar 57,4% diperoleh dari hasil perhitungan untuk laju alir air sebesar 1,5 kg/menit.

Secara umum, dari Gambar 6 tampak bahwa kecenderungan besarnya energi berguna dan efisiensi sesaat pemanasan air yang terbesar diperoleh pada laju alir air sebesar 1,5 kg/menit dan yang terkecil diperoleh pada laju alir air sebesar 0,5 kg/menit. Hasil yang diperoleh ini tampak lebih jelas lagi pada Gambar 7, dimana efisiensi sesaat pemanasan air rata-rata yang diperoleh akan semakin meningkat dengan meningkatnya laju alir air. Dari hasil perhitungan diperoleh untuk laju alir air 0,5 kg/menit, efisiensi sesaat pemanasan air rata-ratanya sebesar 51,2% sedangkan efisiensi sesaat pemanasan air untuk laju alir air 1,0 kg/menit dan 1,5 kg/menit secara berturut-turut adalah sebesar 53,8% dan 55,4%. Namun, perlu dicatat bahwa peningkatan efisiensi sesaat yang diperoleh tersebut tidak bergerak secara linier. Hal ini menunjukkan ada batas tertentu dimana efisiensi sesaat pemanasan air yang dapat diperoleh pada kolektor surya dengan menggunakan tabung vakum sebagai penutup transparannya ini.

Berbeda dengan efisiensi sesaat pemanasan air rata-rata yang diperoleh diatas, seperti tampak pada Gambar 7, bahwa diperoleh temperatur air keluar kolektor rata-rata justru sebaliknya akan menurun dengan meningkatnya laju alir air. Pada kasus ini, temperatur air keluar kolektor rata-rata pada laju alir air 0,5 kg/menit dan 1,5 kg/menit adalah sebesar 48,5 °C dan 39,9 °C secara berturut-turut. Sedangkan untuk laju alir air sebesar 1,0 kg/menit diperoleh temperatur air keluar kolektor rata-rata sebesar 42,1 °C. Perlu dicatat pula bahwa penurunan temperatur yang terjadi juga tidak linier dengan meningkatnya laju alir air.

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, pada kondisi pengujian yang sama, kemampuan masing-masing kolektor untuk memanaskan air yang mengalir dalam pipa alur air adalah sama. Akan tetapi pada laju alir air yang kecil, dalam hal ini 0,5 kg/menit, beban pemanasan menjadi semakin kecil, sehingga energi yang diserap pipa alur hanya dimanfaatkan aliran air dalam jumlah masa yang kecil. Akan tetapi untuk laju alir air yang besar, beban pemanasan akan menjadi lebih besar sehingga temperatur air keluar kolektor akan menjadi menurun.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa temperatur air keluar kolektor tertinggi dicapai kolektor dengan laju alir sebesar 0,5 kg/menit sedangkan temperatur air keluar kolektor terendah terjadi pada laju alir sebesar 1,5 kg/menit. Sebaliknya, dari hasil perhitungan diperoleh bahwa penyerapan energi berguna untuk pemanasan air yang terendah terjadi pada laju alir air yang kecil. Dan dengan semakin meningkatnya laju alir air maka penyerapan energi bergunanya pun akan semakin meningkat. Hasil ini, secara tidak langsung akan menghasilkan efisiensi sesaat pemanasan air yang semakin meningkat pula dengan meningkatnya laju alir air.

Dari hasil yang diperoleh pada penilitian ini menunjukkan bahwa tabung vakum yang digunakan sebagai penutup transparan pada kolektor surya pelat datar dapat memberikan performa kolektor surya yang baik.

## Daftar Pustaka

1. Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 1991.
2. Garg, H.P., dan Prakash, J., *Solar Energy, Fundamentals and Applications*, Tata McGraw Hill, India, 1997.
3. Incropera, F.P., dan DeWitt, D.P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 1996.