

## Pengaruh variasi jenis pasir sebagai media penyimpanan panas terhadap performansi kolektor suya tubular dengan pipa penyerap disusun secara seri

Ketut Astawa<sup>1)\*</sup>, Nengah Suarnadwipa<sup>2)</sup>,

<sup>1,2)</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

### Abstrak

Kolektor surya tubular dengan pipa penyerap yang disusun secara seri dengan menggunakan variasi jenis pasir sebagai media penyimpanan panas dimana fluida kerja yang mengalir pada susunan kolektor surya tubular secara seri mendapat pemanasan yang berulang sepanjang pipa penyerap sehingga diharapkan panas yang diserap oleh fluida lebih maksimal. Rancangan alat uji ini terdiri dari 3 kolektor surya dimana kolektor pertama dengan variasi jenis pasir pantai warna hitam, kolektor kedua dengan variasi jenis pasir pantai warna putih, kolektor ketiga dengan variasi jenis pasir pantai warna hitam mengkilap. Secara keseluruhan kolektor surya ini terdiri dari masing-masing tiga buah modul, dimana setiap modul dari masing-masing kolektor terdiri dari satu buah pipa penyerap. Metode pengujian yang digunakan adalah pengujian experimental terhadap rancang bangun kolektor surya tersebut untuk mendapatkan performansi terbaik dari variasi jenis pasir sebagai media penyimpanan panas. Efisiensi aktual ( $\eta_a$ ) kolektor surya tubular dengan pipa penyerap yang disusun secara seri dengan menggunakan variasi jenis pasir sebagai media penyimpanan panas paling tinggi diperoleh pada kolektor surya tubular dengan variasi jenis pasir pantai warna hitam mengkilap dibandingkan dengan efisiensi aktual ( $\eta_a$ ) kolektor surya tubular dengan variasi jenis pasir pantai warna hitam dan kolektor surya tubular dengan variasi jenis pasir pantai warna putih.

Kata kunci: Kolektor surya tubular yang disusun seri, variasi jenis pasir, efisiensi aktual kolektor

### Abstract

Tubular solar collectors with absorber pipes arranged in series using variations of type of sand as a heat storage medium in which the working fluid flowing in the composition of tubular solar collectors in series get repetitive heating along the pipeline so hopefully absorbing the heat absorbed by the fluid more leverage. The design of this test equipment consists of three solar collectors, the first collector with variations black sand beaches, the second collector with variations white sand beaches, the third collector with variations shiny black sand beaches. Overall solar collector consists of three pieces each of the modules, the module of each collector consists of an absorber pipes. Testing method used was experimental testing of the solar collector design is to get the best performance from variations of type of sand as a heat storage medium. The actual efficiency ( $\eta_a$ ) tubular solar collectors with absorber pipes arranged in series using variations of type of sand as a heat storage medium highest obtained in tubular solar collectors with variations shiny black sand beaches compared to the actual efficiency ( $\eta_a$ ) tubular solar collectors with variations black sand beaches and tubular solar collectors with variations white sand beaches.

Keywords: Tubular solar collectors arranged in series, variations of type of sand, the actual efficiency of the collector

### 1. Pendahuluan

Keunggulan dari energi surya ini dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya adalah tidak bersifat polutif, bersifat terbarukan dan tidak pernah habis. Apalagi Indonesia merupakan daerah tropis yang berada pada daerah khatulistiwa. Semua itu merupakan alasan utama dalam pengembangan dan pemanfaatan energi surya. Kolektor surya tubular adalah kolektor surya berbentuk tabung. Alat ini menggunakan tabung kaca sebagai cover. Cover berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan. Secara umum alat pemanas air energi surya terdiri dari tangki penampung air dan kolektor surya yang berfungsi mengumpulkan radiasi matahari. Prinsip kerja dari alat pemanas air tenaga surya tubular adalah sinar matahari yang menimpa permukaan cover nantinya akan dipantulkan dan sebagian besar diserap dan

ditransmisikan menuju pipa absorber atau penyerap panas, kemudian panas dari absorber akan diteruskan ke air yang mengalir di dalam pipa tersebut, sehingga temperatur air menjadi meningkat. Berdasarkan penelitian Yuda [1] yang menggunakan susunan kolektor surya secara seri, dalam penelitian pengaruh laju aliran massa air terhadap performansi kolektor surya tubular terkonsentrasi dengan pipa penyerap yang dibentuk anulus yang disusun secara seri, temperatur keluar rata-rata fluida dengan pipa penyerap yang disusun secara seri lebih besar dibandingkan dengan pipa penyerap yang disusun secara parallel. Susunan kolektor surya secara seri merupakan kolektor surya dimana pipa penyerapnya disusun dalam satu arah aliran fluida dimana disepanjang pipa penyerapnya tidak ada percabangan. Jika ditinjau dari kapasitas panas rata-rata yang dimiliki pasir, sangat memungkinkan untuk digunakan

\*Korespondensi: Tel./Fax.: 087863052230/62 361 703321

E-mail: awatsa@yahoo.com

©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

sebagai media penyimpan panas, yakni 1,3 kJ/kg.K dan temperatur panas mencapai 300°C (*Survey of Thermal Storage for Parabolic Trough Power Plants*). Penggunaan pasir sendiri bertujuan agar pada saat intensitas radiasi matahari berkurang, pasir diharapkan dapat memanaskan fluida yang mengalir di dalam pipa penyerap. Konduktivitas termal dari beberapa logam dan non logam yang digunakan dalam konstruksi kolektor surya diberikan pada Tabel 1 [2].

Masukan energi dari matahari berubah terhadap waktu dan pada umumnya tidak seirama dengan

kebutuhan, sehingga diperlukan semacam media penyimpan panas. Dalam penerapan yang pasif penyimpan panas dapat juga bertemperatur sangat tinggi, Tabel 2 [3] menunjukkan konduktivitas termal beberapa jenis pasir.

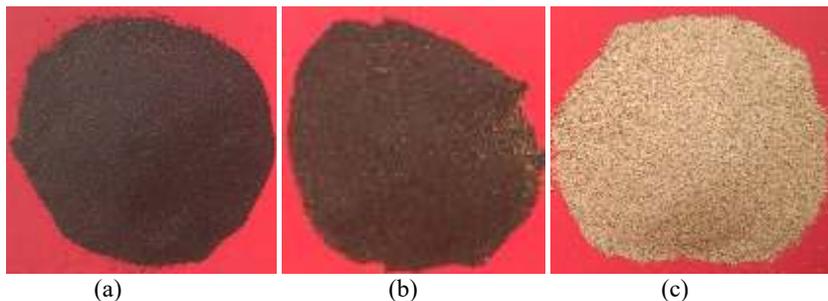
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi kolektor surya tubular ( energy berguna dan efisiensi) dengan pipa penyerap yang disusun secara seri dengan menggunakan variasi jenis pasir sebagai media penyimpanan panas.

Tabel 1. Konduktivitas termal beberapa kolektor surya tertentu

Bahan	Konduktivitas Termal (k) W/(m.K)
Tembaga	385.0
Aluminium	211.0
Timah putih	66.0
Baja, 1% karbon	45.0
Baja tahan Karat	16.0
Kaca	1.05
Akrilik	0.19
ABS (Akrilonitril-Butadien-Stiren)	0.27
Polikarbonat	0.2
Karet alam 30 Durometer	0.14
Karet alam 70 Durometer	0.17
Isolasi papan kaca serat	0.043

Tabel 2. Konduktivitas termal beberapa jenis pasir

Material/Substance	K (W/m.K)
Sand, dry	0,15- 0,25
Sand, moist	0,25-2
Sand, saturated	2-4
Sandstone	1,7



Gambar 1. (a) Pasir warna hitam mengkilap (b) Pasir warna hitam (c) Pasir warna putih

## 2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah pengujian experimental terhadap rancang bangun kolektor surya tersebut untuk mendapatkan unjuk kerjanya apabila kolektor surya tubular tersebut dengan pipa penyerap yang disusun secara seri dengan menggunakan variasi jenis pasir sebagai media penyimpan panas. Pasir yang digunakan adalah pasir pantai warna hitam, pasir pantai warna putih dan pasir pantai warna hitam mengkilap, seperti pada gambar 1. Pasir tersebut ditempatkan pada masing-masing unit kolektor surya.

Tabung kaca dengan ukuran panjang 120 cm dan diameter 5 inch yang setengah bagian bawahnya ditambahkan pasir yang berfungsi sebagai media penyimpan panas. Dalam satu kolektor terdiri dari masing-masing tiga buah modul, seperti pada Gambar 2.

Pipa tembaga yang dicat warna hitam untuk mendapatkan penyerapan panas yang maksimal. Pipa tembaga yang digunakan memiliki diameter dalam 3/4 inch. Pipa-pipa ini akan disusun pada masing-masing unit kolektor surya seperti pada Gambar 3.

Rancangan alat uji seperti gambar 4, terdiri dari 3 kolektor surya dimana kolektor pertama dengan variasi jenis pasir yaitu pasir pantai warna hitam, kolektor kedua dengan variasi jenis pasir yaitu pasir pantai warna putih, kolektor ketiga dengan variasi jenis pasir yaitu pasir pantai warna hitam mengkilap. Secara keseluruhan kolektor surya ini terdiri dari masing-masing tiga buah modul, dimana setiap modul dari masing-masing kolektor terdiri dari satu buah pipa penyerap dengan laju aliran massa fluida sebesar 40 kg/jam. Peneliti menggunakan laju aliran massa

sebesar 40 kg/jam [1] dalam penelitian pengaruh laju aliran massa air terhadap performansi kolektor surya tubular terkonsentrasi dengan pipa penyerap yang dibentuk anulus yang disusun secara seri, didapatkan hasil penelitian bahwa, dari laju aliran massa yang divariasikan, efisiensi kolektor yang paling besar adalah pada laju aliran massa sebesar 40 kg/jam.

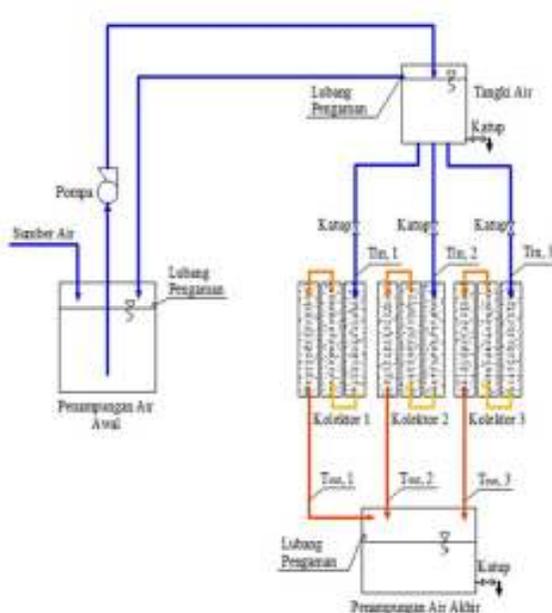
Penempatan pipa fluida di dalam cover dan media penyimpan panas diperlihatkan seperti Gambar 5.



Gambar 2. Tabung kaca sebagai cover



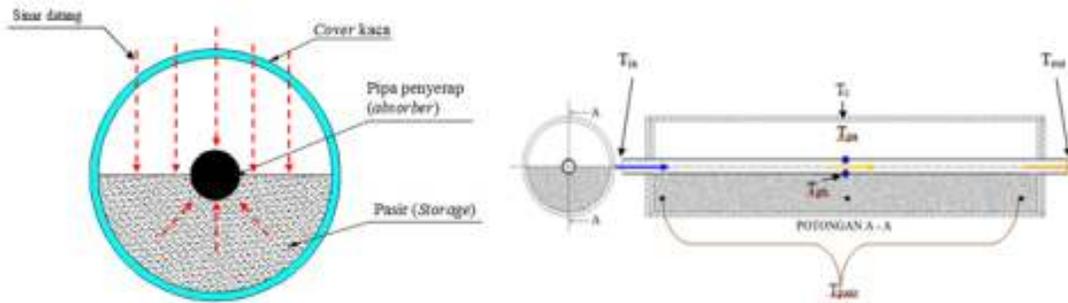
Gambar 3. Pipa absorber



### Keterangan:

1. Intensitas total radiasi matahari ( $I_T$ )
2. Temperatur lingkungan ( $T_a$ )
3. Temperatur masuk kolektor ( $T_{in}$ )
4. Temperatur keluar kolektor ( $T_{out}$ )
5. Kolektor 1 dengan pasir pantai warna hitam
6. Kolektor 2 dengan pasir pantai warna putih
7. Kolektor 3 dengan pasir pantai warna hitam mengkilap

Gambar 4. Rancangan alat uji



Gambar 5. Penempatan pipa penyerap pada kolektor surya tubular

Energi yang berguna dipakai untuk menghitung seberapa besar panas yang berguna yang ditimbulkan kolektor alat pemanas air tenaga surya. Sedangkan efisiensi digunakan untuk menghitung performansi dari kolektor pemanas air tenaga surya. Untuk perhitungan energi yang diserap atau energi yang berguna untuk kolektor pemanas air tenaga surya dapat digunakan persamaan [4]:

$$Q_{u,a} = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (1)$$

$Q_{u,a}$  = panas berguna aktual (W)  
 $\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)  
 $C_p$  = kapasitas panas jenis fluida (J/kg.°C)  
 $T_o$  = temperatur fluida keluar (°C)  
 $T_i$  = temperatur fluida masuk (°C)

Efisiensi kolektor merupakan perbandingan panas yang diserap oleh fluida dan intensitas matahari yang mengenai kolektor. Performansi dari kolektor dapat dinyatakan dengan efisiensi termalnya. Akan tetapi intensitas radiasi matahari berubah terhadap waktu, oleh karena itu efisiensi termal kolektor dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu:

- Pengujian untuk menentukan performansi kolektor.
- Pengujian untuk menentukan performansi sistem secara keseluruhan.

Distribusi temperatur pada arah melintang pipa penyerap tidak merata, maka persamaan efisiensi biasanya dinyatakan sebagai fungsi dari temperatur dan laju aliran massa fluida masuk yang relatif mudah dikontrol dan diukur selama pengujian atau pengoperasiannya. Metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi performansi kolektor adalah Instantaneous efficiency.

Efisiensi aktual ini ditentukan oleh persamaan berikut [4]:

$$\eta_a = \frac{Q_{u,a}}{A_c I_T} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I_T} \quad (2)$$

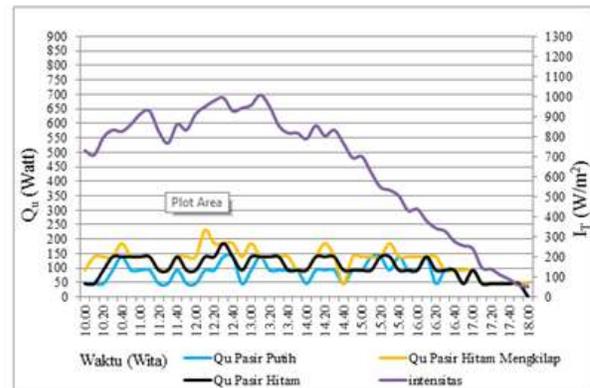
$\eta_a$  = efisiensi aktual  
 $Q_{u,a}$  = panas berguna aktual (W)  
 $A_c$  = luas bidang penyerapan kolektor (m<sup>2</sup>)  
 $\dot{m}$  = laju aliran massa fluida (kg/s)

$I_T$  = radiasi matahari yang jatuh pada bidang kolektor (W/m<sup>2</sup>)  
 $C_p$  = kapasitas panas jenis fluida (J/kg.°C)  
 $T_o$  = temperatur fluida keluar (°C)  
 $T_i$  = temperatur fluida masuk (°C)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Energi Berguna Aktual (Qu,a) Kolektor Surya

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa energi berguna pada kolektor surya dengan media penyimpan panas pasir pantai warna hitam mengkilap memiliki nilai yang paling tinggi, dapat dilihat pada Gambar 6.



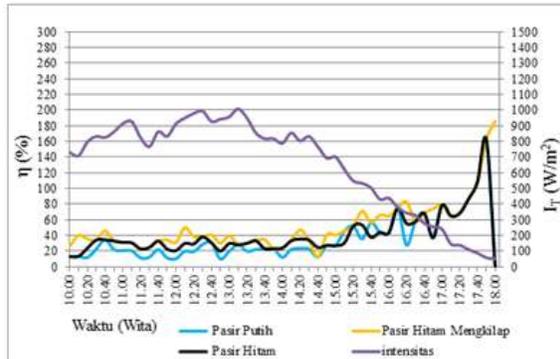
Gambar 6. Grafik Hubungan Intensitas Radiasi Matahari (IT) Dan Energi Berguna (Qu) Terhadap Fungsi Waktu

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa energi berguna aktual (Qu,a) rata – rata kolektor surya tubular dengan variasi media penyimpan panas pasir pantai warna hitam mengkilap lebih tinggi dibandingkan dengan energi berguna rata-rata kolektor surya tubular dengan variasi media penyimpan panas pasir pantai warna hitam dan kolektor surya tubular dengan variasi media penyimpan panas pasir pantai warna putih. Besarnya energi berguna yang dihasilkan oleh kolektor surya tubular berbanding lurus dengan besarnya laju aliran massa fluida, kalor jenis fluida pada tekanan konstan dan perubahan temperatur fluida kolektor. Maka, besarnya energi berguna dipengaruhi oleh selisih antara temperatur fluida masukan kolektor dan temperatur fluida keluaran kolektor. Dengan temperatur fluida keluaran yang

lebih tinggi, maka energi berguna yang dihasilkan juga lebih tinggi.

### 3.2 Efisiensi Aktual Kolektor Surya ( $\eta_a$ )

Dari perhitungan dapat diketahui bahwa kolektor surya tubular dengan variasi media penyimpan panas dengan menggunakan pasir pantai warna hitam mengkilap didapat nilai efisiensi tertinggi.



Gambar 7. Grafik Hubungan Intensitas Radiasi Matahari ( $I_T$ ) Dan Efisiensi Aktual ( $\eta_a$ ) Terhadap Fungsi Waktu

Pada gambar 7 terlihat bahwa efisiensi yang dimiliki oleh kolektor pada saat intensitas matahari turun meningkat bahkan melebihi 100%, hal tersebut terjadi karena temperatur pasir didalam kolektor lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur lingkungan, sehingga intensitas radiasi matahari tidak mampu lagi memindahkan panas ke fluida kerja, sehingga hanya panas dari pasir yang mampu dipindahkan oleh pipa penyerap ke fluida kerja yang mengalir. Besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh kolektor surya tubular berbanding lurus dengan besarnya energi berguna yang dihasilkan kolektor surya tubular tersebut dan berbanding terbalik dengan intensitas radiasi matahari dan luas daerah penyerapan panas pada kolektor surya tubular. Sehingga pada saat intensitas radiasi matahari turun efisiensi kolektor akan meningkat. Dengan intensitas radiasi matahari yang sama, kolektor surya tubular dengan variasi pasir pantai warna hitam mengkilap menghasilkan efisiensi rata-rata tertinggi dibandingkan dengan kolektor surya dengan variasi pasir pantai warna hitam dan kolektor surya dengan variasi pasir pantai warna putih, karena kolektor surya dengan variasi pasir pantai warna hitam mengkilap menghasilkan energi berguna rata-rata tertinggi dan juga dikarenakan pasir pantai warna hitam mengkilap memiliki emisivitas ( $\epsilon = 1$ ) dan massa jenis pasir yang lebih tinggi dibandingkan pasir pantai warna hitam dan pasir pantai warna putih. Sehingga mampu menyerap panas lebih baik dan menyimpan panas lebih baik dibandingkan keduanya. Selain mendapatkan panas dari pasir, pipa absorber juga mendapatkan panas dari radiasi langsung sinar matahari dan

pada kolektor surya tubular dengan menggunakan variasi jenis pasir pantai warna hitam mengkilap, pipa absorber juga mendapatkan panas dari reflektivitas sinar matahari dari logam yang terkandung di dalam pasir pantai warna hitam mengkilap.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi jenis pasir sebagai media penyimpan panas terhadap performansi kolektor surya tubular dengan pipa penyerap yang disusun secara seri dapat disimpulkan temperatur fluida keluar, energi berguna aktual dan efisiensi aktual yang paling tinggi diperoleh pada variasi jenis pasir pantai warna hitam mengkilap.

### Daftar Pustaka

- [1] Yuda, Satria Dharma, 2009, Pengaruh Laju Aliran Massa Air Terhadap Performansi Kolektor Surya Tubular Terkonsentrasi Dengan Pipa Penyerap Yang Dibentuk Anulus Yang Disusun Secara Seri, Skripsi Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali.
- [2] Holman, J. P. alih bahasa E. Jasjfi M. Sc, 1985, Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta.
- [3] [www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html), 29 mei 2015
- [4] Duffie, J. A. and Beckham, W. A. (1991), Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed. Jhon Wiley & Sons, Inc, New York.
- [5] Holman, J. P. alih bahasa oleh Ir. E. Jasjfi M. Sc, (1985), Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta.



**Ketut Astawa** menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana-Bali, kemudian melanjutkan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada tahun 2004, Bidang penelitian yang diminati adalah *Heat transfer* dan Konversi Energi.



**I Nengah Suarnadwipa** menyelesaikan studi S1 di ITS Surabaya tahun 1991, kemudian melanjutkan program magister teknik di Jurusan Teknik Mesin ITB tahun 2000, Bidang penelitian yang diminati adalah Heat Transfer dan Konversi Energi..