

Performance analysis of hybrid PV/T solar collector under the tropical climate conditions of Indonesia

Amrizal^{1,*}, Amrul², Miftahul Aziz³, Adi Suprianto⁴

^{1,2,3}Prodi Magister Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung – Bandarlampung

⁴Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung – Bandarlampung

*Corresponding author: amrizal@eng.unila.ac.id

Abstract. Solar energy can be converted into electrical energy by exciting electrons in photovoltaic *cells*. However, the efficiency of photovoltaic (PV) is only around 12% -18% and more than 80% of the radiation received will be absorbed into heat. The heat absorbed would increase the surface temperature of the photovoltaic module. In fact, every 1 °C temperature increase of the surface temperature, the electricity efficiency would decline by approximately 0.5%. In an effort to stabilize the surface temperature, solar thermal collector is needed to be attached under the surface of the PV. This type of collector is well known as a Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) collector. This study aims to determine the performance of Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) solar collector which is performed under the tropical climate of Indonesia. Solar collector test method (European Norm-EN 12975) was used to characterize the thermal performance of PV/T collector under indoor system using a solar simulator. In term of electrical *efficiency*, it was measured by the ability of the PV/T collector to convert sunlight into electricity. The results indicate that if the percentage of increase in fluid mass flow rate is about 30%, the maximum percentage of increase is 45 % in thermal losses and 51% in pressure drop, respectively. In addition, the PV/T collector increase in electrical efficiency is 2.5% in comparison with PV collector only.

Abstrak. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui penggunaan sel surya (*photovoltaic cell*). Akan tetapi efisiensi *photovoltaic* hanya berkisar 12%-18% dimana lebih dari 80% radiasi yang diterima akan diserap menjadi panas. Energi panas ini akan meningkatkan temperatur permukaan *photovoltaic* sehingga mengurangi efisiensi listrik sebesar 0,5% setiap peningkatan temperatur permukaan photovoltaic (PV) 1 °C. Sebagai upaya untuk menstabilkan temperatur permukaan photovoltaic tersebut maka dibutuhkan kolektor termal surya yang ditempelkan dibawah permukaan PV. Jenis kolektor ini dikenal dengan kolektor *hybrid photovoltaic thermal* (PV/T). Sementara itu iklim lingkungan yang berbeda akan berpengaruh terhadap unjuk kerja suatu kolektor PV/T. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja kolektor surya *hybrid photovoltaic thermal* (PV/T) aliran serpentin yang dikarakterisasi pada iklim tropis Indonesia. Pengujian unjuk kerja termal mengikuti standar EN 12975 sistem indoor menggunakan solar simulator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran massa fluida 30% memberikan peningkatan yang paling maksimum untuk parameter rugi-rugi termal dan pressure drop masing-masing 45% dan 51%. Sementara itu efisiensi listrik mengalami peningkatan sebesar 2.5% jika dibandingkan dengan efisiensi listrik kolektor PV tanpa kolektor termal.

Keywords: Kolektor *Hybrid Photovoltaic Thermal* (PV/T), laju aliran massa, termal.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Energi matahari atau energi surya merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan. Energi ini memiliki ketersediaan yang sangat melimpah, ramah lingkungan serta bebas polusi [1]. Matahari memancarkan energi yang sangat besar, dimana energi tersebut dapat diterima oleh permukaan bumi mencapai lebih dari 1000 W/m²[2].

Potensi energi surya yang besar ini diantaranya dapat dimanfaatkan atau diubah menjadi energi listrik dan termal. Energi listrik dapat diperoleh

dengan menggunakan sel surya (*photovoltaic cell*). Akan tetapi *photovoltaic* ini hanya mampu mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan efisiensi 12 - 18% dan lebih dari 80% energi radiasi matahari tersebut akan diserap atau diubah menjadi energi panas [3].

Energi panas yang diterima secara terus menerus akan menyebabkan kenaikan temperatur permukaan pada *photovoltaic*. Akibatnya, *photovoltaic* akan mengalami penurunan efisiensi elektrik sebesar 0,5 % pada setiap kenaikan temperatur 1 °C [4].

Sebagai upaya untuk menstabilkan temperatur permukaan *photovoltaic* maka perlu direkatkan atau

ditempelkan sebuah kolektor termal dibawah permukaan *photovoltaic*. Salah satu kolektor yang dapat digunakan secara baik adalah kolektor termal surya pelat datar aliran serpentin [5]. Kolektor jenis ini dapat menyerap panas berlebih pada permukaan *photovoltaic* [2].

Penggabungan antara *photovoltaic cell* dengan kolektor termal surya (*solar thermal collector*) disebut sebagai sistem hybrid *Photovoltaic Thermal (PV/T)*. Sistem hybrid ini akan menyerap energi panas yang tidak bermanfaat dari *photovoltaic*. Penyerapan energi akan lebih efisien bila dibandingkan dengan *photovoltaic* atau kolektor surya yang digunakan secara terpisah [6,7]. Sementara itu unjuk kerja kolektor ini juga dipengaruhi oleh iklim lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, kecepatan dan kelembaban udara serta kondisi awan.

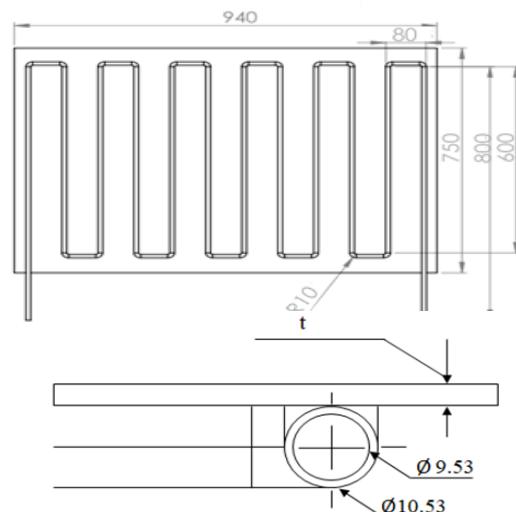
Data desain dan hasil pengujian unjuk kerja kolektor surya PV/T yang berkaitan dengan daerah ekuator termasuk Indonesia masih belum banyak dipublikasikan. Berkaitan dengan hal ini sangat diperlukan penelitian dan pengembangan tentang unjuk kerja kolektor surya hybrid *Photovoltaic thermal (PV/T)* yang dikarakterisasi berdasarkan iklim tropis Indonesia.

Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan perancangan dan pembuatan kolektor hybrid PV/T pelat datar dan kemudian dilanjutkan dengan proses pengujian unjuk kerja. Pengolahan dan analisa data dilakukan untuk mengetahui kinerja kolektor yang dikarakterisasi berdasarkan iklim tropis Indonesia.

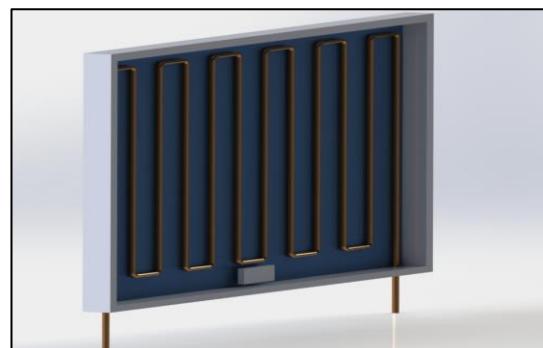
1. Desain Kolektor Surya PV/T Pelat Datar

Gambar hasil rancangan kolektor surya pelat datar dengan tipe aliran *serpentine* terlihat pada Gambar 1. Desain *kolektor termal* ini menggunakan pipa tembaga dengan diameter dalam 9.53 mm dan diameter luar 10.53 mm serta sambungan *elbow 90°*. Jarak antara pipa 80 mm dengan panjang total pipa adalah 7 m. Pelat datar sebagai bahan absorber menggunakan bahan tembaga dengan ketebalan 2 mm dan panjang 940 mm serta lebar 750 mm.



Gambar 1. Desain absorber terdiri dari pipa dan pelat datar

Komponen-komponen absorber tersebut yang terdiri dari pipa dan pelat dirakit dengan susunan seperti terlihat pada Gambar 2. Pelat dan pipa absorber direkatkan atau ditempelkan pada bagian bawah permukaan panel PV untuk menjadi kolektor PV/T.



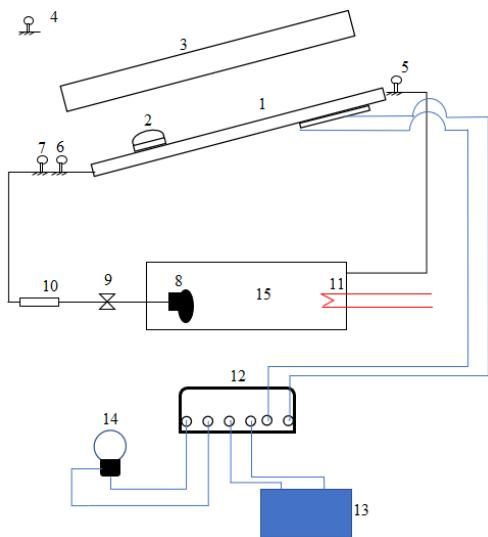
Gambar 2. Hybrid photovoltaic thermal (PV/T)

2. Pengujian Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T)

Pengujian unjuk kerja termal dilakukan berdasarkan standar pengujian EN 12975-2. Standar ini dipublikasikan oleh Komite Standarisasi Eropa (*Comite Europeen de Normalization-CEN*) pada tahun 2001 dan direvisi pada tahun 2006.

Proses pengujian dilakukan di dalam laboratorium menggunakan *solar simulator*. Skema pengujian dapat dilihat pada Gambar 3. Tiga variasi laju aliran massa fluida diaplikasikan mulai dari 0.005 kg/s, 0.010 kg/s dan 0.015 kg/s. Setiap variasi laju aliran massa dilakukan pengambilan data sebanyak 4 kali sesuai dengan standar pengujian EN 12975. Tahapan pengukurannya adalah sebagai berikut:

- a. Pengukuran temperatur fluida masuk (T_{in}) dari kolektor PV/T ($^{\circ}C$)
- b. Pengukuran laju aliran massa fluida \dot{m} (kg/s)
- c. Pengukuran energi radiasi pada *solar simulator*, menggunakan *solar power meter*.
- d. Pengukuran temperatur fluida keluar (T_{out}) dari kolektor PV/T ($^{\circ}C$)
- e. Pengukuran temperatur udara lingkungan ($^{\circ}C$)
- f. Pengukuran temperatur permukaan pada *photovoltaic* ($^{\circ}C$)
- g. Pengukuran tegangan *photovoltaic* (PV) (V)
- h. Pengukuran arus keluar *photovoltaic* (PV) (A)



Gambar 3. Skema rangkaian pengujian kolektor PV/T

Keterangan:

1. *Kolektor Hybrid (PV/T)*
2. *Solar power meter*
3. *Solar simulator*
4. *Digital thermometer*
5. *Outlet temperature*
6. *Inlet temperature*
7. *Pressure gauge*
8. *Pompa sirkulasi*
9. *Katup*
10. *Flow meter*
11. *Heater*
12. *Control charger*
13. *Accu*
14. *Lampu*

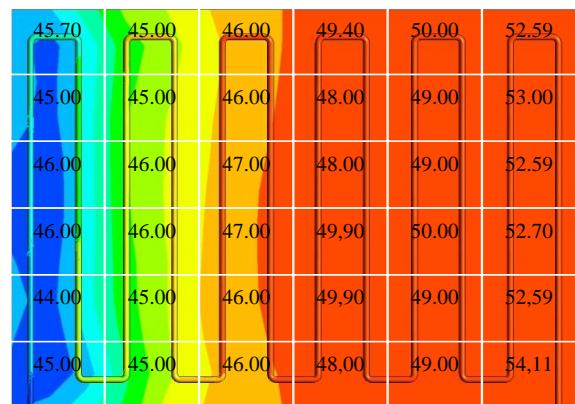
Hasil dan Pembahasan

Pengujian kolektor PV/T telah dilakukan dan data ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik dan tabel. Hasil dan pembahasan dapat diuraikan sebagai berikut:

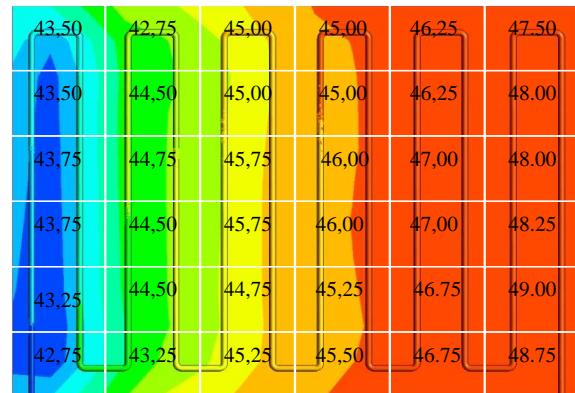
1. Distribusi temperatur permukaan *photovoltaic*

Gambar 4,5 dan 6 merupakan salah satu contoh hasil pengujian menjelaskan tentang distribusi temperatur pada permukaan PV dimana terjadi perbedaan nilai temperatur antara bagian daerah

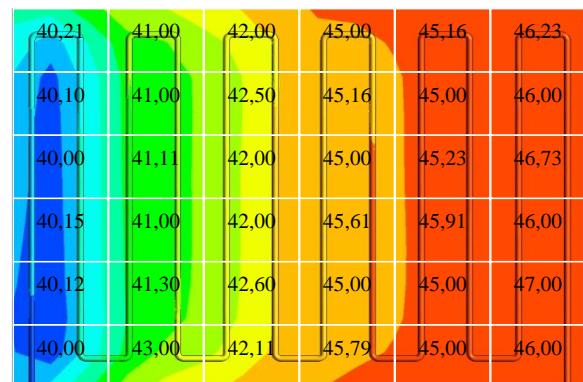
kedua (fluida masuk), tengah dan kanan (fluida keluar).



Gambar 4. Distribusi temperatur permukaan *photovoltaic* dengan laju aliran fluida 0,005 kg/s



Gambar 5. Distribusi temperatur permukaan *photovoltaic* dengan laju aliran fluida 0,010 kg/s

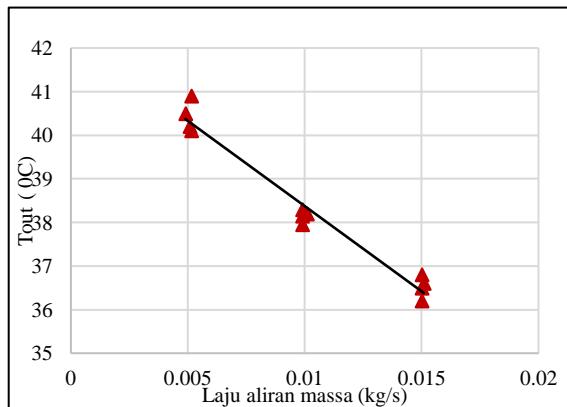


Gambar 6. Distribusi temperatur permukaan *photovoltaic* dengan laju aliran fluida 0,015 kg/s

Distribusi temperatur yang terjadi ini disebabkan karena adanya perbedaan laju perpindahan panas antara fluida dengan komponen absorber. Waktu yang lebih lama dibutuhkan oleh fluida kerja untuk mencapai daerah paling ujung dari kolektor PV

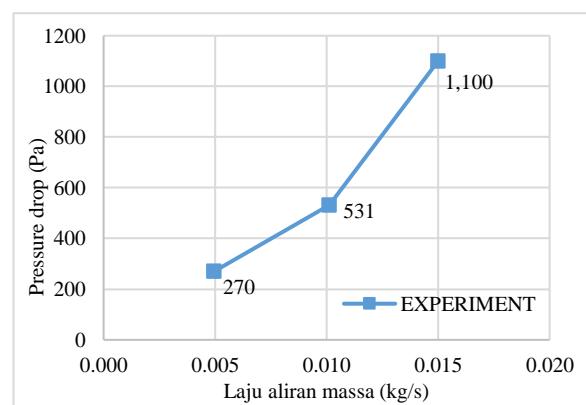
sehingga terjadi proses perpindahan panas yang lebih lama antara permukaan PV dengan fluida kerja tersebut. Kondisi ini menyebabkan fluida di daerah bagian keluar kolektor tersebut mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan daerah sebelumnya (kiri dan tengah). Disamping itu semakin tinggi laju aliran fluida maka temperatur rata-rata permukaan kolektor PV/T semakin rendah karena terjadi peningkatan laju perpindahan panas antara absorber dengan fluida kerja. Perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 4,5 dan 6 dimana laju aliran fluida yang lebih besar mempunyai luas daerah bertemperatur tinggi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan fluida untuk menyerap panas memberikan kontribusi yang cukup signifikan sehingga temperatur permukaan PV dapat menjadi lebih rendah dan terjadi peningkatan kinerja atau efisiensi listrik dari PV seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Begitu juga kondisi yang sama dialami oleh aliran fluida dari kolektor PV/T. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 7 yang menjelaskan pengaruh laju aliran massa fluida terhadap temperatur keluar fluida yang identik dengan kondisi perubahan temperatur yang terjadi pada permukaan PV.



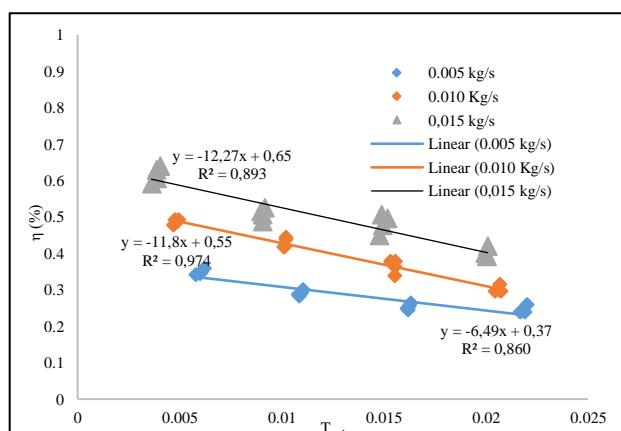
Gambar 7. Grafik pengaruh laju aliran massa terhadap temperatur fluida keluar.

Fluida yang berkontak dengan pipa akan menyerap panas lebih cepat dengan laju aliran massa yang lebih besar.



Gambar 8. Grafik pengaruh variasi laju aliran massa terhadap *pressure drop*.

Namun kenaikan laju aliran massa yang tinggi berdampak kepada *pressure drop* yang terjadi seperti dijelaskan pada Gambar 8. Pada laju aliran massa terendah yaitu 0,005 kg/s nilai *pressure drop* pada pengujian yang dilakukan adalah sebesar 270 Pa. Sedangkan ketika laju aliran massa ditingkatkan menjadi 0,0150 kg/s maka nilai *pressure drop* yang terjadi ikut naik yaitu sebesar 531 Pa (kenaikan 49%). Sama halnya untuk nilai *presure drop* pada laju aliran massa 0,015 kg/s terus meningkat signifikan yaitu 1100 Pa. Dengan kenaikan laju aliran massa tiga kali lipat maka *pressure drop* yang terjadi menjadi empat kali lebih tinggi. Laju aliran massa yang besar akan berakibat pada tingginya *pressure drop* (ΔP) yang akan dialami oleh aliran fluida. *Pressure drop* (ΔP) yang tinggi akan berakibat pada peningkatan kinerja pompa yang dibutuhkan sehingga biaya energi yang dikeluarkan akan menjadi lebih mahal.



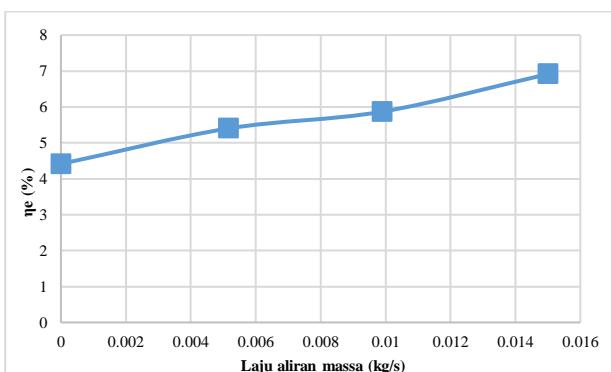
Gambar 9. Grafik hubungan antara efisiensi dan rugi-rugi kalor.

Gambar 9 menjelaskan hubungan efisiensi dan temperatur reduksi (T_{red}) dimana pada ketiga laju aliran massa yang berbeda diperoleh perbedaan nilai unjuk kerja rugi-rugi panas dan efisiensi termal.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai koefisien rugi-rugi termal meningkat dengan penambahan laju aliran massa begitu juga hal yang sama terjadi untuk nilai efisiensi zero.

2. Efisiensi Listrik Photovoltaic

Berdasarkan Gambar 10, efisiensi maksimal daya elektrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic* mencapai 7 % yang diuji dengan iklim tropis seperti Indonesia. Terjadi peningkatan kinerja listrik disebabkan pada saat aliran massa fluida tertinggi 0.015 kg/s maka penyerapan panas yang ada di permukaan *photovoltaic* ke fluida berlangsung lebih cepat, sehingga temperatur pada permukaan *photovoltaic* menjadi lebih rendah. Kondisi ini akan menstabilkan bahkan dapat meningkatkan efisiensi PV.



Gambar 10. Pengaruh laju aliran massa pada absorber terhadap efisiensi elektrik (η_e) photovoltaic

Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa penggunaan fluida kerja yang berfungsi untuk menyerap panas pada permukaan PV/T. Proses ini mampu meningkatkan efisiensi listrik *photovoltaic* mencapai 7% dibandingkan *photovoltaic* tanpa kolektor termal dimana PV tersebut yang hanya memiliki efisiensi listrik sebesar 4.5%.

Selain itu dari grafik pengaruh laju aliran massa terhadap efisiensi listrik terlihat semakin tinggi laju aliran massa, maka semakin tinggi efisiensi listrik yang dihasilkan oleh *photovoltaic*. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak kalor di permukaan kolektor PV/T yang ikut diserap oleh air pendingin kolektor. Temperatur permukaan *photovoltaic termal* lebih rendah dibandingkan dengan permukaan *photovoltaic* tanpa kolektor termal.

Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian kinerja kolektor surya *hybrid PV/T* berdasarkan iklim tropis Indonesia, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan laju aliran massa fluida 30% memberikan peningkatan nilai tertinggi untuk parameter rugi-rugi termal dan pressure drop masing-masing 45 % dan 51%.
2. Efisiensi elektrikal mengalami peningkatan sebesar 2.5 % dari efisiensi *photovoltaic* tanpa kolektor *thermal*.

Penghargaan

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Lampung yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini.

Referensi

- [1] Biro Perencanaan dan Kerja Sama, 2015. *Renstra KESDM 2015-2019*. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral.
- [2] Duffie, J.A. dan W.A. Beckman. 1980. *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley and Sons.
- [3] Agrawal, B. and Tiwari, G.N. 2010. Optimizing the Energy and Exergy of Building Integrated Pv thermal (BIPVT) Systems Under Cold Climatic Conditions.
- [4] Chow, T.T. Hand, J.W dan Strachan, P.A. 2003. Building Integrated PV and Thermal Application in A Subtropical Hotel Building. doi.org/10.1016/S1359-4311(03)00183-2.
- [5] Allan, James. D. Zahir dan Mauricette. 2015. Performance Testing Of Thermal and Photovoltaic Thermal Solar Collectors. Inggris: School of Engineering and Design Brunel University
- [6] Mojiri, A. et al. 2013. Spectral Beam Splitting for Efficient Conversion of Solar Energy. A Review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pages 654–663. doi:10.1016/j.rser.2013.08.026.
- [7] X. A. Wang and L.G. Wu, 1990, “Analysis And Performance of Flat-Plat Solar Collector Arrays”, *International Journal of Solar Energy* Vol. 45, NO. 2. PP. 71-78.