

## Pengaruh Penambahan Modul Termoelektrik Generator Pada Daya Keluaran Hybrid Solar Cell

Nandy Putra, Wayan Nata Septiadi, Annisa Nurulianthy

Laboratorium Perpindahan Kalor, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI- Depok  
E-mail: [nandyputra@eng.ui.ac.id](mailto:nandyputra@eng.ui.ac.id), [wayan.nata@gmail.com](mailto:wayan.nata@gmail.com)

### Abstrak

Energi tidak lepas dari kehidupan makhluk hidup. Dalam menjalankan aktivitas sehari-hari makhluk hidup membutuhkan energi. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara mendominasi konsumsi energi hingga mencapai total 97%, sedangkan pemakaian energi terbarukan yang terdiri atas air dan panas bumi hanya mencapai 3% pada tahun 2008. Selain itu, eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan juga berdampak pada rusaknya lingkungan terutama membesarnya lubang pada lapisan ozon yang melindungi bumi dari panas dan bahaya radiasi matahari. Untuk itu, pengembangan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan perlu dilakukan demi terpenuhinya kebutuhan energi dan kelangsungan hidup tumbuhan, hewan, dan manusia. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif baik radiasi maupun termalnya untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari. Salah satu alat yang dapat digunakan adalah hybrid solar cell yang mengonversikan radiasi matahari menjadi listrik menggunakan solar cell dan dikombinasikan dengan modul termoelektrik untuk mengonversikan kalor matahari menjadi daya listrik tambahan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi matahari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penambahan modul termoelektrik yang diletakkan di bawah plat *photovoltaic* terhadap peningkatan keluaran daya listrik dari solar cell dan untuk mengetahui perbandingan daya output yang dihasilkan antara solar *cell* biasa dengan hybrid solar *cell*. Penelitian ini dilakukan pengujian terhadap rangkaian seri, parallel, seri-paralel dari susunan modul termoelektrik yang akan memberikan hasil paling optimal dan jarak antara *prototype hybrid* solar cell terhadap sumber energi sebesar 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55 cm, dan 60 cm dan kemudian membandingkan besarnya keluaran tegangan dan daya yang dihasilkan dari hybrid solar cell dengan solar *cell*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian seri memberikan daya terbesar dengan jarak optimal 60cm. Pengujian ini juga menunjukkan bahwa hybrid solar *cell* dapat menghasilkan 8,75% kali lipat daya listrik yang lebih besar daripada solar *cell* biasa dan peningkatan ini diperkirakan dapat lebih besar dengan penggunaan alat pendingin yang lebih baik dari kinerja heat sink.

**Kata kunci:** *Hybrid solar cell*, modul termoelektrik, generator termoelektrik, solar cell.

### Pendahuluan

Energi tidak lepas dari kehidupan makhluk hidup dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi. Akan tetapi, tidak semua sumber energi yang dimanfaatkan dapat diperbarui sehingga suatu saat sumber energi ini akan habis, seperti halnya energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang berasal dari sumber daya fosil seperti batu bara dan minyak bumi yang terjadi akibat adanya penimbunan fosil selama berjuta tahun lamanya. Ironisnya, energi fosil inilah yang paling banyak digunakan [1,-3]. Energi fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batu bara mendominasi konsumsi energi hingga mencapai total 97%, sedangkan pemakaian energi terbarukan yang terdiri

atas air dan panas bumi hanya mencapai 3% pada tahun 2008. Selain itu, eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan juga berdampak pada rusaknya lingkungan terutama membesarnya lubang pada lapisan ozon yang melindungi bumi dari panas dan bahaya radiasi matahari. Untuk itu, pengembangan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan perlu dilakukan demi terpenuhinya kebutuhan energi dan kelangsungan hidup tumbuhan, hewan, dan manusia.

Salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah energi matahari. Matahari memancarkan energinya melalui radiasi setiap saat tanpa henti. Energi matahari merupakan energi yang cukup mudah didapat terutama di Indonesia yang merupakan negara tropis.

Penggunaan energi ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan radiasi cahaya dan panasnya. Saat ini cukup banyak *solar cell* dan *solar collector* yang telah ditemukan dan beredar di pasaran. Bahkan pada beberapa tahun terakhir, pemanfaatan *solar cell* dan *solar collector* digabung sehingga menghasilkan *hybrid solar cell* yang dapat memanfaatkan radiasi cahaya dan panas matahari sekaligus.

Pada *solar cell* biasa, hanya radiasi matahari saja yang dimanfaatkan melalui *photovoltaic* untuk menghasilkan listrik. Sayangnya, panas dari matahari tidak dimanfaatkan. Sedangkan pada pemanfaatan *solar thermal* biasa, hanya panas matahari saja yang diserap untuk kemudian dimanfaatkan sebagai sumber panas yang dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga dan industri. Padahal matahari mengandung kedua unsur tersebut, yaitu radiasi cahaya dan panas, sehingga sayang sekali jika energi yang digunakan hanyalah salah satu unsur tersebut.

Oleh karena itu, dilakukanlah penggabungan pemanfaatan kedua jenis energi ini yang biasa disebut dengan pemanfaatan melalui PV/Thermal (*Photo voltaic/Thermal*) dimana PV/Thermal ini akan menghasilkan listrik dari pemanfaatan radiasi melalui *solar cell* dan panas yang dapat dibangkitkan dari *solar thermal* [4-8].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah dengan penambahan termoelektrik pada bagian bawah *solar cell* akan meningkatkan daya keluaran dari *solar cell*.

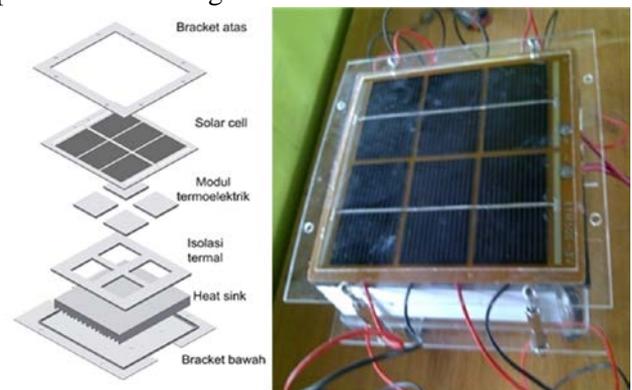
## Metodologi Penelitian

### Prototipe Hybrid Solar Cell

Gambar 1 memperlihatkan prototipe *hybrid solar cell* merupakan susunan dari beberapa komponen utama, yaitu satu plat *solar cell* atau *photovoltaic*, empat buah modul termoelektrik, *heat sink*, *bracket*, mur dan baut sebagai penguat rangkaian prototipe, serta isolator termal berupa karet. *Solar cell* yang digunakan, merupakan plat *photovoltaic* dengan tipe ETM500-3V berukuran 13,5 cm x 12 cm. *Solar cell* ini mampu memberikan perbedaan potensial yang dapat mencapai tegangan sekitar 3 Volt. *Solar cell* ini berfungsi untuk menghasilkan listrik dari penyerapan sinar matahari oleh plat *photovoltaic*.

Empat buah modul termoelektrik berukuran 40 x 40 mm dipasang pada bagian bawah plat *solar cell*. Modul termoelektrik ini berfungsi sebagai generator atau penghasil listrik akibat terjadinya perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik. Modul termoelektrik akan menghasilkan arus listrik searah (DC) yang besarnya sesuai dengan perbedaan temperatur antara kedua sisinya dan bergantung pada nilai *Seebeck* yang dimiliki oleh modul termoelektrik tersebut.

Di bawah plat *solar cell* juga diletakkan isolator termal di antara modul termoelektrik. Isolator ini bertujuan untuk menjaga agar panas dari plat *solar cell* tetap terpusat pada modul termoelektrik, mengurangi *heat loss* terhadap lingkungan, dan mengisi ruang kosong pada bagian bawah *solar cell* sehingga modul termoelektrik tidak goyang atau lepas. Isolator termal pada prototipe ini terbuat dari karet yang dipotong hingga berukuran sebesar plat *solar cell* dengan lubang berbentuk kotak yang berukuran sesuai dengan modul termoelektrik di tengahnya sebagai tempat untuk modul termoelektrik. *Heat sink* aluminium berukuran 135 x 120 x 50 mm diletakkan di bawah sisi dingin modul termoelektrik dengan jarak *pitch* 10 mm. *Heat sink* ini digunakan sebagai *fin* untuk membuang panas dari sisi dingin modul termoelektrik.

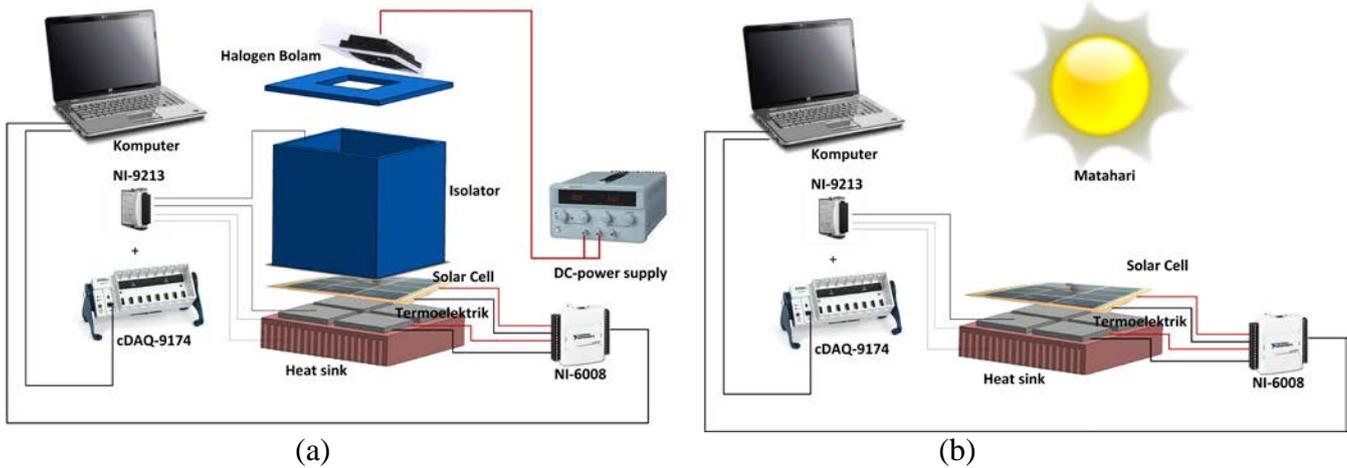


Gambar 1 Prototipe Hybrid Solar Cell

### Skematik Pengujian

Pengujian *hybrid solar cell* dilakukan melalui simulasi menggunakan lampu halogen dan pengujian dilapangan dengan sinar matahari. Pengujian dilakukan dengan meletakkan beberapa thermocouple tipe K pada bagian sisi panas dan sisi dingin modul termoelektrik serta bagian *heat sink* dimana thermocouple dihubungkan dengan data akuisisi (cDAQ-9174 + module NI 9213). Data tegangan (V) dan arus (I) yang di hasilkan oleh oleh solar cell dan termoelektrik di ukur menggunakan module NI 6008. Data temperature, tegangan dan arus diolah pada komputer dengan menggunakan software Labview.

Untuk mengurangi panas yang terbuang pada pengujian dengan menggunakan simulasi lampu halogen maka digunakan isolator berupa stearoform dengan pnajang atau jarak yang divariasikan dari 40 cm, 45 cm, 50 cm, 55, cm dan 60 cm dengan sudut pengujian  $0^\circ$  dan  $22^\circ$ . Pembebanan lampu dikontrol melalui DC-power supply pada pembebanan 20 Watt dan 50 Watt. Rangkaian termoelektrik juga divariasikan pada susunan seri, parallel dan seri-paralel. Adapun skematik pengujian dapat dilihat pada gambar 2. Daya keluaran hybrid solar cell dihitung berdasarkan penggabungan antara daya keluaran solar cell dengan daya keluaran termoelektrik [9,10].

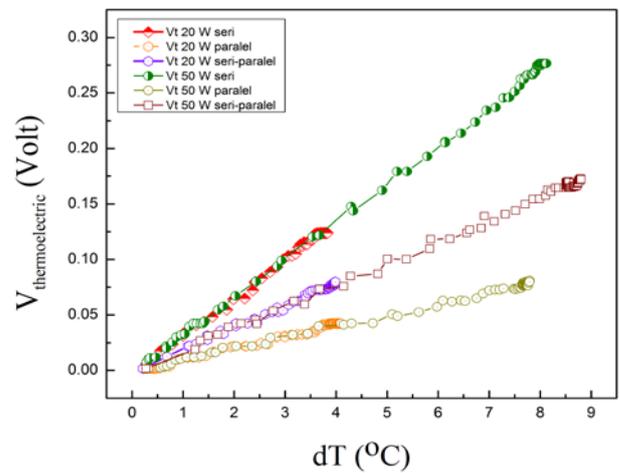


Gambar 2. Skematik pengujian *hybrid solar cell* (a) dengan simulasi lampu halogen, (b) kondisi lapangan

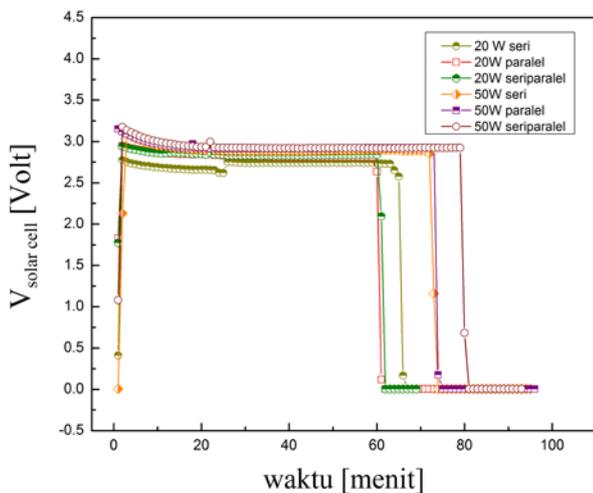
**Hasil dan Pembahasan**

**Pengujian dengan simulasi lampu halogen**

Gambar 3 dan 4 memperlihatkan besarnya tegangan yang dihasilkan oleh solar cell dalam waktu tertentu pada pembebanan oleh lampu sebesar 20 W dan 50 W yang disusun secara seri, paralel dan seri-paralel. Tegangan yang dihasilkan oleh solar cell memiliki nilai maksimal pada rangkaian termoelektrik yang disusun secara seri-paralel, akan tetapi besarnya tegangan yang dihasilkan pada termoelektrik pada rangkaian seri yakni pada pembebanan oleh lampu sebesar 50 W. Akan tetapi Bada temperature ( $\Delta T$ ) paling besar terdapat pada rangkaian termoelektrik yang disusun secara seri-paralel yakni pada tegangan 0.17 Volt dapat mencapai beda temperature sebesar 9°C.



Gambar 4 Tegangan keluaran pada termoelektrik



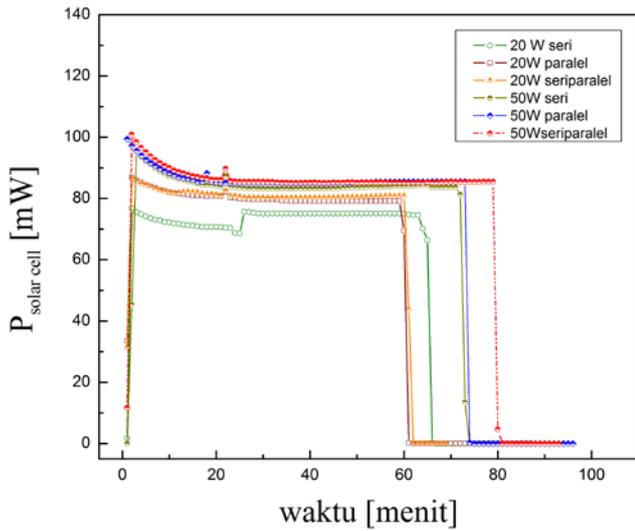
Gambar 3 Tegangan keluaran solar cell

Tegangan keluaran yang dihasilkan oleh solar sel maupun termoelektrik akan berpengaruh terhadap daya keluaran dari solar cell dan daya keluaran dari termoelektrik. Dari gambar 5 dan 6 dapat kita amati bahwa daya solar cell terbesar dihasilkan pada rangkaian termoelektrik seri-paralel. Begitu pula dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh termoelektrik karena tegangan terbesar dihasilkan oleh rangkaian seri maka daya keluaran termoelektrik otomatis menjadi paling besar pada rangkaian tersebut akan tetapi beda temperature yang paling besar tetap dihasilkan oleh rangkaian termoelektrik yang disusun secara seri-paralel.

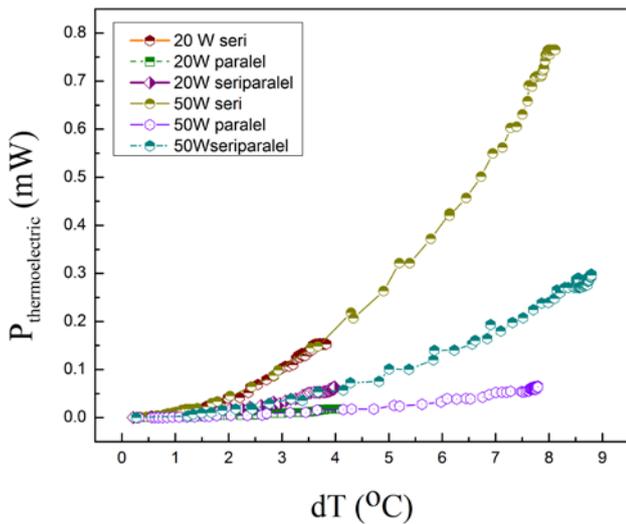
Hal tersebut diatas berdampak pada daya total (daya hybrid solar cell) yang dihasilkan, dimana pada gambar 7 dapat kita amati bahwa daya total yang dihasilkan oleh hybrid solar cell memiliki nilai maksimal pada rangkaian seri paralel. Adanya drop temperatur pada menit ke 80 diakibatkan oleh pembebanan lampu sebesar 50 W dimana heat sink

pada kondisi tersebut tidak lagi mampu bekerja secara maksimal untuk membuang panas dari bagian sisi panas termoelektrik.

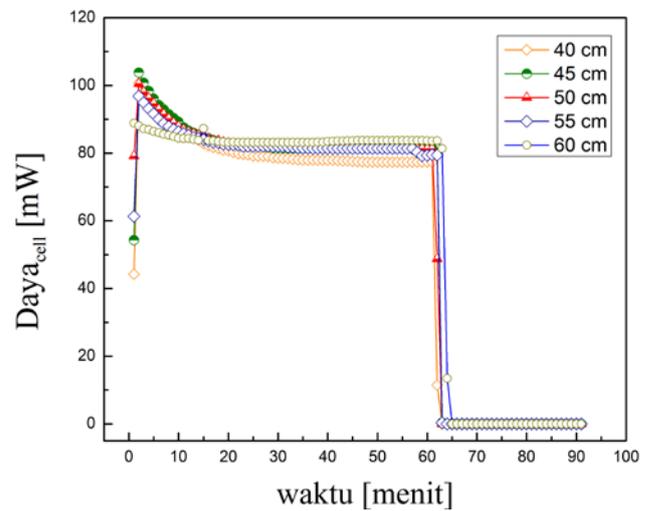
Pada variasi jarak lampu seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 dan 9. Dari gambar dapat diamati bahwa semakin dekat jarak lampu maka besarnya daya yang dihasilkan oleh solar cell juga semakin besar hal ini sebanding dengan beda temperatur yang terjadi pada termoelektrik. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa jarak 60 cm memberikan daya keluaran pada solar cell paling stabil dimana drop daya yang terjadi paling rendah hal ini dikarenakan dengan jarak 60 cm heat sink masih mampu untuk membuang kalor pada sisi panas termoelektrik dibandingkan dengan besarnya panas yang diberikan oleh lampu pada jarak tersebut. Sedangkan daya termoelektrik maksimal diberikan pada jarak 40 cm akan tetapi pada jarak 60 cm daya yang dihasilkan juga hampir mendekati jarak 40 cm. Semakin dekat jarak pengujian, maka panas buang yang terjadi semakin berkurang.



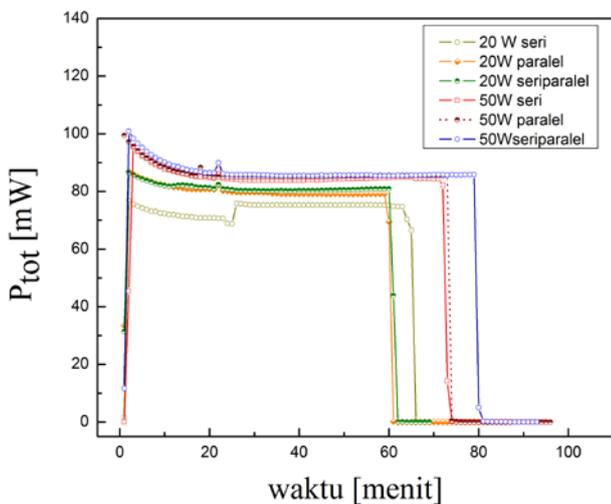
Gambar 5 Daya keluaran solar cell



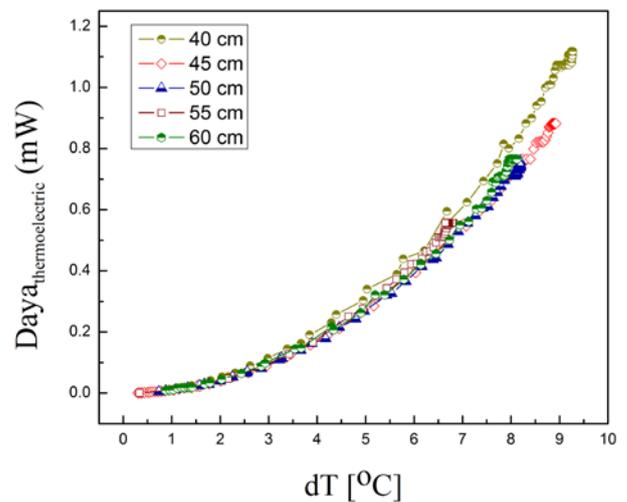
Gambar 6 Daya keluaran termoelektrik



Gambar 8 Daya keluaran solar cell pada variasi jarak lampu

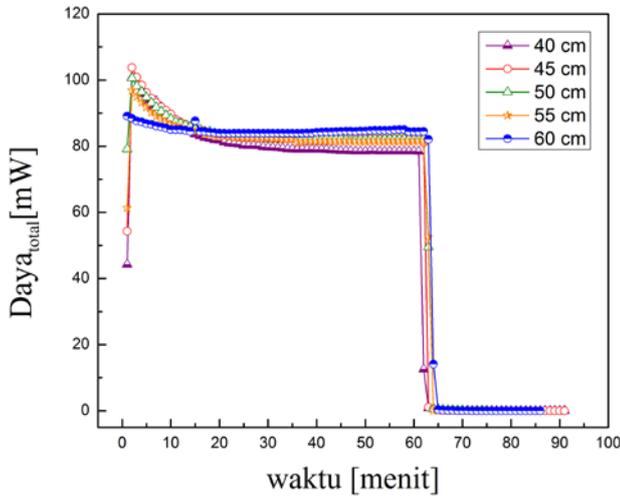


Gambar 7 Daya keluaran hybrid solar cell



Gambar 9 Daya keluaran termoelektrik pada variasi jarak lampu

Daya hybrid solar cell pada variasi jarak paling stabil pada jarak 60 cm dimana drop daya yang terjadi paling kecil dengan daya rata-rata yang mampu dihasilkan adalah 89.56 mW, dengan daya solar cell kurang lebih 88.06 mW dan daya termoelektrik 1.5 mW.



Gambar 10 Daya keluaran hybrid solar cell pada variasi jarak lampu

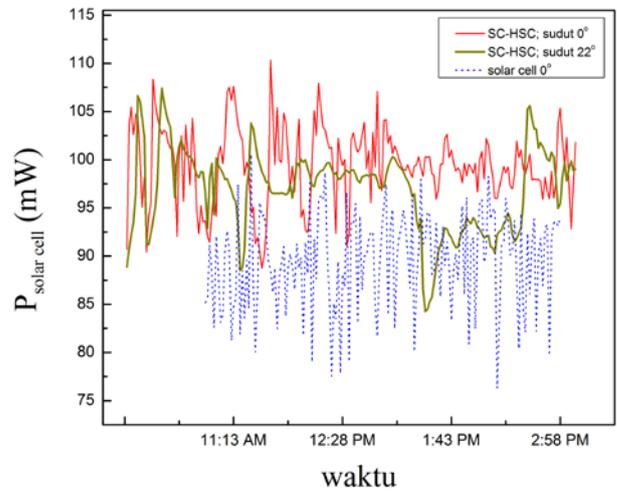
**Pengujian Lapangan**

Pada pengujian lapangan yakni pengujian dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari faktor-faktor yang berpengaruh tentunya sangat banyak yakni adanya awan, angin dan waktu juga berpengaruh sehingga data lebih bersifat fluktuatif seperti yang terlihat pada gambar 11 dan 12. Posisi solar cell pada sudut 0° memberikan tegangan maupun keluaran daya dari hybrid solar cell lebih besar dibandingkan dengan posisi pada sudut 22°. dari gambar juga dapat kita amati bahwa adanya penambahan termoelektrik pada solar cell sehingga menjadi hybrid solar cell dapat meningkatkan daya keluaran sebesar 8.75% dibandingkan dengan dengan tanpa adanya penambahan termoelektrik pada bagian bawah solar cell.

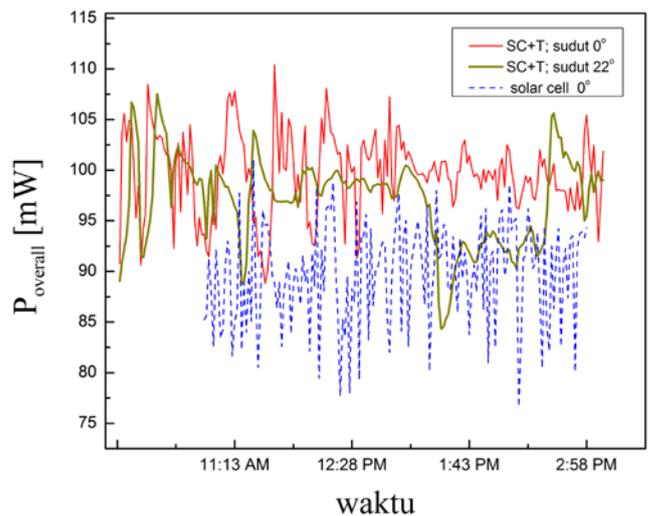
$$\frac{P_{\text{hybrid solar cell}} - P_{\text{solar cell}}}{P_{\text{solar cell}}} \times 100\% = \frac{97,4403 - 89,59446}{89,59446} \times 100\% = 8,75\%$$

Peningkatan daya yang hanya 8.75% diperkirakan masih dapat ditingkatkan dengan pemakaian pendingin atau mengganti perangkat pendingin (heat sink) dengan perangkat pendingin yang lebih baik sehingga panas pada bagian sisi panas dari termoelektrik dapat dibuang sehingga

kinerja termoelektrik semakin meningkat yang tentunya dapat meningkatkan kinerja hybrid solar cell secara keseluruhan.



Gambar 11 Daya keluaran solar cell pada pengujian dengan sinar matahari



Gambar 11 Daya keluaran hybrid solar cell pada pengujian dengan sinar matahari

**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan termoelektrik pada bagian bawah solar cell dapat meningkatkan daya keluaran solar cell maupun daya keluaran secara keseluruhan (hybrid solar cell). Kinerja ataupun daya keluaran yang dihasilkan sangat tergantung dari alat pembuang kalor pada sisi panas termoelektrik dimana pada penelitian ini peningkatan daya keluaran dengan penambahan termoelektrik yang hanya sebesar 8.75% akan dapat lebih ditingkatkan dengan pemakaian alat pendingin yang lebih baik.

**Referensi**

- [1]. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Strategi Pengelolaan Energi Nasional dalam Menjamin Keamanan Ketersediaan Energi, (2010).
- [2]. D.W. Vries, W.G.J. and A.A. Van Steenhoven H.A. Zondag, Thermal and electrical yield of aq combi panel, Solar Energy Solar Energy Vol. 72, No. 2, (2002) 113–128
- [3]. Evelyn N. Wang Nenad Miljkovic, Modeling and Optimization of Hybrid Solar Thermoelectric Systems With Thermosyphons, Solar Energy 85 (2011) 2843–2855
- [4]. G.G. Maidment, S.A. Kalogirou, K. Yiakoumetti P.G. Charalambous, Photovoltaic Thermal (PV/T) Collectors: A Review, International Conference on Heat Powered Cycles, Cyprus, October 2004
- [5]. William T Choate Dr. Terry Hendricks, Engineering Scoping Study of Thermoelectric Generator Systems for Industrial Waste Heat Recovery, U.S Department of Energy (2006).
- [6]. S. Maneewan, J. Khedari, B. Zeghmati, J. Hirunlabh , J. Eakburanawat, Investigation on generated power of thermoelectric roof solar collector, Renewable Energy 29 (2004) 743–752
- [7]. M. Arif Hasan, K. Sumathy, Photovoltaic Thermal Module Concepts and Their Performance Analysis: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 1845–1859.
- [8]. Xingxing Zhanga, Xudong Zhaoa, Stefan Smitha, Jihuan Xub, Xiaotong Yuc, Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T) technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2011.
- [9]. Robert Resnick, Jearl Walker David Halliday, Fundamentals of Physics.:Wiley, (2008).
- [10]. E.A. Cha´vez-Urbiola, Yu.V. Vorobiev, L.P. Bulat, Solar Hybrid Systems With Thermoelectric Generator, Solar Energy 86 (2012) 369–378