

## PENDINGIN UNTUK PENINGKATAN DAYA KELUARAN PANEL SURYA

Haris Isyanto<sup>1\*</sup>, Budiyanto<sup>2</sup>, Fadliandi<sup>3</sup>, Priyan Gagani Chamdareno<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta,

Jalan Cempaka Putih Tengah 27, 10510

\*E-mail address : [haris.isyanto@ftumj.ac.id](mailto:haris.isyanto@ftumj.ac.id)

### ABSTRAK

Energi matahari adalah salah satu sumber energi yang bisa diperbaharui yang memiliki banyak keuntungan. Meskipun demikian, luaran daya masih rendah. Latar belakang dilakukannya penelitian ini adalah bahwa saat ini kebutuhan energy terbarukan semakin meningkat dan sinar matahari merupakan sumber energi yang sangat melimpah terutama di negara yang terletak di garis khatulistiwa, akan tetapi panas yang berlebihan bias mengurangi daya keluaran panel surya. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan daya keluaran panel surya dengan metode pendinginan. Hasil yang didapatkan adalah bahwa secara keseluruhan, ketika suhu turun, tegangan *open circuit*, tegangan saat *maximum power* dan daya maksimum meningkat. Pada suhu 40°C, tegangan saat *maximum power* dan tegangan *open circuit* masing masing adalah 17,5 V dan 22 V dan daya maksimum adalah 10 W. Ketika suhu turun ke 20°C, tegangan saat maximum power dan tegangan open circuit meningkat masing-masing ke 20 V dan 24 V. Daya keluaran meningkat ke 12 W ketika suhu turun ke 20°C. kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan penambahan pendinginan pada panel surya, daya keluaran dari panel surya meningkat karena ketika suhu turun, tegangan *open circuit* dari panel surya meningkat sehingga secara otomatis daya keluaran juga meningkat karena daya merupakan perkalian dari arus dan tegangan.

**Kata kunci:** surya, sel, modul, panel, efisiensi, pendinginan

### ABSTRACT

*The solar energy is one of renewable energy resources which have many advantages. However, the output of the solar energy is still low. The improvement of solar module output using cooling method is investigated. Overall, when the temperature is decreased, the open circuit voltage, the maximum power voltage and the maximum power increase. At temperature of 40°C, the the maximum power voltage and the open circuit voltage are 17.5 V and 22 V respectively, and the maximum power is 10 W. As temperature decreases to 20°C, the maximum power voltage and the the open circuit voltage increase to 20 V and 24 V respectively. The output power increases to 12 W when the temperature decreases to 20°C*

**Keywords :** solar, cell, module, panel, efficiency, cooling

### PENDAHULUAN

Energi merupakan bagian yang paling penting bag makhluk hidup untuk bias terus bertahan hidup. Energi terlibat hamper pada setiap aspek kehidupan. Sumber energy bisa berupa energy terbarukan dan tidak terbarukan. Contoh dari sumber energy tidak terbarukan adalah energy fosil sementara contoh dari energy terbarukan adalah energy angin, energy matahari, energy air dan energy biomasa. Keuntungan keuntungan dari energy terbarukan adalah bahwa ia berlimpah, gratis dan ramah lingkungan. Sementara itu, jika dibandingkan dengan contoh energy terbarukan yang lain, energy surya memiliki banyak kelebihan seperti bersih, tidak berisik

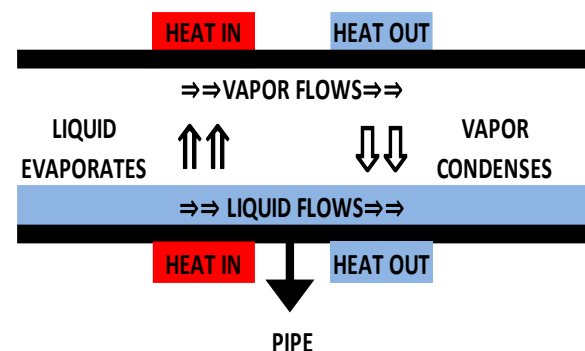
dan aman. Energy surya tidak dapat begitu saja langsung digunakan jadi ia harus dikonversikan terlebih dahulu ke dalam bentuk energy listrik. Iradiasi surya adalah sekitar 1000 W/m<sup>2</sup> (Katsuaki et al. 2012, Nwabueze et al. 2011, Ugwuoke et al. 2012). Bagaimanapun juga, nilai tersebut bisa berubah tergantung kepada letak, waktu dan cuaca. Komponen yang dibutuhkan untuk mengubah energy surya menjadi energy listrik disebut sel surya. Energy dari matahari bisa dimanfaatkan dengan memakai *Parabolic Trough Collectors* (Gakkhar et al. 2016). Panel fotovoltik merupakan kombinasi yang dibuat dari beberapa sel fotovoltik yang dirancang untuk mengonversikan radiasi surya ke dalam energy listrik dengan menggunakan fenomena

fotovoltaik. Kombinasi dari beberapa sel surya membentuk modul surya. System fotovoltaik membutuhkan system perlindungan kegagalan untuk meningkatkan keandalan, kestabilan system, efisiensi dan keamanannya (Hariharan et al. 2016). Kombinasi dari beberapa modul surya membentuk array surya. Sel surya merupakan komponen elektronik yang mengonversi energy surya menjadi energy listrik dengan memanfaatkan gejala fotovoltaik . Sel surya pertama kali ditemukan tahun 1883 oleh Charles Fritts yang menggunakan junction yang terbuat dari coating selenium dengan lapisan emas yang sangat tipis (Thakur et al. 2016). Pada umumnya, sel surya bisa dikategorikan menjadi 3 yakni sel surya monocrystalline (mono-Si), sel surya polycrystalline (poly-Si) dan sel surya film tipis (Sharma et al. 2015). Material semikonduktor untuk memfabrikasi sel surya monocrystalline dan polycrystalline adalah silikon. Sementara, material untuk memfabrikasi sel surya film tipis adalah cadmium telluride (CdTe) dan copper indium gallium diselenide (CIGS) (Fathi et al. 2015). Sel surya monocrystalline dan polycrystalline memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada sel surya film tipis. Efisiensi sel surya monocrystalline and polycrystalline solar bisa mencapai sebanyak 30%. Sementara efisiensi sel surya film tipis bisa mencapai 20%. Sisa energy lainnya terbuang dalam bentuk panas dan panas ini bisa meningkatkan temperature system fotovoltaik yang bisa mempengaruhi produksi daya listrik modul surya (Koteswararao et al. 2016). Energy surya ramah lingkungan, bersih dan tersedia dimana saja sepanjang tahun (Bilal et al. 2016). Ada satu titik dimana daya listrik dari energy surya mencapai maksimum pada suhu dan iradiasi berapapun (Sameeullah et al. 2016). Ada beberapa mekanisme yang membatasi efisiensi sel surya seperti rugi-rugi foton, rugi-rugi pembawa minoritas, rugi-rugi panas Joule, rugi-rugi optic, rugi-rugi resistif, rugi-rugi rekombinasi dan rugi-rugi pantulan (Blakers et al. 2013). Lebih lagi, umur dari sel surya monocrystalline dan polycrystalline lebih panjang dari pada sel surya film tipis (Osman et al. 2015). Umur sel surya monocrystalline dan polycrystalline bisa mencapai 25 tahun. Meskipun demikian, sel surya monocrystalline dan polycrystalline memiliki beberapa

kelemahan jika dibandingkan dengan sel surya film tipis seperti harganya yang mahal dan daya tahan terhadap suhu tinggi (Kaur et al. 2016). Kinerja dan efisiensi sel surya monocrystalline dan polycrystalline turun drastic ketika suhu naik (Biodun et al. 2017). Pendinginan dengan udara, pendinginan dengan cairan, imersi dan pipa panas adalah contoh-contoh metode untuk meningkatkan efisiensi modul surya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja an efisiensi modul surya dengan metode pendinginan.

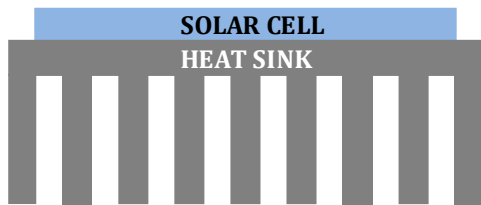
### BAHAN DAN METODE

Kinerja modul surya sangat sensitive terhadap temperature sehingga penjagaan suhu modul surya agar tetap dibawah batas yang diizinkan sangat diperlukan untuk mencapai daya output maksimum. Pipa panas adalah alat untuk mentransfer panas dari daerah panas ke daerah dingin dengan menggunakan cairan mengalir. Pipa panas dikembangkan terutama untuk aplikasi luar angkasa pada awal tahun 60-an (Sangdot et al. 2016). Gambar skema pipa panas ditunjukkan pada Gambar 1.



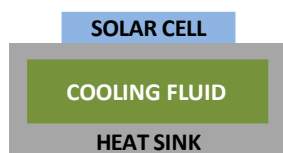
Gambar 1 Skema pipa panas.

Sel-sel surya yang dilekatkan pada substrat selalu memiliki konduktivitas termal. Substrat juga menyediakan isolasi elektrik. Skema dari pendinginan dengan udara ditunjukkan pada Gambar 2. System pendinginan meningkatkan efisiensi modul surya selama hari cerah (Irwan et al. 2015). Efisiensi system fotovoltaik bisa ditingkatkan dengan menggunakan manajemen termal efektif (Reddy et al. 2014).



Gambar 2 Skema metode pendinginan dengan udara.

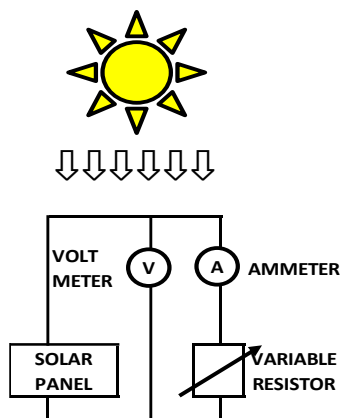
Metode pendinginan dengan cairan menggunakan cairan logam sebagai cairan pendinginnya. Skematik dari metode pendinginan dengan cairan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Skematik pendingin dengan cairan.

Iradiasi surya diukur dengan memakai solari meter yang merupakan alat untuk mengukur radiasi surya pada permukaan bumi dan biasanya ditempatkan pada permukaan yang datar dimana spectrum surya penuh bisa didapat.

Kurva arus versus tegangan didapatkan dengan memakai sebuah voltmeter, ammeter, resistor box dan potensiometer (Iqbal et al. 2016). Untuk mencegah terjadinya *loading*, ammeter dengan impedansi yang rendah dan voltmeter dengan impedansi yang tinggi sangat dibutuhkan (Tyler et al. 2017). Skematik pengukuran kurva arus versus tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Skematik pengukuran arus dan tegangan.

Persamaan yang disering dipakai pada panel surya ditunjukkan pada Eq. 1.  $V$  adalah tegangan,  $I$  adalah arus,  $q$  adalah muatan electron dan  $k$  adalah tetapan Boltzman,  $T$  adalah temperature dan  $A$  adalah factor idealitas dari p-n junction yang menentukan deviasi dari karakter p-n junction.  $A$  bisa bernilai 1 s.d 5 dimana 1 adalah nilai ideal (Aldihani et al. 2014).  $I_d$  adalah arus jenuh mundur dari sel. Eq. 2, 3 and 4 adalah persamaan-persamaan yang berhubungan dengan modul sury.  $FF$  adalah *fill factor* yang didefinisikan sebagai rasio antara daya pada titik maksimum  $P_{MAX}$  dan perkalian antara  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$  (Saffar et al. 2014).  $V_{oc}$  adalah tegangan saat arus 0 dan  $I_{sc}$  didefinisikan sebagai arus ketika tegangan 0 (Nair et al. 2016).  $V_{MP}$  dan  $I_{MP}$  adalah tegangan dan arus pada titik daya maksimum.  $\eta$  adalah koefisien konversi dari modul surya dan  $P_{INPUT}$  adalah daya dari cahaya yang masuk.

$$I = I_{ph} - I_d \left[ \exp\left(\frac{qV}{kTA}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

$$FF = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (2)$$

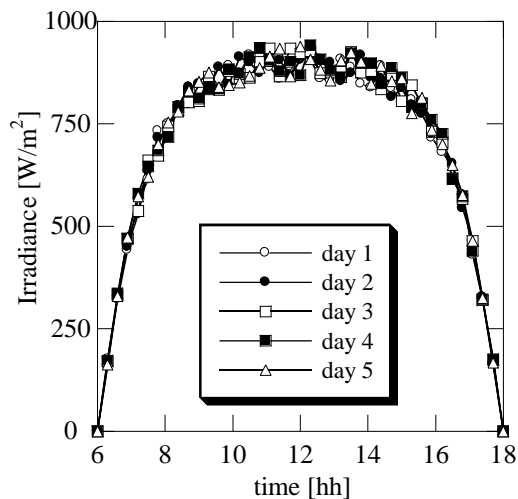
$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{INPUT}} = \frac{FF \times V_{OC} \times I_{SC}}{P_{INPUT}} \quad (3)$$

$$P = V \times I \quad (4)$$

$$V'_{OC} = V_{OC} + \frac{nkT}{q} \ln X \quad (5)$$

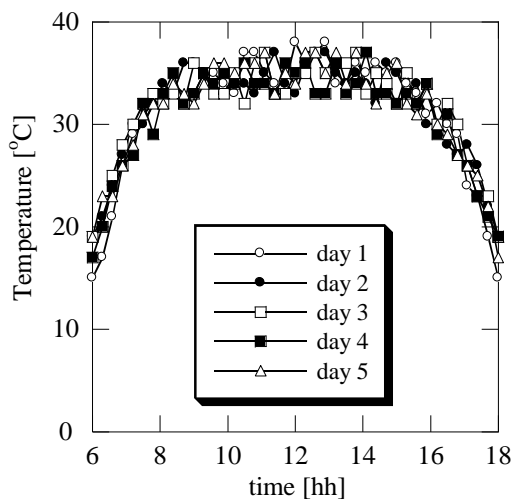
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 menunjukkan radiasi surya terhadap waktu. Sumbu horizontal dan vertical merepresentasikan waktu dan radiasi. Nilai radiasi hamper 0 saat jam 6 pagi dan meningkat secara cepat sampai  $800 \text{ W/m}^2$  sekitar jam 8:30. Setelah itu, ia meningkat sedikit ke  $950 \text{ W/m}^2$  pada sekitar jam 12:00 dan berkurang ke  $800 \text{ W/m}^2$  pada sekitar jam 15:30. Setelah itu, iradiasi turun drastic hamper ke 0 pada sekitar jam 18.00. Bisa dilihat bahwa iradiasi solar bergantung pada sudut azimuth surya yang mendefinisikan tinggi matahari (Radhika et al. 2015).



Gambar 5 Radiasi surya terhadap waktu.

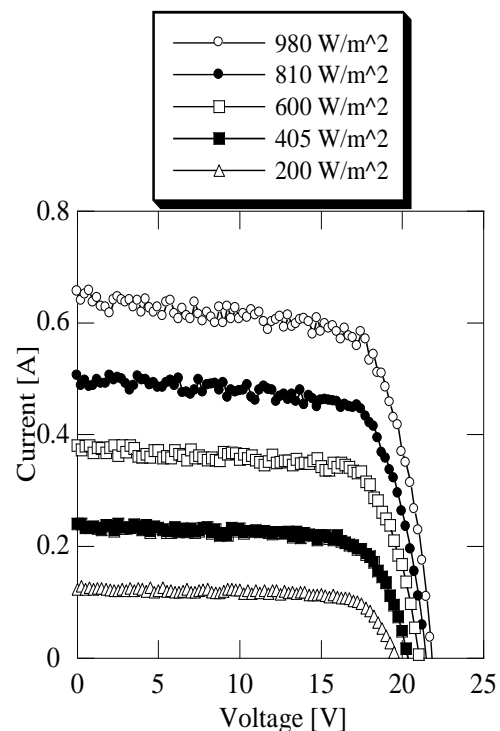
Gambar 6 menunjukkan temperature modul surya. Sumbu horizontal dan vertical merepresentasikan waktu dan suhu. Pada sekitar jam 6.00, suhu permukaan modul sekitar 15°C dan meningkat cepat ke 30°C pada sekitar jam 08.00. Setelah itu, ia meningkat sedikit ke 35°C pada sekitar jam 12.00 dan turun sedikit ke 30°C pada sekitar jam 15.30. Setelah itu, ia berkurang drastic ke sekitar 15°C pada sekitar jam 18.00.



Gambar 6 Temperatur permukaan modul.

Gambar 7 menunjukkan kurva arus versus tegangan daripada modul surya dengan radiasi yang berbeda-beda. Sumbu horizontal dan vertical masing-masing menunjukkan tegangan dan arus. Secara keseluruhan, ketika iradiasi turun,  $I_{SC}$  dan  $I_{MP}$  juga turun secara proporsional karena arus proporsional terhadap

fluks foton yang juga proporsional terhadap intensitas cahaya (Erdem et al. 2013). Ketika tegangan meningkat sampai ke sebuah tegangan spesifik yang disebut  $V_{MP}$ , arus turun pelan-pelan bergantung kepada jenis modul suryanya. Setelah itu, ketika tegangan mendekati  $V_{OC}$ , arus berkurang secara drastic ke sekitar 0 A karena panel surya bekerja seperti diode (Tumma et al. 2013). Sementara itu, ketika iradiasi turun,  $V_{OC}$  dan  $V_{MP}$  sepertinya tidak banyak perubahan (Sultana et al. 2015).

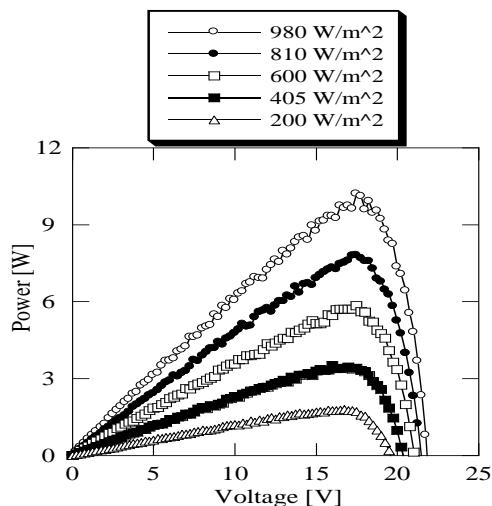


Gambar 7 Arus versus tegangan modul surya dengan radiasi yang berbeda.

$I_{SC}$  dan  $I_{mp}$  masing-masing adalah sekitar 0.65 A and 0.57 A pada iradiasi 980 W/m<sup>2</sup> dan berkurang ke 0.12 A dan 0.1 A pada iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>.  $V_{OC}$  meningkat secara logaritmis terhadap intensitas sesuai dengan Eq. 5 (Tobnaghi et al. 2013). Sementara itu,  $V_{OC}$  adalah sekitar 22 V ketika iradiasinya 980 W/m<sup>2</sup> dan berkurang ke 19 V saat iradiasinya 200 W/m<sup>2</sup>.  $V_{MP}$  tidak berubah. Derau bisa terlihat tapi tidak terlalu signifikan.

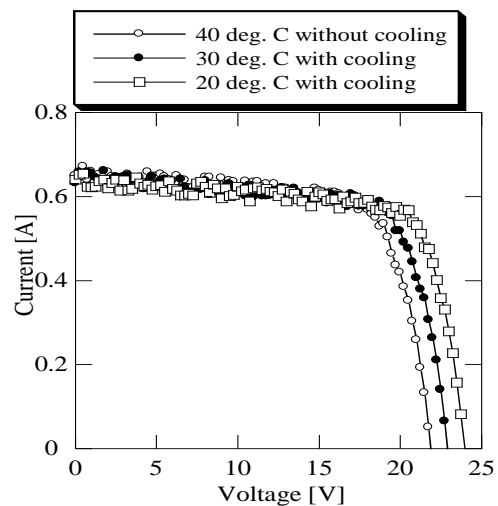
Gambar 8 menunjukkan kurva daya terhadap tegangan dengan radiasi yang bervariasi. Sumbu horizontal dan vertical masing-masing menunjukkan tegangan dan daya yang telah dihitung. Secara keseluruhan,

ketika iradiasi meningkat, daya maksimum juga meningkat (El-Shaer et al. 2014). Daya maksimum meningkat secara linear terhadap intensitas iradiasi (Chegaar et al. 2013). Ketika tegangan naik menuju  $V_{MP}$ , daya juga ikut naik secara bertahap. Setelah itu, ketika tegangan meningkat ke  $V_{OC}$ , daya turun secara drastic. Pada iradiasi  $980 \text{ W/m}^2$ , daya meningkat dari 0 ke 10 W ketika tegangan naik dari 0 ke 17 V. Setelah itu, daya turun secara cepat ke 0 W lagi ketika tegangan naik ke 22 V. Daya dihitung dengan memakai Eq. 3.



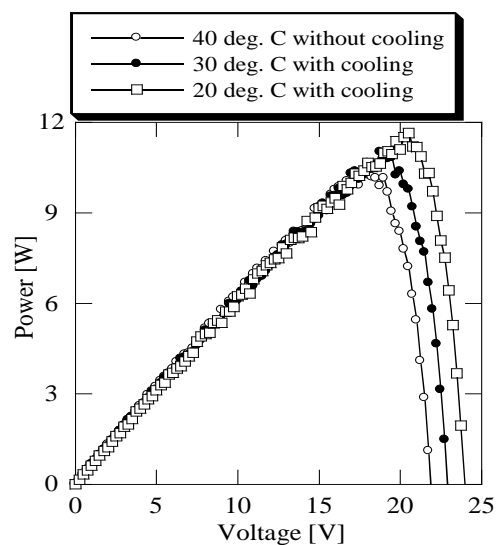
Gambar 8 Kurva daya versus tegangan.

Gambar 9 menunjukkan kurva arus terhadap tegangan dengan dan tanpa pendinginan. Secara keseluruhan, ketika suhu turun,  $V_{MP}$  dan  $V_{OC}$  meningkat dan  $I_{SC}$  turun secara perlahan. Pada suhu  $40^\circ\text{C}$ ,  $V_{OC}$  sekitar 22 V. Ketika suhu turun ke  $20^\circ\text{C}$  dengan pendinginan,  $V_{OC}$  naik ke 24 V. Modul surya sensitive (Singh et al. 2012). Ketika suhu meningkat, celah pita energi berkurang (Anitha et al. 2016). Pada sel surya, parameter yang paling sensitive terhadap suhu adalah  $V_{OC}$ . Ketika suhu meningkat,  $V_{OC}$  turun karena  $V_{OC}$  berubah terhadap temperature secara  $T^{3/2}$ - (Löpera et al. 2012). Ketika  $V_{OC}$  turun, *fill factor* juga berkurang sehingga efisiensi juga ikut berkurang (Balamuralikrishnan et al. 2014).



Gambar 9 Perbandingan kurva arus terhadap tegangan saat dengan dan tanpa pendinginan.

Gambar 10 menunjukkan kurva daya terhadap tegangan dari modul surya yang diberi dan tidak diberi pendingin. Secara keseluruhan, ketika temperature turun,  $V_{OC}$  dan  $V_{MP}$  meningkat dan daya maksimum juga meningkat. Ketika suhu  $40^\circ\text{C}$ , daya maksimum pada  $V_{MP}$  17.5 V adalah 10 W. ketika suhu turun ke  $20^\circ\text{C}$  dengan pendinginan, daya maksimum naik ke 12 W pada suhu 20 V. Ketika suhu naik, daya akan turun karena daya merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus (Tobnaghi et al. 2013). Sebaliknya, ketika suhu naik, daya akan turun (Han et al. 2012).



Gambar 10 Perbandingan kurva daya terhadap tegangan antara saat ada dan tanpa pendinginan.

**KESIMPULAN**

Peningkatan efisiensi modul surya dengan metode pendinginan telah diinvestigasi. Secara keseluruhan, ketika suhu turun,  $V_{OC}$ ,  $V_{MP}$  dan daya maksimum naik. Pada suhu 40°C,  $V_{MP}$  dan  $V_{OC}$  masing-masing adalah 17.5 V dan 22 V dan daya maksimum adalah 10 W. Ketika suhu turun ke 20 V, As temperature decreases to 20 V,  $V_{MP}$  dan  $V_{OC}$  naik ke 20 V dan 24 V.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih diucapkan kepada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta karena telah mendanai tulisan ini melalui skema Hibah Penelitian Internal PAKARTI Jakarta dengan nomor kontrak 77j/FT-UMJ/V/2017.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Aldihani, A., A. Aldossary, S. Mahmoud, R.K.AL-Dadah. 2014. The Effect of Cooling on the Performance of Photovoltaic Cells under Dusty Environmental Conditions. *Energy Procedia*, 61, 2383-2386.
- Anitha, Usha, Jithin, Christy, Varughese. 2016. Characterization, Thermal Effect on Optical Band Gap Energy and Photoluminescence in Wurtzite ZnO:Er Nanocrystallites. *Materials Today: Proceedings*, 3(2), 145-151.
- Balamuralikrishna, B., B. Deepika, K.Nagajothi, S.Shubaa shree, P.T.Subasini. 2014. Efficiency Enhancement of Photovoltaic Cell. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 3 (4), 305-313.
- Bilal, M., Muhammad Naeem Arbab, Muhammad Zain Ul Abideen Afridi, Alishpa Khattak. 2016. Increasing the Output Power and Efficiency of Solar Panel by Using Concentrator Photovoltaics (CPV). *International Journal of Engineering Works*, 3 (12), 98-102.
- Bioudun, A.D., ADELEKE David Kehinde, OROTOYE Temitope Aminat. 2017. Experimental Evaluation of the Effect of Temperature on Polycrystalline and Monocrystalline Photovoltaic Modules. *IOSR Journal of Applied Physics*, 9(2), 5-10.
- Blakers, A., Ngwe Zin, Keith R. McIntosh, Kean Fong. 2012. High Efficiency Silicon Solar Cells. *Energy Procedia*, 33, 1-10.
- Chegaar, M., A. Hamzaoui, A. Namoda, P. Petit, M. Aillerie and A. Herguth. 2013. Effect of illumination intensity on solar cells parameters. *Energy Procedia*, 36, 722 – 729.
- El-Shaerr, A., M. T. Y. Tadros, M. A. Khalifa. 2014. Effect of Light intensity and Temperature on Crystalline Silicon Solar Modules Parameters. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(8), 311-318.
- Erdem, C., Pinar, M. C. 2013. An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters. *Applied Energy*, 111, 374–382.
- Fathi, M., Mahfoud Abderrezek, Farid Djahli, Mohammed Ayad. 2015. Study of thin film solar cells in high temperature condition. *Energy Procedia*, 74, 1410 – 1417.
- Gakkhar, Nikhil., M.S.Soni, Sanjeev Jakhar. 2016. Analysis of water cooling of CPV cells mounted on absorber tube of a Parabolic Trough Collector. *Energy Procedia*, 90, 78 – 88.
- Hariharan, R., M. Chakkarapani, G. Saravana Ilango, and C. Nagamani. 2016. A Method to Detect Photovoltaic Array Faults and Partial Shading in PV Systems. *IEEE JOURNAL OF PHOTOVOLTAICS*, 6 (5), 1278-1285.
- Han, K., Dongchan Shin, Yongho Choi. 2012. Efficiency of Solar Cell at Relatively High Temperature. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2(12), 607-610.
- Irwan, Y.M., W.Z.Leow, M.Irwanto, Fareq.M, S.I.S,Hassan, I.Safwati and A.R.Amelia. 2015. Comparison of solar panel cooling system by using dc brushless fan and dc water. *Journal of Physics*, 622, 1-10.
- Iqbal, S., Samia Afzal, Atta Ullah Mazhar, Hazeema Anjum, Anab Diyyan. 2016. Effect of Water Cooling on the Energy Conversion Efficiency of PV Cell. *American Scientific Research Journal*

- for *Engineering, Technology, and Sciences*, 20(1), 122-128.
- Katsuaki, T., Katsuyuki Watanabe, and Yasuhiko Arakawa. 2012. Flexible thin-film InAs/GaAs quantum dot solar cells. *APPLIED PHYSICS LETTERS*, 100 (19), -.
- Kaur, M., Harjit Singh. 2016. A REVIEW: COMPARISON OF SILICON SOLAR CELLS AND THIN FILM SOLAR CELLS. *International Journal Of Core Engineering & Management*, 3(2), 15-23.
- Koteswararao B., K. Radha krishna, P.Vijay, N.Raja surya. 2016. Experimental Analysis of solar panel efficiency with different modes of cooling. *International Journal of Engineering and Technology*, 8 (3), 1451-1456.
- Löpera, P., D. Pysch, A. Richter, M. Hermle, S. Janz, M. Zacharias, S.W. Glunz. 2012. Analysis of the Temperature Dependence of the Open-Circuit Voltage. *Energy Procedia*, 27, 135-142.
- Nair, K.K., Jitty Jose, Ajith Ravindran. 2016. Analysis of temperature dependent parameters on solar cell efficiency using MATLAB. *International Journal of Engineering Development and Research*, 4(3), 536-541.
- Nwabueze, O. J., Njar, G. N. 2011. THE RELATIONSHIP BETWEEN SOLAR RADIATION AND THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS IN PORT HARCOURT NIGERIA, *International Journal of Applied Science and Technology*, 1(4), 124-126.
- Osman, M.M.. 2015. Comparative Studies on Integration of Photovoltaic in Hot and Cold Climate, *Scientific Research Journal*, 3(4), 48-60.
- Popovici, C. G., Sebastian Valeriu Hudişteanu, Theodor Dorin Mateescu, Nelu-Cristian Cherecheş. 2016. Efficiency improvement of photovoltaic panels by using air cooled heat sinks. *Energy Procedia*, 85 , 425 – 432.
- Radhika, S.K. Suman. 2015. Effect of Tilt angle and Azimuth angle on Solar Output and Optimum Tilt and Azimuth angle for Chandigarh, India. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(6), 5104 – 5110.
- Reddy, K. S., S. Lokeswaran, PulkitAgarwal, Tapas K. Mallick. 2014. Numerical Investigation of Micro-channel based Active Module Cooling for Solar CPV System. *Energy Procedia*, 54 , 400-416.
- Saffara, A. P., Bahman Deldadeh Barani. 2014. Thermal Effects Investigation on Electrical Properties of Silicon Solar Cells Treated by Laser Irradiation. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3 (3), 184-187.
- Sameullah, M., Akhilesh Swarup. 2016. MPPT Schemes for PV System under Normal and Partial Shading Condition: A Review. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5 (2), 79-94.
- Sangdot, R., Hardik Patel. 2016. A Review on Photovoltaic Panel Cooling Using Heat Pipe. *International Journal of Scientific Development and Research*, 1 (5), 573-576.
- Sharma, S. Kamlesh Kumar Jain, Ashutosh Sharma. 2015. Solar Cells: In Research and Applications—A Review. *Materials Sciences and Applications*, 6(12), 1145-1155.
- Singh, P., N.M.Ravindra. 2012. Temperature dependence of solar cell performance—an analysis. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 101, 36-45.
- Sultana, N., Abdul Ahad, Md. Kamrul Hassan. 2015. Simulation and Analysis of the Effect of Change of Different Parameters on the Characteristics of PV Cell Using LTspiceIV. *International Journal of Science and Research*, 4(2), 63-68.
- Thakur, D., Amit arnav, Abhishek Datta, E.V.V Ramanamurthy. 2016. A Review on Immersion System to increase the efficiency of Solar Panels. *International Journal of Advanced Research*, 4 (4), 312-325.
- Tobnaghi, D. M., Mosaddegh Sojoudi and Rahim Madatov. 2013. Influence of Illumination Intensity on Electrical Parameters of Solar Cells. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(S), 3854-3857.

- Tobnaghi, D. M., Rahim Madatov, Daryush Naderi. 2013. The Effect of Temperature on Electrical Parameters of Solar Cells. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2 (12), 6404-6407.
- Tumma, A., Viraja Gade, Balasubramanian. 2013. Study On Using Maximum Power Point Algorithms To Improve The Efficiency Of Solar Energy Storage For Unmanned Aerial Vehicles. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 1(8), 49-54.
- Tyler, K.J., Jeffrey A. Ivie, Jason Jaruvang, and Oliver L. A. Monti. 2017. Fast sensitive amplifier for two-probe conductance measurements in single molecule break junctions. *Review of Scientific Instruments*, 88(3).
- Ugwuoke, P.E., Okeke, C.E.. 2012. Performance Assessment of Three Different PV Modules as a Function of Solar Insolation in South Eastern Nigeria. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(3), 319-327.