

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH KETEBALAN LAPISAN AIR PENDINGIN TERHADAP DAYA KELUARAN MODUL *PHOTOVOLTAIC MONOCRYSTALLINE*

Ikhsan Baihaqi^{*}, Erik Tridianto, Arrad Ghani S

Program Studi Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111
^{*}Email: ikhsanbhq@gmail.com

Abstrak

Modul Photovoltaic (PV) membutuhkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Akan tetapi radiasi matahari dengan panjang gelombang di atas 1,1 μ m (radiasi inframerah) tidak dapat dikonversi menjadi energi listrik. Radiasi inframerah berperan meningkatkan temperatur permukaan PV, sehingga menyebabkan penurunan daya keluaran dan masa pakai modul PV. Sistem pendinginan ini, bertujuan untuk mengurangi temperatur permukaan PV dengan tetap melewatkan foton dengan panjang gelombang yang sesuai, sehingga efisiensi elektrik dan daya keluaran dapat dipertahankan atau bahkan ditingkatkan. Pada siklus pendinginan ini, air digenangi pada permukaan atas PV dengan aktivasi menggunakan kontrol otomatis saat temperatur permukaan PV mencapai 45°C. Ketika temperatur telah turun hingga 35°C, genangan air pendingin dibuang untuk melewatkan cahaya matahari lebih banyak. Variasi ketebalan genangan air yang digunakan adalah 5 mm, 1 cm, 2 cm, 4 cm. Pada setiap variasi diukur intensitas radiasi yang diterima, temperatur permukaan, serta daya keluarannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendinginan modul PV dengan menggunakan sistem ini dapat mempertahankan temperatur permukaan modul PV di bawah 38°C dan meningkatkan daya keluaran serta efisiensi elektrik sebesar 50% dibanding tanpa sistem pendingin. Ketinggian genangan 5 mm menghasilkan peningkatan daya keluaran yang paling tinggi, dikarenakan genangan air yang tidak terlalu tebal mampu menjaga temperatur permukaan PV tetap di bawah 40°C dan juga dapat melewatkan cahaya (foton) lebih banyak.

Kata kunci: *photovoltaic, siklus otomatis, genangan air pendingin, temperatur, daya keluaran*

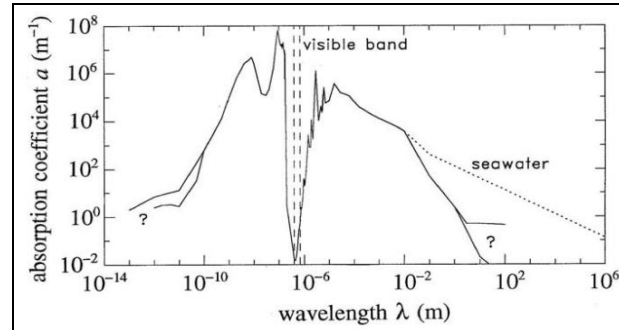
1. PENDAHULUAN

Modul *photovoltaic* (PV) merupakan salah satu bentuk alat pemanfaatan energi terbarukan, yaitu energi radiasi sinar matahari yang dapat langsung diubah menjadi energi listrik. Akan tetapi hingga kini permasalahan dari penggunaan modul PV adalah rendahnya efisiensi konversi energinya, maksimal masih berkisar 16% sampai 18%. Selain faktor material yang digunakan, rendahnya efisiensi juga dipengaruhi oleh faktor – faktor lain, diantaranya radiasi matahari harian yang diterima, cuaca, dan juga temperatur permukaan PV (Kementrian ESDM, 2016).

Sudah diketahui bahwa faktor temperatur permukaan PV memegang peranan yang sangat penting bagi proses konversi energi pada modul PV. Modul PV tidak dapat mengkonversi radiasi dengan panjang gelombang diatas 1,1 μ m (radiasi inframerah) (Moble, 1994). Radiasi inframerah menyebabkan semakin tingginya temperatur permukaan PV, yang berdampak pada penurunan efisiensi elektrik, berkisar antara -0,5% per kenaikan 1°C. Saat temperatur mengalami peningkatan, tegangan keluaran PV akan turun drastis, sedangkan arus keluaran PV akan mengalami sangat sedikit kenaikan saja. Hal ini lah yang pada akhirnya berdampak pada penurunan daya keluaran dan efisiensi elektrik modul PV (Krauter, 2004).

Salah satu upaya alternatif untuk memperbaiki atau mencapai daya dan efisiensi elektrik maksimal suatu modul PV akibat kenaikan temperatur adalah dengan mengaplikasikan sistem pendingin. Fluida pendingin yang umum digunakan saat ini adalah air dan juga udara, dikarenakan cukup mudah dalam pengkondisiannya. Pada penelitian ini digunakan fluida air, dikarenakan koefisien perpindahan panas yang lebih besar jika dibanding udara, sehingga mampu mendinginkan lebih cepat (Chaniotakis, 2001). Air memang memiliki tingkat kesulitan dalam pengkondisiannya jika dibandingkan udara, mulai kebocoran, memerlukan reservoir hingga dibutuhkannya sistem perpipaan. Akan tetapi air memiliki kelebihan dibandingkan udara dalam proses pendinginan atau penyerapan kalor, khususnya di daerah tropis dan sub tropis dimana temperatur udara ambient umumnya cukup tinggi, berkisar antara 30 – 40°C di siang hari, sehingga pendinginan dengan

udara tidak akan efektif (Moharram, 2013). Faktor penting lainnya adalah, air yang jernih juga diketahui dapat menyerap gelombang radiasi matahari dengan panjang lebih dari $1,1\mu\text{m}$ (radiasi inframerah). Hal ini sangat penting, dikarenakan elektron pada modul PV hanya dapat diaktifkan dengan gelombang radiasi matahari dibawah $1,1\mu\text{m}$. Sementara radiasi inframerah (phonon) akan meningkatkan temperatur permukaan PV dan menurunkan efisiensinya (Mobley, 1994).



Gambar 1. Koefisien penyerapan spektral dari air jernih (garis solid) dan air laut (garis putus – putus) dalam fungsi panjang gelombang (Mobley, 1994)

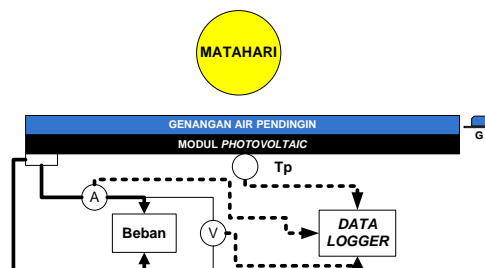
2. METODOLOGI

Tahapan awal dari penelitian ini adalah pembuatan modul PV dengan sistem pendingin, yang mana hasil fabrikasi adalah seperti Gambar 2.



Gambar 2. Modul penelitian PV dengan sistem genangan air pendingin

Tahapan kedua adalah proses pengujian dan pengambilan data langsung. Penelitian ini dilaksanakan di area belakang gedung D4 Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) pada tanggal 1 Juli 2017 hingga 7 Juli 2017, pukul 09.00 hingga 15.00 WIB. Modul PV yang digunakan untuk penelitian ini yaitu tipe *monocrystalline* dengan daya maksimum 180 Watt. Detail spesifikasi modul PV ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Skema pengujian dan alat ukur

Tabel 1. Spesifikasi modul PV 180 WP

Spesifikasi	Nilai
Daya maksimum (Pmax)	180 W
Tegangan maksimum (Vmax)	36 V
Arus maksimum (Imax)	5 A
Tegangan terbuka (Voc)	44.6 V
Arus terbuka (Ioc)	5.40 A
Toleransi Pmax	±3 %
<i>Practical module Efficiency</i>	16.83%

Pada penelitian ini air pendingin akan digenangkan secara otomatis dengan ketinggian 5 mm, 1 cm, 2 cm, 4 cm pada permukaan atas modul PV. Cara ini diharapkan dapat menyerap radiasi inframerah, dan melewatkan foton dengan panjang gelombang yang diperlukan, serta menjaga temperatur permukaan PV. Melalui penelitian ini diharapkan juga dapat diketahui pengaruh ketebalan lapisan air pendingin terhadap daya keluaran, serta efisiensi elektrik pada modul PV *monocrystalline*.

Metode pengujian dibagi dalam dua tahap, dimana tahap pertama modul PV tanpa menggunakan sistem pendingin, sedangkan tahap kedua modul PV menggunakan sistem genangan air pendingin dengan variasi ketinggian 5 mm, 1 cm, 2 cm, dan 4 cm. Dimana aktivasi pendinginan akan secara otomatis berjalan, ketika temperatur permukaan PV bernilai di atas 40°C, dan genangan air akan dibuang jika temperatur PV telah turun hingga 35°C.

Pada sistem pengukuran digunakan beberapa peralatan untuk mengukur parameter yang dibutuhkan, diantaranya *pyranometer* digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari yang diterima. Pengukuran temperatur permukaan PV menggunakan sensor thermistor NTC 10K. Sensor ACS712 5A digunakan untuk mengukur arus keluaran PV, sedangkan tegangan diukur dengan memanfaatkan prinsip pembagi tegangan sederhana (*voltage divider*). Seluruh parameter yang diukur dengan sensor, tercatat secara otomatis dengan *datalogger* berbasis Arduino.

Untuk mengetahui daya keluaran modul PV, digunakan persamaan

$$P_m = I_m \times V_m \quad (1)$$

Untuk mengetahui performa kerja dari modul PV pada penelitian ini, dihitung efisiensi elektrik PV dengan menggunakan persamaan

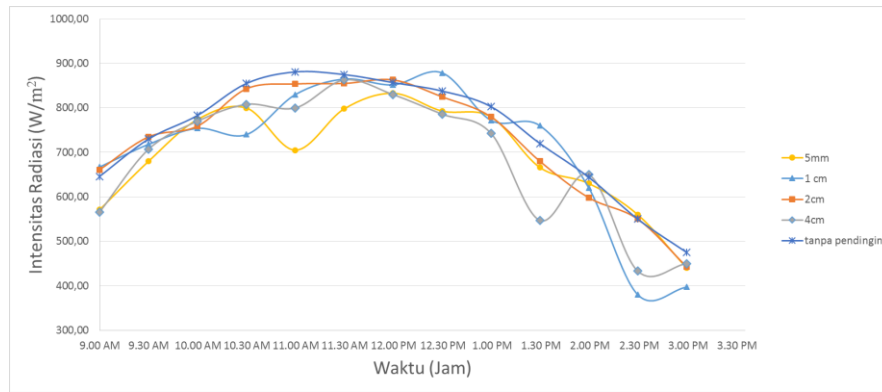
$$\eta_{el} = \frac{I_m \times V_m}{A \times I_r} \times 100\% \quad (2)$$

Kehandalan atau performa suatu PV atau biasa disebut efisiensi elektrik, dilihat dari kemampuannya untuk menghasilkan daya listrik keluaran per besaran radiasi yang diterima pada luasan permukaan PV.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

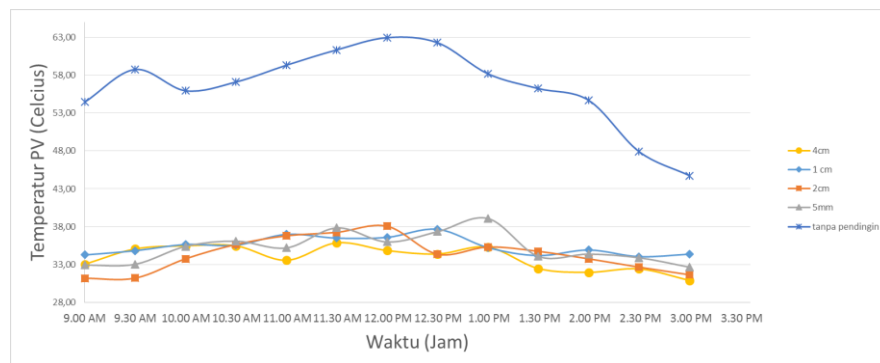
3.1 Hasil Pengujian

Pada penelitian ini didapatkan hasil berupa intensitas radiasi matahari yang diterima, temperatur permukaan modul PV, daya keluaran, serta efisiensi elektrik. Pada Gambar 4, dapat terlihat besar intensitas radiasi matahari yang diterima per waktu dengan dan tanpa variasi sistem genangan air pendingin. Intensitas radiasi yang diterima modul PV pada tiap variasi berbeda setiap harinya. Hal ini dikarenakan cuaca yang berubah tiap harinya, oleh karena itu dilakukan pengulangan pengambilan data sehingga nilai radiasi harian yang diterima tidak berbeda terlalu jauh. Secara umum grafik intensitas radiasi matahari berbentuk parabolik yaitu rendah di pagi dan sore hari, dan mencapai puncaknya pada siang hari. Sehingga pada siang hari merupakan puncak radiasi yang diterima oleh modul PV.

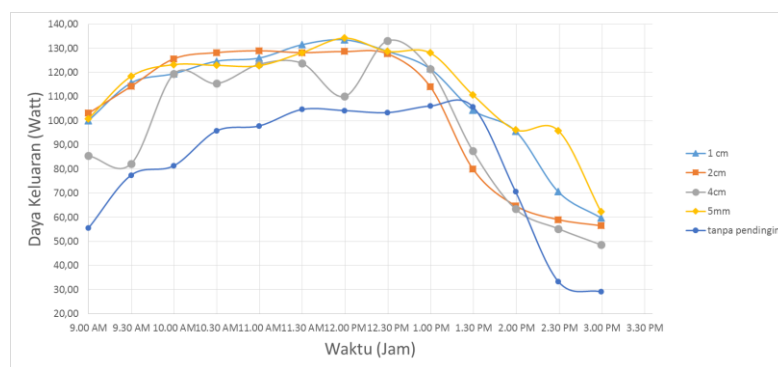


Gambar 4. Intensitas radiasi matahari terhadap waktu

Pada Gambar 5, terlihat bahwa modul PV dengan sistem pendingin memiliki nilai temperatur permukaan dibawah 45°C. Genangan 5mm secara umum memiliki nilai temperatur yang paling tinggi dikarenakan tipisnya lapisan air, sehingga frekuensi pendinginan pun semakin sering. Sedangkan untuk ketebalan genangan 4 cm frekuensi pendinginan semakin jarang dan saat puncak radiasi (jam 13.00) nilai temperatur tidak meningkat signifikan. Sedangkan untuk PV dengan tanpa sistem pendingin nilai temperatur permukaannya menyentuh angka 63°C

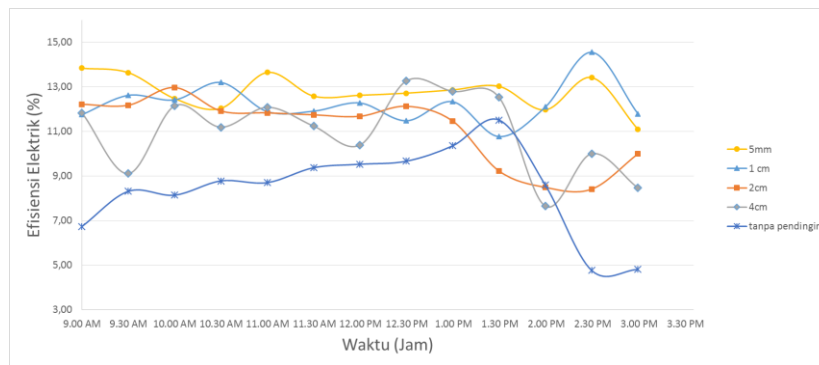


Gambar 5. Temperatur rata – rata modul PV terhadap waktu



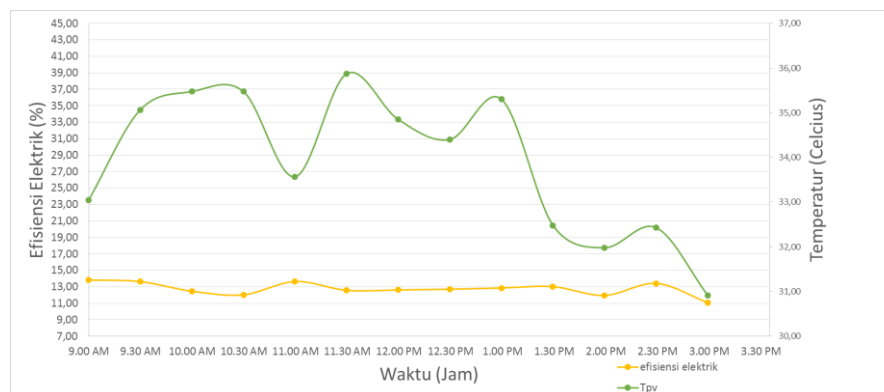
Gambar 6. Daya keluaran modul PV terhadap waktu

Pada Gambar 6, terlihat bahwa modul PV dengan sistem pendingin 5 mm memiliki daya yang tertinggi yakni sekitar 135 Watt dan relatif konstan. Sedangkan untuk genangan 4 cm memiliki nilai terendah diantara daya keluaran sistem pendingin lainnya. Sedangkan untuk sistem tanpa pendingin nilai daya keluaran cukup rendah dimana maksimal hanya bernilai di bawah 110 Watt saja. Nilai daya ini juga dipengaruhi radiasi harian (lihat gambar 4).



Gambar 7. Efisiensi elektrik modul PV terhadap waktu

Pada Gambar 7, kita dapat membandingkan performa PV dengan melihat efisiensi elektriknya. Dimana jelas terlihat PV tanpa pendingin memiliki nilai efisiensi yang cukup rendah berkisar antara 4% hingga 12%. Sedangkan untuk PV dengan genangan air pendingin memiliki range efisiensi elektrik yang cukup tinggi dan stabil yaitu antara 7% hingga 14%. Sistem pendingin dengan genangan air pendingin 5 mm memiliki efisiensi elektrik yang paling tinggi dan stabil, disusul ketinggian genangan air pendingin 1 cm, 2cm, dan 4 cm.



Gambar 8. Korelasi temperatur dan efisiensi elektrik modul PV terhadap waktu

Pada Gambar 8. dianalisa hubungan efisiensi elektrik dan temperatur permukaan pada sistem pendingin terbaik yaitu pada ketebalan 5 mm. Dapat kita ketahui bahwa dengan penurunan temperatur, efisiensi elektrik mengalami peningkatan dan dengan kenaikan temperatur, efisiensi elektrik mengalami penurunan. Dengan temperatur tidak lebih dari 35°C efisiensi elektrik modul PV cenderung konstan sepanjang hari dan tidak mengalami penurunan saat puncak radiasi.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil pada penelitian ini dapat dilihat bahwa air jernih dapat menyerap radiasi inframerah yang mana ditunjukkan dengan penurunan temperatur permukaan PV secara signifikan. Dengan mengamati hasil penelitian diketahui bahwa semakin tebal lapisan air pendingin, peningkatan daya keluaran dan efisiensi efisiensi elektrik menjadi kurang signifikan. Hal ini dikarenakan air juga dapat membiaskan dan juga memantulkan cahaya. Akan tetapi dengan ketebalan maksimal 4cm daya keluaran tetap jauh lebih tinggi dibanding tanpa menggunakan sistem pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa air yang jernih tetap dapat melewati foton dengan baik (Guan, 2010).

Ketebalan lapisan juga mempengaruhi lamanya genangan air dapat menyerap radiasi inframerah. Semakin tipis genangan air pendingin, maka semakin sedikit pula radiasi yang mampu diserap untuk menjaga temperatur permukaan PV. Sehingga frekuensi penggantian genangan air pendingin menjadi lebih sering dan akan berdampak pada daya pompa air pendingin.

Nilai efisiensi dapat lebih ditingkatkan, dikarenakan dalam pengujian ini PV dipasang pada sudut 0° atau horizontal. Dimana diketahui bahwa untuk posisi geografis Indonesia, pemasangan PV akan menunjukkan peningkatan efisiensi ketika dimiringkan dengan sudut 20° hingga 30° menghadap ke Utara untuk mendapatkan radiasi matahari lebih banyak.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian secara langsung dan analisa, dapat diambil kesimpulan bahwa penggunaan sistem pendingin mampu menurunkan temperatur permukaan PV secara signifikan, hingga 50% dibandingkan PV tanpa sistem pendingin. Penggunaan genangan air pendingin juga mampu menunjukkan peningkatan daya dan efisiensi keluaran. Dimana peningkatan tertinggi hingga sebesar 50% terjadi pada ketebalan air pendingin 5mm, dibanding PV tanpa sistem pendingin. Semakin tebal genangan air pendingin yang digunakan, berpengaruh pada peningkatan daya keluaran PV yang cenderung rendah, akibat foton lebih terhalang.

DAFTAR NOTASI

η_{el}	: Efisiensi elektrik PV
A_c	: Luasan permukaan seluruh sel pada modul PV
I_r	: Intensitas radiasi yang diterima pada permukaan modul PV
G	: Pyranometer
A	: Amperemeter
V	: Voltmeter
T_p	: Temperatur panel PV
I_m	: Arus keluaran maksimum PV dengan pembebanan
V_m	: Tegangan keluaran maksimum PV dengan pembebanan

DAFTAR PUSTAKA

- Chaniotakis, E., (2001), Modelling and Analysis of Water Cooled Photovoltaics, *MSc Thesis*, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.
- Guan, T.H., (2010), Photovoltaic Thermal (PV/T) System : Effect of Active Cooling, *Master Thesis*, National University of Singapore, Singapore.
- Kementerian Energi dan Sumberdaya Material, *Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia*, <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html?tmpl=component&print=1&page>. Diakses:21 Mei 2017, jam 21.32 WIB.
- Krauter, S., (2004), Increased Electrical Yield via Water Flow Over The Front of Photovoltaic Panels, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 82, pp. 131–137.
- Mobley, C. D., (1994), Optical Properties of Water, A.S. (Ed.). *Handbook of Optics*, 2nd Ed., M. Bass, editor, McGraw-Hill, Inc.
- Moharram, K.A., Abd-Elhady, M.S., Kandil, H.A., El-Sherif, H., (2013), Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, TH., dkk., (2002), *Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System*, Elsevier : Solar Energy Vol. 72, No. 3, pp. 217-234.