

## **Analisis Prestasi Fotovoltan Terapung dan Fotovoltan Konvensional**

*Performance Analysis of Floating Photovoltaic and Conventional Photovoltaic*

Mohd Syahrman Mohd Azmi<sup>1\*</sup>, Mohd Yusof Hj. Othman<sup>1</sup>, Mohd Hafidz Hj. Ruslan<sup>2</sup> dan Zafri Azran Abdul Majid<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengajian Fizik Gunaan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.

<sup>2</sup>Institut Penyelidikan Tenaga Suria (SERI), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.

<sup>3</sup>Kulliyyah of Allied Health Sciences, Universiti Islam Antarabangsa Malaysia 25200 Bandar Indera Mahkota, Kuantan, Pahang Darul Makmur, Malaysia.

\*e-mel: syah\_0602@yahoo.co.uk

### **Abstrak**

Sistem fotovoltan terapung (FPV - *Floating Photovoltaic*) telah direka bentuk, dibina dan dikaji prestasinya. Dalam sistem fotovoltan, kecekapan elektrik sistem berkurangan dengan cepat apabila suhu modul fotovoltan meningkat. Oleh itu, dalam usaha untuk mencapai kecekapan elektrik yang lebih tinggi, modul fotovoltan perlu disejukkan dengan mengeluarkan haba melalui beberapa cara. Tujuan kajian ini adalah untuk membandingkan prestasi sistem fotovoltan konvensional (CPV - *Conventional Photovoltaic*) dan sistem fotovoltan terapung (FPV). Pada sistem FPV, penyerap yang terdiri daripada aluminium berlojong diletakkan di belakang modul fotovoltan untuk menyerap haba modul tersebut. Air digunakan untuk menyejukkan bahagian bawah modul fotovoltan. Kedua-dua sistem ini telah diuji di bawah simulator suria pada keamatan 460 W/m<sup>2</sup>, 690 W/m<sup>2</sup> dan 855 W/m<sup>2</sup>. Kajian ini mendapati sistem FPV mempunyai prestasi yang lebih baik berbanding sistem CPV. Purata suhu pada sistem FPV adalah lebih rendah berbanding sistem CPV menyebabkan kecekapan elektrik yang terhasil daripada sistem FPV adalah lebih tinggi berbanding sistem CPV.

**Kata kunci** Fotovoltan terapung (FPV), fotovoltan konvensional (CPV), prestasi, kecekapan, kuasa

### **Abstract**

A floating photovoltaic (FPV) system has been designed, developed and its performance has been studied. In photovoltaic system, the electrical efficiency of the system decreases rapidly as the temperature of photovoltaic module increases. Hence, to gain the higher electrical efficiency, the photovoltaic module has to be cooled by removing the heat in some way. The intention of this work is to compare the performance of conventional photovoltaic (CPV) with floating photovoltaic (FPV) system. In the FPV system, the absorber which consisted of aluminium flat-box was attached to the back of the photovoltaic module to absorb the heat. Water was used to cool the photovoltaic module by passing it under the bottom surface of the module. Both system had been tested under the solar simulator with

the intensity of 460 W/m<sup>2</sup>, 690 W/m<sup>2</sup> dan 855 W/m<sup>2</sup>. This study showed that the FPV had better performance compared to CPV system. The average temperature of the FPV system was lower than the CPV system, thus making the electrical efficiency produced from FPV system higher than CPV system.

**Keywords** Floating photovoltaic (FPV), conventional photovoltaic (PV), performance, efficiency, power

## Pengenalan

Sistem fotovoltan telah digunakan secara meluas di seluruh dunia untuk menjana tenaga elektrik bagi pelbagai kegunaan. Kecekapan fotovoltan secara komersial sekarang berada pada julat 10% hingga 20% bergantung kepada jenis sel suria yang digunakan apabila diuji di bawah Keadaan Ujian Piawai (STC - *Standard Test Condition*) dengan suhu operasi ditetapkan pada 25°C, keamatan sinaran 1000 W/m<sup>2</sup> dan jisim udara 1.5. Dubey *et al.* (2009) menyatakan lebih 80% daripada sinaran matahari yang menimpa sel fotovoltan dipantul atau ditukarkan kepada tenaga terma yang akan mengakibatkan peningkatan suhu sel fotovoltan. Keadaan ini akan mempengaruhi kecekapan modul fotovoltan tersebut. Apabila suhu modul fotovoltan meningkat, kecekapan modul akan menurun dengan kadar 0.4% hingga 0.5% setiap 1°C (Imamura *et al.*, 1992).

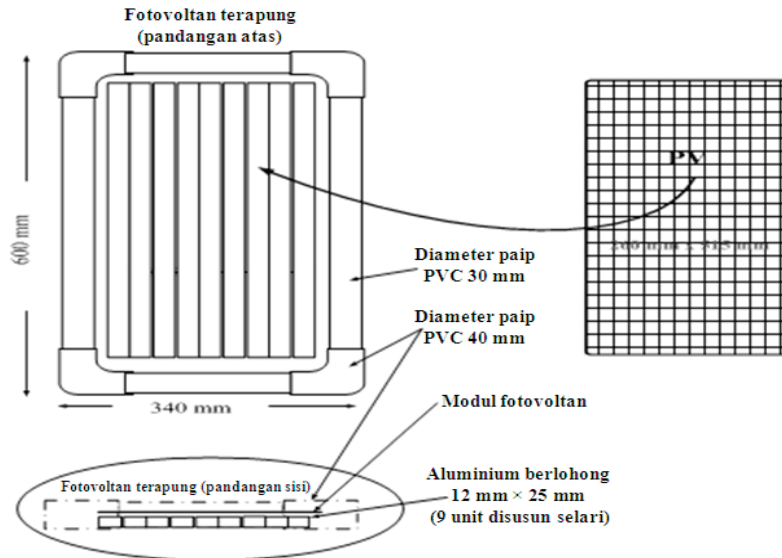
Banyak usaha telah dilakukan oleh penyelidik untuk mengurangkan suhu modul fotovoltan ini supaya kecekapan optimum boleh dicapai. Bhargava *et al.* (1991), Garg & Adhikari (1998), Hegazy (2000), Dubey & Tiwari (2008), Tonui & Tripanagnostopoulos (2008) dan Tiwari *et al.* (2009) telah menggunakan konsep fotovoltan terma (PV/T - *Photovoltaic/Thermal*) di mana air atau/dan udara bertindak sebagai penyejuk dalam sistem hibrid ini. Ibrahim *et al.* (2009) telah mengkaji sistem fotovoltan bersepadu bagi bangunan (BIPV - *Building-Integrated Photovoltaic*) untuk pelbagai aplikasi. Abdolzadeh & Ameri (2009) pula menjalankan ujikaji penyemburan air ke bahagian belakang sel fotovoltan bagi meningkatkan keupayaan dan kecekapan sistem pengepaman air fotovoltan.

Selain daripada contoh di atas, teknik lain adalah dengan mengguna fotovoltan terapung (FPV-*Floating Photovoltaic*). Modul fotovoltan diletakkan di atas permukaan air supaya haba di bahagian belakang modul fotovoltan ini akan diserap oleh air. Dengan itu, kecekapan elektrik modul fotovoltan dapat ditingkatkan. Tujuan kertas ini adalah, pertama, untuk mereka bentuk dan membina sistem fotovoltan terapung (FTV) yang mudah dan ringkas dan, keduanya adalah untuk membandingkan prestasi FPV dengan fotovoltan konvensional (CPV-*Conventional Photovoltaic*) dan akhirnya melaporkan kecekapan elektrik dan kuasa output elektrik yang dihasilkan oleh kedua-dua sistem tersebut.

## Bahan dan Kaedah

Sistem fotovoltan terapung (FPV) yang direka bentuk mampu terapung di dalam air, menjana tenaga elektrik dengan baik dan mengurangkan suhu modul fotovoltan di samping kos pembuatannya yang murah. Konsep reka bentuk sistem FPV ini ditunjukkan seperti Rajah 1. Sistem FPV ini berdimensi 0.34 m × 0.60 m. Jumlah keluasan sel suria adalah 0.11 m<sup>2</sup>. Sistem FPV ini dibahagikan kepada tiga komponen utama, iaitu modul fotovoltan sebagai penjana kuasa elektrik, paip polivinil klorida (PVC) digunakan sebagai pelampung

dan aluminium berlojong sebagai penyerap dan pemindah haba. Modul fotovoltaan yang digunakan dalam kajian ini adalah jenis KYOCERA bernombor siri KC16T02 dengan kuasa maksimum 16 watt.



**Rajah 1** Model skematik fotovoltaan terapung (FPV)

Paip PVC yang diguna sebagai pelampung adalah berdiameter luar 30 mm dan empat siku penyambung yang berdiameter luar 40 mm setiap satu. Struktur ini akan membolehkan paip PVC memerangkap udara dan tidak membenarkan air memasukinya lalu menjadikan ia seperti sebuah boya. Paip PVC digunakan kerana ia mesra alam, boleh diguna untuk masa yang sangat lama dan tidak berkarat.

Aluminium berlojong pula diguna untuk menyerap haba dari bahagian bawah modul fotovoltaan dan memindahkan haba tersebut ke air. Aluminium dipilih berdasarkan nilai kekonduksian terma, ketumpatan yang rendah (ringan), serta kosnya yang murah berbanding bahan-bahan lain. Perbandingan kekonduksian terma dan nilai ketumpatan bahan-bahan yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Tembaga tidak dipilih walaupun konduktiviti termanya lebih tinggi daripada aluminium kerana mahal dan lebih berat daripada aluminium. Walaupun keluli tahan karat adalah bahan yang baik, tetapi kekonduksian termanya adalah rendah dan ketumpatannya tinggi menyebabkan ia tidak sesuai untuk sistem ini. Selain daripada ringan dan kekonduksian terma yang baik, aluminium tidak mudah terhakis oleh air menjadikan aluminium sebagai pilihan terbaik untuk sistem ini.

**Jadual 1** Sifat-sifat bahan dalam sistem FPV

Bahan	Ketumpatan ( $\text{kg/m}^3$ )	Konduktiviti terma ( $\text{W/mK}$ )
Tembaga	8920 – 8960	380
Aluminium	2712	220
Keluli tahan karat	7480 – 8000	12.11 – 45.00

Kajian ini dijalankan di Makmal Tenaga Suria, Universiti Kebangsaan Malaysia dengan menggunakan simulator suria dengan 23 lampu halogen yang berkuasa 500 watt setiap satu. Simulator suria telah ditetapkan pada keamatan sinaran 460 W/m<sup>2</sup>, 690 W/m<sup>2</sup> dan 855 W/m<sup>2</sup>. Dua set ujikaji telah dijalankan ke atas sistem yang direka, iaitu fotovoltan CPV dan FPV. Bagi FPV, sistem ini telah diletakkan di dalam bekas berisi air. Ujikaji ini telah dijalankan dalam tempoh sejam dengan data diambil setiap 10 minit. Suhu permukaan atas modul fotovoltan bagi kedua-dua reka bentuk juga direkodkan.

## Analisis Data

Parameter yang paling penting dipertimbangkan untuk menilai prestasi fotovoltan terapung (FPV) adalah kecekapan penukaran cahaya kepada kuasa elektrik. Kecekapan elektrik modul fotovoltan boleh dikira menggunakan rumus (1) atau (2) (Charalambus *et al.*, 2007)

$$\eta_{el} = \frac{P_{mak}}{S \times A_{pv}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta_{el} = \frac{I_m \times V_m}{S \times A_{pv}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan,  $\eta_{el}$  sebagai kecekapan elektrik (%),  $P_{mak}$  sebagai kuasa maksimum yang dijana oleh modul fotovoltan (W),  $S$  sebagai keamatan sinaran (W/m<sup>2</sup>) dan  $A_{pv}$  sebagai luas permukaan depan modul fotovoltan yang terdedah kepada keamatan sinaran (m<sup>2</sup>).  $I_m$  dan  $V_m$  pula diukur dari plot lengkungan cirian arus ( $I$ ) melawan voltan ( $V$ ).

## Keputusan dan Perbincangan

Jadual 2, 3 dan 4 menunjukkan kuasa maksimum, kecekapan elektrik dan purata suhu permukaan atas sel fotovoltan (PV) bagi ujikaji kedua-dua sistem masing-masing pada keamatan sinaran 460 W/m<sup>2</sup>, 690 W/m<sup>2</sup> dan 855 W/m<sup>2</sup>. Jadual 2 menunjukkan peningkatan ketara kuasa maksimum dan kecekapan elektrik untuk sistem FPV berbanding sistem CPV. Secara umum, keputusan menunjukkan bahawa kuasa maksimum elektrik bagi sistem CPV dan FPV berkurangan dengan peningkatan suhu sel PV, tetapi output kuasa elektrik yang terhasil daripada sistem FPV adalah masih lebih tinggi daripada sistem CPV.

**Jadual 2** Kuasa maksimum, kecekapan elektrik dan purata suhu permukaan atas sel PV pada keamatan sinaran 460 W/m<sup>2</sup>

	10 minit		20 minit		30 minit		40 minit		50 minit		60 minit	
	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV
Kuasa, $P_{mak}$ (W)	2.56	2.73	2.50	2.69	2.43	2.65	2.35	2.60	2.26	2.55	2.16	2.50
Kecekapan, $\eta_{el}$ (%)	5.06	5.40	4.94	5.32	4.80	5.24	4.64	5.14	4.47	5.04	4.27	4.94
Purata suhu, $T_{av}$ (°C)	28.6	27.8	32.8	31.2	37.0	36.1	42.3	40.0	47.5	45.3	53.4	50.4

**Jadual 3** Kuasa maksimum, kecekapan elektrik dan purata suhu permukaan atas sel PV pada keamatan sinaran 690 W/m<sup>2</sup>

	10 minit		20 minit		30 minit		40 minit		50 minit		60 minit	
	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV
Kuasa, $P_{\text{mak}}$ (W)	3.72	3.95	3.60	3.87	3.47	3.80	3.32	3.68	3.15	3.59	3.00	3.44
Kecekapan, $\eta_{\text{el}}$ (%)	4.90	5.20	4.74	5.10	4.57	5.01	4.37	4.85	4.15	4.73	3.95	4.53
Purata suhu, $T_{\text{av}}$ (°C)	29.8	28.7	35.2	32.4	42.8	38.8	49.0	46.2	55.5	51.3	59.8	55.6

**Jadual 4** Kuasa maksimum, kecekapan elektrik dan purata suhu permukaan atas sel PV pada keamatan sinaran 855 W/m<sup>2</sup>

	10 minit		20 minit		30 minit		40 minit		50 minit		60 minit	
	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV	CPV	FPV
Kuasa, $P_{\text{mak}}$ (W)	5.15	5.68	5.00	5.53	4.82	5.37	4.60	5.17	4.43	4.98	4.25	4.83
Kecekapan, $\eta_{\text{el}}$ (%)	5.48	6.04	5.32	5.88	5.12	5.71	4.89	5.50	4.71	5.30	4.52	5.14
Purata suhu, $T_{\text{av}}$ (°C)	35.5	33.2	42.2	38.7	48.5	46.0	54.7	51.3	61.8	57.5	67.0	62.4

Perbandingan purata kuasa, peratusan peningkatan kuasa, purata kecekapan elektrik dan peratusan peningkatan kecekapan elektrik bagi kedua-dua sistem dipaparkan dalam Jadual 5, 6 dan 7. Keputusan ujikaji ini membuktikan bahawa sistem FPV telah berjaya meningkatkan kuasa dan kecekapan elektrik berbanding sistem CPV. Jika dilihat hasil ujikaji pada keamatan sinaran 460 W/m<sup>2</sup>, purata kuasa yang dijana oleh sistem PV konvensional dan sistem FPV masing-masing adalah 2.38 W dan 2.62 W. Ini menunjukkan peningkatan kuasa sebanyak 10.08 % dan kecekapan elektrik meningkat sehingga 10.21%.

Bagi ujikaji pada keamatan sinaran 690 W/m<sup>2</sup> dan 855 W/m<sup>2</sup> juga menunjukkan sistem FPV adalah lebih baik daripada sistem CPV. Kuasa dan kecekapan elektrik sistem FPV masing-masing meningkat sehingga 10.06% dan 10.11% berbanding sistem CPV pada keamatan sinaran 690 W/m<sup>2</sup>. Hasil ujikaji pada keamatan sinaran 855 W/m<sup>2</sup> pula menunjukkan peningkatan ketara kuasa dan kecekapan elektrik yang diperolehi daripada sistem FPV berbanding sistem CPV (Jadual 7).

**Jadual 5** Perbandingan purata kuasa, peratusan peningkatan kuasa, purata kecekapan dan peratusan peningkatan kecekapan bagi ujikaji CPV dan FPV pada keamatan sinaran 460 W/m<sup>2</sup>

	Purata kuasa, $P_{\text{av}}$	Peratusan peningkatan kuasa	Purata kecekapan, $\eta_{\text{av}}$	Peratusan peningkatan kecekapan
CPV	2.38 W		4.70 %	
FPV	2.62 W	10.08 %	5.18 %	10.21 %

**Jadual 6** Perbandingan purata kuasa, peratusan peningkatan kuasa, purata kecekapan dan peratusan peningkatan kecekapan bagi ujikaji CPV dan FPV pada keamatan sinaran 690 W/m<sup>2</sup>

	Purata kuasa, $P_{av}$	Peratusan peningkatan kuasa	Purata kecekapan, $\eta_{av}$	Peratusan peningkatan kecekapan
CPV	3.38 W	10.06 %	4.45 %	10.11 %
FPV	3.72 W		4.90 %	

**Jadual 7** Perbandingan purata kuasa, peratusan peningkatan kuasa, purata kecekapan dan peratusan peningkatan kecekapan bagi ujikaji CPV dan FPV pada keamatan sinaran 855 W/m<sup>2</sup>

	Purata kuasa, $P_{av}$	Peratusan peningkatan kuasa	Purata kecekapan, $\eta_{av}$	Peratusan peningkatan kecekapan
CPV	4.71 W	11.68 %	5.01 %	11.78 %
FPV	5.26 W		5.60 %	

## Kesimpulan

Satu reka bentuk sistem FPV telah berjaya dibina dengan mengguna bahan yang murah dan mudah didapati. Sistem FPV ini mampu terapung di atas air dengan baik. Air bertindak sebagai penyejuk di bahagian bawah sel PV supaya dapat mengurangkan suhu operasi sel PV tersebut. Sistem CPV dan FPV ini telah diuji di dalam makmal menggunakan simulator suria pada tiga keamatan suria yang berbeza. Kajian ini mendapati sistem FPV mempunyai prestasi yang lebih baik berbanding sistem PV konvensional. Purata suhu fotovoltan terapung (FPV) adalah lebih rendah berbanding fotovoltan konvensional (CPV). Oleh itu, FPV menghasilkan kecekapan elektrik yang lebih tinggi daripada PV konvensional. Sistem FPV berpotensi dibina di tasik, kolam atau empangan.

## Rujukan

- Abdolzadeh, M. & Ameri, M. (2009). Improving the effectiveness of a photovoltaic pumping system by spraying water on the front of photovoltaic cells. *Journal of Renewable Energy*, 34, 91-96.
- Bhargava, A. K., Garg, H. P. & Agarwal, R. K. (1991). Study of a hybrid solar system – solar air heater combined with solar cell. *Solar Energy*, 31, 471-479.
- Charalambus, P. G., Maidment, G. G., Kalogirou, S. A. & Yiakoumetti, K. (2007). Photovoltaic thermal (PV/T) collectors. A review. *Applied Thermal Engineering*, 27, 275-286.
- Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 87, 365-379.
- Dubey, S. & Tiwari, G. N. (2008). Thermal modeling of a combined system of photovoltaic thermal (PV/T) solar water heater. *Solar Energy*, 82, 602-612.
- Garg, H. P. & Adhikari, R. S. (1998). Transient simulation of conventional hybrid photovoltaic/thermal air heating collectors. *International Journal Energy Resources*, 22, 547-562.
- Hezagy, A. A. (2000). Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors. *Energy Conversion Management*, 31, 861-881.
- Ibrahim, A., Jin, G. L., Daghigh, R., Salleh, M. H. M., Othman, M. Y. & Ruslan, M. H. (2009).

- Hybrid photovoltaic thermal (PV/T) air and water based solar collectors suitable for building integrated applications. *American Journal of Environmental Sciences*, 5, 618-624.
- Imamura, M. S., Helm, P & Ralz. (1992). *Photovoltaic system technology – a European handbook*. U.K: CEC.
- Tiwari, A., Barnwal, P., Sandhu, G. S. & Sodha, M. S. (2009). Energy metrics analysis of hybrid – photovoltaic (PV) modules. *Applied Energy*, 86, 2615-2625.
- Tonui, J. K. & Tripanagnostopoulos, Y. (2008). Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation. *Solar Energy*, 82, 1-12.