

## ***Model Simulasi Implementasi Algoritma Perturb & Observe MPPT Pada Modul PV Menggunakan Matlab-Simulink***

Syafrudin Masri<sup>1,1</sup>, Jaya Kuncara Rosa Susila<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universitas Muhammadiyah Bandung

Jl. Soekarno-Hatta No.752, Cipadung Kidul, Panyileukan, Bandung City, Jawa Barat 40614

e-mail: <sup>1</sup>syafurudin@umbandung.ac.id, <sup>2</sup>jaya.kuncara@umbandung.ac.id

### ***Abstrak***

*Pada paper ini di presentasikan suatu prosedur model simulasi implementasi Algoritma Maximum Power Point Tracking – MPPT (Penjejak Titik Daya Maksimum) “Perturb & Observe” (P&O) pada Modul Photovoltaic (PV) menggunakan pemrograman Matlab-Simulink. Secara detil dijelaskan integrasi dari rangkaian model modul PV, konverter Buck DC-DC dengan kelengkapan MPPT menggunakan metoda algoritma P&O. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan pemrograman Matlab-Simulink. Hasil simulasi memperlihatkan response MPPT yang valid dalam menentukan titik operasi daya (duty cycle dari converter DC-DC) untuk berbagai tingkatan iradiasi sinar matahari dan temperature sel solar.*

***Kata kunci:*** PV, Buck converter, MPPT, P&O, Matlab-Simulink.

### ***Abstract***

*This paper presents a simulation model procedure for the implementation of the Maximum Power Point Tracking Algorithm - MPPT "Perturb & Observe" (P&O) on the Photovoltaic (PV) Module using the Matlab-Simulink programming. In detail, the integration of a series of PV module models, Buck DC-DC converters with MPPT completeness using the P&O algorithm method is explained. Modeling is done using the Matlab-Simulink programming. The simulation results show a valid MPPT response in determining the power operating point (duty cycle of the DC-DC converter) for various levels of sunlight irradiation and solar cell temperature.*

***Keywords:*** PV, Buck converter, MPPT, P&O, Matlab-Simulink.

## **1. PENDAHULUAN**

Dengan semakin menipis dan keterbatasan tersedianya sumber energi konvensional fosil (minyak bumi dan batubara). Sebab inilah maka energi alternative photovoltaic PV(energi surya) menjadi energi yang menjanjikan dengan berbagai keuntungan seperti tidak adanya pencemaran dan ketersediaan diseluruh permukaan bumi dan tidak akan habis digunakan.

Modul PV (sel solar) merupakan unit penting untuk mengkonversi energy matahari menjadi energy listrik. Karakteristik keluaran daya listrik dari suatu modul PV sangat tergantung pada iradiasi matahari, suhu sel dan tegangan keluaran modul PV. Karena modul PV memiliki karakteristik nonlinier, untuk peancangan dan aplikasi sistem PV maka perlu dimodelkan dan simulasikan untuk menentukan pelacakan titik daya maksimum dari suatu MPPT [1].

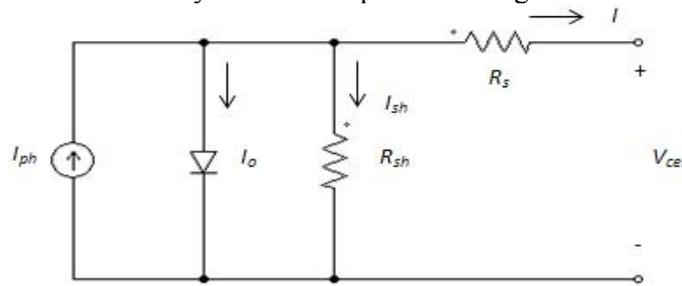
Pada paper ini, karakteristik modul PV jenis BP275F 75W dimodelkan dan algoritma MPPT Perturb & Observe (P&O) di implimentasikan dengan menggunakan referensi pemrograman Matlab- Simulink.

## **2. METODE PENELITIAN**

### **1. MODEL MATEMATIKA MODUL PV**

Secara umum, rangkaian ekivalen untuk sel surya (PV) dapat dimodelkan dengan model diode tunggal [2], seperti yang diperlihatkan pada Gambar. 1. Model ini terdiri dari empat komponen lainnya yaitu sumber

arus foto listrik (photocurrent source)  $I_{ph}$ , sebuah diode yang paralel dengan sumber arus  $I_o$ . Resistor series  $R_s$  adalah resistans dalaman dari suatu material modul solar PV, dan tergantung bahan semikonduktor. Dan resistor parallel  $R_{sh}$  adalah akibat dari adanya arus bocor pada sambungan.



Gambar 1. Model simulasi dari modul sel PV

Dari rangkaian ekivalen ini, modul photovoltaic PV dapat dimodelkan secara matematik sebagai mana yang diberikan pada persamaan (1)-(4) [3].

Model sumber arus fotosel :

$$I_{ph} = [I_{SCr} + K_i (T - 298) * \frac{\lambda}{1000}] \tag{1}$$

dimana :

- $I_{ph}$  : arus yang dibangkitkan oleh fotosel (A)
- $I_{SCr}$  : arus hubung-singkat modul PV pada 25°C, 1000W/m<sup>2</sup>
- $K_i$  : koefisien temperature (0.0017A/°C)
- $T$  : temperature operasi modul, Kelvin (K)
- $\lambda$  : iluminasio modul PV, 1000W/m<sup>2</sup>

Model arus saturasi :

$$I_{rs} = \frac{I_{SCr}}{[\exp(\frac{qVOC}{NskAT}) - 1]} \tag{2}$$

dimana :

- $I_{rs}$  : arus saturasi modul PV, (A)
- $q$  : 1,6 x 10<sup>-19</sup> C (muatan elektron)
- $VOC$  : Tegangan keluaran hubung terbuka modul P
- $Ns$  : banyaknya sel-PV yang dihubung seri
- $k$  : Boltzmann constant, 1.3805 x 10<sup>-23</sup> J/K
- $A$  : Bk = 1,6 (factor idialitas)

Model arus dioda :

Modul arus  $I_o$  ini berubah-ubah terhadap temperature sel PV dan dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai arus  $I_o$  berikut ini :

$$I_o = I_{rs} \left[ \frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[ \frac{qE_{g0}}{Bk \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right)} \right] \tag{3}$$

dimana :

- $I_o$  : arus yang mengalir pada dioda, (A)
- $T_r$  : temperature referensi 25° C
- $E_{g0}$  : Tegangan keluaran hubung terbuka modul PV
- $Ns$  : banyaknya sel-PV yang dihubung seri
- $k$  : Boltzmann constant, 1.3805 x 10<sup>-23</sup> J/K
- $A$  : Bk = 1,6 (factor idialitas)
- $E_{g0}$  : celah band silicon = 1.1eV
- $Bk$  : 1,6 (factor idialitas)

Arus keluaran modul PV module :

$$I = N_p * I_{ph} - N_p * I_o \left[ \exp \left( q * \frac{(V_{cell} + IR_s)}{N_s AkT} \right) - 1 \right] \tag{4}$$

dimana :

- $I$  : arus keluaran modul PV, (V)
- $R_s$  : resistor seri modul PV
- $N_s$  : banyaknya sel-PV yang terhubung seri.
- $N_p$  : banyaknya sel-PV yang terhubung parallel.

II. IMPLEMENTASI PEMODELAN dan SIMULASI

Sebagai referensi model untuk simulasi dipilih modul PV-BP275F, 75 Watt yang mempunyai spesifikasi data teknis seperti yang diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data teknis modul PV BP275F, 75 Watt

Description	Rating
Rating daya	75.00 W
Tegangan pada daya maksimum (Vmp)	17.00 V
Arus pada daya maksimum (Imp)	4.45 A
Tegangan rangkaian terbuka (VOC)	21.4 V
Arus hubung singkat (ISCr)	4.75 A
Jumlah sel PV yang terhubung seri (Ns)	36
Jumlah sel-PV yang terhubung parallel (Np)	1

Note: The electrical specifications are under standard test conditions (STCs) which means an irradiation of 1000W/m<sup>2</sup> with an AM 1.6 spectrum at 25°C.

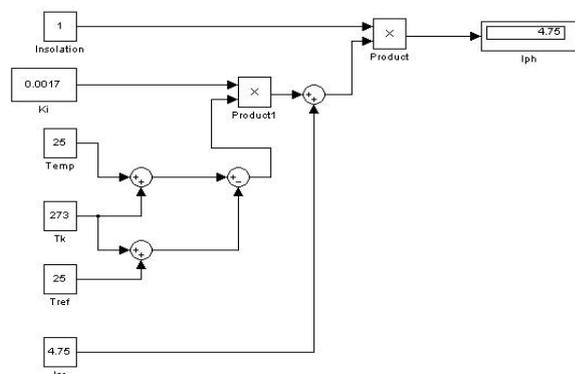
Pemodelan simulasi Modul PV dilakukan dalam bentuk Matlab-Simulink. Pada pemodelan ini, Sel-PV digrupkan dalam unit yang besar dalam bentuk modul PV dan kemudian di integrasi dalam bentuk seri dan parallel untuk membentuk array PV. Berdasarkan persamaan-persamaan dasar dari teori semikonduktor dan photovoltaic, maka dapat dijelaskan secara matematik tentang karakteristik V-I suatu modul PV.

A. Photocurrent,  $I_{ph}$

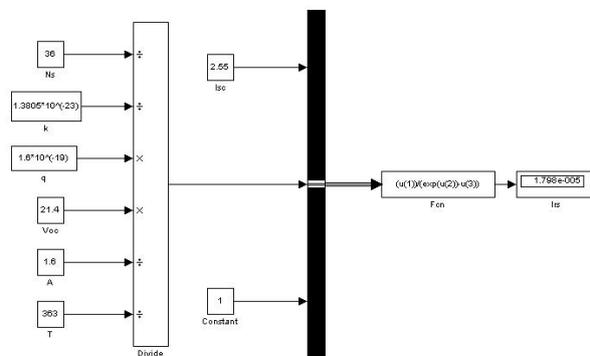
Pada Gambar 2 model simulasi dari fotosel dari modul PV  $I_{ph}$  dinyatakan dalam persamaan (1) yang besarnya tergantung secara linier terhadap radiasi sinar matahari atau insolasi dan juga dipengaruhi oleh temperatur sel PV.

B. Model simulasi saturation,  $I_{rs}$

Model simulasi arus saturasi modul PV diberikan pada persamaan (2). Gambar 3 menunjukkan model simulasi untuk arus saturasi modul PV. Model simulasi arus dioda dari modul PV direpresentasikan pada persamaan (3). Pada Gambar 4 menunjukkan model simulasi untuk menyatakan arus diode yang mengalir pada rangkaian ekivalen module PV.



Gambar 2. Pemodelan simulasi arus fotocell PV



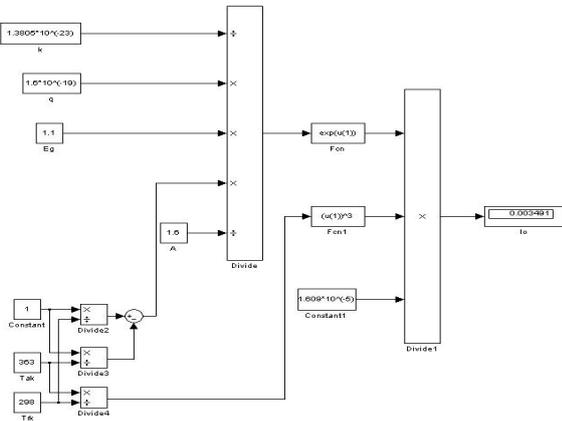
Gambar 3. Model arus saturasi modul PV

C. Model simulasi arus diode  $I_o$

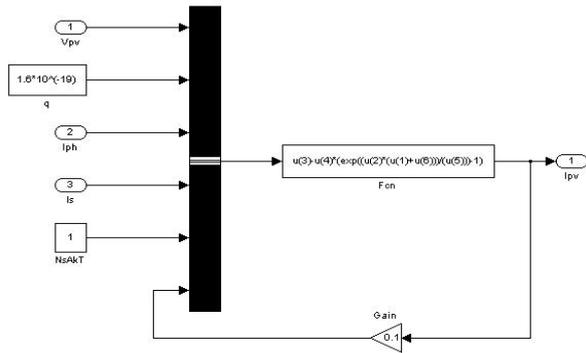
Model simulasi arus diode  $I_o$  didapatkan dari mensimulasikan persamaan (3) dimana temperature operasi  $T$ , temperature referensi  $T_f$  dan arus saturasi  $I_{SR}$  merupakan parameter masukkan (input). Gambar.4 memperlihatkan model simulasi arus diode tersebut.

D. Model simulasi arus keluaran modul PV

Untuk menentukan model simulasi arus keluaran modul PV dapat dilakukan dengan mengintegrasikan kesemua model arus yang telah dijelaskan diatas. Gambar.5 memperlihatkan model simulasi arus keluaran I modul PV tersebut.



Gambar 4. Model simulasi arus diode  $I_o$



Gambar 5. Model simulasi arus keluaran I modul PV

III. KONVERTER BUCK DC-DC

Konverter buck DC-DC digunakan sebagai penyambung antar muka (*interface*) antara tegangan keluaran (*output voltage*)  $V$  modul dan beban. Konverter ini sekaligus sebagai pengesan atau penjejak titik operasi daya maksimum dari modul  $PV$ . Dengan demikian tegangan input bagi konverter ini adalah  $V = V_s$ . Rangkaian konverter Buck DC-DC diperlihatkan pada Gambar 6. Dimana komponen daya sebagai pensaklaran operasi siklus kerja  $k$  (*duty cycle*) digunakan MOSFET dan dilengkapi dengan *freewheeling* diode D jenis pensaklaran cepat (*fast switching*).

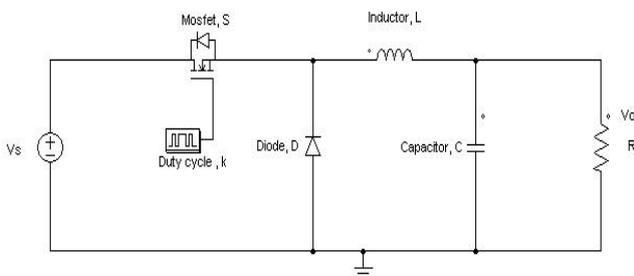
Tegangan keluaran konverter Buck DC-DC,  $V_o$  merupakan fungsi dari siklus kerja  $k$  dinyatakan sebagai berikut:

$$V_o = D V_s \tag{4}$$

dimana:

- $V_o$  : tegangan keluaran konverter Buck DC-DC
- $V_s$  : tegangan masukan konverter Buck DC-DC
- $D$  : siklus kerja

Konverter Buck DC-DC diasumsikan beroperasi pada mode konduksi kontinyu. Parameter konverter Buck DC-DC ini diperlihatkan pada Table 2.



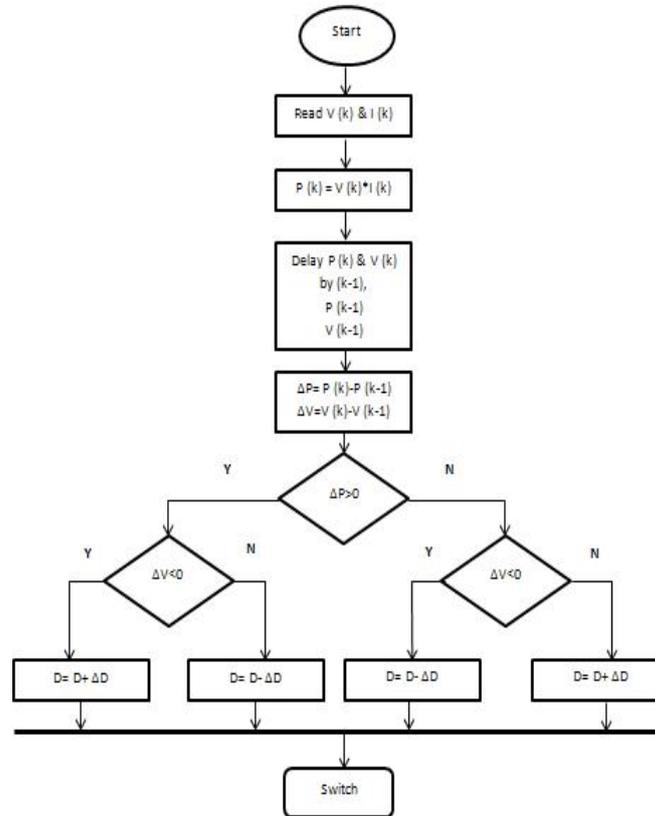
Gambar 6. Rangkaian konverter Buck DC-DC

Tabel 2. Parameter konverter Buck DC-DC

Komponen	Keterangan
MOSFET	IRF540N
Induktor, $L$	1mH
Dioda, $D$	MUR860
Kapasitor input, $C_{in}$	250uF
Kapasitor Output, $C_{out}$	220uF
Resistansi beban, $R$	1.40 Ohm
Prekuwensi pensaklaran, $f_s$	20kHz

IV. ALORITMA MPPT PERTURB & OBSERVE

Perturb and Observe, algoritma P&O banyak digunakan dalam *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) atau penjejak daya maksimum karena strukturnya yang sederhana dan reliabilitasnya yang tinggi [4]. MPPT ini beroperasi dengan secara berkala mengganggu dan meningkatkan dan menurunkan tegangan terminal modul dan membandingkan daya keluaran PV dengan yang ada pada siklus gangguan sebelumnya. Jika daya meningkat, gangguan akan berlanjut ke arah yang sama di siklus berikutnya, jika tidak, arah gangguan akan dibalik. Diagram alir dari algoritma yang diimplementasikan ditunjukkan pada Gambar 7.



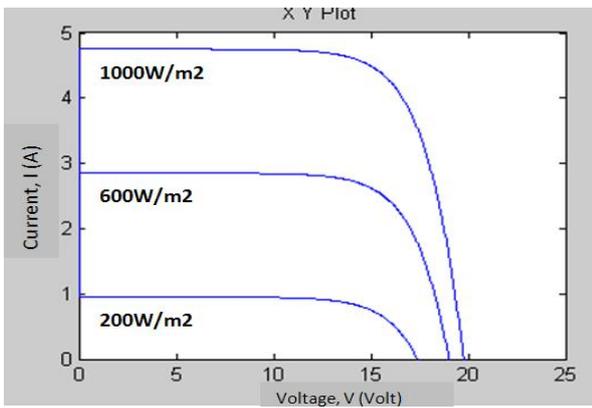
Gambar 7. Diagram alir algoritma P & O

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

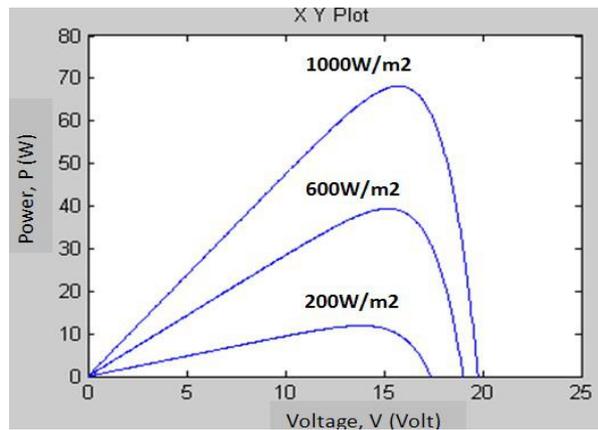
Model simulasi modul PV dibentuk dengan menggunakan paket program Matlab-Simulink, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Sebagai parameter uji digunakan tiga besaran irradiansi matahari yaitu 200W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup> dan 1000W/m<sup>2</sup> pada temperature konstan 25°C. Bentuk gelombang karakteristik listrik modul PV arus vs tegangan (I-V) dan daya vs tegangan (P-V) diilustrasikan masing-masing pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Pada irradiansi 200W/m<sup>2</sup>, daya keluaran modul PV maksimum adalah 10W dengan arus drain 1A pada tegangan terminal 15V modul PV. Ketika nilai irradiansi ditingkatkan dari 200W/m<sup>2</sup> menjadi 600W/m<sup>2</sup>, daya keluaran modul PV adalah 40W dengan arus drain maksimum 2,8A pada tegangan terminal 16V. Pada kondisi uji standar (STC) dengan irradiansi 1000W/m<sup>2</sup> dan temperatur operasi 25°C, daya keluaran maksimum modul PV adalah 70W dengan arus maksimum 4,7A dan pada tegangan 17V.

Dari karakteristik I-V dan P-V, terlihat bahwa irradiansi sinar matahari ditingkatkan dengan temperature konstan, titik operasi daya keluaran maksimum modul PV yang diwakili oleh nilai arus dan tegangan modul PV bervariasi sesuai dengan intensitas irradiansi sinar matahari yang datang. Oleh karena itu, tugas utama teknik kontrol MPPT adalah menemukan titik operasi modul PV ini untuk beroperasi pada daya keluaran maksimum yang tersedia pada kondisi irradiansi dan suhu tersebut.

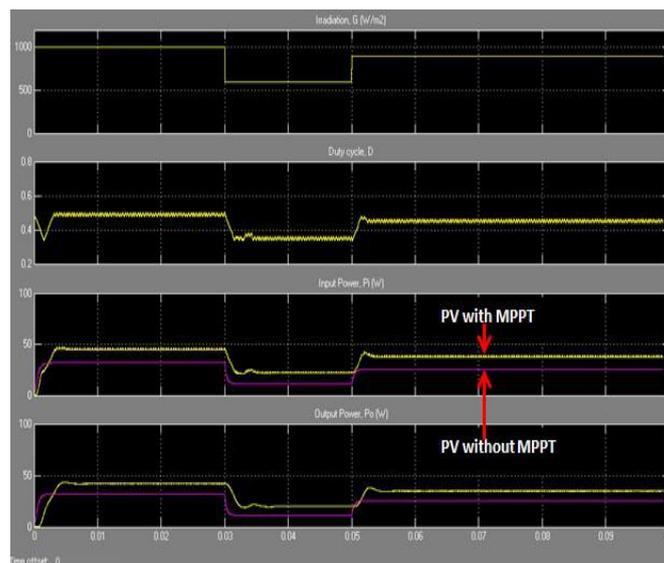


Gambar 8. 1. Karakteristik V-I modul PV untuk berbagai nilai iradiasi matahari



Gambar 9. Karakteristik P-V modul PV untuk berbagai nilai iradiasi matahari.

Setelah simulasi dilakukan untuk iradiasi matahari 600W/m<sup>2</sup> dengan rentang waktu antara 0,03 detik hingga 0,05 detik. Iradiasi kemudian diubah menjadi 900W/m<sup>2</sup> pada waktu 0,05 detik dan seterusnya. Gambar 10 memperlihatkan operasi siklus kerja konverter D dan MPPT P&O beroperasi pada titik-titik daya maksimum terjadi. Pada nilai iradiasi 1000W/m<sup>2</sup>, modul PV tanpa MPPT menghasilkan daya keluaran 36W sedangkan PV dengan MPPT menghasilkan daya PV sebesar 48W. Selama perubahan iradiasi dari 600W/m<sup>2</sup> menjadi 1000W/m<sup>2</sup> dan dari 600W/m<sup>2</sup> hingga 900W/m<sup>2</sup>, daya keluaran modul PV dengan MPPT menunjukkan adanya peningkatan daya jika dibandingkan modul PV tanpa MPPT.



Gambar 10. operasi siklus kerja konverter D dan MPPT P&O

#### 4. KESIMPULAN

Model simulasi rangkaian modul PV menggunakan Matlab-Simulink telah dipresentasikan. Pengenalan algoritma P&O MPPT pada modul PV menunjukkan daya maksimum yang tersedia dari PV dapat diekstraksi dengan iradiasi yang konstan dan berfluktuasi. Dari hasil simulasi pada paper ini menunjukkan bahwa sistem konversi modul PV menggunakan MPPT P&O dapat meningkatkan ketersediaan daya maksimum sebesar 33% pada titik operasi pada nilai iradiasi 1000W/m<sup>2</sup>, 600W/m<sup>2</sup> dan 900W/m<sup>2</sup> dan pada temperatur 25°C dibandingkan dengan sistem tanpa menggunakan MPPT. Oleh karena itu, penerapan teknik P&O MPPT pada modul PV dapat meningkatkan efisiensi modul PV dan pada akhirnya meningkatkan keandalan system pembangkit listrik tenaga surya.

**Daftar Pustaka**

- [1] C. Hua, J. Lin, and C. Shen, "Implementation of a DSP- controlled photovoltaic sistem with peak power tracking", IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 45, pp. 99-107, Feb. 2008.
- [2] M.G. Villalva, J.R. Gazoli and E.R. Filho, "Modeling and Circuit-based Simulation of Photovoltaic Arrays", IEEE Trans. Power Electronics, vol. 25, pp. 1198-1208, 2009.
- [3] J.H. Jung, and S. Ahmed, "Model Construction of Single Crystalline Photovoltaic Panels for Real-time Simulation," IEEE Energy Conversion Congress & Expo, September 2010, USA.
- [4] Z. Salameh, F. Dagher, and W.A. Lynch, "Step-Down Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Sistem," Solar Energy, vol. 46, No. 1, pp. 278-282, 1991.
- [5] A. Oi, "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping Sistem," in Electrical Engineering, vol. Master of Science in Electrical Engineering, California Polytechnic State University, pp. 113, 2005.