

## RANCANG BANGUN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) SOLAR SEL UNTUK APLIKASI PADA SISTEM GRID PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTA<sub>g</sub>)

### *Maximum Power Point Design and Tracking (Mppt) Solar Cell System for Applications in Wind Power Grid (PLTA<sub>g</sub>)*

**Machmud Effendy**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang  
Email: machmudeffendy@yahoo.com

#### **ABSTRACT**

*MPPT is a technology to get the maximum power output of solar and PLTA<sub>g</sub> flukutasi irradiation occurs when the sun or wind speed fluctuations. In the first study, made models and models MPPT solar cells consisting of a buck boost converter models and algorithms of fuzzy logic controllers (FLC) using Matlab. Modeling results indicate that the solar cells solar cells has been working according to their characteristics and have current and voltage levels liniearitas  $R^2 = 0.9$  when the load changes. While the model of the buck boost converter also has worked according to their characteristics and has an error rate of 0.4%. Model MPPT algorithm using FLC with 7 membership functions can improve solar cells in the event of fluctuations in solar irradiation between 100 s / d 1000 W / m<sup>2</sup>. When compared with solar cells using MPPT, MPPT solar cell uses comes with FLC algorithm can improve up to 68.82%.*

**Keywords:** solar cell, mppt, Fuzzy.

#### **ABSTRAK**

MPPT adalah teknologi untuk mendapatkan output daya maksimum radiasi flukutasi surya dan PLTA<sub>g</sub> terjadi ketika matahari atau angin fluktuasi kecepatan. Dalam studi pertama, membuat model dan model MPPT sel surya yang terdiri dari model converter meningkatkan buck dan algoritma fuzzy logic controller (FLC) menggunakan Matlab. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa sel surya sel surya telah bekerja sesuai dengan karakteristik mereka dan memiliki tingkat arus dan tegangan liniearitas  $R^2 = 0,9$  ketika perubahan beban. Sedangkan model meningkatkan buck converter juga bekerja sesuai dengan karakteristik mereka dan memiliki tingkat kesalahan 0,4%. Algoritma MPPT model dengan menggunakan FLC dengan 7 fungsi keanggotaan dapat meningkatkan pembangkit sel surya dalam hal fluktuasi radiasi matahari antara 100 s / d 1000 W / m<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan sel surya menggunakan MPPT, sel surya MPPT dilengkapi dengan algoritma FLC dapat meningkatkan pembangkit sel surya sampai 68,82%.

**Kata kunci:** sel surya, MPPT, Fuzzy.

---

#### **PENDAHULUAN**

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) dan PLTA<sub>g</sub> (Pembangkit Listrik Tenaga Angin) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) banyak tersedia di Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM (ESDM,2006), Indonesia mempunyai potensi energi surya di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m<sup>2</sup> atau setara dengan 112.000 GWp,

namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi surya yang menargetkan kapasitas PLTS terpasang hingga tahun 2025 adalah sebesar 0.87 GW atau sekitar 50 MWp/tahun. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi surya di masa datang. Sedangkan untuk potensi tenaga angin, Indonesia mempunyai potensi angin sebesar 9.29 GW dan sudah

terpasang sebesar 0.0006 GW. Sehingga dari data potensi diatas, maka perlu adanya pemanfaatan PLTS dan PLTA<sub>g</sub> yang lebih banyak lagi, agar kapasitas terpasang kedua potenesi energy diatas bias ditingkatkan.

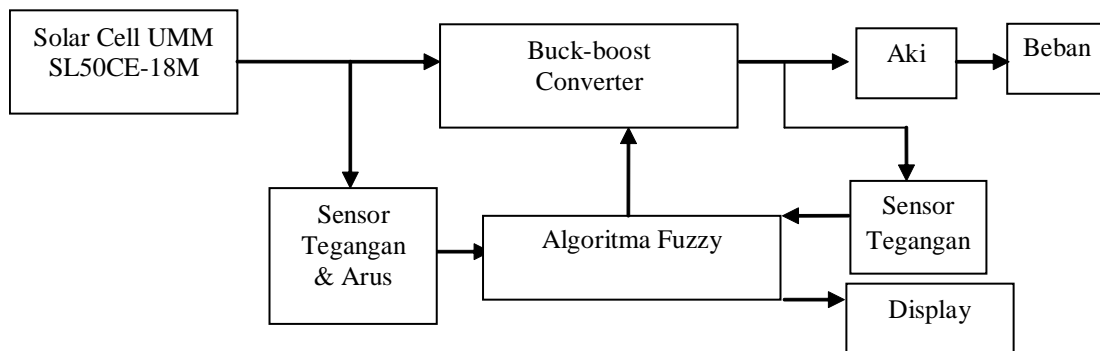
Meskipun PLTS merupakan energy baru terbarukan yang tidak akan pernah habis, namun energy ini mempunyai salah satu kelemahan, yaitu tidak tersedianya sumber energy yang terus menerus karena energy matahari tersedia hanya pada siang hari. Sehingga pada malam hari, tidak ada energy listrik yang di *charge* (diisikan) ke dalam baterai. Untuk menambah kebutuhan energy listrik diperlukan pembangkit listrik lainnya yang dapat diinterkoneksi dengan PLTS. Kelemahan lainnya dari PLTS adalah kecilnya efisiensi daya yang dihasilkan dari solar sel, hal ini dapat terlihat pada PLTS Universitas Muhammadiyah Malang (UMM) yang memiliki daya maksimal solar sel sebesar 2500 Watt, namun daya listrik yang

dibangkitkan rata-rata 1400 Watt dengan kata lain nilai efisiensinya hanya sebesar 56% (P3EBT-UMM,2012), sehingga apabila nilai efisiensi daya keluaran dapat ditingkatkan, maka daya listrik terbangkit juga akan meningkat.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan diatas, dalam penelitian tahun pertama ini, kami merancang sebuah kontrol tegangan solar sel MPPT yang mampu memberikan daya maksimal saat melakukan *charging* arus ke dalam baterai.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini bersifat eksperimen yang didasari dari hasil pemodelan, simulasi, dan perancangan. Pada tahun pertama, dibuat model sistem MPPT dan perancangan perangkat keras MPPT dengan diagram sistem seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Blok MPPT

**Pembuatan Model Solar Sel**

Solar sel yang digunakan dalam pemodelan merujuk pada solar sel yang

dimiliki oleh laboratorium Teknik Elektro UMM dengan tipe SL50CE-18M dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1 Karakteristik Panel Surya SL50CE-18M

Keterangan	Electrical Characteristics
STC Power Rating $P_{mp}$	50 W
Open Circuit Voltage $V_{oc}$	21.9 V
Short Circuit Current $I_{sc}$	3.08 A
Voltage at Maximum Power $V_{mp}$	17.4 V
Current at Maximim Power $I_{mp}$	2.88 A
Panel Efficiency	11.4%
Fill Factor	74.2%
Konstanta Boltzmann	$1.388 \cdot 10^{-23}$
Charge Electron	$1.602 \cdot 10^{-19}$

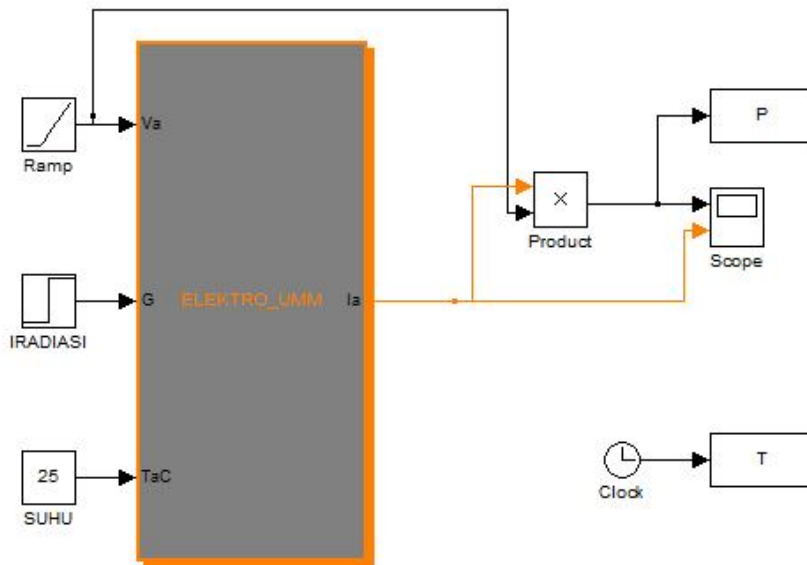
Band Gap Voltage	1.12
Diode Quality	1.3
Jumlah cell seri	6
Jumlah cell paralel	4

Dari tabel spesifikasi diatas, maka dibuat model matematis yang ditulis dalam matlab berbentuk m-file sebagai berikut:

```
function Ia=ELEKTRO_UMM(Va,G,TaC)
n = 1.3; % diode quality (1<n<2)
Eg = 1.12; % band gap voltage; 1.12eV (Si), 1.42 (GaAs)
Ns = 6; % Jumlah cell seri
Np= 4; % Jumlah Cell Pararel
TrK = 298; % 25 celcius - kelvin
Voc_TrK = 21.9 /Ns; % open cct voltage per cell at temperature
Isc_TrK = 3.08/Np; % short cct current per cell at temperature
Vc = Va / Ns; % Short circuit current experiments
Isc = Isc_TrK * (1 + (a * (TaK - TrK))); % Irradiation emitted to sell(G=1KW/m2)
Iph = G * Isc; % The temperature at 25 degrees C
Vt_TrK = n * k * TrK / q; % Pack b = Eg * q/(n*k)
b = Eg * q/(n * k); % Calculating saturation Io
Ir_TrK = Isc_TrK / (exp(Voc_TrK / Vt_TrK) - 1);
```

```
Ir = Ir_TrK * (TaK / TrK)^(3/n) * exp(-b * (1 / TaK - 1 / TrK)); % computing Rs
dVdI_Voc = -2.0/Ns; % Take dV/dI @ Voc from I-V curve of datasheet
Xv = Ir_TrK / Vt_TrK * exp(Voc_TrK / Vt_TrK);
Rs = - dVdI_Voc - 1/Xv; % The experimental heat
Vt-Ta = n * k * TaK / q;
% Ia = Iph - Ir * (exp((Vc + Ia * Rs) / Vt-Ta) - 1)
% f(Ia) = Iph - Ia - Ir * (exp((Vc + Ia * Rs) / Vt-Ta) - 1) = 0
% Solve for Ia by Newton's method: Ia2 = Ia1 - f(Ia1)/f'(Ia1)
Ia=zeros(size(Vc)); % Initialize Ia with zeros for j=1:5;
Ia = Ia - (Iph - Ia - Ir .* (exp((Vc + Ia .* Rs) ./ Vt-Ta) - 1))... ./ (-1 - Ir * (Rs ./ Vt-Ta) .* exp((Vc + Ia .* Rs) ./ Vt-Ta));
end
Ia=Ia*Np;
end
```

Hasil perancangan model solar sel diatas digambarkan dalam model simulink dibawah



Gambar 2. Model Simulink Solar Sel

**Pembuatan Model Konverter DC-DC**

Konverter berfungsi sebagai penaik dan penurun tegangan keluaran solar sel atau dikenal dengan nama konverter *buck-boost*. Rangkaian ini membutuhkan pulsa PWM untuk menjadikan kondisi saturasi dan cut off komponen MOSFET dan ditunjukkan pada gambar 3. Tegangan Keluaran converter yang diinginkan sebesar 17.4V dengan kisaran tegangan masukan antara 5V sampai dengan 23V. Untuk memenuhi kriteria tersebut, maka besarnya lebar pulsa, induktor, dan kapasitor ditentukan sebagai berikut (Rashid,2007):

- Nilai lebar pulsa/duty cycle (D)

$$\frac{17.4}{5} = \frac{D}{1-D}$$

$$D_{max} = 0.78 = 78\%$$

$$\frac{17.4}{21} = \frac{D}{1-D}$$

$$D_{min} = 0.45 = 45\%$$

- Nilai Kapasitor

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R.C.f}$$

$$0.01 = \frac{0.45}{10.C.25000}$$

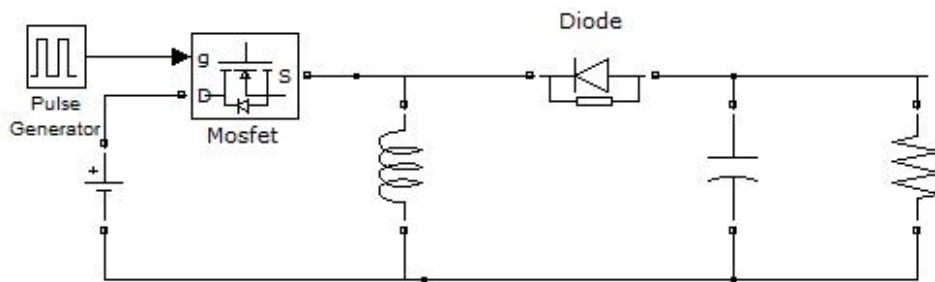
$$C = 180 \mu F$$

- Nilai Induktor

$$L = \frac{(1-D)^2.R}{2.f}$$

$$L = \left(\frac{1-0.78}{2.25000}\right)^2 . 10 = 97 \mu H$$

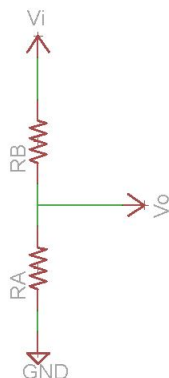
Model *buck-boost* converter diimplementasikan menggunakan program matlab seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Model Rangkaian Buck-Boost converter

**Perancangan Sensor Tegangan.**

Untuk mengkondisikan tegangan keluaran solar cell dan *buck-boost* converter diperlukan sensor tegangan berupa rangkaian pembagi tegangan seperti dibawah ini. (Robert,1996)

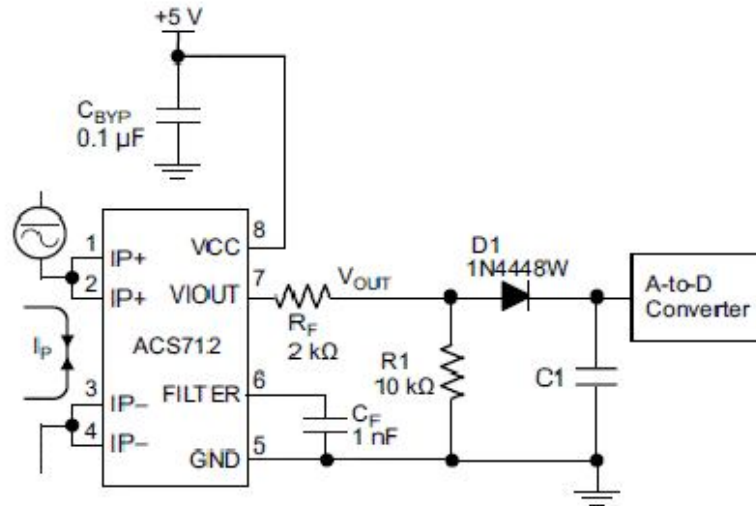


Gambar 4. Rangkaian Sensor Tegangan.

Keluaran dari sensor tegangan diumpankan ke rangkaian mikrokontroller yang mempunyai tegangan maksimal 5VDC.

**Perancangan Sensor Arus.**

Untuk mengukur keluaran arus DC solar sel digunakan IC ACS712, dimana IC ini mampu mendeteksi arus dari -30A sampai 30A dengan sensitivitas 100mV/A. IC ini memiliki tegangan offset yang stabil dan histersis magnetisnya mendekati nol. Untuk memfungsikan IC ini dibutuhkan tegangan DC 5 V dan beberapa rangkaian pendukung seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 (Allegro,2012)



Gambar 5. Rangkaian Sensor Arus

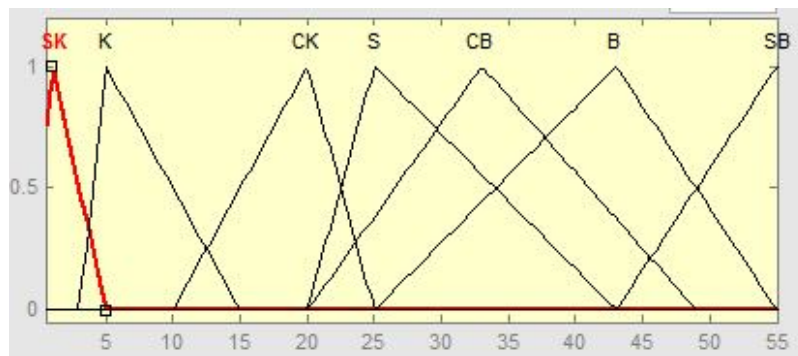
**Perancangan Algoritma Fuzzy Logic Controller (FLC)**

(George,1995): Fuzzification, Fuzzy Rule, dan Defuzzification.

Dalam perancangan FLC menggunakan 1 input yaitu perubahan daya (power) dan 1 output yaitu perubahan duty cycle. Metode yang digunakan dalam FLC ini adalah metode Mamdani, dimana terdiri dari 3 bagian yaitu

**Fuzzification**

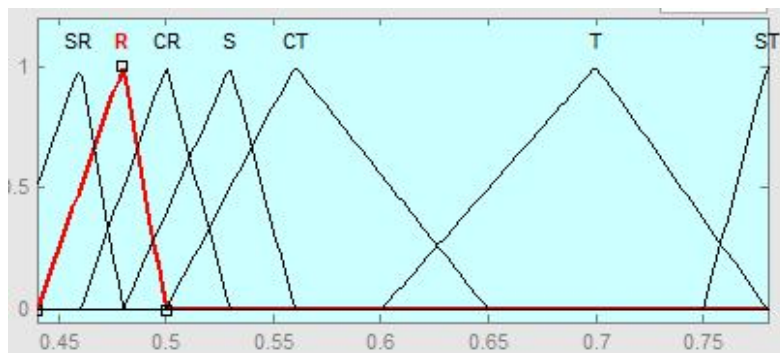
Gambar 6 mengilustrasikan fuzzy set untuk masukan parameter daya solar sel yang terdiri dari 7 triangular membership



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Daya

Sedangkan gambar 7 menunjukkan fuzzy set untuk keluaran duty cycle yang

terdiri dari 7 triangular membership.



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Duty Cycle

**Fuzzy Rule**

Aturan fuzzy yang digunakan untuk aplikasi MPPT adalah sebagai berikut:

- Rule1: Jika Power = Sangat Kecil (SK) , maka Duty Cycle = Sangat Tinggi (ST)
  - Rule2: Jika Power = Kecil (K), maka Duty Cycle = Tinggi(T)
  - Rule3: Jika Power = Cukup Kecil (CK), maka Duty Cycle = Cukup Tinggi (CT)
  - Rule4: Jika Power = Sedang (S), maka Duty Cycle = Sedang (S)
  - Rule5: Jika Power = Cukup Besar (CB), maka Duty Cycle = Cukup Rendah (CR)
  - Rule6: Jika Power = Besar (B), maka Duty Cycle = Rendah (R)
  - Rule7: Jika Power = Sangat Besar (SB), maka Duty Cycle = Sangat Rendah (SR)
- Sedangkan tabel Fuzzy Rule ditunjukkan dibawah ini.

Tabel 2. Power Fuzzy Set

Power (Watt)	SK	K	CK	S	CB	B	SB
1	Y*	N	N	N	N	N	N
3	Y	N	N	N	N	N	N
5	N	Y*	N	N	N	N	N
10	N	Y	N	N	N	N	N
15	N	N	Y	N	N	N	N
20	N	N	Y*	N	N	N	N
25	N	N	N	Y*	Y	N	N
33	N	N	N	Y	Y*	Y	N
43	N	N	N	N	Y	Y*	N
49	N	N	N	N	N	Y	Y
55	N	N	N	N	N	N	Y*

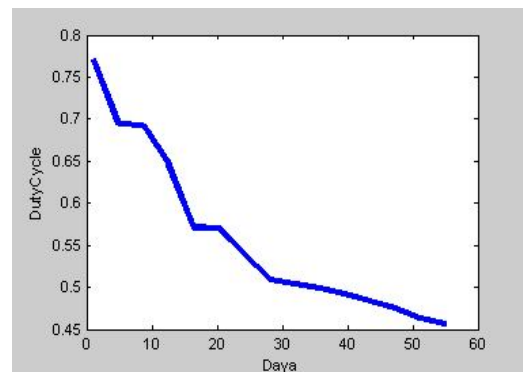
Tabel 3. Duty Cycle (DC) Fuzzy Set

DC (%)	SR	R	CR	S	CT	T	ST
10	Y	N	N	N	N	N	N
12	Y*	Y	N	N	N	N	N
14	N	Y*	Y	N	N	N	N
16	N	N	Y*	Y	N	N	N
18	N	N	N	Y*	Y	N	N
20	N	N	N	N	Y*	N	N
22	N	N	N	N	Y	N	N
23	N	N	N	N	N	Y	N
24	N	N	N	N	N	Y*	N
26	N	N	N	N	N	Y	N
28	N	N	N	N	N	N	Y*

**Defuzzification**

Proses defuzzification menggunakan metode *Centre of Gravity* untuk menghitung keluaran FLC dalam bentuk *duty cycle* (DC) :

$$DC = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(d_j) d_j}{\sum_{j=1}^n \mu(d_j)}$$



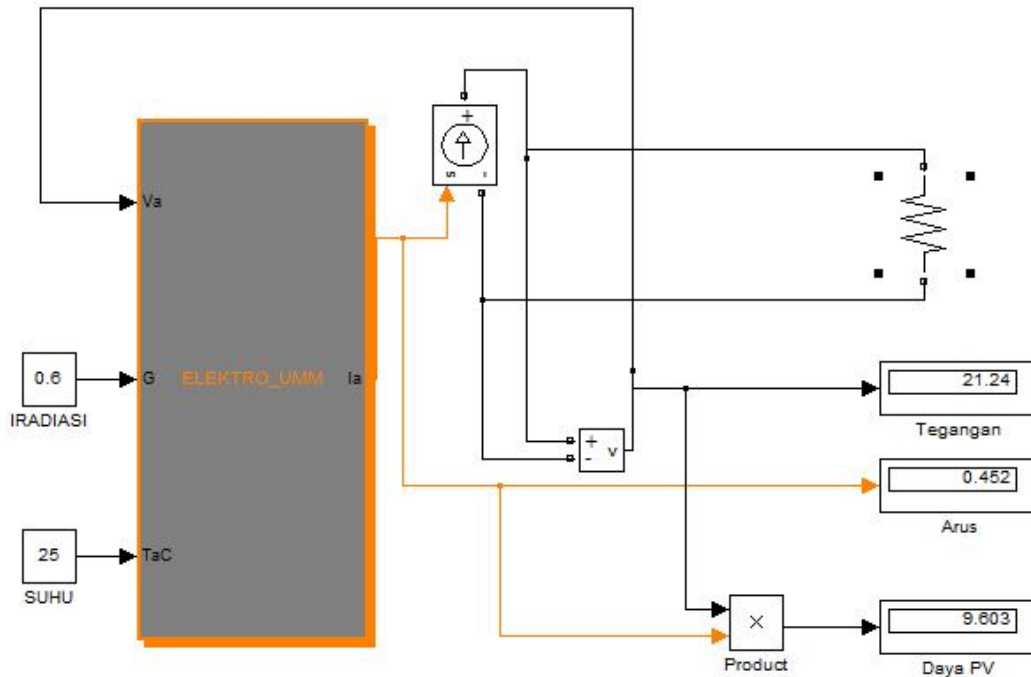
Gambar 8. Rule Surface FLC

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Pengujian Model Solar Sel**

Model solar sel yang telah dirancang pada sub bab sebelumnya diuji keluarannya

dengan memberikan nilai suhu sebesar 25<sup>0</sup>C, iradiasi sebesar 1000 W/m dan harga beban resistif yang bervariasi, seperti ditunjukkan pada gambar 9, dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 8. Pengujian Model Solar Sel.

Tabel 4. Hasil Pengujian Model Solar Sel

Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)
40	21.63	0.54
50	21.68	0.43
60	21.72	0.36
70	21.74	0.31
80	21.76	0.27
90	21.78	0.24
100	21.79	0.22
110	21.8	0.2
120	21.8	0.18
130	21.82	0.17

Dari hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa model solar sel bekerja sesuai dengan karakteristiknya, dimana pada saat diberikan beban resistif antara 10 – 100 ohm, nilai tegangan dan arusnya berubah secara linier dengan tingkat linieritas R<sup>2</sup>=0.90

**Pengujian Model Buck-Boost Converter**

Pengujian model rangkaian buck-boost converter menggunakan pulsa generator sebagai pemicu pin gate pada komponen mosfet dengan frekuensi sebesar 25000Hz dan amplitudo sebesar 5V, seperti ditunjukkan pada gambar 3. Tegangan keluaran buck boost converter yang diinginkan sebesar 17.4V (sesuai dengan tegangan keluaran maskimal solar sel). Dan hasilnya ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Pengujian Model Buck-Boost Converter

Keluaran Solar Sel (V)	Duty Cycle (%)	Keluaran Konverter (V)
5	78	17.34
7	72.5	17.44
9	67	17.39

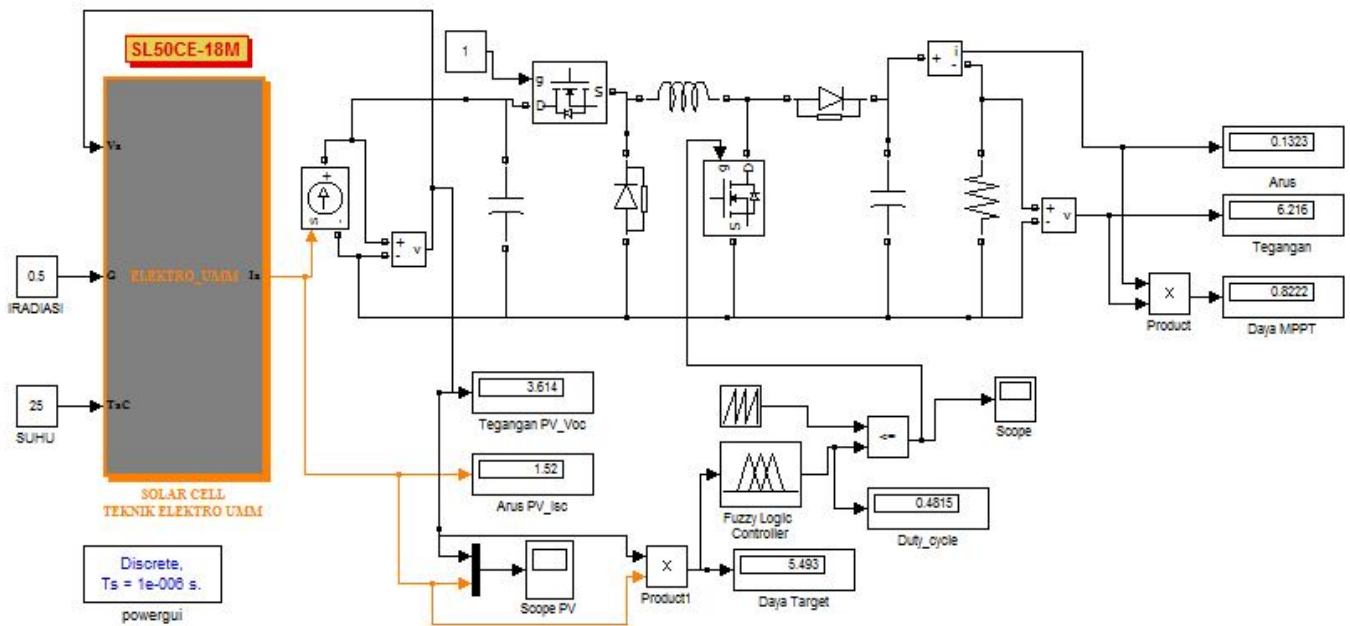
11	61	17.41
13	59	17.3
15	56	17.47
17	50	17.44
19	47.5	17.61
21	45	17.54

Dari hasil tabel 2, menunjukkan bahwa rangkaian konverter mampu menstabilkan tegangan keluaran solar sel yang fluktuatif dengan mengatur besarnya duty cycle, dan dihasilkan tegangan keluaran konverter

mendekati harga 17.4V dengan dengan tingkat prosentase error sebesar 0.4%.

### Pengujian Sistem MPPT

Untuk melakukan pengujian sistem MPPT, maka model solar sel, model konverter buck-boost converter, dan algoritma fuzzy diinterkoneksi sehingga membentuk sistem MPPT seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 9. Pengujian Sistem MPPT

Pengujian system MPPT diatas menggunakan nilai iradiasi matahari antara 100 W/m<sup>2</sup> sampai dengan 1000 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 25<sup>0</sup> Celcius, dan beban resistor sebesar 5.75Ohm.

Berikut ini adalah hasil daya yang mampu diserap oleh beban resistor pada saat menggunakan system MPPT dan tanpa MPPT

Tabel 6. Pengujian Solar Sel tanpa MPPT

Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1000	17.48	3.04	53.1392
900	15.73	2.736	43.03728
800	13.98	2.432	33.99936
700	12.24	2.128	26.04672
600	10.49	1.824	19.13376
500	8.74	1.52	13.2848
400	6.992	1.216	8.502272
300	5.244	0.912	4.782528
200	3.496	0.608	2.125568
100	1.748	0.304	0.531392
Total Daya			204.58



Tabel 7. Pengujian Solar Sel Menggunakan MPPT

Irradiasi ( $W/m^2$ )	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1000	15.44	2.286	35.29584
900	16.28	2.831	46.08868
800	14.28	2.483	35.45724
700	14.75	2.566	37.8485
600	14.94	2.599	38.82906
500	14.77	2.568	37.92936
400	16.36	2.846	46.56056
300	12.83	2.232	28.63656
200	13.6	2.365	32.164
100	6.142	1.068	6.559656
Total Daya			345.37

Dari kedua tabel diatas menunjukkan bahwa solar sel yang menggunakan system MPPT mampu meningkatkan daya yang diserap oleh beban dari 204.58 Watt menjadi 345.37 Watt ,sehingga terjadi peningkatan daya sebesar 68.82%.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

- Model solar sel yang dibuat menggunakan program Matlab bekerja sesuai dengan karakteristiknya, dimana pada saat diberikan beban resistif antara 10 – 100 ohm, nilai tegangan dan arusnya berubah secara linier dengan tingkat linieritas  $R^2=0.90$
- Model Buck-Boost Converter mampu menstabilkan tegangan keluaran solar sel yang fluktuatif dengan mengatur besarnya duty cycle, dan dihasilkan tegangan keluaran konverter mendekati harga 17.4V dengan dengan tingkat prosentase error sebesar 0.4%.
- Solar sel yang dilengkapi dengan teknologi MPPT mampu meningkatkan daya terbangkit sebesar 68.82%

#### DAFTAR PUSTAKA

Allgero ,2012, “ *Inc.Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*”, Allegro Microsystem Inc.

- Ditjen-Listrik ESDM, 2006, “ *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan Dan Konservasi Energi*”, ESDM
- George J.Klir, Bo Yuan, 1995, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic*”, Prentice Hall PTR.
- Muhammad Rashid, 2007, “ *Power Electronic Handbook, Devices, Circuits, and Application*”, Imprint of Elsevier.
- P3EBT-UMM, 2012, “*Monitoring PLTS dan PLTMH Universitas Muhammadiyah Malang Berbasis WEB*”, Laporan Pusat Pengkajian, Penelitian, dan Penerapan Energi Baru Terbarukan Universitas Muhammadiyah Malang.
- Robert Boylestad, Louis Nashelsky, 1996, “*Electronic Devices and Circuit Theory*”, Prentice-Hall Inc.