

Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)

Ranny Dwidayanti¹, Herri Gusmedi², Sri Ratna S.³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung
Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

¹ranny.dwidayanti@gmail.com

²herri.gusmedi@eng.unila.ac.id

³sr_sulistiyanti@eng.unila.ac.id

Intisari--- Tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya tergantung pada radiasi sinar matahari dan temperatur permukaan sel surya. Kedua parameter tersebut menyebabkan kurva karakteristik daya keluaran sel surya menjadi *non-linier*. Merancang sistem sel surya yang efisien tentunya tidak akan lepas dari penjejak (*tracker*) *maximum power point* (MPP) yang berada pada kurva karakteristik daya keluaran sel surya tersebut. Titik dimana daya yang dihasilkan oleh sel surya paling maksimum. Peran *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) pada sistem panel surya adalah untuk mengoperasikan titik kerja dari modul panel surya agar berada pada *Maximum Power Point* (MPP), sehingga transfer daya dari modul dapat dimaksimalkan, dan efisiensi sistem panel surya dapat ditingkatkan. Setiap komponen pada sistem panel surya dimodelkan ke dalam *Simulink-Matlab*. Simulasi untuk mengoptimalkan kerja Panel Surya dengan cara mencari titik MPP (*Maximum Power Point*) menggunakan algoritma *perturb and observe* (P&O), kemudian mengimplementasinya menjadi tegangan output dengan *Buck Boost Converter*, sehingga dapat menghasilkan daya keluaran dengan efisiensi lebih baik. Adapun hasil dari penelitian ini yakni sistem MPPT dapat meningkatkan daya pada panel surya dengan penambahan efisiensi rata-rata sebesar 18% dibandingkan dengan tanpa menggunakan sistem MPPT.

Kata kunci--- MPPT, Sistem Panel Surya, MPP, *perturb and observe* (P&O), *Buck Boost Converter*.

Abstract--- Electric power generated by the solar power generation system depends on solar radiation and temperature of the solar cell surface. Both of these parameters causes the characteristic curve of solar cell output power to be non-linear. Designing an efficient solar cell system will certainly not be separated from tracker (tracker) maximum power point (MPP) which is located on the characteristic curve of the solar cell output power. The point where the power generated by the solar cells the maximum. Role of Maximum Power Point Tracker (MPPT) on the solar panel system is to operate a working point of solar panel modules that are in the Maximum Power Point (MPP), so that the transfer of power from the module can be maximized, and the efficiency of a solar panel system can be improved. Each component of the solar panel system modeled in *Simulink-Matlab*. Simulation to optimize the work of Solar Panels by finding the point MPP (Maximum Power Point) algorithm *perturb and Observe* (P & O), then implement them into a voltage output with *Buck Boost Converter*, which can produce a power output with better efficiency. The results of this study the MPPT system can enhance the efficiency of solar panels with the addition of an average of 18% compared with no use MPPT system.

Keywords--- MPPT, Solar Panel Systems, MPP, *perturb and Observe* (P & O), *Boost Buck Converter*.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik dengan efisiensi sebesar 18%. Angka tersebut semakin berkurang pada saat energi tersebut digunakan ke peralatan listrik karena pengatur tegangan, baterai, kabel, dan *inverter* menjadi sekitar 10-15% (Eslin, 1990)

Pada dasarnya, efisiensi konversi sel surya dihitung pada saat sel surya bekerja di titik optimumnya. Jika sel surya tidak bekerja pada titik optimumnya maka efisiensi yang kecil tersebut akan semakin kecil. Cara untuk menjaga sel surya bekerja pada titik optimumnya adalah dengan menerapkan algoritma *maximum power point tracking (MPPT)*.

Rata-rata harian peningkatan daya yang dihantarkan *MPPT* adalah sebesar 16-43% dibanding tidak menggunakan *MPPT*. Peningkatan daya terbesar terjadi pada saat kondisi lingkungan berubah seiring perubahan kondisi lingkungan

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Mencari efisiensi maksimal pengisian baterai menggunakan sel surya dengan simulasi *MPPT* pada *MATLAB R2010a*.
- 2) Membandingkan hasil simulasi *MPPT* pada *MATLAB R2010a* dengan hasil pada simulasi tanpa menggunakan *MPPT*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

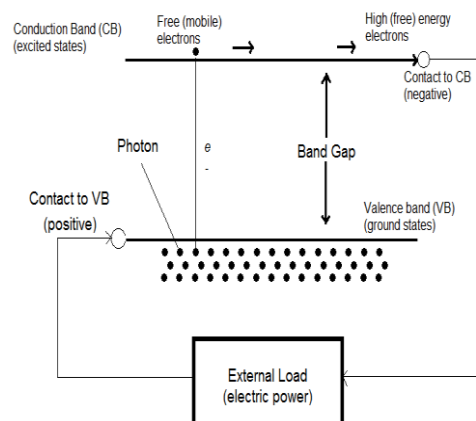
A. Kajian Pustaka

1) Sel Surya (*Photovoltaic*)

Sel surya didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik dc dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik, dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya, sel surya berhenti menghasilkan energi listrik (Hegedus & Luque, 2003).

a. Prinsip Kerja Sel Surya

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang lebih besar dari batas *threshold (band gap energi)* diberikan kepada elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Kemudian elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat berasal dari foton, yang merupakan partikel dari cahaya.



Gbr. 1 Skema efek *photovoltaic*.

Gambar 1 menunjukkan proses yang terjadi pada sel surya ketika dipaparkan cahaya. Foton-foton yang merupakan partikel cahaya menabrak elektron. Ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (V) melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

Sel surya dianggap sebagai suatu *pn junction* karena adanya “*doping*”. *Doping* ini menyebabkan salah satu *selective contact* menjadi sisi p (banyak muatan positif) dan yang lain menjadi sisi n (banyak muatan negatif).

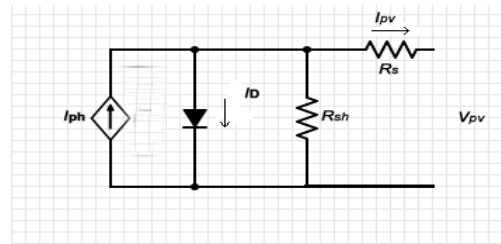
Pemodelan dan pemahaman prinsip kerja sel surya menjadi lebih sederhana dengan menggunakan konsep *pn junction*.

b. Persamaan Karakteristik Sel Surya

Persamaan eksponensial untuk memodelkan *sel photovoltaic* diturunkan dari hukum fisika untuk *pn junction* dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel ditunjukkan oleh Persamaan (1) (Nema, Nema & Agnihotri, 2010).

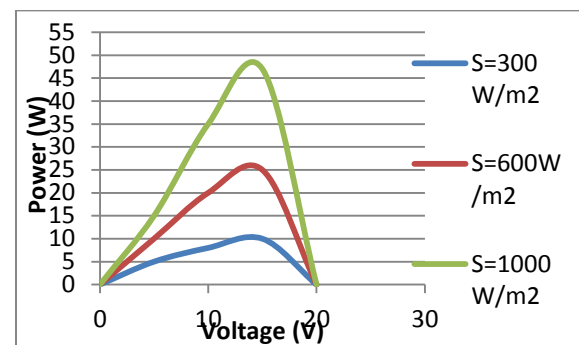
$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q(V+IR_S)}{NKT} - 1 \right) - \left(\frac{V+IR_S}{R_{sh}} \right) \quad (1)$$

dapat digambarkan rangkaian pengganti dari *sel photovoltaic*, yaitu seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.

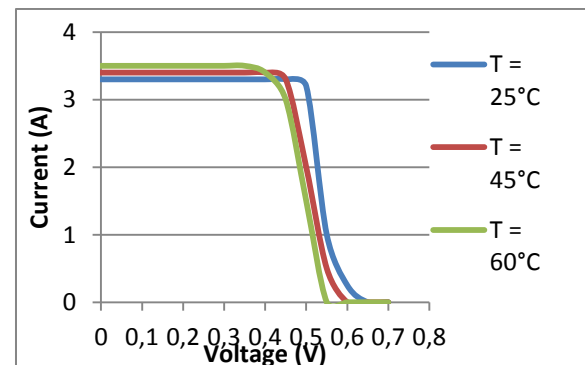


Gbr. 2 Rangkaian pengganti sel surya.

Keluaran dari *sel photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, yaitu radiasi matahari dan suhu sel.



Gbr. 3 Karakteristik Sel *Photovoltaic* terhadap perbedaan radiasi



Gbr. 4 Karakteristik Sel *Photovoltaic* Terhadap Perbedaan Suhu

c. Modul Sel Surya.

Sebuah *sel photovoltaic* adalah unit dasar yang mampu menghasilkan tegangan antara 0,5 sampai 0,8 *Volt* bergantung pada teknologi yang digunakan. Tegangan yang kecil tersebut tidak cukup untuk digunakan secara komersial, oleh karena itu, *sel photovoltaic* diintegrasikan dan dihubungkan dalam suatu modul untuk menghasilkan tegangan yang paling tidak dapat digunakan

untuk mengisi baterai 12 Volt. Persamaan modul *photovoltaic* diberikan oleh Persamaan (2).

$$I = n_p I_{ph} - n_p I_s \left(\exp \frac{qV}{NKTn_s} - 1 \right) \quad (2)$$

Modul sel surya adalah kongregasi dari *sel photovoltaic* secara seri agar dapat menghasilkan tegangan yang cocok untuk mengisi baterai 12 Volt (Nema, Nema, & Agnihotri, 2010).

d. Faktor yang mempengaruhi tingkat operasional *photovoltaic*.

Dalam pengoperasiannya, kinerja *PV* sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi daerah setempat (suhu lingkungan dan radiasi Matahari) dan parameter listriknya (short circuit current, open circuit voltage, suhu sel *PV*, *MPP*, dan sebagainya).

2) *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*.

Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan *MPPT* merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel *photovoltaic (PV)* sehingga panel *photovoltaic* bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, *MPPT* bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. *MPPT* benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel *PV*. Parameter kualitas keluaran sel surya dapat dilihat melalui parameter *Fill Factor* yang diberikan oleh Persamaan (3).

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3)$$

Sel surya tidak akan secara otomatis bekerja pada titik kerja maksimumnya, melainkan harus dikendalikan. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* adalah metode yang digunakan untuk mencari titik kerja maksimum sel surya dan mempertahankan sel surya bekerja di titik tersebut.

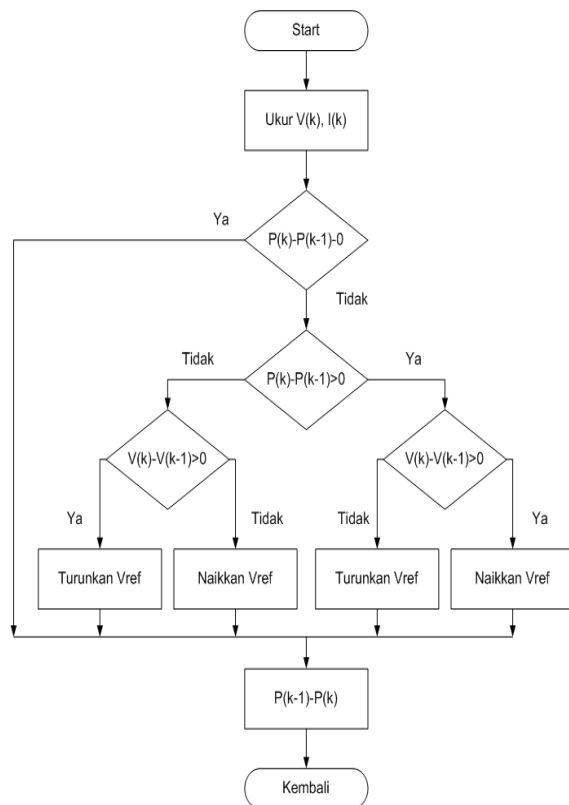
a. *Perturbation & Observation (P&O)*.

Metode *Perturbation & Observation* terdiri dari dua tahap; *perturb* yaitu mengubah V_{ref} dan *observation* yaitu menghitung perubahan daya akibat aksi *perturb* sebelumnya. Jika perubahan daya positif maka *perturb* selanjutnya akan tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya negatif maka *perturb* akan dibalik (Esrarn & Chapman, 2007). Tabel 1. menjelaskan algoritma *perturbation* dan *observation*.

Tabel 1. Algoritma *perturbation* dan *observation*.

Perturbation	Perubahan Daya	Perturbation Selanjutnya
Positif	Positif	Positif
Positif	Negatif	Negatif
Negatif	Positif	Negatif
Negatif	Negatif	Positif

Seperti halnya *ICM*, besar *perturb* yang diberikan tetap. Untuk itu, masalah waktu penjajakan dan osilasi *MPP* diselesaikan dengan menggunakan besar *perturbation* yang bervariasi (Peigari & Rizzo, 2010).

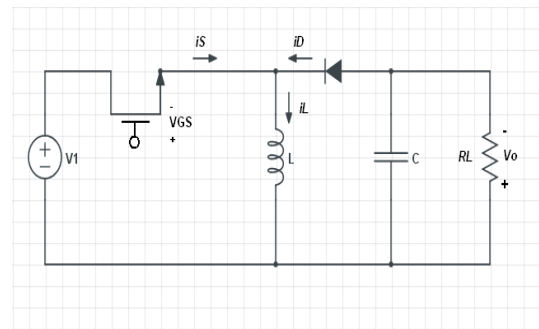


Gbr. 5 Flowchart Algoritma P & O.

3) Buck Boost Converter

Adanya gangguan seperti partial shadow pada sistem photovoltaic juga sangat memengaruhi tegangan keluaran panel surya. Sehingga dibuatlah sebuah alat pengubah tegangan DC-DC yaitu buck-boost converter. Alat ini dapat mengubah tegangan DC ke DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan inputannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan diaplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan output photovoltaic. Buck-boost converter adalah sebuah rangkaian DC-DC konverter yang memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari sumber.

Pada Gambar 6, merupakan rangkaian dasar buckboost konverter yang terdiri dari power MOSFET sebagai switching komponen, induktor(L), dioda, kapasitor, filter(C), dan resistor sebagai beban (R_L).



Gbr. 6 Buckboost konverter

4) Parameter Kualitas Sistem MPPT.

Kualitas sistem MPPT tentu perlu diukur agar performa dari sistem MPPT tersebut dapat diketahui. Pengukuran kualitas sistem MPPT juga berguna untuk proses pengembangan sistem MPPT.

Terdapat tiga parameter yang dapat menentukan kualitas sistem MPPT (Yi & Fa, 2009), yaitu :

a. Parametes dinamis. ($t = \text{waktu}$)

Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem MPPT untuk mencari titik daya maksimal ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari berubah). Semakin cepat waktu yang dibutuhkan, semakin baik sistem MPPT tersebut.

b. Parameter statis. ($\Delta P <$)

Merupakan fluktuasi nilai keluaran ketika titik daya maksimum sudah tercapai dan tidak terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari tidak berubah). Semakin kecil fluktuasi yang terjadi, maka semakin baik algoritma MPPT tersebut.

c. Parameter daya aktual dan daya ideal.

Merupakan perbandingan daya keluaran yang aktual dalam satu periode waktu dengan daya maksimum yang diukur pada kondisi kerja sel surya tersebut. Nilai

parameter ini akan berkisar antara 0 sampai 100%.

Rasio daya dapat diperoleh berdasarkan Persamaan (4):

Rasio Daya Output =

$$\frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya Maksimum rating}} \times 100\% \quad (4)$$

Semakin besar nilai rasio ini, maka algoritma *MPPT* tersebut semakin baik.

III. METODE PENELITIAN

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Merupakan tahapan di mana penulis mengumpulkan dan berbagai teori yang berkaitan dengan sistem *MPPT*. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir sebagai dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Pada pengujian yang akan dilakukan, sumber data yang digunakan adalah sumber data yang telah didapat dari pengambilan data menggunakan *thermometer digital*

B. Menggunakan struktur program pengujian pada software *MATLAB*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan software *MATLAB R2010a*. Struktur program pengujian yang akan dipergunakan adalah proses simulasi *MPPT*.

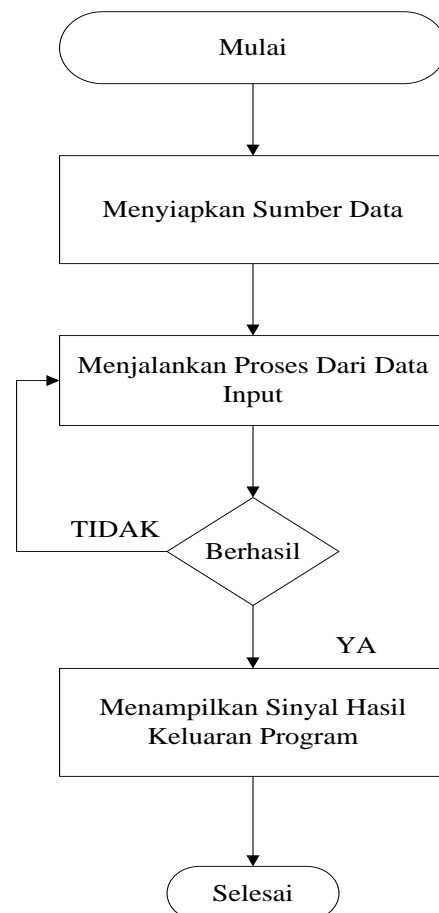
C. Memproses sumber data ke dalam program yang telah dibuat.

Pada langkah ini merupakan pemrosesan sumber data ke dalam program pengujian pada simulasi *MATLAB*. Dari langkah ini akan didapat nilai dan bentuk gelombang keluaran.

D. Menampilkan hasil data pemrosesan yang telah dilakukan

Data yang telah diproses akan ditampilkan dalam wujud gambar plot dimana sumbu x merupakan waktu (t) dan sumbu y merupakan *magnitude* (p).

Berikut pada Gambar 7 merupakan diagram alir dari program penelitian yang dilakukan:



Gbr. 7 Gambar diagram alir program.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi dan Pembahasan

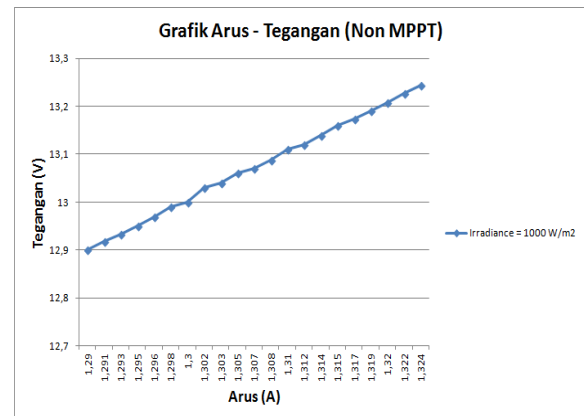
Setelah dilakukan simulasi terhadap kasus yang dijadikan sebagai objek studi maka didapatkan hasil sebagai berikut,

- 1) Data simulasi matlab tanpa menggunakan *MPPT* dengan memasukkan nilai $R\ 10\ \Omega$, irradiansi sebesar $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan suhu bervariasi dari $25\text{-}40^\circ\text{C}$.

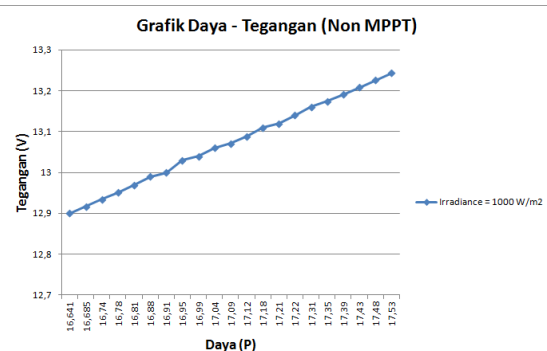
Tabel 2. Data hasil simulasi pada matlab tanpa menggunakan *Mppt*.

Suhu °C	V(v)	I(A)	P(W)
25	12.9	1.29	16.641
26	12.917	1.291	16.685
27	12.934	1.293	16.74
28	12.951	1.295	16.78
29	12.97	1.296	16.81
30	12.99	1.298	16.88
31	13.00	1.3	16.91
32	13.03	1.302	16.95
33	13.04	1.303	16.99
34	13.06	1.305	17.04
35	13.071	1.307	17.09
36	13.088	1.308	17.12
37	13.101	1.31	17.18
38	13.12	1.312	17.21
39	13.14	1.314	17.22
40	13.16	1.315	17.31

Dari Gambar 8 dapat terlihat pada irradiansi $1000\text{ W}/\text{m}^2$, hubungan antara nilai arus dan tegangan yaitu semakin tinggi nilai tegangan yang didapat maka semakin tinggi pula arus yang dihasilkan, hal ini diantaranya dipengaruhi oleh semakin besar suhu panas matahari yang di masukkan pada simulasi dari 25°C sampai dengan 40°C . Jadi antara arus dan tegangan pada simulasi berbanding lurus.



Gbr. 8 Gambar grafik hubungan antara tegangan dan arus pada irradiansi $1000\text{ W}/\text{m}^2$.



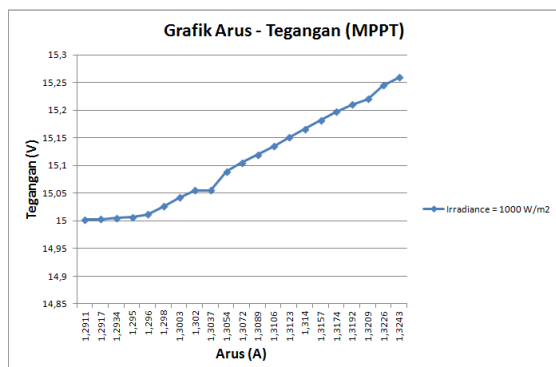
Gbr. 9 Gambar grafik hubungan antara Daya dan Tegangan pada irradiansi $1000\text{ W}/\text{m}^2$.

Dari Gambar 9 dapat terlihat pada irradiansi $1000\text{ W}/\text{m}^2$, hubungan antara nilai daya dan tegangan yaitu semakin tinggi nilai tegangan yang didapat maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Jadi dapat disimpulkan bahwa antara daya dan tegangan pada simulasi berbanding lurus.

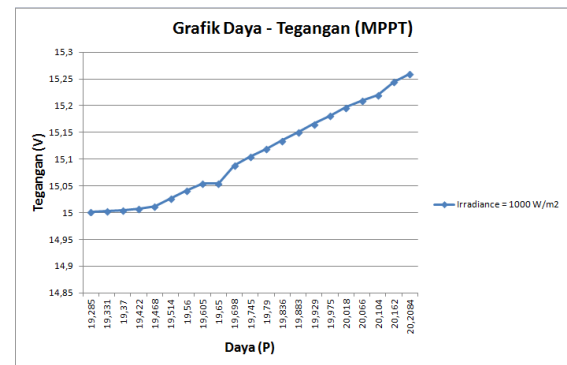
- 2) Data simulasi matlab menggunakan *MPPT* dengan memasukkan nilai $R\ 10\ \Omega$, irradiansi sebesar $1000\text{W}/\text{m}^2$, dan suhu bervariasi dari $25\text{-}40^\circ\text{C}$.

Tabel 3 Data hasil simulasi pada matlab menggunakan *MPPT*.

Suhu °C	V(v)	I(A)	P(w)
25	15.002	1.2911	19.285
26	15.003	1.2917	19.331
27	15.005	1.2934	19.37
28	15.007	1.295	19.422
29	15.012	1.296	19.468
30	15.026	1.298	19.514
31	15.042	1.3003	19.56
32	15.055	1.302	19.605
33	15.055	1.3037	19.65
34	15.089	1.3054	19.698
35	15.105	1.3072	19.745
36	15.12	1.3089	19.79
37	15.135	1.3106	19.836
38	15.151	1.3123	19.883
39	15.166	1.314	19.929
40	15.182	1.3157	19.975

Gbr. 10 Gambar Simulasi Menggunakan *MPPT* dengan suhu 25°C irradiansi 1000 W/m², dan R 10 Ω.

Dari Gambar 10 dapat terlihat pada irradiansi 1000 W/m², hubungan antara nilai arus dan tegangan yaitu semakin tinggi nilai tegangan yang didapat maka semakin tinggi pula arus yang dihasilkan, hal ini diantaranya dipengaruhi oleh semakin besar suhu panas matahari yang di masukkan pada simulasi dari 25°C sampai dengan 40°C. Jadi antara arus dan tegangan pada simulasi berbanding lurus.

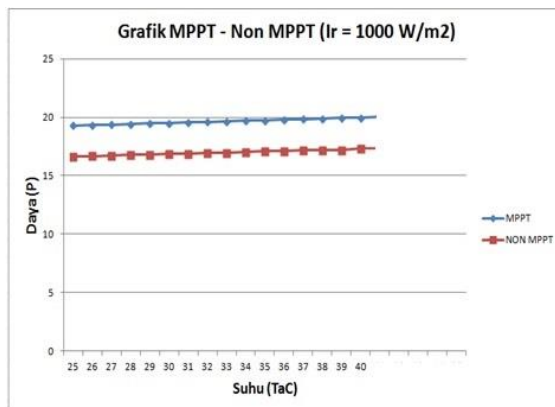
Gbr. 11 Gambar Simulasi Menggunakan *MPPT* dengan suhu 25°C irradiansi 1000 W/m², dan R 10 Ω.

Dari pada Gambar 11 dapat terlihat pada irradiansi 1000 W/m², hubungan antara nilai daya dan tegangan yaitu semakin tinggi nilai tegangan yang didapat maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan. Jadi dapat disimpulkan bahwa antara daya dan tegangan pada simulasi berbanding lurus.

Hal ini juga dipengaruhi oleh sistem *MPPT* dan adanya *buck boost converter* yang mengakibatkan nilai daya, tegangan, dan arus pada simulasi yang menggunakan *MPPT* lebih besar dibandingkan dengan yang tidak menggunakan *MPPT*.

3) Pengujian Sistem *MPPT* dengan non *MPPT*.

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi R Load sebagai beban. R Load yang digunakan sebesar 10Ω. Dan dengan menginput suhu dari 25°C sampai dengan 40°C. Pengujian sistem *MPPT* tersebut dipengaruhi irradiansi cahaya matahari dan suhu. Berikut adalah grafik pengujian sistem *MPPT* dan non *MPPT*,



Gbr. 12 Grafik Daya keluaran Sebelum dan Setelah Pemasangan *MPPT*.

Dapat dilihat dari Gambar 4.5. bahwa daya output yang dihasilkan photovoltaic dengan sistem *MPPT* lebih besar dari sistem yang tidak menggunakan *MPPT*.

Perhitungan performance daya output dengan *MPPT* dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{outMPPT} - P_{outnonMPPT}}{P_{outnonMPPT}} \times 100\% \quad (4.1)$$

$$\eta = \frac{19 - 16}{16} \times 100\% \quad (4.2)$$

$$\eta = 18\% \quad (5)$$

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi daya output dari photovoltaic menggunakan sistem *MPPT* meningkat 18% dibandingkan dengan sistem non *MPPT* dengan R Load sebesar 10Ω .

Secara teoritis *MPPT* merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel photovoltaic (*PV*) sehingga panel photovoltaic bisa menghasilkan power maksimum, dari uraian gambar gelombang pada grafik dan perhitungan efisiensi, terbukti bahwa sistem *MPPT* memaksimalkan power yang diperoleh dari panel surya.

Buck boost converter juga mampu membuat nilai tegangan dan arus yang

diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi yang tidak menggunakan *MPPT*. Pada saat *PV* (Modul surya) menghasilkan tegangan yang terlalu tinggi maka disaat itu pula *buck* konverter berkerja, begitu pula saat modul surya menghasilkan tegangan yang terlalu rendah saat itu *boost* konverter yang berkerja.

Hal ini juga berlaku pada saat modul surya menghasilkan arus yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, saat menghasilkan arus terlalu rendah maka *boost* konverter akan berkerja untuk menaikkan arus, sedangkan pada saat modul surya menghasilkan arus yang terlalu tinggi, saat itu pula *buck* konverter yang akan menurunkan arus.

Sehingga, pada saat *buck boost* konverter yang terdapat pada simulasi *MPPT* mampu menstabilkan tegangan dan arus, hal tersebut yang membuat pengisian daya pada baterai lebih stabil, saat itu pula daya pakai (*lifetime*) lebih lama atau lebih panjang. Dapat dilihat pula efisiensi pengisian daya pada baterai meningkat 18% dari pada simulasi yang tidak memakai *MPPT*.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan Analisis dan pembahasan dapat diambil simpulan sebagai berikut :

- 1) Simulasi ini pada saat *PV* (Modul surya) menghasilkan tegangan yang terlalu tinggi maka disaat itu pula *buck* konverter berkerja, begitu pula saat modul surya menghasilkan tegangan yang terlalu rendah saat itu *boost* konverter yang berkerja. Hal ini juga berlaku pada arus yang dihasilkan modul surya. Terlihat pada saat suhu 25°C - 40°C , nilai arus bernilai 1,29A-1,31A dan begitu pula nilai tegangan

bernilai 12,9V-13,1V. Terbukti bahwa *buck boost* konverter mampu menstabilkan dan meningkatkan daya keluaran panel surya sehingga masa guna baterai lebih lama.

- 2) Simulasi *MPPT* menggunakan *MATLAB R2010a* ini pada suhu 25°C-40°C nilai daya tanpa menggunakan *MPPT* yaitu 16,6 Watt-17,31 Watt, sedangkan nilai daya yang menggunakan *MPPT* meningkat dari 19,285 Watt-19,97 Watt. Sehingga simulasi ini juga mampu meningkatkan efisiensi pengisian daya pada baterai sebesar 18%.

B. Saran

Berdasarkan simulasi, pembahasan dan simpulan yang telah dilakukan, maka untuk pengembangan penilitan selanjutnya, alangkah baiknya simulasi ini diaplikasikan dalam bentuk alat untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai dan agar masa guna baterai lebih lama.

REFERENSI

- [1] Eslin, J. (1990). Maximum Power Point Tracking: a Cost Saving Necessity in Solar Energy System. *Industrial Electronic Society, 1990. Iecon '90., 16TH Annual Conference of IEEE*, 1073-1077.
- [2] Esram, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparasion of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *Energy Conversion, IEEE Transaction on*, 22 (2), 439-449.
- [3] Green, M. A. (1982). *Solar Cells Opertaing Principles, Technology and System Applications*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [4] Hart, D. W. (1997). *Introduction to Power Electronics*. New Jersey: Prentics-Hall.
- [5] Hegedus, S., & Luque, A. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex: Jhon Wiley & Sons.
- [6] Nema, S., Nema, R. K., & Agnihotri, G. (2010). Matlab Simulink Based Study of Photovoltaic Cells Modules Array and Their Experimental Verification. *International Journal of Energy and Environment, 1* (3), 487-500
- [7] Plegari, L., & Rizzo, R. (2010). Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. *Renewable Power Generation, IET, 4* (4), 317-328.
- [8] Xiao, W., Dunford, W. G., Palmer, P. R., & Capel, A. (2007). Regulation of Photovoltaic Voltage. *Industrial Electronics, IEEE Transaction on*, 54 (3), 1365-1374.
- [9] Widodo, R.T., Rugianto., Asmuniv., dan Sejati, P (2011). *Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb And Observe*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS, Surabaya, Indonesia.
- [10] Q. Mei,M., Shan,L., Liu,J.M., Guerrero. (2011). A novel improved variable step-size a novel improved variable step-size method for PV systems, *IEEE Trans. Ind. Electron*, 58 (2011), pp. 2427-2434.
- [11] Surojo., Ashari,M., Hery,P.M. (2010). Desain dan simulasi *maximum power point tracking (MPPT)* sel surya menggunakan *fuzzy logic control* untuk control *boost converter*. *7th Basic Science Nasional Seminar Proceeding Malang*. Institut teknologi Surabaya – ITS Paper, 11-65.
- [12] Nguyen, T.X. (2012). Simulation Solar Panel and trying MPPT algorithm, with P & O method. ho chi minh city university of polytechnology.
- [13] Fuady, A.B. (2010). Rancang Bangun *maximum power point tracking (MPPT)* pada panel surya dengan menggunakan metode *fuzzy*. Institut teknologi Surabaya – ITS Paper.
- [14] Fadhillah, R.I., Kurniawan, E., Bani, K.A. (2011). Perancangan dan implementasi

- maximum power point tracking* pada *photovoltaic* dengan kontroler logika *fuzzy*. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom. Bandung-Indonesia.
- [15] Halet, D.N. (2013). Dasar teori *Buck* konverter. Jurnal Elektro Universitas Negeri Padang-Sumatera Barat
- [16] Firman, M.R. (2010). Karakterisrik sel surya. Modul Fisika Universitas Mataram-NTB.
- [17] Mochamad, S.H. (2010). Rancang bangun *buck boost* konverter. Jurnal Teknik Elektro Universitas Indonesia-Depok.
- [18] Ranjith, S. (2016). MPPT Using Buck Converter. Rajiv Gandhi Institute of Technology, Kottayam – India.