

# PERANCANGAN PLTS HYBRID MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) SEBAGAI PEMAKSIMALAN DAYA *PHOTOVOLTAIC* (PV) DI GEDUNG ICT UNIVERSITAS DIPONEGORO DENGAN *SOFTWARE* MATLAB SIMULINK

Singgih Mustiko Aji\*), Bambang Winardi dan Sudjadi

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia  
Jl. Prof. Sudharto, SH., Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

\*E-mail: kokomraz@gmail.com

## Abstrak

Penggunaan energi fosil yang terus menerus menyebabkan ketersediannya makin langka, sehingga dibutuhkan sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan, salah satunya energi matahari. Agar daya yang dihasilkan oleh fotovoltaik maksimal maka diperlukan MPPT. Sistem kendali MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem fotovoltaik memanfaatkan DC-DC boost converter. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mendesain dan mensimulasikan PLTS dengan MPPT metode Perturb and Observe menggunakan software Matlab Simulink. Pengujian dilakukan dengan variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup>, iradiasi 350 W/m<sup>2</sup>, iradiasi 500 W/m<sup>2</sup>, iradiasi 650 W/m<sup>2</sup>, iradiasi 800 W/m<sup>2</sup>, dan iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> serta variasi suhu 22°C, 24°C, 25°C, 26°C, 27°C, 29°C. Hasil pengujian menunjukkan, saat iradiasi 350 W/m<sup>2</sup> dan suhu 24°C panel surya tanpa menggunakan MPPT menghasilkan daya sebesar 1038 W sedangkan dengan menggunakan MPPT menghasilkan daya sebesar 1628 W. Saat iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C panel surya tanpa menggunakan MPPT menghasilkan daya sebesar 2312 W sedangkan dengan menggunakan MPPT menghasilkan daya sebesar 3705 W. Sehingga dengan menggunakan algoritma MPPT Perturb and Observe daya yang dihasilkan lebih maksimal.

**Kata kunci :** Fotovoltaik, PLTS, MPPT, Matlab Simulink

## Abstract

*The continuous use of fossil energy causes its availability to become increasingly scarce, so that clean and environmentally friendly renewable energy sources are needed, one of which is solar energy. In order for the maximum power generated by photovoltaic, MPPT is required. The MPPT control system will control the production and power storage of the photovoltaic system utilizing a DC-DC boost converter. This final project aims to design and simulate PLTS with the MPPT method of Perturb and Observe using Matlab Simulink software. Tests were carried out with variations of irradiation 200 W/m<sup>2</sup>, irradiation 350 W/m<sup>2</sup>, irradiation of 500 W/m<sup>2</sup>, irradiation of 650 W/m<sup>2</sup>, irradiation of 800 W/m<sup>2</sup>, and irradiation of 1000 W/m<sup>2</sup> and variations of temperature 22°C, 24°C, 25°C, 26°C, 27°C, 29°C. The test results show that when the irradiation is 350 W/m<sup>2</sup> and a temperature of 24°C, the solar panel without using MPPT produces a power of 1038W while using MPPT produces a power of 1628W. When the irradiation is 800 W/m<sup>2</sup> and a temperature of 27°C the solar panel without using MPPT produces a power of 2312W while using MPPT produces a power of 3705W. So by using MPPT Perturb and Observe algorithm has maximum power.*

**Keywords :** Photovoltaic, PLTS, MPPT, Matlab Simulink

## 1. Pendahuluan

Indonesia memiliki total potensi energi terbarukan ekuivalen 442 GW yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan pemanfaatannya pada tahun 2018 baru sebesar 8,8 GW atau 0,019% dari total potensi energi terbarukan. Potensi energi terbarukan terbesar adalah energi surya sebesar 207,8 GWp. Untuk mempercepat pengembangan EBT, Pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi, yaitu Peraturan Presiden

No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) tentang Percepatan Infrastruktur Ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan, Peraturan Menteri ESDM No. 49 Tahun 2017 tentang Pokok-Pokok Dalam Perjanjian Jual Beli Tenaga Listrik, dan Peraturan Menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik [1].

Sebagai negara yang berada di wilayah khatulistiwa, Indonesia hampir sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari yang cukup, sehingga memiliki potensi energi surya yang potensial untuk dapat dimanfaatkan dan dikembangkan baik untuk pembangkit listrik ataupun untuk keperluan lainnya. Sesuai dengan data yang disebutkan dalam RUEN, Indonesia memiliki total potensi energi surya sebesar 207.898 MWp yang mencakup di 34 Provinsi [2][3]. Dengan potensi energi matahari yang cukup tinggi di Indonesia dan dengan dukungan regulasi dari pemerintah maka Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan energi terbarukan, dengan matahari sebagai sumber energi primer. Panel surya atau Photovoltaic (PV) dapat mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Selain dapat menghasilkan energi listrik, photovoltaic memiliki kelebihan lainnya, yaitu tidak menghasilkan pencemaran lingkungan (tidak menimbulkan emisi), dan tidak menimbulkan kebisingan, walaupun secara efisiensi masih perlu pertimbangan. Komponen utama dari teknologi photovoltaic adalah sel photovoltaic yang terdiri dari sel-sel yang terbuat dari bahan semikonduktor. Dalam pengoperasian sel photovoltaic, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari sel tersebut, antara lain irradiansi, temperatur, sudut dari sel photovoltaic terhadap matahari, dan pengaruh bayangan (shading) [4-6].

Gedung ICT Universitas Diponegoro ini dipilih untuk perencanaan PLTS karena terdapat lahan kosong yang dapat dimanfaatkan. Selain itu, pada area rooftop juga masih terdapat lahan kosong yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTS yang dapat menghasilkan energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari. Kemudian letak astronomis dari Gedung ICT yaitu pada  $7,0661^{\circ}$  LS dan  $110,4381^{\circ}$  BT juga berpotensi untuk dipasang PLTS jika dilihat dari parameter meteorologi yang diperoleh.



Gambar 1. Area Rooftop Gedung ICT UNDIP

Penelitian ini membahas tentang sebuah sistem kendali yang berfungsi agar sistem PV dapat dimaksimalkan kinerjanya. Sistem kendali ini memanfaatkan metode yang populer digunakan untuk sistem PV yaitu *Maximum*

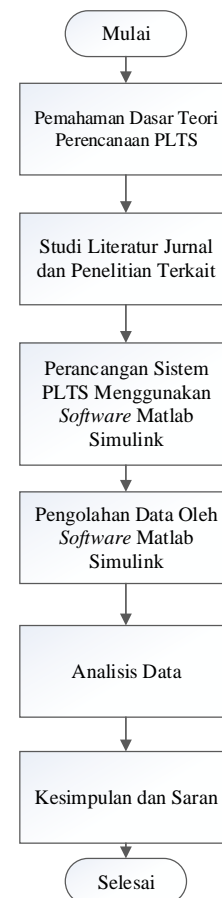
*Power Point Tracker* (MPPT). MPPT merupakan sebuah metode pelepasan daya yang bekerja dengan melacak titik daya keluaran tertinggi dari sistem PV. Sistem kendali MPPT akan mengatur produksi dan penyimpanan daya sistem PV memanfaatkan DC-DC *boost converter*. *Boost Converter* dikendalikan oleh sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berasal dari *duty cycle* hasil operasi algoritme MPPT.

Adapun penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk melakukan perancangan dan simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan menggunakan MPPT metode *Perturb and Observe* untuk memaksimalkan serta mengoptimalkan daya keluaran dari PV dengan menggunakan *software* Simulink Matlab 2016b.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Simulasi

Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Perancangan PLTS Hybrid Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Sebagai Pemaksimalan Daya *Photovoltaic* (PV) di Gedung ICT Universitas Diponegoro dengan *Software* Matlab Simulink” dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

## 2.2. Pengambilan Data

Pada tahap pengerjaan Tugas Akhir ini, dilakukan pengambilan data dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resource Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy* guna mengetahui beragam parameter meteorologi dan klimatologi di wilayah perencanaan yakni di wilayah Kota Semarang selama periode tahun 2019. Adapun beberapa data yang diperlukan guna pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

**Tabel 1. Data Intensitas Radiasi Matahari di Kota Semarang pada Tahun 2019**

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	4.90
Februari	5.30
Maret	4.80
April	5.20
Mei	5.44
Juni	5.30
Juli	5.45
Agustus	6.04
September	6.39
Oktober	6.58
November	6.24
Desember	5.60
<b>Rata-Rata</b>	<b>5.60</b>

**Tabel 2. Data Temperatur Kota Semarang pada tahun 2019**

BULAN	Temperatur Rata-rata (°C)
Januari	25,20
Februari	25,10
Maret	25,00
April	25,50
Mei	25,20
Juni	25,00
Juli	25,00
Agustus	25,80
September	26,20
Oktober	26,00
November	26,00
Desember	25,00
<b>Rata-Rata</b>	<b>25,40</b>

Data pada tabel 1 dan tabel 2 adalah dua parameter meteorologi yang diperlukan dalam simulasi. Selain 2 data tersebut, terdapat data lama penyinaran untuk mengetahui pengaruh lama penyinaran terhadap produksi energi listrik PLTS. Data lama penyinaran ini diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Klimatologi Semarang.

Selain itu pengambilan data guna menunjang Tugas Akhir ini diperoleh juga melalui pengukuran perkiraan penggunaan beban harian di Gedung ICT UNDIP. Data ini dibutuhkan sebagai estimasi penggunaan beban harian yang dicatu oleh listrik PLN baik dalam hari kerja maupun hari libur.

Pengambilan data dilakukan dengan observasi manual secara periodik dan diperoleh hasil menurut pemakaian per jam dalam sehari seperti pada tabel 3 berikut ini.

**Tabel 3 Data perkiraan penggunaan beban harian per jam di Gedung ICT Universitas Diponegoro**

Waktu (WIB)	Beban (W)	
	Hari kerja	Hari libur
00.00 – 00.59	3401,75	3454,72
01.00 – 01.59	3401,75	3454,72
02.00 – 02.59	3401,75	3454,72
03.00 – 03.59	3401,75	3454,72
04.00 – 04.59	3401,75	3454,72
05.00 – 05.59	3401,75	3454,72
06.00 – 06.59	3401,75	3454,72
07.00 – 07.59	11410,35	1753,48
08.00 – 08.59	10210,35	2795,22
09.00 – 09.59	10210,35	2795,22
10.00 – 10.59	36122,85	28707,72
11.00 – 11.59	10210,35	2795,22
12.00 – 12.59	10810,35	3395,22
13.00 – 13.59	10210,35	2795,22
14.00 – 14.59	10210,35	2795,22
15.00 – 15.59	11410,35	1753,48
16.00 – 16.59	10422,85	3007,72
17.00 – 17.59	3401,75	3454,72
18.00 – 18.59	3401,75	3454,72
19.00 – 19.59	3401,75	3454,72
20.00 – 20.59	3401,75	3454,72
21.00 – 21.59	3401,75	3454,72
22.00 – 22.59	3401,75	3454,72
23.00 – 23.59	3401,75	3454,72
<b>Total</b>	<b>178853</b>	<b>100960</b>

Dari data tabel 3 dapat dilihat bahwa besar pemakaian daya listrik saat hari kerja (5 hari) adalah 0,179 MWh per hari dan saat hari libur (2 hari) sebesar 0,101 MWh per hari.

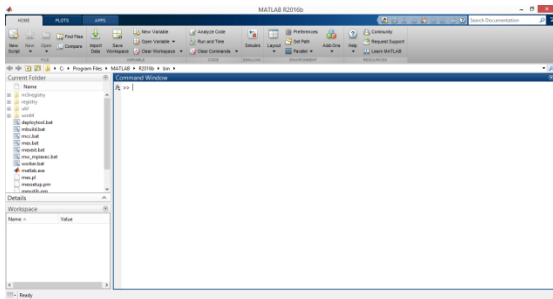
## 2.3. Simulasi Matlab

MATLAB merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang cukup populer pada kalangan ilmuwan dan praktisi. Dalam Matlab sudah terintegrasi kaitan komputasi, visualisasi dan pemrograman yang mudah digunakan dengan masalah dan solusi dapat diwujudkan dengan model matematika yang sudah umum digunakan. Secara mendasar Matlab telah banyak digunakan untuk berbagai bidang, seperti membentuk algoritma matematika dan komputasi, Pemodelan akuisisi data, simulasi, dan analisis prototif data, eksplorasi, dan pembuatan visualisasi grafis ilmu pengetahuan dan teknologi, termasuk untuk membuat sistem antar muka dengan perangkat lain. Nama MATLAB sebenarnya diambil dari dua istilah pokok yaitu matrix

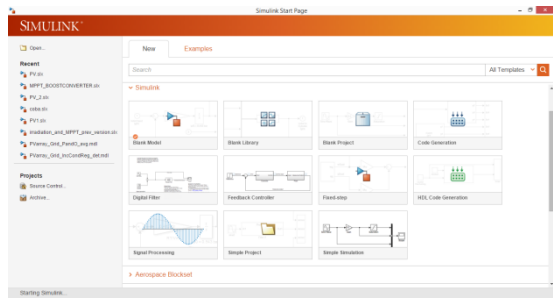
laboratory. MATLAB yang semula ditujukan untuk memudahkan kalkulasi pada matrix, oleh pengembangnya, yaitu LINPACK dan EISPACK, kemudian berkembang menjadi sistem yang kompleks dengan banyak variasi dan banyak bidang ilmu yang dibuat program-program dasarnya. Pada saat sekarang MATLAB merupakan hasil

kolaborasi dari dua perusahaan, yaitu LAPACK and BLAS, dengan tetap matrik sebagai salah satu komponen utama dalam komputasinya. MATLAB memiliki karakteristik antara lain Bahasa pemrogramannya didasarkan pada matriks (baris dan kolom) tersedia banyak *toolbox* untuk aplikasi-aplikasi spesifik dan *window*. *Toolbox* yang terdapat pada Matlab antara lain : *Signal Processing, Control System, System Identification, optimization, fuzzy, neural network* dan sebagainya. Selain *toolbox*, Matlab juga menawarkan produk yaitu SIMULINK suatu sistem untuk simulasi dinamika proses atau plant.

Simulink adalah *platform* didalam MATLAB yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. Didalam simulink terdapat berbagai macam *toolbox* yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik[7-10].



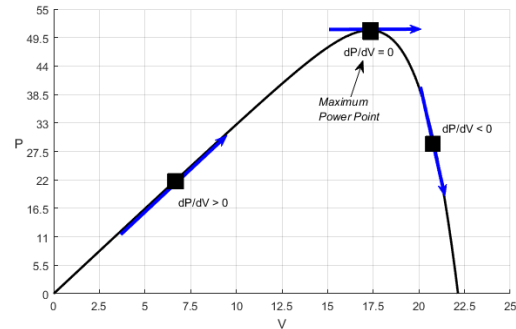
Gambar 3. Tampilan awal Software Matlab



Gambar 4. Tampilan awal Simulink

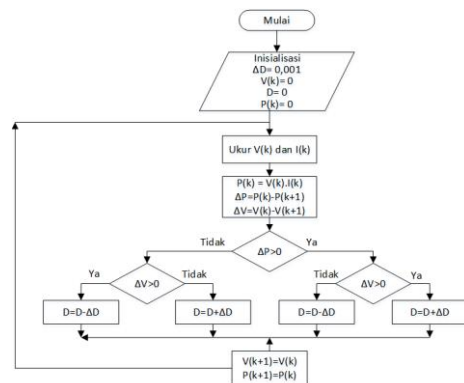
#### 2.4. MPPT (Maximum Power Point Tracker)

*Maximum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan teknik pelacakan titik daya keluaran sistem PV maksimal. Prinsip kerja MPPT adalah membaca setiap titik keluaran di kurva karakteristik P – V pada panel surya. Sistem kendali MPPT akan mengubah titik kerja sehingga *converter* memaksakan kerja panel surya sesuai kemampuan untuk selalu mencapai titik daya maksimum. MPPT bukan merupakan sebuah sistem mekanik yang membuat sistem panel surya bergerak mengikuti sesuai arah datang intensitas matahari, melainkan sistem elektronis yang bekerja untuk mengoptimalkan keluaran daya dari panel surya



Gambar 5. Karakteristik pada kurva P-V

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, digunakan metode algoritma optimasi untuk mppt yaitu metode Perturb&Observe.



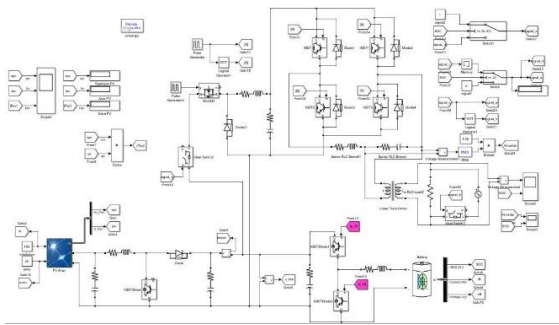
Gambar 6. Diagram alir metode P&O

MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik daya maksimum. Daya yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel sel surya. Keluaran dari sel surya dipengaruhi oleh cahaya matahari, diperlukan suatu algoritma untuk menemukan *maximum power point* (MPP) dan menjaga titik kerja. Algoritma Perturb and Observe dengan metode *Climbing Hill* dapat digunakan sebagai algoritma kendali MPPT. Algoritma ini dapat dijelaskan sebagaimana pada Gambar 4, ada tiga jenis poin dan terletak pada 3 posisi. Di *left peak*  $\Delta P/\Delta V > 0$ , puncak kurva  $\Delta P/\Delta V = 0$ , dan *right peak*  $\Delta P/\Delta V < 0$  [18]. Metode ini bekerja dengan cara *perturbing* (menaikkan atau menurunkan) *duty cycle*. Setiap kali perubahan *duty cycle* akan dilihat perubahan dayanya. Bila daya sekarang lebih besar dibandingkan daya sebelumnya, maka *duty cycle* akan dinaikkan lagi. Bila daya yang sekarang lebih kecil dibandingkan daya yang sebelumnya, maka *duty cycle* akan dikurangi. Karena itu, metode ini memerlukan *input* nilai daya *output* untuk mengetahui daya yang jatuh di beban[11-15].

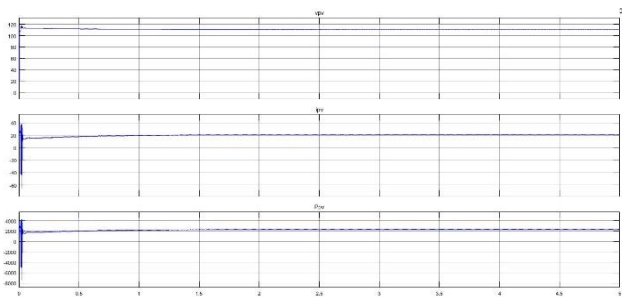
### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1. Hasil Pengujian Rangkaian PV Tanpa Menggunakan MPPT

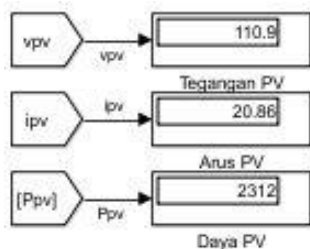
Pengujian rangkaian PV tanpa menggunakan MPPT bertujuan untuk mengetahui kinerja panel dalam menghasilkan daya yang dirancang tanpa menggunakan algoritma MPPT. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai iradiasi dan suhu dan kemudian menganalisa nilai tegangan dan arus panel surya, gambar merupakan rangkaian pengujian PV tanpa menggunakan algoritma MPPT.



Gambar 7. Rangkaian pengujian PV tanpa menggunakan algoritma MPPT



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Grafik pengujian tanpa MPPT dengan Iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°, (b) Display pengujian tanpa MPPT dengan Iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°

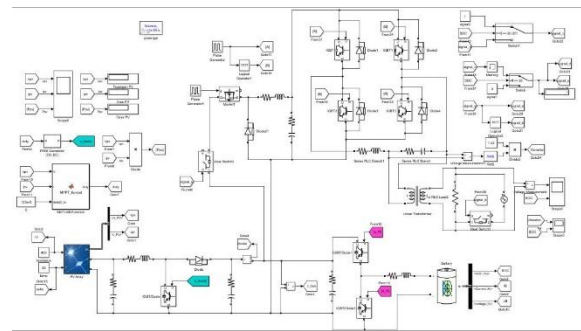
Berdasarkan pada gambar 6 input dilakukan pengujian tanpa menggunakan algoritma MPPT dan beban yang digunakan adalah sebesar 13,5 kW.

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 22°C, iradiasi 350 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 24°C, iradiasi 500 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 25°C, iradiasi 650 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 26°C, iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 27°C serta iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 29°.

Berdasarkan pada gambar 7 terlihat bahwa ketika iradiasi meningkat menjadi 800 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 27°C pada display ditunjukkan nilai tegangan panel meningkat menjadi 110,9 V, arus panel 20,86 A, dan daya yang dihasilkan meningkat menjadi 2312 W. Sedangkan kebutuhan beban Gedung ICT Undip untuk 1 SCC yaitu 1500 W, sehingga rangkaian tanpa menggunakan algoritma MPPT pada saat iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dan suhu 27°C dapat menyuplai beban secara penuh.

#### 3.2. Hasil pengujian rangkaian PV dengan MPPT

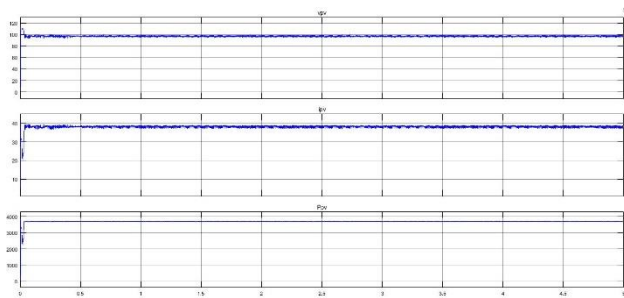
Pengujian rangkaian PV menggunakan MPPT bertujuan untuk mengetahui kinerja panel dalam menghasilkan daya yang dirancang dengan menggunakan algoritma MPPT. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai iradiasi dan suhu dan kemudian menganalisa nilai tegangan dan arus panel surya, gambar dibawah ini merupakan rangkaian pengujian PV menggunakan algoritma MPPT.



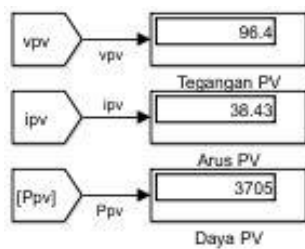
Gambar 9. Rangkaian pengujian PV menggunakan algoritma MPPT

Berdasarkan pada gambar 9 input dari IGBT yaitu sinyal PWM hasil pengolahan duty cycle yang diolah dari algoritma *perturb and observe*, dengan frekuensi PWM sebesar 20000 Hz dan beban yang digunakan adalah sebesar 13,5 kW.

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi iradiasi 200 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 22°C, iradiasi 350 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 24°C, iradiasi 500 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 25°C, iradiasi 650 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 26°C, iradiasi 800 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 27°C serta iradiasi 1000 W/m<sup>2</sup> dengan suhu 29°.



(a)



(b)

**Gambar 10.** (a) Grafik pengujian MPPT dengan Iradiasi  $800 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $27^\circ\text{C}$ , (b) Display pengujian MPPT dengan Iradiasi  $800 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $27^\circ$

Berdasarkan pada gambar 10 terlihat bahwa ketika iradiasi meningkat menjadi  $800 \text{ W/m}^2$  dengan suhu  $27^\circ\text{C}$ , pada display ditunjukkan nilai tegangan panel meningkat menjadi 96,4 V, arus panel 38,43 A, dan daya yang dihasilkan meningkat menjadi 3705 W. Sedangkan daya yang dihasilkan oleh rangkaian tanpa algoritma MPPT saat iradiasi dan suhu yang sama adalah 2312 W, hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritma MPPT *perturb and observe* daya yang dihasilkan menjadi lebih besar. Sehingga algoritma MPPT *perturb and observe* telah berjalan dengan baik. Kebutuhan beban Gedung ICT Undip untuk 1 SCC yaitu 1500 W, sehingga rangkaian menggunakan algoritma MPPT pada saat iradiasi  $800 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $27^\circ\text{C}$  dapat menyuplai beban secara penuh.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir berjudul Perancangan PLTS Hybrid Menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) Sebagai Pemaksimalan Daya *Photovoltaic* (PV) di Gedung ICT Universitas Diponegoro dengan *Software* Matlab Simulink, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS yang dirancang menggunakan MPPT dengan metode *Perturb and Observe* daya keluaran dari panel surya menjadi lebih maksimal.

Dalam perancangan sistem pada Matlab Simulink menggunakan sampel 1 SCC dengan rincian

menggunakan 15 panel surya (3 seri dan 5 paralel) yang masing-masing berkapasitas 310 Watt Peak serta menyuplai beban 1500 W pada Gedung ICT Universitas Diponegoro.

Hasil percobaan tanpa menggunakan MPPT saat iradiasi  $350 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $24^\circ\text{C}$  panel surya menghasilkan daya sebesar 1038 W sedangkan hasil percobaan dengan menggunakan MPPT saat iradiasi dan suhu yang sama panel surya menghasilkan daya sebesar 1628 W, sehingga dengan menggunakan algoritma MPPT *Perturb and Observe* daya yang dihasilkan lebih maksimal.

Hasil percobaan tanpa menggunakan MPPT saat iradiasi  $800 \text{ W/m}^2$  dan suhu  $27^\circ\text{C}$  panel surya menghasilkan daya sebesar 2312 W sedangkan hasil percobaan dengan menggunakan MPPT saat iradiasi dan suhu yang sama panel surya menghasilkan daya sebesar 3705 W, sehingga dengan menggunakan algoritma MPPT *Perturb and Observe* daya yang dihasilkan lebih maksimal.

#### Referensi

- [1] Kementerian ESDM Republik Indonesia, Rencana Strategis Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan 2015-2019. 2015.
- [2] Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers - second edition*. 2008.
- [3] W. Omran, "Performance Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems", Ph.D thesis, University of Waterloo at Ontario, 2010.
- [4] Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd*, Jon Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2006.
- [5] D. L. Pangestuningtyas, Hermawan, dan Karnoto, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari Yang Diterima Oleh Panel Surya Tipe Larik Tetap," Universitas Diponegoro, 2013.
- [6] M. A. Ridho, B. Winardi, dan A. Nugroho, "Analisis Potensi Dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Fakultas Psikologi Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSyst 6.43," Universitas Diponegoro, 2018.
- [7] B. Ramadhani, *Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dos & Don'ts*. 2018.
- [8] ABB, *Technical Application Papers N0.10 Photovoltaic Plants*, Bergamo Italy, 2008.
- [9] International Finance Corporation (IFC), *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*. India, 2012.
- [10] M. Sengupta et al., *Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications*, no. NREL/TP-5D00-63112. 2015.
- [11] RETScreen International, *Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases Textbook*, no. 3. Canada, 2005.
- [12] E. P. D. Hattu, J. A. Wabang, dan A. Palinggi, "Pengaruh Bayangan terhadap Output Tegangan dan Kuat Arus pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," Politeknik Negeri Kupang, 2018.

- [13] Nadia Al-Rousan, Nor Ashidi Mat Isa, and Mohd Khairunaz M.D “Advances in Solar Photovoltaic Tracking Systems: A review,” Universiti Sains Malaysia, 2018.
- [14] R. Banerjee, “Solar Tracking System,” Guru Nanak Institute of Technology, 2015.
- [15] G. H. Susilo dan B. Winardi, “Diesel Dan Energi Terbarukan Di Pulau Enggano , Bengkulu,” Universitas Diponegoro, 2014.