

PERANCANGAN KONTROL MPPT DENGAN METODE P&O PADA SISTEM PV DI GEDUNG TEKNIK SIPIL UNIVERSITAS DIPONEGORO

Gabriella Bintang Sitanggang^{*}), Trias Andromeda dan Enda Wista Sinuraya

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

*E-mail: gabriellabintang.sitanggang18@gmail.com

Abstrak

Makalah ini menyajikan simulasi sistem daya fotovoltaik yang terhubung ke jaringan namun pada penelitian ini hanya berfokus pada sistem kontrol MPPT dengan metode P&O pada sistem PV. Model kompleks sistem distribusi daya dikembangkan di MATLAB / Simulink, dan kemudian disimulasikan untuk menentukan jumlah daya yang dihasilkan sistem PV dan akan dikirim ke beban. Data radiasi surya diperoleh dari *website* resmi NASA yang merupakan data iradiasi rata-rata perhari dan perbulan selama tahun 2019. Sampel data menjadi sistem model terdiri dari PV yang dikontrol dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan metode *Perturb and Observe*. Variabel *output* adalah arus, tegangan dan daya. Namun, penelusuran karakteristik tegangan-arus (I-V) atau karakteristik tegangan-daya (P-V) sangat diperlukan untuk operasi sistem PV dengan menggunakan MPPT P&O. Berdasarkan penelitian ini diketahui persentase kinerja PV tanpa MPPT dalam memanfaatkan iradiasi untuk menghasilkan daya rata-rata senilai 88,92%. Sistem PV tanpa menggunakan kontrol MPPT daya yang dihasilkan rata-rata perbulan terkecil senilai 19.192,7 kWh sementara daya membutuhkan beban rata-rata Teknik Sipil Universitas Diponegoro 21.000 kWh perbulan maka setelah menggunakan kontrol MPPT daya yang dihasilkan rata-rata perbulan terkecil senilai 21.407,36 kWh. Persentase kinerja PV dengan menggunakan MPPT dalam menghasilkan daya rata-rata senilai 98,49%. Presentasi kinerja MPPT P&O dalam menaikkan daya adalah senilai 9,57%.

Kata kunci : Fotovoltaik, MPPT P&O, Matlab/Simulink

Abstract

This paper presents a grid-connected photovoltaic power system simulation but in this study only focuses on the MPPT control system with the P&O method in PV systems. A complex model of the power distribution system was developed at MATLAB / Simulink, and then simulated to determine the amount of power the PV system generates and sends to the load. Solar radiation data is from the official NASA website which is the average daily and monthly irradiation data for 2019. The output variables are current, voltage and power. However, tracing the voltage-current (I-V) characteristics or voltage-power (P-V) characteristics is indispensable for operation of PV system using the MPPT P&O. Based on this, the percentage of PV performance without MPPT in utilizing irradiation to produce an average power of 88.92%. The PV system without using the MPPT control, the smallest average power generated per month is 19,192.7 kWh while the power requires average load of Civil Engineering Diponegoro University 21,000 kWh /month, after using the MPPT control power produced is the smallest average monthly value of 21,407.36 kWh. Percentage of PV performance using MPPT to produce average power of 98.49%. The percentage of MPPT P&O performance in increasing power is worth 9.57%.

Keywords: Photovoltaic, MPPT P&O, Matlab/Simulink

1. Pendahuluan

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi surya/panas dari matahari yang diserap oleh panel surya melalui proses fotovoltaik [1]. Pemanfaatan panel surya sebagai pembangkit biasanya dapat dihubungkan langsung dengan beban tanpa konverter. Hal ini mengakibatkan beban menerima tegangan yang sama dengan panel surya sehingga beban

menerima tegangan yang tidak sesuai dengan tegangan kerja yang diperlukan [2]. Permasalahan yang terdapat pada penggunaan panel surya adalah pembangkitan listrik yang rendah serta pada kondisi radiasi yang rendah dan besarnya daya listrik yang dibangkitkan berubah-ubah seiring dengan perubahan cuaca dan temperatur. Panel surya dapat di optimalkan dengan menggunakan 2 metode yaitu metode dinamis dan statis. Metode dinamis menggunakan motor listrik untuk mengarahkan panel surya ke matahari, sehingga iradiasi matahari yang di

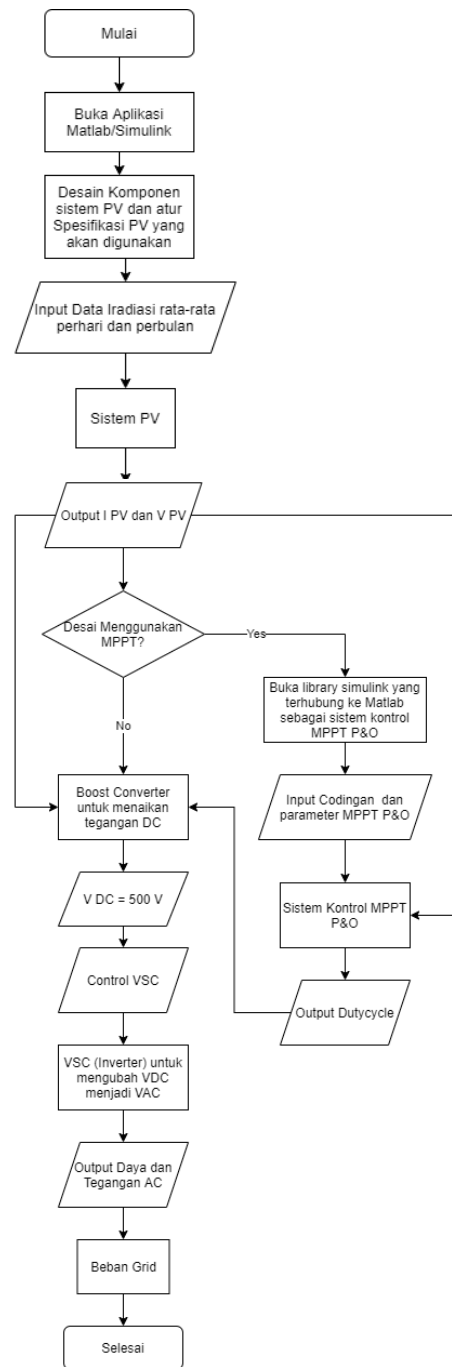
terima panel surya dapat maksimum. Metode statis atau *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) menggunakan konverter daya untuk mencari titik daya maksimum pada kurva karakteristik panel surya, namun iradiasi matahari yang diterima panel surya metode statis tidak sebesar metode dinamis [3]. MPPT digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) terdiri dari 2 bagian utama, yaitu konverter DC-DC dan metode algoritma MPPT [4]. Keluaran panel surya berupa arus dan tegangan, adalah nonlinier dan sangat tergantung pada kondisi alam yaitu suhu panel surya dan radiasi yang diterima menyebabkan sulitnya pengoperasian dalam mendapatkan daya. Berbagai metode algoritma telah dipaparkan Trishan Esmar dan Patrick L. Chapman [5], antara lain *Incremental Conductance*, *Perturb and Observe* (P&O), *Fuzzy Logic* dan lain-lain. Semua algoritma tersebut berbeda aspek termasuk kesederhanaan, kecepatan, sensor yang dibutuhkan, efektifitas, dan parameter yang dibutuhkan [6]. Algoritma P&O akan meningkatkan atau menurunkan tegangan panel surya dengan bantuan konverter secara terus menerus berdasarkan perbandingan daya hingga mencapai *Maximum Power Point* [7].

Penelitian ini dilakukan Perancangan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan Metode *Perturb and Observe* (P&O) pada Panel Surya. Penelitian ini memfokuskan pada sistem pencarian titik daya maksimum menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O) yang kemudian diaplikasikan dalam rangkaian tipe *Boost Converter*. Dengan menggunakan metode ini tegangan PV akan berubah dengan merubah *duty cycle* pada konverter DC-DC dan akan mengamati perubahan daya yang diakibatkan perubahan tegangan tersebut, sampai didapatkan daya maksimalnya. Seluruh sistem dimodelkan dan disimulasikan dengan program *Simulink/Matlab*.

2. Metodologi

2.1. Perancangan Simulasi

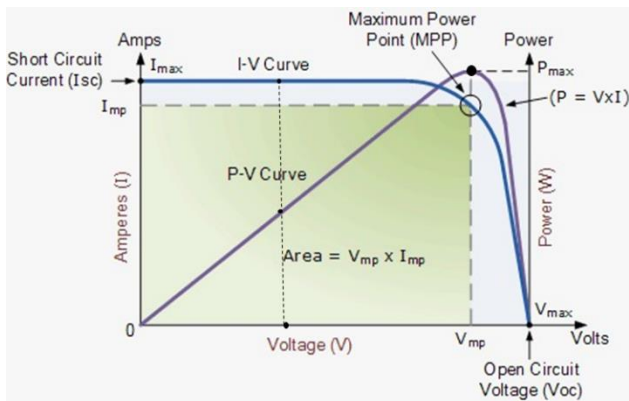
Diagram alir dari Tugas Akhir berjudul “Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) dengan Metode P&O (*Perturb and Observe*) di Teknik Sipil Universitas Diponegoro Menggunakan *Software* Matlab Simulink” dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir

2.2. Kurva Karakteristik Sel Surya

Sel surya memiliki kurva karakteristik yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Kurva ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2. Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan pada Sel Surya [8]

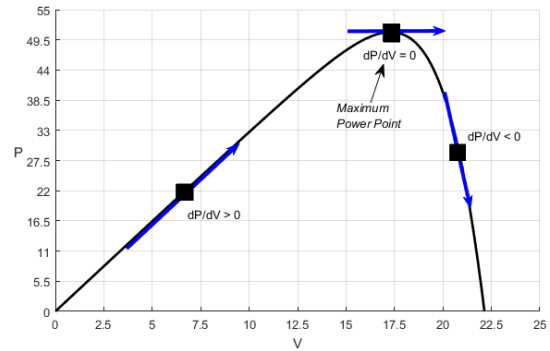
Pada saat keluaran sel surya tidak terhubung dengan beban (*open circuit*) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel berada pada nilai maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}). Pada keadaan lain, saat keluaran sel surya dihubungkan singkatkan (*short circuit*) maka arus bernilai maksimum, yang disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Selain itu terdapat nilai daya maksimum (P_{mp}) yang dapat dihasilkan pada saat tegangan maksimum (V_{mp}) dan arus maksimum (I_{mp}). Titik dimana nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar disebut dengan *Maximum Power Point* (MPP). Tegangan *Open Circuit* (V_{oc}) adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol. Cara untuk mencapai *open circuit* (V_{oc}) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul surya dengan voltmeter, sehingga akan terlihat nilai tegangan *open circuit* sel surya pada voltmeter.

Arus *Short Circuit* (I_{sc}) adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh modul sel surya dengan cara menge-*short*-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul surya. Dan nilai I_{sc} akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan. Perubahan *irradiance*, suhu dan susunan sel surya (disusun secara seri atau paralel) dalam modul berpengaruh terhadap parameter utama sel surya yaitu arus, tegangan dan daya keluaran dari sel surya. Karakteristik kurva hubungan antara arus dan tegangan (kurva I-V) serta daya dan tegangan (kurva P-V) dianalisa berdasarkan variasi *irradiance*, suhu dan susunan sel surya dalam modul.

2.3. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

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*

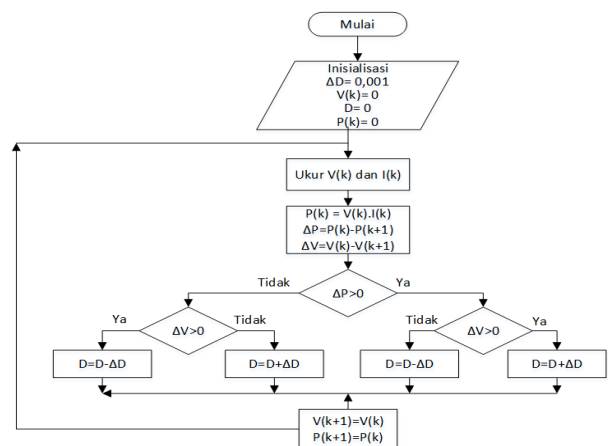
memaksakan kerja panel surya sesuai kemampuan untuk selalu mencapai titik daya maksimum. MPPT bukan merupakan sebuah sistem mekanik yang membuat sistem panel surya bergerak mengikuti sesuai arah datang intensitas matahari, melainkan sistem elektronis yang bekerja untuk mengoptimalkan keluaran daya dari panel surya.



Gambar 3. Karakteristik pada kurva P-V [9]

2.4. Algoritma Perturb and Observe

Algoritme *Perturb and Observe* (P&O) beroperasi mendeteksi gangguan pada tegangan PV secara berkala dengan memvariasikan *duty cycle*, dan mengamati daya PV untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan PV pada siklus berikutnya algoritma ini bekerja untuk memindahkan titik kerja kemiringan positif maupun negatif untuk selalu berada pada titik maksimum. Algoritma ini membutuhkan nilai parameter daya, tegangan, dan arus dari sistem PV sebagai masukannya.. Algoritma P&O dapat dibuat menjadi diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 5. Diagram alir P&O [10]

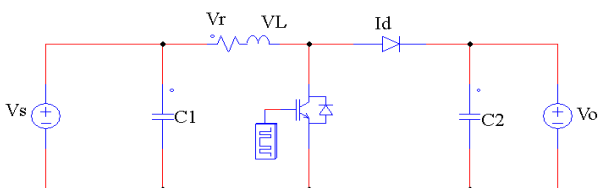
MPPT benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik daya maksimum. Daya yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel sel surya. Keluaran dari sel

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 5, 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* $\Delta P/\Delta V < 0$ [11].

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.

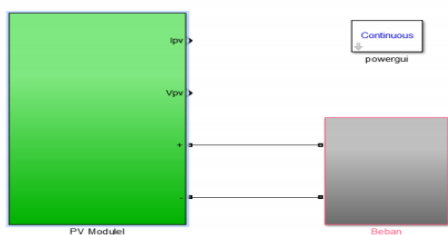
2.5. Boost Converter

Konverter *Boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya, atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga surya dan turbin angin. Komponen utamanya konverter terdiri atas MOSFET, dioda, induktor, dan kapasitor. Jika saklar MOSFET pada kondisi tertutup, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi yang tersimpan di induktor naik. Saat saklar MOSFET terbuka, arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan turun. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.



Gambar 6. Rangkaian konverter DC-DC tipe *Boost* [12]

2.6. Sistem Photovoltaic

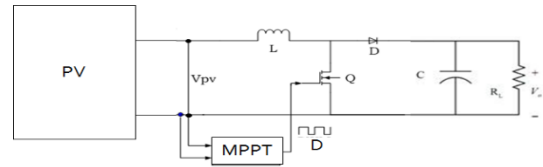


Gambar 7. Sistem PV tanpa menggunakan MPPT [13]

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>

Sistem PV akan menghasilkan daya dengan memanfaatkan iradiasi dan temperatur akan menjadi tidak maksimal setelah diberi beban.

Pada Gambar 7 dapat dilihat PV tanpa menggunakan MPPT dengan arti arus, tegangan dan daya yang dihasilkan oleh PV langsung disuplai kepada beban.

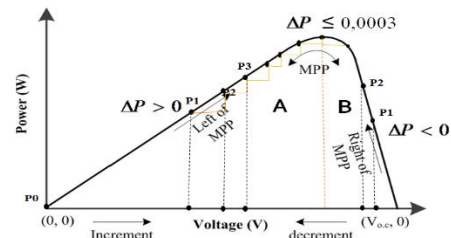


Gambar 8. Sistem PV dengan menggunakan MPPT [14]

Pada Gambar 8 dapat dilihat sistem PV yang menggunakan pengontrolan MPPT P&O agar daya yang dihasilkan PV adalah daya maksimum sehingga beban menerima daya yang lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan MPPT. PV dibantu dengan menggunakan konverter DC-DC agar MPPT yang menjadi pengontrolan PV dapat menaikkan tegangan dan daya dengan mengubah nilai *duty cycle*.

2.7. Kontrol MPPT P&O

MPPT adalah suatu sistem *tracking* yang dapat menelusuri suatu titik daya maksimum (MPP). Sistem kontrol MPPT bila diaplikasikan terhadap kurva P-V maka didapat analisa seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Sistem kerja MPPT [15]

Seperti pada Gambar 9 sesuai pengertian MPPT menelusuri MPP dengan melakukan beberapa iterasi atau perhitungan terhadap yaitu tegangan dan arus. Ketika tegangan dinaikkan di daerah A maka daya sekarang lebih besar dari daya sebelumnya (selisih daya bernilai positif) begitu juga jika tegangan diturunkan di daerah B maka daya sekarang lebih kecil dari daya sebelumnya (selisih daya bernilai negatif). Maka untuk mendapatkan P_{mpp} maka MPPT menggunakan metode *Perturb and Observe* (P&O).

2.8. 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 Iradiasi matahari rata-rata perbulan di Kota Semarang pada Tahun 2019

BULAN	Intensitas Radiasi Matahari (kWh/m ² /hari)
Januari	4,60
Februari	5,29
Maret	4,55
April	5,08
Mei	5,41
Juni	5,14
Juli	5,37
Agustus	5,94
September	6,49
Oktober	6,54
November	6,02
Desember	5,30
Rata-Rata	5,45

Tabel 2. Data Iradiasi matahari rata-rata perhari di Kota Semarang pada Tahun 2019

Tanggal	Iradiasi rata-rata perhari pada bulan (W/m ²)			
	Januari	Februari	Maret	April
1	4.53	3,54	5,03	4,79
2	4.07	6,32	4,07	5,41
3	3.16	4,49	3,66	5,63
4	5.80	5,00	5,16	4,49
5	5.56	4,70	5,13	5,17
6	6.29	6,83	3,09	3,67
7	4.23	5,75	2,04	5,89
8	5.82	3,92	4,91	4,67
9	5.46	5,50	4,90	5,99
10	6.56	4,07	5,63	5,39
11	5.86	5,53	5,32	5,55
12	6.08	3,26	4,16	5,49
13	3.67	5,99	5,19	3,18
14	4.87	4,45	4,87	5,99
15	5.05	4,46	4,46	5,05
16	3.09	6,31	4,32	4,81
17	5.11	6,26	4,19	5,36
18	4.66	5,56	4,50	5,20
19	4.43	4,97	2,88	5,60
20	4.41	4,28	5,22	4,85
21	4.73	5,21	3,50	5,84
22	1.80	6,72	5,56	5,57
23	4.01	6,11	4,19	5,44
24	5.36	5,19	2,02	4,51
25	2.44	6,34	4,74	5,16
26	5.59	7,06	6,21	5,56
27	2.65	6,22	4,70	6,10
28	3.72	4,16	3,62	4,13
29	4.00	-	6,58	3,21
30	5.44	-	5,18	4,79
31	4.27	-	6,02	-

Data pada tabel 1 dan tabel 2 adalah dua parameter meteorologi yang diperlukan dalam simulasi. Pada tabel 2 merupakan tabel rata-rata perhari selama tahun 2019, namun pada makalah ini penulis hanya mencantumkan 4

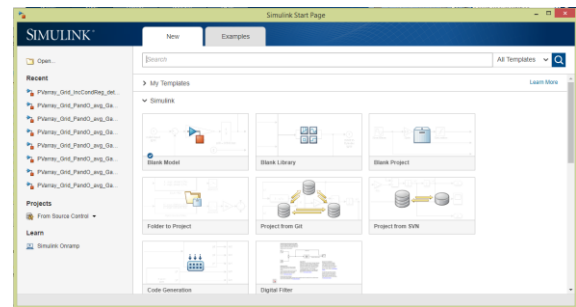
bulan sebagai sampel data. Pada penelitian Tugas Akhir ini penulis melakukan percobaan dengan data iradiasi selama 12 bulan.

2.9. Simulasi

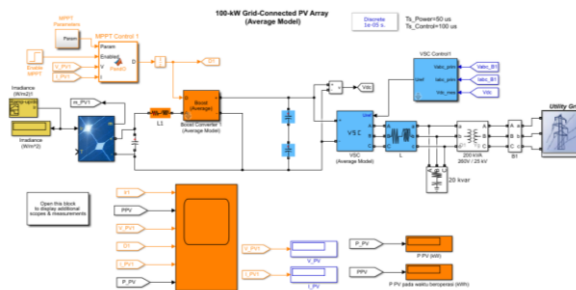
Pemanfaatan energi matahari di lahan kosong Gedung Teknik Sipil Universitas Diponegoro yang berlokasi di Kota Semarang, Jawa Tengah menjadi sebuah PLTS memiliki potensi yang cukup besar. Dengan potensi pemanfaatan energi matahari dan penggunaan konsumsi energi listrik yang besar di Teknik Sipil Universitas Diponegoro, dipilih sebuah sistem yaitu PV.

Sistem PV pada Tugas Akhir ini menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan *Boost Converter* dengan menggunakan metode *Perturb and Observe* yang didesain dan disimulasikan yang berguna untuk memaksimalkan daya keluaran dari panel surya, yaitu dengan cara sistem kendali algoritma MPPT akan mengubah titik kerja sehingga *converter* memaksakan kerja panel surya sesuai kemampuan untuk selalu mencapai titik daya maksimum.

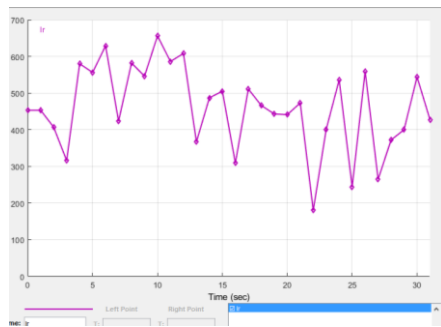
Perancangan kontrol MPPT dengan metode *Perturb and Observe* (P&O) pada sistem PV menggunakan *software Matlab/Simulink 2019a*. *Simulink* merupakan platform didalam MATLAB yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. Didalam simulink terdapat berbagai macam *toolbox* yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik.



Gambar 10. Tampilan Menu Awal Software Simulink



Gambar 11. Simulasi sistem PV array dengan menggunakan MPPT P&O



Gambar 12. Data masukan PV dengan iradiasi rata-rata perhari bulan Januari.

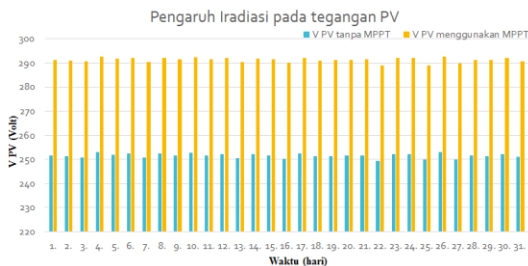
3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Pengujian Sistem PV

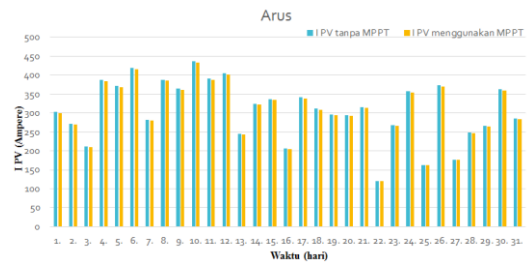
Berdasarkan hasil dari simulasi Sistem PV yang dirancang pada simulink, dapat dilihat pengaruh iradiasi rata-rata perhari selama bulan Januari 2019 pada sistem PV tanpa dan menggunakan MPPT dapat dilihat pada Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat perbedaan tegangan PV tanpa dan dengan menggunakan MPPT, dimana tegangan yang dihasilkan sistem PV dengan menggunakan MPPT lebih tinggi nilainya dibandingkan tanpa MPPT. Pada Gambar 14 dapat dilihat semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin tinggi arus yang dihasilkan PV, namun dengan menggunakan MPPT terdapat sedikit perbedaan nilai dengan tanpa menggunakan MPPT yang mana terjadi penurunan nilai pada arus PV setelah menggunakan MPPT. Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat potensi daya yang dapat dihasilkan dalam perhari, dengan menggunakan MPPT maka nilai daya yang dihasilkan akan lebih tinggi.

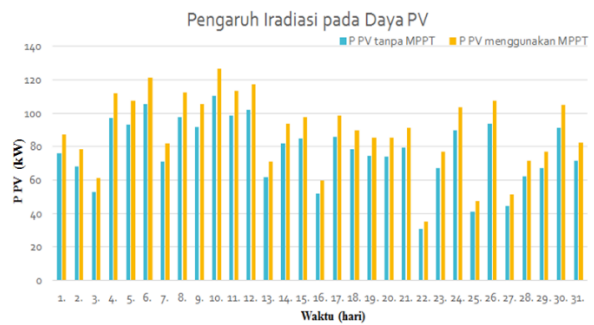
Pada simulasi sistem PV ini juga dirancang untuk mengetahui potensi daya yang dihasilkan pada sistem PLTS di Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Dengan iradiasi rata-rata perbulan maka di dapat hasil tegangan, arus dan daya PV serta telah didapat potensi daya yang dihasilkan sistem PV selama sebulan pada tahun 2019. Hasil sistem PV dapat dilihat pada Gambar 16 dan Tabel 3.



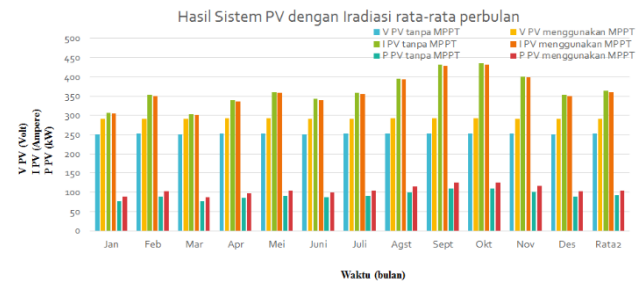
Gambar 13. Pengaruh Iradiasi pada tegangan PV



Gambar 14. Pengaruh Iradiasi pada Arus PV



Gambar 15. Pengaruh Iradiasi pada daya PV



Gambar 16. Hasil sistem PV dengan iradiasi rata-rata perbulan

Tabel 3. Potensi daya yang dihasilkan PV dengan rata-rata perbulan

No.	Bulan	Iradiasi rata-rata (W/m ²)	Daya/bulantanpa MPPT (kWh)
1.	Januari	460	19.393,6
2.	Februari	529	20.146,6
3.	Maret	455	19.192,7
4.	April	508	20.731,2
5.	Mei	541	22.818,48
6.	Juni	514	20.976
7.	Juli	537	22.642,4
8.	Agustus	594	25.072,8
9.	September	649	26.520
10.	Oktober	654	27.627,2
11.	November	602	24.624
12.	Desember	530	22.374,7
13.	Rata-rata perbulan	545	21.972

PLTS Teknik Sipil Universitas Diponegoro memiliki potensi optimal untuk menghasilkan energi listrik sebesar 21,972 MWh per bulannya sebelum menggunakan MPPT namun setelah menggunakan MPPT maka daya akan meningkat menjadi 25,254 MWh. Dimana dapat dianalisis perancangan kontrol MPPT P&O dapat bekerja dengan baik sehingga daya yang dihasilkan PV untuk menyuplai beban di Gedung Teknik Sipil Universitas Diponegoro. MPPT menaikkan daya senilai 3,273 MWh atau 9,57% dari daya tanpa menggunakan MPPT. Di mana sistem PLTS memerlukan komponen sebanyak 616 buah panel surya Kenika NPS300W yang tersusun secara paralel 77 dan seri 8.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian Tugas Akhir berjudul perancangan kontrol MPPT dengan metode P&O di Gedung Teknik Sipil Universitas Diponegoro menggunakan *software matlab/simulink*, dapat disimpulkan bahwa sistem PV yang dirancang pada perencanaan PLTS Teknik Sipil Universitas Diponegoro adalah sebuah sistem yang terhubung dengan jaringan PLN (*On-Grid*). Persentase kinerja PV tanpa MPPT dalam memanfaatkan iradiasi untuk menghasilkan daya rata-rata senilai 88,92%.

Sistem PV tanpa menggunakan kontrol MPPT daya yang dihasilkan rata-rata perbulan paling kecil senilai 19.192,7 kWh pada bulan Maret sementara daya yang dibutuhkan beban rata-rata Teknik Sipil Universitas Diponegoro 21.000 kWh perbulan. Maka dibutuhkan MPPT agar daya yang dihasilkan MPPT merupakan daya maksimum. Persentase kinerja PV dengan menggunakan MPPT dalam memanfaatkan iradiasi untuk menghasilkan daya rata-rata senilai 98,61%. Sistem PV dengan menggunakan kontrol MPPT daya rata-rata yang dihasilkan perbulan paling kecil senilai 21.407,36 kWh pada bulan Maret sementara daya yang dibutuhkan beban rata-rata Teknik Sipil Universitas Diponegoro 21.000 kWh perbulan. Maka dapat disimpulkan daya yang dihasilkan sistem PV dapat menyuplai beban di Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Presentasi kinerja MPPT P&O dalam menaikkan daya adalah senilai 9,57%.

Referensi

- [1]. NASA, "Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER) Higher Resolution Daily Time Series Climatology Resource for SSE-Renewable Energy." <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed Oct. 25, 2020).
- [2]. Earthscan, *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers*, Second. 2008.
- [3]. W. A. B. John A. Duffie, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3rd ed. John Wiley & Sons, 2013.
- [4]. D. L. Pangestuningtyas, "ANALISIS PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA TERHADAP RADIASI MATAHARI YANG DITERIMA OLEH PANEL SURYA TIPE LARIK TETAP Metode," pp. 0–7.
- [5]. D. G. BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, "Terbit Terbenam Matahari." <https://www.bmkg.go.id/tanda-waktu/terbit-terbenam-matahari.bmkg?Tgl=09&Blm=12&Thn=2019&Cari=True> (accessed Nov. 30, 2020).
- [6]. M. A. Ridho and B. Winardi, "ANALISIS POTENSI DAN UNJUK KERJA PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS DIPONEGORO MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYS 6. 43."
- [7]. B. A. B. li, "Bab ii tinjauan pustaka 2.1."
- [8]. J. Oliver, "Bab Ii Tinjauan Pustaka Aplikasi," *Hilos Tensados*, vol. 1, no., pp. 1–476, 2019.
- [9]. IFC, "Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants," pp. 35–39, 2015.
- [10]. "Technical Application Papers No.10 Photovoltaic plants," no. 10.
- [11]. Fendy Sutrisna, "Sekilas mengenai Konverter DC-DC." <https://indone5ia.wordpress.com/2011/09/02/sekilas-mengenai-konverter-dc-dc/> (accessed Dec. 02, 2020).
- [12]. A. Jumui, S. Fomba, H. Hermawan, T. Andromeda, M. Facta, and I. Setiawan, "Simulation of Grid-Tied Photovoltaic System Based on Solar Irradiance and Temperature Data in Semarang .," vol. 6, no. 201 9, pp. 10–15, 2019.
- [13]. PASCAL, "Jenis-jenis Inverter DC ke AC." <http://pascalenergy.com/jenis-jenis-inverter-dc-ke-ac.html> (accessed Dec. 02, 2020).
- [14]. A. A. P. Anil Antony P., "Transient Stability Enhancement of Grid by Using Fuzzy Logic Based Statcom," *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 6–13, 2013, doi: 10.9790/1676-0610613.
- [15]. Sunergi, "Sistem On grid."