

Modifikasi Algoritma MPPT untuk Meningkatkan Kinerja Sistem PLTS

Zulkifli^{1*}, Asnil¹

¹Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*e-mail: zulkifli22111996@gmail.com

(Diajukan: 03 Juni 2024, direvisi: 15 Juli 2024, disetujui: 22 Oktober 2024, dipublikasikan: 26 Oktober 2024)

Abstrak

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan teknik untuk memaksimalkan daya dari *photovoltaic*. MPPT algoritma *perturb and observe* adalah metode yang banyak digunakan dan cukup sederhana. Metode (P&O) memiliki keterbatasan meningkatkan efisiensi dan memiliki masalah osilasi, kecepatan pelacakan titik daya maksimum, konvergensi terutama saat mengalami perubahan kondisi atau radiasi cepat. Penelitian ini dilakukan untuk melihat kinerja algoritma *perturb and observe* dan melakukan modifikasi untuk meningkatkan kinerjanya mengatasi osilasi, konvergensi, efisiensi pelacakan serta kecepatan pelacakan. Kinerja dari algoritma akan di lihat melalui simulasi dan dievaluasi untuk melihat seberapa besar peningkatan kinerja yang dapat di capai dari menggunakan algoritma P&O yang di modifikasi. Simulasi menunjukkan algoritma P&O modifikasi memiliki keunggulan dari P&O konvensional.

Kata Kunci: *Perturb and Observe (P&O), osilasi, overshoot, efisiensi pelacakan, kestabilan sistem.*

Abstract

Maximum Power Point Tracking (MPPT) is a technique to optimize the power from *photovoltaic*. The *perturb and observe* algorithm MPPT is a widely used and fairly simple method. P&O method has limitations to increase efficiency and has oscillation problems, maximum power point tracking speed, convergence especially when experiencing rapid changes in condition or radiation. This reserch is conducted to see the performance of the *perturb and observe* algorithm and make modifications to improve its performance to overcome oscillations, convergence, tracking efficiency and tracking speed. The performance of the algorithm will be seen through simulation and evaluated to see how much performance improvement can be achieved from using the modified P&O algorithm. Simulation show that the modified P&O algorithm has advantages over conventional P&O.

Keywords: *Perturb and Observe (P&O), oscillation, convergence, tracking efficiency, system stability .*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat karena pertumbuhan penduduk. Sehingga suatu saat hal ini dapat menimbulkan potensi krisis energi dan sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara dan lain-lain akan habis, sehingga diperlukan energi terbarukan[1]. Energi terbarukan sebagai energi yang tersedia dan ramah lingkungan, seperti energi matahari atau surya. Energi surya memiliki ketersediaan yang melimpah, bebas polusi sehingga layak untuk mengatasi kebutuhan tersebut. Energi surya akan diubah menjadi energi listrik dengan teknologi panel surya atau *photovoltaic* (PV)[2]. Namun teknologi panel surya memiliki tantangan tersendiri dalam mengoptimalkan energinya[3]. Permasalahan pada panel surya adalah pembangkitan listrik yang rendah serta pengaruh kondisi radiasi matahari yang berubah seiring dengan perubahan suhu[4]. Salah satu karakteristik dari panel surya yaitu memiliki titik daya maksimum pada setiap perubahan radiasi dan suhu, titik daya maksimum tersebut dapat di capai dengan mengatur tegangan dan arus keluaran panel surya[5]. Metode pencarian titik daya maksimum ini adalah metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dengan menggunakan konverter dc-dc[6].

Sistem kendali MPPT bekerja melalui konverter untuk mengatur tegangan keluaran panel surya, dengan cara mengatur duty cycle atau lebar pulsa untuk *switch* konverter dengan menggunakan Algoritma MPPT[7]. Dengan adanya MPPT ini sangat berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi daya keluaran dari panel surya, dan memastikan sistem bekerja pada titik daya maksimum[8]. Keuntungan dari metode MPPT adalah dapat mempertahankan sistem kerja pada titik daya maksimal meski terjadi perubahan radiasi atau kondisi lingkungan[9]. Oleh karena itu, penentuan lokasi dari titik daya maksimum adalah proses yang cukup rumit terutama disebabkan perubahan kondisi lingkungan[10].

Diantara sekian banyak metode MPPT yang ada, MPPT dengan algoritma *Perturb and observe* (P&O) merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan karena cukup sederhana[11]. Meskipun banyak digunakan dan sederhana algoritma P&O memiliki kelemahan utama. Ketika pelacakan sekitar titik daya maksimum, titik operasi dipaksa bergerak bolak balik di sekitar titik daya maksimum sehingga menghasilkan osilasi tanpa henti pada daya keluaran, akibatnya efisiensi menurun dan hasil energi berkurang[12]. P&O juga memiliki kecenderungan kehilangan arah pelacakan titik daya maksimum, akibat kesulitan dalam mengatasi perubahan radiasi sehingga titik operasi menyimpang dari titik daya maksimum panel surya[13].

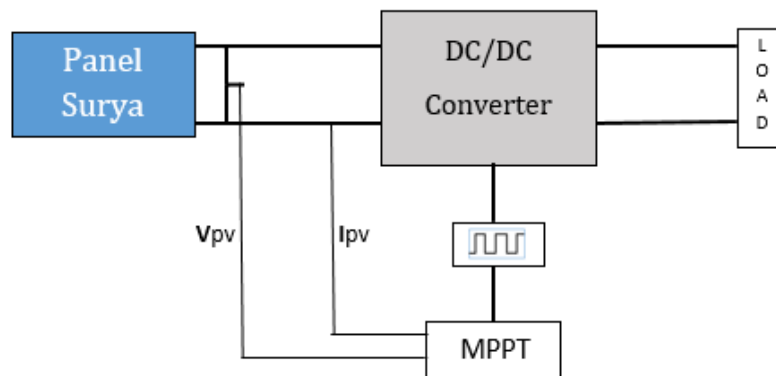
Algoritma P&O bekerja dengan meningkatkan atau menurunkan tegangan panel surya dengan bantuan konverter secara terus menerus sesuai dengan perbandingan daya hingga mencapai *Maximum Power Point*[14]. Berdasarkan kekurangan dari algoritma P&O konvensional tersebut, maka diperlukan modifikasi dari algoritma P&O dengan tujuan untuk mengurangi osilasi pada saat mencapai titik daya maksimum[15]. Modifikasi dari algoritma P&O ini juga bertujuan agar sistem MPPT ini dapat lebih cepat dalam menentukan arah pelacakan titik daya maksimum dan mengatasi perubahan radiasi yang cepat agar tidak menyimpang dari titik daya maksimum-nya[16]. Modifikasi P&O akan meningkatkan kecepatan pelacakan titik daya maksimum serta osilasi dalam keadaan tunak juga lebih kecil, sehingga efisiensi pelacakan dari P&O modifikasi lebih maksimal[17].

Oleh karena itu, Penelitian ini dilakukan Perencanaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan *Metode Perturb and Observe* (P&O) pada Panel Surya. lalu melakukan perbandingan dengan algoritma P&O yang telah dimodifikasi untuk melihat kerja dari algoritma P&O serta mengetahui kinerja dan efisiensi dari pengaruh algoritma MPPT P&O dalam PLTS.

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk simulasi dari penerapan sistem kendali MPPT untuk panel surya 100 WP. Pengujian kinerja dari algoritma akan diperhatikan dengan mengatur kondisi radiasi yang berubah dan kondisi suhu tetap, dengan memperhatikan sinyal keluaran daya panel surya. Pengujian sistem MPPT yang dibuat ini dengan melakukan simulasi membandingkan algoritma P&O konvensional dengan algoritma P&O modifikasi pada software Matlab.

Gambar 1 menunjukkan blok diagram dari rancang bangun sistem MPPT dalam penelitian ini. Rancang bangun sistem MPPT dalam penelitian memakai panel surya 100 WP, konverter boost untuk mengatur tegangan output panel surya, terdapat juga kendali untuk algoritma MPPT.

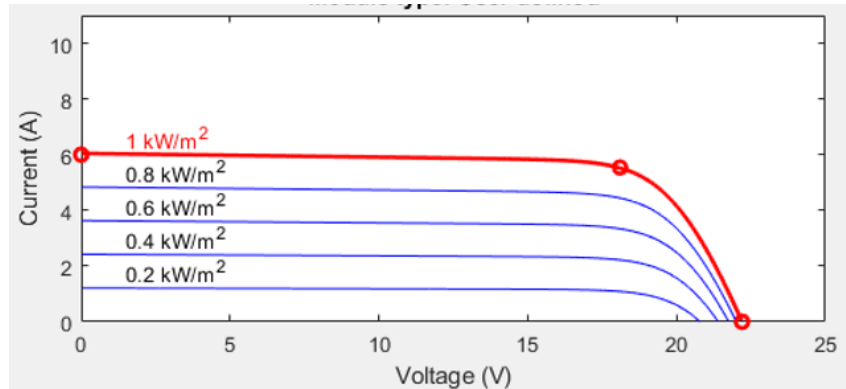


Gambar 1. Blok diagram sistem MPPT

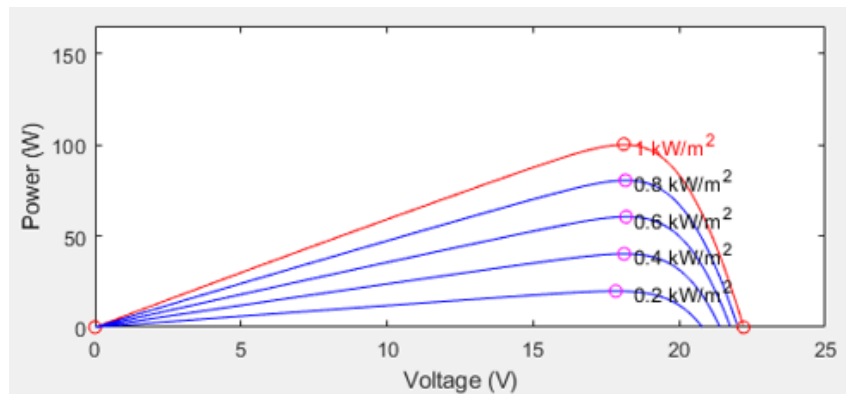
Dari gambar 1 tersebut, panel surya atau *photovoltaic* sebagai masukan dari dc/dc konverter memiliki parameter pada tabel 1. Jenis dc/dc konverter yang digunakan dalam simulasi ini adalah *boost* konverter. Tegangan dan arus keluaran dari *photovoltaic* akan di baca oleh sensor untuk menghitung daya keluaran *photovoltaic*, yang selanjutnya akan diproses oleh sistem MPPT. Sistem kendali MPPT akan bekerja sesuai dengan algoritma *perturb and observe* (P&O) yang diterapkan. Driver yang terhubung dari sistem kendali MPPT ke *boost* konverter berguna untuk membantu dalam pengontrolan *duty cycle* dari algoritma MPPT. *Load* atau beban yang terhubung dengan keluaran *boost* konverter pada penelitian ini menggunakan resistor.

Tabel 1. Parameter panel surya	
Deskripsi	MSP-100W
Maximum Power	100 W
Voltage Pmax	18.1 V
Current at Pmax	5.54 A
Open circuit voltage	22.2 V
Short circuit voltage	6.00 A

Dari parameter panel surya tersebut, maka di dapatkan hasil simulasi untuk mendapatkan karakteristik dari panel surya. Simulasi dilakukan dengan mengatur radiasi dengan nilai berbeda namun dengan suhu tetap. Dari gambar 2 dan 3 didapatkan bahwa pengaruh dari perubahan radiasi sangat berpengaruh terhadap arus keluaran dari panel surya.



Gambar 2 karakteristik IV radiasi berbeda



Gambar 3. Karakteristik PV radiasi berbeda

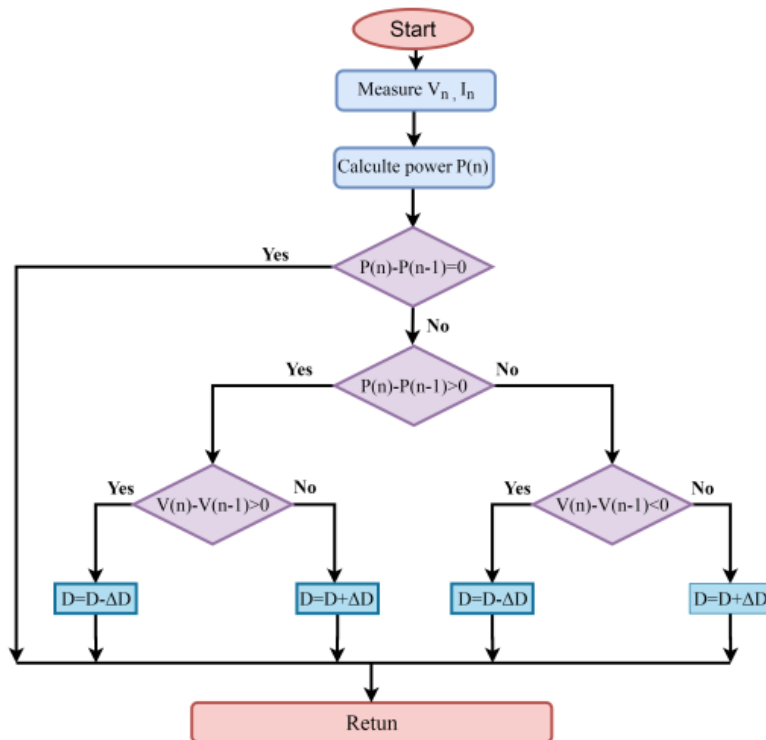
Boost konverter sebagai rangkaian daya dari penelitian ini berfungsi untuk menaikkan tegangan. Masukan dan keluaran dari *boost* konverter ini dipengaruhi oleh siklus kerja atau *duty cycle*. Pengaturan tegangan ini diperlukan agar algoritma MPPT dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan parameter dari panel surya di dapatkan perencanaan parameter dari *boost* konverter, dengan tegangan input 15-23 V dan tegangan keluaran 48 V. Setelah di lakukan perhitungan di dapatkan nilai komponen dari *boost* konverter yang ada pada tabel 2.

Tabel 2. Komponen *boost* konverter

Nama	Nilai
L	3.5 mH
C	47 μ F
R	25 ohm
F	62.000 Hz

Aalgoritma MPPT yang akan di gunakan dalam penelelitian ini adalah algoritma *perturb and observe* (P&O) dalam mencari titik daya maksimum. Algoritma MPPT P&O ini menggunakan sedikit parameter dan struktur umpan balik sederhana. MPPT ini bekerja dengan menambahkan dan mengurangi siklus kerja atau PWM secara *periodic*.

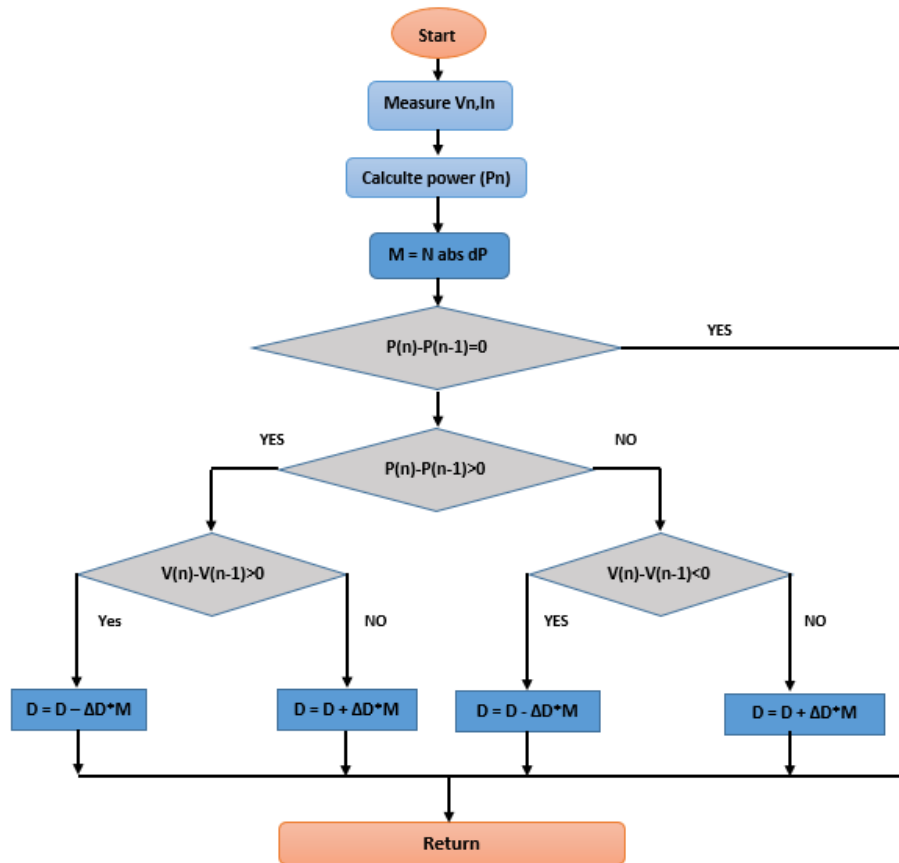
Algoritma ini bekerja dengan mengganggu (*perturb*) tegangan panel surya dan mengamati (*observe*) perubahan daya. Gambar 4 merupakan flowchart MPPT P&O konvensional.



Gambar 4. Flowchart *Perturb and Oserve* (P&O)

P&O ini bekerja di awali dengan mengukur tegangan dan arus dari panel surya lalu menghitung daya. Jika terjadi perubahan daya maka akan dilakukan gangguan (*perturbasi*) pada tegangan panel surya. Selanjutnya akan dilakukan pengukuran kembali tegangan baru dan arus baru dari panel surya dan membandingkan nilai daya baru dengan daya panel surya sebelumnya. Jika daya baru dikurangi daya sebelumnya besar dari nol maka akan dilakukan *perturbasi* karna telah melewati titik daya maksimum nya, begitupun juga kalau daya baru dikurangi daya sebelumnya kecil dari nol maka akan dilakukan *perturbasi* karna kurang dari titik daya maksimumnya. Perbaruan nilai tegangan dan arus serta *pertubasi* terus dilakukan untuk mencapai titik maksimum nya seiring dengan perubahan radiasi.

Karena adanya kelemahan dari algoritma P&O konvensional dalam mengatasi osilasi, overshoot, kesulitan mencari titik daya maksimum akibat perubahan radiasi yang cepat sehingga efisiensi tidak akan maksimal. Selain itu P&O konvensional juga kesulitan mempertahankan kestabilan sistem. Oleh karena itu dilakukan modifikasi dari algoritma P&O ini untuk mengatasi dan mengurangi kelemahan tersebut dan efisiensi menjadi lebih baik.



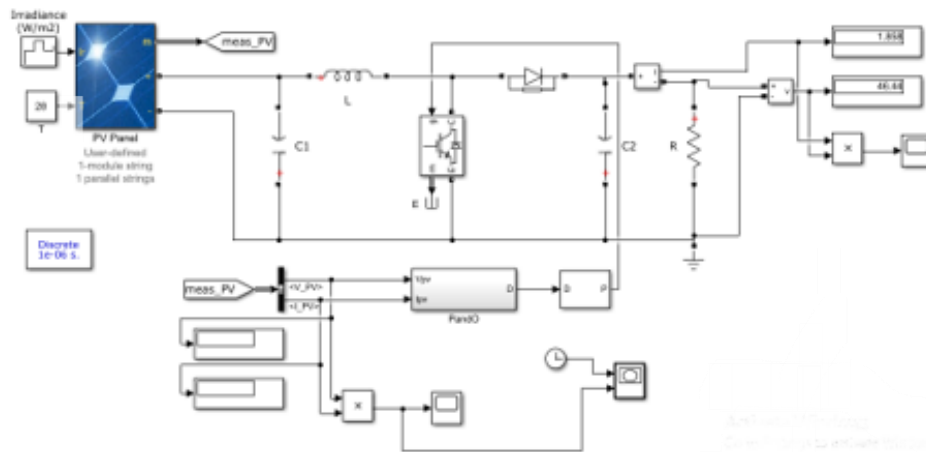
Gambar 5. flowchart *perturb and observe (P&O)* modifikasi

Algoritma *perturb and observe* (P&O) modifikasi ini tidak terlalu berbeda dari P&O konvensional. Dalam algoritma P&O modifikasi ini menggunakan konsep variabel step size (VSS), saat melakukan pencarian titik daya maksimum yang dipengaruhi perubahan daya. Nilai N merupakan faktor skalar untuk pengaruh perubahan duty cycle dari modifikasi variabel step (M) algoritma, yang bertujuan menyesuaikan seberapa besar perubahan pada *duty cycle* berdasarkan perubahan daya.

Pengujian algoritma P&O konvensional dan P&O modifikasi ini akan melihat bagaimana perbandingan kinerja berdasarkan kondisi sinyal keluaran daya dari panel surya. Dengan memperhatikan pengaruh perubahan radiasi terhadap waktu konvergen, kecepatan pelacakan algoritma, efisiensi dari daya keluaran panel surya serta bagaimana osilasi dan overshoot dari daya keluaran panel surya.

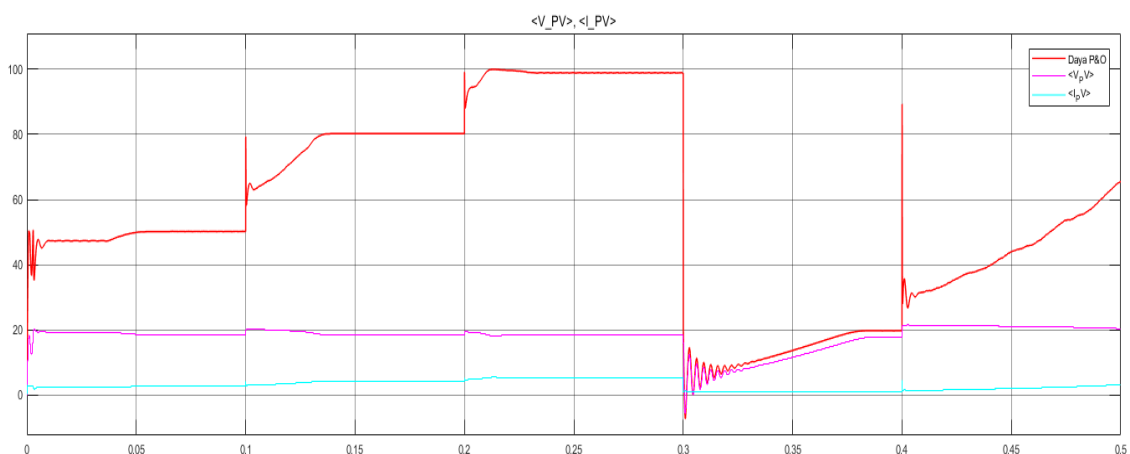
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian algoritma MPPT P&O konvensional dan P&O modifikasi ini diuji dengan menggunakan sistem panel surya dan diimplementasikan dengan aplikasi MATLAB/Simulink. Dari simulasi ini akan diamati kemampuan sistem dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan radiasi, serta kinerja dari algoritma mengatasi masalah dalam parameter osilasi, overshoot, kecepatan konvergensi serta efisiensi. Pengujian dilakukan dalam kondisi suhu tetap, pada radiasi yang berbeda akan ditentukan apakah algoritma dapat mencapai titik maksimum dengan efektif. Setiap perubahan radiasi akan mengakibatkan perubahan nilai daya keluaran panel surya.



Gambar 6. Rangkaian simulasi sistem MPPT

Gambar 6 merupakan rangkaian simulasi dari sistem MPPT menggunakan MATLAB/Simulink. Konverter boost yang akan dikendalikan dengan algoritma MPPT akan dihubungkan dalam sistem panel surya sebagai antarmuka ke beban dari modul panel surya ke beban sebagai pengoperasian sistem pada MPP sepanjang perubahan radiasi yang ditentukan.



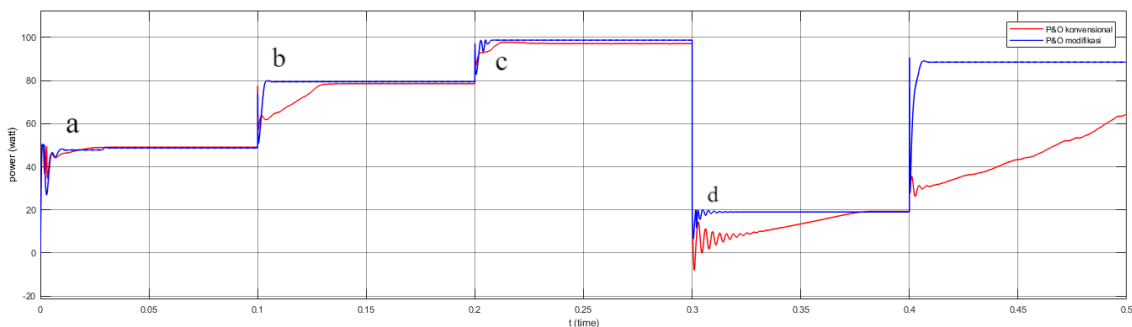
Gambar 7. Kinerja algoritma P&O, daya (merah), tegangan (ungu), arus (biru)

Gambar 7 menunjukkan hasil dari kinerja MPPT algoritma *perturb and observe* daya, tegangan dan arus keluaran dari panel surya. Proses simulasi dilakukan dengan mengatur kondisi radiasi yang bervariasi tapi dalam suhu tetap. Pola radiasi dibuat agar melihat bagaimana pengaruhnya terhadap sistem MPPT. Saat awal terlihat ada osilasi yang cukup besar pada daya keluaran panel surya, namun osilasi mulai berkurang ketika sistem algoritma mulai berjalan. Ketika radiasi mulai berubah menjadi lebih tinggi terlihat algoritma P&O mengalami kesulitan mencapai titik daya maksimumnya serta memakan waktu cukup lama, dan ketika radiasi mencapai puncak algoritma P&O bisa lebih cepat mencapai titik daya maksimumnya. Ketika terjadi perubahan radiasi turun secara drastis terlihat overshoot dan juga osilasi pada daya dan tegangan keluaran dari panel surya, terlihat algoritma membutuhkan waktu lama untuk mencapai titik daya maksimum. Osilasi ini muncul dikarenakan adanya perubahan radiasi atau cahaya matahari serta bayangan yang menghalangi cahaya ke matahari, osilasi ini bisa mengakibatkan terjadinya gangguan pada kestabilan sistem dan fluktuasi daya keluaran panel surya. Selanjutnya

ketika terjadi perubahan radasi naik secara drastis sistem P&O kesulitan mencari titik daya maksimum.

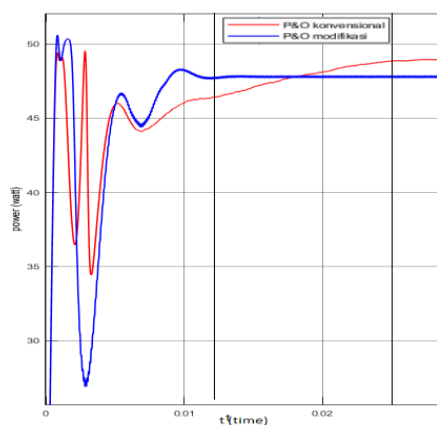
Dari simulasi terlihat kekurangan dari algoritma P&O ini kesulitan dalam mencapai titik daya maksimum karena perubahan kondisi lingkungan serta perubahan radiasi, terutama ketika terjadi perubahan radiasi secara drastis dari tinggi ke rendah atau sebaliknya yang menyebabkan kestabilan sistem terganggu.

Dikarenakan adanya kekurangan dari algoritma P&O konvensional maka dilakukan modifikasi, modifikasi algoritma P&O ini akan melihat bagaimana kinerja nya dalam mengatasi kekurangan dari P&O konvensional dalam mencari titik daya maksimum. Perbandingan algoritma P&O konvensional dan P&O modifikasi ini akan melihat pergerakan gelombang daya dalam radiasi yang sama dan suhu tetap.

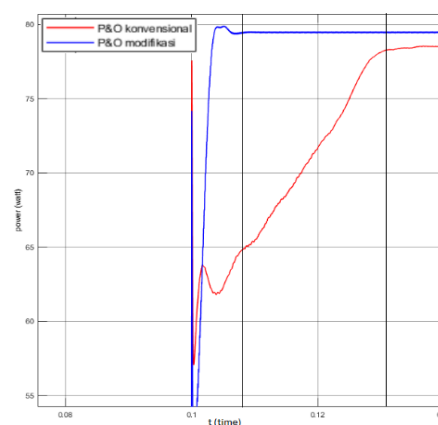


Gambar 8. P&O konvensional (merah), P&O modifikasi (biru)

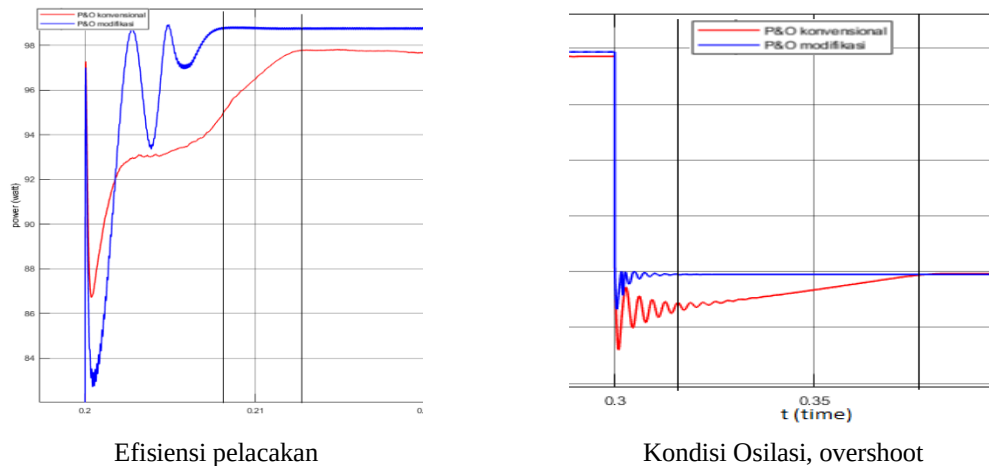
Gambar 8 menunjukkan daya keluaran dari panel surya berdasarkan algoritma MPPT P&O konvensional dan P&O modifikasi. Pada gambar terlihat jelas bagaimana kinerja dari kedua algoritma tidak terlalu berbeda. Namun kelebihan dari P&O modifikasi terlihat jelas dalam kecepatan mencapai titik daya maksimum ketika terjadi perubahan radiasi baik secara perlahan maupun secara drastis. Pada awal terlihat kedua gelombang sama-sama memiliki osilasi, namun P&O modifikasi lebih cepat dalam mencapai titik daya maksimum nya. Ketika terjadi kenaikan radiasi P&O modifikasi memiliki osilasi yang lebih kecil, begitupun ketika radiasi turun secara drastis. Meskipun tetap terjadi overshoot ketika radiasi turun, overshoot P&O modifikasi ini tidak sebesar P&O konvensional. Terlihat P&O modifikasi dapat mempertahankan kestabilan sistem dan fluktuasi panel surya tetap terjaga setelah terjadi perubahan radasi secara drastis.



Konvergen



Kecepatan pelacakan



Efisiensi pelacakan

Kondisi Osilasi, overshoot

Gambar 9. Kinerja P&O konvensional vs P&O modifikasi

Dari gambar 9 terlihat jelas bagaimana keunggulan dari algoritma P&O modifikasi dibandingkan konvensional, modifikasi algoritma P&O menunjukkan keunggulan dalam peningkatan waktu osilasi, overshoot serta konvergensi secara signifikan. Dari gambar tersebut terlihat bagaimana perubahan radiasi yang menyebabkan terjadi nya osilasi, namun pada saat radiasi meningkat P&O modifikasi memiliki waktu osilasi yang lebih kecil. Dalam pelacakan titik daya maksimum P&O modifikasi dapat lebih cepat dalam mencari titik daya maksimum serta lebih stabil. Ketika terjadi penurunan radiasi secara cepat, menyebabkan terjadi nya overshoot. P&O modifikasi memiliki waktu overshoot yang lebih kecil dari P&O konvensional, serta lebih baik untuk kembali mencari titik daya maksimum. Efisiensi dari P&O modifikasi ini lebih baik karna dapat mencapai titik daya maksimum yang lebih tinggi dari P&O konvensional terutama ketika radiasi maksimal efisiensi P&O modifikasi mencapai sekitar 99% sedangkan P&O konvensional sekitar 97%.

Berdasarkan data yang telah didapat terlihat jelas bagaimana keunggulan dari algoritma P&O modifikasi dengan konsep variabel step size ini unggul dari algoritma P&O konvensional. Dari pergerakan sinyal keluaran daya panel surya atau *photovoltaic*. Serta dalam kondisi perubahan radiasi yang naik serta turun dan dalam kondisi suhu tetap.

KESIMPULAN

Kinerja algoritma P&O yang digunakan dalam penelitian ini diuji dalam skenario yang sama. Kondisi yang diterapkan adalah radiasi bervariasi sementara suhu konstan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja dari algoritma P&O modifikasi menurut konsep VSS mengungguli algoritma P&O konvensional secara signifikan. Dalam hal konvergen, osilasi serta efisiensi. Dari penerapan algoritma P&O ini perbedaan mendasar dalam kondisi ini dilihat dari daya *output* panel surya yang mana ketika terjadi kondisi perubahan dari radiasi. Dalam hasil pengujian juga terlihat kelemahan algoritma P&O karena adanya overshoot pada sinyal keluaran daya panel surya ketika terjadi penurunan radiasi. Algoritma P&O yang dirancang tidak terlalu rumit, sehingga dapat diimplementasikan pada sistem PLTS. Kinerja dari algoritma ini dapat diselidiki lebih jauh dengan menggunakan konverter alternatif lainnya serta dengan melakukan pengujian dalam kondisi radiasi dan suhu yang berbeda.

REFERENSI

- [1] D. O. Kurniawati and A. Octora Pristisahida, "POTENSI DAYA PEMBANGKIT LISTRIK BIOGAS DI KAMPUNG TERNAK 'SIDO REJO' SULANG KIDUL, PATALAN, JETIS, BANTUL, YOGYAKARTA".
- [2] J. Teknik Elektro, F. Yuniar, U. Brawijaya Rini Nur Hasanah, U. Brawijaya Onny Setyawati, and U. Brawijaya, "PENGENDALIAN MPPT BERBASIS METODE P&O MENGGUNAKAN BOOST CONVERTER."
- [3] A. Asnil, K. Krimadinata, E. Astrid, and I. Husnaini, "Enhanced Incremental Conductance Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic System in Variable Conditions," *Journal Europeen des Systemes Automatises*, vol. 57, no. 1, pp. 33–43, Feb. 2024, doi: 10.18280/jesa.570104.
- [4] D. Khodair *et al.*, "Modeling and Simulation of Modified MPPT Techniques under Varying Operating Climatic Conditions," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16010549.
- [5] J. Ahmed and Z. Salam, "An Enhanced Adaptive P&O MPPT for Fast and Efficient Tracking Under Varying Environmental Conditions," *IEEE Trans Sustain Energy*, vol. 9, no. 3, pp. 1487–1496, Jul. 2018, doi: 10.1109/TSTE.2018.2791968.
- [6] M. Ula, A. Rahmadani, and P. Elektronika Negeri Surabaya, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya dengan Metode Incremental Conductance Menggunakan Zeta Konverter."
- [7] A. Lindo and M. Yuhendri, "Sistem Kendali Daya Maksimum Panel Surya Berbasis Fuzzy Logic Controller," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 102–110, Jan. 2022, doi: 10.24036/jtein.v3i1.207.
- [8] M. Moutchou and A. Jbari, "Fast photovoltaic IncCond-MPPT and backstepping control, using DC-DC boost converter," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 1101–1112, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp1101-1112.
- [9] A. Ali *et al.*, "Investigation of MPPT Techniques under Uniform and Non-Uniform Solar Irradiation Condition-A Retrospection," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 127368–127392, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007710.
- [10] M. Bouksaim, M. Mekhfioui, and M. N. Srfi, "Design and implementation of modified inc, conventional inc, and fuzzy logic controllers applied to a pv system under variable weather conditions," *Designs (Basel)*, vol. 5, no. 4, Dec. 2021, doi: 10.3390/designs5040071.
- [11] Iw. Christopher, "Comparative Study of P&O and InC MPPT Algorithms," *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 02, pp. 402–408, 2013, [Online]. Available: www.ajer.org
- [12] S. Mohammed Sulthan, E. P. Sarika, J. Jacob, S. Mohammed, and S. Paul, "A Novel Hybrid Maximum Power Point Tracking Technique with Zero Oscillation Based on P&O Algorithm," 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/348049341>
- [13] A. Belkaid, I. Colak, and K. Kayisli, "Implementation of a modified P&O-MPPT algorithm adapted for varying solar radiation conditions," *Electrical Engineering*, vol. 99, no. 3, pp. 839–846, Sep. 2017, doi: 10.1007/s00202-016-0457-3.
- [14] B. A. Numan, A. M. Shakir, and A. L. Mahmood, "Photovoltaic array maximum power point tracking via modified perturbation and observation algorithm," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 2007–2018, Dec. 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i4.pp2007-2018.

- [15] A. Fauzi and M. Facta, “PERENCANAAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) DENGAN METODE PERTURB AND OBSERVE PADA PANEL SURYA.”
- [16] A. El Filali and M. Zazi, “Arduino implementation of MPPT with P and O algorithm in photovoltaic systems,” *International Journal of Engineering and Applied Physics (IJEAP)*, vol. 1, no. 1, pp. 9–17, 2021, [Online]. Available: <https://ijeap.org/>
- [17] K. Saidi, M. Maamoun, and M. Bounekhla, “A new high performance variable step size perturb-and-observe MPPT algorithm for photovoltaic system,” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 1662–1674, Sep. 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i3.pp1662-1674.

Halaman ini sengaja dikosongkan