

OPTIMALISASI DESAIN PLTS ATAP OFFGRID MENGUNAKAN MPPT MODIFIKASI P&O PADA GEDUNG PT. HYDRATECH SMART INDONESIA

Muhammad Yasim Akbar, Ridha Yasser

Prodi Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Universitas IT PLN, Indonesia

* Email untuk Korespondensi: argal391@gmail.com, ridhayasser@gmail.com

ABSTRAK

Kata kunci:

PV atap, Maximum Power Point Tracking, Perturb and Observe, Step Size, Variabel Step Size

Keywords:

Rooftop PV, Maximum Power Point Tracking, Perturb and Observe, Step Size, Variable Step Size

PT. Hydratech Smart Indonesia merupakan sebuah perusahaan yang telah menerapkan teknologi solar PV rooftop untuk memenuhi kebutuhan daya listrik di sektor komersial perkantoran dalam skala kecil. Pemakaian PLTS Atap ini dilakukan guna mengurangi beban dari PLN serta untuk mengetahui berapa keuntungan dari sisi efisiensi daya yang telah dihasilkan dalam penggunaan PLTS atap tersebut. Tujuan penelitian ini adalah mengatasi kelemahan yang ada pada algoritme P&O konvensional yang telah diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur yang melibatkan referensi dari buku dan jurnal untuk menyusun rencana penelitian secara komprehensif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritme P&O konvensional, MPPT mampu mencapai efisiensi sebesar 81,19% dan algoritme P&O modifikasi sebesar 89,06%. Dengan menggunakan MPPT P&O juga, baik konvensional dan modifikasi mampu merespon perubahan iradiasi matahari, baik itu dari iradiasi tinggi ke rendah dan sebaliknya dimana waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi steady-state yang baru adalah $\pm 0,01$ detik. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa efisiensi daya dari rangkaian P&O yang dimodifikasi menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan P&O konvensional, dengan persentase rata-rata efisiensi mencapai 81,27% untuk algoritme konvensional dan mencapai 92,02% untuk algoritme modifikasi.

PT. Hydratech Smart Indonesia is a company that has implemented rooftop solar PV technology to meet the needs of electrical power in the commercial office sector on a small scale. The use of Rooftop Solar Power is carried out to reduce the burden on PLN and to find out how much profit in terms of power efficiency has been produced in the use of the Rooftop Solar Power Plant. The purpose of this study is to overcome the weaknesses that exist in conventional P&O algorithms that have been applied to Solar Power Plants (PLTS). The research method used in this study is a literature study that involves references from books and journals to prepare a comprehensive research plan. The results show that by using the conventional P&O algorithm, MPPT is able to achieve an efficiency of 81.19% and a modified P&O algorithm of 89.06%. Using MPPT P&O as well, both conventional and modified are able to respond to changes in solar irradiation, both from high to low irradiation and vice versa where the time it takes to achieve a new steady-state state is ± 0.01 seconds. The conclusion of the study is that the power efficiency of the modified P&O circuit shows a significant improvement compared to conventional P&O, with an average efficiency percentage of 81.27% for the conventional algorithm and 92.02% for the modified algorithm.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

PENDAHULUAN

Indonesia terletak strategis di dalam zona 'Sabuk Sinar Matahari' yang melintasi antara cakupan 35 derajat utara dan 35 derajat selatan, Indonesia memiliki salah satu tingkat pencahayaan matahari tertinggi di dunia sepanjang tahun. Berbeda dengan kondisi di negara-negara yang berada di utara, seperti negara-negara di Eropa atau Kanada, dimana saat musim dingin mengharuskan warganya untuk bersiap dengan cadangan energi seperti gas, minyak, dan batubara guna memenuhi kebutuhan energi sehari-hari dan pemanasan. Indonesia memiliki keuntungan karena lokasinya yang tropis, yang membuatnya terbebas dari kebutuhan menghadapi musim dingin (David Firnando Silalahi, 2020).

Keberadaan Indonesia dalam zona geografis yang strategis memberikan potensi besar untuk memajukan sektor Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi pilihan berbeda dengan sumber energi konvensional yang mengandalkan produk minyak bumi, yang bersifat finit dan berdampak negatif terhadap lingkungan (Budiarto et al., 2019; Nasrudin et al., 2024). Dalam konteks ini, Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah proaktif dengan mengimplementasikan regulasi yang mewajibkan para stakeholder energi untuk memprioritaskan penggunaan sumber energi baru terbarukan (EBT). Peraturan ini diarahkan untuk mendukung tercapainya tujuan pertimbangan energi baru dan ramah lingkungan dalam bauran energi publik hingga 23% pada tahun 2025, sebagai upaya konkret negara dalam transisi energi dan mitigasi perubahan iklim. (Rencana-Umum-Energi-Nasional-Ruen, n.d., 2017) Mengingat harga listrik PLTS global dan tingkat investasi sama-sama mengalami penurunan seiring berjalannya waktu akibat kemajuan teknologi, maka proyeksi PLTS ini cukup optimis. Dalam konteks Rencana Umum Energi Nasional dan Kebijakan Energi Nasional, Indonesia menargetkan pengembangan kapasitas solar PV hingga 6,5 GW pada 2025, meliputi pembangkit skala besar, sistem rumah tangga, dan solar rooftop, sebagai langkah strategis mengurangi dependensi terhadap bahan bakar fosil.

Penerapan teknologi sel surya fotovoltaik (atau PV) pada PV atap atau sistem pembangkit listrik tenaga surya atap, telah diterapkan oleh PT. Hydratech Smart Indonesia untuk memenuhi kebutuhan daya listrik di sektor komersial perkantoran. PT. Hydratech Smart Indonesia merupakan salah satu pelaku bisnis yang bergerak di bidang *smart home system* dan pemasangan sistem GPS pada kendaraan dengan luas bangunan 23 x 7 meter dan tinggi bangunan 13 meter serta masih menggunakan daya dari listrik PLN sebesar 3500 VA. Hampir seluruh perangkat elektronik yang terpasang menggunakan *smart system* untuk memudahkan pekerjaan di ruang lingkup PT. Hydratech Smart Indonesia dan juga sebagai portofolio untuk kebutuhan komersial skala kecil pemasangan PLTS atap. Pemakaian PLTS atap ini dilakukan guna mengurangi beban dari PLN serta mengetahui berapa keuntungan dari efisiensi yang telah di terapkan dalam penggunaan PLTS atap tersebut.

Sistem PLTS sering memiliki efisiensi yang rendah karena ketergantungannya pada radiasi matahari yang dapat dipengaruhi oleh kondisi cuaca (Kandi & Winduono, 2012; Parti et al., 2020). Kondisi ini sulit diukur secara akurat karena sifat intermitten-sya yang tidak dapat diprediksi (Tamura et al., 2001). Kapasitas produksi energi dalam sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, yang mengalami fluktuasi alami sepanjang hari (Tambunan, 2020). Variabilitas ini merupakan faktor kunci yang berdampak pada efisiensi konversi energi surya menjadi listrik. Fluktuasi tajam dalam radiasi matahari dapat mengganggu proses pengambilan daya yang dilakukan oleh panel fotovoltaik (PV), yang mempengaruhi konsistensi output energinya.

Beberapa strategi untuk meningkatkan proses ekstraksi daya dari panel fotovoltaik (PV). Berdasarkan penelitian sebelumnya, sebuah pendekatan yang diusulkan untuk meningkatkan daya keluaran adalah dengan menerapkan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) merupakan suatu inovasi yang dimaksudkan untuk menyederhanakan penyajian kerangka fotovoltaik dengan secara progresif mengikuti titik daya paling maksimal (MPP) dalam keadaan cahaya matahari yang berfluktuasi. Dengan menggunakan MPPT, sistem dapat menyesuaikan operasinya untuk memastikan bahwa daya yang dihasilkan oleh pengisi daya berbasis sinar matahari mendapatkan daya paling maksimal kapan saja, meskipun intensitas cahaya matahari berubah-ubah. Hal ini membantu meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan mengoptimalkan output daya dari sistem fotovoltaik.

Pengembangan algoritme MPPT untuk sistem PLTS telah menghasilkan berbagai pendekatan yang berbeda dalam hal konsep, kompleksitas, harga, dan performa (Harahap & Siahaan, 2023; Mustofa, 2018). Tujuan dari beragam pendekatan ini termasuk meningkatkan akurasi pelacakan dan respons yang cepat terhadap titik daya maksimum (MPP), yang dipengaruhi oleh perubahan radiasi matahari. *Perturb* dan *Observe* (P&O) adalah dua algoritma yang dapat digunakan selain dari Fuzzy Control, Incremental Conductance, serta pendekatan berbasis komputasi seperti *Firefly Algorithm* (Habibi et al., 2020b, 2020a). Selain itu, telah dikembangkan juga berbagai modifikasi dari algoritme-algoritme tersebut. Dari berbagai algoritme MPPT yang tersedia, Karena kemudahan penggunaan dan biaya yang lebih rendah, algoritme dari *Perturb and*

Observe (P&O) sering dipilih. Algoritme ini beroperasi dengan mengganggu tegangan atau arus sistem secara berkala, sambil mengamati bagaimana perubahan tersebut mempengaruhi daya yang dihasilkan. (Mamatha, 2015) Namun kelemahan algoritma ini terlihat ketika titik kerja gagal mencapai atau melewati titik MPP dalam kondisi *steady state* dan ketika perubahan radiasi menyebabkan respon pelacakan menjadi kurang tepat.

Penelitian ini menitikberatkan pada modifikasi variabel *duty cycle* MPPT dalam algoritme perturbasi dan observasi (P&O) yang diproyeksikan melalui simulasi dengan memanfaatkan sistem Power Simulator (PSIM). Tujuannya adalah mengatasi kelemahan yang ada pada algoritme P&O konvensional yang telah diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Jika algoritme P&O konvensional memiliki nilai gangguan yang diberikan kepada *duty cycle* bernilai konstan, maka pada algoritme modifikasi P&O nilai gangguannya akan berubah dikarenakan ada sebuah faktor pengali yang nilainya melebihi 0 dan kurang dari 1. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan PLTS atap dengan menggunakan MPPT modifikasi P&O yang akan dihubungkan dengan beban yang terdapat di PT. Hydratech Smart Indonesia.

Berdasarkan pemahaman terhadap permasalahan yang dijelaskan, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut: pertama, mengukur efisiensi energi yang dihasilkan oleh PLTS dengan desain optimal yang terpasang di PT. Hydratech Smart Indonesia; kedua, membandingkan efisiensi yang dihasilkan oleh MPPT pada PLTS menggunakan algoritme P&O konvensional dan modifikasi; selanjutnya, melakukan uji respons pelacakan titik daya maksimum terhadap variasi intensitas cahaya matahari tanpa penggunaan MPPT dan dengan penggunaan MPPT. Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh MPPT algoritme P&O konvensional dan modifikasi pada PLTS atap yang terpasang di PT. Hydratech Smart Indonesia, serta mendapatkan respon pelacakan titik daya yang optimal terhadap fluktuasi cahaya matahari menggunakan kedua algoritme tersebut. Manfaat dari penelitian ini meliputi pemahaman terhadap peningkatan efisiensi energi dengan desain optimal PLTS atap, peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh MPPT pada sistem PLTS, dan respon pelacakan titik daya optimal terhadap fluktuasi cahaya matahari. Ruang lingkup penelitian ini mencakup desain PLTS dengan MPPT menggunakan perangkat lunak PSIM, sistem kontrol PV khususnya MPPT dengan algoritme P&O konvensional dan modifikasi, serta tidak membahas penggunaan baterai dan desain inverter.

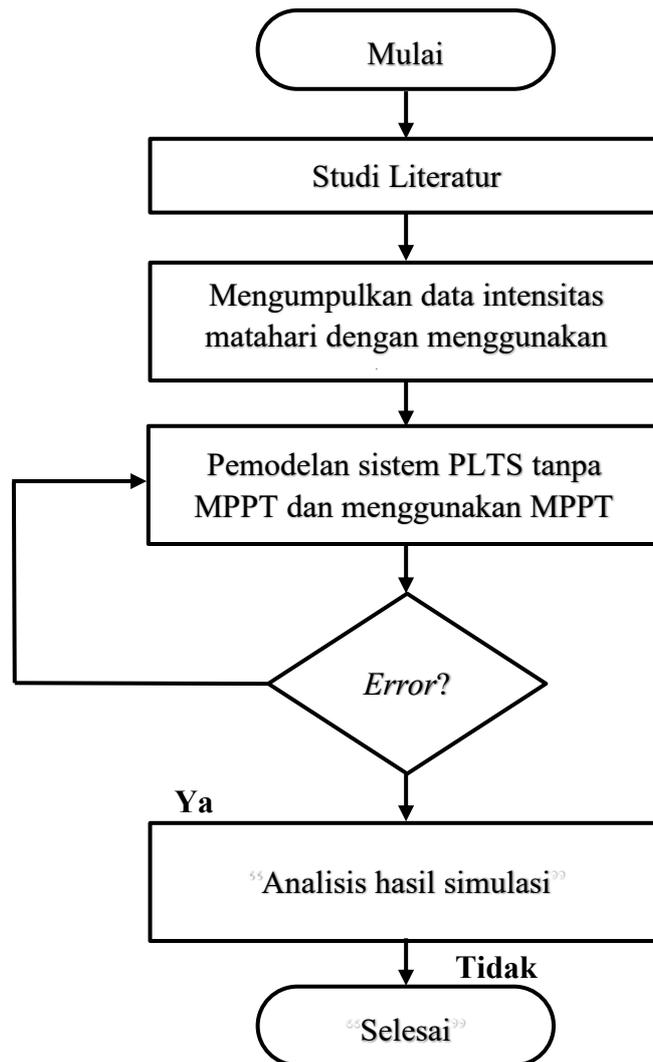
METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian desain PLTS atap di PT. Hydratech Smart Indonesia membandingkan desain sebelumnya dengan desain optimal yang menggunakan MPPT P&O. Perbandingan dilakukan menggunakan perangkat lunak PSIM dengan data intensitas matahari dari Januari hingga Desember 2023.

Desain Penelitian

Diagram alir yang menggambarkan tahapan penelitian digunakan untuk membuat desain penelitian. Alur proses penelitian dapat diilustrasikan seperti gambar 3.1 berikut.



Gambar 1 Diagram Alir Jalannya Penelitian

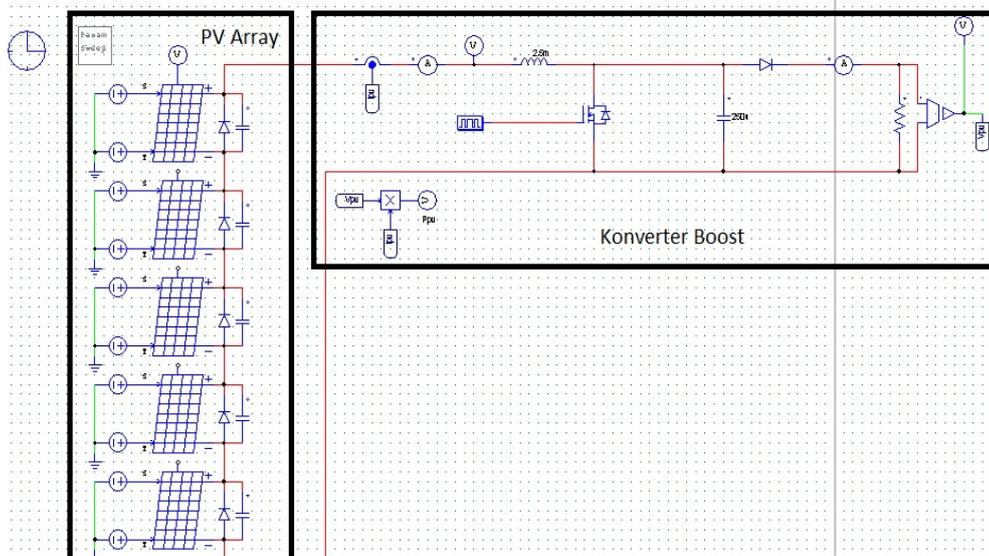
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan utama. Langkah awal adalah studi literatur yang melibatkan referensi dari buku dan jurnal untuk menyusun rencana penelitian secara komprehensif (Wada et al., 2024; Waruwu, 2023). Data intensitas matahari di lokasi PT. Hydratech Smart Indonesia diperoleh menggunakan fitur meteorologi dalam perangkat lunak PVsyst. Informasi ini digunakan sebagai input dalam pemodelan sistem photovoltaic (PV) melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Power Simulator (PSIM). Pemodelan sistem PV dilakukan berdasarkan spesifikasi modul PV yang tercantum dalam datasheet, sementara pemodelan konverter boost ditentukan berdasarkan parameter yang telah disesuaikan. Untuk pengendalian Maximum Power Point Tracking (MPPT), algoritme Perturb and Observe (P&O) konvensional dan modifikasi digunakan dengan penyesuaian ukuran langkah yang sesuai. Pengumpulan data primer dilakukan melalui pengukuran daya listrik peralatan kantor dan pemakaian kWh bulanan, sedangkan data intensitas matahari diperoleh dari perangkat lunak PVsyst. Teknik analisis data mencakup pemodelan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tanpa dan dengan MPPT, evaluasi efisiensi daya maksimum, dan analisis respon pelacakan daya maksimum. Penelitian ini dilakukan di PT. Hydratech Smart Indonesia dengan jadwal penelitian yang mencakup tahapan studi literatur, penyusunan proposal, pemodelan sistem, dan penulisan tesis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Desain PV

Setelah menetapkan parameter PV yang mengacu pada data parameter yang terdapat pada PV *monocrystalline tier 1* yang merupakan jenis PV digunakan di atap PT. Hydratech Technology Indonesia, maka dilakukan pemodelan sistem menggunakan PSIM. Sistem PLTS atap terdiri dari apasitas PV berfungsi mengubah energi surya menjadi energi listrik. Kemudian, energi listrik yang dihasilkan telah dalam bentuk *direct current* (dc). Untuk mendapatkan daya keluaran maksimum digunakan *boost converter* yang akan bekerja sama dengan MPPT. Algoritme yang diterapkan pada MPPT untuk mendapatkan MPP adalah *perturb and observe* (P&O).

Setelah selesai dilakukan pemodelan seperti pada Gambar 2, Tahap selanjutnya adalah konfirmasi sistem PLTS atap dengan memperhatikan kualitas daya yang dihasilkan dari perubahan iridiasi matahari. Dengan peningkatan nilai iridiasi, tegangan juga meningkat, menghasilkan peningkatan daya keluaran PLTS. Titik di mana daya keluaran mencapai maksimum terdeteksi pada setiap tingkat iridiasi.



Gambar 2. Pemodelan PLTS Atap PT. Hydratech tanpa menggunakan MPPT

Berdasarkan hasil verifikasi yang ditampilkan pada Gambar 2, Didapatkan informasi bahwa pada setiap perubahan iridiasi matahari, terdapat titik di mana daya keluaran mencapai maksimum. Hal ini sejalan dengan karakteristik fundamental PV sebagaimana yang disampaikan dalam [35][36][37]. Selanjutnya, algoritme MPPT P&O akan melacak titik tersebut untuk memastikan bahwa daya yang dihasilkan oleh PV mencapai maksimum.

Hasil dan Pembahasan Analisis Sistem PLTS Atap

Efisiensi sistem PLTS Atap dengan P&O MPPT Konvensional ditunjukkan melalui hasil simulasi.

Untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan dengan meningkatkan efisiensi dengan setiap perubahan iridiasi, efisiensi daya keluaran PV diuji terhadap perubahan iridiasi matahari. Rentang iridiasi dari 100 hingga 1200 W/ m² diuji untuk menentukan daya output (Pout) pada sistem konvensional saat terjadi perubahan iridiasi. Hasil simulasi, yang direkam menggunakan PSIM, tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1. P&O Konvensional

Iradiasi (W/m ²)	Ppv	Pmpp	Efisiensi (%)
100	264,77	216,08	81,61
200	713,53	581,94	81,56
300	1103,66	899,9	81,54
400	1492,85	1207,43	80,88
500	1850,87	1507,08	81,42
600	2220,31	1806,21	81,35
700	2583,46	2100	81,29
800	2930,71	2380,84	81,24

900	3277,82	2661	81,18
1000	3613,08	2931,14	81,13
1100	3941,55	3195,25	81,06
1200	4259,89	3450,58	81,00

Evaluasi efisiensi sistem PLTS Atap melalui simulasi menggunakan modifikasi MPPT P&O

Hal serupa dilakukan pada pengujian ini, sama-sama bertujuan untuk mendapatkan gambaran perbandingan yang setara dengan pengujian yang sebelumnya. Dengan menggunakan nilai iradiasi yang sama, algoritme ini akan melacak nilai daya output yang diharapkan untuk memperoleh nilai efisiensi daya yang optimal. Tabel 2 menunjukkan nilai yang diperoleh dari hasil simulasi sistem yang dilakukan oleh PSIM.

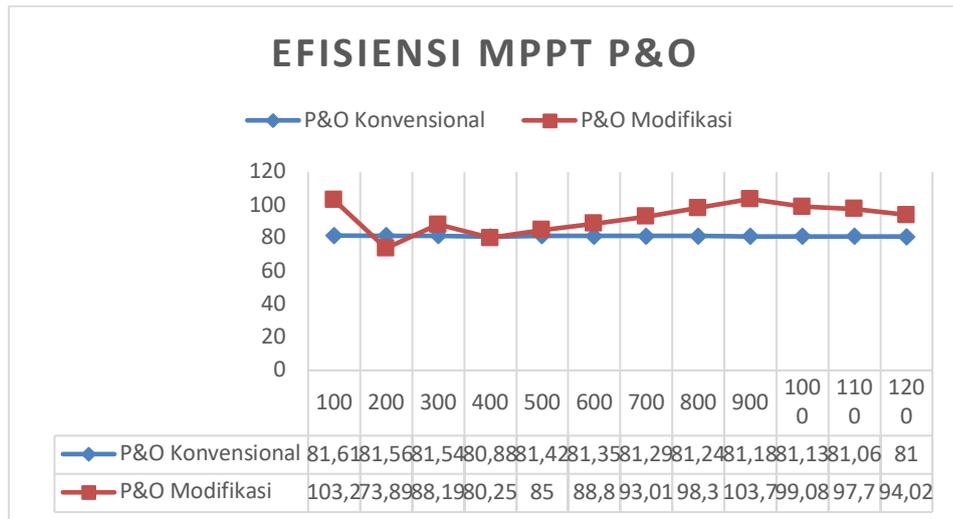
Tabel 2. P&O Modifikasi

Iradiasi (W/m ²)	Ppv (W)	Pmpp (W)	Efisiensi (%)
100	99,85	103,03	103,18
200	555,16	410,23	73,89
300	941,62	830,40	88,19
400	1495,34	1200	80,25
500	1850,87	1573,04	85
600	2220,31	1971,63	88,80
700	2583,46	2403	93,01
800	2930,15	2880,21	98,30
900	3277,82	3398,89	103,69
1000	3618,57	3585,28	99,08
1100	3792,59	3705,32	97,70
1200	4057,30	3814,88	94,02

Berdasarkan hasil kedua perbandingan tersebut dengan menggunakan kondisi dan waktu pengujian yang sama untuk memperoleh nilai daya output sebagai bahan perbandingan dari segi efisiensi yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan menggunakan algoritme modifikasi memiliki efisiensi yang lebih mendekati nilai optimal dibandingkan dengan algoritme konvensional. Tabel 3 dan gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan dari kedua algoritme tersebut.

Tabel 3. Perbandingan Efisiensi MPPT P&O

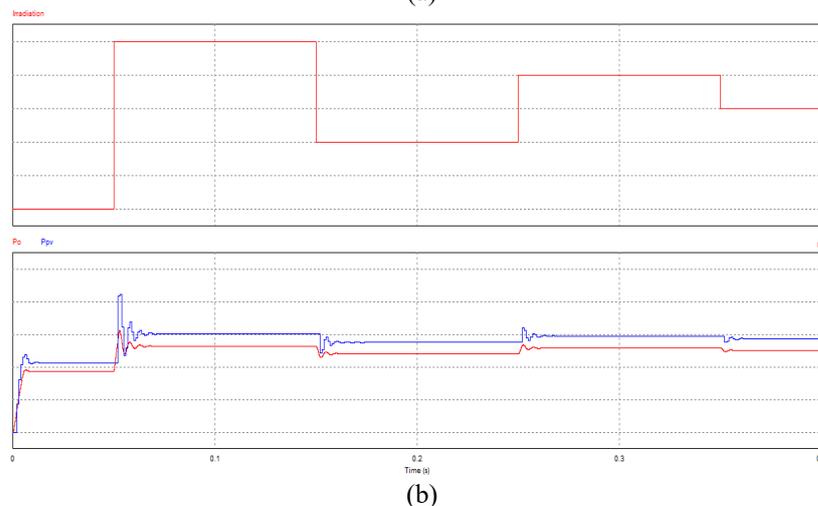
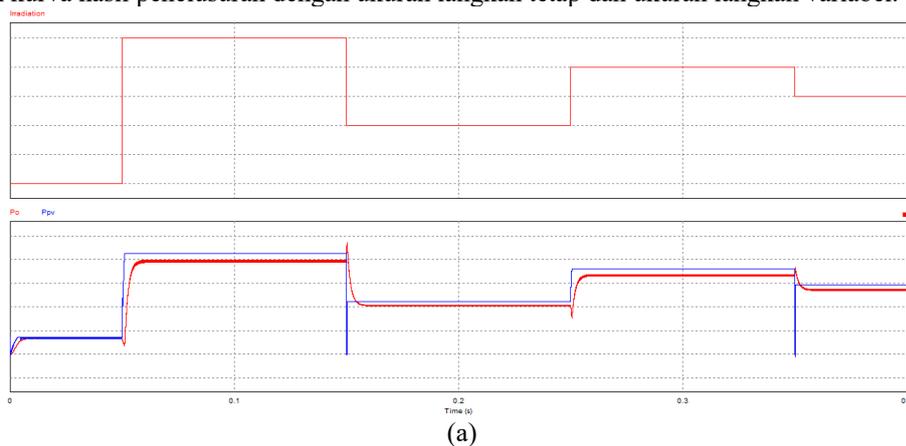
Iradiasi (W/m ²)	Efisiensi (%)	
	P&O Konvensional	P&O Modifikasi
100	81,61	103,18
200	81,56	73,89
300	81,54	88,19
400	80,88	80,25
500	81,42	85
600	81,35	88,80
700	81,29	93,01
800	81,24	98,30
900	81,18	103,69
1000	81,13	99,08
1100	81,06	97,70
1200	81,00	94,02



Gambar 3. Kurva perbandingan efisiensi daya output menggunakan algoritme konvensional dan modifikasi

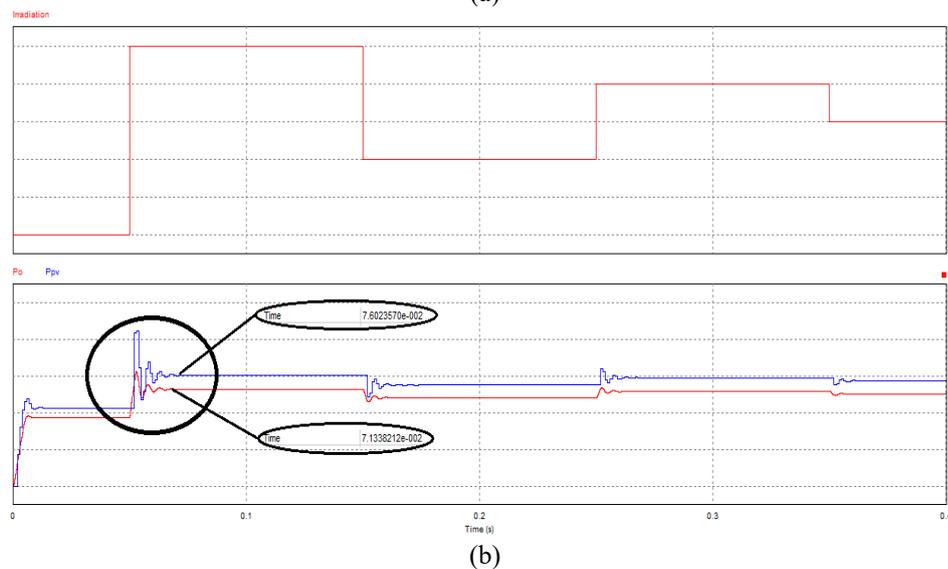
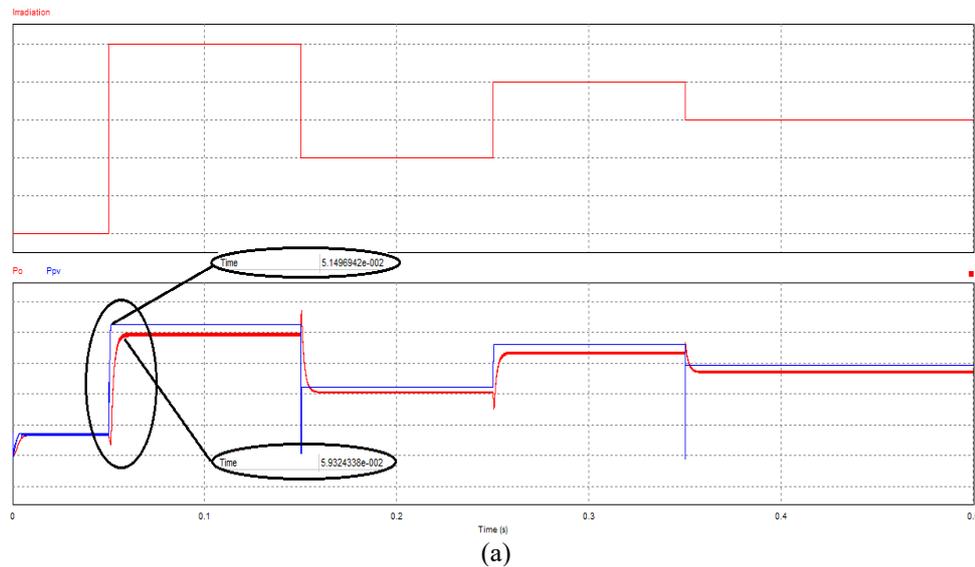
Hasil Simulasi Respon Pelacakan PLTS Atap terhadap Pengaruh Perubahan Iradiasi Matahari

Perubahan radiasi matahari per 0,05 detik menjadi fokus pengujian sistem secara keseluruhan terhadap respon variabel kontrol ukuran langkah dibandingkan dengan ukuran langkah tetap. Waktu tersebut digunakan sebagai asumsi bahwa sistem sudah berada dalam kondisi *steady state*. Gambar 4.6 (a) dan (b) menggambarkan kurva hasil penelusuran dengan ukuran langkah tetap dan ukuran langkah variabel.



Gambar 4. (a) Step size tetap; (b) Variabel step size

Berdasarkan hasil kurva pada Gambar 4. di atas, maka diperoleh hasil Persepsi dari masing-masing kerangka menggunakan ukuran langkah yang tepat yang diterapkan pada perhitungan P&O reguler dan ukuran langkah variabel yang diterapkan pada perhitungan P&O yang diubah. Jika dilihat dari waktu respon terhadap perubahan iradiasi, keduanya memiliki waktu respon yang sama-sama cepat. Artinya kedua metode ini sangat efektif dalam mengejar titik daya maksimum ketika terjadi perubahan iradiasi yang cepat, dalam kasus pengujian ini menggunakan perubahan 0,05 detik baik dalam rentang iradiasi yang kecil ataupun yang cukup besar.



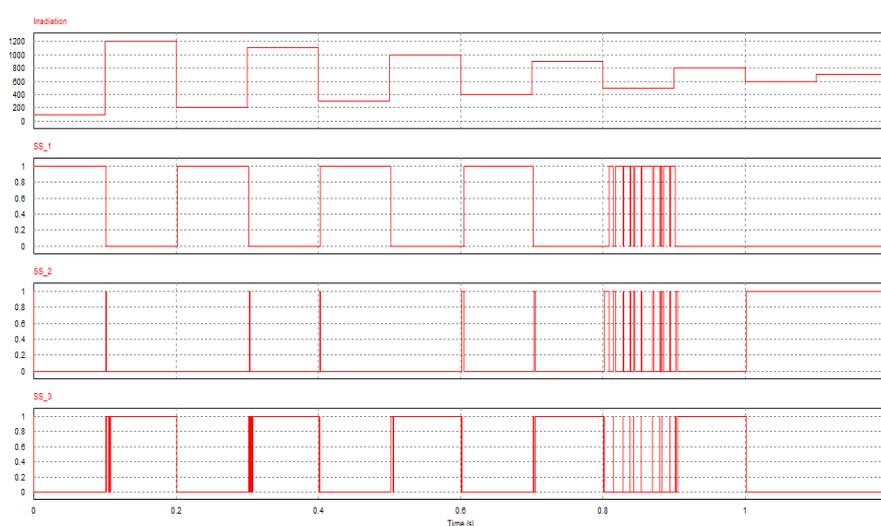
Gambar 5. Respon Pelacakan Waktu

Berdasarkan Gambar 5 yang merupakan perbesaran dari gambar sebelumnya untuk mengetahui waktu respon pelacakan yang dilakukan oleh kedua algoritme. Diambil sampel perubahan iradiasi 200 W/m^2 menjadi 1200 W/m^2 dalam waktu 0,05 detik dan diperoleh waktu pelacakan untuk Gambar 4 (a) membutuhkan 0,0593 detik untuk melacak nilai optimal. Sedangkan untuk Gambar 4 (b) membutuhkan 0,0713 detik untuk melacak nilai optimalnya.

Ditinjau dari pengujian sakelar *step size*, pada algoritme P&O Konvensional menggunakan sakelar tetap yaitu 0,1 sedangkan pada algoritme P&O Modifikasi menggunakan 3 jenis sakelar yang menggambarkan status fungsi setiap langkah kerja berdasarkan perubahan pencahayaan berbasis matahari yang terjadi. Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan kondisi sakelar *step size* pada perubahan iradiasi matahari.

Tabel 4. Hasil pengujian rangkaian P&O modifikasi variabel *step size*

Jarak Perubahan Iradiasi Matahari (W/m ²)	Selisih Arus (dI)	Kondisi Sakelar		
		Step Size 1	Step Size 2	Step Size 3
100 – 1200	7,2	Off	Off	On
1200 – 200	7,179	Off	Off	On
200 – 1100	7,019	Off	Off	On
1100 – 300	6,62	Off	Off	On
300 - 1000	6,51	Off	Off	On
1000 - 400	5,62	Off	Off	On
400 – 900	5,53	Off	Off	On
900 – 500	4,51	Off	On	Off
500 – 800	3,34	Off	On	Off
800 – 600	2,28	On	Off	Off
600 – 700	1,08	On	Off	Off

**Gambar 6. menunjukkan kondisi sakelar *step size* pada perubahan iradiasi matahari**

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini bahwa efisiensi daya dari rangkaian P&O yang dimodifikasi menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan P&O konvensional, dengan persentase rata-rata efisiensi mencapai 81,27% untuk algoritme konvensional dan mencapai 92,02% untuk algoritme modifikasi. Ini mengindikasikan bahwa algoritme P&O modifikasi dapat meningkatkan efisiensi sekitar 11% lebih tinggi daripada yang konvensional. Selain itu, baik rangkaian P&O konvensional maupun modifikasi menunjukkan respons yang serupa dalam melacak Titik Daya Maksimum (MPP) dengan perubahan iradiasi matahari, dengan waktu yang diharapkan untuk mencapai keadaan steady state sekitar 0,01 detik untuk perubahan iradiasi 0,5 detik. Saran untuk penelitian berikutnya mencakup pengembangan sistem PLTS atap atau sistem hybrid untuk meningkatkan efisiensi output daya, serta pengembangan sistem berbasis elektronika daya seperti microinverter untuk koneksi langsung ke sisi beban.

REFERENSI

- Budiarto, R., Widhyarto, D. S., & Sulaiman, M. (2019). *Transisi energi berbasis komunitas di kepulauan dan wilayah terpencil*. Universitas Gadjah Mada.
- David Firnando Silalahi. (2020). *Peluang Besar Energi Surya Sebagai Masa Depan Indonesia*.

- Habibi, M. N., Jati, M. S. W., Windarko, N. A., & Tjahjono, A. (2020a). Maximum Power Point Tracking Menggunakan Algoritma Artificial Neural Network Berbasis Arus Hubung Singkat Panel Surya. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 16(2).
- Habibi, M. N., Jati, M. S. W., Windarko, N. A., & Tjahjono, A. (2020b). *Rekayasa Elektrika*.
- Harahap, R., & Siahaan, S. (2023). Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal Nelayan di Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Belawan. *Buletin Utama Teknik*, 18(3), 245–253.
- Kandi, K., & Winduono, Y. (2012). *Energi dan Perubahannya untuk Guru SMP*.
- Mamatha, G. (2015). Perturb and observe MPPT algorithm implementation for PV applications. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(2), 1884–1887.
- Mustofa, A. (2018). Optimalisasi Perencanaan Dan Manajemen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Pada Perancangan Kapal Tanker 1700 Dwt Berpenggerak Motor Induksi Tiga Fasa. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Nasrudin, D., Setiawan, A., & Rahmat Fadhli, E. M. (2024). *Pendidikan Energi*. Indonesia Emas Group.
- Parti, I. K., Mudiana, I. N., & Rasmini, N. W. (2020). *Sistem Hybrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Tenaga Angin*. *Rencana-umum-energi-nasional-ruen*. (n.d.).
- Tambunan, H. B. (2020). *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Deepublish.
- Tamura, Y., Suda, K., Sasaki, A., Iwatani, Y., Fujii, K., Ishibashi, R., & Hibi, K. (2001). Simultaneous measurements of wind speed profiles at two sites using Doppler sodars. In *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (Vol. 89).
- Wada, F. H., Pertiwi, A., Hasiolan, M. I. S., Lestari, S., Sudipa, I. G. I., Patalatu, J. S., Boari, Y., Ferdinan, F., Puspitaningrum, J., & Ifadah, E. (2024). *Buku Ajar Metodologi Penelitian*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Waruwu, M. (2023). Pendekatan penelitian pendidikan: metode penelitian kualitatif, metode penelitian kuantitatif dan metode penelitian kombinasi (Mixed Method). *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 2896–2910.