

**PENINGKATAN EFISIENSI MPPT MELALUI OPTIMALISASI
ALGORITMA MODIFIKASI P&O (PERTURB & OBSERVE) PADA
PHOTOVOLTAIC**

SEKRIPSI

**Ditujukan Sebagai salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar sarjana
Teknik Elektro Sastra Satu (S-1)**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG 2025**

ABSTRAK

Hana Rifai, 21801053006, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, “PENINGKATAN EFISIENSI MPPT MELALUI OPTIMALISASI ALGORITMA MODIFIKASI P&O (PERTURB & OBSERVE) PADA PHOTOVOLTAIC”, Dosen Pembimbing I: Efendi S Wirateruna, S.T,M.Sc., Dosen Pembimbing II : Ngatmari, S.TMTr.T.

Energi listrik merupakan kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, seiring meningkatnya populasi menyebabkan energi bertambah, solusinya adalah pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan, ditandai dengan penggunaan sistem fotovoltaik untuk mengkonversi sinar matahari menjadi listrik secara efisien. Tujuan penelitian ini untuk mencari titik daya maksimum *photovoltaic* menggunakan algoritma *modified* P&O dalam keadaan normal dan *shading* dan mengetahui hasil pengujian *photovoltaic* secara optimum menggunakan DC-DC *converter* dengan algoritma *modified* P&O dalam keadaan normal dan *shading*. Algoritma *modified* P&O pada sistem MPPT mampu meningkatkan efektivitas dalam melacak titik daya maksimum (MPP) dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Dimana algoritma *modified* P&O dan P&O konvensional menunjukkan pada kondisi tanpa halangan, *modified* P&O N4 menghasilkan daya maksimum 3,56W detik 24, lebih unggul dibanding P&O konvensional 3,24W detik 70. Menunjukkan modifikasi P&O memberikan kestabilan lebih baik karena respons sistem lebih lambat membuat sistem kerja *duty cycle* lebih stabil. Sebaliknya, kondisi *shading modified* P&O N5 menunjukkan performa terbaik dengan daya maksimum 1,42W detik 38, lebih tinggi dibanding dan P&O konvensional sebesar 1,1W detik 70. Menunjukkan bahwa kondisi *shading* modifikasi P&O N5 memiliki respons sistem lebih cepat, lebih efektif menyesuaikan *duty cycle* dalam mencapai titik daya maksimum.

Kata Kunci : MPPT, *Modified* P&O, Arduino, *Boost Converter*, *photovoltaic*

ABSTRACT

Hana Rifai, 21801053006, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Islamic University of Malang, "IMPROVING MPPT EFFICIENCY THROUGH OPTIMIZATION OF P&O (PERTURB & OBSERVE) MODIFICATION ALGORITHM IN PHOTOVOLTAIC", Supervisor I: Efendi S Wirateruna, S.T,M.Sc., Supervisor II : Ngatmari, S.TMTr.T.

Electrical energy is a necessity in daily life, as the population increases energy, the solution is the use of solar energy as a source of renewable energy, characterized by the use of photovoltaic systems to convert sunlight into electricity efficiently. The purpose of this study is to find the maximum power point of photovoltaic using the modified P&O algorithm under normal and shading conditions and to determine the results of the optimal photovoltaic test using a DC-DC converter with the modified P&O algorithm under normal and shading conditions. The modified P&O algorithm in the MPPT system is able to increase the effectiveness in tracking the maximum power point (MPP) compared to conventional P&O algorithms. Where the modified P&O and conventional P&O algorithms show unimpeded conditions, the modified P&O N4 produces a maximum power of 3.56W 24 seconds, superior to the conventional P&O of 3.24W 70 seconds. Showing P&O modifications provides better stability as the system response is slower making the duty cycle work system more stable. In contrast, the modified P&O N5 shading conditions show the best performance with a maximum power of 1.42W 38 seconds, higher than the conventional P&O of 1.1W 70 seconds. Demonstrated that the modified shading conditions of the P&O N5 have a faster system response, more effectively adjusting the duty cycle in reaching the maximum power point.

Keywords : MPPT, Modified P&O, Arduino, Boost Converter, photovoltaic

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan dan bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari. Sehingga kebutuhan untuk mendapatkan energi listrik semakin lama semakin meningkat karena adanya peningkatan jumlah dari populasi manusia itu sendiri [1]. Sehingga suatu saat nanti bisa menyebabkan potensi krisis energi dan sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan lain-lain semakin menipis oleh sebab itu diperlukan energi yang terbarukan. Energi terbarukan yang dimaksud adalah energi yang mudah didapatkan dan ramah lingkungan seperti halnya energi surya. Beberapa tahun terakhir, pemanfaatan panel surya untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik semakin meningkat [2]. Energi matahari adalah salah satu sumber energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan menjadi isu yang sangat menarik sebagai solusi permasalahan pemanasan global [3]. Untuk pemanfaatan energi surya di Indonesia dapat dikembangkan menjadi energi terbarukan ditandai dengan adanya solar panel surya atau juga dapat disebut *photovoltaic*.

Photovoltaic (PV) adalah suatu alat yang dapat mengubah energi surya (*foton*) menjadi listrik arus searah yang merupakan salah satu komponen dalam Pusat Listrik Tenaga Surya [4]. Selain itu, konversi satu langkah dari sinar matahari menjadi listrik menggunakan sel fotovoltaik surya (PV) (terdiri dari bahan semikonduktor, sebagian besar silikon [5]. Fotovoltaic sangat berpengaruh terhadap variabel suhu dan intensitas sinar matahari dua variabel ini lah yang membuat *photovoltaic* menjadi dinamis. Dengan demikian, tegangan dan arus menjadi variabel penting yang digunakan sebagai acuan untuk mengontrol *converter boost* [6]. Untuk itu dibutuhkan sebuah rangkaian konverter DC-DC untuk meningkatkan efisiensi keluarannya [7]. Sehingga fotovoltaic membutuhkan suatu kendali yang dapat mempertahankan keluaran daya fotovoltaic pada titik optimal. Energi maksimum dari panel surya PV dengan efisiensi tertinggi dapat diekstraksi dengan menggunakan Teknik Pelacakan Titik Daya Maksimum (MPPT). Pada titik tersebut panel surya berada pada keadaan optimal, baik dari

tegangan dan arus yang dihasilkan. ketika tegangan dan arus berada pada nilai optimalnya, maka daya keluaran juga mencapai nilai maksimum, sesuai dengan prinsip MPP [8].

Pelacakan Titik daya adalah sebagai kendali yang efektif untuk menjajaki titik operasi daya fotovoltaik, dimana MPPT dapat diperoleh dengan instalasi *converter*. elektronik daya yang digunakan sebagai penghubung antara fotovoltaik dan pengguna energi seperti beban atau baterai dalam sistem daya. Oleh karena itu, panel surya membutuhkan *converter* DC DC untuk menghasilkan arus dan tegangan yang optimal dari panel surya menggunakan metode *Maximum Powerpoint Tracker* (MPPT) [9]. Sistem panel PV mempunyai kurva karakteristik tegangan daya dan kurva karakteristik tegangan arus. Pada titik tersebut panel surya berada pada keadaan optimal, baik dari tegangan dan arus yang dihasilkan. Ketika tegangan dan arus yang dihasilkan maksimal maka akan mendapatkan keluaran daya yang maksima [8]. *Boost converter* atau yang dapat disebut dengan *step-up converter* merupakan suatu rangkaian penaik tegangan *input* DC agar diperoleh nilai *output* yang dikehendaki [11]. DC-DC *boost converter* berperan dalam mengontrol tegangan keluaran sesuai yang diinginkan persyaratan serta mampu mengendalikan nilai overshoot yang terjadi. Nilai tegangan output *boost converter* dapat dinaikkan dengan cara mengubah nilai *duty cycle* pada pensaklaran rangkaian *boost converter* [12]. titik daya maksimum (MPP) dicapai melalui penyesuaian nilai *duty cycle* pada konverter DC-DC yang dikendalikan oleh algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [13]. Arduino UNO digunakan untuk memproses data laju algoritma [14].

Banyak peneliti sebelumnya menyarankan menggunakan variasi metode P&O atau disebut juga algoritma P&O. Kelebihan utama metode P&O adalah kesederhanaan implementasinya dan biaya yang relatif rendah. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, seperti osilasi di sekitar MPP dan ketidakstabilan dalam kondisi perubahan iradiasi yang cepat [15]. Algoritma P&O adaptif menggunakan mekanisme cerdas untuk mengubah ukuran gangguan guna mengurangi osilasi daya disisi lain, beberapa penelitian melakukan perubahan pada algoritma sebelumnya untuk meningkatkan efisiensi kerja dinamis sistem PV.

Sebagai contoh, Kashif dan rekan-rekannya mengusulkan modifikasi pada dua teknik MPPT yang banyak ditemukan dalam literatur, yaitu metode P&O dan IC, untuk memperbaiki kinerja *steady-state* dan dinamis selama terjadinya perubahan mendadak pada tingkat intensitas cahaya matahari [13]. Tujuannya adalah mengatasi kelemahan yang ada

pada algoritme P&O konvensional yang telah diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya [16]. Dalam penelitian ini, diusulkan metode *maximum power point tracking* (MPPT) baru yang menggunakan algoritma *perturb and observe* (P&O) yang dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dalam mencari titik daya maksimum dari *photovoltaic*. Metode ini diimplementasikan menggunakan DC-DC converter yaitu *boost converter* untuk mengatur tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan sistem. Dengan demikian, diharapkan efisiensi panel surya dapat ditingkatkan, sehingga kontribusi energi surya dalam pasokan energi global dapat lebih maksimal [15]

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem *maximum power point tracking* pada *photovoltaic* menggunakan converter DC-DC (*Boost Converter*) dengan algoritma *modified P&O (perturb and observe)*?
2. Bagaimana hasil pengujian dari sistem *maximum power point tracking* pada *Photovoltaic* menggunakan converter DC-DC (*Boost Converter*) dengan menggunakan algoritma *modified P&O (perturb and observe)*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk meminimalisir perluasan dalam pembahasan penelitian, Batasan masalah diberikan sebagai berikut:

1. Membahas dan menggunakan converter DC-DC yaitu *Boost Converter*.
2. Hardware menggunakan Arduino dan software Arduino IDE.
3. Menggunakan algoritma *modified perturb and observe* (P&O).
4. Menggunakan aplikasi PLX-DAQ.
5. Penelitian dilakukan di dalam ruangan laboratorium Elektro UNISMA.
6. *Output* pada *Converter* menggunakan resistor sebagai pengganti beban.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari latar belakang dan batasan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan penelitian ini adalah:

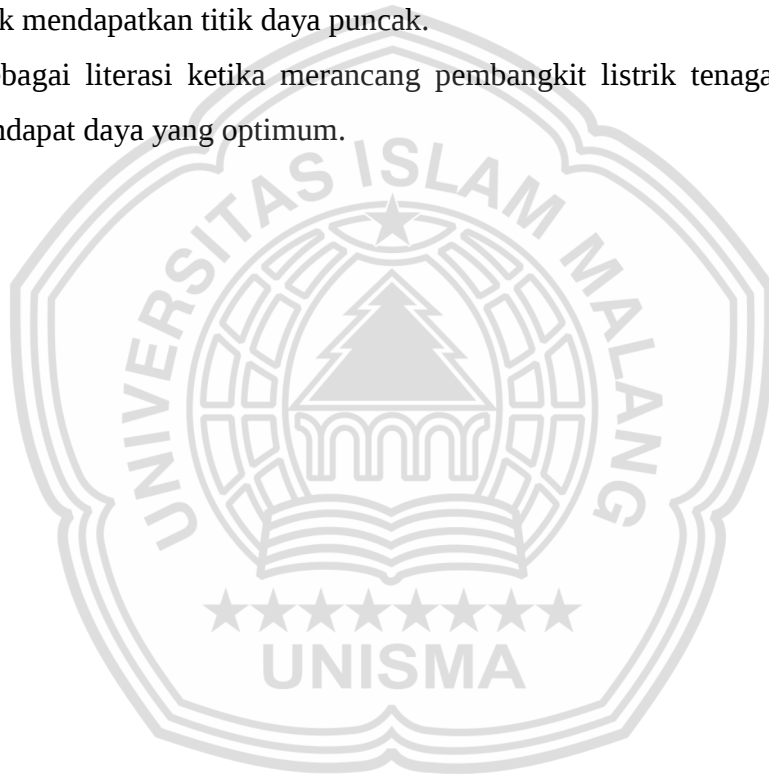
1. Untuk mencari titik daya maksimum panel surya menggunakan algoritma *modified perturb & observe* (P&O) dalam keadaan normal dan *shading*.

2. Mengetahui hasil pengujian *photovoltaic* secara optimum menggunakan DC-DC *converter* dengan algoritma *modified perturb and observe* (P&O) dalam keadaan normal dan *shading*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini agar dapat tercapai dari skripsi penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan *photovoltaic* untuk mendapatkan energi matahari sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan.
2. Mengetahui efektivitas algoritma P&O (*perturb and observe*) pada DC-DC *converter* untuk mendapatkan titik daya puncak.
3. Bermanfaat sebagai literasi ketika merancang pembangkit listrik tenaga surya agar mendapat daya yang optimum.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari perancangan, pengujian, hasil dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diambil kesimpulan:

1. Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan algoritma *modified Perturb and Observe* (P&O) yang diintegrasikan ke dalam mikrokontroler Arduino UNO untuk mengoptimalkan pengaturan *duty cycle* pada rangkaian *Boost converter*. Pengaturan ini bertujuan untuk menyesuaikan daya keluaran dari modul fotovoltaik sehingga dapat mencapai titik operasi daya maksimum (MPP) secara efisien. Tahapan perancangan mencakup perancangan sistem elektronik yang terdiri atas sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan *boost converter*, disertai dengan analisis dan perhitungan nilai komponen guna memastikan kestabilan sistem serta meningkatkan efisiensi konversi daya.
2. Pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penerapan algoritma *modified Perturb and Observe* (P&O) pada sistem MPPT mampu meningkatkan efektivitas dalam melacak titik daya maksimum (MPP) dibandingkan dengan algoritma P&O konvensional. Perbandingan performa dilakukan melalui analisis nilai daya keluaran yang dihasilkan oleh sistem MPPT berbasis *modified* P&O dan sistem MPPT berbasis P&O standar. Dengan modul tanpa halangan modifikasi P&O nilai N3 daya maksimum 1,49W detik ke 5, modifikasi P&O N4 daya maksimum 3,56W di detik 24 sedangkan dengan nilai N5 daya maksimum 3,52W di detik ke 94 pada P&O konvensional daya maksimum 3,24W di detik 70 jadi modifikasi P&O N4 lebih bagus dalam mencari daya maksimum karena *konstanta tuning* atau respon sistem lebih lambat, membuat kestabil dalam mengatur *duty cycle*. Sedangkan pada sistem *shading*

nilai N3 mendapatkan daya maksimum sebesar 0,24W kisaran detik 0 hingga 50, modifikasi P&O N4 daya maksimum sebesar 1,30W detik 48, modifikasi P&O N5 1,42W detik ke 38 dan P&O konvensional 1,1W detik ke 95. Pada sistem *shading* algoritma modifikasi P&O N5 menunjukkan daya maksimum tertinggi dikarenakan *konstanta tuning* atau respon sistem lebih cepat juga membuat kerja *duty cycle* lebih cepat.

Hasil validasi menunjukkan bahwa algoritma *modified* P&O mampu mencapai tingkat daya maksimum yang tinggi melalui pendekatan adaptif dalam pengaturan *duty cycle*. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mempertahankan *output* daya maksimum meskipun terjadi gangguan eksternal, seperti penurunan intensitas cahaya atau perubahan beban. Keunggulan ini menjadikan algoritma tersebut sebagai solusi yang efektif untuk optimalisasi konversi energi terbarukan, khususnya dalam aplikasi yang menuntut daya maksimum dari sumber energi yang bersifat fluktuatif, seperti sistem fotovoltaik.

5.2 Saran

1. Algoritma *modified Perturb and Observe* (P&O) perlu divalidasi melalui pengujian langsung di lingkungan nyata dengan menggunakan sumber cahaya alami, yaitu sinar matahari, guna mengevaluasi kinerja sistem dalam menghadapi kondisi dinamis yang lebih kompleks.
2. Penelitian selanjutnya dapat mencoba kombinasi algoritma algoritma yang terbarukan.
3. Melakukan pengujian sistem dengan berbagai jenis beban, termasuk beban *non-linear* dan variabel, guna mengevaluasi tingkat fleksibilitas serta keandalan sistem dalam menghadapi kondisi operasi yang lebih dinamis dan beragam.
4. Peneliti dapat membandingkan Algoritma modifikasi P&O (*Perturb & Observe*) dengan algoritma modifikasi P&O yang telah diuji lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- 1] M. Sodikul Aminurhuda, M. Jasa' Afroni, and E. S. Wirateruna, 'RANCANG BANGUN PANEL SURYA UNTUK SISTEM PANEL SURYA SECARA OPTIMUM DENGAN ALGORITMA P&O DENGAN BUCK-BOOST CONVERTER', 2023.
- 2] F. Maulana, K. Politeknik, and N. Jakarta, 'Maximum Power Point Tracking (MPPT) Berbasis Algoritma Human Psychology Optimization (Hpo) untuk Optimalisasi Daya Output Panel Surya pada Kondisi Partial Shading', 2023, doi: 10.31284/p.snestik.2023.4034.
- 3] Wirateruna Efendi S, 'ANALISA PERBANDINGAN IMPLEMENTASI MPPT PV BERBASIS ALGORITMA P&O DAN IC DENGAN ARDUINO UNO', pp. 14–20, Mar. 2022.
- 4] M. Asdhiyoga Rahmanta *et al.*, 'Analisis Perkembangan Teknologi Modul Photovoltaic (PV) Untuk Meningkatkan Penetrasi Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia', 2023.
- 5] B. P. Ananda, F. M. Faqih, M. F. Alkindi, F. S. Pribadi, and R. A. Aprilianto, 'Tren Algoritma InC, PID dan FLC untuk MPPT Pada Sistem Fotovoltaik: Sistematis Review', *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 78–89, Jul. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23089.
- 6] E. S. Wirateruna, M. J. Afroni, and F. Badri, 'Design of Maximum Power Point Tracking Photovoltaic System Based on Incremental Conductance Algorithm using Arduino Uno and Boost Converter', *Applied Technology and Computing Science Journal*, vol. 4, no. 2, pp. 101–112, May 2022, doi: 10.33086/atcsj.v4i2.2450.
- 7] A. N. Chemenk and A. Huda, 'DESAIN SIMULASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) MENGGUNAKAN METODE INCREMENTAL CONDUCTANCE (IC) PADA KONVERTER SEPIC (SINGLE ENDED PRIM ARY INDUCTANCE CONVERTER)', 2023.
- 8] C. Zeng, B. Yang, P. Cao, Q. Li, J. Deng, and S. Tian, 'Current Status, Challenges, and Trends of Maximum Power Point Tracking for PV Systems', *Front Energy Res*, vol. 10, Apr. 2022, doi: 10.3389/fenrg.2022.901035.
- 9] E. Elanda Zahra, D. Dewatama, and Y. Yulianto, 'Zeta Converter dengan MPPT P&O untuk Mendapatkan Daya Optimal Akibat Perubahan Arus dan Tegangan', *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 9–17, May 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i1.2744.
- 10] R. Nur Amalia, W. Kusuma, and F. Alfian, 'Desain Simulasi dan Analisa Closed Loop Boost Converter Terintegrasi Solar PV Berbasis PID', *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, 2023.
- 11] A. K. Dewi, Dyah Lestari, and Muhammad Afnan Habibi, 'Desain dan Analisis PID Controller Menggunakan Metode Genetic Algorithm pada Boost Converter Tipe CCM', *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, pp. 50–56, Apr. 2024, doi: 10.23917/emitor.v24i1.2817.

A. Chellakhi, S. El Beid, and Y. Abouelmahjoub, 'Implementation of a Novel MPPT Tactic for PV System Applications on MATLAB/Simulink and Proteus-Based Arduino Board Environments', *International Journal of Photoenergy*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6657627.

A. R. B. M. B. A. pratama Zanova Arief, 'PINTU GERBANG OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3', 2020.

Evi Nafiatu Sholikhah, 'Desain Implementasi Maximum Power Point Tracking Berbasis Perturb and Observe untuk Optimasi Daya Panel Surya', *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 201–209, Feb. 2025, doi: 10.55606/jtmei.v4i1.4810.

M. Yasim Akbar and R. Yasser, 'OPTIMALISASI DESAIN PLTS ATAP OFFGRID MENGGUNAKAN MPPT MODIFIKASI P&O PADA GEDUNG PT. HYDRATECH SMART INDONESIA', *Action Research Literate*, vol. 8, no. 6, 2024, [Online]. Available: <https://arl.ridwaninstitute.co.id/index.php/arl>

A. Kesuma Dhani, E. S. Wirateruna, and F. Badri, 'PERANCANGAN SISTEM MPPT BERBASIS ALGORITMA MODIFIED P&O DENGAN ARDUINO MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC PADA PHOTOVOLTAIC', Nov. 2025.

M. I. Maulana, B. Minto Basuki, and E. S. Wirateruna, 'Rancang Bangun Sistem MPPT Photovoltaic Berbasis Algoritma Modified Incremental Conductance dengan Arduino dalam Kondisi Irradiance yang Bervariasi', 2023. [Online]. Available: <http://riset.unisma.ac.id/index.php/infotron/article/view/20267>

A. Trisna Nugraha *et al.*, 'Pengganaan Algoritma Gangguan Dan Observasi Pada Sistem Pelacak Titik Daya Maksimum Pada Sel Surya Menggunakan Konverter DC-DC Fotovoltaik Use of Perturbation and Observation Algorithm in Tracking System for Maximum Power Point in Solar Cells Using DC-DC Photovoltaics Converters', *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 1, no. 1, pp. 8–18, 2021, doi: 10.25008/janitrav1i1.107.

A. Alfari and M. Yuhendri, 'Sistem Kendali Dan Monitoring Boost Converter Berbasis GUI (Graphical User Interface) Matlab Menggunakan Arduino', 2020.

A. Chellakhi, S. El Beid, and Y. Abouelmahjoub, 'Implementation of a Novel MPPT Tactic for PV System Applications on MATLAB/Simulink and Proteus-Based Arduino Board Environments', *International Journal of Photoenergy*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/6657627.

A.- Abdurahman, E.- Rosiana, H.- Kusnadi, and T.- Raharjo, 'Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Web', *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JustIN)*, vol. 12, no. 3, p. 543, Jul. 2024, doi: 10.26418/justin.v12i3.79793.

E. Hasan Harun, F. Ahmad, and J. Ilham, 'PENGARUH TEMPERATUR PERMUKAAN PANEL SURYA TERHADAP KAPASITAS DAYA YANG DIHASILKAN', *Journal Of Renewable Energy Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 25–28, Oct. 2023, doi: 10.56190/jree.v1i2.19.

- 23] A. P. Zanofo, R. Arrahman, M. Bakri, and A. Budiman, 'PINTU GERBANG OTOMATIS BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO R3', 2020.
- 24] G. H. N. ALDIANTAMA, N. A. WINDARKO, and L. P. S. RAHARJA, 'Perancangan MPPT Modified Incremental Conductance menggunakan Interleaved Boost Converter untuk Reduksi Osilasi', *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 1, p. 76, Jan. 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i1.76.
- 25] E. Amelia Widyastuti, R. Riantiarna, W. Kurniawati, and U. PGRI Yogyakarta, 'EFEKTIVITAS PANEL SURYA SEBAGAI CADANGAN PENGGANTI ENERGI LISTRIK SKALA RUMAHAN', *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 256–260, 2024, doi: 10.62017/tektonik.
- 26] Nikunj Patel and Dr. Rakeshkumar A. Patel, 'A Simplified Design and Modeling of Boost Converter for Photovoltaic System', *International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH)*, vol. 3, no. 02, pp. 179–183, Feb. 2025, doi: 10.47392/IRJAEH.2025.0024.
- 27] H. Wildan Fahruri, W. Aribowo, M. Widyartono, and A. Chandra Hermawan, 'Monitoring Arus, Tegangan, dan Suhu Pada Prototype Thermoelectric Generator Berbasis IoT', 2021.
- 28] A. Rachman, A. Yuana Dewi, A. Effendi, and L. Nesti, 'EVALUASI KINERJA SISTEM PENDINGIN KOMPRESI UAP VRF DENGAN SIKLUS INJEKSI', *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 1, no. 1, pp. 86–92, Jan. 2023, doi: 10.21063/jtv.2023.1.1.13.
- 29] A. Bandoro, 'PWM Signal Experiment Report', 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/370467142>
- 30] E. Amelia Widyastuti, R. Riantiarna, W. Kurniawati, and U. PGRI Yogyakarta, 'EFEKTIVITAS PANEL SURYA SEBAGAI CADANGAN PENGGANTI ENERGI LISTRIK SKALA RUMAHAN', *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 2, pp. 256–260, 2024, doi: 10.62017/tektonik.