

Sistem Kendali Daya Maksimum Panel Surya Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Adtrizal Lindo^{*)1}, Muldi Yuhendri²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

^{*)}Corresponding author, adtrizallindo@gmail.com

Abstrak	INFO.
<p>Panel surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan untuk pembangkit listrik yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber utamanya. Daya output panel surya ditentukan oleh temperatur dan radiasi cahaya matahari yang mengenai panel surya tersebut. Daya panel surya memiliki satu titik maksimum pada setiap perubahan temperatur dan radiasi cahaya matahari. Daya output maksimum ini dapat diperoleh dengan cara mengatur tegangan output panel surya pada titik daya maksimum, yang disebut juga dengan <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT). Penelitian ini mengusulkan sistem MPPT pada panel surya dengan menggunakan konverter boost. Pengaturan tegangan output panel surya dilakukan dengan menggunakan algoritma MPPT berbasis <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC). Algoritma FLC ini dikembangkan dari algoritma Perturbasi dan Observasi (PO). Sistem kendali MPPT berbasis FLC ini diimplementasikan pada empat buah panel surya 50 WP dengan menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai peralatan kontrolnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa system kendali MPPT berbasis FLC yang diusulkan telah bekerja dengan baik, dimana alat ini telah mampu mengendalikan daya output panel surya tetap berada pada titik maksimum setiap saat.</p>	<p>Info. Artikel: No. 207 Received. January 17, 2022 Revised. January 24, 2022 Accepted. January 31, 2022 Page. 102-110</p> <p>Kata kunci:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Panel Surya✓ MPPT✓ Konverter boost✓ Perturbasi dan observasi✓ Fuzzy logic controller

Abstract
<p><i>Solar panels are one of the renewable energy sources for power plants that use sunlight as the main source. The output power of the solar panel is determined by the temperature and solar radiation that hits the solar panel. Solar panel power has a maximum point for each change in temperature and solar radiation. This maximum output power can be obtained by adjusting the solar panel output voltage at the maximum power point, which is also known as Maximum Power Point Tracking (MPPT). This study proposes an MPPT system on solar panels using a boost converter. The regulation of the solar panel output voltage is carried out using the MPPT algorithm based on Fuzzy Logic Controller (FLC). The FLC algorithm was developed from the Perturbation and Observation (PO) algorithm. The FLC-based MPPT control system is implemented on four 50 WP solar panels using Arduino Mega 2560 as the control device. The test results show that the proposed FLC-based MPPT control system has worked well, where this tool has been able to control the solar panel output power to remain at the maximum point at all times.</i></p>

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya adalah salah satu jenis pembangkit listrik energi terbarukan yang banyak dikembangkan dewasa ini. Pembangkit listrik tenaga surya ini menggunakan radiasi cahaya matahari sebagai sumber energi utamanya yang dikonversikan ke energi listrik melalui sel surya (photovoltaic) [1]. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar, maka digunakan banyak sel surya yang disusun sedemikian rupa dalam bentuk modul [2]. Gabungan dari beberapa modul sel surya ini disebut juga dengan panel surya. Daya listrik yang dihasilkan panel surya tersebut ditentukan oleh temperatur dan intensitas cahaya atau radiasi cahaya matahari yang mengenai permukaan panel surya tersebut.

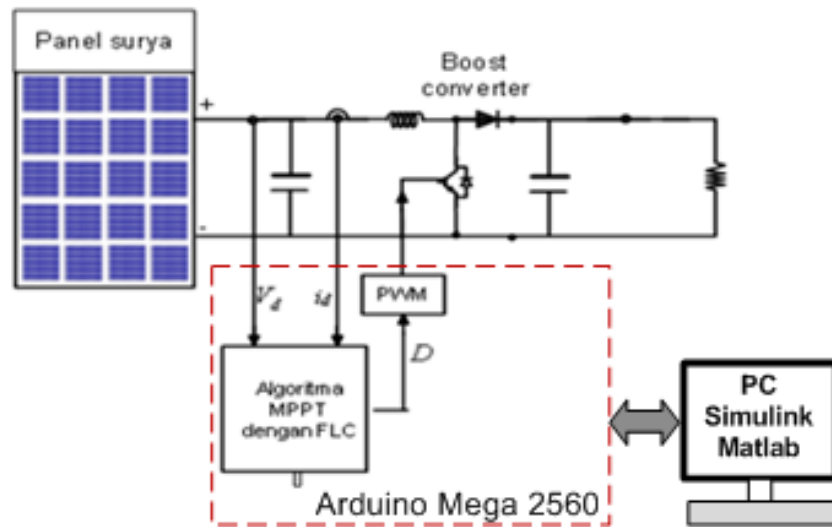
Efisiensi panel surya ditentukan oleh daya output yang dihasilkan, dimana daya output panel surya ini tergantung pada temperatur dan radiasi cahaya matahari pada panel surya tersebut. Selain itu, daya output panel surya ini juga ditentukan oleh tegangan dan arus listrik pada panel surya tersebut. Salah satu karakteristik panel surya adalah memiliki titik daya maksimum pada setiap perubahan temperatur dan radiasi cahaya matahari. Titik daya maksimum ini dapat diperoleh dengan cara mengatur tegangan dan arus output panel surya tersebut. Berdasarkan konsep ini, maka efisiensi panel surya dapat ditingkatkan dengan cara mengoperasikan panel surya pada titik daya maksimum melalui pengaturan tegangan outputnya. Konsep ini disebut juga dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) [1]. Pengaturan tegangan output panel surya pada titik daya maksimum dapat dilakukan dengan menggunakan konverter dc-dc, seperti konverter *buck*, *boost*, *buck boost*, *sepic* dan sebagainya [3]-[4]. Setiap converter memiliki karakteristik yang berbeda. Dalam penelitian ini diusulkan sistem kendali MPPT untuk panel surya dengan menggunakan konverter *boost*. Konverter ini dipilih karena ingin mendapatkan tegangan output yang lebih besar dari tegangan yang dihasilkan panel surya. Hal ini sesuai dengan karakteristik konverter *boost* yang memiliki tegangan output lebih besar dari tegangan inputnya.

Pengaturan tegangan output panel surya dengan konverter *boost* dilakukan dengan mengatur pulsa modulasi *switch* yang ada pada converter tersebut. Untuk sistem kendali MPPT, pengaturan pulsa modulasi ini dilakukan dengan mengatur *duty cycle* atau lebar pulsa modulasi untuk *switch* konverter dengan menggunakan Algoritma MPPT [5]. Beberapa metode algoritma MPPT telah diterapkan untuk sistem kendali daya maksimum panel surya, seperti algoritma Perturbasi dan Observasi (PO) [6]-[10], algoritma peningkatan konduktansi [11]-[14], algoritma *sliding mode control* [15] dan algoritma berbasis kecerdasan buatan dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) [16]. Setiap algoritma MPPT ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Algoritma MPPT yang bagus adalah algoritma yang dapat mencari titik daya maksimum dengan dalam waktu yang cepat dan memiliki riak daya yang rendah pada titik maksimum [1]. Algoritma PO dan peningkatan konduksi memiliki kelebihan sederhana dan mudah diimplementasikan, sedangkan kekurangannya adalah kinerjanya ditentukan oleh ukuran langkah atau step pada algoritma tersebut [16]. Step yang besar dapat mempercepat algoritma mencari titik daya maksimum tapi akan menghasilkan riak daya yang besar pada titik maksimum. Sebaliknya ukuran step yang kecil dapat memperkecil riak daya pada titik maksimum tetapi akan memperlambat waktu mencapai titik maksimum. Untuk mengatasi hal ini, maka diusulkan algoritma MPPT yang adaptif dengan menggunakan FLC. Penggunaan FLC diharapkan dapat mempercepat waktu pencapaian titik daya maksimum dan juga dapat memperkecil riak daya pada titik maksimum. Dalam penelitian ini, FLC untuk algoritma MPPT diimplementasikan dengan menggunakan Arduino Mega 2560 yang akan mengendalikan daya output panel surya 4 x 50 wp melalui konverter *boost*.

METODE PENELITIAN

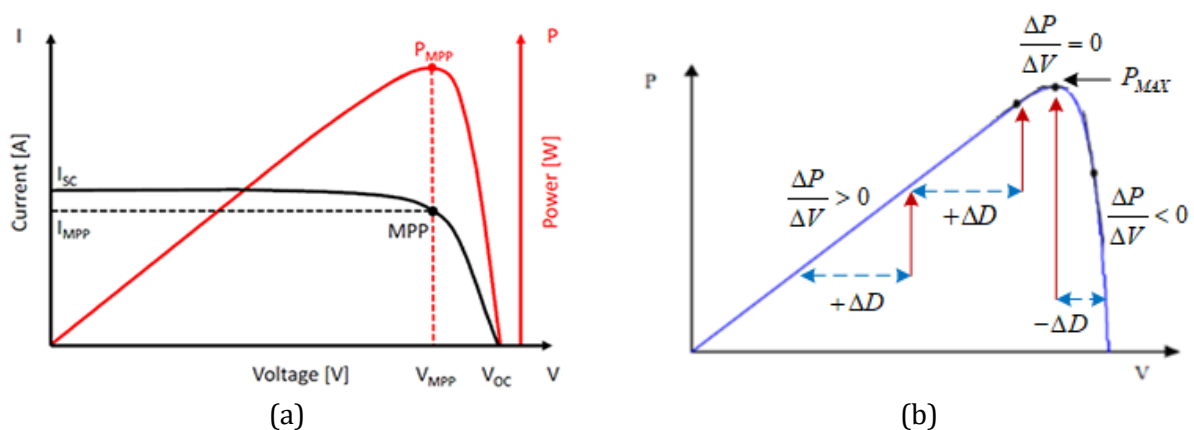
Penelitian ini dilakukan dalam bentuk eksperimen dengan menerapkan sistem kendali MPPT untuk panel surya 4 x 50 WP. Sistem kendali MPPT dirancang menggunakan konverter boost dengan algoritma MPPT berbasis FLC. Sistem kendali MPPT yang dibuat dalam penelitian ini diimplementasikan dengan Arduino Mega 2560 yang deprogram dengan Simulink Matlab. Gambar 1 menunjukkan skema sistem kendali MPPT yang diusulkan dalam penelitian ini. Sistem kendali MPPT yang diusulkan terdiri dari panel surya 4 x 50 wp, konverter boost untuk mengatur tegangan output panel surya, sensor arus dan sensor tegangan untuk mendeteksi arus dan tegangan panel surya, Arduino mega 2560 sebagai pusat controller dan PC yang dilengkapi dengan Simulink matlab untuk pemrograman Arduino. Input Arduino adalah sensor arus dan sensor tegangan yang akan menghasilkan data tegangan dan arus panel surya, sedangkan output Arduino adalah pulsa PWM untuk modulasi switch konverter *boost*. Berdasarkan data tegangan dan arus ini dapat dihitung daya yang dihasilkan panel surya. Berdasarkan data daya ini, maka dilakukan pencarian *duty cycle* pulsa

PWM menggunakan algoritma MPPT untuk mengatur tegangan keluaran panel surya pada titik daya maksimum.



Gambar 1. Skema Sistem Kendali MPPT berbasis FLC

Algoritma MPPT berbasis FLC yang digunakan untuk mencari *duty cycle* ini dikembangkan berdasarkan algoritma PO. Prinsip kerja algoritma PO dalam mencari titik daya maksimum pada kurva daya panel surya ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar 2(a) menunjukkan kurva daya panel surya pada suatu nilai temperatur dan radiasi cahaya matahari. Nilai daya tersebut berubah sesuai dengan perubahan tegangan dan arus panel surya. Kurva daya ini memiliki satu titik maksimum, yang terletak pada suatu nilai tegangan V_{MPP} arus I_{MPP} . Untuk mendapatkan daya maksimum, maka tegangan dan arus harus dikendalikan pada titik V_{MPP} dan I_{MPP} . Dalam penelitian ini, Pengaturan pengaturan arus dan tegangan ini dilakukan dengan menggunakan konverter *boost*. Pengaturan tegangan output panel surya pada konverter *boost* dilakukan dengan mengatur pulsa modulasi yang diimplementasikan dengan mengatur *duty cycle*, yaitu perbandingan waktu konduksi *switch* dengan perioda switchingnya [4]. Dalam algoritma PO, pengaturan *duty cycle* ini dilakukan berdasarkan nilai perubahan daya per perubahan tegangan ($\Delta P/\Delta V$). Jika $\Delta P/\Delta V$ besar dari nol, maka nilai *duty cycle* ditambah sebesar $+\Delta D$, sebaliknya jika $\Delta P/\Delta V$ kecil dari nol, maka nilai *duty cycle* dikurangi sebesar $-\Delta D$, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2(b). Dalam algoritma ini, titik daya maksimum terjadi saat $\Delta P/\Delta V$ sama dengan nol. Pada kondisi ini, nilai *duty cycle* sama dengan nilai *duty cycle* sebelumnya.

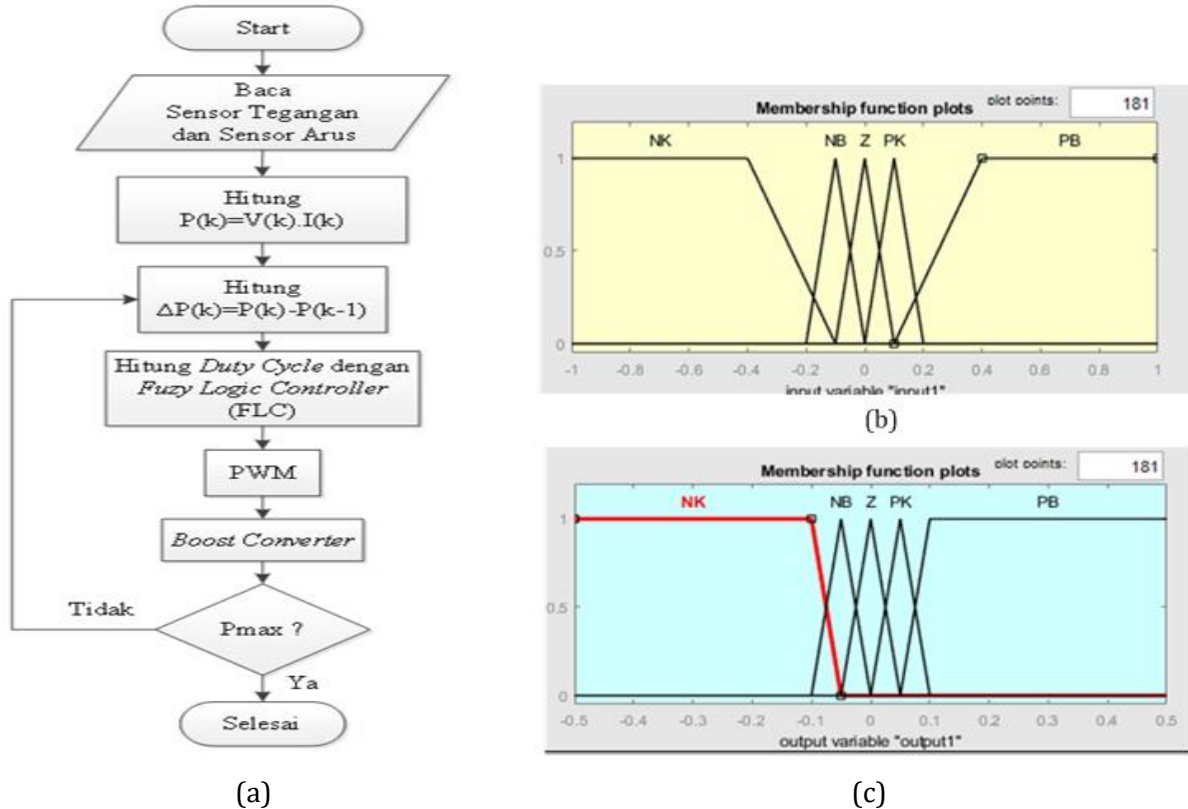


Gambar 2. Prinsip kerja Algoritma PO
(a) Kurva daya panel surya, (b) Prinsip kerja algoritma PO

Berdasarkan Gambar 2(b) di atas, maka nilai *duty cycle* D dapat dipresentasikan dengan Persamaan berikut :

$$D = \begin{cases} D_{n-1} & \text{jika } (\Delta P / \Delta V) = 0 \\ D_{n-1} + \Delta D & \text{jika } (\Delta P / \Delta V) > 0 \\ D_{n-1} - \Delta D & \text{jika } (\Delta P / \Delta V) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dimana D_{n-1} adalah nilai *duty cycle* sebelumnya dan ΔD adalah nilai perubahan *duty cycle*, yang disebut juga dengan ukuran langkah atau step dalam algoritma PO yang bernilai konstan. Kinerja algoritma PO ditentukan nilai ΔD . Untuk mempercepat algoritma mencari titik daya maksimum, maka nilai ΔD harus dibuat besar, tapi hal ini akan menimbulkan masalah riak daya yang juga besar pada saat mencapai titik maksimum. Sebaliknya untuk memperkecil riak daya pada titik maksimum, maka nilai ΔD harus diperkecil, tapi hal ini akan memperlambat algoritma mencapai titik daya maksimum. Untuk mengatasi hal ini, maka dalam penelitian ini dikembangkan algoritma MPPT adaptif dengan menggunakan FLC. Algoritma FLC ini dirancang dapat menghasilkan nilai ΔD yang bervariasi sesuai dengan nilai perubahan daya ΔP . Saat nilai ΔP besar, maka nilai ΔD sebagai output FLC juga besar. Begitu juga sebaliknya, Saat nilai ΔP kecil, maka nilai ΔD juga kecil. Berdasarkan konsep ini, maka algoritma MPPT akan cepat mencapai titik maksimum dan memiliki riak daya yang kecil pada titik maksimum, sehingga kelemahan algoritma PO yang memiliki nilai ΔD yang konstan dapat diatasi. Dalam algoritma MPPT berbasis FLC, ΔP dijadikan sebagai input FLC sedangkan ΔD dijadikan sebagai output FLC. Nilai ΔP dan ΔD ini dipresentasikan dengan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Gambar 3 menunjukkan *flowchart* algoritma MPPT berbasis *fuzzy* dan fungsi keanggotaan *input* dan *output* FLC untuk algoritma MPPT.



Gambar 3. Algoritma MPPT dengan FLC

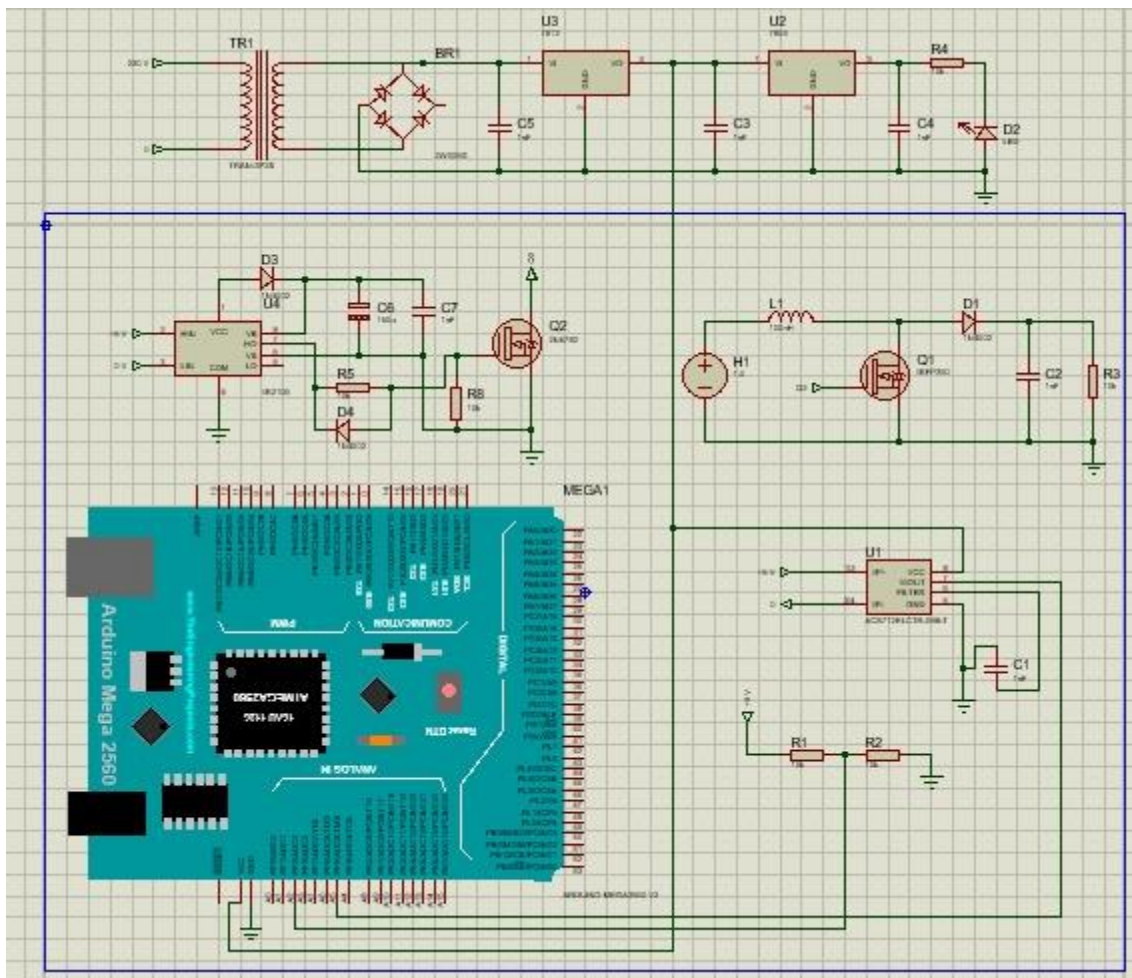
(a) Flowchart, (b) Fungsi keanggotaan input, (c) Fungsi keanggotaan output

Gambar 3(b) menunjukkan bahwa input fuzzy ΔP dipresentasikan dengan lima fungsi keanggotaan fuzzy, sedangkan *output fuzzy* ΔD juga dipresentasikan dengan lima fungsi keanggotaan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3(c). Sistem inferensi FLC dirancang menggunakan metode Mamdani. Relasi *input* dan *output* FLC diatur dengan *rule base*, seperti yang diuraikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rule base FLC

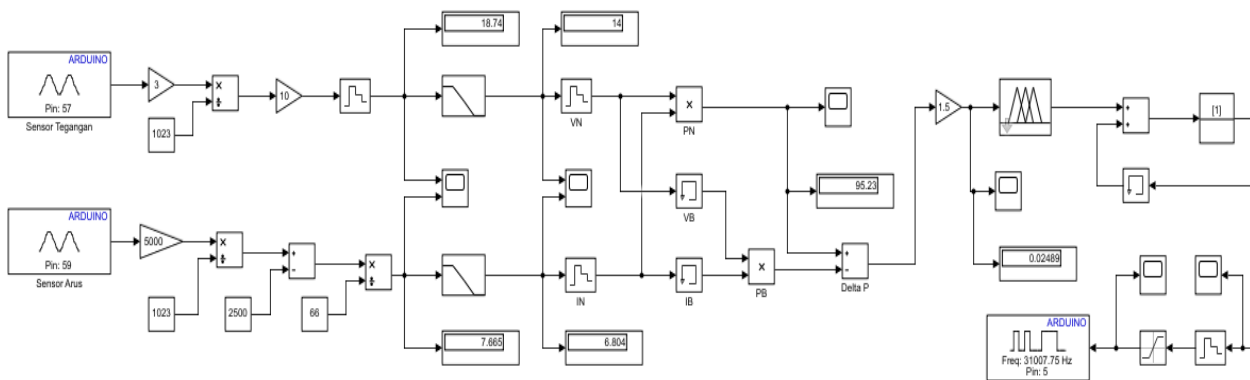
<i>Input</i>	NK	NB	Z	PK	PB
<i>Output</i>	NK	NB	Z	PK	PB

Sistem kendali MPPT berbasis FLC ini diimplementasikan dengan menggunakan Arduino Mega 2560. Gambar 4 menunjukkan skema rangkaian hardware untuk sistem kendali MPPT ini. Rangkaian terdiri dari rangkaian catu daya 5 Volt dan 12 Volt, *board* Arduino mega 2560 sebagai pusat control, sensor arus dan sensor tegangan sebagai input Arduino, rangkaian *converter boost* dengan menggunakan MOSFET sebagai switchnya dan rangkaian *gate drive* sebagai perantara *output* Arduino dengan pin gate MOSFET. *Input* Arduino yang digunakan adalah dua pin *analog* untuk sensor arus dan sensor tegangan, sedangkan *output* Arduino yang digunakan adalah pin PWM sebagai terminal untuk menghasilkan pulsa PWM yang akan disalurkan ke rangkaian *gate drive*.



Gambar 4. Skema rangkaian sistem kendali MPPT dengan arduino

Arduino Mega 2560 yang digunakan sebagai kontroller diprogram dengan simulink Matlab. Program yang dibuat merupakan program sistem kendali MPPT berbasis FLC. Gambar 5 menunjukkan blok program sistem kendali MPPT yang dibuat dalam simulink Matlab.



Gambar 5. Program sistem kendali MPPT berbasis FLC dalam simulink Matlab

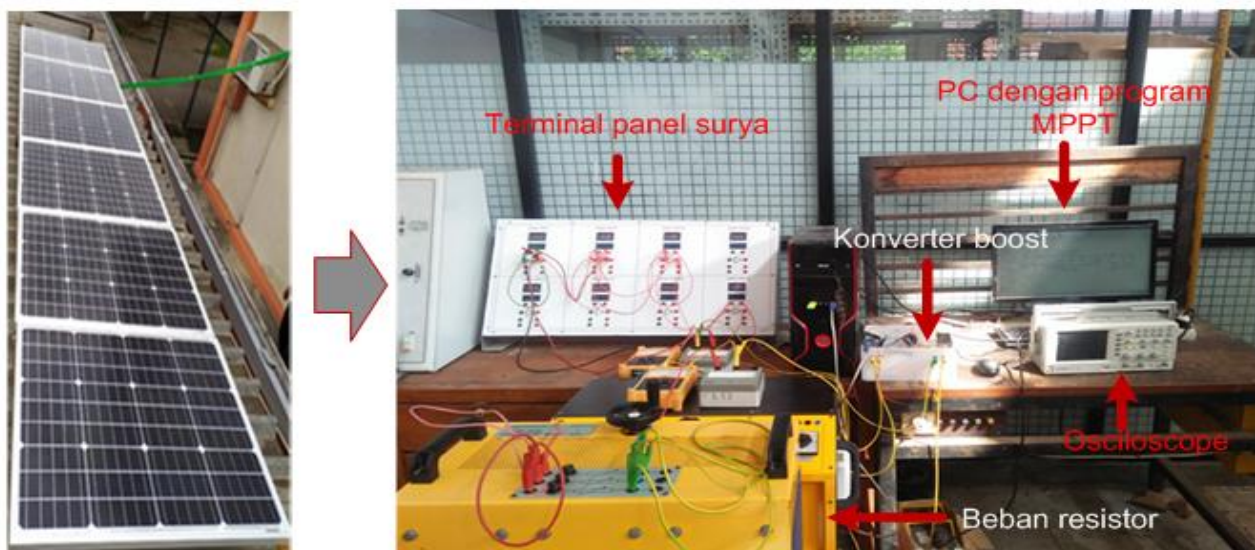
Gambar 5 menunjukkan bahwa program system kendali MPPT yang dibuat dalam Simulink matlab terdiri dari dua *input pin analog* Arduino sebagai terminal *input* sensor arus dan sensor tegangan. Selanjutnya keluaran pin *analog input* divalidasi untuk mendapatkan nilai arus dan tegangan yang sesuai dengan nilai realnya. Selanjutnya kedua sinyal tersebut ditambahkan *filter low pass* untuk mendapatkan nilai sinyal yang lebih presisi. Nilai daya diperoleh dari perkalian antara nilai arus dengan nilai tegangan. Selanjutnya dicari nilai perubahan daya dengan menggunakan blok memori, dimana nilai perubahan daya ini merupakan *input* dari FLC. *Output* dari FLC merupakan nilai perubahan *duty cycle*. Nilai *duty cycle* yang baru diperoleh diperoleh dari penambahan nilai perubahan dari *cycle* dengan nilai *duty cycle* sebelumnya. Selanjutnya nilai *duty cycle* yang baru dijadikan *input* blok pin PWM yang akan menghasilkan pulsa PWM untuk modulasi *converter boost*. Berdasarkan alur program ini maka konverter akan bekerja mengatur tegangan keluaran panel surya pada titik daya maksimum, sehingga panel surya akan beroperasi pada titik daya maksimum tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kendali MPPT yang dibuat berbasis FLC diujicobakan pada panel surya 4 x 50 WP yang sudah dipasang di atas atap koridor laboratorium. Ujung-ujung terminal dari panel surya ini dihubungkan pada panel yang ada dalam Laboratorium, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Panel surya ini dihubungkan secara parallel. Panel surya ini dihubungkan dengan konverter *boost* yang akan mengatur tegangan keluaran dari panel surya tersebut. Terminal *output* konverter *boost* dihubungkan dengan beban resistor yang merupakan beban dari panel surya.

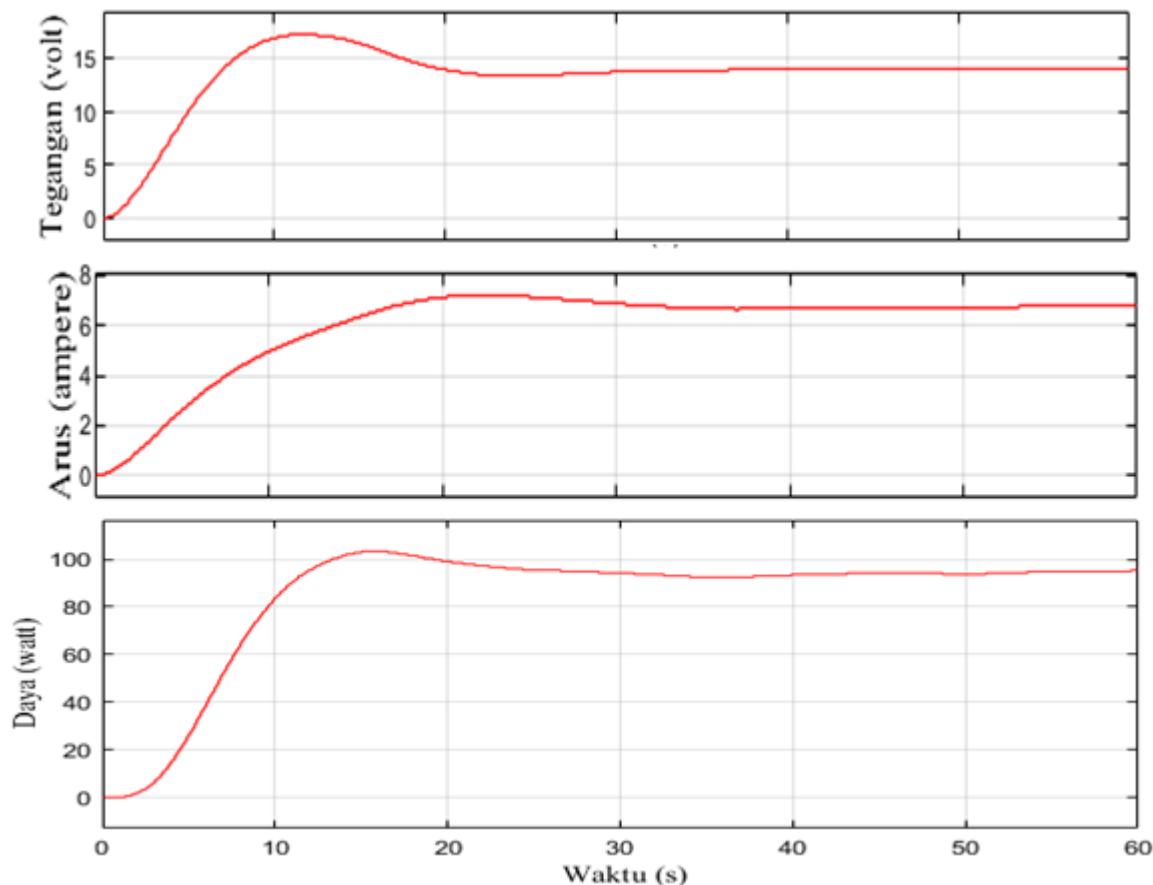
Pengujian sistem kendali MPPT dimulai dari pengujian konverter *boost*, validasi nilai sensor arus dan tegangan dan pengujian sistem kendali MPPT. Pengujian konverter *boost* dilakukan untuk mengamati kinerja konverter *boost* dalam mengendalikan tegangan outputnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konverter *boost* telah bekerja dengan baik, dimana nilai tegangan keluarannya lebih besar dari nilai tegangan *input*, sesuai dengan karakteristik dari konverter *boost*. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa nilai tegangan keluarannya tergantung oleh besaran nilai *duty cycle* yang diinputkan pada program. Hal ini menunjukkan bahwa konverter *boost* telah bekerja dengan baik dan telah dapat digunakan untuk *system* kendali MPPT. Setelah pengujian konverter *boost* dinyatakan valid, selanjutnya dilakukan validitas sensor arus dan sensor tegangan. Dalam pengujian ini, nilai tegangan dan arus yang dihasilkan sensor divalidasi dengan cara membandingkan nilai yang terbaca dalam program dengan nilai yang terbaca oleh alat ukur. Setelah nilai tegangan dan arus dinyatakan

valid, selanjutnya dilakukan pengujian sistem kendali MPPT. Gambar 6 menunjukkan instalasi hardware untuk pengujian sistem kendali MPPT.



Gambar 6. Instalasi hardware pengujian sistem kendali MPPT

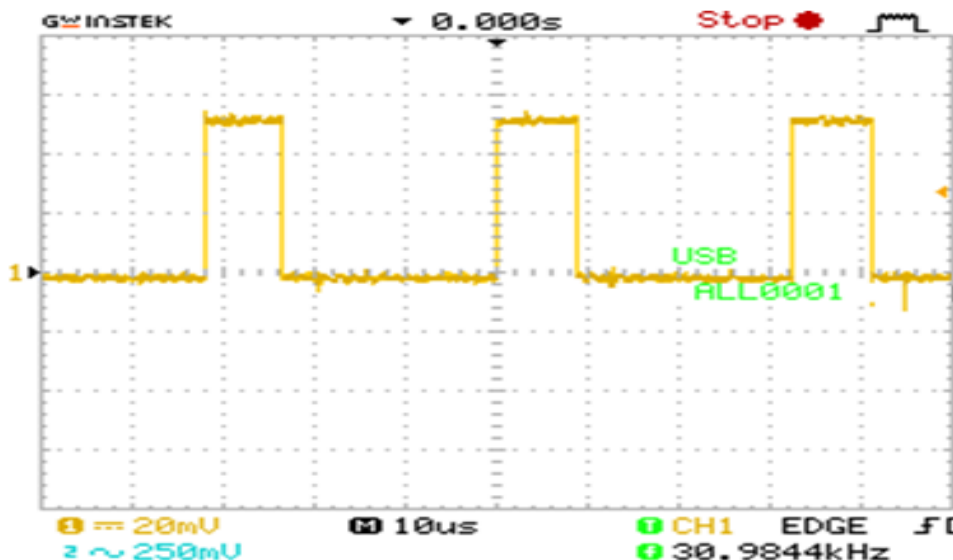
Dalam pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap parameter daya, arus dan tegangan panel surya melalui scope yang ada dalam simulink Matlab, sedangkan pulsa PWM yang dihasilkan pada pin output arduino diamati melalui *oscilloscope digital*. Pengujian sistem kendali MPPT ini dilakukan pada waktu jam 12.00 WIB.



Gambar 7. Hasil eksperimen sistem kendali MPPT

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian sistem kendali MPPT yang dilakukan. Grafik tegangan pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai tegangan *output* panel surya berkisar sekitar 17 Volt pada saat pencarian titik daya maksimum dan berubah sekitar 14 ketika telah mencapai titik daya maksimum. Nilai arus keluaran panel surya juga bervariasi di kisaran 7 Ampere. Grafik daya pada Gambar 7 menunjukkan bahwa daya *output* panel surya dapat mencapai titik maksimum dalam waktu sekitar 15 detik dengan daya maksimum sekitar 105 Watt. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik maksimum ini sudah lebih cepat dibandingkan dengan algoritma PO. Grafik daya pada Gambar 7 juga menunjukkan bahwa riak daya pada titik maksimum juga sudah sangat kecil sekali. Hal ini menunjukkan bahwa tujuan membuat algoritma MPPT dengan FLC telah tercapai dengan baik, dimana algoritma MPPT telah mempercepat waktu mencapai titik maksimum dan meminimalisir riak daya pada titik maksimum. Adanya penurunan daya setelah mencapai titik maksimum mungkin disebabkan oleh perubahan radiasi dan temperatur pada permukaan panel surya.

Kinerja sistem kendali MPPT yang bagus dari algoritma MPPT berbasis FLC tidak terlepas dari bagusnya performansi konverter *boost* dalam mengendalikan tegangan *output* panel surya, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Pengendalian tegangan *output* panel surya ini ditentukan oleh pulsa PWM yang dihasilkan oleh algoritma MPPT. Gambar 8 menunjukkan pulsa PWM yang dihasilkan oleh pin PWM arduino saat sistem kendali MPPT bekerja, dimana pulsa PWM ini bekerja dengan frekuensi *switching* 31 kHz, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Gelombang PWM

KESIMPULAN

Sistem kendali MPPT dirancang untuk mengendalikan daya *output* panel surya agar tetap maksimum pada setiap perubahan radiasi cahaya matahari dan temperatur. Kinerja *system* kendali MPPT ditentukan oleh algoritma MPPT yang digunakan. Dalam penelitian ini diterapkan algoritma MPPT berbasis FLC yang diimplementasikan dengan Arduino untuk mengendalikan daya panel surya 4 x 50 WP. Penggunaan algoritma FLC bertujuan untuk mempercepat algoritma MPPT mencapai titik maksimum dan meminimalisir riak daya pada titik maksimum. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *system* kendali MPPT yang dibuat dengan algoritma FLC telah bekerja dengan baik, dimana algoritma telah mampu mencapai titik daya maksimum dalam waktu 15 detik dengan riak daya yang sangat halus pada titik maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Saravanan and R. Babu, "Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 192-204, 2016.
- [2] R. Fernandes dan M. Yuhendri, "Implementasi Solar Tracker Tanpa Sensor pada Panel Surya," *JTEV*, vol. 6, no. 2, pp. 337-343, 2020.
- [3] A. Dehghanzadeh., G. Farahani., H. Vahedi and K. Al-Haddad, "Model predictive control design for DC-DC converters applied to a photovoltaic system," *Int. Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 103, pp. 537-544, 2018.
- [4] G. Dileep and S. N. Singh, "Selection of non-isolated DC-DC converters for solar photovoltaic system," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 1230-1247, 2017.
- [5] D. Ranny, G., Herri, and R. S. Sri, "Optimasi Pengisian Daya Baterai pada Panel Surya Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT)," *ELECTRICIAN–Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 21-31, 2017.
- [6] Utami, S, "Implementasi Algoritma Perturb and Observe untuk Mengoptimasi Daya Keluaran Solar Cell Menggunakan MPPT di Laboratorium Energi Baru Terbarukan," *Jurnal Infotel*, vol. 9, no. 1, pp. 92-99, 2017.
- [7] H. Masrefol and M. Yuhendri, "Implementasi MPPT Panel Surya Berbasis Algoritma Perturbasi & Observasi (PO) Menggunakan Arduino," *JTEIN : Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 2, no. 2, pp. 162-167, 2020.
- [8] F. Yuniar, R. N. Hasanah, and O. Setyawati, "Pengendalian MPPT Berbasis Metode P&O Menggunakan Boost Converter," *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2017.
- [9] E. R. Dalimunthe, F. Kurniawan, and L. Lasmadi, "Pengaruh Penggunaan Perturb & Observe pada MPPT terhadap Daya Keluaran Sel Surya," *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls*, vol. 1, no. 1, pp. 53-64, 2019.
- [10] A. Huda, and W. Siraju, "Desain Simulasi Maksimum Power Point Tracking Metode P&O Pada Panel Surya Di Azzahra Hidroponik Juata Tarakan," *Elektrika Borneo*, vol. 7, no. 1, pp. 5-10, 2021.
- [11] D. N. Prakoso, A. Afandi, M. Arrijal, R. Abdurrahman, and N. A. Windarko, "Perbandingan Metode MPPT Incremental Conductance Incremental Resistance dan Hill Climbing dengan PSIM," *JETRI: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 17, no. 2, pp. 175-190, 2020.
- [12] G. S. Putra and M. Yuhendri, "Implementasi system kendali MPPT panel surya berbasis algoritma incremental conductance," *JTEIN : Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 1, pp. 218-223, 2020.
- [13] I. Winarno, M. Marauli, "Implementasi maximum power point tracker (MPPT) untuk optimasi daya pada panel surya berbasis algoritma incremental conductance," *Semnasteknomedia online*, vol. 6, no. 1, pp. 1-10, 2018.
- [14] H. R. Iskandar, Y. B. Zainal, S. Sambasri, and M. H. Y. Ernanda, "Algoritma Incremental Conductance dan Perturbation Observation Sebagai Kendali MPPT PLTS 1000 WP," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 19, no. 2, pp. 79-89, 2020.
- [15] A. Faizal and B. Setyaji, "Desain Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Panel Surya Menggunakan Metode Sliding Mode Control," *J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 14, no. 1, pp. 22-31, 2016.
- [16] H. Suryoatmojo, F. A. Hazmi, D. C. Riawan, and R. Mardiyanto, "Desain MPPT Berbasis Kontrol Logika Fuzzy Untuk Aplikasi Pesawat Terbang Tanpa Awak Bertenaga Surya," *APPROACH, Aviat. Technol. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 40-48, 2017.