

IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC CONTROL* PADA PELACAKAN PANEL SURYA

IMPLEMENTATION OF *FUZZY LOGIC CONTROL* ON SOLAR PANEL TRACKING

Angga Juliat Adi Saputra¹, Bayu Erfianto², Mas'ud Adhi Saputra³, Sidik Prabowo^{4*},
Novian Anggis Swastika⁵

^{1,2,4,5}Universitas Telkom, Jalan Telekomunikasi No. 1, Kabupaten Bandung

³Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Jalan Sangkuriang No. 14, Kota Bandung

Diterima: 15 April 2019

Direvisi: 6 Mei 2019

Disetujui: 28 Mei 2019

ABSTRAK

Panel surya dinamis yang dilengkapi sistem pelacakan dengan metoda *fuzzy* telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerjanya. Dalam panel surya dengan sistem pelacakan ini, tegangan dan arus dari panel surya digunakan sebagai *input* untuk *fuzzy algorithms*. Dari pengamatan selama tujuh hari, panel surya dinamis dan statis menghasilkan berturut-turut tegangan tertinggi 21,65 V dan 20,13 V, serta arus 0,58 A dan 0,54 A. Panel surya dinamis dapat menghasilkan tegangan rata-rata 19% dan arus rata-rata 16% lebih tinggi daripada panel surya statis. Lama waktu pengisian baterai pada panel surya dinamis satu jam lebih singkat daripada panel surya statis.

Kata Kunci: panel surya, *fuzzy logic*, mikrokontroler, motor servo.

ABSTRACT

A dynamic solar panel equipped with a fuzzy-method tracking system has been developed to improve its performance. In this solar panel with tracking system, the voltage and current of the solar panels were used as inputs for the fuzzy algorithms. From observations for seven days, dynamic and static solar panels produced the highest voltage of 21.65 V and 20.13 V, as well the highest current of 0.58 A and 0.54 A respectively. Dynamic solar panel could produce an average voltage of 19% and an average current of 16% higher than static solar panels. The length time of battery charging on a dynamic solar panel was one hour shorter than that of static solar panel.

Keywords: solar panel, *fuzzy logic*, microcontroller, servo motor.

PENDAHULUAN

Energi listrik dari sinar matahari melalui *solar photovoltaic* (PV) merupakan salah satu alternatif yang populer pengganti listrik dari pembangkit dengan bahan bakar fosil. Listrik dari tenaga matahari ini menarik karena ketersediaan sumber energinya terjangkau dan biaya operasionalnya rendah, yaitu di bawah 1 USD per watt [1,2]. Panel sel surya statis umumnya menghasilkan listrik kurang lebih 4,5 kWh/hari/m² (tergantung pada lokasi di permukaan bumi). Jumlah energi listrik yang dibangkitkan tersebut dapat ditingkatkan dengan

membuat panel surya untuk bergerak mengikuti matahari. Beberapa penelitian tentang pelacakan panel surya dilakukan sejak tahun 2000. Misalnya Poulek dkk memanfaatkan rotor dinamis untuk menggerakkan panel surya atas dasar panas yang diterima [3]. Akurasi sistem ini masih sangat rendah karena sangat tergantung pada panas yang didapatkan.

Chung dkk memanfaatkan *Maximum Power Point* (MPP) untuk mendapatkan posisi panel surya yang lebih akurat [4, 5]. Penelitian integrasi MPP dengan *high-performance algorithms* dilakukan oleh Pandey dkk [6]. Pada penelitian tersebut, beberapa kegiatan masih

*Corresponding author :

Email: pakwowo@telkomuniversity.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v9i1.107>

dilakukan manual, misalnya pencatatan dan perbaikan konfigurasi jika terjadi ketidak-tepatan pembacaan.

Chekired dkk memanfaatkan komunikasi antar mesin (M2M) dengan memanfaatkan perangkat *FPGA* sirkuit [7]. Huynh dan Dunnigan mengembangkan algoritma kontrol dengan menggabungkan *Solar Tracker* (ST) dan MPP untuk meningkatkan akurasi pelacakan [8]. Sumathi dkk membahas metode pelacakan pada *passive* dan *active tracker* [1].

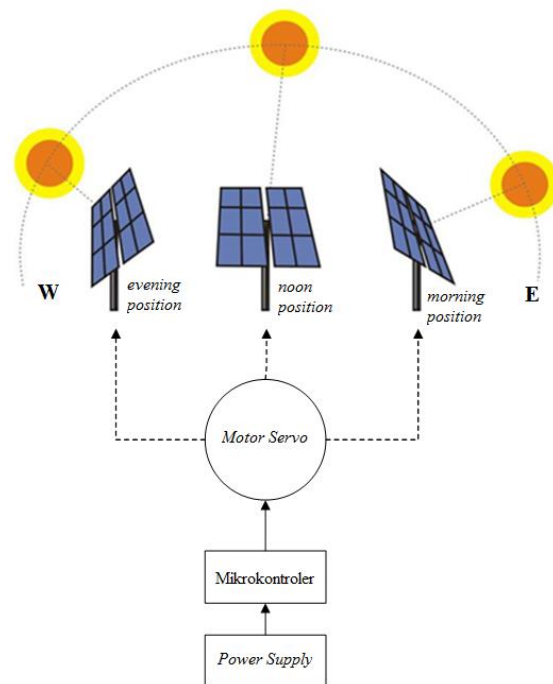
Dari penelitian-penelitian yang dilakukan berbasis komunikasi M2M pada jaringan internet, *MPP Tracking* (MPPT) memberikan hasil yang paling optimal dari segi energi yang didapatkan. Implementasi MPPT dengan berbagai jenis algoritma berbasis kecerdasan artifisial mengoptimalkan pergerakan panel surya. Namun beberapa hal yang menjadi perhatian adalah daya dan kemampuan perangkat untuk melakukan komputasi yang menghasilkan keterlambatan (*delay*) minimal gerakan rotor pada panel surya.

Pada penelitian ini diusulkan implementasi *solar tracker* berdasarkan MPPT dengan menggunakan algoritma *decision* yaitu algoritma *fuzzy* yang memiliki kompleksitas rendah sehingga tidak membebani sistem. Algoritma *fuzzy* ini diimplementasikan pada mikrokontroler berbasis Arduino. *Fuzzy* yang digunakan akan memanfaatkan nilai tegangan dan arus yang timbul dari PV sebagai acuan untuk mengubah posisi panel surya dinamis agar mendapatkan radiasi matahari yang lebih tinggi daripada panel surya statis.

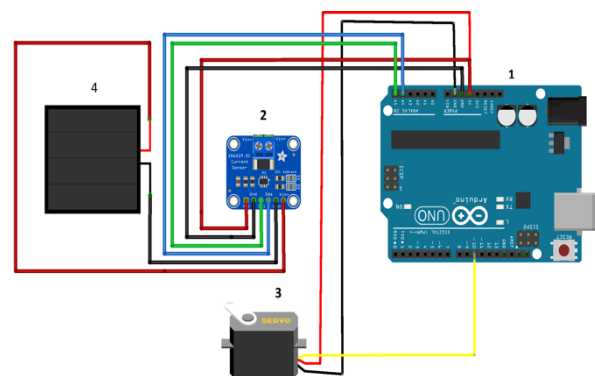
BAHAN DAN METODE

Sistem yang dibangun dalam penelitian ini merupakan pelacakan panel surya terhadap matahari menggunakan mikrokontroler. Pengendalian panel surya menggunakan motor servo dan dilakukan berdasarkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya. Pengambilan nilai tegangan dan arus pada panel surya menggunakan Modul INA219. Tegangan dan arus panel surya dijadikan *input* dalam proses *logic control* menggunakan *fuzzy*. Tahap pertama dalam *Fuzzy Logic Control* yang diterapkan dalam sistem ini adalah data *input* akan masuk dalam proses fuzzifikasi. Kemudian akan dilakukan defuzzifikasi sesuai dengan *rule* yang telah dibuat. Skema dasar sistem pelacakan panel surya menggunakan *fuzzy logic control*

disajikan pada Gambar 1. Purwarupa rangkaian komponen disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema Sistem Pelacakan Sel Surya

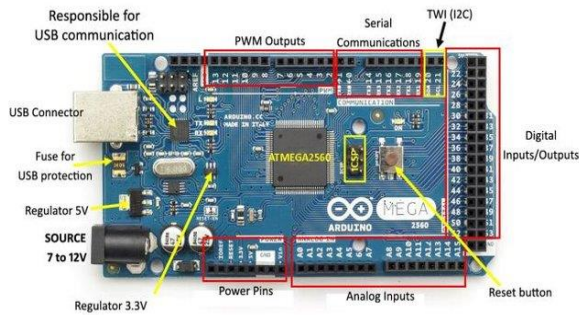


Gambar 2. Rangkaian Komponen Sistem Pelacakan Sel Surya

Sistem pelacakan sel surya terdiri dari empat komponen utama berikut ini.

Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi sebagai pengendali rangkaian elektronik. Pada umumnya Mikrokontroler juga dapat digunakan untuk menyimpan program sederhana [9].



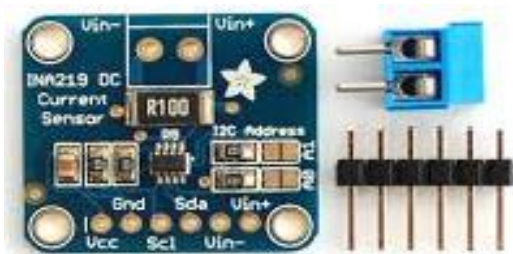
Gambar 3. Layout Mikrokontroler Arduino Mega 2560[10]

Pada penelitian ini, mikrokontroler yang digunakan adalah tipe Arduino Mega 2560 dengan *layout* seperti disajikan pada Gambar 3. Tipe ini dipilih karena menyediakan memori yang lebih besar dibandingkan seri Arduino UNO R3, serta tersedia lebih dari satu serial port [10].

Mikrokontroler ini digunakan sebagai tempat pengendalian (*control*) program yang telah dibuat untuk kemudian berhubungan dengan aktuator. Pada mikrokontroler ini, terdapat beberapa *pin*, yaitu : analog, 5V, dan GND. *Pin* analog digunakan untuk pembacaan nilai pada sensor arus.

Sensor Arus dan Tegangan

Proses pelacakan didasarkan pada sensor arus dan sensor tegangan yang hasilnya akan digunakan oleh *fuzzy system* sebagai masukan (*input*).



Gambar 4. Modul INA219[11]

DC Sensor *Breakout* INA219 digunakan untuk menghitung nilai arus dan nilai tegangan suatu sumber energi. Modul ini dapat membaca tegangan hingga 26 V dan arus hingga 3,2 A. *Input power* yang diterima oleh modul ini adalah 3,3 – 5,0 V. *Pinout* pada DC Sensor *Breakout* ini ditunjukkan pada Tabel 1 [12].

Tabel 1. Pinout DC Sensor Breakout

Pinout	Input/Output	Deskripsi
Vin +	Analog Input	Input tegangan positif
Vin -	Analog Input	Input tegangan negatif
Vcc	Analog	Power supply 3,3-5V
GND	Analog	Ground
Scl	Digital Input	Serial bus clock line
Sda	Digital I/O	Serial bus data
A0	Digital Input	Address pin
A1	Digital Input	Address pin

Motor Servo

Motor servo berfungsi sebagai aktuator putar yang memungkinkan kontrol posisi sudut yang tepat. Motor servo terdiri dari motor yang disambungkan pada sensor sebagai umpan balik posisi. Motor servo biasanya hanya bisa berputar 90° ke arah manapun dengan gerakan 180° (Gambar 5).



Gambar 5. Motor Servo

Motor servo dikontrol dengan mengirimkan sinyal (*pulse*) dengan *variable width* atau *pulse width modulation* (PWM), melalui kabel kontrol. Motor servo ini memiliki tiga pin yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler. Pin tersebut terdiri dari GND, VCC, dan Signal. Pin signal dapat dihubungkan dengan pin PWM yang terdapat pada mikrokontroler [13].



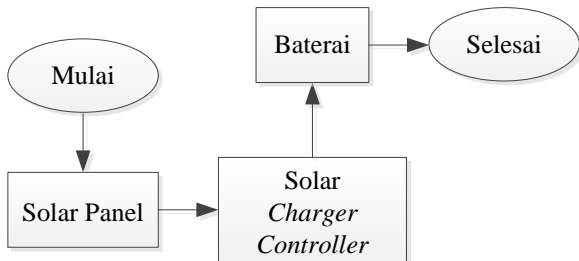
Gambar 6. Panel Surya

Panel Surya

Sebuah panel surya adalah kumpulan sel surya (atau *photovoltaic*) yang menghasilkan listrik dari sinar matahari melalui efek *photovoltaic*. Sel-sel ini disusun dalam pola

seperti grid pada permukaan panel surya (Gambar 6).

Diagram alur penyimpanan daya dari panel surya ke baterai disajikan pada Gambar 7. Pengisian daya pada baterai menggunakan *Solar Charger Controller* agar pengisian baterai tidak sampai *overcharging*.



Gambar 7. Alur Penyimpanan Daya

Alur pembacaan nilai tegangan dan nilai arus pada panel surya yang menggunakan *Sensor DC Breakout* dijelaskan pada Gambar 8. Sensor yang sudah dihubungkan dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai manajemen (*deploy*) program. Panel surya langsung dihadapkan pada matahari, sensor akan membaca nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan untuk kemudian dikirimkan ke mikrokontroler.

Data hasil pembacaan sensor, selanjutnya digunakan sebagai *input* untuk *fuzzy control* yang digunakan dalam sistem pelacakan. *Fuzzy logic* merupakan salah satu bentuk teori yang dapat digunakan untuk menangani masalah ketidakpastian dimana informasi yang diperoleh sifatnya kualitatif, sehingga sulit untuk diproses [14].

Sistem yang dibangun memiliki *output* acuan, yaitu tegangan yang bernilai 20,64 V dan nilai arus 0,65 A. Ketika nilai-nilai tersebut tidak dihasilkan oleh panel surya, maka *fuzzy controller* yang telah dibangun dalam mikrokontroler bekerja. Selanjutnya, *fuzzy controller* mengirim sinyal ke motor servo. Diagram *fuzzy logic* sistem pelacakan panel surya disajikan pada Gambar 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

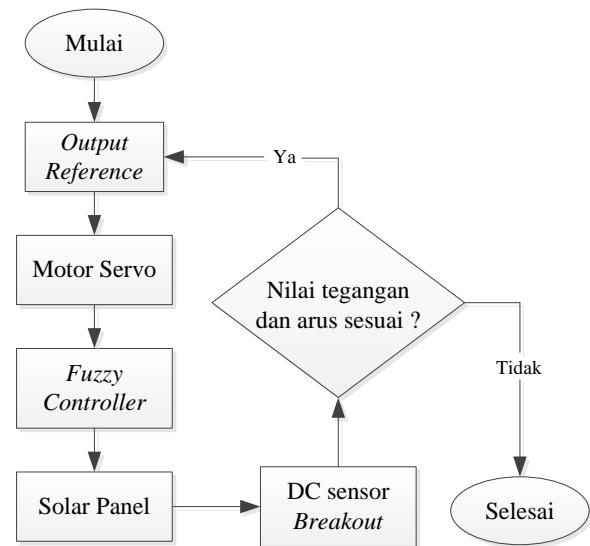
Variabel minimum dan maksimum yang digunakan sebagai *input* untuk *fuzzy rules* disajikan pada Tabel 2.

Nilai minimum dihasilkan ketika matahari sudah menjauhi posisi panel surya. Sedangkan untuk nilai maksimum adalah kondisi

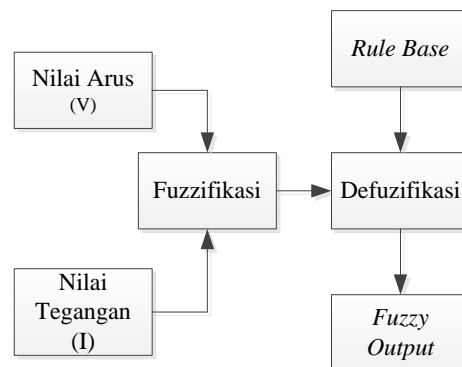
ketika panel surya tepat menghadap matahari dan saat kondisi siang hari. Pada kondisi ini, nilai tegangan dan arus akan mencapai nilai maksimum.

Tabel 2. *Fuzzy Variables*

Variabel	Function	Minimum Value	Maximum Value
Tegangan, V	Input	10	19,76
Arus, A	Input	260	530
Output membership	Output	0	1



Gambar 8. Blok Diagram Pembacaan Tegangan dan Arus



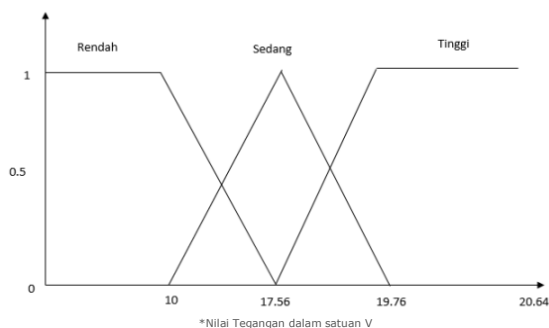
Gambar 9. *Fuzzy Logic Control Method*

Pada penelitian ini kurva *membership function* yang digunakan dalam sistem *fuzzy* adalah kurva segitiga dan trapesium. Penggunaan jenis kurva ini didasarkan bahwa sistem pelacakan dibuat dengan operator “AND”. Dengan dua *input* yaitu nilai tegangan dan nilai

arus, kurva segitiga dan trapesium sangat tepat untuk digunakan operasi himpunan *fuzzy* dengan operator “AND”.

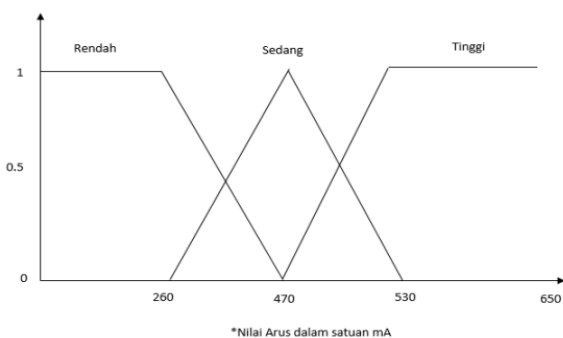
Pemilihan nilai-nilai parameter *membership function* pada tegangan dan arus berkaitan dengan proses pengisian baterai dengan *Solar Charger Controller* yang memiliki spesifikasi tertentu, yaitu tegangan 13 V. Jika tegangan yang dihasilkan atau tegangan *input* tidak mencapai batas tersebut maka *Solar Charger Controller* tidak akan berfungsi dalam pengisian baterai. Nilai parameter pada arus ditentukan untuk mendapatkan nilai rata-rata arus yang baik selama proses pengisian baterai. Jika nilai arus yang dihasilkan atau rata-rata arus semakin kecil, maka waktu pengisian makin lama. Oleh karena itu, batas terendah tegangan ditentukan 10 V dan batas terendah arus 260 mA.

Pemilihan parameter sedang dan tinggi adalah nilai yang memungkinkan *Solar Charger Controller* untuk melakukan pengisian baterai. Grafik *membership function* tegangan dan arus disajikan pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10. Membership Function Tegangan

Setelah proses fuzzifikasi dan penentuan *membership function* dari dua *input* maka didapatkan *rule* yang diimplementasikan ke dalam mikrokontroler (disajikan pada Tabel 3).



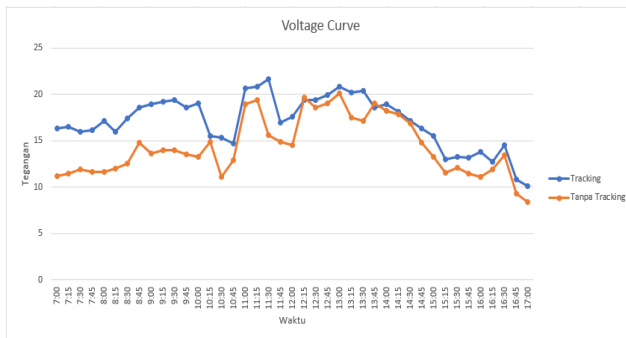
Gambar 11. Membership Function Arus

Tabel 3. Fuzzy Rules

- | | |
|----|---|
| a. | IF nilai tegangan RENDAH AND nilai arus RENDAH THEN Motor servo BERPUTAR 20°; |
| b. | IF nilai tegangan RENDAH AND nilai arus SEDANG THEN Motor servo TETAP; |
| c. | IF nilai tegangan RENDAH AND nilai arus TINGGI THEN Motor servo TETAP; |
| d. | IF nilai tegangan SEDANG AND nilai arus RENDAH THEN Motor servo TETAP; |
| e. | IF nilai tegangan SEDANG AND nilai arus SEDANG THEN Motor servo TETAP; |
| f. | IF nilai tegangan SEDANG AND nilai arus TINGGI THEN Motor servo TETAP; |
| g. | IF nilai tegangan TINGGI AND nilai arus RENDAH THEN Motor servo TETAP; |
| h. | IF nilai tegangan TINGGI AND nilai arus SEDANG THEN Motor servo TETAP; |
| i. | IF nilai tegangan TINGGI AND nilai arus TINGGI THEN Motor servo TETAP; |

Setelah diperoleh *fuzzy rule*, kemudian dilanjutkan dengan proses pengujian. Pengujian dilakukan dengan membandingkan daya listrik (nilai tegangan dan nilai arus) panel surya dengan pelacakan terhadap yang statis. Pengujian dilakukan selama 7 (tujuh) hari. Pengujian dilakukan pada saat cuaca cerah dan di tempat yang lapang tidak terhalangi oleh gedung atau benda lainnya. Pengambilan data dilakukan setiap hari antara pukul 07:00 - 17:00. Pencatatan data dilakukan setiap 15 menit. Nilai tegangan maksimum yang bisa didapatkan oleh panel surya ini adalah 20,82 Volt.

Pada Gambar 12 dapat dilihat nilai tegangan rata-rata hasil panel surya dinamis (dengan pelacakan) lebih besar daripada yang statis. Hal ini, jelas akibat panel surya dengan pelacakan selalu menghadap langsung pada matahari. Pada rentang pukul 11:00 - 13:00, panel surya mendapatkan nilai tegangan mendekati nilai maksimum. Nilai tegangan berfluktuasi dikarenakan perubahan cuaca. Tetapi terlihat bahwa nilai rata-rata tegangan panel surya dinamis 19% lebih besar daripada yang statis. Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata tegangan disajikan pada Tabel 4.

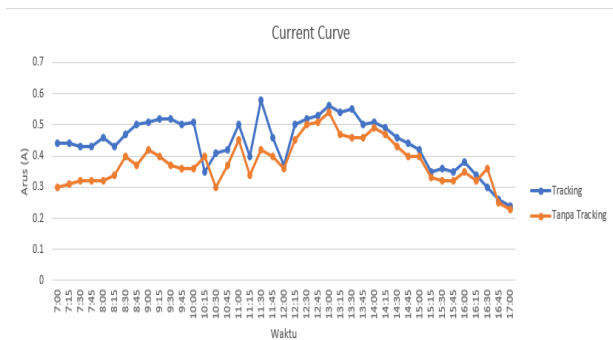


Gambar 12. Nilai Tegangan Rata-rata Panel Surya Dinamis vs. Statis Data Tiap 15 Menit, Antara pkl 07:00-17:00

Tabel 4. Nilai Maksimum, Minimum dan Rata-rata Tegangan

Tegangan	Pelacakan	Statis
Maksimal	21,65	20,13
Minimal	10,14	8,43
Rata-rata	17,06	14,39

Sebagaimana karakteristik tegangan, nilai arus yang dihasilkan oleh panel surya dinamis dan statis disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Nilai Perbandingan Arus Rata-rata Panel Surya Dinamis vs. Statis Data Tiap 15 Menit, Antara pkl 07:00-17:00

Nilai arus maksimum yang bisa didapatkan oleh panel surya dinamis adalah 580 mA atau 0,58 A. Nilai arus rata-rata hasil panel surya dinamis lebih mendekati nilai maksimum dibandingkan terhadap yang dari panel surya statis. Pada kisaran pukul 14:00 terjadi penurunan nilai arus yang dihasilkan pada kedua sistem, karena matahari pada saat tersebut sudah tidak terlalu menghasilkan panas yang tinggi.

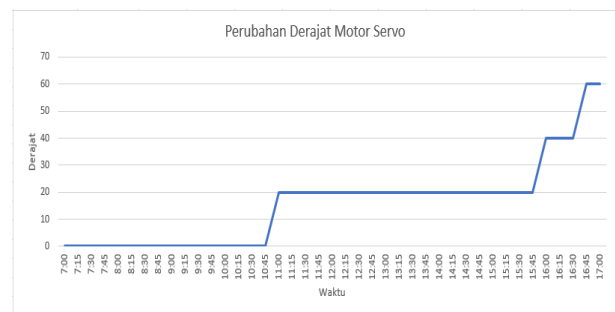
Nilai arus yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai tegangan yang dihasilkan, jika tegangan makin besar maka arus yang dihasilkan akan semakin besar juga. Tetapi dengan menggunakan system pelacakan, nilai rata-rata nilai arus 16% lebih besar dibandingkan terhadap

panel surya statis. Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata arus disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Maksimum, Minimum dan Rata-rata Arus

Arus	Dinamis	Statis
Maksimal	0,58	0,54
Minimal	0,24	0,23
Rata-rata	0,445122	0,382683

Pergerakan motor servo disajikan pada Gambar 14. Pada saat pukul 11:00, motor servo berputar sebesar 20° karena disebabkan adanya penurunan nilai tegangan yang mencapai nilai minimum. Hal ini akan terus terjadi apabila *output* yang diterima mencapai nilai minimum. Jika *output* yang diterima mencapai titik sedang atau tinggi, maka motor servo akan diam pada posisi terakhir.



Gambar 14. Pergerakan Motor Servo Data Tiap 15 menit, Antara pkl 07:00-17:00

Penelitian ini menggunakan panel surya dengan ukuran 10 Wp dan baterai baterai accu 12V/10Ah. Baterai memiliki efisiensi dalam pengisian sebesar 10%. Pengisian baterai menggunakan *Solar Charger Controller* agar tidak terjadi *overcharge*. *Solar Charger Controller* memiliki beban maksimal sebesar 120 W dengan minimum tegangan 11,2 V. Dapat dikatakan, *Solar Charger Controller* tidak akan berfungsi ketika mencapai nilai tersebut. Lama waktu pengisian baterai terhitung (kapasitas baterai dibagi kuat arus) disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Waktu Pengisian Baterai

Perbandingan	Dinamis	Statis
Rata-rata Arus	0,433	0,419
Waktu yang dibutuhkan	22 jam	23 jam

Lama waktu pengisian baterai setiap hari adalah 11 jam. Rata-rata persentase kenaikan dari sistem statis terhadap yang dinamis (dengan sistem pelacakan) adalah 8%.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Panel surya dinamis dengan sistem pelacakan telah dibangun dan diuji. Hasil kinerjanya telah dibandingkan terhadap kinerja panel surya statis, dengan kesimpulan berikut ini.

1. Di dalam panel surya dinamis, fuzzy logic dengan *input* nilai tegangan dan nilai arus dari panel surya dapat digunakan untuk mengendalikan motor servo.
2. Dengan sistem pelacakan, panel surya dinamis dapat menghasilkan nilai tegangan panel surya 19% lebih optimal daripada panel surya statis.
3. Panel surya dinamis menghasilkan nilai arus 16% lebih optimal daripada sistem statis.
4. Lama waktu pengisian baterai accu panel surya dinamis 1 jam lebih cepat daripada pengisian panel surya statis.

B. Saran

Dalam pengembangan selanjutnya, hal-hal berikut ini perlu dipertimbangkan.

1. Pencatatan dan penghitungan daya dilakukan dengan sebuah aplikasi tersendiri agar pengguna mudah untuk mengetahui daya yang masuk ke dalam dalam baterai.
2. Pemilihan mikrokontroler dan motor servo yang menggerakkan panel surya harus memiliki spesifikasi yang efisien terhadap daya yang digunakan.
3. Sistem monitoring perlu diciptakan untuk dapat diakses oleh pihak lain yang berkepentingan agar daya yang dihasilkan dapat berfungsi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Sumathi, R. Jayapragash, A. Bakshi, and P. Kumar Akella, "Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 74, no. July, pp. 130–138, 2017.
- [2] C. J. Yang, "Reconsidering solar grid parity," *Energy Policy*, vol. 38, no. 7, pp. 3270–3273, 2010.
- [3] V. Poulek and M. Libra, "New solar tracker," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 51, no. 2, pp. 113–120, 1998.
- [4] K. K. Tse, M. T. Ho, H. S. H. Chung, and S. Y. R. Hui, "A novel maximum power point tracker for PV panels using switching frequency modulation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 17, no. 6, pp. 980–989, 2002.
- [5] H. S. H. Chung, K. K. Tse, S. Y. Ron Hui, C. M. Mok, and M. T. Ho, "A novel maximum power point tracking technique for solar panels using a SEPIC or Cuk converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 3, pp. 717–724, 2003.
- [6] A. Pandey, N. Dasgupta, and A. K. Mukerjee, "High-performance algorithms for drift avoidance and fast tracking in solar MPPT system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 681–689, 2008.
- [7] F. Chekired, C. Larbes, D. Rekioua, and F. Haddad, "Implementation of a MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems on FPGA circuit," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 541–549, 2011.
- [8] D. C. Huynh and M. W. Dunnigan, "Development and comparison of an improved incremental conductance algorithm for tracking the MPP of a solar PV panel," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1421–1429, 2016.
- [9] M. A. Kumar, S. A. K. Jilani, U. Sreenivasulu, and S. J. Hussain, "Automated Color Recognition System for Visually Challenged and Achromatopsia People using Arduino and Mobile App," *Int. J. Adv. Res. Electron. Commun. Eng.*, vol. 4, no. 8, pp. 2106–2110, 2015.
- [10] M. D. Khairunnas, E. Ariyanto, and S. Prabowo, "Design and implementation of smart bath water heater using Arduino," in *2018 6th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2018*, 2018.
- [11] Lady Ada, "Adafruit INA219 Current Sensor Breakout Why the High Side", Adafruit learning system, 2019.
- [12] "Zero-Drift, Bi-Directional CURRENT /POWER MONITOR with I²C™ Interface Check for Samples: INA219 1FEATURES," 2008.
- [13] "Hobby Servo Tutorial - learn.sparkfun.com."
- [14] L. A. Zadeh, "Fuzzy algorithms," *Inf. Control*, vol. 12, no. 2, pp. 94–102, 1968.

