

RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER SUMBU TUNGGAL BERBASIS MOTOR STEPPER DAN REAL TIME CLOCK

¹Septian Ari Kurniawan, ²Mohammad Taufik

^{1,2}Departemen Teknik Elektro Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21, Kabupaten Sumedang, Indonesia

¹septian15003@mail.unpad.ac.id, ² m.taufik@unpad.ac.id

Abstrak

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi listrik. Salah satu cara yang paling umum digunakan adalah menggunakan fotovoltaik (PV). Namun, hambatan terbesar dari penggunaan PV adalah efisiensi konversi yang rendah. Salah satu solusi untuk mengatasi hambatan tersebut adalah menggunakan solar tracker. Solar tracker adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari. Penelitian ini menitikberatkan pada pembuatan purwarupa solar tracker sumbu tunggal dan membandingkan kinerjanya dengan panel surya statis. Pengujian peningkatan efisiensi diwakilkan dengan pengukuran tegangan open circuit (V_{OC}) dan arus short circuit (I_{SC}) untuk kedua panel. Purwarupa solar tracker sumbu tunggal yang dibuat menggunakan sebuah motor stepper KS42STH40-1204A yang bergerak sesuai dengan pewaktuan real time clock (RTC) DS3231. Nilai V_{OC} yang diperoleh, menunjukkan terjadi peningkatan sebesar 4,83% pada solar tracker dibandingkan dengan panel surya statis, sedangkan nilai I_{SC} pada solar tracker lebih rendah 11,11% dibandingkan dengan panel surya statis.

Kata Kunci: energi terbarukan, motor stepper, panel surya, solar tracker

Abstract

Solar energy is a renewable energy source that can be converted into electricity. One of the most common ways to convert it is using photovoltaic (PV). However, the biggest obstacle to using PV is its low conversion efficiency. One solution to this obstacle is to use a solar tracker. Solar tracker is a device that can help solar panels to maximize the capture of solar radiation by making solar panels always facing (perpendicular) to the sun. This research focuses on making a prototype single axis solar tracker and comparing its performance with a static solar panel. The efficiency improvement test was represented by measuring the open circuit voltage (V_{OC}) and short circuit current (I_{SC}) for both panels. A prototype of single axis solar tracker that has been created uses a KS42STH40-1204A stepper motor which moves according to the DS3231 real time clock (RTC) timing. The V_{OC} value obtained shows an increase of 4.83% in the solar tracker compared to static solar panels. However, the I_{SC} value on the solar tracker is 11.11% lower than static solar panels.

Keywords: renewable energy, solar panel, solar tracker, stepper motor

PENDAHULUAN

Energi adalah kebutuhan mendasar bagi manusia yang penggunaan dan harganya cenderung meningkat. Faktor-faktor tersebut menyebabkan perlunya untuk menggunakan

sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui dalam waktu singkat dan memiliki dampak lingkungan yang minimum [1], [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat dan berlimpah jumlahnya adalah energi matahari. Bumi memperoleh

16×10^{18} Joule dari matahari setiap tahunnya, yang setara dengan 20.000 kali dari kebutuhan seluruh umat manusia di bumi [3]. Indonesia merupakan sebuah negara yang terletak di khatulistiwa memperoleh energi matahari sebanyak 4,8-6,0 kWh/m² tiap tahunnya [4]. Potensi energi matahari Indonesia adalah sebesar 207.898 MW, tetapi baru 78,5 MW yang digunakan [5].

Energi yang berasal dari matahari dapat dikonversi menjadi listrik dalam beberapa cara, salah satu cara yang paling umum digunakan saat ini adalah fotovoltaik (PV). Namun, kendala utama dari PV adalah rendahnya efisiensi. Salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah menggunakan *solar tracker* [6]. *Solar tracker* adalah sebuah perangkat yang dapat membantu panel surya untuk memaksimalkan penangkapan radiasi matahari dengan cara membuat panel surya selalu menghadap (tegak lurus) matahari [2], [6]-[8]. Pada panel surya statis atau sumbu tetap, penangkapan radiasi matahari secara maksimum dapat dicapai dengan mengoptimalkan arah dan kemiringan dari panel itu sendiri secara manual. Arah dan kemiringan panel yang optimal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lokasi dan musim di tempat tersebut [9]-[11]. Penelitian-penelitian terkait *solar tracker*, baik sumbu tunggal maupun ganda, menunjukkan adanya peningkatan keluaran panel surya yang nilainya bervariasi [2], [12]-[14].

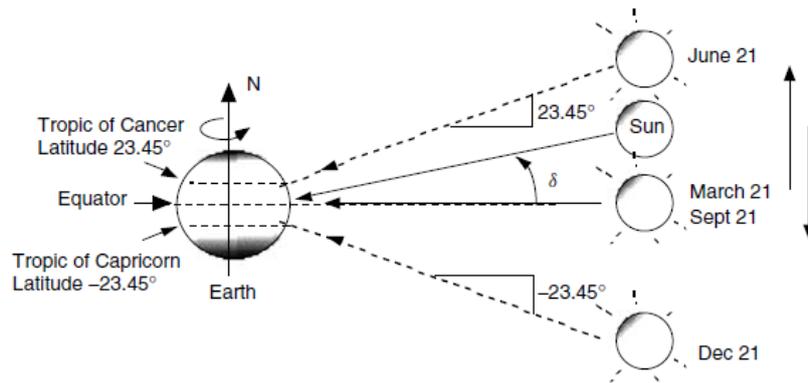
Penelitian ini bertujuan untuk membuat

purwarupa *solar tracker* sumbu tunggal. Penggunaan *solar tracker* sumbu tunggal dipilih dengan memperhatikan sisi keluaran yang dihasilkan oleh panel surya dan biaya yang diperlukan [1]. Selain itu, letak Indonesia yang berada di khatulistiwa menyebabkan pergerakan matahari yang tidak terlalu signifikan apabila dibandingkan dengan negara yang terletak di luar lingkaran tropis. Keluaran dari *solar tracker* ini kemudian dibandingkan dengan sebuah panel yang diam (statis) sebagai variabel kontrol untuk melihat unjuk kerja dari *solar tracker*.

METODE PENELITIAN

Pergerakan harian maupun tahunan dari matahari disebabkan oleh sumbu rotasi bumi yang miring sejauh $\pm 23,45^\circ$ dari bidang ekuatorial. Kemiringan ini yang menyebabkan terjadinya pergantian musim dalam setahun. Pergerakan matahari dalam setahun dikenal dengan gerak semu tahunan matahari. Gambar 1 merupakan sebuah ilustrasi yang menunjukkan perpindahan semu matahari terhadap bumi. [15]

Terlihat pada Gambar 1, sudut yang terbentuk antara bidang ekuator dan sebuah garis yang ditarik dari pusat matahari ke pusat bumi disebut deklinasi bumi. Nilai sudut ini bervariasi antara $\pm 23,45^\circ$, dan sebuah hubungan sinusoidal yang mengasumsikan jumlah hari dalam setahun adalah 365 dan *equinox* musim semi berada pada hari ke-81 ($n=81$).



Gambar 1. Perpindahan semu matahari terhadap bumi [15]

Tabel 1. Sudut deklinasi matahari pada saat pengambilan data

Tanggal	07/02/19	08/02/19	09/02/19	10/02/19	11/02/19
n	38	39	40	41	42
δ	-15,82°	-15,52°	-15,21°	-14,90°	-14,59°

Penghitungan sudut deklinasi ini sesuai dengan persamaan 1. [15]

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365}(n-81)\right) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan 1, diperoleh sudut deklinasi matahari selama pengambilan data yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Berdasarkan uraian di atas, proses penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan utama, yakni perancangan *hardware*, perancangan *software*, dan pengukuran atau pengujian.

PERANCANGAN *HARDWARE*

Solar tracker yang dibuat hanya memiliki sebuah sumbu yang berfungsi untuk mengikuti ketinggian matahari yang diukur dari horizon. Sistem ini menggunakan motor *stepper* sebagai aktuator. Motor *stepper* digunakan karena biasa diaplikasikan pada

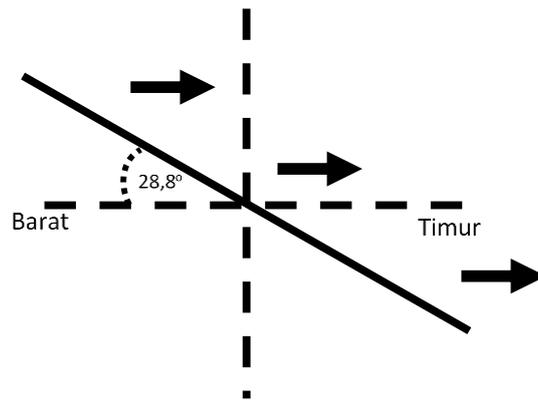
sistem-sistem yang membutuhkan pergerakan dengan tingkat presisi tertentu [16]. Sistem ini tidak menggunakan sensor, melainkan menggunakan sebuah sistem pewaktuan eksternal (*real time clock* (RTC)). RTC adalah sebuah rangkaian terpadu yang menyediakan, dan menyimpan, sistem pewaktuan (detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun) untuk digunakan pada sistem-sistem yang berhubungan dengan waktu sebenarnya (*real time*) [17], [18]. Keseluruhan sistem akan dikendalikan oleh sebuah mikrokontroler Arduino Uno yang merupakan mikrokontroler berbasis Atmega328 yang bersifat *open source* dan mudah untuk diaplikasikan dalam sistem kontrol [1].

Panel *solar tracker* akan bergerak tiap 30 menit yang bekerja dimulai pukul 08.00 WIB dan berakhir pada 16.30 WIB. Oleh karena itu, terbentuklah 16 langkah setiap harinya dimana tiap langkah sebesar 3,60°. Gambar 2 menunjukkan orientasi panel pada

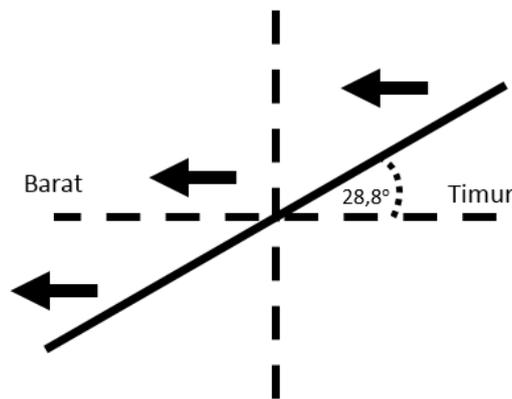
pukul 08.00 WIB dan Gambar 3 menunjukkan orientasi panel pada pukul 16.30 WIB.

Untuk panel surya statis, panel akan menghadap utara. Arah ini dipilih karena Kecamatan Jatinangor terletak pada belahan selatan Bumi. Panel ini akan dipasang dengan

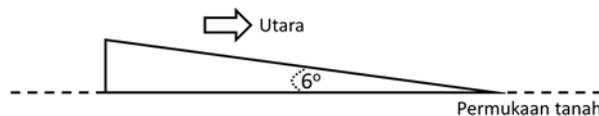
kemiringan 6° . Hal ini dikarenakan Kecamatan Jatinangor terletak pada $6,9^\circ$ lintang selatan (LS). Nilai dari koordinat lintang tersebut di-kalikan dengan 0,87 karena derajat lintangnya kurang dari 25° [19]. Ilustrasi instalasi panel surya sumbu tetap terdapat pada Gambar 4.



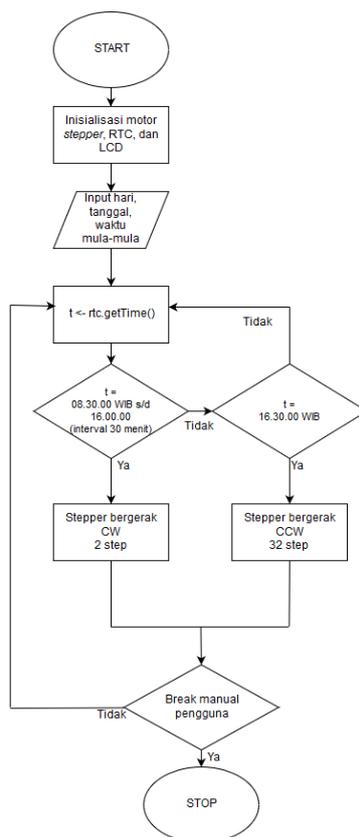
Gambar 2. Orientasi panel solar tracker pada pukul 08.00 WIB



Gambar 3. Orientasi panel solar tracker pada pukul 16.30 WIB



Gambar 4. Orientasi panel surya statis



Gambar 5. Diagram alir program

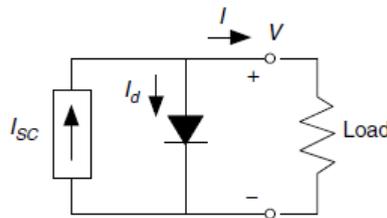
PERANCANGAN SOFTWARE

Program dimulai dengan mengatur hari, tanggal, dan waktu mula-mula untuk RTC. Selama RTC berjalan, terdapat beberapa waktu yang akan digunakan sebagai kondisi yang akan menentukan pergerakan motor *stepper*. Apabila sistem pewaktuan RTC menunjukkan pukul 08.30.00 WIB; 09.00.00 WIB; 09.30.00 WIB; ...; dan 16.00.00 WIB, maka motor *stepper* akan berputar sebanyak 2 langkah searah jarum jam. Namun, ketika pewaktuan RTC menunjukkan pukul 16.30.00 WIB motor *stepper* akan bergerak 32 langkah berlawanan arah jarum jam untuk mengembalikan orientasi panel surya ke posisi semula. Gambar 5 menunjukkan diagram

alir rancangan program. *Break* eksternal dapat diartikan sebagai proses penghentian program dari *looping* yang berasal dari luar program, seperti diputus dari catu daya. Apabila hal ini terjadi, program akan dimulai dari awal ketika diaktifkan kembali.

PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran secara langsung terhadap sistem yang telah dibuat. Besaran yang diukur dalam penelitian ini adalah nilai tegangan dan arus keluaran dari sistem solar tracker. Nilai tegangan yang diukur adalah tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus yang diukur adalah arus *short circuit* (I_{sc}).



Gambar 6. Model sederhana sel fotovoltaik [15]

Sebuah model ekuivalen paling sederhana untuk menggambarkan sel fotovoltaik adalah berupa sumber arus yang dikendalikan oleh sinar matahari yang diparalelkan dengan sebuah dioda seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6. Apabila sel fotovoltaik tidak dihubungkan dengan beban, maka akan terbentuk dua buah kondisi yang sesuai untuk pengambilan data, yakni arus ketika kedua terminal dihubungkan (arus *short circuit*, I_{sc}) dan tegangan ketika kedua terminal dibiarkan terbuka (tegangan *open circuit*, V_{oc}). Persamaan yang berlaku pada Gambar 2 untuk kedua kondisi ini dimulai dengan persamaan 2. [15]

$$I = I_{sc} - I_d = I_{sc} - I_0(e^{qV/kT} - 1) \quad (2)$$

Pada persamaan 2, I_0 adalah arus saturasi bias balik, q adalah muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ C), k adalah konstanta Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K), dan T adalah temperatur *junction* (K), normalnya 25°C . Ketika kedua terminal dibiarkan terbuka, maka V_{oc} diperoleh sesuai dengan persamaan 3. [15]

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \quad (3)$$

Apabila dimasukkan $T=25^\circ\text{C}$ ke dalam persamaan 2 dan 3, maka kedua persamaan tersebut akan menjadi persamaan 4 dan 5. [15]

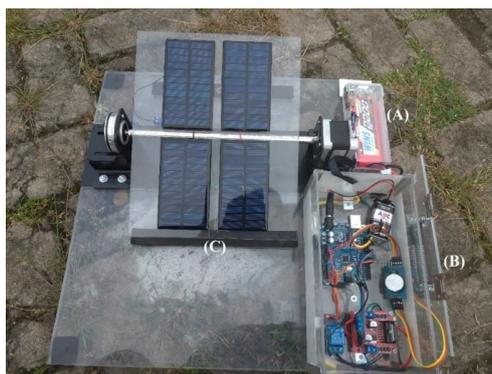
$$I = I_{sc} - I_0(e^{38,9V} - 1) \quad (4)$$

$$V_{oc} = 0,0257 \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right) \quad (5)$$

Nilai tegangan dan arus diukur menggunakan multimeter tiap 30 menit dimulai pukul 08.15 WIB sampai dengan 16.15 WIB, baik pada panel surya dengan *solar tracker* maupun panel surya sumbu tetap. Besaran tegangan dan arus yang dihasilkan dari sistem *solar tracker* kemudian di-bandingkan dengan tegangan dan arus yang diperoleh dari panel surya statis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Purwarupa sistem *solar tracker* yang telah dibuat secara umum terbagi menjadi tiga subsistem yang lebih kecil, yakni unit catu daya, kotak panel kontrol, dan panel surya. Gambar 7 memperlihatkan sistem *solar tracker* secara utuh, dimana (A) merupakan subsistem unit catu daya, (B) merupakan subsistem kotak panel kontrol, dan (C) merupakan subsistem panel surya. (3)



Gambar 7. Purwarupa *solar tracker*

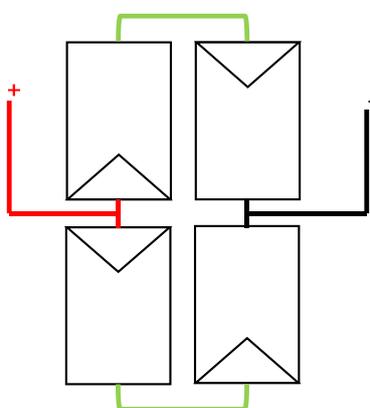
Bagian unit catu daya merupakan sebuah baterai *Lithium Polymer* 2200 mAh yang digunakan sebagai sumber energi penggerak motor *stepper*. Penggunaan baterai terpisah dalam purwarupa ini dikarenakan energi yang dihasilkan dari panel surya yang digunakan tidak mampu untuk menggerakkan motor *stepper* yang digunakan.

Kotak panel kontrol merupakan tempat di mana komponen-komponen pengontrol yang terdiri dari *Arduino Uno*, *real time clock* (RTC) DS3231, motor *driver* L298N, dan modul *relay* sebagai komponen pelengkap berada. Selain komponen pengontrol, terdapat perangkat *display* berupa LCD 16x2. Modul *relay* berfungsi untuk memutus hubungan antara baterai pada subsistem unit catu daya dan

hanya akan terhubung apabila pewaktuan RTC sudah memenuhi kondisi untuk subsistem panel surya akan bergerak, sehingga baterai yang digunakan tidak cepat habis dan lebih hemat energi.

Bagian panel surya merupakan inti dari sistem *solar tracker* ini. Bagian ini terdiri atas panel-panel surya kecil, dengan spesifikasi tegangan dan arus berturut-turut 6v dan 200mA, dan sistem penggerak berupa motor *stepper* KS42STH40-1204A. Panel-panel surya kecil ini dihubungkan secara seri-paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada sistem statis, koneksi panel surya kecil dibuat identik dengan Gambar 8. Sistem panel surya statis ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 8. Koneksi antar panel surya kecil



Gambar 9. Sistem panel surya statis

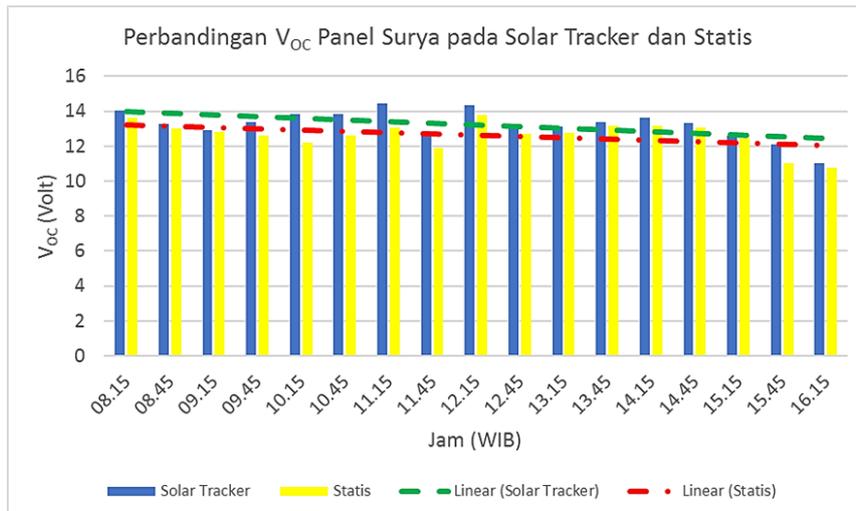
PERBANDINGAN OUTPUT PANEL SOLAR TRACKER DENGAN PANEL SURYA STATIS

Pengujian sistem dilakukan selama lima hari. Namun, selama melakukan pengujian ter-dapat kendala berupa cuaca yang

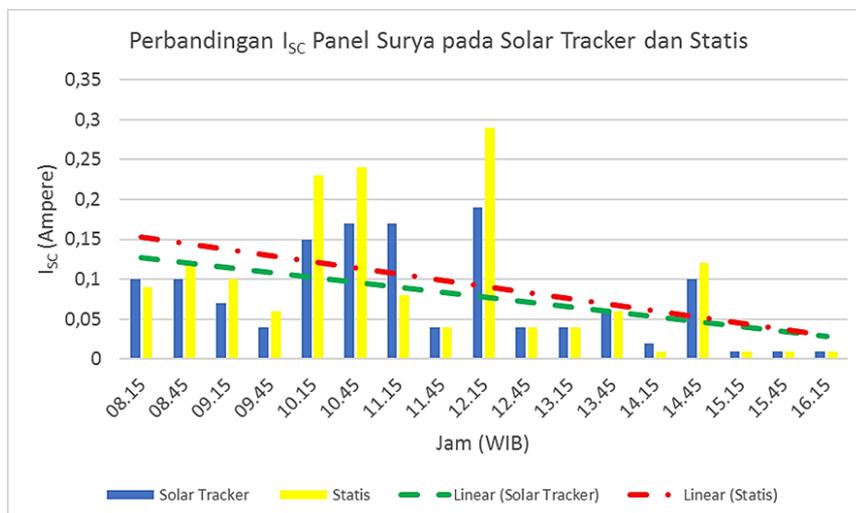
tidak menentu. Hal ini mengakibatkan ketidaklengkapan data hasil pengujian yang diperoleh. Selama proses pengujian, hanya diperoleh satu hari, yakni tanggal 10 Februari 2019, yang memiliki data pengujian lengkap. Data pengujian V_{OC} dan I_{SC} yang diperoleh pada tanggal tersebut ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Data V_{OC} dan I_{SC}

Jam (WIB)	Solar Tracker		Statis	
	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)
08.15	14,05	0,10	13,60	0,09
08.45	13,24	0,10	13,02	0,12
09.15	12,93	0,07	12,83	0,10
09.45	13,37	0,04	12,58	0,06
10.15	13,80	0,15	12,20	0,23
10.45	13,80	0,17	12,60	0,24
11.15	14,42	0,17	13,04	0,08
11.45	12,81	0,04	11,91	0,04
12.15	14,36	0,19	13,79	0,29
12.45	13,14	0,04	12,72	0,04
13.15	13,11	0,04	12,74	0,04
13.45	13,36	0,06	13,14	0,06
14.15	13,62	0,02	13,15	0,01
14.45	13,31	0,10	13,05	0,12
15.15	12,60	0,01	12,45	0,01
15.45	12,08	0,01	11,02	0,01
16.15	11,01	0,01	10,79	0,01



Gambar 10. Grafik V_{OC} panel surya pada *solar tracker* dan statis



Gambar 11. Grafik I_{SC} panel surya pada *solar tracker* dan statis

Grafik perbandingan dan *trend* data tegangan V_{OC} dan data arus I_{SC} pada Tabel 1 secara berturut-turut terdapat pada Gambar 10 dan 11.

Terlihat pada Gambar 10 bahwa nilai tegangan V_{OC} pada *solar tracker* sesuai dengan harapan, yakni nilainya selalu lebih besar dibandingkan dengan panel surya statis. Hal ini juga terlihat dari kurva *trend* yang menunjukkan nilai V_{OC} pada *solar tracker* selalu lebih tinggi dibandingkan dengan panel

surya statis. Nilai V_{OC} pada *solar tracker* lebih besar 4,83% dibandingkan pada panel surya statis.

Karakteristik yang terlihat pada V_{OC} tidak muncul di I_{SC} . Terlihat pada Gambar 11 bahwa nilai I_{SC} baik pada *solar tracker* maupun panel surya statis menunjukkan fluktuasi yang signifikan dan secara umum nilai I_{SC} pada panel surya statis lebih besar dibandingkan *solar tracker*. Nilai I_{SC} pada *solar tracker* secara umum lebih rendah

11,11% dibandingkan pada panel surya statis. Nilai I_{SC} *solar tracker* yang lebih besar hanya terjadi pada pengambilan data pertama (pukul 08.15 WIB) yang pada saat itu matahari masih cenderung di posisi timur. Namun, hal ini tidak terjadi ketika matahari sudah memasuki posisi barat, di mana nilai I_{SC} pada *solar tracker* maupun panel surya statis bernilai sama.

Salah satu dari penyebab hal ini dapat terjadi adalah penggunaan beberapa panel surya kecil dalam satu sistem. Tiap panel surya kecil merupakan sebuah sistem individu yang memiliki kualitas yang berbeda-beda. Oleh karena itu, meskipun hubungan antar panel surya kecil pada *solar tracker* dan panel surya statis identik, tetap saja terdapat perbedaan pada kualitas tiap panel surya kecil yang digunakan.

SIMPULAN DAN SARAN

Sebuah purwarupa dari sistem *solar tracker* sumbu tunggal telah berhasil dibuat. Purwarupa ini menggunakan sebuah motor *stepper* KS42STH40-1204A yang bergerak sesuai dengan pewaktuan *real time clock* (RTC) DS3231. Tegangan V_{OC} pada *solar tracker* 4,83% lebih besar dibandingkan pada panel surya statis, tetapi I_{SC} pada *solar tracker* 11,11% lebih kecil dibandingkan pada panel surya statis.

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada penelitian berikutnya, sebaiknya menggunakan modul panel surya tunggal untuk tiap sistem. Apabila berukuran besar,

motor yang digunakan harus diperbesar pula. Selain itu, sirkulasi udara pada kotak panel kontrol harus diperhatikan agar tidak ada komponen yang *overheat*. Pemasangan sensor yang peka terhadap intensitas cahaya, seperti *light-dependent resistor*, dapat membantu pergerakan panel dalam mengikuti pergerakan matahari, sehingga sistem *solar tracker* dapat semakin memaksimalkan tangkapan iradiansi matahari. Selain itu, untuk memaksimalkan penangkapan iradiansi matahari dapat pula dibuat kemiringan pada poros panel surya dengan *solar tracker* sumbu tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Rani, O. Singh, dan S. Pandey, "An Analysis on Arduino based Single Axis Solar Tracker," in *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, 2018, hal. 18–22.
- [2] C. Sungur, "Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 4, hal. 1119–1125, 2009.
- [3] J. K. Tharamuttam dan A. K. Ng, "Design and Development of an Automatic Solar Tracker," *Energy Procedia*, vol. 143, hal. 629–634, 2017.
- [4] W. Indrasari, R. Fahdiran, E. Budi, L. Jannah, L. V. Kadarwati, dan Ramli, "Active Solar Tracker Based on the

- Horizon Coordinate System,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1120, no. 012102, hal. 1–5.
- [5] PT PLN, *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028*, Jakarta, 2019.
- [6] A. El Hammoumi, S. Motahhir, A. El Ghzizal, A. Chalh, dan A. Derouich, “A simple and low-cost active dual-axis solar tracker,” *Energy Science and Engineering*, vol. 6, no. 5, hal. 607–620, 2018.
- [7] M. Khairudin dan S. Adyarno, “Solar Tracker on Solar Home System to Optimize Sunlight Absorption,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1140, no. 012005, hal. 1–5, 2018.
- [8] L. Barker, M. Neber, dan H. Lee, “Design of a low-profile two-axis solar tracker,” *Solar Energy*, vol. 97, hal. 569–576, 2013.
- [9] X. Berisha, A. Zeqiri, and D. Meha, “Determining the optimum tilt angles to maximize the incident solar radiation—case of study Pristina,” *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 7, no. 2, hal. 123–130, 2018.
- [10] T. O. Kaddoura, M. A. M. Ramli, and Y. A. Al-Turki, “On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia,” *Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 65, hal. 626–634, 2016.
- [11] P. D.L., Hermawan, and Karnoto, “Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan,” *Transient: Jurnal Ilmiah. Teknik Elektro*, vol. 2, no. 4, hal. 930–937, 2013.
- [12] V. Poulek, A. Khudysh, dan M. Libra, “Self powered solar tracker for Low Concentration PV (LCPV) systems,” *Solar Energy*, vol. 127, hal. 109–112, 2016.
- [13] A. O. Ndubuisi, E. Imolorhe, dan M. L. Akinyemi, “Investigating the effect of solar trackers on solar energy harnessing in the Tropics,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 173, no. 012044, hal. 1–7.
- [14] S. Lo *et al.*, “Design, operation, and performance evaluation of a cable-drawn dual-axis solar tracker compared to a fixed-tilted system,” *Energy Science and Engineering*, vol. 3, no. 6, hal. 549–557, 2015.
- [15] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Hoboken: Wiley, 2005.
- [16] A. Anuraj dan R. Gandhi, “Solar Tracking System Using Stepper Motor,” *International Journal of Electronic and Electrical Engineering*, vol. 7, no. 6, hal. 561–566, 2014.
- [17] M. N. A. Mohd Alias dan S. N. Mohyar, “Architectural design

- proposal for real time clock for wireless microcontroller unit,” in *EPJ Web of Conferences*, 2017, vol. 162, no. 01072, hal. 1–7.
- [18] M. N. A. M. Alias, S. N. Mohyar, M. N. Isa, A. Harun, A. B. Jambek, dan S. A. Z. Murad, “Design and analysis of dedicated Real-time clock for customized microcontroller unit,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 14, no. 2, hal. 796–801, 2019.
- [19] C. R. Landau, "Optimum Tilt of Solar Panels," March, 2017. [Daring]. Available: <https://www.solarpaneltilt.com/> [Diakses: 6 Desember 2018]