

Kombinasi Sistem Solar Tracker Dua Sumbu dan *Automatic Transfer Switch (ATS)* untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Pembangkit *Photovoltaic (PV)* Menggunakan Sensor Photodiode dan Arduino Nano

Agung Hadi Tamari¹, Amirullah^{1*}

¹Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bhayangkara Surabaya
Jl. Ahmad Yani Frontage Road No. 114 Gayungan Surabaya 60231 Jawa Timur

*amirullah@ubhara.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.14444>

ABSTRACT

The performance of a photovoltaic (PV) generator is strongly influenced by the intensity of sunlight hitting the solar module. Thus it takes the position of the solar module which is always perpendicular to the direction of the sun's rays. To overcome this, it is necessary to design and implement a two-axis solar tracker system using a servo motor that is able to dynamically drive a PV generator following the direction of movement of sunlight supplied by an AC power source (PLN). The problem is that if the AC source is disturbed, the motor drive stops working so that the absorption of sunlight is not optimal. The research proposes the design and implementation of a two-axis solar tracker system based on Arduino Nano using a photodiode sensor and automatic transfer switch (ATS). ATS functions if there is a disturbance in the AC source, the system automatically transfers the load power supply to a DC source in the form of a battery or vice versa, so that the tool is still able to work. The photodiode sensor in the Arduino Nano circuit is used because it has better sensitivity to sunlight than the light-dependent resistor (LDR) sensor. The PV generator in this study uses the PV1 and PV2 modules. The results shows that the PV module using a two-axis tracker system with dynamic movement following the movement of the sun's position is able to produce a more significant and more stable average output voltage than the system without using a tracker both on the static PV module position facing east and west respectively by 12.34% and 10.94%. The sensitivity of the photodiode sensor to sunlight also helps improve the performance of the proposed system so that the PV output voltage in the 09.00-15.00 WIB period, becomes larger and more stable than the system without a solar tracker.

Key words : dual axis solar tracker, photovoltaic, automatic transfer switch, arduino nano, photodiode

PENDAHULUAN

Instalasi pembangkit photovoltaic (PV) umumnya masih bersifat statis. Kondisi ini menyebabkan penerimaan cahaya matahari sebagai sumber energi menjadi tidak optimal. Untuk mengatasi kendala ini maka panel surya didesain dan dikembangkan secara dinamis mengikuti arah sinar matahari. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh panel surya, maka semakin besar daya listrik yang dibangkitkan. Desain dan implementasi pembangkit PV yang mampu mengikuti arah pergerakan matahari menggunakan sistem solar tracking sudah dikembangkan oleh sejumlah peneliti. Sistem mekanis sistem solar tracking untuk menggerakkan posisi panel supaya mengikuti arah

pergerakan matahari-menggunakan Arduino-Uno sudah dirancang oleh (Fauzi *et al.*, 2018).

Penggunaan sistem solar tracking dinamis mampu membangkitkan total jumlah energi yang lebih besar dibandingkan panel surya statis. Sistem solar tracking optimal menggunakan pelacak otomatis berbasis mikrokontroler 2560 dan android virtuino serta dimonitor secara *real time* oleh internet sudah diinvestigasi oleh (Syahab *et al.*, 2019). Sistem pelacak dinamis pada panel surya tersebut mampu menyerap energi listrik rata-rata sesaat lebih besar dibandingkan sistem panel surya statis. Sistem tracking modul surya supaya posisinya mampu tegak lurus dengan arah cahaya matahari

Cite this as:

Tamari, A.H & Amirullah. (2022). *Kombinasi Solar Tracker Dua Sumbu dan Automatic Transfer Switch (ATS) untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Pembangkit Photovoltaic (PV) Menggunakan Sensor Photodiode dan Arduino Nano*. *Rekayasa* 15 (2). 164-174 pp.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i2.14444>

Article History:

Received: April, 28th 2022; **Accepted:** July, 25th 2022

Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

menggunakan kendali *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) sudah dirancang oleh (Winarno *et al.*, 2017). Model implementasi tracking pada sel surya dinamis mampu menghasilkan nilai tegangan, arus dan daya yang lebih besar dibandingkan sistem menggunakan sel surya statis. Perancangan *solar tracker* pada teknologi pembangkit angin-surya menggunakan empat buah sensor LDR, Arduino Uno, dan perangkat lunak proteus sudah disimulasikan oleh (Setiyawan, *et al.*, 2021). Sistem penjejakan posisi matahari tanpa sensor menggunakan *Arduino Real Time Clock* (RTC) DS 3231 sebagai penghitung waktu gerakan matahari sudah diimplementasikan oleh (Fernandes, *et al.*, 2020). Hasil pengujian menunjukkan bahwa *solar tracker* yang diusulkan mampu bekerja menggerakkan posisi panel surya mengikuti gerakan matahari. Prototipe *solar tracker* berbasis Arduino Nano dengan sensor cahaya LDR sudah dikembangkan oleh (Aryza *et al.*, 2021). Prototipe yang dikembangkan mampu mengarahkan solar panel surya dan mengikuti orientasi pergerakan matahari.

Sistem *solar tracking* dinamis menggunakan kendali arduino uno dan mikrokontroler ATmega 328 sudah diperkenalkan oleh Mardjun *et al.*, (2018) dan Iskandar *et al.*, (2018). Sistem menggunakan sensor LDR untuk mengatur pergerakan motor servo. Sistem yang diusulkan mampu menghasilkan intensitas cahaya matahari, daya, tegangan, dan arus output lebih besar dibandingkan sistem solar statis. Sistem tracker PV terdiri dari Arduino Mega, Esp8266-12F, sensor LDR dan Motor servo yang dimonitoring oleh *Internet of Things* (IoT) sudah diusulkan oleh (Utama, 2019). Sistem ini mampu menyimpan data output panel surya pada server database sekaligus bisa diakses secara *real-time* dari website.

Sistem *solar tracking* dua sumbu berbasis *Arduino Integrated Development Environment* (IDE) dan mikrokontroler menggunakan Lensa Fresnel sudah diinvestigasi oleh (Margana, 2019). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan, arus, daya maksimum, dan efisiensi pada sistem menggunakan lensa Fresnel, nilainya lebih besar dibandingkan tanpa menggunakan lensa Fresnel. Sistem tracking sel surya solar cell menggunakan Lux Meter berbasis Arduino Uno R3 yang mampu bergerak mengikuti cahaya matahari sudah diobservasi oleh (Felycia, 2020). Sistem yang diusulkan mampu meningkatkan tegangan, arus,

dan intensitas cahaya dibanding sistem sel surya statis. *Solar tracker* menggunakan Arduino Uno untuk kendali motor servo, motor stepper, sensor LDR, dan real-time clock sudah dianalisis oleh Wanajaya *et al* (2016), Putra *et al* (2020) Kurniawan *et al* (2021).

Performa model menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya output pada sistem tracking dinamis menggunakan motor stepper lebih besar dibandingkan sistem statis. Sistem tracking dinamis menggunakan motor stepper juga mampu menyerap intensitas radiasi matahari lebih besar dan efisiensi lebih rendah dibandingkan motor servo dan sistem statis. Kinerja panel surya dengan pelacak matahari dua sumbu menggunakan sensor LDR sudah diinvestigasi oleh (Harini *et al.*, 2022). Kinerja sistem pelacak matahari mampu meningkatkan tegangan, arus, dan intensitas cahaya dibanding sistem panel surya tetap.

Sistem monitoring *solar tracking* menggunakan arduino dan Nodemcu 8266 Berbasis IoT sudah diobservasi oleh Prasetyo *et al* (2019). Hasil monitoring menunjukkan bahwa sistem *solar tracking* mampu menghasilkan akurasi pengukuran tegangan, arus, dan derajat kemiringan lebih baik dibandingkan pengukuran intensitas cahaya matahari. Pelacak arah matahari berbasis arduino uno sudah dirancang oleh (Sitorus *et al.*, 2015). Hasil pengujian pada kondisi cuaca cerah, radiasi matahari sekitar 1000 watt/m² dan beban 50 Watt-sistem dengan pelacak matahari mampu menghasilkan daya lebih tinggi dan waktu pengisian baterai lebih cepat dibandingkan sistem tanpa pelacak.

Pergerakan panel surya 50 watt menggunakan sistem penjejak matahari berbasis waktu-menggunakan mikrokontroler Arduino dan dua motor servo sebagai penggerak panel surya sudah dianalisis oleh Putra *et al* (2017). Sistem tracking solar sel dan proteksi beban lebih berbasis Arduino Uno dan Arduino Nano sudah diinvestigasi oleh Lesmana *et al* (2020). Sistem menggunakan sensor photodiode untuk deteksi cahaya matahari dan dikirimkan ke arduino nano sebagai sinyal bagi motor. Jika beban sudah melebihi kapasitas maka baterai sensor INA219 mendeteksi sebagai beban lebih dimana sinyal ini selanjutnya dikirim ke arduino supaya memerintahkan relay melepaskan beban.

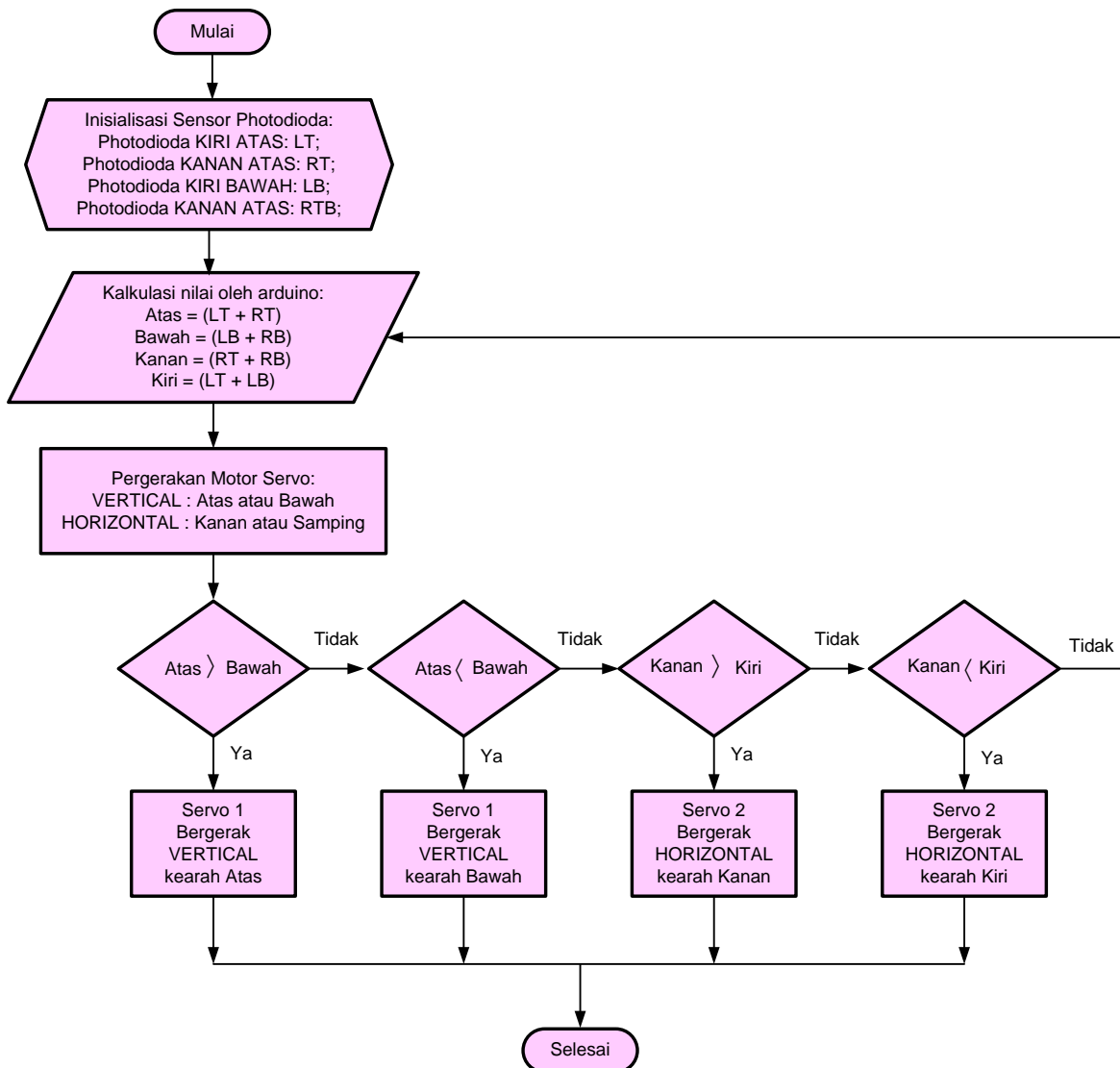
Sistem *solar tracking* dua sumbu pada untuk penerangan pada kapal menggunakan Arduino dan

sensor LDR sudah diobservasi oleh Manuswara *et al* (2016). Panel surya dinamis yang dirancang mampu meningkatkan daya panel surya dan menyerap intensitas cahaya matahari lebih besar dibandingkan dengan panel surya statis. Sistem tracking panel surya menggunakan Arduino Uno dengan mikrokontroler ATmega 328 juga sudah dirancang oleh Rizky *et al* (2020). Sistem menggunakan tracking panel surya mampu menghasilkan tegangan lebih stabil dibandingkan sistem tanpa tracking. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, makalah ini membahas desain dan implementasi sistem *solar tracker* dua poros berbasis Arduino Nano menggunakan sensor photodiode dan ATS. Mode suplai daya pada sistem berupa mode hybrid menggunakan sumber AC (PLN) dan sumber DC (baterei) dimana keduanya terhubung ke ATS. Penelitian menggunakan sensor

photodiode pada rangkaian Arduino Nano karena lebih sensitif terhadap cahaya matahari. Dengan sensor yang lebih sensitif, semakin besar intensitas cahaya matahari, maka arus mengalir semakin besar dan tegangan PV menjadi semakin stabil.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian desain dan implementasi kombinasi sistem solar tracker dua sumbu dan ATS menggunakan sensor photodiode dan arduino nano dilakukan melalui empat tahap. Tahap pertama adalah kalibrasi sensor photodiode pada sistem. Langkah ini dilakukan karena Arduino Nano akan memproses dan mengeksekusi data analog melalui sensor photodiode. Arduino nano selanjutnya memberikan sinyal ke dua motor servo supaya mampu bergerak ke utara-selatan atau



Gambar 1. Bagan Alir Pergerakan Sistem Solar Tracker Dua Sumbu

barat-timur berdasarkan masukan koding menggunakan bahasa pemrograman C++.

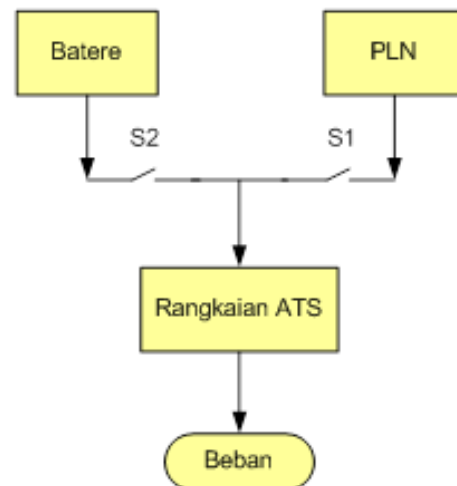
Tahap kedua adalah pengujian alat yang dilakukan dengan tiga kondisi berbeda. Pertama adalah pengujian alat menggunakan sistem tracker dua poros dinamis. Kedua adalah pengujian alat tanpa menggunakan sistem tracker dengan posisi PV statis menghadap ke timur. Ketiga adalah pengujian alat tanpa menggunakan sistem tracker dengan posisi PV statis menghadap ke barat. Tahap ketiga adalah tabulasi hasil tegangan output dua modul PV pada periode pengambilan data setiap jam mulai jam 09.00 s/d 15.00 WIB pada masing-masing kondisi pengujian. Tahap keempat analisis hasil pengujian berupa penentuan data tegangan output rata-rata dua modul PV dan hasilnya selanjutnya divalidasi terhadap terhadap dua kondisi pengujian lain untuk mengetahui performansi terbaik dari tiga model posisi dan pergerakan modul PV.

Gambar 1 menunjukkan bagan alir konfigurasi sistem solar tracker dua sumbu. Prosesnya dimulai dari inialisasi masukan pada keempat sensor photodiode ketika menerima cahaya matahari. Setelah melakukan proses input data, kemudian Arduino Nano melakukan kalkulasi untuk menentukan pergerakan yang akan dilakukan oleh motor servo. Motor servo akan bergerak setelah mendapatkan perintah dari dari Arduino Nano. Jika nilai atas lebih besar dari bawah maka servo 1 bergerak vertikal kearah atas. Jika nilai atas lebih kecil dari bawah maka servo 1 bergerak vertikal kearah bawah. Jika nilai kanan lebih besar dari kiri maka servo 2 bergerak horizontal kearah kanan. Jika nilai kanan lebih kecil dari kiri maka servo 2 bergerak horizontal kearah kiri. Tetapi jika nilai atas bawah kanan ataupun kiri sama maka proses akan diolah kembali ke arduino atau bisa dibilang kedua motor diam. Rangkaian ini menggunakan empat buah sensor photodiode dimana terpasang terpasang pada empat sudut.

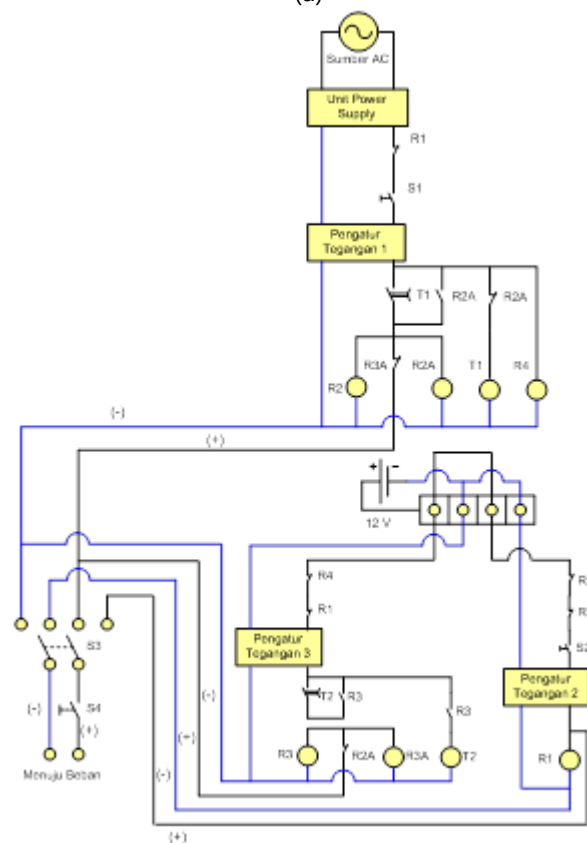
Automatic Transfer Swicth

Gambar 2.a menunjukkan diagram kerja ATS yang terdiri dari sejumlah rangkaian rele dan timer yang berfungsi jika terjadi gangguan pada sumber AC, secara otomatis saklar S_2 menutup untuk memindahkan suplai daya beban ke sumber DC berupa batere, sehingga alat masih mampu bekerja. Pada saat sumber AC kembali normal (saklar S_1 On), rangkaian ATS secara otomatis memerintahkan

saklar S_2 membuka untuk memutus rangkaian dengan sumber DC sehingga beban kembali terhubung ke sumber AC.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Diagram ATS dan (b) Rangkaian pengganti detail ATS

Gambar 2.b menunjukkan rangkaian pengganti detail ATS terhubung beban. Unit power supply berfungsi merubah tegangan AC 220 Volt ke tegangan DC 12 Volt. Saklar S_1 berfungsi sebagai kontrol On-Off sumber AC. Saklar S_2 berfungsi

sebagai kontrol On-Off sumber DC. Saklar S_3 berfungsi sebagai pemilih manual sumber AC/DC. Saklar S_4 berfungsi sebagai kontrol On-Off tegangan ke beban. Pengatur tegangan 1, 2 dan 3 mengatur tegangan naik dan turun sesuai kebutuhan beban dimana nilai V_{dc} diatur sebesar 7 Volt terhubung ke beban rele, timer, arduino, dan motor servo DC 5 Volt. V_{R1} berfungsi sebagai sumber tegangan AC, tegangan V_{R1} masuk dan keluar sudah dikonversi dalam bentuk DC oleh unit power supply karena semua beban sudah dalam tegangan DC. V_{R1} dan V_{R3} masing-masing berfungsi sebagai sumber tegangan DC dan tegangan cadangan jika V_{R1} mengalami gangguan. Rele R_1 berfungsi sebagai interlock sumber tegangan DC, jika relai ini bekerja maka V_{R3} yang menyuplai tegangan ke beban—sedangkan V_{R1} dan V_{R2} tidak dapat mensuplai tegangan karena kontak bantu R_1 bekerja (normally closed atau NC).

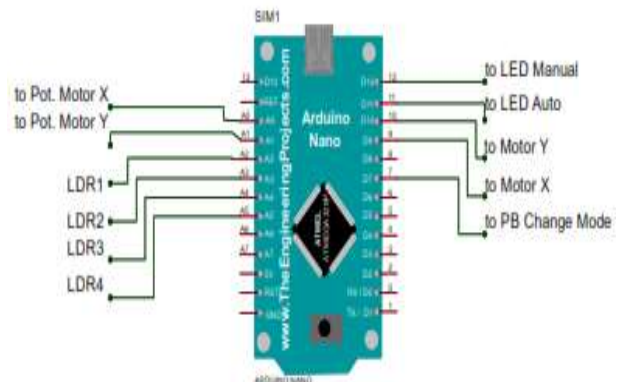
Rele R_2 berfungsi sebagai interlock sumber tegangan AC, jika relai ini bekerja maka V_{R3} tidak mendapat suplai tegangan dari baterai (accu). Rele R_3 berfungsi sebagai interlock timer T_2 dan interlock V_{R3} , jika relai ini bekerja maka kontak bantu R_3 NC akan terbuka, T_2 yang tadinya bekerja akan terbuka kembali. Hal ini bertujuan supaya usia pakai timer lebih lama, dan R_3 normally open (NO) menjadi tertutup kembali supaya kumparan R_3 tetap On. Kontak bantu R_3 normally closed (NC) pada V_{R3} menjadi terbuka supaya V_{R3} terhubung oleh tegangan baterai.

Rele R_4 berfungsi sebagai interlock V_{R3} , ketika V_{R1} disuplai tegangan, maka R_4 bekerja, kontak bantu R_4 NC menjadi terbuka, sehingga V_{R3} tidak mendapat suplai tegangan dari baterai. Rele R_{2A} berfungsi sebagai interlock timer T_1 dan suplai tegangan backup, jika relai ini bekerja maka kontak bantu NC R_{2A} akan membuka, T_1 yang tadinya bekerja akan Off kembali. Tujuannya supaya usia pakai timer lebih lama dan NO R_{2A} menjadi tertutup supaya kumparan R_{3A} tetap On, ketika terjadi gangguan suplai tegangan pada V_{R1} . Kontak bantu NC R_{2A} menyuplai tegangan ke beban yang didapat dari V_{R3} . Rele R_{3A} berfungsi sebagai suplai tegangan AC utama. Ketika sumber AC PLN On kembali, maka kumparan R_{3A} tidak mendapat suplai dari V_{R3} , sehingga kontak bantu NC R_{3A} kembali menutup dan menyuplai tegangan dari V_{R1} ke beban. Timer T_1 berfungsi sebagai pengatur waktu On tegangan AC PLN yang nilainya disetting sebesar tujuh detik. Terakhir timer T_1 berfungsi sebagai pengatur waktu On tegangan

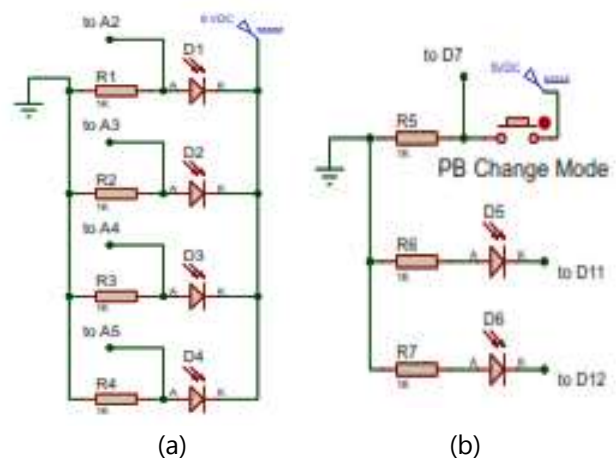
cadangan DC dari baterai yang nilainya disetting tujuh detik juga.

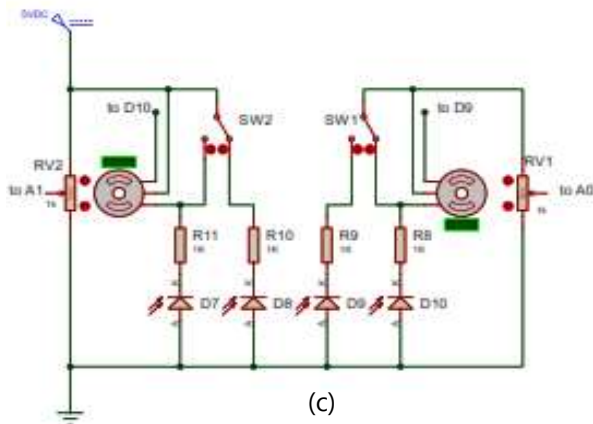
Arduino Nano dan Sensor Photodioda

Gambar 3 menunjukkan rangkaian koneksi komponen pin arduino nano. Gambar 4a, Gambar 4b, dan Gambar 4.c masing-masing menunjukkan rangkaian sensor photodioda, rangkaian kontrol motor servo dan rangkaian change auto/manual. Sensor photodioda adalah komponen elektronik dari keluarga dioda yang dapat digunakan untuk mendeteksi cahaya. Berbeda dengan dioda biasa, photodioda ini dapat mengubah cahaya menjadi arus listrik. Photodioda merupakan komponen semikonduktor dan termasuk jenis dioda yang resistansinya dapat berubah-ubah jika terdapat intensitas cahaya yang jatuh mengenai dioda tersebut. Dalam keadaan gelap (intensitas cahaya rendah) resistansi photodioda menjadi sangat besar sehingga tidak ada arus yang mengalir, sebaliknya semakin banyak cahaya yang jatuh (intensitas cahaya tinggi) mengenai maka arus yang mengalir akan sangat besar.



Gambar 3. Koneksi Pin Arduino Nano





Gambar 4. (a) Rangkaian sensor photodioda, (b) Rangkaian kendali motor servo, dan (c) Rangkaian change mode auto/manual

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Solar Tracker Dua Sumbu

Gambar 5 menunjukkan hasil desain alat solar tracker dua sumbu. Tabel 1 menunjukkan penjelasan fungsi komponen sistem.



Gambar 5. Hasil desain solar tracker dua sumbu
Tabel 1. Fungsi Komponen Sistem

No.	Komponen	Fungsi
1	Modul surya ganda daya masing-masing 30 Wp- Tegangan DC 12 V	Pengambilan data tegangan keluaran
2	Batere 12 V	Sumber DC
3	Unit Power Supply	Sumber AC
4	Rele 6 Volt DC	Sakelar dan interlock sistem

No.	Komponen	Fungsi
5	Timer (7 detik)	Delay waktu sistem ATS
6	Pengatur Tegangan	Pengatur keluaran tegangan output
7	Arduino Nano	Pengolah data sensor photodioda dan kendali penggerak motor horizontal dan motor vertikal

Pengujian Kalibrasi Sensor Photodioda

Kalibrasi sensor photodioda pada alat harus dilakukan sebelumnya karena Arduino Nano akan memproses dan mengeksekusi data analog melalui sensor ini. Arduino Nano selanjutnya memberikan sinyal ke Motor X atau Motor Y supaya mampu bergerak ke utara-selatan atau barat-timur sebagaimana koding program menggunakan Bahasa C++ pada Tabel 2.

Tabel 2. Koding Program Pada Arduino Nano

```
PDKIRIATAS = map(analogRead(A2),46,522,0,60);
PDKANANATAS = map(analogRead(A3),43,714,0,60);
PDKIRIBAWAH = map(analogRead(A4),44,703,0,60);
PDKANANBAWAH = map(analogRead(A5),135,1015,0,60);
```

Penjelasan program pada masing-masing arah gerakan ditunjukkan pada Tabel 3. A2 merupakan sensor Photodioda Kiri Atas, nilai '46' resistansi sensor ketika kondisi gelap, nilai '522' resistansi sensor ketika kondisi terang, nilai '0' sudut motor servo ketika gelap, nilai '60' sudut motor servo ketika terang. A3 merupakan sensor Photodioda Kanan Atas, nilai '43' resistansi sensor ketika kondisi gelap, nilai '714' resistansi sensor ketika kondisi terang, nilai '0' sudut motor servo ketika gelap, nilai '60' sudut motor servo ketika terang. A4 merupakan sensor Photodioda Kiri Bawah, nilai '44' resistansi sensor ketika kondisi gelap, nilai '703' resistansi sensor ketika kondisi terang, nilai '0' sudut motor servo ketika gelap, nilai '60' sudut motor servo ketika terang. A5 merupakan sensor Photodioda Kanan Bawah, nilai '135' resistansi sensor ketika kondisi gelap, nilai '1015' resistansi sensor ketika kondisi terang, nilai '0' sudut motor servo ketika gelap, nilai '60' sudut motor servo ketika terang.

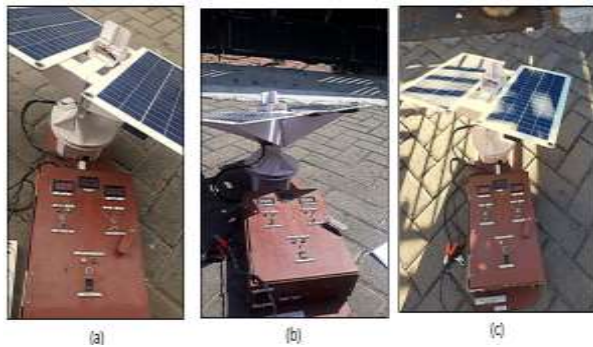
Pengujian Alat

Pada penelitian ini proses pengambilan data dilakukan melalui tiga kali pengujian. Pertama adalah pengujian alat menggunakan sistem tracker dua sumbu dinamis. Kedua adalah pengujian alat tanpa menggunakan sistem tracker dengan posisi PV statis menghadap ke timur. Ketiga adalah

pengujian alat tanpa menggunakan sistem tracker dengan posisi PV statis menghadap ke barat. Pengujian dilakukan terhadap data tegangan output PV dan hasilnya selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui performasi terbaik dari tiga model posisi PV.

Pengujian Sistem Tracker Dua Sumbu

Pengujian pertama dilakukan dengan mengaktifkan dua motor yaitu motor servo X status On dan motor servo Y status On Dengan memposisikan Auto Mode. Pada pengujian ini peneliti melakukan pengujian alat pada pagi hingga sore hari, mulai pukul 09.00 hingga 15.00 WIB pada tanggal 9 Juli 2021, dengan pengambilan data diambil setiap satu jam sekali. Gambar 6 menunjukkan proses pengambilan data tegangan keluaran melalui voltmeter PV1 dan voltmeter PV2 yang terpasang pada box panel alat.



Gambar 6. Pengujian sistem tracker dua sumbu dinamis dan pengambilan data pada jam; (a) 09.00, (b) 12.00, dan (c) 15.00 WIB

Pengujian Sistem Tracker Dengan PV Menghadap Ke Timur

Pengujian kedua dilakukan mulai pagi hingga sore hari, dari pukul 09.00 hingga 15.00 WIB tanggal 10 Juli 2021, dengan pengambilan data diambil setiap satu jam sekali. Pengujian ini dilakukan dengan menonaktifkan motor servo horizontal dan motor servo vertical. Posisi kedua motor servo diatur sedemikian sedemikian rupa supaya modul PV menghadap ke arah timur. Gambar 7 menunjukkan pengujian sistem tracker dengan PV menghadap ke arah timur.

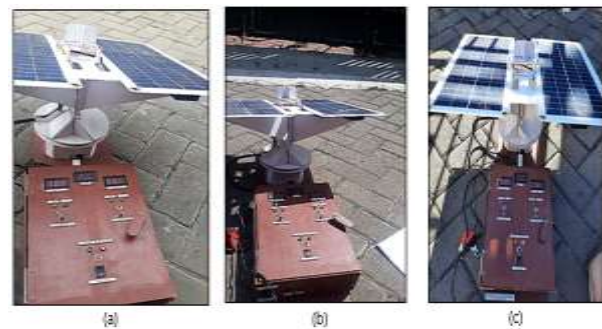
Pengujian Sistem Tracker Dengan PV Menghadap ke Barat

Pengujian ketiga dilakukan mulai pagi hingga sore hari, dari pukul 09.00 hingga 15.00 WIB tanggal 11 Juli 2021, dengan pengambilan data diambil

setiap satu jam sekali. Pengujian ini dilakukan dengan menonaktifkan motor servo horizontal dan motor servo vertical. Posisi kedua motor servo diatur sedemikian sedemikian rupa supaya modul PV menghadap ke arah barat. Gambar 8 menunjukkan pengujian sistem tracker dengan PV menghadap ke arah barat.



Gambar 7. Pengujian sistem tracker PV statis menghadap ke arah timur dan pengambilan data pada jam; (a) 09.00, (b) 12.00, dan (c) 15.00 WIB



Gambar 8. Pengujian sistem tracker PV statis menghadap ke arah barat dan pengambilan data pada jam; (a) 09.00, (b) 12.00, dan (c) 15.00 WIB

Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan Keluaran PV

Berdasarkan tiga kali hasil pengujian pada masing-masing sistem tracker, maka selanjutnya diperoleh tegangan keluaran pada dua modul PV. Tabel 3 menunjukkan perbandingan tegangan keluaran pada sistem tracker dua poros dinamis, sistim tracker dinamis menghadap timur, dan sistim tracker dinamis menghadap barat. Dengan demikian nilai rata-rata tegangan yang dihasilkan kedua PV pada pengujian model sistem tracker mengikuti Persamaan 1.

$$\begin{aligned} \bar{X}_{Tracker\ Dua\ Sumbu} &= \frac{Tegangan\ rata-rata\ PV1 + Tegangan\ rata-rata\ PV2}{2} \\ &= \frac{19.58 + 19.38}{2} \\ &= 19.48\ V \end{aligned}$$

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Keluaran Dua Modul PV Pada Tiga Model Sistem Tracker

Jam (WIB)	Tracker Dua Sumbu Dinamis		Tracker Hadap Timur Statis		Tracker Hadap Barat Statis	
	Tegangan PV1 (Volt)	Tegangan PV2 (Volt)	Tegangan PV1 (Volt)	Tegangan PV2 (Volt)	Tegangan PV1 (Volt)	Tegangan PV2 (Volt)
09.00	19.6	19.6	19.7	19.3	19.7	19.6
10.00	18.2	18.6	19.5	19.6	19.5	19.2
11.00	19.1	19.6	18.5	18.2	19.8	19.7
12.00	20.7	20.7	20.2	20.2	20.1	20.2
13.00	20.2	20.0	20.0	19.5	19.5	19.4
14.00	20.4	20.3	18.2	18.3	19.3	19.1
15.00	18.9	16.9	6.24	5.30	5.49	5.31
Rata-Rata	19.58	19.38	17.47	17.2	17.63	17.5

Tabel 4 Stabilitas tegangan keluaran modul PV

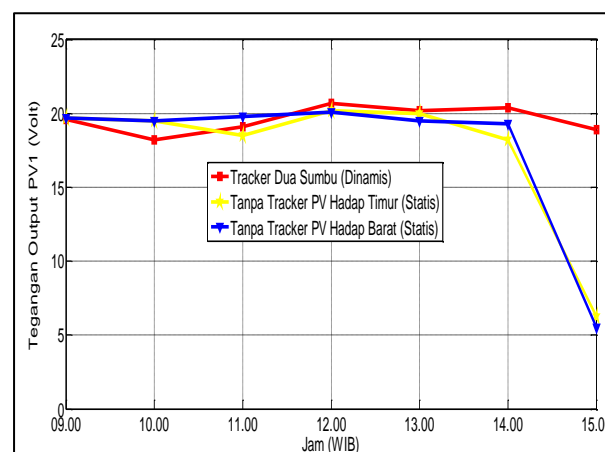
No.	Sistem Tracker	Tegangan Rata-Rata (Volt)
1	Dua Poros (Dinamis)	19.48
2	Tanpa Tracker PV menghadap Timur (Statis)	17.34
3	Tanpa Tracker PV menghadap Barat (Statis)	17.56

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 3, modul PV1 dan PV2 yang menggunakan sistem tracker dua sumbu dinamis mampu menghasilkan tegangan output masing sebesar 19.58 V dan 19.38 V. Sistem tracker dengan modul PV1 dan PV2 statis menghadap ke timur menghasilkan nilai tegangan keluaran masing-masing sebesar 17.47 V dan 17.2 V. Dengan menggunakan cara yang sama sesuai Persamaan 1, maka nilai tegangan rata-rata tegangan pada model traker statis ke timur adalah 17,34 V. Sistem tracker dengan modul PV1 dan PV2 statis menghadap ke barat menghasilkan nilai tegangan keluaran masing-masing sebesar 17.63 V dan 17.5 V. Dengan menggunakan prosedur yang sama sesuai Persamaan 1, maka nilai tegangan rata-rata tegangan pada model traker statis ke barat adalah 17,56 V.

Perbandingan Stabilitas Tegangan Keluaran PV

Setelah dilakukan percobaan pada tiga model sistem tracker, selanjutnya peneliti melakukan tabulasi hasil perhitungan dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4. Selanjutnya, Tabel 3 menunjukkan bahwa modul PV menggunakan sistem tracker dua sumbu, tanpa tracker menghadap timur, dan tanpa tracker menghadap barat masing-masing menghasilkan tegangan keluaran rata-rata PV masing-masing sebesar 19.48 V, 17.34 V, dan 17.56 V. Hasil ini menunjukkan bahwa modul PV

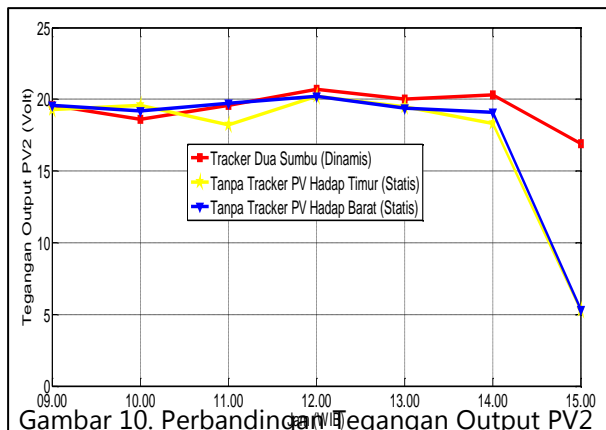
menggunakan sistem tracker dua sumbu dengan pergerakan dinamis mengikuti pergerakan posisi matahari mampu menghasilkan tegangan keluaran rata-rata lebih besar dan stabil-dibandingkan sistem tanpa menggunakan tracker baik pada posisi modul PV statis menghadap barat atau timur. Gambar 9 dan 10 masing-masing menunjukkan perbandingan tegangan output PV1 dan PV2 pada tiga kondisi pergerakan dan posisi tracker.



Gambar 9. Perbandingan Tegangan Keluaran PV1 pada; (a) Tracker Dua Sumbu Dinamis, (b) PV Hadap Timur Statis, dan (c) PV Hadap Timur Statis

Tabel 3 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa pada sejak jam 09.00 WIB hingga 15.00 WIB, modul PV1 menggunakan sistem tracker dua sumbu dinamis mengikuti pergerakan posisi matahari-mampu

menghasilkan tegangan keluaran rata-rata lebih besar-dibandingkan sistem tanpa menggunakan tracker baik pada posisi PV statis menghadap timur dan barat masing-masing sebesar 12.08% dan 11.06%. Tegangan keluaran rata-rata sistem tracker dua sumbu, tanpa tracker menghadap timur, dan tanpa tracker menghadap barat masing-masing adalah 19.58 V, 17.47 V, dan 17.63 V.



Gambar 10. Perbandingan Tegangan Output PV2 pada; (a) Tracker Dua Sumbu Dinamis, (b) PV Hadap Timur Statis, dan (c) PV Hadap Barat Statis. Tabel 3 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa pada sejak jam 09.00 WIB hingga 15.00 WIB, modul PV2 menggunakan sistem tracker dua sumbu dinamis mengikuti pergerakan posisi matahari-mampu menghasilkan tegangan keluaran rata-rata lebih besar-dibandingkan sistem tanpa menggunakan tracker baik pada posisi PV statis menghadap timur dan barat masing-masing sebesar 12.67% dan 10.74%. Tegangan keluaran rata-rata sistem tracker dua sumbu, tanpa tracker menghadap timur, dan tanpa tracker menghadap barat masing-masing adalah 19.38 V, 17.20 V, dan 17.50 V.

Gambar 9 dan Gambar 10 juga menunjukkan bahwa modul PV menggunakan sistem tracker dua sumbu dinamis mampu mempertahankan tegangan keluaran lebih stabil khususnya sejak siang jam 12.00 WIB hingga sore jam 15.00 WIB dibandingkan sistem tanpa menggunakan tracker dengan kedua PV statis menghadap timur dan barat. Sistem tracker dua sumbu menggunakan sensor photodiode mampu bekerja berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh modul PV. Cahaya tersebut selanjutnya dikonversi menjadi sinyal analog dan dikirimkan ke Arduino Nano. Sinyal ini diolah oleh IC SMD Atmega 328P-AU dan dikirim ke motor penggerak servo vertikal atau motor penggerak horizontal supaya mampu bergerak sesuai atau berlawanan dengan arah

jarum jam. Pada pengujian tanpa menggunakan tracker dengan kedua modul PV statis menghadap timur atau barat, tegangan keluaran rata-rata PV1 dan PV2 cenderung tidak stabil dan turun signifikan ketika menjelang sore hari. Perbandingan solar tracker dua sumbu menggunakan ATS, sensor photodiode dan arduino nano untuk stabilisasi tegangan keluaran (usulan penelitian) dibandingkan penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Solar Tracker Dua Sumbu Menggunakan ATS, Sensor Photodiode Dan Arduino Nano Untuk Stabilisasi Tegangan Keluaran

Peneliti	Variable Terukur	Sensor	Suplai Daya Penggerak
Nityasa Manuswara H.Y.T., et, al, 2016	Daya dan Intensitas Cahaya Matahari	Light Dependent Resistor (LDR)	AC
Margana, 2019	Tegangan, Arus, Daya, dan Efisiensi	LDR	AC
Bernadeta Wuri Harini, et. al, 2022	Tegangan, Arus, Intensitas Cahaya	LDR	AC

Sistem solar tracker dua sumbu untuk penerangan kapal menggunakan Arduino dan sensor LDR sudah diobservasi oleh Manuswara *et al*, (2016). Variabel terukur pada penelitian ini adalah daya dan intensitas cahaya matahari. Sensor yang digunakan pada Arduino uno adalah LDR dengan sumber penggerak motor servo adalah listrik AC. Sistem solar tracking dua sumbu berbasis arduino IDE dan mikrokontroler menggunakan lensa fresnel sudah diinvestigasi oleh (Margana, 2019). Variabel terukur penelitian adalah tegangan, arus, daya maksimum dan efisiensi menggunakan sensor LDR. Sumber listrik yang digunakan untuk motor servo adalah sumber AC. Kinerja panel surya dengan pelacak matahari dua sumbu menggunakan sensor LDR sudah diinvestigasi oleh Harini *et al*, (2022). Variabel terukur penelitian adalah tegangan, arus, dan intensitas cahaya matahari menggunakan sensor LDR. Sumber listrik yang digunakan untuk penggerak motor servo pada penelitian ini adalah sumber AC. Kontribusi penelitian ini adalah implementasikan ATS pada sistem tracker dua sumbu menggunakan sensor photodiode dengan variabel terukur tegangan. Sistem diusulkan supaya penggerak motor servo mampu mendapat pasokan daya listrik baik dari sumber AC PLN dan sumber DC

batere atau sebaliknya secara otomatis. Dengan demikian sistem tracker dua sumbu mampu beroperasi normal sepanjang hari, walaupun terjadi gangguan pemadaman listrik oleh PLN.

KESIMPULAN

Kombinasi sistem solar tracker dua sumbu dan ATS berbasis sensor photodiode dan Arduino Nano untuk menstabilkan tegangan keluaran pembangkit PV sudah dibahas. Desain dan implementasi sistem modul PV menggunakan sistem tracker dua sumbu dengan pergerakan dinamis mengikuti pergerakan posisi sinar matahari, mampu menghasilkan tegangan keluaran rata-rata lebih besar dan stabil-dibandingkan sistem tanpa menggunakan tracker-baik pada posisi modul PV statis menghadap timur dan barat masing-masing sebesar 12.34% dan 10.94%. Tegangan keluaran rata-rata sistem tracker dua sumbu, tanpa tracker menghadap timur, dan tanpa tracker menghadap barat masing-masing 19.48 V, 17.34 V, dan 17.56 V. Sensitivitas sensor photodiode terhadap cahaya matahari juga membantu peningkatan kinerja sistem yang diusulkan-sehingga tegangan keluaran PV pada periode pagi hingga sore lebih besar dan stabil dibandingkan sistem tanpa solar tracker. Terminal sensor Arduino-Nano relatif terbatas sehingga hanya bisa digunakan untuk mengukur nilai tegangan keluaran PV, kendali sensor photodiode, serta kendali motor servo DC ke arah kanan, kiri, atas, dan bawah. Untuk monitoring variabel lain misalnya arus, daya, atau intensitas cahaya matahari dapat dilakukan menggunakan Arduino dengan kapasitas sensor lebih besar, *Internet of Things* atau aplikasi sejenis lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Kodrat Wirawan Fauzi, Teguh Arfianto, Dan Nandang Taryana, (2018), Perancangan Dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno, *Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi, Dan Kontrol*, Vol 4, No. 1, Mei 2018, Pp. 63~74, DOI: <https://doi.org/10.15575/Telka.V4n1, Pp. 63-74>.
- Alfin Syarifuddin Syahab, Hanif Cahyo Romadhon, Dan M. Luqman Hakim, (2019) Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis Pada Pengisian Energi Panel Surya Bebas Internet Of Things, *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Vol. 6 No. 2, Juli 2019*, Pp. 21~29, DOI: <https://doi.org/10.36754/Jmkg.V6i2.120>.
- Istiyo Winarno And Firdaus Wulandari, (2017) Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis), *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2017, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 1-2 November 2017, Pp. 1~10.
- Dani Suryana Setiyawan, Djuniadi, Dan Esa Apriaskar, (2021), Simulasi Perancangan Solar Tracker Pada Pembangkit Listrik Wind-Solar, *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, Vol.5, No. 2, Agustus 2021, Pp. 136 ~147, DOI: 10.22373/Crc.V5i2.8555.
- Romi Fernandes Dan Muldi Yuhendri, (2020) Implementasi Solar Tracker Tanpa Sensor Pada Panel Surya, *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, Volume 06 Number 02, 2020, Pp. 337~343, DOI : <https://doi.org/10.24036/Jtev.V6i2.109403>.
- Syafira Amalia, Solly Aryza, Amani D Tarigan, Siti Anisah, Dan Hamdani Hamdani, (2020), Rancang Bangun Tracker Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Empat Titik Berbasis Mikrokontroler, *Seminar Of Social Sciences Engineering And Humaniora*, 2020, Pp. 1~16.
- Izran Mardjun, Syahrir Abdussamad, Dan Riska K Abdullah, (2018) Rancang Bangun Solar Tracking Berbasis Arduino Uno, *Jurnal Teknik Elektro Cosphi*, Vol. 1, No. 2 Tahun 2018, Pp. 19~24.
- Iskandar R., David Alif Utama, Dan Lovely Son, (2018), Perancangan Dan Pengujian Penjejak Cahaya Matahari Untuk Modul Surya Dengan Sistem Microcontroller Arduino Uno Atmega 328, *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal - Vol. 02 No. 01 (2018)*, Pp. 21~30.
- Aditya W. Utama, (2019), Rancang Bangun Solar Tracker Dengan Sensor Light Dependent Resistor Berbasis Arduino, *Jurnal Citra Widya Edukasi*, Vol XI No. 1 Agustus 2019, Pp. 101~118.

- Margana, (2019), Solar Tracking Dual – Axis Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Lensa Fresnel Guna Meningkatkan Efisiensi Pengfokusan Cahaya Matahari, *Eksergi Jurnal Teknik Energi*, Vol 15, No. 2 Mei 2019, Pp. 77~80, DOI: <http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.V15i2.1509>.
- Felycia, (2020), Solar Cell Tracking System Dengan Lux Meter Berbasis Arduino Uno R3, *Jurnal PROSISKO* Vol. 7 No.2. September 2020, Pp. 132~140.
- Putri Pertiwi Wanajaya, (2019), Analisa Kinerja Solar Tracker Dengan Menggunakan Solar Cell Berbasis Arduino UNO, *Journal Of Electrical Power, Instrumentation And Control (EPIC)*, Vol 2, No 2, 2019, Pp. 1~6, DOI: <http://dx.doi.org/10.32493/epic.V2i2.2890>.
- Septian Ari Kurniawan Dan Mohammad Taufik, (2021) Rancang Bangun Solar Tracker Sumbu Tunggal Berbasis Motor Stepper Dan Real Time Clock, *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, Vol 26, No 1 (2021), Pp. 1~12, DOI: <http://dx.doi.org/10.35760/tr.2021.V26i1.3685>.
- Alfis Mandala Putra Dan Aslimeri, (2020), Sistem Kendali Solar Tracker Satu Sumbu Berbasis Arduino Dengan Sensor LDR, *Jtev (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, Volume 06, Nomor 01, 2020, Pp. 322~327, DOI : <https://doi.org/10.24036/jtev.V6i1.107775>.
- Bernadeta Wuri Harini Dan Petrus Setyo Prabowo Yehezkiel Krisma, (2022), Kinerja Panel Surya Dengan Pelacak Matahari Dual Aksis Menggunakan Algoritma Berbasis Sensor LDR, *Seminar Nasional Ilmu Sosial Dan Teknologi (SNISTEK)*, 14 Januari 2022, Pp. 49~54, ISBN 978-623-5645-10-0.
- Mochamad Aji Prasetyo Dan Humaidillah Kurniadi Wardana, (2021), Rancang Bangun Monitoring Solar Tracking System Menggunakan Arduino Dan Nodemcu Esp 8266 Berbasis Iot, *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)* Vol. 4 No. 2, 2021, Pp. 163~168, DOI: <https://doi.org/10.24853/resistor.4.2.163-168>.
- Brigita Sitorus, Hans Tumaliang, Dan Lily S. Patras, (2015), Perancangan Panel Surya Pelacak Arah Matahari Berbasis Arduino Uno, *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer* Vol.5 No. 3, 2015, Pp. 1~12, Issn: 2301-8402.
- Agus Tianto Hendri Putra, Ayong Hiendro, Dan Dedy Suryadi, Meningkatkan Daya Output Panel Surya Dengan Sun Tracker Berbasis Waktu, Pp. 229~237, Link: <https://jurnal.untan.ac.id>, Tanggal Akses 26/4/2022.
- Ryzka Jaya Dio Lesmana Dan Achmad Imam Agung, (2019), Rancang Bangun Solar Cell Tracking System Dan Proteksi Beban Lebih Berbasis Arduino, *Jurnal Teknik Elektro. Volume 08 Nomor 01 Tahun 2019*, Pp. 229~237.
- Nityasa Manuswara Hakam Yonni Tanaya, Sardono Sarwito, Dan Adi Kurniawan, (2016) Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Guna Optimalisasi Panel Surya Untuk Penerangan Pada Kapal, *Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, Pp. 1~56.
- Bagus M. Rizky, (2020), Penggunaan Arduino Uno Sebagai Alat Tracker Matahari Pada Plts 200 Wp Dengan Sistem Solar Charge, *Tugas Akhir S1, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan*, Pp. 1~47.