

Analisis penggunaan pengarah sudut/*tracker* dengan mikrokontrol ATmega 328 (Arduino Uno) untuk meningkatkan efisiensi panel surya

Supriyadi^a, Larasati Rizky Putri^{b1}, Abigunto Amoro Adji^c, Sentot Novianto^d

^{a, b, c, d}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Trisakti, Jakarta

¹larasati.rizki@trisakti.ac.id

ABSTRACT

Energi surya (matahari) saat ini menjadi salah satu topik yang hangat dibicarakan. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar untuk dimanfaatkan, khususnya dengan menggunakan panel surya yang dapat berfungsi mengonversi energi surya menjadi energi listrik. Usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan panel surya masih terus dikembangkan, hal ini karena energi surya adalah energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan sebagai energi masa depan. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari efisiensi panel surya berdasarkan sudut panel surya dengan menggunakan pengarah/*tracker* yang dikendalikan dengan mikrokontrol ATmega 328. Metode yang digunakan bervariasi sudut panel surya terhadap arah datangnya sinar matahari berdasarkan waktu rotasi bumi pada pukul 08.00, 10.00, 14.00 dan 16.00. Variasi sudut panel surya diperoleh dari pergerakan motor yang ditransmisikan menggunakan rangkaian roda gigi dan puli *V-belt* untuk mereduksi putaran. Mikrokontrol ATmega 328 dalam penelitian ini digunakan untuk mengatur waktu pergerakan motor, dan juga menggerakkan motor untuk bergerak searah jarum jam atau bergerak berlawanan arah jarum jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *tracker* sebagai pengarah panel surya dapat meningkatkan efisiensi hingga 22,1%, dimana sudut panel surya yang diujikan adalah minus 60°, minus 20°, 20° dan 60° terhadap pusat putaran panel. Implikasi dari penelitian ini adalah penggunaan *tracker* pada panel surya sangat signifikan untuk diterapkan didalam penggunaan/pemasangan panel surya.

Keywords: Panel Surya, *Tracker*, Mikrokontrol, ATmega 328, Efisiensi

Diterima 30 September 2023; **Dipresentasikan** 5 Oktober 2023; **Publikasi** 27 Mei 2024

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Panel surya adalah salah satu teknologi utama dalam menghasilkan listrik dari sinar matahari, namun, untuk mencapai efisiensi optimal, penting untuk menghadapkan panel surya secara tepat ke arah matahari sepanjang hari. Ini adalah tantangan yang dapat diatasi melalui penggunaan pengarah sudut atau *tracker* yang dapat mengubah posisi panel surya untuk mengikuti pergerakan matahari.

Energi surya adalah energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan sebagai energi masa depan. Hal ini dikarenakan tidak adanya efek perusakan lingkungan selama proses konversi energi [1]. Keunggulan energi surya ini tersedia sepanjang waktu dan tidak akan pernah

habis. Penerapan PLTS sebagai sumber energi listrik alternatif pada daerah terpencil sangatlah tepat mengingat potensi energi surya rata-rata di Indonesia cukup baik, yakni sekitar 4,5 kWh/m²/hari yang dapat dimanfaatkan secara cuma-cuma. Energi surya sebesar 4,5 kWh/m²/hari ini setara dengan 675 Wh (*watt-hour*) per hari yang dihasilkan oleh modul sel surya kapasitas 100 Wp (*watt peak*) dengan luas permukaan 1 m², dan konversi efisiensi sel 15% [2].

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor, seperti: silikon, yang didoping dengan berbagai pengotor [3]. Hal ini menghasilkan distribusi elektron bebas (tipe-n) yang tidak merata di satu sisi sambungan dan kelebihan lubang (tipe-p) di sisi sambungan lainnya. Cahaya matahari memiliki foton yang mengenai panel surya dan membangkitkan elektron yang terikat longgar yang dirancang untuk bergerak hanya dalam satu arah dalam sel surya dan dengan demikian pasangan lubang elektron dibuat di persimpangan masing-

masing dan listrik diperoleh di sirkuit eksternal tersebut. Berapapun ukurannya, sel surya biasa menghasilkan 0,5-0,6 volt DC dalam kondisi tanpa beban dan sirkuit terbuka. Peringkat arus dan tegangan (daya) sel PV terutama tergantung pada efisiensi, ukuran (luas permukaan) dan sebanding dengan intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel.

Efisiensi sel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya penyinaran matahari. Ini adalah salah satu faktor paling dinamis yang mengubah kinerja panel surya [4]. Efisiensi panel surya ini mengukur jumlah radiasi matahari dari matahari yang mengenai permukaan tertentu. Radiasi matahari biasanya dinyatakan dalam watt per meter persegi (W/m^2). Di bawah kondisi ideal panel surya harus menerima radiasi $1000 W/m^2$ tapi ini tidak selalu terjadi di sebagian besar lingkungan. Penyinaran tergantung pada posisi geografis, sudut matahari ke panel surya dan jumlah energi yang terbuang oleh refleksi dari partikel debu atau dari kabut atau awan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan performa (efisiensi) dari panel surya [5]. Melakukan penelitian terhadap pengaruh sudut kemiringan dan sudut azimut panel surya terhadap radiasi rata-rata matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik (array) tetap, dihitung dengan menggunakan *software* MATLAB 2008a. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dengan sudut kemiringan tertentu per bulan cenderung tidak linear dan tidak konstan. Hal ini disebabkan oleh radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tidak hanya bergantung pada besar sudut kemiringan panel tetapi juga diakibatkan dari faktor gerak semu harian dan tahunan matahari serta indeks kecerahan per bulan.

Melakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi panel surya dengan menggunakan metode lensa dan cermin (*concentrated photovoltaic technology*) untuk memfokuskan sinar matahari [6]. Selain itu juga menggunakan pendingin pada panel surya. Berdasarkan studi yang menyatakan bahwa performa radiasi matahari berkurang hingga 50% ketika temperatur meningkat dari $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $84\text{ }^{\circ}\text{C}$ [7]. Oleh karena itu, sistem pendinginan yang efisien sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi panel surya dan untuk mencegah panel dari degradasi dan kerusakan. Panel surya dapat didinginkan secara aktif atau pasif.

Pengarah sudut atau *tracker* ini dapat diimplementasikan dengan menggunakan teknologi mikrokontrol, seperti ATmega 328 (Arduino Uno), yang menawarkan kemampuan kontrol yang canggih dan fleksibilitas dalam mengoptimalkan posisi panel surya. *Tracker* merupakan alat penggerak yang dikendalikan dengan sistem kendali. *Tracker* ini dimaksudkan untuk meningkatkan penyerapan energi surya yang diterima oleh panel surya [8]. Metoda yang digunakan adalah dengan membandingkan panel surya yang dipasang *flat* dan panel surya yang dipasang *tracker*. Cara kerja *tracker* ini dengan melakukan gerakan perubahan sudut terima relatif panel terhadap posisi matahari. Prosentase peningkatan energi yang diperoleh dalam penelitian berkisar diantara 27,65% hingga 28,28%.

Panel surya yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik akan di desain dengan sistem *solar tracking system* yang dikontrol menggunakan mikrokontroler Arduino Uno (ATmega 328). Mikrokontroler digunakan untuk memproses informasi dari alam, memutuskan tindakan berdasarkan informasi yang dikumpulkan, dan kemudian mengeluarkan sinyal kontrol untuk mengimplementasikan keputusan [8]. Penggunaan mikrokontrol ATmega 328 ini dapat digunakan untuk mengontrol waktu pergerakan *tracker* dan lama pergerakannya.

Dengan mengintegrasikan teknologi mikrokontrol ini, diharapkan bahwa panel surya dapat secara otomatis mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, mengoptimalkan penerimaan sinar matahari dan menghasilkan lebih banyak energi listrik. Dalam konteks perubahan iklim dan peningkatan permintaan akan energi terbarukan, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam mengoptimalkan penggunaan sumber energi surya dan mempercepat transisi menuju energi bersih. Oleh karena itu, analisis ini menjadi perhatian penting dalam pengembangan teknologi energi surya yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan mempelajari efisiensi panel surya berdasarkan sudut panel surya dengan menggunakan pengarah/*tracker* yang dikendalikan dengan mikrokontrol ATmega 328 (Arduino Uno). Implikasi dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam mendesain panel surya menggunakan *tracker*.

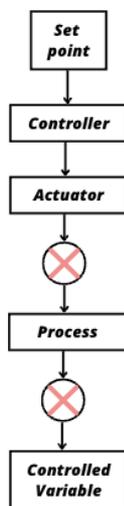
METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian alat pengarah/*tracker* panel surya dengan melakukan

pengujian eksperimen dengan menggunakan panel surya 100 Wp berdimensi 1000 x 670 mm. Tegangan dan arus listrik yang dapat dicapai panel pada daya puncak (100 Watt) berturut-turut adalah 18,3 volt dan 5,47 ampere. Pergerakan *tracker* menggunakan transmisi yang digerakan motor dengan putaran bolak balik (searah jarum jam atau bergerak berlawanan arah jarum jam). Waktu dan lamanya pergerakan motor dikendalikan oleh mikrokontrol ATmega 328 (Arduino Uno).

1. Sistem kendali *tracker*

Sistem kendali *tracker* digunakan untuk mengembangkan dan mengoperasikan pengarah sudut atau *tracker* dalam berbagai aplikasi, termasuk penggunaan dalam panel surya. Konsep dasar dari sistem kendali *tracker* adalah memastikan bahwa panel surya atau perangkat lainnya selalu mengikuti atau melacak sumber sinar matahari, sehingga dapat memaksimalkan penerimaan energi. Pergerakan *tracker* diatur/kontrol oleh sistem kendali menggunakan mikrokontrol ATmega 328 (Arduino Uno). Berikut pada gambar 1 disajikan gambar skema sistem kendali terbuka yang digunakan.

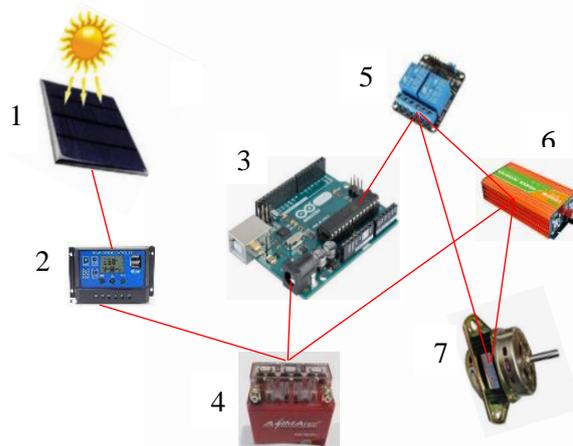


Gambar 1. *Open-loop control system*

Pada sistem kendali terbuka feedback tidak digunakan, sehingga pengendali harus secara bebas menentukan signal yang bagaimana yang harus diberikan kepada aktuator. Tujuan utama dari teori sistem kendali *tracker* adalah untuk mencapai pelacakan matahari yang presisi sehingga panel surya atau perangkat lainnya selalu menghadap ke arah matahari, yang pada gilirannya akan meningkatkan efisiensi pengumpulan energi matahari. Dengan menggunakan

kontrol otomatis berdasarkan data sensor, sistem kendali *tracker* mampu mengatasi perubahan dalam posisi matahari sepanjang hari dan sepanjang tahun.

Pembuatan sistem kendali *tracker* menggunakan Arduino Uno yang mengaplikasikan mikro chip ATmega 382 sebagai mikrokontrollernya [9]. Berikut pada gambar 2 disajikan skema sistem kendali yang digunakan.



Gambar 2. Sistem kendali *tracker*

Arduino Uno merupakan sistem terbuka untuk merancang dan pemrograman elektronik. Arduino dapat menerima dan mengirimkan informasi ke banyak *device* elektronik. Komponen *device* yang diprogram dan dihubungkan dengan Arduino Uno adalah motor penggerak *tracker*, *relay*, *inverter*, aki 12 volt 5 Ah dan *charger controller*.

2. Rangka *tracker* dan sistem transmisi

Rangka *tracker* berperan penting dalam mengoptimalkan kinerja panel surya yang memerlukan pelacakan matahari. Dengan menggunakan struktur yang tepat dan mekanisme penggerak yang efisien, rangka *tracker* akan memastikan bahwa panel surya selalu mendapatkan paparan sinar matahari yang maksimum sepanjang hari. Ini berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi pengumpulan energi matahari dan, sebagai hasilnya, menghasilkan lebih banyak listrik dari sumber energi surya.

Pembuatan rangka *tracker* disesuaikan dengan dimensi dengan dudukan berbentuk segitiga. Baik rangka maupun dudukan menggunakan material baja ringan. Dengan ketebalan 1 mm. Berikut gambar 3 yang menyajikan rangka dan dudukan *tracker* tersebut.



Gambar 3. Rangka dan dudukan *tracker* panel surya

Pembuatan sistem transmisi *tracker* menggunakan 2 buah *gear box planetary* yang dihubungkan dengan *V belt* dan *pully*. Motor penggerak yang digunakan dapat berputar searah dan juga berlawanan jarum jam dengan melakukan pengaturan koneksi dengan kapasitor motor. Sistem transmisi tersebut dirangkai menggunakan besi profil siku untuk mendapatkan ketegaran struktur rangkanya. Berikut gambar dari sistem transmisi *tracker*.



Gambar 4. Sistem transmisi *tracker*

Evaluasi intensitas cahaya dengan *tracker* dibandingkan dengan intensitas cahaya pada sudut digunakan *mean relative deviation* (MRD) [10], dengan persamaan sebagai berikut:

$$MRD = \frac{1}{N} \sum \frac{I_{tracker} - I_{sudut}}{I_{sudut}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana $I_{tracker}$ dan I_{sudut} berturut-turut adalah intensitas cahaya dengan *tracker* dan intensitas cahaya pada sudut tertentu.

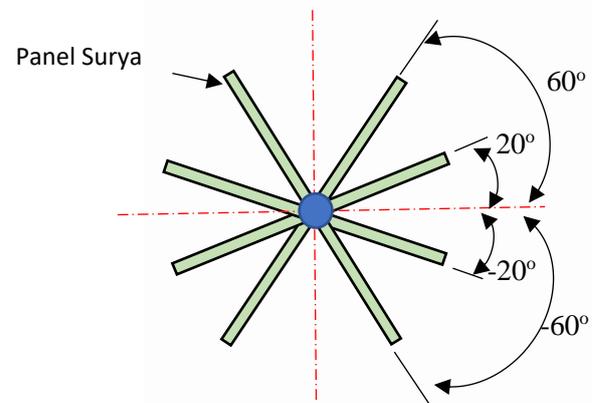
Evaluasi efisiensi panel surya yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

$$\eta = \frac{P_{eks}}{P_{maks}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana P_{eks} dan P_{maks} berturut-turut adalah daya yang diperoleh saat penelitian (eksperimen) dan daya maksimum yang dapat dicapai oleh panel surya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penggunaan *tracker* untuk panel surya berdaya 100 Wp pada penelitian ini menggunakan 4 buah sudut perubahan arah *tracker*, yaitu minus 60°, minus 20°, 20° dan 60°. Mekanisme gerak putaran *tracker* dikendalikan oleh mikrokontrol arduino uno dengan pengaturan waktu-gerak pada motor yang digunakan. Kondisi awal *tracker* mempunyai posisi sudut minus 60° pada pukul 08.00. Kemudian *tracker* akan bergerak sampai minus 20° pada pukul 10.00. Gerak berikutnya terjadi pada pukul 14.00 dimana *tracker* akan berada pada posisi 20°. Posisi terakhir akan terjadi pada pukul 16.00 dimana *tracker* berada pada posisi 60°. Pergerakan terakhir terjadi pada pukul 18.00 dimana *tracker* kembali berputar berlawanan arah dari gerak sebelumnya hingga mencapai sudut minus 60° (*tracker* kembali ke posisi semula). Berikut gambar 4 yang mengilustrasikan pergerakan *tracker* panel surya.



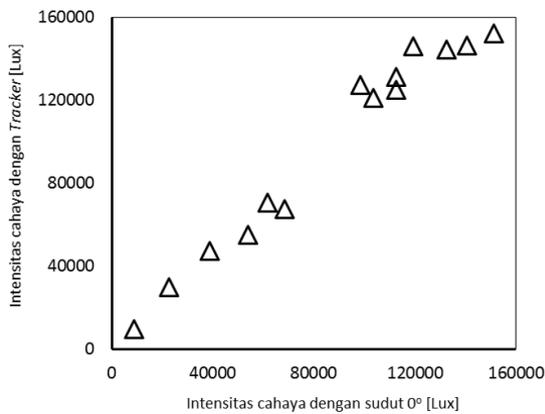
Gambar 4. Pergerakan *tracker* panel surya

Intensitas cahaya yang digunakan dalam penelitian ini adalah iluminan (*illuminance*) yaitu, banyak arus cahaya yang datang pada satu unit bidang, diukur dengan Lux atau Lumen/m², sedangkan prosesnya disebut iluminasi (*illumination*) yaitu datangnya cahaya ke suatu objek.

1. Perbandingan intensitas cahaya pada sudut 0° dengan eksperimen (*tracker*)

Intensitas cahaya yang diterima panel surya dalam posisi *flat* atau sudut 0° mempunyai nilai

terendah 8.764 lux pada temperatur lingkungan 33,3 °C dan mempunyai nilai tertinggi 151.300 lux pada suhu lingkungan 44,7 °C. Sedangkan intensitas cahaya yang diterima panel surya dengan menggunakan *tracker* dengan pergerakan 4 sudut yang dibuat mempunyai nilai terendah 9.360 lux pada temperatur lingkungan 33,3 °C dan mempunyai nilai lux tertinggi 152.000 lux pada suhu lingkungan 44,7 °C. Pada gambar 5 dibawah ini disajikan perbandingan intensitas cahaya yang diserap panel surya pada sudut 0° dengan intensitas cahaya yang diserap panel surya dengan menggunakan *tracker*.

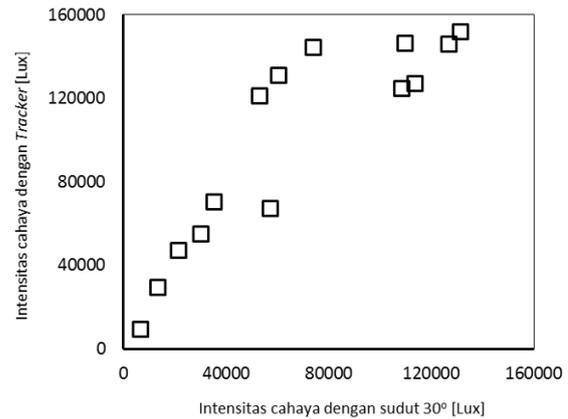


Gambar 5. Perbandingan intensitas cahaya pada sudut 0° dengan *tracker*

Evaluasi MRD intensitas cahaya dengan *tracker* dengan intensitas cahaya pada sudut 0° menunjukkan nilai 12,91% dimana intensitas cahaya dengan *tracker* mempunyai nilai yang lebih tinggi dari intensitas cahaya dengan sudut 0°.

2. Perbandingan intensitas cahaya pada sudut 30° dengan eksperimen (*tracker*)

Intensitas cahaya yang diterima panel surya dalam posisi sudut 30° mempunyai nilai terendah 6.817 lux pada temperatur lingkungan 33,3 °C dan mempunyai nilai tertinggi 131.500 lux pada suhu lingkungan 44,7 °C. Sedangkan intensitas cahaya yang diterima panel surya dengan menggunakan *tracker* dengan pergerakan 4 sudut yang dibuat mempunyai nilai terendah 9.360 lux pada temperatur lingkungan 33,3 °C dan mempunyai nilai lux tertinggi 152.000 lux pada suhu lingkungan 44,7 °C. Pada gambar 6 dibawah ini disajikan perbandingan intensitas cahaya yang diserap panel surya pada sudut 30° dengan intensitas cahaya yang diserap panel surya dengan menggunakan *tracker*.



Gambar 6. Perbandingan intensitas cahaya pada sudut 30° dengan *tracker*

3. Evaluasi efisiensi intensitas cahaya dengan menggunakan *tracker*

Evaluasi efisiensi panel surya dihitung berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan dan menggunakan persamaan 2. Dimana daya yang diperoleh saat penelitian (eksperimen) merupakan hasil kali dari tegangan dan arus listrik yang dihasilkan panel surya ke dalam baterai (*accu*). Hasil perhitungan efisiensi panel surya menggunakan *tracker* menggunakan 4 buah sudut perubahan arah *tracker*, yaitu minus 60°, minus 20°, 20° dan 60° menunjukkan nilai efisiensi 22,1%. Hasil ini memperlihatkan nilai efisiensi yang lebih besar dibandingkan penelitian yang dilakukan sebelumnya yang hanya mendapatkan efisiensi sebesar 15% [11].

Prosentasi dari energi yang diproduksi panel mengacu pada jumlah energi listrik yang sebenarnya dihasilkan oleh panel surya dalam penggunaan sehari-hari. Ini dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti intensitas cahaya matahari, sudut inklinasi panel, cuaca, dan efisiensi panel itu sendiri.

KESIMPULAN

Penelitian penggunaan pangarah/*tracker* dengan mikrokontrol ATmega 328 (Arduino Uno) untuk meningkatkan efisiensi panel surya telah berhasil dilakukan dengan baik. Nilai intensitas cahaya yang diterima panel surya dengan menggunakan *tracker* mempunyai nilai yang lebih tinggi dari intensitas cahaya yang diterima panel surya pada posisi sudut 0° maupun 30° dengan nilai MRD berturut-turut 12,91% dan 64,23%. Hasil perhitungan efisiensi panel surya menggunakan *tracker* nilai efisiensi 22,1%. Implikasi dari penelitian ini adalah penggunaan *tracker* pada panel surya sangat signifikan untuk

diterapkan pada penggunaan/pemasangan panel surya. Energi maksimum yang bisa dihasilkan oleh panel surya yang digunakan merujuk pada kapasitas teoretis maksimum panel surya tersebut. Informasi ini biasanya tercantum dalam spesifikasi teknis panel surya dan memberikan pandangan tentang seberapa besar potensi energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya dalam kondisi ideal, seperti saat matahari bersinar dengan intensitas maksimum dan panel surya berada pada sudut yang optimal terhadap matahari. Perbandingan antara energi yang sebenarnya dihasilkan oleh panel surya dengan energi maksimum yang dapat dihasilkannya merupakan ukuran kritis dalam mengevaluasi kinerja panel surya. Semakin tinggi persentasi efisiensi, semakin baik panel surya tersebut dalam mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Oleh karena itu, pemantauan dan pengoptimalan efisiensi panel surya sangat penting untuk memaksimalkan penggunaan energi surya dan menghasilkan listrik secara efektif dan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti yang telah mendanai penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahayuningtyas, Ari, Kuala, Seri Intan, & Apriyanto, Ign Fajar. "Studi Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Skala Rumah Sederhana Di Daerah Pedesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan Dan Energi Terbarukan" *Prosiding SNaPP: Sains, Teknologi*, 4 (1), 223-230. 2014.
- [2] A. Kholid. "Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Penerapannya Untuk Daerah Terpencil. *Dinamika Rekayasa*," 1(1), 29-33. 2005.
- [3] G. Subhendu. "Manufacturing technology of amorphous and nanocrystalline silicon solar cells". Paper presented at the 2007 International Workshop on Physics of Semiconductor Devices.
- [4] Lin, Chia-Hung, Hsieh, Wei-Lin, Chen, Chao-Shun, Hsu, Cheng-Ting, & Ku, Te-Tien. "Optimization of photovoltaic penetration in distribution systems considering annual duration curve of solar irradiation," *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(2), 1090-1097.
- [5] Pangestuningtyas, DL, Hermawan, Hermawan, & Karnoto, Karnoto. "Analisis pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik tetap," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 2(4), 930-937.2014.
- [6] Arshad, Rizwan, Tariq, Salman, Niaz, Muhammad Umair, & Jamil, Mohsin. "Improvement in solar panel efficiency using solar concentration by simple mirrors and by cooling," Paper presented at the 2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering (iCREATE).
- [7] Akbarzadeh, A, & Wadowski, T. "Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. *Applied thermal engineering*, 16(1), 81-87. 1996.
- [8] Yandi, Welly, Syafii, & Pulungan, Ali Basrah. "Tracker Tiga Posisi Panel Surya untuk Peningkatan Konversi Energi dengan Catu Daya Rendah," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 6(3), 159-167. 2017.
- [9] Barrett, Steven F. "Arduino Microcontroller: Processing for Everyone! Part II," *Synthesis Lectures on Digital Circuits & Systems*, 5(1), 1-244. 2010.
- [10] B. Yusuf Abdullahi. "The working principle of an Arduino," Paper presented at the 2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO). 2014.
- [11] Koestoer, R. Artono, Novianto, Sentot, & Pamitran, Agus S. "Heat transfer of single phase flow with natural refrigerant (R-290) in microchannel," Paper presented at the AIP Conference Proceedings. 2019.