

RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKER SINGLE AXIS* RAKITAN PADA *SOLAR CELL* TYPE *POLLICRYSTALINE*

Adrian Wado¹, Herdy Djoly Liow², Davidsen Oktafianus Mapaliey³

Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Negeri Manado

Email: adryanwado@gmail.com

ABSTRAK

Pentingnya pengembangan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya, untuk mengatasi tantangan ketersediaan energi di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pelacak surya single axis yang dapat meningkatkan efisiensi panel surya polikristalin, memastikan penangkapan energi maksimum, dan mendukung keberlanjutan energi. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode R&D (Research and Development). Metode penelitian dan pengembangan atau dalam bahasa Inggrisnya Research and Development adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Pengujian 3 menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal efisiensi, kapasitas produksi energi, fleksibilitas, dan daya output dibandingkan dengan Pengujian 1 dan Pengujian 2, yang menunjukkan kinerja yang lebih rendah. Dalam kesimpulannya, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa solar tracker single axis yang dirakit berhasil meningkatkan kinerja panel surya polycrystalline dengan mengikuti gerakan matahari. Efisiensi penangkapan energi meningkat secara signifikan, menunjukkan potensi solar tracker dalam meningkatkan kontribusi energi surya dalam memenuhi kebutuhan energi masa depan.

Kata kunci : Sistem pelacak surya, Efisiensi panel surya polikristalin, Solar tracker single axis.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi dimasa mendatang menarik perhatian semua negara, karena kesejahteraan manusia di kehidupan modern berkaitan erat dengan jumlah dan

kualitas energi yang digunakan. Konsumsi energi seperti tumbuh lebih cepat dibanding pertumbuhan populasi masyarakat. Untuk itu sangat perlu pengembangan sumber energi lain, energi terbarukan.

Energi terbarukan merupakan turunan energi dari proses alami yang tidak melibatkan sumber daya seperti bahan bakar fosil dan uranium. Energi terbarukan diantaranya dapat dalam bentuk energi surya, angin, biomasa, panas bumi dan gelombang laut (Kananda, K. 2017).

Dari sekian banyak sumber energi terbarukan, penggunaan energi melalui *solar cell* atau photovoltaic (PV) merupakan alternatif paling potensial untuk diterapkan di wilayah Indonesia. Energi surya adalah salah satu sumber energi bersih paling menjanjikan, energi terbarukan, dan potensi paling tinggi dibanding sumber energi lainnya untuk menyelesaikan masalah energi dunia (Rahman, M. F., & Lammada, I. 2022).

Energi surya juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi cadangan untuk mencukupi kebutuhan akan energi listrik, dan dapat diterapkan di Indonesia karena Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang setiap tahun mendapatkan sinar matahari sangat baik. Selain itu, kondisi alam di Indonesia yang sangat sulit dijangkau dan berbentuk kepulauan, sehingga penerapan energi surya sangatlah tepat untuk menjangkau daerah tertinggal, terpencil, dan terluar (Gunawan, dkk. 2021).

Untuk itu dibutuhkan solusi pemanfaatan energi terbarukan dalam hal ini adalah tenaga surya sebagai pembangkit listrik yang mendukung kebutuhan masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah metode yang relatif baru dalam pembangkitan energi listrik dengan memanfaatkan energi matahari. PLN (Utari, E. L. 2018).

Panel surya adalah alat yang di gunakan untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus (Usman, M. K. 2020).

Terdapat berbagai macam jenis sel surya, diantaranya adalah panel surya tipe monokristal, panel surya tipe polikristal dan amorf silikon (Alfanz, 2015). Dari ketiga jenis panel surya yang disebutkan tersebut monokristal memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan polikristal, akan tetapi biaya polikristal lebih murah dibandingkan monokristal. Panel surya tipe polikristal ini terdiri dari susunan kristal secara acak dengan efisiensi yang dapat dicapai sekitar 10 sampai 12 persen. Panel surya dengan jenis amorf silikon memiliki harga yang paling murah, namun efisiensi yang dihasilkan sangat rendah (Surindra, 2020).

Sel surya terdapat kelemahan dimana sel surya sangat bergantung pada ketersediaan cahaya matahari dan kondisi awan. Selain itu akibat perubahan posisi matahari yang disebabkan gerak semu harian serta tahunan daya keluaran dari sel surya ini sangat kecil (Nugroho, 2014).

Untuk memanfaatkan energi cahaya matahari dengan maksimal maka panel surya ini harus terus diarahkan sesuai dengan arah pancaran cahaya matahari. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang ditangkap oleh panel surya, semakin besar daya listrik yang dihasilkan (Nurdiansyah, dkk. 2020).

Permasalahan yang ada pada saat ini adalah kebanyakan panel surya dipasang secara statis yang mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan tidak optimal. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu sistem yang dapat mengikuti arah pergerakan matahari. Alat yang digunakan untuk mengikuti arah gerak matahari dikenal sebagai pelacak surya atau solar tracker (Kesatu, dkk. 2021).

Sistem pelacak matahari dapat dikelompokkan menjadi sistem pasif dan aktif. Sistem pelacak matahari pasif tidak menggunakan penggerak motor dalam mengikuti gerak matahari. Permasalahan pada sistem

pelacak matahari pasif adalah masih rendahnya efisiensi dan efektifitas yang dihasilkan. Sistem pelacak matahari aktif menggunakan penggerak motor dalam mengikuti gerak matahari (Parikesit, dkk. 2017).

Solar power tracker adalah suatu sistem yang melacak arah sinar matahari yang diaktifkan oleh sensor dan akan memberikan panduan informasi dan mengarahkan sistem penggerak untuk melacak sinar matahari, sehingga posisi panel surya langsung menghadap matahari setiap saat dengan arah 90°. Dengan sistem tersebut memastikan penangkapan energi maksimum atau memastikan pengiriman daya maksimum (Sulaeman, I. 2021).

Oleh karena itu perlu dibuat suatu sistem yang dapat membuat *solar cell* itu mengikuti atau searah dengan pancaran cahaya matahari sehingga energi yang didapatkan lebih efisien. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan membuat *solar tracker single axis* yang dapat mempermudah pekerjaan manusia dengan memanfaatkan kemajuan teknologi, maka peneliti menarik untuk meneliti mengenai “RANCANG BANGUN *SOLAR TRACKER SINGLE AXIS* RAKITAN PADA *SOLAR CELL* TYPE *POLYCRYSTALLINE*” sehingga dapat memungkinkan hasil yang lebih efisien.

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah :

1. Kurang efektifnya rancangan Solar Tracker yang ada sekarang.
2. Tidak optimalnya penangkapan energy sinar matahari (pengisian daya tidak maksimal).

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Panel surya yang digunakan adalah tipe *Polycrystalline* kapasitas 10 wp.
2. *Solar tracker single axis* panel surya dibuat dalam bentuk rancang bangun.

Permasalahan yang dihadapi yaitu, bagaimana cara mengatur *Solar Tracker* agar dapat beroperasi

secara optimal mengikuti arah matahari dengan menetapkan batasan yang tepat ?

Tujuan penelitian ini adalah membuat solar tracker yang bekerja sebaik mungkin di iklim lokal agar panel surya bisa lebih efisien.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memaksimalkan fungsi dari panel surya
2. Memaksimalkan produksi listrik pembangkit listrik tenaga surya.
3. Menambah wawasan dan pengetahuan tentang pembangkit listrik tenaga surya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energy Baru Terbarukan

Energi baru terbarukan merupakan energi yang berasal dari proses alam yang tidak akan pernah habis dan berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk sumber pembangkit listrik (Rahman, M. F., & Lammada, I. 2022)..

2.2 Energy Matahari

Energi panas matahari merupakan energi yang potensial untuk dikelola dan dikembangkan lebih lanjut sebagai sumber cadangan energi terutama bagi negara yang terletak di daerah khatulistiwa termasuk Indonesia, di mana matahari dapat bersinar sepanjang tahun (Dwicaksono, M. B., & Rangkuti, C. 2018).

2.3 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang di gunakan untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik. Panel surya dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka electron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energy listrik dapat dibangkitkan. Cara kerja dari photovoltaic cell sangat tergantung kepada sinar matahari yang diterimanya. Panel sel surya menghasilkan arus yang digunakan

untuk mengisi baterai. Panel surya terdiri dari photovoltaic, yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya, saat intensitas cahaya berkurang (berawan, mendung, hujan) arus listrik yang dihasilkan juga berkurang (Usman, M. K. 2020).

Tipe Panel Surya:

1. Monokristal (*Mono-crystalline*)

Panel surya jenis monokristal memiliki efisiensi sampai dengan 14-17%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah efisiensinya akan turun saat cuaca berawan (Suwarti, dkk. 2018).



Gambar 1 Panel surya monocrystalline
(Sumber : Magga, R., & Arifin, Y. 2015)

2. Polikristal (Poly-Crystalline)

Polikristal Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah (Purwoto, dkk. 2018).

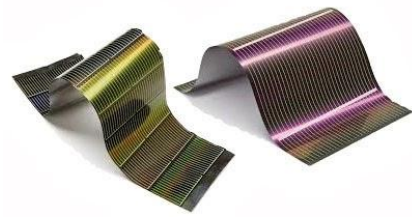


Gambar 2 Panel surya polycrystalline
(Sumber : Nainggolan, dkk. 2016)

3. Thin Film Photovoltaic

Thin Film Photovoltaic Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis

mikrokristal silikon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal.



Gambar 3 Thin film photovoltaic
(Sumber : Sihite. 2021)

2.4 Solar Tracker

Solar tracker atau Pelacak Matahari adalah sebuah alat yang dapat mendeteksi arah cahaya matahari dan bergerak mengikuti arah datangnya cahaya matahari sehingga diharapkan dengan alat ini dapat mengoptimalkan penyerapan matahari oleh panel surya (Pulungan, dkk. 2021).

Sumbu satu arah dan solar tracker dual-axis atau pelacak sumbu dua arah.

1. Single Axis

Solar tracker single axis adalah sistem pelacakan yang hanya dapat melacak arah cahaya matahari dengan satu sumbu putaran, yaitu secara vertikal (timur ke barat dan barat ke timur), horizontal (utara ke selatan dan selatan ke utara) atau miring (barat laut ke tenggara dan tenggara ke barat laut). Sistem panel surya single axis tracker terdiri dari dua sensor cahaya yang ditempatkan pada salah satu sisi panel dan satu motor sebagai penggerak panelnya (Pulungan, dkk. 2021).

2. Dual Axis

Sedangkan panel surya dual axis tracker adalah sistem pelacakan yang dapat melacak arah cahaya matahari dan menggerakkan posisi panel surya dengan dua sumbu putaran, yaitu secara vertikal dan horizontal. Sistem panel surya dual axis tracker terdiri dari empat sensor cahaya yang diletakkan pada bagian timur, barat,

selatan dan utara dan dua motor sebagai penggerak yang di pasang setiap sumbu. Berdasarkan orientasi ini, kita dapat mengimplementasikan sistem Solar Tracker kedalam dua bagian, yaitu; orientasi panel sel surya yang didasarkan pada lintasan matahari yang telah dihitung sebelumnya dan orientasi on-line yang bereaksi terhadap cahaya matahari secara langsung (Pulungan, dkk. 2021).

2.5 Solar Tracker Hidrolik dan Pnوماتik

Solar Tracker Hidrolik adalah sistem penelusuran matahari yang menggunakan fluida hidrolik (seperti minyak hidrolik) untuk menggerakkan mekanisme penelusuran matahari (Chang, Y. H., & Chen, M. H. 2019).

Solar Tracker Pneumatik adalah sistem penelusuran matahari yang menggunakan udara bertekanan untuk menggerakkan komponen-komponen mekanis (Esfandiari, A., & Fung, A. S. 2017).

Solar Tracker Hidrolik memiliki keunggulan dalam hal presisi dan keandalan, namun dengan biaya instalasi yang lebih tinggi. Sementara itu, Solar Tracker Pneumatik mungkin lebih terjangkau namun memiliki keterbatasan dalam presisi dan akurasi (Duffie, J. A., & Beckman, W. A. 2013).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode R&D (Research and Development). Metode penelitian dan pengembangan atau dalam bahasa Inggrisnya Research and Development adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut. Dalam konteks penelitian "Rancang Bangun Solar Tracker Single Axis Rakitan Pada Solar Cell Type Polycrystalline", Research and Development (R&D) akan memainkan peran kunci dalam menjawab pertanyaan penelitian di bidang Teknik Mesin.

Waktu penelitian pengujian solar tracker single axis berlangsung pada bulan januari 2024-mei 2024 dilaksanakan di Kabupaten Minahasa Kecamatan Tondano Selatan.

Alat Dan Bahan Penelitian : 1. Panel Surya 2. Baterai/Aki 3. Watt Meter 4. Solar charge controller 5. Lampu 6. Kabel 7. Sensor Cahaya (LDR XH-M131) 8. Aktuator 9. Relay DC 12 Volt 10. Digital timer switch.

Table 1 Parameter pengukuran panel surya

Jam	V	I	P	Dok
10.00				
11.00				
12.00				
13.00				
14.00				
15.00				
Rata-rata				

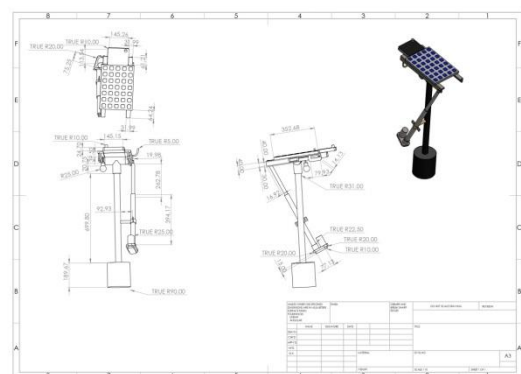
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

1. Pembuatan Sistem Mekanik

Sistem mekanik merupakan salah satu hal yang paling penting dalam terciptanya solar tracker.

1. Pembuatan sistem mekanik



Gambar 4 Sketsa Solar Tracker keseluruhan
(Sumber: Pribadi)

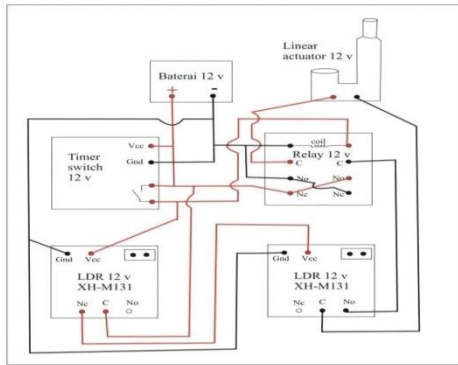
Pada saat perancangan selesai, dilakukan pemilihan bahan sistem mekanik sekaligus dengan

pembuatannya. Pembuatan dilakukan dengan cara memotong dan mengelas besi yang sudah dipilih. Selanjutnya dilakukan penyempurnaan mekanik dengan membuat kerangka peletakkan solar panel sesuai ukuran yang sudah ditentukan.

Setelah melakukan penyempurnaan mekanik dengan membuat kerangka peletakkan panel surya, langkah selanjutnya adalah merangkai solar tracker. Solar tracker adalah perangkat yang digunakan untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari sehingga panel surya selalu terpapar sinar matahari secara optimal.

2. Pembuatan Sistem Elektrik

Dalam tahap ini, desain sistem elektrik untuk solar tracker dikembangkan. Desain ini mencakup pengembangan rangkaian sensor untuk mendeteksi posisi matahari dan rangkaian pengendali untuk mengatur pergerakan solar tracker sesuai dengan posisi matahari yang dideteksi. Desain sistem ini disusun berdasarkan prinsip-prinsip elektronika dan kebutuhan spesifik dari solar tracker yang dibuat.



Gambar 5 Rangkaian pengendali
(Sumber: Pribadi)

3. Pemilihan Tracker Hidrolik

Dengan memilih penggunaan tracker hidrolik, pendekatan R&D akan membantu dalam menjawab pertanyaan penelitian dengan memberikan solusi yang efektif dan efisien untuk merancang solar tracker single axis yang tepat. Ini akan memungkinkan penelitian

untuk mencapai tujuan teknisnya dengan memanfaatkan teknologi yang sesuai dan dapat diandalkan dalam konteks aplikasi panel surya polycrystalline.

4.2 Data Pengujian Komponen

Salah satu komponen utama dalam sistem pelacakan matahari (solar tracking system) adalah panel surya, atau photovoltaic. Panel surya ini bertugas untuk menangkap cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Dalam tugas akhir ini, Saya menggunakan jenis panel surya polycrystalline.

Table 2 Pengujian panel surya non tracker

Non Tracker (8 ⁰ Lintang Selatan)			
Jam	V	I	P
10.00	12.76	0.20	2.5
11.00	12.38	0.22	2.7
12.00	12.50	0.25	3.1
13.00	12.37	0.32	3.9
14.00	12.14	0.24	2.9
15.00	11.98	0.17	2.0
Rata-rata	12.35	0.23	2.8

Table 3 Pengujian Panel Surya Menggunakan Tracker (Selatan-Utara)

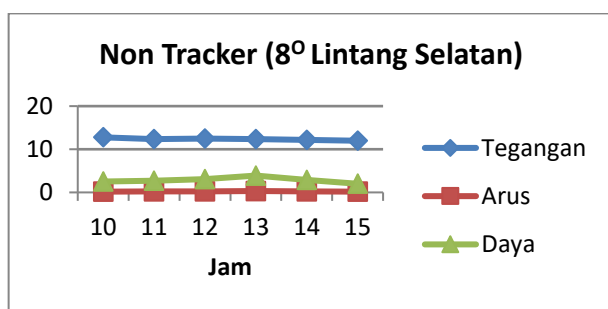
Tracker (Selatan-Utara)				
Jam	V	I	P	Drajat (°)
10.00	11.97	0.25	2.9	32.20
11.00	12.71	0.35	4.4	31.55
12.00	12.54	0.19	2.3	31.60
13.00	11.54	0.00	0.0	53.40
14.00	12.08	0.00	0.0	53.85
15.00	12.03	0.00	0.0	53.90
Rata-rata	12.13	0.13	1.6	42.75

Table 4 Pengujian Panel surya menggunakan tracker (Timur-Barat)

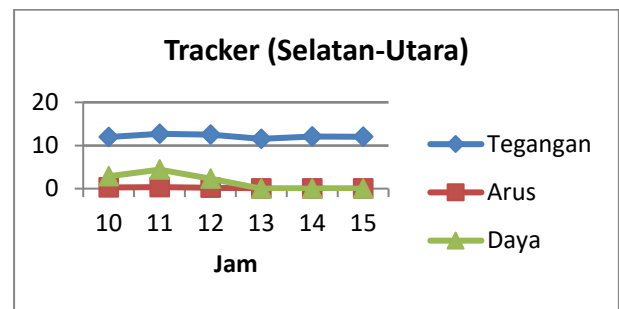
Tracker (Timur-Barat)				
Jam	V	I	P	Drajat (°)
10.00	12.73	0.32	4.0	24.55
11.00	12.73	0.24	3.0	15.70
12.00	12.82	0.29	3.7	1.10
13.00	12.53	0.29	3.6	10.85
14.00	12.46	0.27	3.3	21.40
15.00	12.64	0.27	3.4	39.15
Rata-rata	12.65	0.28	3.5	18.79

Secara keseluruhan, data memberikan informasi berharga tentang kinerja panel surya selama pengamatan. Variasi dalam tegangan, arus, dan daya mencerminkan respons panel surya terhadap perubahan kondisi cahaya matahari dan sudut insiden sinar matahari.

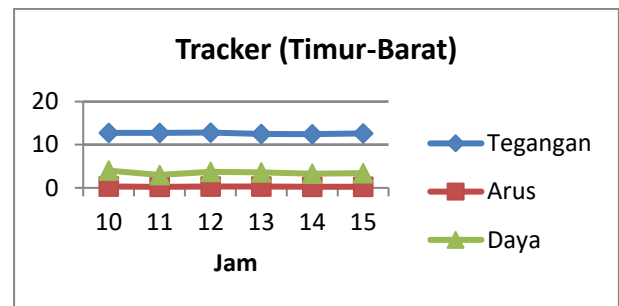
4.3 Hasil Penelitian Solar Tracker Single Axis



Gambar 6 Grafik hasil pengujian non tracker



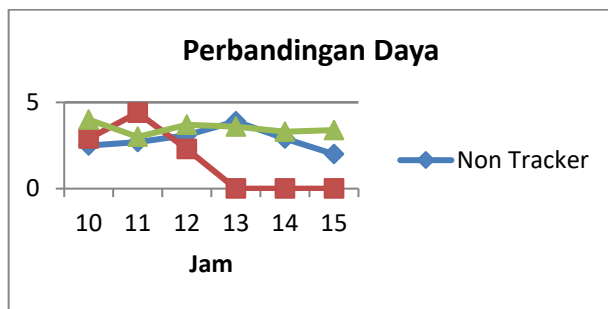
Gambar 7 Grafik hasil pengujian menggunakan tracker (selatan-utara)



Gambar 8 Grafik hasil pengujian menggunakan tracker (timur-barat)

Berdasarkan analisis data dari ketiga grafik tersebut, disimpulkan bahwa penggunaan solar tracker, terutama yang menghadap dari timur ke barat mampu menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam efisiensi penangkapan energi panel surya. Panel surya yang dilengkapi dengan solar tracker ini mampu menghasilkan lebih banyak daya dibandingkan dengan panel surya statis, yang menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat digunakan.

4.4 Analisis Perbandingan



Gambar 9 Grafik perbandingan daya yang dihasilkan dengan dan tanpa tracker

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Pengujian 3 menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal efisiensi, kapasitas produksi energi, fleksibilitas, dan daya output dibandingkan dengan Pengujian 1 dan Pengujian 2, yang menunjukkan kinerja yang lebih rendah.

V. KESIMPULAN

1. Solar Tracker Single Axis terbukti responsif terhadap pergerakan matahari dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya dapat secara akurat diarahkan mengikuti perubahan posisi matahari sepanjang hari. Hal ini terbukti dari peningkatan efisiensi dalam menangkap energi oleh panel surya polycrystalline yang terpasang di atas solar tracker.
2. Perbandingan antara kinerja panel surya yang terpasang pada solar tracker dan yang tidak menunjukkan bahwa solar tracker mampu meningkatkan produksi energi secara signifikan. Contohnya, pada jam 11:00, panel surya pada solar tracker menghasilkan daya 4.4 W, sedangkan panel surya non-tracker hanya 2.7 W.
3. Meskipun terdapat fluktuasi dalam kinerja, data menunjukkan bahwa panel surya pada solar tracker menunjukkan kinerja yang stabil dan konsisten sepanjang pengamatan. Variasi dalam kondisi lingkungan seperti intensitas cahaya matahari dan sudut kejadian sinar matahari

memengaruhi produksi energi, tetapi solar tracker membantu mengurangi fluktuasi tersebut.

Dalam kesimpulannya, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa solar tracker single axis yang dirakit berhasil meningkatkan kinerja panel surya polycrystalline dengan mengikuti gerakan matahari. Efisiensi penangkapan energi meningkat secara signifikan, menunjukkan potensi solar tracker dalam meningkatkan kontribusi energi surya dalam memenuhi kebutuhan energi masa depan.

REFERENSI

- Arrasyid, A. H. (2017). Analisis Perencanaan Penerangan Jalan Umum Dan Lampu Taman Berbasis Photovoltaik Di Universitas Pakuan Bogor. *Jurnal Online Mahasiswa (Jom) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Assiddiq, H. (2017). Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Sel Fotovoltaik: Media Sains, Volume 10, 162-171.
- Chang, Y. H., & Chen, M. H. (2019). Comparative Study of a Hydraulic and Pneumatic Solar Tracker System. **Journal of Solar Energy Engineering*, 141*(2), 021005.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). **Solar Engineering of Thermal Processes**. Wiley.
- Dwicaksono, M. B., & Rangkuti, C. (2018, February). Perancangan, Pembuatan, Dan Pengujian Kompor Energi Matahari Portabel Tipe Parabola Kipas. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (Pp. 41-48).
- Elmer, Dkk. (2021). Kontrol Himpunan Panel Surya Dengan Penyesuaian Diri Otomatis Menggunakan Aktuator Dengan Dua Derajat Kebebasan. *Jurnal Teknik Its*, 10(2), B177-B182.

- Engelbertus, T. (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Catu Daya Tambahan Pada Hotel Kini Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 2(1).
- Esfandiari, A., & Fung, A. S. (2017). A Review of Hydraulic and Pneumatic Systems in Solar Tracking. **Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68*(Part 1), 6-18.
- Firdaus, A. R. H., & Sudarti, S. (2022). Analisis Potensi Hidrogen Air Laut Di Banyuwangi Melalui Proses Elektrolisis Sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 173-178.
- Gunawan, L. A., Agung, A. I., Widyartono, M., & Haryudo, S. I. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 65-71.
- Gutaminingsih. (2018). "Simulasi 2d Perhitungan Efisiensi Sel Surya Berbasis Silikon Kristal Pada Variasi Ketebalan Lapisan-P". Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam: Universitas Jember.
- Kananda, K. (2017). A Studi Awal Potensi Energi Surya Wilayah Lampung. *Journal Of Science And Applicative Technology*, 1(2), 75-81.
- Kesatu, G. R., Priharti, W., & Istiqomah, I. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Sistem Pelacak Surya Sumbu Ganda. *eProceedings of Engineering*, 8(6).
- Laksono, J. D. F., Prasetyo, E. E., & Marausna, G. (2022). Analisis Efektivitas Kinerja Panel Surya Sebagai Sumber Energi Listrik Dengan Photovoltaic 200 Wp. *Teknika Sttkd: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(1), 17-28.
- Magga, R., & Arifin, Y. (2015). Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline Dan Thermal Kolektor Fluida Air. *Jurnal Iptek*, 19(2), 67-74.
- Nainggolan., Dkk. (2016). Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisi Baterai. *Jurnal Poli-Teknologi*, 15(3).
- Nugroho, R.A., Facta, M., Dan Yuningtyastuti, 2014. Memaksimalkan Daya Keluaran Sel Surya Dengan Menggunakan Cermin Pemantul Sinar Matahari (Reflector). *Transient*, 3(3): 408-414.
- Nurdiansyah, Dkk. (2020). Sistem Kendali Rotasi Matahari Pada Panel Surya Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 1(2), 40-45.
- Parikesit, Dkk. (2017). Pelacak Matahari Dua Sumbu Menggunakan Ldr Untuk Meningkatkan Absorpsi Matahari. *Media Teknika*, 12(2).
- Pulungan, Dkk. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa. *Jtev (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 261-270.
- Purwoto, B. H., Jatmiko, J., Fadilah, M. A., & Huda, I. F. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 10-14.
- Putra & Dwiono. (2020). Rancang Bangun Penjejak Matahari 2 Sumbu Menggunakan Data Rtc (Real Time Clock) Untuk Panel Surya. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 21(2), 91-98.
- Putriani, P., Basyir, M., & Finawan, A. (2019). Sistem Monitoring Alat Uji Karakteristik Panel Surya Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Tektro*, 3(2).
- Rahman, M. F., & Lammada, I. (2022). Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Energi Tempat Sampah Otomatis Berbasis

- Iot. Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan, 8(13), 257-267.
- Rezkyanzah, Dkk. (2016). Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari. *Scan-Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 11 (2), 55-60.
- Rokhman, T., & Sofwan, A. (2018). Rancang Bangun Prototipe Gardu Pembangkit Listrik Hybrid Mikro Hidro Dan Sel Surya Sebagai Media Pembelajaran Praktikum Teknik Elektro. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 2(1), 1-9.
- Sahlul. (2022). *Studi Komparasi Metode Slope Dan Azimut Untuk Menentukan Sudut Kemiringan Panel Surya Pada Plts (Studi Kasus Tigajuhar)* (Doctoral Dissertation).
- Santacana, G., & Figueres, E. (2015). Analysis and Comparison of a Hydraulic and Pneumatic Solar Tracker System. *International Journal of Photoenergy*, 2015*, 1-12.
- Siahaan, R., Kusuma, I. W., & Adnyana, I. B. (2020). Pengaruh Sudut β Dan Ω Pada Plts Di Pt Indonesia Power. *Jurnal Mettek Volume*, 6(1), 62-69.
- Simanjuntak, A. D., Hutagalung, J. E., & Syahputra, A. K. (2022). Implementasi Robot Orang-Orangan Sawah Supply Energi Matahari Memakai Microcontroller. *Building Of Informatics, Technology And Science (Bits)*, 4(2), 759-767.
- Sulaeman, I. (2021). Sistem Kontrol Pada Solar Power Tracker Menggunakan Arduino Uno Untuk Sistem Penerangan. *Stroom: Journal Of Signal Processing, Control, Electronics, Computer, Power, And Telecommunication Engineering*, 1(1), 19-26.
- Surindra, M.D., (2020). Eksperimental Studi Aplikasi Panel Surya Monocrystalline 50 Wp Sebagai Sumber Tenaga Aerator Dengan Aliran Kombinasi Horizontal Dan Vertikal. *Jurnal Teknik Energi*, 16(3): 99-108.
- Suwarti, Wahyono & Prasetyo B. (2018). Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya. *Eksergi Jurnal Teknik Energi* Vol 14 No. 3 September 2018, 78 – 85.
- Tusriah & Ashari. (2017). Pengembangan Alat Peraga Solar Tracker Dua Sumbu untuk Meningkatkan Kreativitas Peserta Didik Pada Materi Listrik Dinamis. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 10(1), 46-53.
- Usman, M. K. (2020). Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya. *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), 52-57.
- Utari, E. L. (2018). Penyuluhan & Aplikasi Energi Terbarukan (Solar Cell) Guna Memenuhi Kebutuhan Energi Alternatif Pengganti Listrik Di Wilayah Dusun Nglinggo Kelurahan Pagerharjo Kecamatan Samigaluh Kabupaten Kulon Progo. *Jurnal Pengabdian Dharma Bakti*, 1(1).
- Wida, D. A. K., Sumaja, K., & Wiguna, P. P. H. (2019). Analisis Hubungan Intensitas Radiasi Dan Lama Penyinaran Matahari Dengan Parameter Cuaca Di Stasiun Meteorologi Ngurah Rai Serta Pengaruhnya Terhadap Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Bali Selatan. *Meteo Ngurah Rai*, 5(1), 1-7.
- Wiguna, A. (2022). *Analisis Perbandingan Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Statis Dan Tracking Sistem* (Doctoral Dissertation, Universitas Islam" 45" Bekasi).

- Yandi, & Pulungan. (2017). Tracker Tiga Posisi Panel Surya Untuk Peningkatan Konversi Energi Dengan Catu Daya Rendah. Jurnal Nasional Teknik Elektro, 6(3), 159-167.
- Yuniarti, E., Sofiah, S., & Rizal, M. (2022). Panel Surya Dengan Reflektor Cermin Datar Untuk Penerangan Rumah Sederhana. Jurnal Serambi Engineering, 7(4)