

KOMPARASI PERFORMANSI PANEL SURYA MONO DAN POLIKRISTAL SEBAGAI SUMBER TENAGA PADA E-SCOOTER ANGKUT

Alnanda Yuhanandri, Asrori Asrori*

Program Studi Teknik Otomotif Elektronik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No. 9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, 65141

*Email: asrori@polinema.ac.id

Abstrak

Panel surya merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan, di mana komponen ini dapat mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik, dalam penelitian ini panel surya digunakan sebagai sumber energi pengisian baterai lithium iron phosphate (LiFePo4) pada kendaraan electric scooter angkut. Jenis panel surya yang sering digunakan adalah tipe monokristal dan polikristal, kedua panel surya tersebut memiliki spesifikasi dan performa yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui performa dan nilai efisiensi konversi energi dari sinar matahari ke energi listrik dari masing-masing jenis panel surya, saat diaplikasikan pada kendaraan e-scooter angkut. Metode penelitian dilakukan dengan membuat alat pengisian baterai menggunakan panel surya tipe monokristal dan polikristal pada e-scooter angkut. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan alat monitoring yang dapat mengukur dan mencatat tegangan, arus, dan daya output, serta daya pengisian baterai dari masing-masing panel surya, lalu dilakukan analisis perbandingan dari data yang telah dihasilkan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan rata-rata nilai radiasi matahari saat penelitian berlangsung sebesar 574,8 W/m², serta pengujian nilai efisiensi didapatkan hasil bahwa panel surya dengan tipe monokristal lebih efisien dibanding dengan panel surya polikristal dengan nilai efisiensi 15,72% dibanding 9,60%, selain itu penggunaan panel surya tipe monokristal juga cocok jika diaplikasikan pada kendaraan listrik karena memiliki dimensi dan berat yang lebih rendah.

Kata kunci: Electric scooter, Lithium iron phosphate, Monocrystalline, Polycrystalline, Renewable energy.

PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis karena tingginya tingkat konsumsi energi dari bahan bakar fosil (Asrori, A., & Jaya, H. S. 2023). Maka hal tersebut mendukung pengembangan kendaraan *hybrid* maupun kendaraan listrik yang memanfaatkan motor listrik sebagai sumber penggerakannya (Sugiyanto, D. 2015). Teknologi kendaraan ramah lingkungan dan efisien semakin dikembangkan di Indonesia sebagai kendaraan komersial, kendaraan listrik memiliki nilai efisiensi sekitar 90% jika dibandingkan dengan kendaraan konvensional (Kustanto, M. N. 2022). Jumlah kendaraan listrik di Indonesia makin meningkat, tercatat pada bulan September 2020 terdapat sekitar 2.278 unit kendaraan listrik. (Nur, A. I., & Kurniawan, A. D. 2021).

Wilayah Indonesia yang berada pada zona tropis khatulistiwa dengan tingkat radiasi matahari rata-rata per hari berkisar 4800 Wh/m² (Asrori, A., et al, 2022). Radiasi matahari ini merupakan salah satu sumber energi baru terbarukan yang murah, serta mudah didapat jika dibandingkan dengan energi dari bahan bakar

fosil, energi matahari dapat dimanfaatkan dengan konversi menjadi energi listrik menggunakan panel surya (Bambang, Y. 2018). Terdapat tiga jenis panel surya yang terdapat di pasaran yaitu Polikristal, Monokristal, serta *amorphous*. Ketiga jenis panel surya tersebut memiliki karakteristik tersendiri. *Output* panel surya tidak selalu sama tiap waktunya karena beberapa faktor yaitu atmosfer bumi, orientasi panel, tiupan angin, radiasi matahari, dan suhu kerja panel surya (Sariman, S., et al., 2019).

Panel surya merupakan sebuah komponen yang dapat mengubah energi foton pada radiasi matahari menjadi energi listrik, di mana saat penggunaan panel surya harus selalu terpapar radiasi matahari secara langsung. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan untuk mengisi daya baterai kendaraan serta dapat memperpanjang jarak tempuh kendaraan. Selain itu, penggunaan panel surya juga dapat membantu mengurangi emisi karbon.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi efisiensi dan performa dari panel surya tipe polikristal dan monokristal jika dipasang pada kendaraan *e-scooter* angkut.

Penggunaan tipe panel surya yang tepat pada kendaraan listrik sangat dianjurkan, karena panel surya yang dipasang harus dapat memenuhi kebutuhan daya kendaraan listrik secara maksimal tetapi dengan dimensi yang sekecil mungkin.

Diharapkan penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan memberikan wawasan bagi produsen kendaraan listrik, perencana transportasi, dan pemangku kepentingan lainnya, sehingga penggunaan kendaraan listrik dapat dioptimalkan lagi serta pemasangan panel surya pada kendaraan listrik dapat mempercepat transisi menuju mobilitas yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan sebuah penelitian eksperimen di mana yang pertama dilakukan yaitu melakukan perancangan/desain kendaraan *e-scooter* angkut yang terintegrasi dengan panel surya. Pengambilan data performa dari panel surya menggunakan alat *monitoring* berbasis Arduino UNO, pengambilan data dilakukan pada bulan Mei di Gedung Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, pada pukul 08.00 s/d 15.00 WIB. Menggunakan 2 macam tipe panel surya yaitu 2 buah panel surya polikristal dan 2 buah monokristal dengan spesifikasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi panel surya

Spesifikasi	Panel surya polikristal	Panel surya monokristal
P _{max}	30 Wp	30 Wp
I _{max}	1.67 A	1.63 A
V _{mp}	18 V	18.36 V
V _{oc}	22,5 V	22 V
I _{sc}	1.75 A	1.75 A
Dimensi (mm)	650 x 350 x 25	600 x 350 x 20

Jenis *solar charge controller* (SCC) yang digunakan adalah *maximum power point tracker* (MPPT) dengan spesifikasi daya *input* maksimal dari panel surya sebesar 260 W untuk konfigurasi baterai 12 V dan 520 W untuk konfigurasi baterai 24 V sehingga daya pengisian yang dihasilkan dari panel surya lebih efisien. Kemudian energi listrik tersebut disimpan pada baterai LiFePo₄ yang memiliki

keunggulan seperti efisiensi yang tinggi, rendah nilai tahanan, memiliki nilai arus yang besar, dan masa pakai relatif lebih panjang. Senyawa *phosphate* mengurangi tingkat *overcharging* dan memiliki nilai toleransi terhadap temperatur yang tinggi (Miao, Y., et al., 2019).

Tahap perancangan dimulai dengan membuat desain rangka dan penempatan komponen-komponen dari *e-scooter* angkut seperti yang tampak pada Gambar 1, pembuatan desain dilakukan pada *software Autodesk Fusion 360*.



Gambar 1. Desain rangka

Kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan rangka *e-scooter* angkut dengan menggunakan teknik pengelasan, material kerangka yang digunakan adalah besi *hollow* 40x40 mm ketebalan 2 mm.

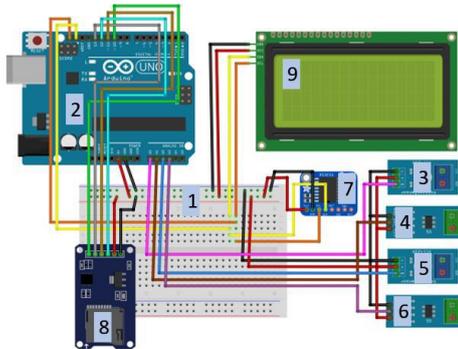


Gambar 2. Baterai pack

Selain pembuatan rangka juga dilakukan proses perakitan baterai LiFePo₄ 32700 6 Ah seperti yang tampak pada Gambar 2, baterai LiFePo₄ dirangkai dengan konfigurasi 8S-2P sehingga didapat spesifikasi baterai sebesar 25.6 Volt 12 Ah.

Proses perakitan baterai LiFePo₄ menggunakan *holder* sebagai penahan baterai dan untuk menghubungkan kutub tiap baterai menggunakan teknik *spot-weld* dengan material pelat nikel dengan lebar 15 mm. selain itu baterai *pack* ini juga dilengkapi dengan pengaman

berupa BMS 20 A. Tahap terakhir adalah pembuatan alat *monitoring* berbasis Arduino UNO dengan rangkaian seperti pada Gambar 3 yang berfungsi sebagai *data logger* tegangan dan arus dari panel surya serta tegangan dan arus pengisian baterai *e-scooter* angkut.



Gambar 3. Rangkaian *monitoring*

Alat *monitoring* seperti pada Gambar 3 terdiri dari komponen: 1. *Protoboard*; 2. Arduino UNO digunakan sebagai pengolah data dari alat *monitoring*; 3. Sensor tegangan digunakan untuk pembacaan tegangan *output* dari panel surya; 4. Sensor arus ACS712 digunakan sebagai pembaca arus *output* dari panel surya; 5. Sensor tegangan digunakan sebagai pembaca tegangan pengisian pada baterai LiFePo4; 6. Sensor arus ACS712 digunakan untuk membaca arus pengisian baterai; 7. RTC DS3231 berguna untuk penyimpanan data waktu dan juga sebagai *timer data logger*; 8. Modul *SD card* sebagai media penyimpanan/*data logger* tegangan dan arus; 9. LCD 20x4 berfungsi sebagai *display* yang menampilkan data nilai tegangan, arus, daya, serta persentase baterai (SoC) *real-time*.

Pengukuran daya yang diterima panel surya merupakan nilai perkalian antara tingkat radiasi matahari dengan luas penampang panel surya, memiliki rumus seperti pada Persamaan 1.

$$P_{in} = I_r \times A \quad (1)$$

Daya yang diterima P_{in} dalam Watt, Intensitas radiasi matahari I_r dalam satuan W/m^2 dan luas panel (A) dalam satuan m^2 . Daya keluaran panel dapat diukur dengan perkalian antara tegangan aktual, arus aktual, serta nilai faktor pengisian atau *fill factor* (FF) ditunjukkan pada persamaan 3.

$$P_{out} = V_{act} \times I_{act} \times FF \quad (2)$$

Daya yang dikeluarkan P_{out} dalam satuan (Watt), tegangan aktual V_{act} dalam satuan Volt

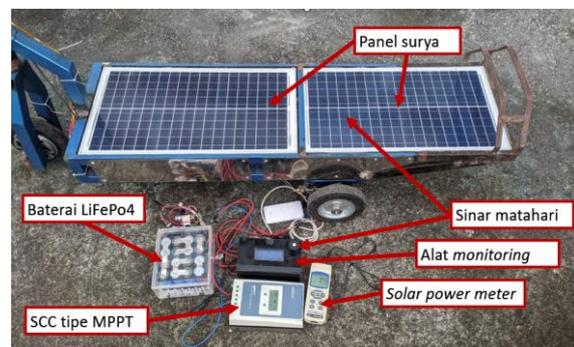
dan Arus aktual I_{act} dalam satuan Ampere serta *fill factor* FF dalam Watt. Efisiensi didefinisikan sebagai perhitungan rasio keluaran (*output*) dengan masukan (*input*) Sa'diyah, N. (2016). Nilai perbandingan efisiensi antara panel surya dapat menjadi tolak ukur performansi dari masing-masing panel, nilai efisiensi dapat diperoleh dengan menggunakan rumus efisiensi seperti pada Persamaan 3 dimana efisiensi panel η dalam (%) daya yang dikeluarkan P_{out} dalam Watt.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Kemudian dapat diambil persentase perbandingan nilai efisiensi dari masing-masing panel surya dengan menggunakan persamaan 4.

$$\eta_{polikristal} \times \eta_{monokristal} \times 100 \quad (4)$$

Radiasi sinar matahari ditangkap oleh *solar power meter* sehingga dapat diukur nilai energi dari intensitas cahaya matahari, selain itu radiasi sinar matahari juga diterima oleh panel surya dan diubah menjadi energi listrik dengan rangkaian seperti yang tampak pada Gambar 4. Energi tersebut akan dilarikan melalui alat *monitoring* sehingga data nilai tegangan dan arus *output* dari panel surya dapat direkam disimpan pada *data logger*, kemudian masuk ke *solar charge controller* MPPT sehingga tegangan dan arus dapat disesuaikan dan dioptimalkan untuk pengisian baterai. Energi tersebut kemudian mengalir melalui alat *monitoring* lagi sehingga data nilai tegangan dan arus pengisian baterai dapat diukur dan disimpan pada *data logger*, kemudian energi listrik tersebut langsung digunakan untuk mengisi baterai LiFePo4.



Gambar 4. *Experimental setup*

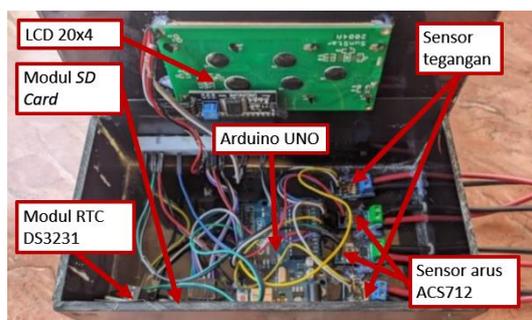
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangka *e-scooter* angkut terdiri dari sistem rangka, sistem pengereman, sistem *charging* baterai, dan sistem penggerak seperti yang tampak pada Gambar 5. Rangka tersebut memiliki dimensi P x L x T 1600 x 380 x 1500 mm, dan *ground clearance* sebesar 70 mm. Sistem penggerak dengan sebuah motor BLDC 24 V - 250 W pada roda depan, sedangkan pada sistem pengisian menggunakan baterai LiFePo4 yang dapat diisi secara langsung menggunakan panel surya 2x30 Wp dan SCC dengan tipe MPPT atau dengan menggunakan *wall-charger*. Selain itu juga terdapat *box* penyimpanan pada bagian belakang, fitur ini memungkinkan pengemudi membawa barang yang cukup besar saat berkendara dengan aman dan mudah.



Gambar 5. Rangka *e-scooter* angkut

Alat *monitoring* seperti yang tampak pada Gambar 6 berfungsi sebagai penyimpan data arus serta voltase *output* dari panel surya, serta arus dan voltase pengisian baterai, data tersebut langsung tersimpan pada *data logger* dengan media penyimpanan *SD Card*.



Gambar 6. Alat *monitoring*

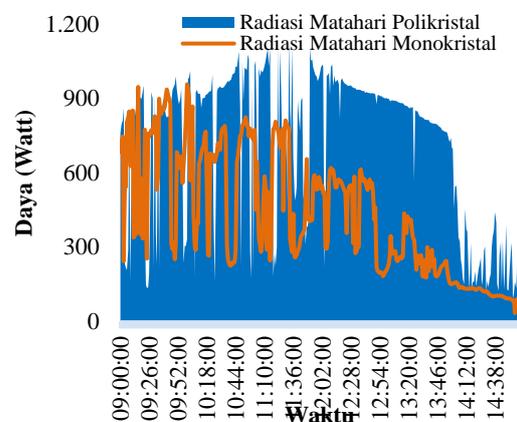
Data dari hasil uji coba pengisian baterai dengan panel surya ditunjukkan Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Data penelitian panel polikristal

Waktu	Voltase (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Radiasi (W/m ²)
09:00	29,27	1,58	46,19	768,06
09:30	29,27	1,58	46,19	897,03
10:00	29,27	0,84	24,70	303,07
10:30	33,84	1,50	50,91	941,05
11:00	31,64	1,72	54,56	940,09
11:30	31,10	1,80	55,91	637,02
12:00	32,23	1,58	50,85	983,02
12:30	32,44	1,58	51,19	945,06
13:00	32,33	1,43	46,27	899,07
13:30	28,79	1,43	41,20	834,00
14:00	29,92	0,92	27,44	699,04
14:30	29,65	0,33	9,79	301,00
15:00	29,65	0,26	7,62	80,50

Tabel 3. Data penelitian panel monokristal

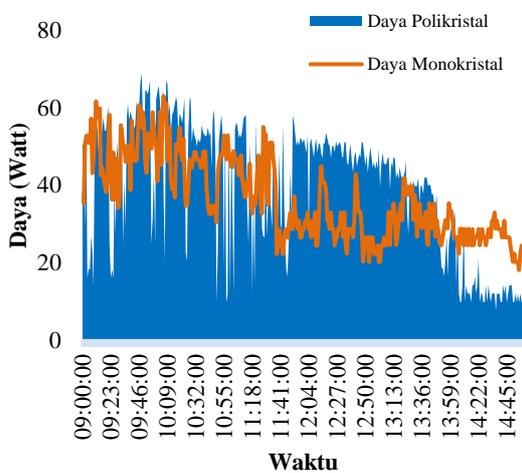
Waktu	Voltase (V)	Arus (A)	Daya (Watt)	Radiasi (W/m ²)
09:00	27,45	1,28	35,25	17,80
09:30	28,25	1,21	34,21	759,08
10:00	28,14	1,80	50,60	808,02
10:30	28,20	1,58	44,49	699,00
11:00	28,25	1,72	48,72	741,01
11:30	28,36	1,87	53,07	810,03
12:00	28,95	0,99	28,68	582,08
12:30	28,95	0,99	28,68	548,05
13:00	28,95	0,77	22,31	200,00
13:30	29,17	1,06	31,03	233,08
14:00	29,17	1,14	33,18	149,01
14:30	29,00	0,92	26,61	119,04
15:00	28,90	0,84	24,39	88,50



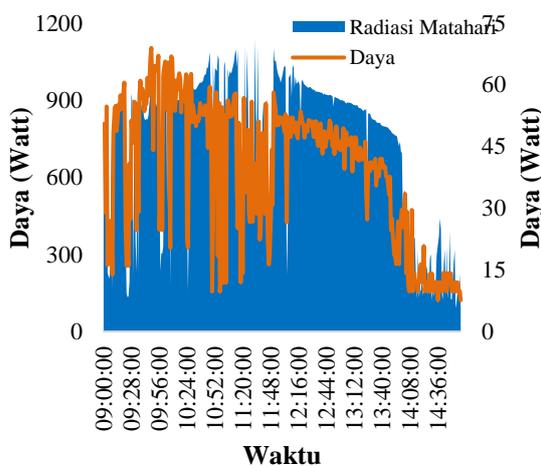
Gambar 7. Grafik waktu terhadap radiasi matahari

Pengukuran radiasi matahari dilakukan sebagai acuan berapa besar energi dari matahari sehingga dapat dibandingkan dengan besar konversi energi pada tiap panel surya, data pengukuran ditampilkan pada Gambar 7 berikut.

Radiasi matahari cenderung berbentuk lengkung hal ini dikarenakan semakin siang maka radiasi matahari akan lebih tinggi, titik tertinggi ada pada sekitar pukul 11.00 s/d 12.00 WIB dengan nilai tertinggi 1.148 W/m², kemudian tingkat radiasi akan terus menurun hingga sore hari. Pengukuran daya keluaran atau *output* dari tiap panel surya ditunjukkan oleh Gambar 8.



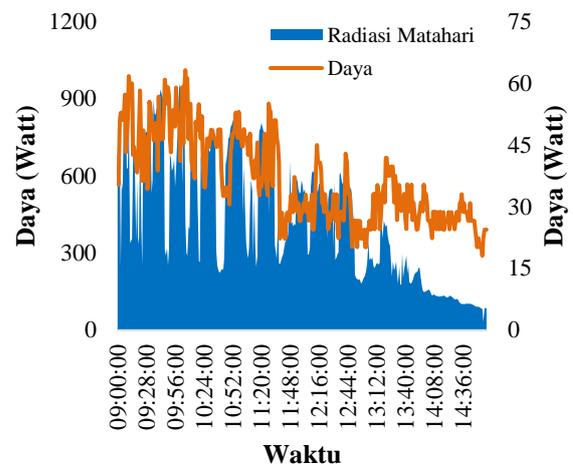
Gambar 8. Grafik waktu terhadap daya output panel surya



Gambar 9. Grafik daya panel surya polikristal terhadap radiasi matahari

Dari Gambar 8 dapat diketahui bahwa *output* daya pada panel surya polikristal lebih besar jika dibandingkan dengan panel surya jenis monokristal, hal ini berbanding lurus dengan Gambar 7 di mana radiasi matahari yang dipancarkan juga lebih besar saat melakukan pengukuran dengan panel surya tipe polikristal.

Perbandingan ini dapat menunjukkan karakter tiap panel surya terhadap penangkapan energi dari radiasi matahari tampak Gambar 9 dan 10.



Gambar 10. Grafik daya panel surya monokristal terhadap radiasi matahari

Dari Gambar 9 dapat diketahui bahwa daya keluaran terbesar panel surya tipe polikristal sekitar 73 W dengan radiasi matahari sekitar 970 W/m² sekitar pukul 10.00 WIB di mana nilai tersebut melebihi spesifikasi daya maksimal panel surya. Tetapi saat radiasi matahari menurun maka daya keluaran dari panel surya tipe polikristal juga ikut menurun.

Sedangkan pada Gambar 10 dapat diketahui daya *output* terbesar pada panel surya monokristal adalah sekitar 66 W dengan nilai radiasi sekitar 790 W/m² sekitar pukul 09.20 WIB, daya *output* tersebut juga melebihi spesifikasi dari panel surya yang hanya 60 Wp. Pada panel surya tipe monokristal tidak terjadi penurunan daya secara signifikan saat nilai radiasi matahari menurun.

Setelah dilakukan pengolahan data hasil penelitian ini maka didapatkan nilai efisiensi panel surya polikristal dan monokristal seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai efisiensi panel surya

Jenis panel surya	Pin (Watt)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
Polikristal	323,51	31,08	9,60
Monokristal	180,87	28,44	15,72

Hasil perbandingan nilai efisiensi kedua panel tersebut sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (Puriza, M. Y., et al. 2021), di mana panel surya monokristal lebih efisien dibanding dengan panel surya polikristal dengan selisih nilai efisiensi sebesar 4,9%

PENUTUP

Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian dan pengolahan data dapat disimpulkan kelebihan pemasangan panel surya pada kendaraan listrik di antaranya pengisian baterai kendaraan dapat dilakukan secara langsung selama panel surya terkena sinar matahari, serta dapat meningkatkan jarak tempuh kendaraan listrik.

Dari data di atas maka dapat diketahui bahwa panel surya tipe monokristal lebih efisien jika dibandingkan dengan panel surya tipe polikristal, dengan nilai efisiensi 15,72% dibanding 9,60% atau 1,5% lebih efisien. Hal ini juga diperkuat dengan dimensi panel surya monokristal yang lebih kompak dan lebih ringan.

Hasil data nilai arus yang dibaca oleh sensor arus ACS712 kurang maksimal dan akurat sehingga ke depannya dapat diganti dengan sensor yang lebih baik, perbaikan dan penyempurnaan alat *monitoring* diperlukan agar bisa lebih stabil, lebih akurat, serta mudah digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asrori, A., & Jaya, H. S. (2023). Pengaruh Radiasi Matahari dan Jenis Material Coil Pada Pv-Module Solar Electric Cooker. *Steam Engineering*, 4(2), 77-87.
- Asrori, A., Ramdhani, A. F., Nugroho, P. W., & Eryk, I. H. (2022). Kajian Kelayakan Solar Rooftop On-Grid untuk Kebutuhan Listrik Bengkel Mesin di Polinema. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(4), 830.
- Bambang, Y. (2018). Uji Prestasi Kolektor Surya Tipe Pipa Dua Lapis Terhadap Variasi Sudut Kemiringan. *Majalah Ilmiah Momentum*, 14(1).

- Kustanto, M. N. (2022). Analisis Front Crash Impact Desain Rangka Mobil Listrik Jenis Spaceframe Untuk Kendaraan Kompetisi. *Majalah Ilmiah Momentum*, 18(1), 57-61.
- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokochi, A. (2019). Current Li-ion battery technologies in electric vehicles and opportunities for advancements. *Energies*, 12(6), 1074.
- Nur, A. I., & Kurniawan, A. D. (2021). Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 7(2), 197-220.
- Puriza, M. Y., Yandi, W., & Asmar, A. (2021). Perbandingan Efisiensi Konversi Energi Panel Surya Tipe Polycrystalline dengan Panel Surya Monocrystalline Berbasis Arduino di Kota Pangkalpinang. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 8(1), 47-52.
- Sa'diyah, N. (2016). Analisis Efisiensi Menggunakan Metode Data Envelopment Analysis (DEA). *Jurnal Untirta*.
- Sariman, S., Agustina, S., Khori, M., & Bayusari, I. (2019). Analisa Efisiensi Pengaruh Parameter Cahaya Matahari Pada Fotovoltaik 100WP Jenis Polikristal, Monokristal dan Amorphous di Lab Riset Teknologi Energi UNSRI Indralaya. *Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER)*, 363-368.
- Sugiyanto, D. (2015). Rancang bangun sistem sepeda energi surya dengan memanfaatkan solar cell. *Majalah Ilmiah Momentum*, 11(1).