

Perbandingan Performansi Panel Surya Tipe *Amorphous* dan *Polycrystalline* terhadap Daya Pengisian Baterai *Lithium-Ion* pada *Electric Scooter*

Asrori^{(1)*}, M. Zusriansyah Fahrudin Harahap⁽²⁾, Agus Harijono⁽³⁾

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur,
Indonesia

Email: ¹asrori@polinema.ac.id*, ²zusriansyah300499@gmail.com,
³ahartmi07@gmail.com

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima pada 14 Juli 2022
Disetujui pada 19 Oktober 2022
Dipublikasikan pada 23 November 2022
Hal. 1091-1103

Kata Kunci:

Panel Surya; Electric Scooter; Lithium-Ion; Polycrystalline; Amorphous

DOI:

<http://dx.doi.org/10.28926/briliant.v7i4.1056>

Abstrak: Saat ini teknologi panel surya menjadi peralatan pengkonversi energi listrik yang banyak digunakan untuk berbagai aplikasi. Panel surya mampu mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut selanjutnya dapat disimpan oleh baterai. Pada penelitian ini energi yang disimpan di dalam baterai akan digunakan untuk menggerakkan motor BLDC pada *electric scooter*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan unjuk kerja jenis panel surya terhadap pengisian daya listrik di *electric scooter*. Metode penelitian dengan pengujian langsung dari panel surya jenis *thin film amorphous* dan *polycrystalline* pada *electric scooter*. Alat monitoring sistem pengisian baterai berbasis arduino, dirancang untuk mengukur tegangan, arus, daya, arus pengisian, dan persentase baterai. Sedangkan tingkat radiasi matahari diukur dengan *solar power meter*. Hasil dari penelitian ini berupa *electric scooter* berbasis panel surya, alat monitoring sistem pengisian baterai. Tingkat radiasi matahari maksimum pada jam 12.00

WIB sebesar 887,4 W/m² diperoleh bahwa panel surya *Polycrystalline* menghasilkan daya 11,87 Watt. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan jenis panel surya *Thin Film Amorphous* yang hanya mampu menghasilkan 10,56 Watt. Kesimpulan dari penelitian ini adalah panel surya jenis *Polycrystalline* lebih efisien digunakan dari pada panel surya jenis *thin film amorphous*. Namun secara estetika panel surya *thin film amorphous* lebih sesuai dengan desain *electric scooter* yang dirancang.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang otomotif kini ditandai dengan banyaknya diproduksi kendaraan-kendaraan berbasis energi alternatif dan terbarukan. Tren kendaraan listrik terus dikembangkan di berbagai belahan dunia (Asrori *et.al.*, 2020). Dengan adanya kendaraan listrik ini diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak (BBM) yang semakin hari semakin berkurang ketersediaannya. Dengan mengurangi penggunaan BBM maka juga ikut serta dalam mengurangi emisi yang dihasilkan oleh kendaraan (Pamungkas & Damastuti, 2018). Salah satu masalah terbesar yang dihadapi oleh negara negara di

dunia termasuk Indonesia adalah permasalahan energi (Parastiwi *et.al.*, 2018). Potensi rata-rata energi radiasi matahari di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari. Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif yang dapat membantu mengatasi menipisnya energi listrik dari fosil (Asrori *et.al.*, 2019). Pemanfaatan *solar cell* menjadi sebuah inovasi yang sangat cemerlang hal ini dikarenakan matahari merupakan sumber energi yang sangat besar dan tidak akan pernah habis (Torina *et.al.*, 2022). Dua jenis panel surya yang paling dominan diproduksi yaitu jenis *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* (Susilo *et.al.*, 2022). Terdapat varian panel surya jenis *Amorphous Silicon* yang dulu memiliki reputasi buruk, kini dengan perkembangan teknologi panel surya jenis *thin film* mulai banyak digunakan (Witono *et al.*, 2021). Panel surya sebagai komponen utama pembangkit listrik tenaga surya, dapat menghasilkan energi listrik sepanjang ada sinar matahari. Energi listrik disimpan dalam baterai dan digunakan pada malam hari. Pembangkit listrik tenaga surya sangat bergantung dengan sinar matahari (Farafis, 2019). Maka perlu direncanakan dengan baik. Contohnya jenis panel surya apa yang paling baik dipasang pada skuter listrik agar dapat diketahui daya pengisian paling besar dan efisien.

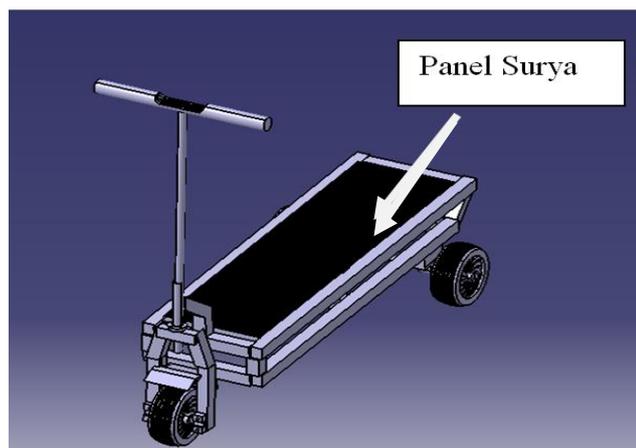
Beberapa inovasi penggunaan teknologi panel surya sebagai sumber energi kendaraan listrik telah menjadi perhatian peneliti dalam lima tahun terakhir. Penggunaan panel surya untuk sepeda listrik dapat meningkatkan jarak tempuh dan mengurangi waktu dalam proses pengisian manual. Dalam penelitian tersebut, beberapa parameter diturunkan dari periode mengemudi, data jarak tempuh radiasi matahari, suhu lingkungan, dan informasi kapasitas penyimpanan baterai (Chao, 2018). Selain itu penggunaan baterai *lithium* juga menjadi perhatian banyak peneliti. Menurut Miao, 2019, keunggulan baterai *Li-ion* mempunyai antara lain bobotnya yang ringan, kerapatan daya yang besar dan pengisian yang lebih cepat, masa pakai yang lebih lama dibandingkan baterai konvensional. Berdasarkan permasalahan yang dipaparkan diatas, dalam penelitian ini dilakukan pengujian perbandingan performansi dari panel surya jenis *amorphous* dan *polycrystalline* yang dipasang pada *electric scooter*. Sehingga didapatkan tipe panel surya yang dapat menghasilkan daya pengisian paling besar dan efisien serta kesesuaian dimensi panel surya dengan *electric scooter*.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen dimana dalam pelaksanaannya dilakukan perancangan dan pembuatan *electric scooter* berbasis *solar cell*. Setelah *electric scooter* selesai dibuat maka dilakukan pengujian pengisian baterai *lithium-ion* pada *electric scooter* menggunakan panel surya yang sudah terintegrasi dengan *electric scooter*. Pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan alat monitoring berbasis arduino (Fitriandi *et.al.*, 2016), yang berfungsi membaca nilai tegangan, arus, daya keluaran panel, arus pengisian dan juga persentase baterai secara otomatis dan dapat menyimpan nilai pembacaan sensor pada *data logger*. Pada penelitian ini digunakan variable bebas yaitu rentang waktu pengujian pukul 08.00-15.00 WIB dan jenis panel surya yaitu *Thin Film Amorphous* dan *Polycrystalline*. Sedangkan variable terikatnya adalah daya listrik yang dihasilkan dan intensitas radiasi matahari. Terdapat variabel kontrol yang diterapkan berupa penggunaan SCC (*Solar Charging Controller*) dengan jenis

MPPT untuk mengoptimalkan sistem pengisian baterai menggunakan *solar cell* dan menjaga agar baterai tidak cepat rusak bilamana terjadi *overcharge*.

Tahapan perancangan *electric scooter* berbasis solar cell, terdiri dari : (i) Tahap pembuatan jadwal, jadwal penelitian dibuat dalam rentang waktu 6 bulan yang dilaksanakan dengan berbagai tahapan yaitu: identifikasi dan perumusan masalah, studi literatur, pembuatan desain *electric scooter* dan alat monitoring, persiapan alat dan bahan, pembuatan *electric scooter* berbasis *solar cell* dan alat monitoring sistem pengisian baterai, dan pengujian perbandingan efisiensi jenis panel surya terhadap pengisian baterai *lithium-ion* pada *electric scooter*. (ii) Tahap desain dan penentuan material, desain kerangka *electric scooter* menggunakan *software CATIA V5* (Gambar 1). Material kerangka *electric scooter* yang dipilih adalah besi *hollow* ukuran 4x4 dengan ketebalan 2 mm.



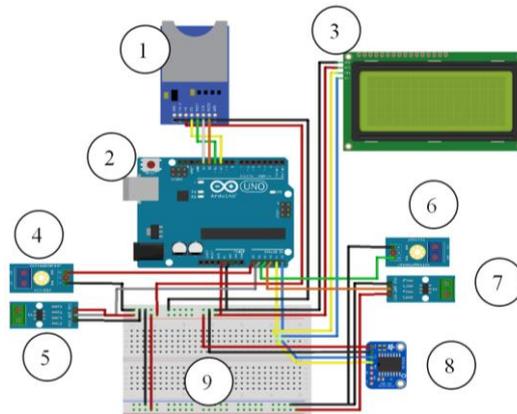
Gambar 1. Desain kerangka *Electric Scooter*

(iii) Tahap desain elektronik alat monitoring, *software* yang digunakan yaitu *Fritzing* dan untuk pengkodean menggunakan aplikasi *arduino IDE*, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. *Interface Arduino IDE*

Hasil simulasi tersebut diperoleh skema komponen elektronik yang digunakan pada sistem monitoring *elektric scooter* ini, yang ditunjukkan Gambar 3.

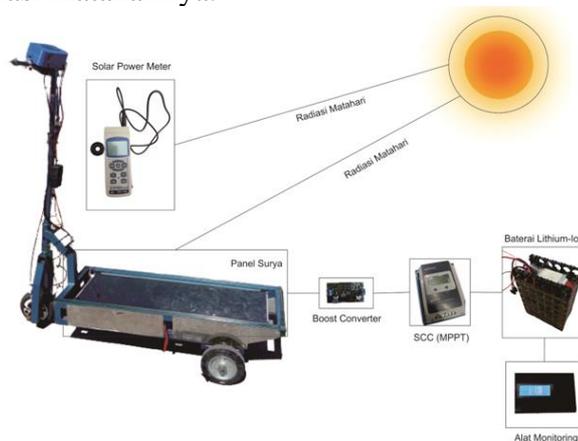


Gambar 3. Desain elektronik alat monitoring

Komponen yang digunakan dalam desain Gambar 3 tersebut, terdiri dari: 1–Module *SD card data logger* yang berfungsi untuk menyimpan data yang sudah diproses oleh arduino UNO. 2–Arduino UNO, berfungsi sebagai pemroses data yang ditangkap oleh sensor-sensor. 3–LCD 20x4 berfungsi sebagai penampil data secara *realtime* agar memudahkan untuk pengecekan berkala. 4–Sensor tegangan keluaran panel, berfungsi untuk mendeteksi tegangan yang keluar dari panel surya. 5–Sensor arus ACS712, berfungsi untuk mendeteksi arus luaran panel surya. 6–Sensor tegangan baterai, berfungsi untuk mendeteksi tegangan baterai agar dapat diketahui persentase baterai saat pengujian. 7–Sensor arus ACS712, berfungsi untuk mendeteksi arus pengisian yang keluar dari SCC menuju baterai. 8–Module RTC DS321 berfungsi untuk mengetahui waktu secara *real-time*. 9–*Breadboard* berfungsi sebagai terminal untuk penghubung antara sensor-sensor, mikrokontroller dan aktuator.

Experimental Set-Up

Gambar 4 menunjukkan setting peralatan atau experimental set-up yang diawali dengan radiasi matahari yang ditangkap oleh alat *solar power meter* untuk diukur tingkat radiasi matahari.



Gambar 4. *Experimental Set-Up*

Radiasi matahari yang terpancar juga ditangkap dan diserap oleh panel surya untuk dikonversi menjadi energi listrik DC. Untuk dapat mengisi baterai dengan tegangan 29,4 Volt maka diperlukan komponen *step up (boost converter)*

untuk menaikkan tegangan output panel yang berkisar antara 6-8 Volt menjadi 30 Volt agar dapat terjadi proses pengisian baterai. Nilai tegangan, arus, dan daya output panel surya diukur menggunakan alat monitoring agar data angka dapat disimpan pada *data logger*. Setelah tegangan dinaikkan oleh *boost converter*. Maka daya pengisian akan melalui *solar charging controller* agar daya pengisian dapat lebih optimal dan menjaga keamanan baterai saat pengisian. Arus pengisian yang keluar dari *solar charging controller* dan tegangan baterai juga diukur menggunakan alat monitoring secara otomatis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *Electric Scooter*

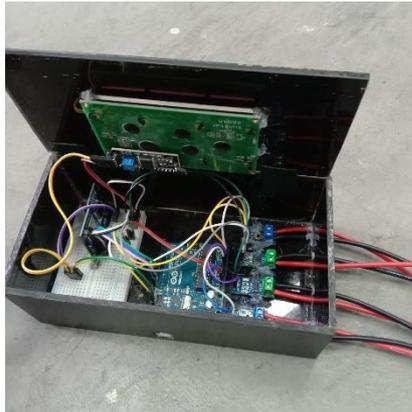
Electric scooter terdiri dari bagian kerangka, sistem penggerak dan sistem pengisian. Kerangka *electric scooter* memiliki dimensi Panjang 1060 mm, lebar 380 mm dan tinggi 1500 mm serta *ground clearance* 70 mm. Sistem penggerak menggunakan komponen-komponen kelistrikan dan mekanik diantaranya baterai lithium-ion 29,4 V 12 Ah, *driver motor* BLDC 24-36V, roda BLDC 24V 250W, *throttle potentiometer* serta pengkabelan elektrik. Sistem pengisiannya menggunakan metode *hybrid* yaitu pengisian *on-plug* listrik jala pembangkit serta menggunakan solar panel 20 WP, dan menggunakan *solar charging controller* dengan jenis MPPT untuk pengoptimalisasian pengisian *off-plug*.



Gambar 5. *Electric Scooter* Berbasis *Solar Cell*

Pembuatan Alat Monitoring

Alat monitoring terdiri dari komponen-komponen elektronik yang terbagi menjadi input berupa sensor arus dan tegangan ACS712 kemudian terdapat pemroses data yaitu arduino UNO dan setelah data terproses maka akan diteruskan menuju actuator berupa LCD 20x4 dan penyimpanan data berupa SD card data logger.



Gambar 6. Alat Monitoring

Data Penelitian

Data penelitian didapatkan dari hasil uji pengisian baterai *lithium-ion* oleh panel surya tipe *Amorphous* dan *Polycrystalline*. Data hasil pengujian selanjutnya ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengambilan data untuk panel surya *Amorphous*

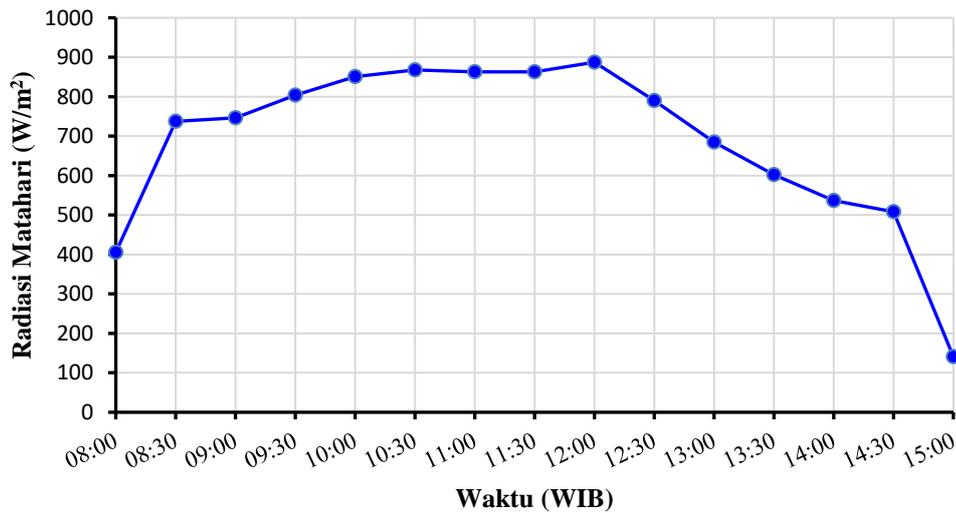
Jenis PV	Waktu (Jam:Menit)	Radiasi (W/m ²)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Arus Pengisian (Ah)	Persen (%)
<i>Amorphous</i>	08:00	405,5	6,20	0,32	1,98	0,01	26
	08:30	737,3	6,42	0,67	4,30	0,19	27
	09:00	746,1	6,74	0,98	6,61	0,20	29
	09:30	804,1	6,76	1,22	8,25	0,26	31
	10:00	851,0	6,74	1,30	8,76	0,28	32
	10:30	867,4	6,88	1,39	9,56	0,28	35
	11:00	862,9	6,86	1,37	9,40	0,29	37
	11:30	862,7	6,81	1,37	9,33	0,30	39
	12:00	887,4	7,23	1,46	10,56	0,32	40
	12:30	790,1	6,91	1,28	8,84	0,30	43
	13:00	684,6	6,66	1,19	7,93	0,27	44
	13:30	602,1	6,59	0,94	6,19	0,23	46
	14:00	536,7	6,37	0,88	5,61	0,21	46
	14:30	508,7	6,19	0,81	5,01	0,17	47
15:00	140,8	6,15	0,20	1,23	0,07	47	

Tabel 2. Hasil pengambilan data untuk panel surya *Polycrystalline*

Jenis PV	Waktu (Jam:Menit)	Radiasi (W/m ²)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Arus Pengisian (Ah)	Persen (%)
<i>Polycrystal</i>	08:00	405,5	6,31	0,30	1,89	0,07	26
	08:30	737,3	6,49	0,71	4,61	0,23	29
	09:00	746,1	6,81	1,11	7,56	0,25	30
	09:30	804,1	6,98	1,36	9,49	0,31	33
	10:00	851,0	6,98	1,41	9,84	0,32	35
	10:30	867,4	6,96	1,50	10,44	0,33	38
	11:00	862,9	7,08	1,52	10,76	0,34	40
	11:30	862,7	7,01	1,55	10,87	0,35	41
	12:00	887,4	7,28	1,63	11,87	0,37	44
	12:30	790,1	7,19	1,48	10,64	0,34	46
	13:00	684,6	6,91	1,38	9,54	0,31	49
	13:30	602,1	6,84	1,17	8,00	0,26	50
	14:00	536,7	6,73	1,10	7,40	0,23	51
	14:30	508,7	6,33	0,96	6,08	0,20	51
	15:00	140,8	6,24	0,50	3,12	0,11	51

Pengukuran Data Radiasi Matahari

Pengukuran radiasi matahari diperlukan untuk memprediksi potensi energi matahari yang dapat dimanfaatkan untuk pengisian daya baterai pada *electric scooter*. Hasil pengukuran ini ditampilkan dalam Gambar 7.



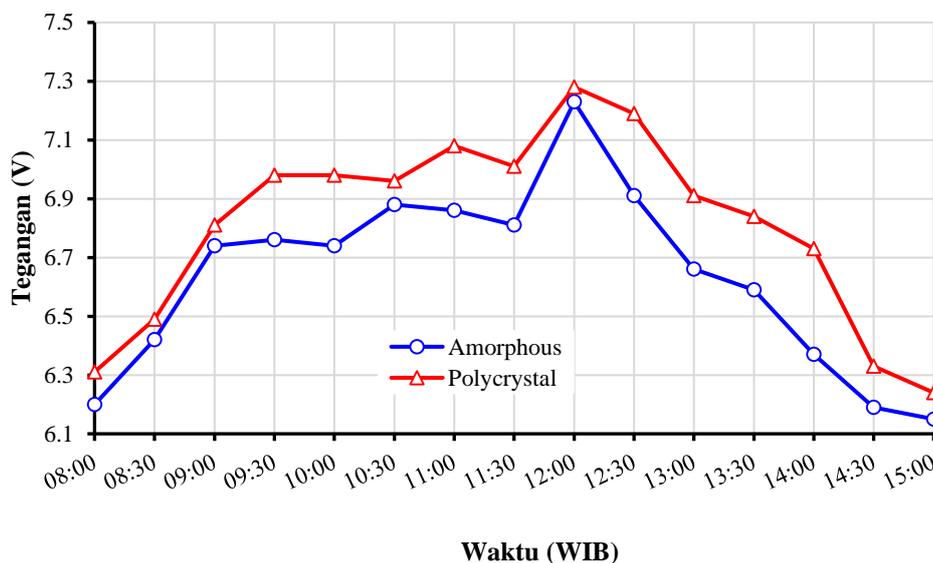
Gambar 7. Grafik radiasi matahari terhadap waktu lokal

Gambar 7 menunjukkan grafik pengukuran radiasi matahari terhadap rentang waktu 08.00 sampai dengan 12.00 WIB. Tingkat radiasi matahari cenderung membentuk grafik naik dikarenakan pada saat rentang waktu tersebut

matahari terus bertambah terik. Pada pukul 12.00 WIB panel surya mampu mendapatkan paparan sinar matahari paling optimal dan merupakan puncak radiasi tertinggi, yang mencapai 887 W/m^2 . Dengan kondisi matahari yang terik dan cuaca cenderung cerah tanpa berawan. Pada pukul 08.00 radiasi matahari masih mencapai $405,5 \text{ W/m}^2$. Setelah pukul 12.00 radiasi matahari mulai berangsur turun. Sehingga titik radiasi terendah terjadi pada pukul 15.00 yang memiliki nilai $140,8 \text{ W/m}^2$.

Perbandingan Tegangan Luaran Jenis Panel Surya

Gambar 8 menunjukkan grafik perbandingan tegangan keluaran antara panel jenis *Amorphous* dan *Polycrystalline* terhadap rentang waktu (WIB).

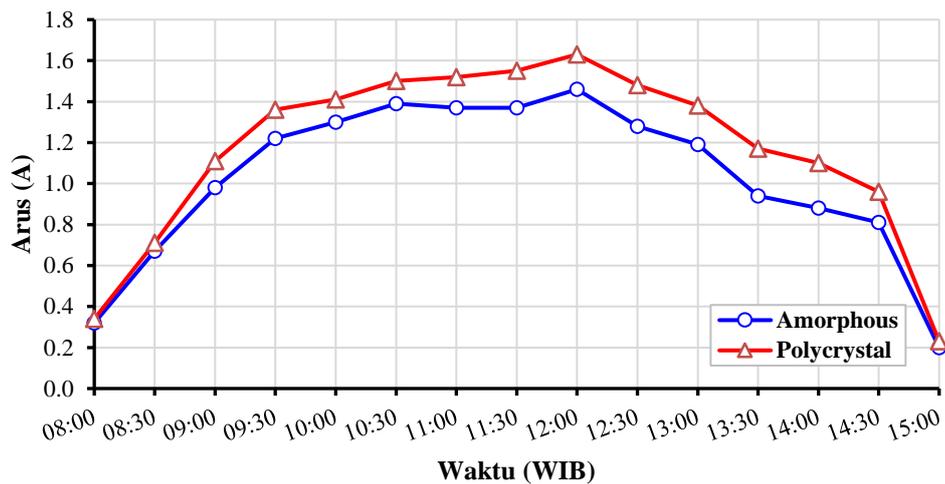


Gambar 8. Grafik tegangan keluaran panel surya terhadap waktu

Pada pukul 08.00-09.00 tegangan keluaran panel masih cenderung kecil dikarenakan tingkat radiasi matahari juga masih rendah. Dari penerapan panel yang berbeda, panel jenis *amorphous* dan *polycrystalline* menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda pula. Dapat dilihat pula bahwa panel jenis *polycrystalline* dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar setiap 30 menit dari tegangan keluaran yang dihasilkan oleh panel surya jenis *thin film amorphous*. Pada pukul 09.00-12.00 tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing panel cenderung naik seiring dengan meningkatnya tingkat radiasi matahari. Sampai pada puncak radiasi matahari pada pukul 12.00, panel surya jenis *polycrystalline* dapat menghasilkan tegangan dengan nilai 7,28 V lebih besar dibandingkan dengan tegangan panel surya jenis *amorphous* senilai 7,23 V. Kemudian pada pukul 12.30-15.00 tegangan keluaran pada kedua jenis panel turun bersamaan dengan menurunnya radiasi matahari.

Perbandingan Arus Luaran Jenis Panel Surya

Gambar 9 merupakan grafik arus keluaran terhadap waktu pengujian panel surya. Perbandingan arus keluaran yang dimaksudkan merupakan arus yang dihasilkan antara panel surya jenis *Amorphous* dan *Polycrystalline*.

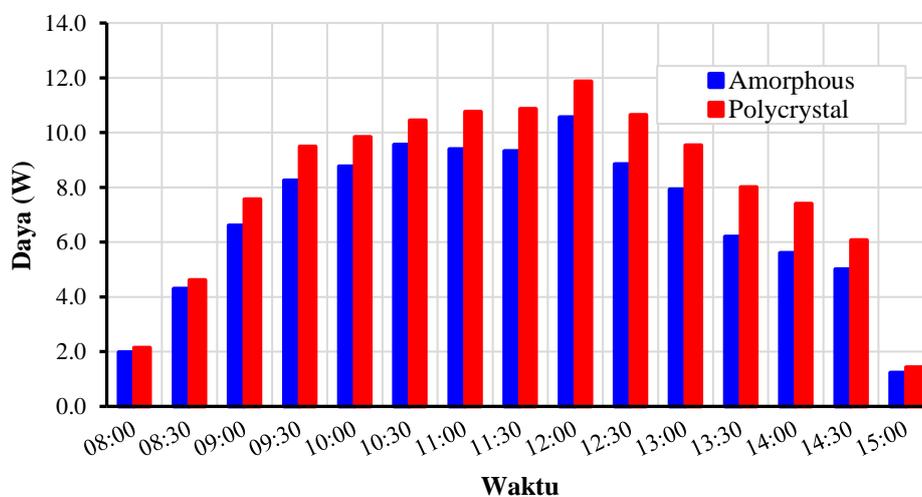


Gambar 9. Grafik arus keluaran panel surya terhadap waktu

Pada Gambar 9 tampak arus yang dihasilkan oleh kedua jenis panel cenderung naik namun tidak begitu besar. Pada pukul 09.00-12.00 WIB arus yang dihasilkan oleh kedua jenis panel cenderung naik dengan nilai yang lebih besar dibandingkan pada pukul 08.00-09.00 WIB. Pada pukul 12.00 WIB menunjukkan puncak radiasi matahari tertinggi dan panel *polycrystalline* mengalirkan arus yang bernilai 1,63 A. Sedangkan *Amorphous* dapat mengalirkan arus sebesar 1,46 A. Panel *polycrystalline* cenderung mampu menghasilkan arus yang lebih besar pada setiap rentang waktu pengujian mulai pukul 08.00-15.00 WIB. Pada pukul 12.30-15.00 arus keluaran kedua jenis panel cenderung mengalami penurunan seiring dengan menurunnya tingkat radiasi matahari.

Perbandingan Daya Luaran Jenis Panel Surya

Gambar 10 menunjukkan grafik perbandingan daya keluaran yang dihasilkan antara panel surya jenis *Amorphous* dan *Polycrystalline* terhadap rentang waktu pengujian.

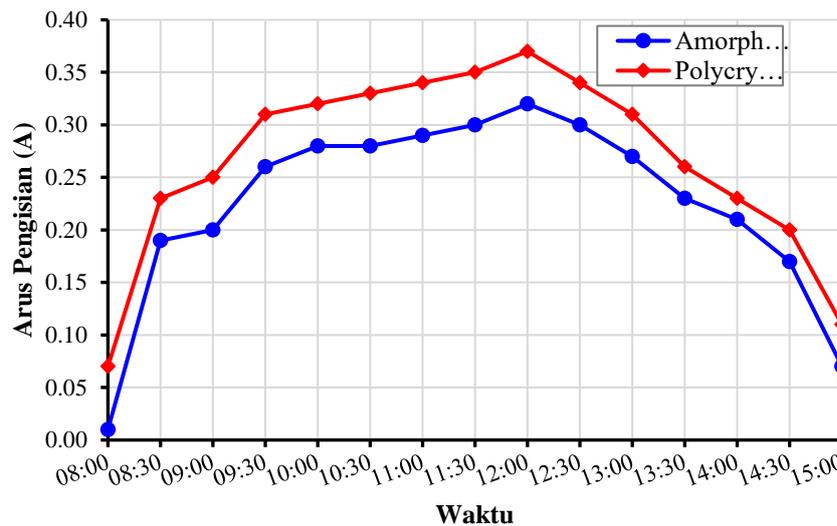


Gambar 10. Grafik daya keluaran panel terhadap waktu

Gambar 10 merupakan hasil kali dari nilai tegangan keluaran panel surya dengan arus keluaran panel surya. Pada pukul 08.00-09.00 WIB tingkat daya pengisian yang dikeluarkan oleh kedua jenis panel masih cenderung rendah. Selanjutnya meningkat secara signifikan sampai pukul 12.00. Daya yang dihasilkan pada saat puncak radiasi matahari oleh panel surya *Amorphous* dan *Polycrystalline*, masing-masing adalah 11,87 W dan 10,56 W. Sedangkan, pada pukul 12.30-15.00 daya listrik yang dihasilkan kedua panel cenderung menurun secara linier, hal ini dikarenakan adanya penurunan radiasi matahari.

Perbandingan Arus Pengisian Panel Surya pada Baterai *Lithium-Ion*

Gambar 11 menunjukkan grafik perbandingan antara penggunaan panel surya jenis *Amorphous* dan *Polycrystalline* dari rentang waktu terhadap arus pengisian baterai.

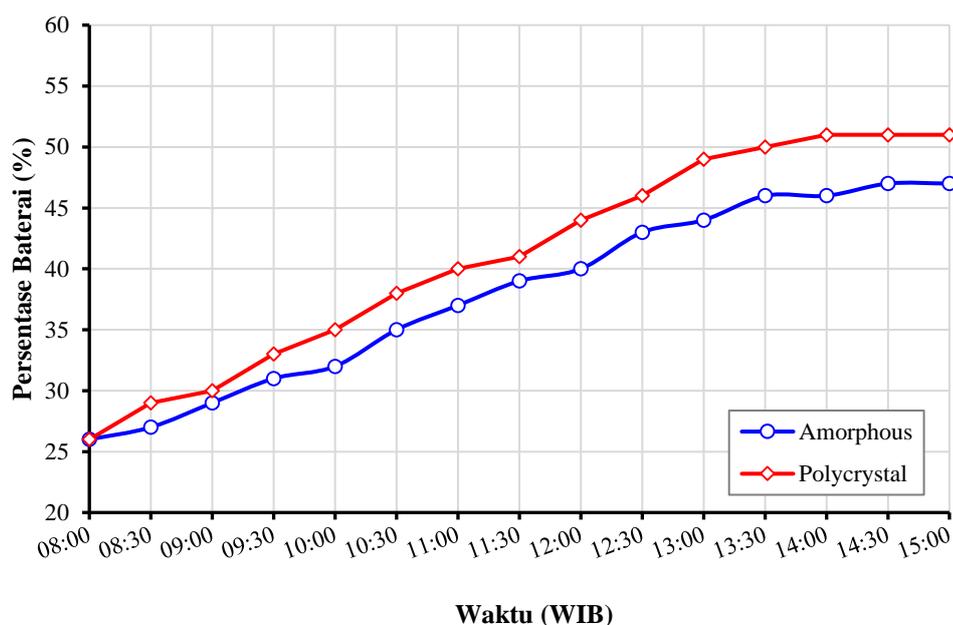


Gambar 11. Grafik Arus Pengisian Baterai terhadap Waktu

Bar Chart yang ditunjukkan Gambar 11, tampak bahwa pada pukul 08.00-12.00 WIB arus pengisian dari kedua jenis panel surya cenderung naik secara bertahap bersamaan dengan tingkat radiasi matahari yang semakin tinggi. Puncaknya pada pukul 12.00 dimana radiasi matahari mencapai titik tertinggi. Rata-rata arus pengisian baterai oleh panel surya jenis *Polycrystalline* mampu mengalirkan arus pengisian sebesar 0,37 A, sedangkan *Amorphous* adalah 0,32 A. dan cenderung lebih kecil dibandingkan dengan arus pengisian oleh panel *polycrystalline*. Pada pukul 12.30-15.00 arus pengisian mengalami penurunan pada kedua jenis panel seiring menurunnya tingkat radiasi matahari.

Perbandingan Arus Pengisian Panel Surya pada Baterai *Lithium-Ion*

Gambar 12 merupakan grafik perbandingan persentase baterai antara penggunaan panel jenis *Amorphous* dan *Polycrystalline* selama rentang waktu pengujian.



Gambar 12. Grafik persentase baterai terhadap waktu

Gambar 12 menunjukkan karakteristik daya pengisian baterai yang dihasilkan oleh jenis panel surya. Pengisian energi listrik dari panel surya melalui SCC untuk mengisi baterai *lithium-ion* pada *electric scooter*. Proses pengisian baterai dimulai pukul 08.00-15.00 WIB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua jenis panel tersebut diperoleh daya pengisian listrik yang berbeda. Sehingga pertambahan persentase yang terukur juga berbeda. Sistem pengisian baterai dengan panel surya ini menggunakan *step up* untuk menaikkan tegangan keluaran panel yang kurang dari 9 Volt untuk dinaikkan menjadi 29 Volt agar sesuai dengan tegangan *floating* baterai. Selama durasi pengujian 7 jam, persentase baterai terus mengalami kenaikan dari semula persentase minimum baterai berada pada titik 26% untuk panel *Polycrystalline* meningkat menjadi 51% dimana terjadi peningkatan sebesar 25%. Sedangkan untuk panel *Amorphous* dari titik 26% sampai dengan akhir durasi pengujian hanya mampu meningkatkan persentase sebesar 21%. Rata-rata peningkatan persentase baterai untuk setiap 30 menit, jenis *polycrystalline* lebih besar dibandingkan tipe amorphous.

KESIMPULAN

Alat monitoring sistem pengisian baterai *electric scooter* yang dirancang dapat bekerja dengan baik untuk mengukur tegangan, arus, daya, arus pengisian, dan persentase baterai. Ketidakakuratan pengukuran masih dalam batas toleransi, hal ini disebabkan karena faktor sensitivitas dari komponen-komponen elektronika. Hasil perekaman data oleh *module SD card data logger* dapat menyimpan hasil pengambilan data uji dengan baik.

Panel surya jenis *Polycrystalline* mampu menghasilkan daya pengisian lebih besar jika dibandingkan dengan *Thin Film Amorphous*. Saat radiasi matahari pada nilai puncak tertinggi yaitu 887,4 W/m² pada pukul 12.00 WIB, panel surya

polycrystalline mampu menghasilkan daya sebesar 11,87 Watt. Sedangkan panel surya jenis *thin film amorphous* hanya mampu menghasilkan daya sebesar 10,56 Watt. Sehingga panel surya *polycrystalline* lebih efisien dibandingkan dengan panel surya *thin film amorphous* untuk daya pengisian baterai *electric scooter*.

SARAN

Penggunakan panel surya jenis *Amorphous* akan lebih baik jika menggunakan SCC khusus bawaan pabrik sehingga daya yang dikeluarkan panel amorphous bisa maksimal. Kapasitas panel surya pada *electric scooter* dapat ditingkatkan dengan daya yang lebih besar namun tetap tidak menghilangkan estetika desain *electric scooter* itu sendiri. Sensor arus ACS712 dapat diganti dengan sensor arus yang lebih baik dan akurat agar pengukuran arus dapat lebih akurat dan stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang atas fasilitas dan dukungannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Asrori A., Mashudi, I., & Suyanta, S. (2019). Pengujian Rasio Kinerja Instalasi Panel Surya Tipe Silikon–Kristal pada Kondisi Cuaca Kota Malang. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur*, 2(2):11-18. doi: 10.33795/jetm.v2i02.41
- Asrori A., Rohman, F., Faizal, E., & Karis, M. (2020). The Design and Performance Investigation of Solar E-Bike using Flexible Solar Panel by Different Battery Charging Controller. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 10 (3): 14431-14442.
- Chao, C.H. (2018). An Extended-range Hybrid Solar-cell and Battery Powered Bicycle. *Advanced Materials Research*, 937 (2018):495-501.
- Farafis, K. I. (2019). *Pengaruh Panel Surya Bentuk Flat dan Flexy Terhadap Daya Pengisian Baterai Sepeda Listrik*. Malang: Tugas Akhir, Politeknik Negeri Malang.
- Fitriandi, A., Komalasari, E., & Gusmedi, H. (2016). Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway Rancang Bangun Alat Monitoring Arus dan Tegangan Berbasis Mikrokontroler dengan SMS Gateway. *Electrician*, 10(2): 87–98. <https://doi.org/10.23960/ELC.V10N2.215>.
- Miao, Y., Hynan, P., Von Jouanne, A., & Yokoch, A. (2019). Current Li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancements. *Energies*, 12(6): 1074. <https://doi.org/10.3390/en12061074>.
- Pamungkas, L. S., & Damastuti, N. (2018). Teknologi IoT dan Arduino Guna Pemantauan Arus Dan Tegangan Listrik. *E-NARODROID*, 4(2), 46–53. <https://doi.org/10.31090/NARODROID.V4I2.733>
- Parastiwi, A., Putri, R. A. Adhisuwignjo, S., & Rifai M. (2018). *Photovoltaic Terapan: Teknologi dan Implementasi*. Malang: Polinema Press.
- Susilo, S.H., Asrori, A., & Gumono, G. (2022). Analysis of the efficiency of using the polycrystalline and amorphous PV module in the territory of Indonesia. *Journal of Applied Engineering Science*, 20 (1): 239-245.

- Torina, N. L. (2022). *ANALISA EFISIENSI PANEL SURYA TYPE POLYCRYSTALLINE SEBAGAI FUNGSI TEMPERATUR* - *Repository of Institut Teknologi PLN*. 2020. Retrieved July 13, 2022, from <http://156.67.221.169/3012/>
- Witono, K., Asrori, A., & Harijono, A. (2021). The Comparison of Performance Polycrystalline and Amorphous Solar Panels under Malang City Weather Conditions. *Bulletin of Science Education*, *1*(2), 124–135. <https://attractivejournal.com/index.php/bse/article/view/107>