

Rancang Bangun dan Uji Kinerja *Trainer Kit* Instalasi Panel Surya 50 Wp

Asrori[#], M. N. Wahyudi Abdullah, Imam Mashudi

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
[#]asrori@polinema.ac.id

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan bentuk energi yang berasal dari konversi sinar matahari menjadi aliran listrik. Alat yang digunakan untuk merubah sinar matahari menjadi listrik adalah panel surya. Instalasi PLTS secara sederhana terdiri dari komponen utama yaitu panel surya, *solar charger*, baterai, dan *inverter*. Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji performansi *trainer kit* instalasi panel surya untuk skala laboratorium. Metode perancangan menggunakan metode Pahl-Beitz, yang terdiri dari tahap perencanaan tugas, perancangan produk, dan detail desain. Pengujian dilakukan secara *outdoor experimental* di koordinat 7,9553°LS dan 112,6125° BT pada bulan November 2021. Radiasi matahari diukur dengan SM-206 *Solar Power Meter* dari pukul 07.00 s.d 17.00 WIB. Arus dan tegangan pengisian baterai dari panel surya akan tercatat pada *MPPT Solar Charger* sehingga daya berguna dari panel surya diketahui. Sedangkan diagram V-I dan daya luaran panel surya dapat diuji dengan mengatur variasi tahanan dari *Rheostat* 50 W/5 Ohm. Hasil rancang bangun berupa *trainer kit* dengan komponen utama panel surya 50 Wp polikristal, *solar charger* MPPT 10A, baterai *lead acid* 12V/10 Ah. Hasil pengujian menunjukkan daya *output* panel dan daya *charging* dipengaruhi oleh tingkat radiasi matahari. *Performance Ratio (PR)* dan *Fill Factor (FF)* menunjukkan bahwa panel surya yang digunakan mempunyai kualitas baik.

Kata kunci: *trainer kit*, panel surya, *rheostat*, *performance ratio*, *fill factor*

Abstract

Solar power generation is an energy that comes from converting sun rays into electricity. The device used to convert sun rays into electricity is a solar panel. The installation of a solar power plant comprises the main components, namely solar panels, solar chargers, batteries and inverters. This research aims to make a solar panel installation trainer kit for laboratory scale and test the characteristics of polycrystalline solar panels. The design method uses the Pahl-Beitz method, which consists of stages of task planning, product design, and design details. The solar panel installation test was conducted outdoors at coordinates, Latitude 7.9553° S and Longitude 112.6125° E in November 2021. The solar radiation was measured with the SM-206 Solar Power Meter from 07:00 am to 05:00 pm. In addition, the current and voltage for charging the battery from the solar panel will be recorded on the MPPT Solar charger so that the usable power of the solar panel is known. In contrast, the V-I curve and the solar panel output power can be tested by adjusting the resistance variation of the Rheostat 50 watts 5 ohms. This design is a trainer kit with the main components 50 Wp polycrystalline solar panel, 10A MPPT solar charger, and 12V/10 Ah lead-acid battery. The test results show that solar radiation affects the panel output power and charging power. Performance as efficiency values, Performance Ratio (PR), and Fill Factor (FF) show that the solar panels used have good quality.

Keywords: *trainer kit*, solar panel, *rheostat*, *performance ratio*, *fill factor*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik sangat penting dalam kehidupan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan lain sebagainya. Eksplorasi potensi energi terbarukan di

Indonesia dalam satu dekade ini menjadi perhatian serius pemerintah. Saat ini pemerintah Indonesia dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN) berusaha untuk mencapai target bauran EBT (Energi Baru Terbarukan) pada tahun 2025 dan 2050, sebesar 23% dan 31%. Sementara itu pada tahun 2019

bauran EBT hanya mencapai 9,3 %, dan diprediksi dengan kondisi yang ada sekarang ini, maka pada tahun 2050 diperkirakan hanya mampu sekitar 18 % [1]. Sehingga untuk dapat mencapai target tersebut, pemerintah mengembangkan pemanfaatan potensi EBT yang terdiri dari hidro, panas bumi, biomasa (termasuk CPO), dan energi surya. Indonesia secara geografis terletak disepanjang garis khatulistiwa, memiliki potensi energi matahari yang cukup besar. Berdasarkan data *global solar atlas* [2], Indonesia mempunyai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) perhari antara 3,45 – 5,74 kWh/m², sehingga berpotensi menghasilkan *PV Power Output* sebesar 2,82 – 4,62 kWh/kWp per hari. Dengan demikian, potensi pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia diprediksi dapat mencapai 3.294 GWp. Namun demikian hingga saat ini, pemanfaatan energi surya masih berkisar 100 MWp [3]. Oleh karena itu, pemerintah membuat *roadmap* pemanfaatan energi surya untuk target tahun 2025 dengan kapasitas PLTS terpasang mencapai 0,87 GWp atau sekitar 50 MWp/tahun. Keberhasilan capaian target yang direncanakan pemerintah, membutuhkan dukungan dari semua pihak. Sumber daya alam yang berlimpah harus diimbangi dengan peningkatan kompetensi sumber daya manusianya. Dalam hal ini dunia kampus, sebagai pintu utama pengembangan ilmu dan ketrampilan harus dapat berperan aktif.

Salah satu bentuk mempersiapkan tenaga ahli yaitu dengan menyediakan peralatan peraga (*trainer kit*) untuk mendukung media pembelajaran di laboratorium. Alat peraga instalasi tenaga surya merupakan media praktikum yang dapat dikembangkan untuk laboratorium di jurusan fisika, elektro, dan laboratorium konversi energi di jurusan teknik mesin. Sehingga mahasiswa dapat memperdalam pengetahuan berdasarkan pengalaman yang nyata untuk membuktikan teori-teori yang diberikan selama perkuliahan. Sistem instalasi pembangkit listrik tenaga surya pada umumnya terdiri dari dua tipe, yaitu instalasi *off-grid* (*stand-alone*) dan *on-grid* (terhubung jaringan PLN). Sistem PLTS terdiri dari beberapa komponen, yaitu: panel surya (*PV-Module*), *solar charge controller*, baterai, inverter dan komponen pendukung lainnya [4]-[8]. Selama ini peneliti lebih banyak menfokuskan penelitian dan pengujian berkaitan dengan karakteristik dan performansi dari panel/modul surya baik dilakukan melalui pendekatan simulasi, pengujian *indoor* maupun secara *outdoor* [9]-[16]. Sedangkan untuk meningkatkan keahlian mahasiswa khususnya pendidikan vokasi/politeknik diperlukan penelitian dan pengembangan alat peraga (*trainer kit*).

Terdapat beberapa artikel yang membahas berkaitan dengan desain, pembuatan dan sistem

pengujian dari instalasi PLTS untuk berbagai tipe dan kapasitas. Alat peraga panel surya yang dirancang sesuai dengan kebutuhan sebagai penunjang media pembelajaran di laboratorium. Pembuatan rangkaian uji, yang hanya difokuskan pada sistem pengujian *output* daya panel surya juga dilakukan oleh para peneliti. Sebagaimana yang dilakukan Chalh, dkk [17] yang membuat rangkaian *PV Emulator* biaya murah yang menggunakan suplai DC variabel dengan resistor variabel seri berbasis teorema transfer daya maksimum. Sementara itu pengujian daya panel surya secara langsung juga dilakukan Mukromin, dkk [18], dengan pemodelan regresi linier majemuk diperoleh adanya korelasi yang baik antara daya *output* panel 50 Wp dengan data inputan temperatur panel dan radiasi matahari. Ranjit, dkk [19], membuat rancangan *trainer kit* yang sederhana yaitu membuat instalasi yang terdiri dari modul PV yang bisa divariasikan secara seri dan parallel, *solar charger controller*, baterai. Daya modul PV dapat divariasikan dengan *shunt element* dengan sistem pengujian beban DC. Hasil pengujian sistem *charging/discharging* oleh panel surya ini ditunjukkan oleh indikator PIC pada baterai. Selanjutnya peneliti [20] merancang alat *trainer kit* instalasi panel surya sistem *on grid* yang terdiri dari panel surya, *PWM controller charger*, baterai dan inverter DC/AC. Selain dari aspek pembuatan alat, beberapa peneliti juga melakukan uji kelayakan dan uji respon dari alat yang dibuat [20]-[22]. Sistem pembuatan *trainer kit*, yang disertai dengan analisis desain manufaktur dan pengujian performansi karakteristik panel surya telah dilakukan beberapa peneliti. Melalui pendekatan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation*) diperoleh sebuah alat *trainer kit* untuk sistem instalasi *on-grid solar PV* [23]. Sedangkan desain *trainer kit* yang dilengkapi dengan pengaturan arah panel surya terhadap arah pergerakan arah matahari dibuat oleh peneliti [24], sehingga dapat diketahui perbandingan daya *output* panel surya 50 Wp yang dipasang secara tetap dengan panel surya yang bergerak mengikuti arah matahari. Selain pembuatan *trainer kit* skala kecil seperti yang dilakukan peneliti diatas, Rumokoy, dkk [25] membahas konsep perancangan alat peraga kerangka instalasi PLTS rumah tangga (*solar rooftop*). Hasilnya berupa gambar 3D instalasi perakitan rangka *PV Rooftop*.









Penelitian terdahulu tersebut menunjukkan beberapa jenis dan metode pengujian instalasi panel surya. Namun demikian pembahasannya hanya bersifat parsial. Sehingga diperlukan kajian desain dan pembuatan *trainer kit* instalasi panel surya secara komprehensif. Tujuan penelitian ini adalah

merancang, membuat dan menguji kinerja *trainer kit* instalasi panel surya. Selain itu, pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik panel surya *polycrystalline* berkapasitas 50 Wp (*wattpeak*) dan unjuk kerja *solar charger controller* tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Sehingga *trainer kit* instalasi panel surya yang dihasilkan tersebut dapat digunakan untuk alat praktik di laboratorium.

II. METODE PENELITIAN

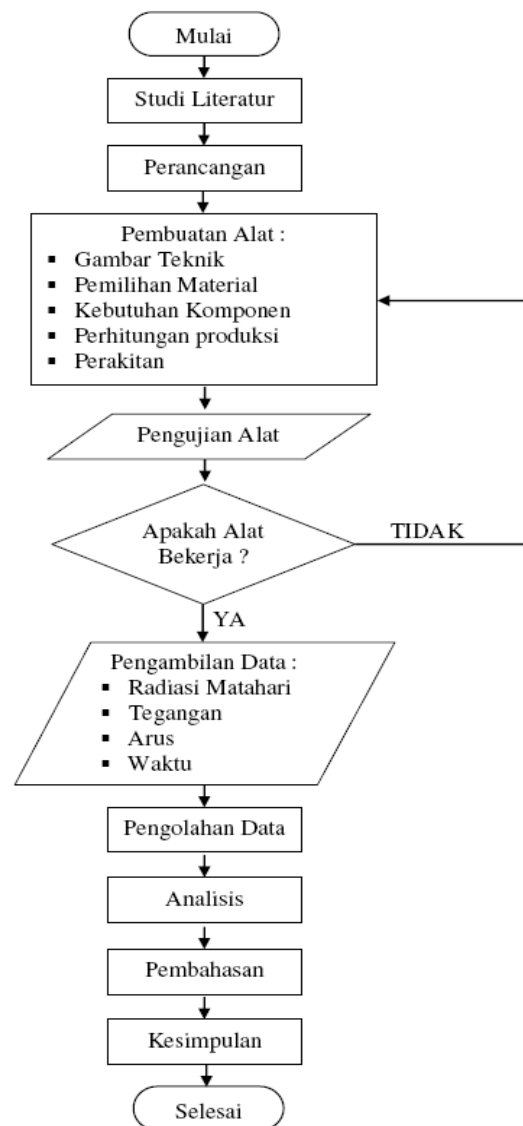
Pembuatan *trainer kit* ini diawali dengan proses perancangan/desain. Metode desain yang digunakan adalah metode perancangan Pahl-Beitz, dimana terdiri dari tahap: (1) perencanaan dan penjelasan tugas, (2) perancangan konsep produk, (3) perancangan bentuk produk (*embodiment design*), dan (4) perancangan detail [26], [27]. Setelah proses desain dilakukan proses pemesinan dalam pembuatan rangka yang dilanjutkan dengan perakitan dari alat peraga tersebut. Material dan spesifikasi dari alat *trainer kit* instalasi panel surya 50 Wp ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi instalasi *trainer kit*

No	Nama	Spesifikasi	Gambar
1	Rangka besi	30 x 30 x 6000 x 1,5 mm	
2	Display board dan instalasi	600 x 1200 x 3 mm	
3	Dual A/V meter	DC 100 V/10 A	
4	Panel surya	Kenika NPS50W: Polycrystalline, 50Wp/18V/2,78A	
5	Solar charger	Epever MPPT: 10 A/12V/24V	
6	Rheostat	50 W / 5 Ohm	
7	Baterai	GS: 12V/10 Ah	
8	Solar Power Meter	SM 206	

Proses pembuatan dan pengujian *trainer kit* instalasi panel surya ditampilkan dalam diagram alur Gambar 1. Pengambilan data pengujian dilakukan di koordinat 7,9553°LS dan 112,6125° BT, pada bulan November 2021. Intensitas radiasi matahari diukur dengan SM-206 *Solar Power Meter* dari pukul 07.00 s.d 17.00 WIB. Waktu, arus dan tegangan ditampilkan dalam *display* pada *MPPT solar charger* yang digunakan. Perekaman data dapat dilakukan dengan menghubungkan PC/Laptop ke *solar charger* tersebut. Gambar 2 menunjukkan *experimental setup* alat *trainer kit* instalasi panel surya kapasitas 50 Wp.

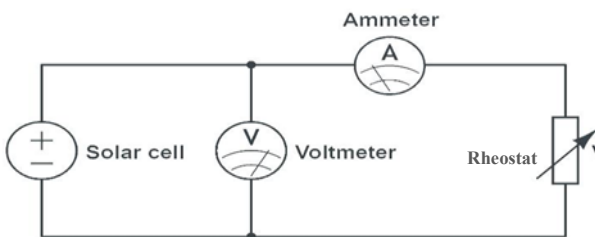
Sedangkan pengujian *trainer kit* ini, dilakukan berdasarkan metode *true outdoor experimental*. Sehingga terdapat beberapa variabel penelitian, yaitu: variabel bebas (radiasi matahari), variabel terikat (tegangan dan arus), variabel terkontrol (lokasi, waktu, dan kapasitas panel surya).



Gambar 1. Diagram alur penelitian



Gambar 2. *Experimental setup* pengujian *trainer kit*



Gambar 3. Diagram *open and short circuit*

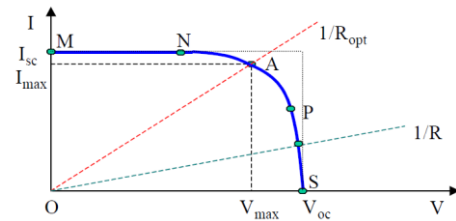
Pengambilan data tegangan dan arus dapat dilakukan dengan mengatur *load* dengan mengubah nilai resistansi pada *rheostat rotary*, seperti tampak dalam diagram Gambar 3. Sehingga dari rangkaian Gambar 3, dengan mengatur *rheostat* dapat diketahui karakteristik arus dan tegangan (diagram V-I) pada sel surya, seperti yang tampak dalam Gambar 4.

Pengujian *trainer kit* panel surya ini dilakukan secara *outdoor*, sehingga dapat diketahui karakteristik efisiensi panel surya secara aktual. Selanjutnya, terdapat beberapa formulasi dasar yang digunakan untuk menentukan performansi dari panel surya [10], [11]. Daya maksimum luaran panel surya dapat dihitung berdasarkan pada persamaan (1) [11].

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}, \quad (1)$$

dimana P_{max} , V_{max} , I_{max} masing-masing adalah daya maksimum (Watt), tegangan maksimum (Volt) dan arus maksimum (Ampere). Sedangkan, persamaan (2) dan (3), masing-masing merupakan efisiensi konversi panel dan efisiensi daya normalisasi panel [11].

$$\eta_p = \frac{P_{act}}{G \times A} \cdot 100\%, \quad (2)$$



Gambar 4. Kurva karakteristik arus dan tegangan pada panel surya (Kurva I-V) [28]

Dimana η_p adalah efisiensi konversi panel surya (%), P_{act} adalah daya luaran panel surya (Watt), G adalah radiasi matahari (W/m^2), dan A adalah luasan panel surya (m^2) [11].

$$\eta_n = \frac{P_{act}}{P_{STC}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

dimana η_n adalah efisiensi daya normalisasi panel surya (%), P_{STC} adalah daya luaran panel surya (Watt) yang diukur pada kondisi standar. P_{STC} merupakan hasil dari standar pengujian panel surya berdasar IEC 61215 dengan kondisi radiasi matahari, $G = 1000 W/m^2$, temperatur permukaan = $25^\circ C$, dan *air mass*, $AM = 1,5 G$. Nilai P_{STC} dapat ditemukan dalam *datasheet* spesifikasi pabrikan. Sehingga dengan perbandingan dari hasil persamaan (2) dan (3) dapat diperoleh suatu parameter yaitu rasio kinerja panel surya (*performance ratio*), seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (4) berikut [10].

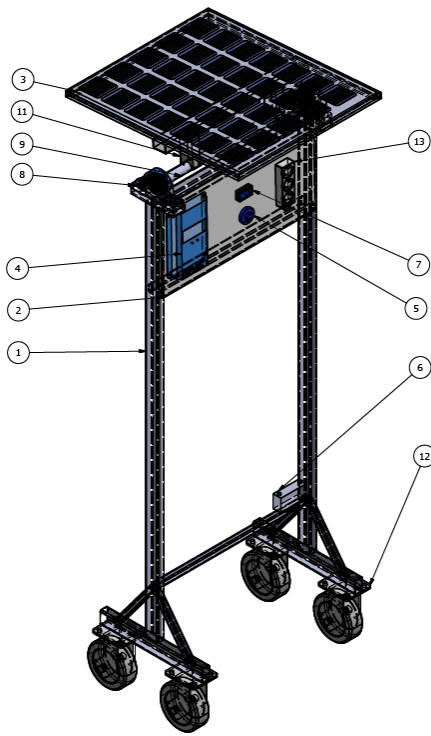
$$PR = \frac{\eta_p}{\eta_{STC}}, \quad (4)$$

dimana $PR = performance ratio$, η_p adalah efisiensi konversi panel surya (%) yang diperoleh dari pengukuran pada saat pengujian, η_{STC} adalah efisiensi pada kondisi pengujian standar, yang dapat dilihat dari *data sheet* pabrikan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain dan Perakitan *Trainer Kit*

Berdasarkan tabulasi material alat peraga yang ada di Tabel 1 diperoleh hasil perakitan alat seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5. Alat peraga instalasi panel surya kapasitas 50 Wp ini terdiri dari 1–rangka *trainer* panel surya, 2–papan *trainer*, 3–panel surya, 4–*solar charger controller (scc)*, 5–*rheostat*, 6–baterai /aki, 7–*dual A/V meter*, 8–*pillow block*, 9–poros, 10–*panel adjuster*, 11–*bevel /busur derajat*, 12–*trolley wheel*, 13–*stop contact*.

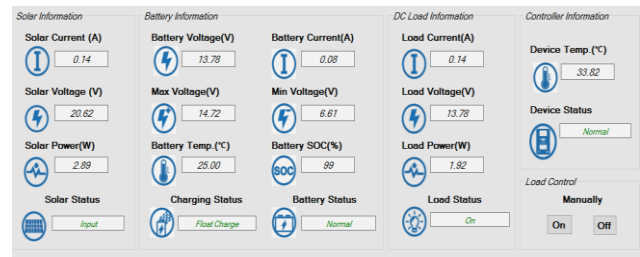


Gambar 5. Desain *trainer kit* instalasi panel surya

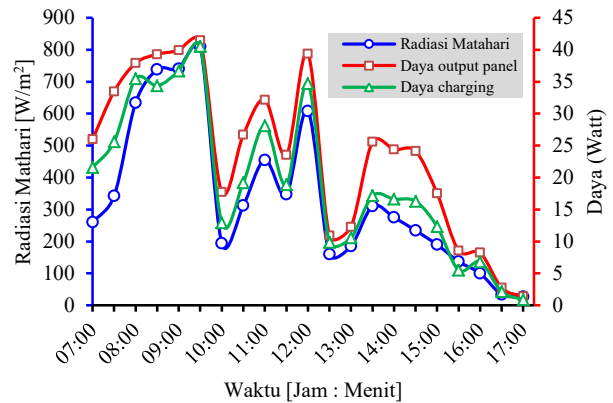
Tabel 2. Daftar komponen dan fungsi *trainer kit*

No	Nama	Fungsi
1	Rangka	Penyangga <i>trainer kit</i>
2	<i>Display Board</i>	Tempat komponen & peralatan
3	Panel Surya	Mengubah sinar matahari menjadi listrik DC
4	SCC	Pengendali dan pengatur sistem pengecasan baterai
5	<i>Rheostat</i>	Pengontrol arus pada sistem rangkaian listrik
6	Baterai	Penyimpan energi listrik
7	<i>Dual A/V meter</i>	Pengukur arus & tegangan
8	<i>Pillow Block</i>	Penyangga beban poros berupasistem bantalan
9	Poros	Penerus beban panel pada <i>pillow block</i>
10	<i>Panel Adjuster</i>	Pengatur posisi kemiringan panel surya
11	<i>Bevel Protactor</i>	Pengukur kemiringan sudut panel surya
12	<i>Throlly Wheel</i>	Roda pemindah alat/beban
13	Stop kontak	Pembagi arus listrik

Keterangan Gambar 5 selanjutnya diuraikan berupa daftar komponen dan fungsinya, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Data monitoring pengujian panel surya



Gambar 7. Pengujian radiasi matahari, daya panel, dan daya *charging* baterai terhadap waktu

Salah satu kelebihan dari *trainer kit* ini adalah dilengkapi dengan panel *adjuster*. Sehingga memungkinkan dilakukan pengujian panel surya pada posisi *fix* (*tilt angle* yang ditentukan) atau posisi panel surya yang diatur mengikuti arah tegak lurus terhadap sinar datang matahari.

B. Karakteristik Daya Panel Surya dan SCC

Data informasi sistem instalasi panel surya direkam oleh *Solar Charger Controller (SCC)* yang selanjutnya dengan *software* bawaan dari SCC tersebut dapat dihubungkan dengan laptop/PC. Sehingga tampilan monitoring data pengujian dapat dilihat seperti Gambar 6. Pada tampilan tersebut menunjukkan beberapa informasi mengenai status atau kondisi dari *solar PV*, *charging system*, *battery status*, *load* dan temperatur SCC. Hasil pengujian daya *output* panel surya dan daya pengisian baterai berdasarkan waktu pengujian dapat dilihat Gambar 7. Berdasarkan pengujian diperoleh hasil pengukuran radiasi matahari yang cenderung fluktuatif. Data radiasi minimum dan maksimum, masing-masing 27 W/m^2 dan 809 W/m^2 . Rata-rata radiasi matahari selama 10 jam sebsar $337,67 \text{ W/m}^2$. Rendahnya tingkat radiasi diantara jam efektif (jam 09 – jam 15) mengindikasikan pada saat pengujian cuaca dalam kondisi banyak berawan. Kondisi radiasi matahari maksimal hanya sekitar $\pm 809 \text{ W/m}^2$ yang terjadi pada pukul 09:00-09:30 WIB. Kondisi seperti ini terjadi karena

pengujian dilakukan pada musim penghujan (November). Hasil pengujian tampak bahwa radiasi matahari cenderung menurun setelah jam 12:00, selain itu antara jam 10:00 -11:30 radiasi matahari juga rendah.

Pola kecenderungan Gambar 7, lebih diperjelas pada Gambar 8. Hasil pengujian menunjukkan bahwa radiasi matahari berpengaruh signifikan terhadap daya *output* panel surya sehingga secara linier juga akan berpengaruh terhadap daya pengisian pada baterai.

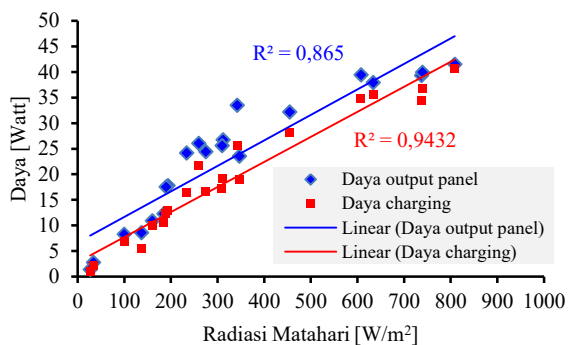
Daya *output* maksimum yang dihasilkan 50 Wp panel surya polikristal pada pengujian ini adalah 41,44 W. Daya maksimum terjadi pada saat radiasi matahari tertinggi (809 W/m²). Demikian juga sebaliknya, daya minimum panel (1,37 W) terjadi pada radiasi matahari minimum (27 W/m²). Rata-rata daya *output* (P_{avg}) panel surya 50 Wp selama $t = 10$ jam pengujian adalah 23,48 W. Sehingga energi yang dihasilkan oleh panel surya selama pengujian dapat dihitung menggunakan persamaan (5) berikut.

$$E_{PV} = P_{avg} \times t, \quad (5)$$

$$E_{PV} = 23,48 \times 10 = 234,8 \text{ Wjam}$$

Dari hasil ini dapat dijadikan rujukan dalam merencanakan energi atau daya yang dihasilkan oleh sebuah panel surya, yaitu jam efektif dalam satu hari adalah berkisar 4-5 jam. Artinya panel surya 50 Wp dalam sehari dapat menghasilkan daya antara 200 – 250 W.

Sedangkan karakteristik panel surya ini dapat didefinisikan dengan nilai efisiensi dan *performance ratio* (PR) dari persamaan (2), (3) dan (4). Nilai efisiensi konversi panel surya ini diambil dari kondisi pengujian radiasi matahari, $G = 809 \text{ W/m}^2$ dan luasan panel adalah, $A = 0,3618 \text{ m}^2$. Berdasarkan perhitungan, efisiensi konversi panel surya 50 Wp tipe polikristal adalah 14,16 %.



Gambar 8. Pengaruh radiasi matahari terhadap daya *output* panel dan daya *charging* baterai

Nilai efisiensi daya normalisasi panel dihitung berdasarkan persamaan (3). Data dari pabrikan menunjukkan bahwa daya maksimum pada kondisi STC, $P_{STC} = 50 \text{ W}$ sedangkan dari hasil pengujian pada kondisi radiasi matahari, $G = 809 \text{ W/m}^2$ diperoleh daya maksimum adalah 41,44 W maka efisiensi daya normalisasi panel surya adalah 82,88 %.

Apabila efisiensi STC dari *data sheet* pabrikan diketahui, $\eta_{STC} = 15,55 \%$, maka berdasarkan persamaan (4), *Performance Ratio* panel adalah 0,91. *Performance ratio* tersebut dihitung sesaat pada kondisi radiasi matahari tertinggi, sehingga diperoleh nilai $PR > 90\%$ (*high performance*). Dalam beberapa kasus instalasi PLTS nilai PR dihitung secara *annually*, sehingga rata-rata $PR = 85,74\%$ [29].

Daya *charging* merupakan daya pengisian pada baterai, berdasarkan informasi data sebagaimana yang tertampil dalam Gambar 6 dan Tabel 2, maka dapat diestimasi tingkat efisiensi penggunaan *solar charger* tipe MPPT pada instalasi *trainer kit* ini. Efisiensi *charging* (η_{sc}) dapat diestimasi menggunakan persamaan (6). Data pengujian (tabel 2) diperoleh rata-rata daya pengisian, $P_{cg} = 19,33 \text{ W}$ dan daya *output* panel surya, $P_{PV} = 23,48 \text{ W}$. Sehingga efisiensi MPPT *solar charger* adalah 82,32%.

$$\eta_{sc} = \frac{\bar{P}_{cg}}{\bar{P}_{PV}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

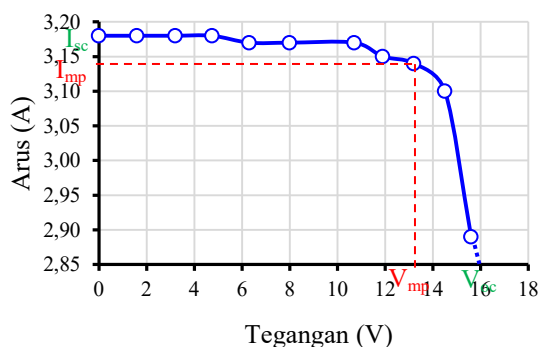
Efisiensi SCC MPPT yang dihasilkan dibawah dari 90%. Sedangkan rata-rata efisiensi dari SCC tipe MPPT antara 90% hingga 98% [30,31]. Penggunaan *solar charger MPPT* akan mempunyai efisiensi tinggi apabila bekerja pada sistem instalasi kapasitas panel diatas 200 Wp [32]. Selain itu faktor temperatur SCC juga akan berpengaruh, dimana temperatur idealnya adalah 25 °C. Sehingga rendahnya efisiensi SCC pada pengujian *trainer kit* ini dikarenakan panel surya yang digunakan berkapasitas 100 Wp dan temperatur SCC pada saat pengujian berkisar 33,82°C (Gambar 6).

C. Karakteristik Kurva V-I

Karakteristik panel surya polikristal 50 Wp pada alat peraga ini dapat ditunjukkan dari kurva tegangan-arus (kurva V-I). Hasil pengujian tegangan dan arus dengan mengatur nilai resistensi dari *rheostat* ditampilkan dalam Tabel 4. Pengujian ini diambil pada data radiasi matahari $\pm 809 \text{ W/m}^2$.

Tabel 3. Pengujian tegangan dan arus panel

Resistance (Ohm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
0,0	0,00	3,18
0,5	1,60	3,18
1,0	3,21	3,18
1,5	4,75	3,18
2,0	6,30	3,17
2,5	8,00	3,17
3,0	10,70	3,17
3,5	11,90	3,15
4,0	13,20	3,14
4,5	14,50	3,10
5,0	15,60	2,89



Gambar 9. Kurva V-I pengujian panel surya

Selanjutnya dari hasil Tabel 3 tersebut, dibuat diagram/kurva antara tegangan (V) dan arus (I) yang disebut kurva V-I seperti yang tampak dalam Gambar 9. Berdasarkan Gambar 9 dapat diketahui bahwa: *max. power voltage*, $V_{mp} = 13,2$ V; *max. power current*, $I_{mp} = 3,14$ A; *Open Circuit Voltage*, $V_{oc} = 15,9$ V; *Short Circuit Current*, $I_{sc} = 3,18$ A. Sehingga dari data pengujian dapat diperhitungkan nilai *Fill Factor (FF)*, berdasarkan persamaan (7). Dimana *FF* bernilai 0,7 s.d 0,8 menunjukkan bahwa panel surya mempunyai performansi atau berkualitas baik [33].

$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (7)$$

Sehingga dari pengujian kurva V-I tersebut, menunjukkan bahwa panel surya yang digunakan berkualitas baik.

IV. KESIMPULAN

Rancang bangun *trainer kit* berfungsi sebagai media praktikum sistem instalasi PLTS sederhana. Hasil pengujian menunjukkan bahwa radiasi matahari berpengaruh signifikan terhadap daya

output panel surya. Pengujian secara *outdoor* pada *trainer kit* ini menghasilkan pola kurva V-I ideal. Selain itu, performansi panel surya juga dapat ditentukan dari hasil pengujian. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan memperbesar kapasitas *rheostat*, sehingga *trainer kit* ini bisa digunakan untuk menguji panel surya dengan kapasitas yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Malang, atas dana DIPA-023.18.2.677606/2020 dengan Surat Perjanjian No. 5432/PL2.1/HK/2020.

REFERENSI

- [1] E. Hilmawan, I. Fitriana, A. Sugiyono, and Adiarso, "Outlook energi indonesia 2021 : perspektif teknologi energi Indonesia : tenaga surya untuk penyediaan energi charging station, Tangerang : Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, 2021, Available: <https://www.bppt.go.id/dokumen/file/865/download>
- [2] Global Solar Atlas, 2022, [online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=-2.679687.118.125.4&r=IDN>
- [3] MEMR."Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia (Final Edition)." Jakarta : Januari 2019. Available : <https://www.esdm.go.id/en/publication/handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-heesi>
- [4] R. Bagus. "Instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dos & Don'ts. Jakarta: GIZ. 2018.
- [5] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, London: British Library Cataloguing in Publication Data. 2009.
- [6] J. F. Kreider, *Solar Energy Applications. in Mechanical Engineers. Handbook: Energy and Power. Volume 4. Third Edition*, NY : John Wiley & Sons. Inc.. 2006.
- [7] A. Parastiwi, R. A. Putri, S. Adhisuwignjo, and M. Rifa'i, *Photovoltaic Terapan: Teknologi dan Implementasi*, Malang: Polinema Press. 2018.
- [8] F. D. Kartikasari, E. Tarigan, and A. C. Torres, "Simulation and Experimental Results of a 3 kWp Rooftop PV System in Surabaya," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*. vol. 4. no. 2. pp. 219-226. 2019.
- [9] D. N. Prakoso, N. A. Windarko, and B. Sumantri, "Estimasi Nilai Parameter Photovoltaic dengan Algoritma Numerik Menggunakan Software PSIM," *BRILIANT: Jurnal Riset dan Konseptual*, vol. 6, no. 2, pp.429-444, 2021.
- [10] A. Asrori, I. Mashudi, and Suyanta, "Pengujian Rasio Kinerja Instalasi Panel Surya Tipe Silikon-Kristal pada Kondisi Cuaca Kota Malang," *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur (JETM)*. vol. 2, no.02, pp. 11-18, 2019.

- [11] A. Asrori and E. Yudiyanto, "Kajian Karakteristik Temperatur Permukaan Panel terhadap Performansi Instalasi Panel Surya Tipe Mono dan Polikristal," *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*. vol. 5, no. 02, pp. 68-73, 2019.
- [12] R. Kumar, A. Choudhary, G. Koundal, A. Singh, and A. Yadav, "Modelling/Simulation of MPPT Techniques for Photovoltaic Systems Using Matlab," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. vol. 7, no. 4, pp. 178-187, 2017.
- [13] A. S. Samosir, H. Gusmedi, S. Purwiyanti, and E. Komalasari, "Modeling and Simulation of Fuzzy Logic based Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV Application," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 8, no. 3, pp. 1315-1323, 2018.
- [14] S. S. Nadkarni, S. Angadi, and A. B. Raju, "Simulation and Analysis of MPPT Algorithms for Solar PV based Charging Station," in *International Conference on Computational Techniques. Electronics and Mechanical Systems (CTEMS)*, 2018. pp. 45-50.
- [15] A. Windarko, N. N. Habibi, M. A. B. Nugroho, and E. Prasetyono, "Simulator Panel Surya Ekonomis untuk Pengujian MPPT pada Kondisi Berbayang Sebagian," *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, vol. 9, no.1, pp. 110-115, 2020.
- [16] A. Tetuko, D. Djuniadi, and E. Apriaskar, "Analisis Kinerja Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Sistem Photovoltaic Standalone Berbasis Algoritme Perturb And Observe (P&O)," *PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol.8, No 2, pp 72-75, 2021.
- [17] A. Chalh, S. Motahhir, A. El Hammoumi, A. El Ghzizal, and A. Derouich, "A low-cost PV Emulator for testing MPPT algorithm," in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 161*, 2018.
- [18] R. I. Mukromin and M. K. Asy'ari, "Prediksi Daya Panel Surya Kapasitas 50 Wp Menggunakan Model Regresi Linier Majemuk," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, vol. 10, no. 2, pp. 58-65, 2020.
- [19] S. S. S. Ranjit, S. A. Anas, S. K. Subramaniam, C. F. Tan, and S. H. Chuah, "Development of Solar Educational Training Kit," *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 2, no. 3, pp. 25-29, 2012.
- [20] M. R. Faiz and P. N. Wicaksono, "Pengembangan Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On Grid dengan PLN untuk menunjang Matakuliah Praktikum Pembangkit Tenaga Listrik," *TEKNO*. vol. 22, pp.64-68, 2014.
- [21] K. R. Saputra, I. P. S. Arsa, and I. G. Ratnaya, "Pengembangan Media Pembelajaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Mata Kuliah Pembangkit Listrik Di Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro," *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, vol. 9, no. 3, pp. 193-202, 2020.
- [22] H. Ashar and A. Suklin, "Efektivitas Media Pembelajaran Berbasis Alat Peraga Panel Surya Sederhana Terhadap Keterampilan Proses Sains Peserta Didik Pada Materi Listrik Searah," *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, vol. 9, no. 1, pp. 77-82, 2021.
- [23] M. Ali, A. S. J. Wardhana, E. S. Damarwan, Muhfizaturrahmah, Yuniarti, and W. S. Bagas, "Design and Implementation of Trainer Kit for Hybrid On-Grid Solar Power Generation System," in *Proc. Journal of Physics: Conference Series 1737*, IOP Publishing, 2021, pp. 1-8.
- [24] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and S. H. Mukti, "Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP," *TEKNIK*, vol. 37, no. 2, pp.59-63, 2016.
- [25] S. N. Rumokoy, C. H. Simanjuntak, I. G. P. Atmaja, and J. L. Mappadang, "Perancangan Konsep Alat Praktek PLTS Skala Rumah Tangga Berbasis PV Roof Top Installation," *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 9, no.1, pp.68-74, 2020.
- [26] I. A. Effendi, A. Ramdan, "Aplikasi Metode Perancangan Pahl-Beitz pada Perancangan Lini Produksi," in *Seminar Nasional Teknologi Manufaktur (STEMAN)*, Polman Bandung, 2014, pp. 1-6.
- [27] A. Suwandi, Z. Sjarief, D. Rahmalina, and R. A. Rahman, "Rancang Bangun Bed Storage untuk Thermal Energy Storage Berbasis Parafin dan Serbuk Besi," *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*. vol. 6, no. 1, 2021, pp. 163-174.
- [28] R. Pido, S. Himran, and Mahmuddin, "Analisa Pengaruh Pendinginan Sel Surya terhadap Daya Keluaran dan Efisiensi," *TEKNOLOGI: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 19, no. 1, 2018.
- [29] M. Dhimish, "Thermal impact on the performance ratio of photovoltaic systems: A case study of 8000 photovoltaic installations," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 21, 2020.
- [30] A. Kusmantoro and Margono, "Peningkatan Kinerja MPPT Menggunakan Kontrol PWM Fuzzy dengan Tuning PID," *Jurnal Rekayasa Elektrik*, vol. 16, no. 2, 2020, pp. 80-86.
- [31] M. A. Baihaqiy, T. Hardianto, B. S. Kaloko. M. Gozali, and B. Sujanarko, "Rancang Bangun Sepic Converter Untuk Panel Surya dengan MPPT Incremental Conductance Sebagai Pengisian Baterai Sepeda Listrik," *Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI)*, vol. 6, no. 2, 2020, pp. 38-45.
- [32] I. R. Chofananda, J. Jamaaluddin, A. Wisaksono, and I. Anshory, "Analisa Karakteristik Daya Penggunaan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan Pulse Widht Modulation (PWM)," in *Procedia of Engineering and Life Science*, vol. 1, no. 2, 2021, pp. 1-8.
- [33] G. Takyi, "Performance Characterization of Polycrystalline Silicon Photovoltaic Modules Installed in Kumasi, Ghana," *Nigerian Journal of Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 461-471, 2021.