

Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Konversi Energi Termal pada Baterai Pasir

Theodorus Mara Dosi¹, Verdy A. Koehuan^{2*}, Jahirwan Ut Jasron³

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: verdy.koehuan@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penyimpanan energi termal (TES) merupakan sebuah teknologi yang menyimpan energi panas dengan media penyimpanan, sehingga energi yang tersimpan dapat digunakan, baik untuk aplikasi pemanasan dan pendinginan atau untuk pembangkit listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang prototipe sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk konversi energi termal pada baterai pasir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan prototipe PLTS dengan daya terpasang 1600 WP, sedangkan pengujian pada skala laboratorium dilakukan pada model PLTS dengan daya terpasang 400 WP (faktor skala 0,25). Pengujian dilakukan selama tiga hari untuk mengetahui tegangan, kuat arus, daya dan efisiensi panel yang akan dikonversikan menjadi energi termal serta efisiensi termal baterai pasir. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penelitian nilai persentase efisiensi panel tertinggi yaitu di angka 9,90% pada jam 10.30 pagi. Sedangkan efisiensi panel terendah pada hari ke 2 yaitu pada jam 15.00 sebesar 3,36%. Efisiensi termal baterai pasir tertinggi 77,45% pada jam 14.00 dan efisiensi termal terendah 16,76% pada jam 10.30, dimana sistem PLTS ini dapat digunakan untuk sistem penyimpanan energi termal pada baterai pasir.

ABSTRACT

Thermal energy storage (TES) is a technology that stores heat energy with a storage medium, so that the stored energy can be used, either for heating and cooling applications or for electricity generation. The aim of this research is to design a prototype solar power generation system for thermal energy conversion in sand batteries. The method used in this research is the PLTS prototype design method with an installed power of 1600 WP, while testing on a laboratory scale was carried out on a PLTS model with an installed power of 400 WP (scale factor 0.25). Testing was carried out for three days to determine the voltage, current strength, power and efficiency of the panels which will be converted into thermal energy as well as the thermal efficiency of the sand battery. The results of this research show that the highest panel efficiency percentage value is 9.90% at 10.30 am. Meanwhile, the lowest panel efficiency was on day 2, namely at 15.00 at 3.36%. The highest thermal efficiency of sand batteries is 77.45% at 14.00 and the lowest thermal efficiency is 16.76% at 10.30, where this PLTS system can be used for thermal energy storage systems in sand batteries.

Keywords: Solar energy, Solar power plant, Thermal energy, Sand Battery

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan manusia yang paling dasar dan dalam penggunaannya yang terus meningkat. Pertumbuhan penduduk Indonesia yang terus meningkat dan seiring kemajuan teknologi yang berkembang sangat pesat, menyebabkan kebutuhan energi semakin bertambah. Usaha untuk mengatasi penggunaan energi yang begitu banyak dan terus meningkat, kebutuhannya akan energi diperlukan pengembangan energi khususnya energi terbarukan. Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan yang berlimpah mencapai 3.687 GW, terdiri dari potensi surya sebesar 3.294 GW, potensi hidro 95 GW, potensi bioenergi 57 GW, potensi bayu 155 GW, potensi panas bumi 23 GW, potensi laut 63 GW. Diluar itu, terdapat potensi uranium 89.483 ton dan Thorium 143.234 ton. Potensi energi baru terbarukan tersebut sangat besar, tersebar, dan beragam. (Kementrian ESDM, 2023).

Pemanfaatan energi surya menjadi listrik adalah sebuah sistem yang paling ramah lingkungan, tapi sampai saat ini masih memerlukan lahan yang luas untuk pemasangan instalasinya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prakarsa Jaringan Cerdas Indonesia (PJCI) pada daerah NTT tepatnya pulau Sumba dan Timor bahwa potensi energi listrik dari sinar matahari yang dimiliki oleh pulau Timor dan Sumba tersebut mencapai 60 GW kebutuhan listrik Indonesia adalah sekitar 70 GW. Sehingga memungkinkan untuk menopang kebutuhan listrik dalam negeri dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). (Universitas Pertamina, 2022)

Penyimpanan energi termal (TES) merupakan sebuah teknologi yang menyimpan energi panas dengan memanaskan atau mendinginkan media penyimpanan, sehingga energi yang tersimpan dapat digunakan, baik untuk aplikasi pemanasan dan pendinginan atau untuk pembangkit listrik. Sistem TES digunakan khususnya di gedung dan proses industri. Baterai pasir merupakan penyimpanan energi panas suhu tinggi yang menggunakan pasir atau bahan menyerupai pasir sebagai media penyimpanannya. Baterai pasir dapat menggunakan baterai konvensional untuk menyimpan energi yang dihasilkan lebih banyak daripada konsumsi oleh generator angin dan surya. Energi tersebut diubah menjadi panas, yang dapat memanaskan bangunan atau memasok uap panas dan panas proses bersuhu tinggi ke sektor-sektor.

Komponen-Komponen PLTS: Panel surya, Baterai, *Solar Charge Controller* (SCC), Inverter, Kabel solar panel, *Circuit Breaker MCB DC* untuk Tenaga Surya, Watt meter DC. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya: Sistem *On-Grid* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari untuk menghasilkan listrik. Dan sesuai dengan namanya, maka sistem ini akan dihubungkan dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi matahari melalui modul surya atau *photovoltaic* modul yang menghasilkan listrik semaksimal mungkin (Ramadhana et al., 2022), Sistem *Off-Grid* sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari tanpa terhubung dengan jaringan PLN atau dengan kata lain satu satunya sumber pembangkitnya yaitu hanya menggunakan radiasi matahari dengan bantuan panel surya atau *photovoltaic*. Untuk dapat menghasilkan energi listrik sistem PLTS *Off-Grid* sendiri juga hanya dimanfaatkan untuk daerah yang tidak terjangkau pasokan listrik dari PLN seperti daerah pedesaan (Ramadhana et al., 2022).

Energi matahari, energi angin, dan pasang surut energi tidak selalu menghasilkan energi dengan laju yang sama dengan yang dikonsumsi di perkotaan. Ini transisi dari sistem energi tradisional berbasis bahan bakar fosil ke sistem dengan energi tinggi penetrasi energi terbarukan menimbulkan variasi pasokan dan permintaan dalam beban. Itu Fakta bahwa panas menyumbang 50% dari seluruh penggunaan energi final secara global menyoroti pentingnya hal ini TES dalam sistem energi masa depan dengan volume energi terbarukan yang terputus-putus secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pembangkit listrik tenaga surya untuk dapat menyimpan energi termal pada baterai pasir.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Proses Perancangan

Kondisi rancangan

Kondisi rancangan meliputi:

- Sistem PLTS yang digunakan adalah sistem tegangan DC 12 Volt
- Elemen pemanas yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi termal dengan daya 250 Watt DC
- Sudut kemiringan panel dipertahankan pada 25° menghadap arah utara.

Kebutuhan energi listrik

Kebutuhan panel surya atau *solar cell* oleh *prototype* PLTS untuk konsumsi energi listrik pada alat pemanas (heater) pada baterai pasir selama 5 jam.

- Total konsumsi energi, E_B dihitung dengan daya beban dikali lama waktu penggunaan PLTS (t) atau dengan persamaan:

$$E_B = P \times t \quad (1)$$

- Energi Beban sistem (E_A) yang disuplay (33,3%)

$$E_A = 33,3 \% \times E_B \quad (2)$$

- Asumsi rugi-rugi energi (E_L) terhadap sistem (15%)

$$E_L = E_A \times 15\% \quad (3)$$

- Sehingga kebutuhan total energi beban (E_T)

$$E_T = E_B + E_A + E_L \quad (4)$$

Daya output panel

$$P_{\text{modul}} = \frac{E_T}{\text{isolasi matahari}} \times fp \quad (5)$$

Faktor penyesuaian (fp) = 1,1

Isolasi matahari diasumsikan 4 jam untuk wilayah kota Kupang

Perhitungan besar kuat arus BCR (*Battery Charge Controller*) untuk sistem tegangan pada baterai (V_s) dengan total daya terpasang, P_{max} .

$$I_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{V_s} \quad (6)$$

Kebutuhan baterai

Baterai dalam sebuah sistem PLTS berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya agar bisa digunakan pada malam hari. Berikut cara perhitungan jumlah aki yang dibutuhkan (Wh atau Watt hour sama dengan VAh) atau volt ampere hour)

$$Ah = \frac{E_T}{V_s} \quad (7)$$

Jika digunakan baterai VRLA maka kapasitas baterai saat proses discharging tidak boleh kurang dari 50% kapasitas terpasang. Untuk menjaga usia pakai baterai lebih lama maka harus ditambah 2 kali jumlah kebutuhan baterai.

Solar Charge Controller (SCC)

Solar charge controller (SCC) memiliki fungsi utama sebagai pengontrol *charging* baterai dengan mengontrol arus tegangan yang dihasilkan oleh panel surya yang akan digunakan sebagai sumber daya tenaga listrik untuk kebutuhan *charging* baterai, sehingga baterai tidak mengalami kondisi *overcharging*, yang dapat mempersingkat usia pemakaian baterai. Berikut ini perhitungan kebutuhan *controller* yang digunakan.

Kebutuhan inverter dipakai jika heater yang digunakan adalah heater AC. Jika heater nya DC, maka inverter tidak dibutuhkan. Berdasarkan data sebelumnya, heater yang digunakan adalah heater DC 12 V, maka asumsikan semua alat menyala secara bersamaan, sehingga didapat total daya. Inverter yang digunakan outputnya harus lebih besar dari total daya. Pemilihan inverter didasarkan pada kebutuhan beban dengan tegangan AC 220 V yaitu 220 Watt. Jadi inverter yang digunakan minimal 220 watt atau digunakan 500 watt.

Karena ampere yang dihasilkan besar maka dalam pemilihan kabel harus diatas 6 mm agar usia pakai kabel lebih lama. Jika kabel terlalu kecil akan terjadi penurunan tegangan dan akan ada lebih banyak daya hilang. Selain itu panjang kabel juga mempengaruhi kinerja seluruh sistem PLTS.

2.2 Pengujian Alat

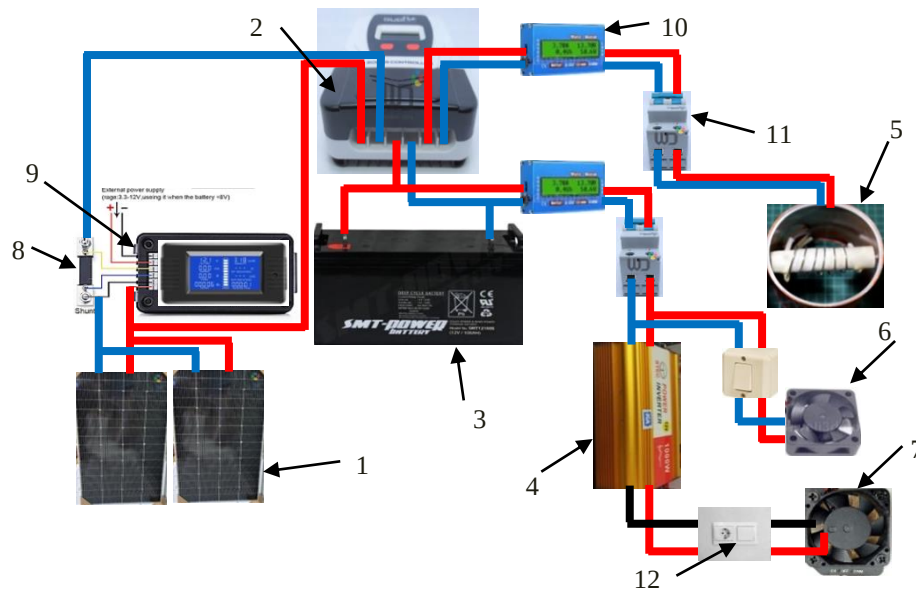
Pengujian dilakukan dengan memasukan semua variabel dan mulai menganalisa untuk mendapatkan kesimpulan, berikut variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian : Waktu dari jam 10.00 sampai 15.00 pada setiap pengujian alat meliputi pengukuran intensitas radiasi matahari, tegangan dan kuat arus serta daya listrik pada PLTS dan elemen pemanas. Adapun elemen pemanas yang digunakan untuk memanaskan pasir sebagai media penyimpanan energi termal adalah Alat pemanas DC 12 volt, daya 250 watt (elemen heater).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rancangan Prototipe PLTS

Komponen panel surya

Pada perancangan rangka panel ini akan menggunakan dua buah panel 200WP model *monocrystalline*, panjang panel 129 cm, lebar 76 cm dan tebal 3 cm. Panel surya sebagai alat yang menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Prosesnya dimulai dengan menangkap sinar matahari oleh panel surya, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan adalah dalam bentuk arus listrik searah (DC).



Gambar 1. Skema pengujian model instalasi panel surya 400 W tegangan output 12 volt.

Keterangan: (1) Panel surya 2 x 200 WP, (2) Solar panel charger (SCC – MPPT) 40 A, (3) Baterai VRLA 100Ah, (4) Inverter DC 12 volt – AC 220 volt 1000W, (5) Heater DC 12 volt, (6) Fan DC 12 volt, (7) Fan AC 220 volt, (8) shunt current, (9) Watt meter, (10) Watt meter, (11) MCB DC 16 A, (12) saklar

Elemen pemanas pada baterai pasir.

Pada perncangan alat pemanas atau heater pada baterai pasir ini menggunakan kawat nikrom denngan diameter 0,4 mm serta daya sebesar 250 Watt dan tegangan 12

Pembuatan dan instalasi sistem pembangkit listrik

- Pembuatan kerangka panel surya
Rangka panel surya terbuat dari besi persegi berukuran 2 x 4 cm, panjang besi 2 m, dan pipa besi 1 dim untuk sebagai penopang panel
- Pemasangan panel surya
Pada tahap ini berupa pemasangan solar panel dilokasi penelitian. Pemasangan solar panel ini peneliti menggunakan dua solar panel.
- Pemasangan Baterai
Baterai sebagai media penyimpanan arus listrik pada PLTS dengan spesifikasi sebagai berikut:
Model: VRLA deep cycle 12V-100Ah
Voltage: 12 volt
Capacity: 100Ah
Dimension: 330mm x 170mm x 220mm
Weight: 29kg
- Pemasangan SCC Charger Controller
SCC sebagai modul *operation system solar charger* pada PLTS untuk menghidupkan heater beserta komponen pendukung lainnya dengan spesifikasi sebagai berikut: Nama: *Solar Charger Controller/Controller MPPT digital 40A 12V/24V Ocean Dream Series*
Spesification:
Rated Voltage: 12V/24V (Auto)
Rated Current: 40A
Max PV Voltage: 50V
Max PV Input Power: 600W(12V), 1200W(24V)
- Pemasangan Heater pada baterai pasir
Pemasangan heater didalam drum pasir yang diberi isolasi media tanah. Heater yang digunakan adalah heater DC 250 watt.

Tabel 1. Hasil analisis PLTS untuk baterai pasir

Parameter	Data desain (<i>prototype</i>)	Data pengujian (model)
Daya heater/jam operasioanl perhari	1 x 250 watt/5 jam	1 x 250 Watt/ 5 jam
Daya beban lainnya (jam operasional perharinya)	2 x 5 watt/12 jam 1 x 220 watt/jam	2 x 5 watt/ 12 jam
Total konsumsi energi	4.010 Wh	1370 Wh
Sistem tegangan	12 Volt	12 Volt
Panel surya	8 x 200 Wp	2 x 200 Wp
Baterai	5 x 100 Ah	1 x 100 Ah
SCC	MPPT SCC 120 A	MPPT SCC 40 A
Intensitas Matahari	-	1144 W/m ²
Daya panel pada I_r max	-	132,00 W
Daya output pada I_r max	-	177,90 W
Efisiensi panel	-	5,58%
Efisiensi sistem	-	139,85%

3.2 Hasil Pengujian

Dari hasil perancangan *prototype* PLTS dilakukan pengujian pada skala laboratorium dengan menggunakan model PLTS dengan skala 0,25 dari daya *prototype* sebesar 400 WP. Sistem perancangan panel surya untuk menghasilkan sumber energi listrik untuk elemen pemanas (heater), kami melakukan 3 pengujian yaitu pengujian pada modul panel surya, pengujian pengisian baterai dan pengujian menggunakan beban. Pengujian ini dilakukan selama 3 hari di lab jurusan Teknik Mesin dimulai pada tanggal 20 november, 21 november dan 22 november 2023. Pada pengujian modul panel surya, pengujian pengisian baterai, pengujian heater dan pengukur intensitas cahaya menggunakan *solar power meter*. Pengukuran dilakukan selama 5 jam dimulai pukul 10.00 sampai dengan 15.00 wita setiap 30 menit.

3.3 Efisiensi Panel dan Sistem PLTS

Efisiensi panel surya dihitung berdasarkan persamaan berikut, (Hasrul, 2021)

$$Efisiensi\ panel = \frac{p_{out}}{p_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

P_{out} adalah daya yang dihasilkan oleh panel dan P_{in} adalah hasil pengukuran intensitas cahaya (Gambar 2) dikalikan dengan luas panel ($P_{in} = I_r \times A$)

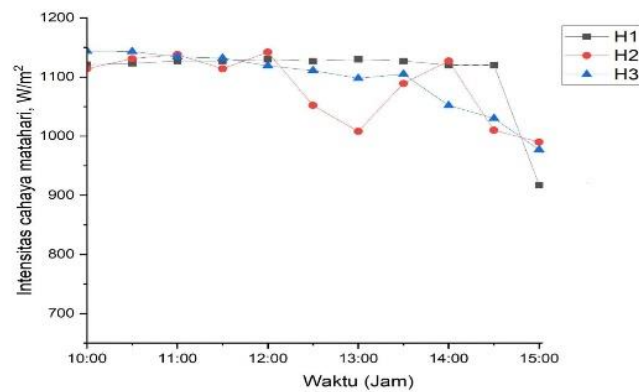
Sedangkan efisiensi sistem PLTS dihitung dengan persamaan berikut:

$$Efisiensi\ sistem = \frac{P_{s_out}}{P_{s_in}} \times 100\% \quad (9)$$

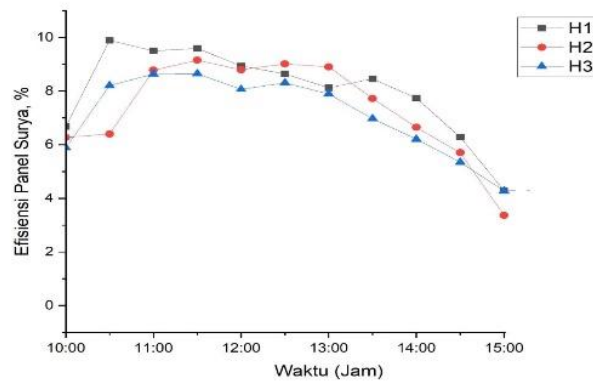
Total daya out sistem adalah daya heater + daya fan, sedangkan daya input sistem adalah daya yang dihasilkan oleh panel ($P_{s_in} = P_{out}$)

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan hasil analisis efisiensi panel dan efisiensi sistem PLTS. Hubungan antara efisiensi panel surya terhadap waktu. Pada hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke ke 3 menampilkan tren nilai persentase dari efisiensi panel surya. Pada hari ke 1 dari jam 10.00 pagi sampai jam 15.00 sore nilai persentase efisiensi panel tertinggi yaitu di angka 9,90% tepatnya pada jam 10.30 pagi, sedangkan nilai persentase efisiensi panel terendah pada hari ke 1 yaitu pada jam 15.00 di angka 4,28 %. Pada hari ke 2 dari jam 10.00 pagi sampai jam 15.00 sore nilai persentase efisiensi panel tertinggi yaitu di angka 9,16% tepatnya pada jam 11.30 pagi, sedangkan nilai persentase efisiensi panel terendah pada hari ke 2 yaitu pada jam 15.00 sore di angka 3,36% dan untuk pada hari ke 3 dari jam 10.00 pagi sampai jam 15.00 sore nilai persentase efisiensi panel tertinggi yaitu di angka 8,65% tepatnya pada jam 11.30 pagi, sedangkan nilai persentase efisiensi panel terendah pada hari ke 3 yaitu pada jam 15.00 sore di angka 4,28%.

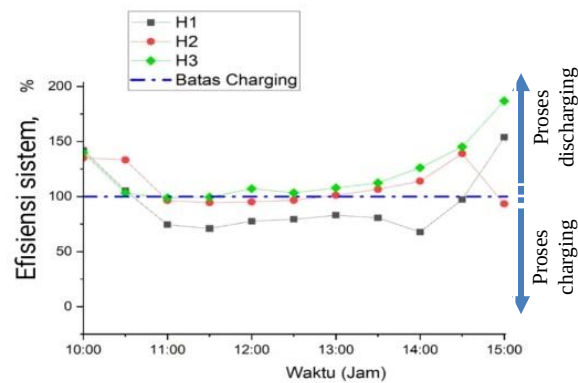
Hubungan efisiensi sistem terhadap waktu. Jika nilainya dibawah 100% maka akan terjadi proses *charging*, dan jika nilainya diatas 100% maka akan terjadi proses *discharging*. Pada Gambar 4 untuk hari ke 1 pada jam 10.00 pagi terjadi proses *discharging* dan kemudian dari jam 10.30 pagi sampai dengan jam 14.00 siang terjadi proses *charging* dimana daya yang dihasilkan lebih besar dari daya yang terpakai maka sisa daya yang dahasilkan tersebut akan diisi ke baterai. Pada jam 14.30 sampai dengan 15.00 kembali mengalami peningkatan persentase efisiensi sistem sehingga kembali terjadi proses *discharging*. Kemudian hari ke 2 dari jam 10.00 pagi sampai dengan jam 11.00 sore terjadi proses *discharging* dan pada jam 12.30 terjadi proses *charging*.



Gambar 2. Intensitas Cahaya.



Gambar 3. Efisiensi panel.



Gambar 4 Efisiensi sistem

Kemudian pada jam 13.00 sampai jam 14.30 mengalami peningkatan persentase efisiensi sistem sehingga terjadi kembali proses *discharging* dan pada jam 15.00 kembali mengalami penurunan sehingga terjadi proses *charging*. Sedangkan pada hari ke 3 efisiensi sistem hampir stabil diatas 100%, hanya menurun ke angka 98,91% pada jam 11.00 dan 99,53% pada jam 11.30. Gambar 4.5 menunjukkan trend dari efisiensi sistem dari hari ke 1 sampai ke hari ke 3 yang mengalami perubahan dari setiap waktunya ini terjadi karena pengaruh dari intensitas cahaya.

3.4 Efisiensi energi termal

Pada nilai efisiensi energi termal dipengaruhi oleh perpindahan panas (Q) yang terjadi pada baterai pasir. Jadi perlu mencari nilai Q terlebih dahulu agar mengetahui nilai efisiensi dari energi termal.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (10)$$

dimana m massa pasir dalam drum, C_p adalah kapasitas panas pasir dan ΔT adalah selisih temperatur pasir dalam drum dan temperatur lingkungan.

Sehingga efisiensi termal sistem adalah

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q}{P_{\text{heater}}} \times 100\% \quad (11)$$

Efisiensi energi termal mengalami perubahan nilai persentase efisiensinya. Perubahan ini terjadi karena adanya perubahan temperatur lingkungan dan daya yang dihasilkan pada elemen pemanas, dengan nilai efisiensi termal tertinggi 77,45% pada jam 14.00 dan efisiensi termal terendah 16,76% pada jam 10.30.

Dari hasil pengujian alat yang dilakukan selama tiga hari, dapat disimpulkan bahwa modul surya yang digunakan dalam penelitian ini mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk dikonversikan menjadi energi thermal. Pengujian meliputi modul panel surya, pengisian baterai, penggunaan beban dan pengukuran intensitas cahaya dilakukan setiap 30 menit pada solar power meter selama lima jam setiap hari mulai pukul 10.00 hingga 15.00. Data menunjukkan bahwa panel surya beroperasi secara efisien dalam kondisi lingkungan yang diuji, mampu mengoperasikan heater dan fan dan menghasilkan thermal pada baterai pasir sebagai penyimpanan sesuai dengan kebutuhan operasional yang ditetapkan.

Berdasarkan analisis data intensitas cahaya (W/m^2) selama tiga hari pengujian, dapat diketahui bahwa panel surya menerima intensitas cahaya yang bervariasi setiap hari dengan pola umum yang menunjukkan peningkatan dari pagi hingga siang hari dan penurunan pada sore hari. Pada Hari ke-1, intensitas tertinggi dicapai pada pukul 12.00 dan 13.00 (1130 W/m^2) dan terendah pada pukul 15.00 (917 W/m^2), menunjukkan fluktuasi yang signifikan. Hari ke-2 menunjukkan nilai intensitas tertinggi hingga puncak pukul 13.30 (1089 W/m^2) dan terendah pada pukul 15.00 (990 W/m^2). Hari ke-3 mencatat intensitas tertinggi pada pagi hari pukul 10.00 (1144 W/m^2) dan mengalami penurunan tajam setelah pukul 14.00. Secara keseluruhan, intensitas cahaya tertinggi pada pagi hari dicapai pada Hari ke-3, sedangkan intensitas tertinggi pada siang hari tercatat pada Hari ke-1 dan Hari ke-2. Penurunan drastis setelah pukul 14.00 pada Hari ke-3 menunjukkan bahwa kinerja panel surya dapat sangat dipengaruhi oleh perubahan intensitas cahaya, terutama pada sore hari.

Berdasarkan penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa waktu terbaik untuk Intensitas Cahaya yaitu pada jam 10.00 sampai jam 13.30. Penurunan Intensitas Semua hari menunjukkan penurunan intensitas setelah jam 14.00, dengan penurunan yang paling tajam pada Hari ke-3, dan pada hari ke 2 memiliki tren yang kurang stabil akibat perubahan cuaca. Sedangkan pada hari ke 1 mengalami yang terlihat sangat stabil.

Berdasarkan hasil pengujian efisiensi panel surya selama tiga hari, terlihat bahwa efisiensi tertinggi umumnya terjadi pada pagi dari jam 10.30 sampai jam 13.00 dimana nilai persentase 8 sampai 10 %, dengan puncak tertinggi tercatat pada Hari ke-1 jam 10.30 (9.90%), Hari ke-2 pukul 11.30 (9.16%), dan Hari ke-3 pukul 11.30 (8.65%). Efisiensi cenderung menurun setelah tengah hari, terutama setelah jam 13.00, dengan penurunan secara perlahan.

Berdasarkan analisa diatas dapat disimpulkan bahwa waktu terbaik untuk Efisiensi tertinggi dari grafik terlihat bahwa efisiensi panel cenderung lebih tinggi pada pagi hari hingga menjelang siang (10.00 - 11.00) dan mengalami penurunan efisiensi setelah jam 13.00. Variasi antar hari ke 1, hari ke 2 dan hari ke 3 menunjukkan terjadinya fluktuasi dari efisiensi panel menyebabkan banyak

perubahan nilai efisiensinya. Pada umumnya nilai efisiensi normal panel surya adalah 15% sedangkan dari data penelitian yang dilakukan selama 3 hari tidak mencapai angka normal yaitu 15%, hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor meliputi :

- Orientasi dan posisi panel surya harus diarahkan dengan optimal ke matahari untuk menghasilkan energi maksimum. Jika orientasi atau posisinya tidak ideal, efisiensinya menurun.
- Kondisi cuaca yang buruk seperti awan tebal atau hujan dapat mengurangi paparan sinar matahari yang diterima oleh panel
- Komponen lain dalam sistem seperti kabel juga dapat mempengaruhi efisiensi keseluruhan.

Dari hasil perhitungan efisiensi sistem selama tiga hari, terlihat bahwa efisiensi sistem cenderung lebih stabil pada pagi hingga awal siang hari. Pada Hari ke-1 efisiensi sistem kurang stabil dan terlampau sangat rendah yaitu dibawah angka 100% dimana apabila nilai efisiensi sistem dibawah angka 100% akan terjadi proses *charging*, hanya pada jam 10.00, 10.30 dan 15.00 yang mengalami peningkatan nilai persentase efisiensi sistem diatas 100%. Sedangkan pada Hari ke-2 tren terlihat sangat stabil namun hanya sedikit terjadi penurunan pada jam 11.00 sampai jam 12.30 menurun diangka 94-96% dimana pada saat itu terjadi proses *discharging* dan hari ke-3 tren menunjukan hampir sangat stabil diatas 100% hanya pada jam 11.00 (98,91%) dan jam 11.30 (99,53%) dimana pada saat itu terjadi proses *discharging*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan *prototype* ini dapat disimpulkan:

- Hasil perancangan *prototype* PLTS dengan kebutuhan energi total sebesar 4.010 Wh untuk menghidupkan heater 12 volt dengan daya 250 Watt selama 5 jam setiap harinya. Panel surya yang digunakan model *monocrystalline* dengan daya 200 WP sebanyak 8 buah panel surya yang dirangkai secara seri dua unit memiliki 2 buah panel surya yang disambung secara paralel untuk memperoleh sistem 12 Volt
- *Prototype* PLTS ini menggunakan jenis baterai VRLA dengan jumlah baterai 5 buah masing-masing memiliki arus sebesar 100 Ah dan tegangan sebesar 12 V yang dirangkai secara seri untuk memperoleh sistem 12 Volt
- Hasil pengujian alat selama tiga hari menunjukkan bahwa modul surya yang dikembangkan mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk menghidupkan heater. Pengujian meliputi modul panel surya, pengisian baterai, penggunaan beban, dan pengukuran intensitas cahaya selama lima jam setiap hari mulai pukul 10.00 hingga 15.00 WITA. Data menunjukkan bahwa panel surya beroperasi secara efisien dan mampu mengisi baterai serta menyediakan daya yang cukup untuk menghidupkan heater sebagai sumber energi termal yang memanaskan pasir dalam tong pasir atau cukup untuk mengisi energi panas pada baterai pasir. Efisiensi termal tertinggi 77,45% pada jam 14.00 dan efisiensi termal terendah 16,76% pada jam 10.30.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arfa, M., Nilawar, N., Misba, A., Dayyan, M., & Nadaf, M. A. (2008). Heat Storing Sand Battery. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3579, 3579–3583. www.irjet.net
- [2]. Aryza, S., Hermansyah, H., Siahaan, A. P. U., Suherman, S., & Lubis, Z. (2017). Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengereng Pupuk Petani Portabel. *It Journal Research and Development*, 2(1), 12–18. [https://doi.org/10.25299/itjrd.2017.vol2\(1\).642](https://doi.org/10.25299/itjrd.2017.vol2(1).642)
- [3]. Cara Menghitung Efisiensi Energi. (2022). Google. <https://galooli.com/blog/calculate-energy-efficiency/>

- [4]. Cara Menghitung Hambatan Suatu Penghantar. (2013). Google. <https://mafia.mafiaol.com/2013/04/cara-menghitung-hambatan-jenis-suatu.html>
- [5]. Darno, Yahnones M. Simanjutak, M. T. (2017). Studi Perencanaan Modul Praktikum Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTs). *Jurnal Untan*, 1(1), 1.
- [6]. Dilla, B., Widi, B., Wilyanti, S., Jaenul, A., Antono, Z. M., & Pangestu, A. (2022). Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik. *Jurnal Edukasi Elektro*, 6(2), 128–135. <https://doi.org/10.21831/jee.v6i2.53327>
- [7]. Dissertation, A., In, S., Fulfillment, P., The, O. F., The, F. O. R., Of, A., & Degree, T. H. E. (2023). MODELLING AND ANALYSIS OF SAND BATTERY SYSTEM. *M. Tech Thermal Engineering*.
- [8]. Golob, M. C. (2011). *Convective Heat Transfer Performance of Sand for Thermal Energy Storage*. August. https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/41061/golob_matthew_c_201108_mast.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [9]. Hariningrum, R. (2021). Analisa Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya 100 WP Terhadap Daya Listrik. *Marine Science and Technology Journal*, 1(2), 67–76. <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/maristec%0ACover>
- [10]. Hasrul, R. (2021). *Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif*. 5(2), 79–87.
- [11]. Hokione. (2024). Google. <https://www.hokione.id/blog/apa-itu-mcb-pada-listrik/>
- [12]. Kelebihan Dan Kekurangan Sistem PLTS On-Grid, Off-Grid Dan Hybrid. (2024). Kumparan.Com. <https://kumparan.com/solar-kita/kelebihan-dan-kekurangan-sistem-plts-on-grid-off-grid-dan-hybrid-20wWxDvrtGm/4>
- [13]. Kementrian ESDM. (2023). *Kapasitas Terpasang EBT Capai 12,7 GW, Ini Gerak Cepat Pemerintah Serap Potensi EBT*.
- [14]. Nasional Geographic. (2022). Google. <https://nationalgeographic.grid.id/read/133583140/baterai-pasir-raksasa-solusi-murah-untuk-simpan-energi-terbarukan?page=all>
- [15]. Niklin Furnace heating Element. (2023). Google.
- [16]. Panduan Utama Untuk Kabel & Kabel Panel Surya. (2023). Jackery. <https://www.jackery.com/blogs/knowledge/the-ultimate-guide-to-solar-panel-wires-cables>
- [17]. 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. <https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>
- [18]. Ramadhana, R. R., Iqbal, M. M., Hafid, A., & Adriani. (2022). Analisis Plts on Grid. *Jurnal Teknik Elektro UNISMUH*, 14(1), 12–25.
- [19]. Rangkaian seri dan paralel. (2024). Wikipedia. https://id.wikipedia.org/wiki/Rangkaian_seri_dan_paralel
- [20]. study.com. (2024). Google. <https://study.com/academy/lesson/wattmeter-definition-uses.html>
- [21]. Thermal efficiency. (2015). Energy Education. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal_efficiency
- [22]. *Thermal Energy Storage*. (n.d.). IEA-ETSAP and IRENA©.
- [23]. Umar, H. (2020). Penggunaan material berubah fasa sebagai penyimpan energi termal pada bangunan gedung. *Jurnal Polimesin.*, 18(2), 105–115.
- [24]. Universitas Pertamina. (2022). *Surganya Energi Listrik Tenaga Surya Ada di Timur*. Kumparan.