

Pengaruh Penambahan *Phasa Change Material* (PCM) Terhadap Sistem Penyimpanan Energi Termal Baterai Pasir

Yardesh Aoetpah^{1*}, Matheus M. Dwinanto², Verdy A. Koehuan³, Rima N. Selan⁴

¹⁻⁴⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: yardesaoetpahyarde@gmail.com

ABSTRAK

Keunggulan dari energi surya ini dibandingkan dengan sumber energy lain adalah ramah lingkungan dan mudah dalam proses konversi energinya. Namun energi matahari tidak selalu ada setiap harinya sehingga untuk penggunaan dalam waktu yang kontinu perlu adanya sistem penyimpanan yang efisien untuk dapat dimaksimalkan penggunaannya. Sistem penyimpanan energi termal melalui media pasir merupakan salah satu solusi penyimpanan energi yang sangat potensial untuk dikembangkan dalam pemenuhan kebutuhan energi. PCM adalah jenis penyimpan kalor laten yang telah dikembangkan sebagai material penyimpan energi termal yang baik. Tujuan penelitian untuk menganalisis efisiensi penyimpanan energy termal dalam media pasir yang dilengkapi dengan material *phase change material* (PCM) yang tersimpan dalam wadah drum sebagai baterai pasir. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan baterai pasir tanpa PCM cenderung rendah pada saat awal waktu pemanasan oleh elemen heater dan meningkat diakhir waktu pemanasan. Penggunaan PCM dimana saat PCM berubah fasa dari padat menjadi cair cenderung menyerap panas yang lebih tinggi dari media tanpa PCM sehingga efisiensi mengalami peningkatan dan cenderung stabil hingga proses pelepasan panas juga lebih lama dari media tanpa PCM. Sementara pada media tanpa PCM cenderung lebih lambat terjadi peningkatan efisiensi termal dan waktu untuk proses pelepasan panas yang lebih singkat dari media dengan PCM.

ABSTRACT

The advantages of solar energy compared to other energy sources are that it is environmentally friendly and easy to convert energy. However, solar energy is not always available every day, so for continuous use, an efficient storage system is needed to maximize its use. The thermal energy storage system through sand media is one of the energy storage solutions that has great potential to be developed to meet energy needs. PCM is a type of latent heat storage that has been developed as a good thermal energy storage material. The purpose of this study was to analyze the efficiency of thermal energy storage in sand media equipped with phase change material (PCM) stored in a drum container as a sand battery. The results of this study indicate that the use of sand batteries without PCM tends to be low at the beginning of the heating time by the heater element and increases at the end of the heating time. The use of PCM where the PCM changes phase from solid to liquid tends to absorb higher heat than media without PCM so that efficiency increases and tends to be stable until the heat release process is also longer than media without PCM. While in media without PCM, there tends to be a slower increase in thermal efficiency and a shorter time for the heat release process than media with PCM.

Keywords: Sand Battery, Energy Conversion, Thermal Energy, Phase Change Material, Renewable Energy

PENDAHULUAN

Meningkatnya biaya energi dan dampak buruk terhadap lingkungan yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil telah memicu penelitian ekstensif terhadap sumber energi alternatif (Hilda, 2023). Memanfaatkan energi matahari telah menjadi salah satu

pendekatan yang paling menarik. Namun, untuk mengembangkan sistem penyimpanan energi matahari yang efisien dan ekonomis adalah masalah besar. Pemanfaatan sumber daya energi terbarukan yang efektif bergantung pada penyimpanan energi yang tepat yang mengurangi ketidak sesuaian waktu antara pasokan dan permintaan energi.

Mampu menyimpan energi panas dalam jumlah besar untuk pembangkit listrik dan memperpanjang pengoperasian pembangkit listrik tenaga surya hingga sore dan malam hari dengan biaya yang relatif rendah, tenaga surya terkonsentrasi diharapkan dapat berkontribusi pada pasokan energi dunia secara signifikan dimasa depan (Gunoto, 2020).

Subjek teknis yang terkait dengan tenaga surya telah menarik para peneliti. Keunggulan dari energi surya ini dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya adalah tidak bersifat polutif, bersifat terbarukan dan tidak pernah habis.

Indonesia merupakan daerah tropis yang berada pada daerah khatulistiwa, Semua itu merupakan alasan utama dalam pengembangan dan pemanfaatan energi surya Kolektor surya tubular adalah kolektor surya berbentuk tabung.

Alat ini menggunakan tabung kaca sebagai cover yang berfungsi untuk mengurangi rugi panas secara konveksi menuju lingkungan (Maulana, 2024). PCM adalah jenis penyimpan kalor yang telah dikembangkan sebagai material penyimpanan panas pada sistem pemanasan, dimana paraffin wax merupakan salah satu PCM yang memiliki sifat antara lain densitas energinya cukup tinggi dan konduktivitas termalnya rendah, sifat termalnya stabil di bawah 500°C, tidak berbahaya dan tidak reaktif dan temperatur leleh beberapa produk paraffin wax bervariasi antara 8 sampai 106°C.

Salah satu penyimpan energi panas adalah material berubah fasa (PCM), pada siang hari panas yang diterima air dari radiasi surya diserap oleh PCM yang mengakibatkan PCM berubah fasa 2 sedangkan pada saat radiasi surya menurun karena cuaca mendung atau saat malam hari mengakibatkan temperatur air menurun, maka PCM akan melepaskan kembali panas ke air yang akan membuat temperatur air dapat dijaga konstan (Hanafi, 2017).

Penyimpanan panas bekerja berdasarkan penyerapan panas atau pelepasan ketika bahan penyimpanan mengalami perubahan fasa dari

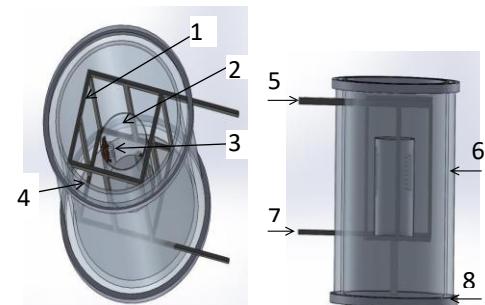
padat menjadi cair atau dari cair ke gas atau sebaliknya. Dalam sistem termokimia, energi yang diserap atau dilepaskan berlangsung selama proses perubahan molekul-molekul akibat reaksi kimia dan proses yang berlangsung secara keseluruhan (Turnip, 2019).

Dengan memanfaatkan energi surya sebagai energi alternatif menjadi energi panas melalui media heater, energi panas tersebut disimpan pada media PCM dalam beberapa waktu, penyimpanan panas melalui media PCM ini diharapkan mampu untuk disalurkan pada lemari pengering. berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti melakukan penelitian dengan judul “Studi Eksperimen Sistem Penyimpanan Energi Termal Baterai Pasir (Sand Battery) dengan Penambahan Phase Change Material (PCM)”.

METODE PENELITIAN

Model baterai pasir

Drum penyimpanan baterai pasir dengan penambahan PCM untuk energy thermal dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan Skema instalasi sirkuit pengkabelan panel surya dan heater dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

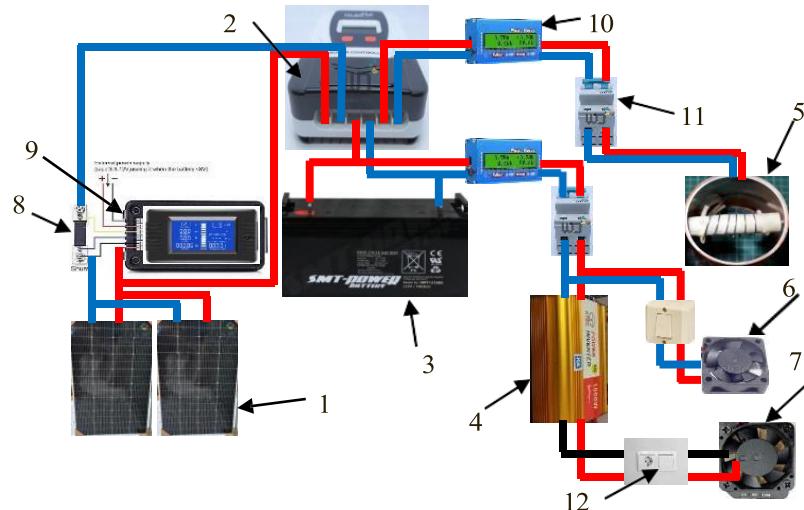


(a) tampak isometri (b) tampak depan

Gambar 1. Drum penyimpanan baterai pasir dengan penambahan PCM untuk energy thermal

Keterangan: 1.Rangka Pipa serkulasi, 2. Tabung Heater, 3.Heater dan PCM, 4.Drum dalam, 5.Pipa serkulasi masuk udara panas,

6.Drum luar, 7.Pipa serkulasi masuk udara panas, 8.Perekat Drum Luar



Gambar 2. Skema instalasi sirkuit pengkabelan panel surya dan heater

Keterangan : (1) Panel surya 2 x 200 WP, (2) Solarpanel charger (SCC – MPPT) 40 A, (3) Baterai VRLA 100Ah, (4) Inverter DC 12 volt – AC 220 Volt 1000W, (5) Heater DC12 Volt, (6) FanDC 12 Volt, (7) Fan AC 220 Volt, (8) shunt current, (9) Watt meter, (10) Watt meter, (11) MCBDC16 Ampere, (12) saklar.

Prosedur Penelitian

Untuk melihat kemampuan media pasir (pasir laut dan pasir takari) dengan penambahan *phasa change material* (PCM) dalam menyimpan energi termal (proses charging) dan melepas panas ke dalam lemari pengering (proses discharging), kemampuan disini berapa laju energi yang disimpan maupun yang dilepas dan waktunya berapa lama. Sehingga efisiensi adalah berapa perbandingan energi listrik yang diubah menjadi energi termal terhadap input dari panel surya pada proses charging di drum dan perbandingan antara energi yang digunakan untuk proses pengeringan di lemari pengering terhadap input energi masuk dari radiasi melalui dinding plastic ultraviolet dan dari pelepasan panas oleh drum pada proses discharging dengan penambahan PCM

Sedangkan Efektivitas yaitu suatu hasil dari proses dibandingkan dengan kondisi ideal, sedang efisiensi itu perbandingan

sesuatu proses dari output terhadap inputnya. Misalkan melihat efektivitas pada prosesnya, temperatur dalam drum harusnya 300 derajat, ternyata hanya 150 derajat, berarti ada sesuatu yang salah perlu diperbaiki.

Tahap Perakitan

- Pemasangan 2 Panel Surya dirangkai secara paralel
- Disambungkan ke Solar control Charge (SCC)
- Pemasangan Aki dan disambungan ke Solar control Charge (SCC)
- Load Solarcontrol Charge (SCC) disambungkan ke kawat niklin (Heater)
- Baterai dari Solarcontrol Charge (SCC) disambungkan ke Fan DC
- Selesai

Tahap Pengujian

- Pengukuran temperatur (Tl) dan kelembapan lingkungan (Hl)

- Jika temperatur lingkungan mencapai 40°C maka pengambilan data kadar air dan tegangan dapat dilakukan.
- Pengukuran temperatur dan kelembapan disetiap rak menggunakan eliect durasi 5 menit.
- Pengukuran temperature pada drum dan pasir menggunakan termokopeltipe- K dengan model max 6675 (durasi 2s).
- Deskripsi Kompone Penelitian
- Perancangan sistem untuk penyimpanan energi thermal pada baterai pasir ini dilakukan untuk memaksimalkan energi listrik menjadi energi thermal. Membahas bagaimana cara proses pemanfaatan sinar matahari agar dapat menghasilkan energi listrik sehingga dapat dimanfaatkan energi surya menjadi energi thermal.

Komponen Baterai Pasir

Perancangan alat dilakukan sebagai tempat/wadah penyimpanan energi thermal berupa media pasir untuk penyimpanan energi kalor. Hasil perancangan alat ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut.



Gambar 3. Alat penelitian sebagai wadah penyimpanan energi thermal

Alat ini didukung dengan penambahan *Phase change material* (PCM). Dimana PCM ini mampu menyimpan energi dalam bentuk kalor dengan kapasitas lebih besar dibandingkan dengan material lainnya seperti air, batu, logam, dan lainnya. Sebagai contoh jika sebelum beban puncak energi panas disimpan oleh PCM sedangkan pada saat beban puncak PCM ini mengeluarkan energi

panas untuk disalurkan pada alat pengering. Media PCM yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut :



Gambar 4. Media Phase change material (PCM)

Komponen PLTS

Salah satu penggunaan daya energi alternatif yaitu penggunaan energi surya surya. Energi surya adalah energi yang dihasilkan dari sinar matahari atau radiasi matahari perkembangan sekarang banyak yang memanfaatkan energi surya, yaitu sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), pemanas air dan lain sebagainya. Untuk mendukung upaya pemanfaatan energi dan mengurangi efek rumah kaca, penelitian ini memanfaatkan energi surya untuk memanaskan elemen pemanas berupa heater yang ada pada baterai pasir. 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). Peneliti menggunakan alat berupa Panel Surya 2 x 200 WP, Solar Charger Controller (SCC-MPTT) 40 A, Baterai VRLA 100 Ah, Heater DC 200 Watt 12 V.

Untuk mengatur arus listrik searah yang dihasilkan dan menghindari masalah seperti overcharge dan overvoltage, digunakan Solar Charger Controller (SCC). SCC memiliki beberapa input dan output yang terhubung dengan panel surya, baterai, Heater DC. Arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya dialirkkan ke SCC untuk mengisi baterai. Pada kondisi cuaca yang sangat gelap atau malam

hari, baterai tidak dapat diisi ulang oleh panel surya. Namun, dalam kondisi tersebut, terdapat kemungkinan aliran listrik dari baterai ke panel surya. SCC membantu mengontrol aliran listrik ini untuk menjaga kinerja baterai.

Setelah baterai terisi, arus listrik yang tersimpan dapat dialirkkan ke beban, yakni Heater DC. Solar charger akan mengontrol aliran listrik ini. Jika baterai dalam kondisi yang lemah atau tegangannya terlalu rendah, solar charger akan menghentikan aliran listrik ke beban. Hal ini dilakukan untuk mencegah kerusakan pada baterai akibat tegangan yang terlalu rendah. Dengan adanya panel surya dan SCC, energi matahari dapat dimanfaatkan secara efisien untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk mengoperasikan alat-alat yang menggunakan arus listrik searah (DC). Untuk lebih jelasnya mengenai skema perangkaian komponen PLTS pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

Heater DC

Heater Dc ini digunakan sebagai elemen panas dari sumber energi surya yang tersimpan pada ruang penyimpanan energi thermal. Kalor panas yang keluar ini disimpan pada media pasir dengan penambahan PCM sebagai sumber panas untuk ditransfer ke lemari pengering. Elemen pemanas berupa Heater Dc ini dapat dilihat pada Gambar 5 Sebagai berikut.



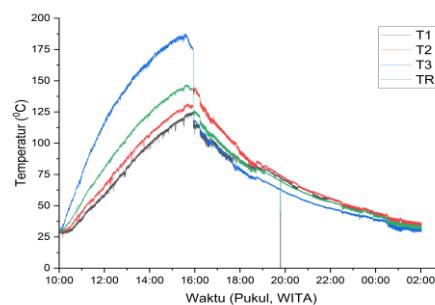
Gambar 5. Elemen Pemanas Heater

HASIL DAN PEMBAHASAN

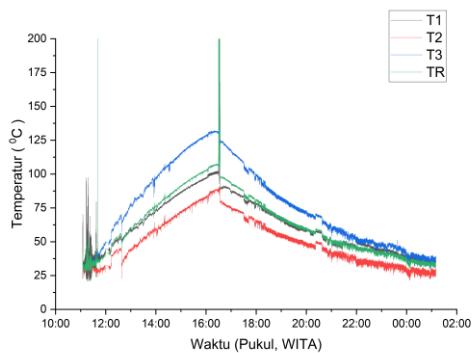
Hasil Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan pengujian dengan data Intensitas cahaya matahari (W/m^2) serta besar daya (Watt) pada panel surya dan heater DC yang digunakan. Pengambilan data dilakukan selama 5 jam dimulai pukul 10.00 sampai dengan 15.00 wita setiap 30 menit hasil pengujian ini adalah sebagai berikut.

Temperatur dalam tabung di ukur pada tiga titik yang berbeda (dasar tabung, tengah tabung, dan permukaan dalam tabung) menggunakan sensor termokopel tipe C dan modul MAX6675 yang terhubung ke ARDUINO MEGA. Data dari arduino di simpan dalam format file TXT menggunakan aplikasi COOLTERM dengan durasi 2 detik dari pukul 10.00 – selesai. Pengujian pertama dilakukan pada baterai pasir melalui penambahan media PCM pada drum penyimpanan kalor, temperatur dalam drum baterai pasir yang diukur dengan menggunakan termokopel tipe K dengan menempatkan tiga buah sensor pada masing-masing posisi secara vertikal dari letak heater yaitu atas (T1), bawah (T2) dan tengah (T3) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Temperatur dalam drum pasir masing-masing pada posisi secara vertikal dari letak heater yaitu atas (T1), bawah (T2) dan tengah (T3) dengan penambahan PCM



Gambar 7. Temperatur dalam drum pasir masing-masing pada posisi secara vertikal dari letak heater yaitu atas (T1), bawah (T2) dan tengah (T3) dengan tampa PCM.

Pengujian kedua dilakukan pada baterai pasir tanpa penambahan media PCM pada drum penyimpanan kalor, temperatur dalam drum baterai pasir yang diukur dengan menggunakan termokopel tipe K dengan menempatkan tiga buah sensor pada masing-masing posisi secara vertikal dari letak heater yaitu atas (T1), bawah (T2) dan tengah (T3) dapat dilihat pada Gambar 7.

Intensitas cahaya sangat mempengaruhi daya akan dihasilkan panel surya. Oleh karena itu, pada penelitian ini besarnya intensitas cahaya perlu diketahui. Nilai intensitas cahaya diukur oleh peneliti menggunakan alat ukur solar power meter. Sehingga, nilai pada Tabel dibawah ini adalah nilai hasil pengukuran peneliti untuk mengetahui nilai intensitas cahaya. Pada jam 10.00 pagi terjadi pengukuran intensitas cahaya menggunakan alat ukur Solar Power Meter mendapatkan nilai ukur 1000 W/m^2 dengan total pengukuran sebanyak 1 kali, dan perubahan hasil pengukuran intensitas cahaya pada jam berikutnya ada pada Tabel 1.

Daya output panel surya diukur menggunakan watt meter DC dari pukul 10.00 – 15.00 WITA pada setiap 30 menit. Tabel 2 berikut menampilkan hasil pengukuran konsumsi daya pada heater.

Tabel 1. Hasil pengukuran intensitas cahaya

Intensitas Cahaya (W/m^2)	Tanpa PCM		Dengan PCM	
	Waktu (per 30 menit)	Intensitas Cahaya (W/m^2)	Waktu (per 30 menit)	Intensitas Cahaya (W/m^2)
904.2	0	1115	0	
869.7	30	938.9	30	
1069	60	1068	60	
956.9	90	1098	90	
1109	120	1098	120	
1083	150	954.6	150	
1081	180	1069	180	
1083	210	956.9	210	
1003	240	1109	240	
1009	270	1083	270	
695.4	300	956.9	300	

Table 2. Hasil pengukuran daya heater

jam	Tanpa PCM		Dengan PCM	
	Panel, W	Heater, W	Panel, W	Heater, W
	W _P	W _H	W _P	W _H
0	216.84	117.60	184.87	127.39
30	202.50	110.30	243.10	110.70
60	221.94	123.76	219.96	108.89
90	217.36	117.10	208.68	120.47
120	222.60	113.72	216.08	112.32
150	211.50	108.49	207.32	105.64
180	209.89	104.15	205.90	104.02
210	204.40	104.80	193.05	101.87
240	184.80	105.77	126.07	103.10
270	134.19	107.74	111.92	101.19
300	82.73	96.72	85.89	96.07

Hasil Analisis Data

Pada nilai efisiensi energi termal dipengaruhi oleh perpindahan panas (Q) yang terjadi pada baterai pasir meliputi kalor sensibel akibat kenaikan suhu baterai pasir akibat adanya penyerapan panas dan proses perubahan fasa padat menjadi cair paraffin atau PCM melalui kalor laten. Jadi perlu mencari nilai Q terlebih dahulu agar mengetahui nilai efisiensi dari energi termal. Kalor sensibel (kalor untuk menaikkan temperatur media pasir) dihitung dengan persamaan:

$$Q_1 = m C_p \Delta t$$

Dimana :

$$m = 31,2852 \text{ kg}$$

$$C_p = 1300 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

Sebagai contoh perhitungan efisiensi termal diambil pada data pada pasir halus di jam 10.00 pagi. Dimana massa pasir dalam tabung dengan nilai kapasitas panas jenis pasir $C_p = 1300 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$.

Jadi, $Q_1 = 31,2852 \text{ kg} \times 1300 \text{ J} / (38,00 - 33,80)$

$$Q_1 = 170.817,19 \text{ J} [1 \text{ joule} = 1 \text{ watt-detik}]$$

Maka :

$$P_{\text{termal}} = \frac{Q_1}{t}, t = 1 \text{ jam}$$

$$P_{\text{termal}} = \frac{170.817,19}{3.600 \text{ detik}}$$

$$P_{\text{termal}} = 47,44 \text{ joule/detik}$$

Kalor latent (Kalor yang digunakan untuk mengubah phasa PCM dari padat menjadi cair) dihitung dengan persamaan:

$$Q_2 = m \cdot h_l$$

Dimana :

$$m = 2 \text{ kg} (\text{massa PCM})$$

$$h_l = 140,6 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_2 = 2 \text{ kg} \times 140,6 \text{ kJ/kg}$$

$$= 281,2 \text{ kJ} \text{ atau } 281200 \text{ J}$$

Maka :

$$P_{\text{termal}} = \frac{Q_2}{t}, \text{ dimana } t = 1 \text{ jam}$$

$$P_{\text{termal}} = \frac{281200 \text{ J}}{3.600 \text{ detik}}$$

$$P_{\text{termal}} = 78,11 \text{ joule/detik}$$

Jadi total kalor yang diserap oleh baterai pasir adalah

$$P_{\text{termal}} = P_{\text{termal 1}} + P_{\text{termal 2}}$$

$$P_{\text{termal}} = 47,44 \text{ J/s} + 78,11 \text{ J/s}$$

$$P_{\text{termal}} = 125,56 \text{ J/detik} \text{ atau } 125,56 \text{ W}$$

Pada Tabel 3 di bawah ini menampilkan hasil dari efisiensi termal pada baterai pasir. Hasil efisiensi termal yang didapatkan pada Tabel ini menggunakan rumus (*Thermal Efficiency*, 2015)

$$\text{Efisiensi Thermal} = \frac{P_{\text{termal}}}{I_r \times A}$$

Dimana :

$$P_{\text{termal}} = 125,56 \text{ W}$$

$$I_r \times A = 1.069 \text{ W/m}^2 \times 1,9608 \text{ m}^2$$

Dimana sebagai contoh perhitungan diambil data pada jam 11.00

$$\text{Efisiensi Therma} = \frac{125,56 \text{ W}}{1.069 \text{ W/m}^2 \times 1,9608 \text{ m}^2} \times 100\% = 5,99\%$$

Jadi efisiensi thermal sistem pada jam 10.00 sebesar 5,99% dan perubahan efisiensi sistem pada jam berikutnya ada pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 3 Efisiensi termal sistem baterai pasir tanpa PCM

Waktu (Menit)	$T_R (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_i (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$Q(\text{J})$	$Q(\text{J/s})$	$P (\text{W})$	EF
0	38,0	33,8	170817,2	47,44922	2096,10	5,99%
30	42,3	38,0	172850,7	48,01409167	2174,53	5,80%
60	63,4	42,3	860864,4	239,1290056	2119,62	14,97%
90	79,2	63,4	640564,5	177,934575	1966,68	13,02%
120	93,9	79,2	599893,7	166,6371417	1363,54	17,95%

Tabel 4. Efisiensi termal sistem pasir kasar

Waktu (Menit)	$T_R (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_i (\text{ }^{\circ}\text{C})$	$Q(\text{J})$	$Q(\text{J/s})$	$P (\text{W})$	EF
0	53,1	33,3	804603,2	223,5009	2094,13	14,40%
30	80,3	53,1	1104889	306,9136	2152,96	17,88%
60	104,2	80,3	972709	270,1969	2096,10	16,62%
90	122,8	104,2	759187,5	210,8854	2174,53	13,29%
120	139,3	122,8	671067,5	186,4077	1876,29	14,10%

Dari data Tabel 3 dan Tabel 4 diatas didapatkan bahwa efisiensi energi termal mengalami perubahan nilai persentase efisensinya. Perubahan ini terjadi karena adanya perubahan penyerapan energi termal pada baterai pasir pada media tanpa PCM maupun tanpa PCM. Nilai efisiensi termal tertinggi 17,95% pada jam 15.00 WITA dan efisiensi termal terendah 5,80% pada jam 12.00 WITA dengan media tanpa PCM. Sedangkan media dengan PCM, nilai efisiensi termal tertinggi 17,88% pada jam 12.00 WITA dan efisiensi termal terendah 13,29% pada jam 14.00 WITA.

PEMBAHASAN

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 fluktiasi 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

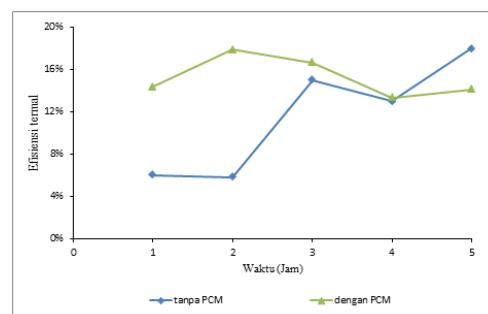
Penggunaan Energi

Dari hasil pengukuran kebutuhan energi terlihat bahwa penggunaan energi cenderung lebih stabil pada pagi hingga awal siang hari. Pada Hari ke-1 penggunaan kurang stabil dan terlambat sangat rendah yaitu dibawah angka 100% dimana apabila penggunaan energi dibawah angka 100% berarti pada saat itu terjadi proses charging hanya pada jam 10.00, 10.30 dan 15.00 yang mengakibatkan peningkatan nilai persentase rasio 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%. Perubahan tren dari grafik rasio penggunaan energi ini tidak terlepas dari pengaruh perubahan cuaca. Apabila intensitas menurun dan daya yang dihasilkan lebih kecil dari daya yang dibutuhkan beban maka akan terjadi perubahan rasio penggunaan energi sangat signifikan besar, sebaliknya apabila terjadi peningkatan nilai intensitas cahaya yang menghasilkan daya yang lebih besar dari daya yang dibutuhkan beban maka nilai persentase rasio penggunaan energi akan menurun.

Pengaruh Penambahan Media PCM

Hasil analisis efisiensi energi termal baterai pasir dengan penggunaan PCM menunjukkan pada waktu awal penyerapan energi termal yang cukup tinggi dibandingkan dengan tanpa PCM. Hal ini juga diperlihatkan pada distribusi temperatur saat waktu mulai pukul 12.00 WITA terjadi peningkatan yang cukup tinggi. Sebaliknya pada penggunaan

baterai pasir tanpa PCM cenderung rendah pada saat awal waktu pemanasan oleh elemen heater, dan meningkat diakhir waktu pemanasan. Hal ini dapat dijelaskan saat awal pemanasan ketika temperatur dalam baterai pasir di atas 55°C dimana PCM mulai berubah fasa dari padat menjadi cair cenderung menyerap panas yang lebih tinggi sehingga efisiensi mengalami peningkatan dan cenderung stabil hingga proses pelepasan panas juga lebih lama dari media tanpa PCM. Sementara pada media tanpa PCM cenderung lebih lambat terjadi peningkatan efisiensi termal dan waktu untuk proses pelepasan panas yang lebih singkat dari media dengan PCM. Hal ini karena pada media tanpa PCM tidak terdapat cukup energi kalor untuk mempertahankan penyimpanan energi termal jika dibandingkan dengan media baterai pasir dengan penambahan PCM. Hasil analisis efisiensi termal selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Efisiensi termal baterai pasir dengan media PCM dan tanpa PCM

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan baterai pasir tanpa PCM cenderung rendah pada saat awal waktu pemanasan oleh elemen heater dan meningkat diakhir waktu pemanasan. Penggunaan PCM dimana saat PCM berubah fasa dari padat menjadi cair cenderung menyerap panas yang lebih tinggi dari media tanpa PCM sehingga efisiensi mengalami peningkatan dan cenderung stabil hingga proses pelepasan panas juga lebih lama dari

media tanpa PCM. Sementara pada media tanpa PCM cenderung lebih lambat terjadi peningkatan efisiensi termal dan waktu untuk proses pelepasan panas yang lebih singkat dari media dengan PCM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adi Winarta, M Amin, N Putra Aplikasi PCM Bees Wax sebadai penyimpanan energy termal pada pemanas udara dosmetik. *Jurnal Energi dan manufaktur* vol 8 (2), 111-230, 2015
- [2]. Amin, M., & Putra, N. (2016). Karakterisasi Phase Change Material (PCM) Lokal Indonesia. In Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XV 2016 (No. 15, pp. 539-545).
- [3]. Asfari, S. (2019). Preparasi dan Karaterisasi Nanopartikel Zink Pektinat Mengandung Diltiazem Hidroklorida dengan Metode Gelasi Ionik.
- [4]. Aswata, K., Tista, S. P. G. G., & Saputra, I. W. H. (2016). Analisa Performansi Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Media Penyimpan Panas Pasir Untuk Pemanas Udara. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 10(1), 43-50. Dalam <http://www.vapeku.net/2016/11/apa-itu-kawat-kantal.html>)
- [5]. Fazno, (2013). Characterization Of Selected Phase-Change Materials For A Proposed Use In Building Applications. *Materiali in tehnologije*, 47(2), 185-188.
- [6]. Gunoto, P., & Sofyan, S. (2020). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selasar Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan. *Sigma Teknika*, 3(2), 96-106.
- [7]. Hanafi, R., Siregar, K., & Nurba, D. (2017). Modifikasi dan uji kinerja alat pengering energi surya-hybrid tipe rak untuk pengeringan ikan teri. *Rona Teknik Pertanian*, 10(1), 10-20.
- [8]. Hilda, L., Lubis, R., Syafiruddin, S. T., Nada, L. S., & Arafa, G. R. (2023). Renewable Energy: Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar. Samudra Biru.
- [9]. Ketut Astawa, dkk., " Analisis Performansi Destilasi Air Laut Tenaga Surya Menggunakan Penyerap Radiasi Surya Tipe Bergelombang Berbahan Dasar Beton" *Jurnal Ilmia Teknik Mesin CkraM*, V. 5,n.1, pp. 7-13, April 2011.
- [10]. M.B. Inarkar and.S. Lele, "XExtraction and Characterization of Sugarcane Peel Wax," ISRN Agronomi, vol. 2012, 2012.
- [11]. Maulana, F. K. (2024). Analisis Potensi Panel Surya Dengan Digital Surface Model (DSM) Hasil UAV Fixed Wing (Studi Kasus: Desa Banturejo, Kabupaten Malang) (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [12]. Meriadi, M., Meliala, S., & Muhammad, M. (2018). Perencanaan Dan Pembuatan Alat Pengering Biji Coklat Dengan Wadah Putar Menggunakan Pemanas Listrik. *Jurnal Energi Elektrik*, 7(2), 47-53.
- [13]. Milan Ostry, Vincenc Butala. 2013. PCM Penyimpanan energy panas dalam pemanas matahari pada ventilasi udara-investigasi eksperimental dan numerik, Kota Berkelanjutan dan Masyarakat, Volume 37, 2018, Halaman 104-115, ISSN 2210
- [14]. Ramnanan-Singh, R. (2021). Formulation & Thermophysical Analysis of a Beeswax Microemulsion & The Experimental Calculation of its Heat Transfer Coefficient.

- [15]. Rifan, M., Pramono, S. H., Shidiq, M., Yuwono, R., Suyono, H., & Suhartati, F. (2018). Optimasi pemanfaatan energi listrik tenaga matahari di Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. *Jurnal EECCIS*, 6(1), 44-48.
- [16]. Royen, Abi. 2014. "Tabel AWG". Https://ABI-BLOG.COM/2014/03/01/Tabel_awg/diakses 24 september 2017 pukul 19.35 WIB.
- [17]. Setiyono, Budi. 2016. Jenia-jenis Kawat Koil. Online.
- [18]. Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 124-132.
- [19]. Turnip, C. C. (2019). Karakteristik Perpindahan Panas di Ventilasi Berisi Material Berubah Fasa untuk Aplikasi Ruangan Sejuk pada Proses Pembekuan.
- [20]. V. G. Bhatt, Kuldip; Mishra, Arunabh, "Termal Energy Storage Capacity Of Some Phase Changing Materials and Ionic Liquids," *International Journal Of ChemTech Research*, vol.2, p.1771,2010.
- [21]. Winarta, A., Amin, M., & Putra, N. (2015). Aplikasi PCM Bees Wax sebagai teknologi penyimpan energi (thermal energy storage) pada pemanas air domestik. *Jurnal Energi dan Manufaktur* Vol, 8(2), 111-230.
- [22]. Yunus pebriyanto, Neny Kurniawati, Made Dirgantara, Dita Monita, Marselinus Pardana5. (2023), " Penerapan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Budidaya Sistem Hidroponik Di Farm Palangka Raya " *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* Vol.2, No.8 Januari 2023.