

Uji Eksperimental Efisiensi Panas Alat Pengering Surya dengan Menambahkan Batu Koral Sebagai Material *Sensible Heat Storage*

Kemas Muhammad Abdul Fatah^{1*}, Ibnu Azis²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai

^{1, 2}Jln. Imam Bonjol No.486 Langkapura Bandar Lampung, Lampung, 35118, Indonesia

E-mail: kmsmafattah@gmail.com¹, ibnuazis050500@gmail.com²

Info Naskah:

Naskah masuk: 28 Nopember 2023

Direvisi: 23 Desember 2023

Diterima: 24 Desember 2023

Abstrak

Sumber energi terbarukan yang berasal dari surya merupakan sumber energi paling ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi apapun. Pemanfaatan energi surya dapat berupa alat pengering surya langsung pasif untuk pengawetan hasil pertanian dan perikanan. Energi surya memiliki keterbatasan yaitu intensitas radiasi surya yang selalu berubah, sehingga perlu menambahkan material *Sensible heat storage* (SHS) untuk meningkatkan efisiensi panas. Batu koral adalah material SHS yang ketersediaannya berlimpah dengan warna yang bervariasi, cocok untuk alat pengering surya dengan kebutuhan temperatur rendah. Penelitian ditujukan untuk mengetahui kondisi temperatur dan efisiensi panas melalui uji eksperimental sebanyak 3 kali, terdiri dari 2 kali dengan material SHS, masing-masing adalah batu koral putih dan koral hitam, dan 1 kali tanpa material SHS. Hasil uji eksperimen menemukan bahwa temperatur ruang pengering lebih stabil dengan penambahan material SHS, dan efisiensi panas tertinggi diperoleh dari batu koral hitam yaitu adalah 49% dan batu koral putih sebesar 40%.

Keywords:

pebble stone;
sensible heat storage;
solar dryer;
thermal efficiency

Abstract

Renewable energy sources originating from solar are the most environmentally friendly energy because they do not cause any pollution. The utilization of solar energy can be in the form of a direct passive solar dryer for preserving agricultural and fishery products. Solar energy has limitations related to intermittent solar irradiation, so it is necessary to add Sensible Heat Storage (SHS) material to increase thermal efficiency. Pebble stones are an SHS material that is abundantly available in a variety of colors, and suitable for solar dryers with low-temperature requirements. The study aimed to find temperature conditions and thermal efficiency through experimental tests three times, twice with SHS material, respectively white and black pebble stones, and once without SHS material. The experimental test results found that the temperature of the drying chamber was more stable with the addition of SHS material, and the highest thermal efficiency was obtained from black pebble stones, namely 49%, and white pebble stones, 40%.

***Penulis korespondensi:**

Kemas Muhammad Abdul Fatah

E-mail: kmsmafattah@gmail.com

1. Pendahuluan

Energi *fossil* sebagai energi utama dunia semakin menyusut seiring dengan peningkatan konsumsi bahan bakar. Sehingga pemanfaatan sumber energi alternatif, khususnya sumber energi terbarukan menjadi pilihan untuk menghemat energi fossil. Sumber energi terbarukan dapat berasal dari angin, air, panas surya, gelombang samudera, dan *biogas* [1]. Dari beberapa sumber energi terbarukan yang ada, panas surya merupakan sumber energi yang paling ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi apapun [2] dan ketersediaannya berlimpah. Di Indonesia, ketersediaan energi surya adalah sepanjang tahun [3] dengan intensitas radiasi rata-rata 4,80 kWh/m²/hari [4], sehingga berpotensi menjadi sumber energi andalan [5].

Pemanfaatan energi surya dapat berupa pembangkit energi listrik atau dalam bentuk energi panas, di mana energi panas dimanfaatkan untuk menaikkan temperatur air atau udara [6]. Salah satu bentuk pemanfaatan energi surya untuk menaikkan temperatur udara adalah alat pengering surya yang diaplikasikan untuk berbagai tujuan, diantaranya adalah untuk pengawetan produk hasil pertanian dan pengawetan hasil perikanan.

Terdapat beberapa tipe alat pengering dengan bentuk konstruksi yang berbeda. Alat pengering langsung pasif adalah dengan konstruksi yang paling sederhana dan tidak membutuhkan energi listrik [3], sangat cocok untuk petani kecil di daerah pedalaman atau untuk nelayan yang jauh dari sumber energi listrik. Sehingga, untuk meningkatkan pemanfaatan energi surya melalui alat pengering langsung pasif bagi petani dan nelayan, perlu dilakukan riset-riset untuk meningkatkan kinerja alat pengering langsung pasif.

Sumber energi surya memiliki keterbatasan yaitu intensitas radiasi surya yang selalu berubah, kadang tinggi kadang rendah. Sehingga untuk mengatasi keterbatasan ini, dibutuhkan *thermal energy storage* (TES) [7]. TES adalah teknologi untuk menyimpan energi melalui pemanasan atau pendinginan media penyimpanan energi, dan energi yang tersimpan tersebut akan digunakan saat dibutuhkan [1].

Terdapat tiga tipe TES, masing-masing adalah *sensible heat storage* (SHS), *latent heat storage* (LHS), dan *thermochemical heat storage* [8], [9]. Masing-masing memiliki kelemahan dan keunggulan, namun TES tipe SHS adalah metode yang paling sederhana, dimana hanya memanaskan dan mendinginkan material SHS. Material SHS dapat berwujud padat atau cair [1]. Cara kerja TES tipe SHS adalah material SHS menyerap panas dari lingkungan sehingga terjadi peningkatan temperatur (*charge*) dan melepaskannya ketika terjadi penurunan temperatur lingkungan (*discharge*). Penggunaan SHS bisa dilakukan secara berulang tanpa harus mengganti dengan yang baru, sehingga penggunaan SHS bisa mengurangi biaya operasional.

Material SHS berwujud padat seperti Aluminium 99,99%, *Copper (commercial)*, *Iron*, *Lead Brick (dray)*, *Concrete (aggregates)*, *Granite*, *Graphite*, *Limestone*, *Sandstone*, *Slag*, *Sodium chloride*, *Soil (clay)*, *Soil (gravelly)*. Material SHS berwujud cair seperti *Water*, *Silicone oil (AK250)*, *Transformer oil*, *Molten salt (K-NaNO₃)*, *Paraffin (liquid)*, *Sodium*. Dari beberapa pilihan material SHS, material alam berupa batu adalah material

yang paling murah dan dalam jumlah yang berlimpah [10], serta teknologinya sederhana dan berbiaya murah [11].

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan penggunaan batu sebagai material SHS dengan berbagai hasil. Menggunakan batu split sebagai material SHS mampu meningkatkan efisiensi panas alat pengering surya menjadi 28,4 %, sedangkan tanpa menggunakan SHS sebesar 26,1% [12]. Penggunaan batu mampu menstabilkan temperatur aliran udara ketika terjadi fluktuasi intensitas radiasi matahari [13]. Penggunaan batu serpih sebagai material SHS pada kolektor surya dapat meningkatkan kinerja kolektor sebesar 3,92 % pada ruang kolektor surya, dan sebesar 4,63 % pada saluran keluar kolektor surya [14].

Terdapat berbagai jenis batu, diantaranya adalah jenis batu koral. Batu koral termasuk jenis batuan sedimen dan biasa digunakan untuk material bangunan [15]. Batu koral mudah di dapat dan ketersediaannya berlimpah, dengan warna yang bervariasi (putih, abu-abu, hitam, merah, coklat, dan hijau) [16], sehingga berpotensi sebagai material SHS yang murah.

Material batu koral cocok untuk alat pengering surya dengan kebutuhan temperatur rendah [10]. Hasil penelitian menemukan bahwa penggunaan batu koral sebagai material SHS mampu meningkatkan efisiensi panas sampai 11,8% pada alat pengering daging unta [17], mampu meningkatkan efisiensi eksergi secara signifikan, antara 54,71% dan 68,37% [18]. Namun demikian, jika dibandingkan dengan *calcium stones* dan *granite gravel*, penyerapan energi panas *calcium stones* dan *granite gravel* lebih baik dari batu koral [19]. Temuan hasil penelitian yang lain adalah penggunaan batu koral sebagai material SHS lebih rendah biayanya dibandingkan dengan parafin sebagai material PCM [20], bahkan lebih murah dari material limbah kaleng aluminium [21]. Berdasarkan hasil temuan dari beberapa penelitian ini, batu koral tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi, juga berbiaya murah.

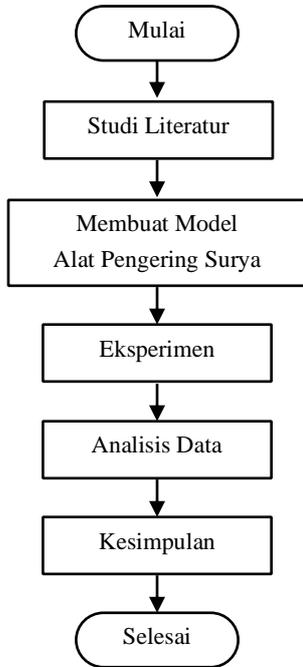
Berbeda dengan penelitian yang telah dipaparkan di atas, di mana masing-masing menggunakan material TES yang tidak sama, seperti batu koral dan paraffin [20], atau batu koral dengan kaleng aluminium bekas [21], atau batu koral dengan *calcium stones* dan *granite gravel* [19], penelitian ini menggunakan material SHS yang sama yaitu batu koral tetapi dengan warna yang berbeda. Adapun tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui perbedaan kondisi temperatur ruang pengering dan efisiensi panas melalui uji eksperimental pada alat pengering surya pasif dengan menambahkan batu koral yang berbeda warna sebagai material SHS.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode uji eksperimental. Alur pengerjaan secara terstruktur mulai dari studi literatur sampai pada tahap membuat kesimpulan, dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1. Pada tahapan studi literatur ditujukan untuk mencari ide dari penelitian sebelumnya, khususnya terkait dengan material SHT.

Untuk pembuatan model alat yang digunakan, penelitian ini menggunakan model alat pengering surya langsung pasif berukuran 100 x 60 x 80 cm dengan material *acrylic* 3.0 mm sebagai material penutup transparan, seperti

yang terlihat pada Gambar 2. Pintu dibuat model vertikal (*vertical lift door*) untuk meminimalkan *heat loss* karena pintu model ini mampu mengurangi jumlah infiltrasi udara selama proses pembukaan dan penutupan pintu [22]. Untuk mendapatkan efisien panas yang tinggi, dinding ruang pengering bagian dalam dibuat dari aluminium yang dicat hitam dan diisolasi dengan *glasswool* [23] kuning *density* 16 kg/m³. Material SHT diletakkan di dalam ruang pengering, dihamparkan di lantai.



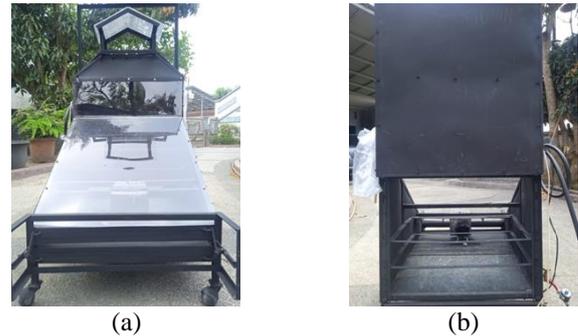
Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Eksperimen dilakukan sebanyak 3 kali pada hari yang berbeda, dimana masing-masing eksperimen dilakukan selama 4 jam atau 240 menit, dan pada jam yang sama yaitu antara jam 10.30 – 14.30 WIB. Penetapan jam eksperimen antara jam 10.30 – 14.30 dengan pertimbangan bahwa pada jam 10.00 WIB radiasi matahari mulai merambat ke bagian tengah ruang pengering dan mencapai bagian dalam secara menyeluruh pada jam 14.00 [24].

Eksperimen pertama menggunakan material SHT batu koral putih, eksperimen kedua menggunakan material SHT batu koral hitam, dan eksperimen ketiga tidak menggunakan material SHT. Adapun material SHT yang digunakan adalah batu koral, seperti terlihat pada Gambar 3, masing-masing dengan massa 8 kg. Alat ukur yang digunakan adalah *data logger elitech GSP 6* dan *solar power meter SM206*, dengan skema eksperimen seperti terlihat pada Gambar 4 dan penempatan material SHT seperti terlihat pada Gambar 5. Pengambilan data intensitas radiasi surya dan temperatur pada setiap 2 menit.

Setelah beberapa kali eksperimen, maka didapat data berupa temperatur (*T*) pada setiap tiap titik pengamatan di dalam ruang pengering (*T*₁, *T*₂, *T*₃), temperatur pada permukaan media SHS/lantai ruang pengering (*T*₄ dan *T*₅), temperatur lingkungan (*T*_i) dan nilai intensitas radiasi

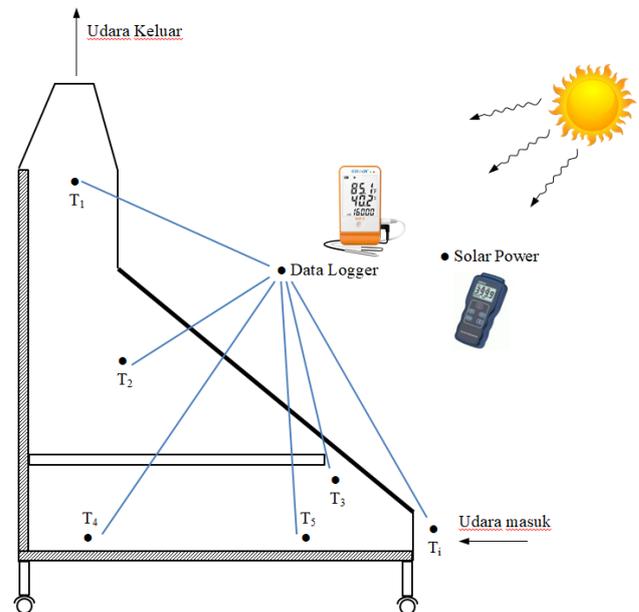
matahari (*I*). Data tiap variasi kondisi akan diolah kemudian dianalisis.



Gambar 2. Model Alat Pengering (a) Tampak Depan, (b) Tampak Belakang



Gambar 3. Media SHS (a) Batu koral Hitam, (b) Batu koral Putih



Gambar 4. Skema Penelitian

Grafik perbandingan dibuat untuk memudahkan dalam penggambaran performa variasi. Pengolahan data dilakukan dengan cara menghitung besar energi sumber (*Q_{in}*) dengan menggunakan persamaan (1) dan energi terpakai (*Q_u*) dengan menggunakan persamaan (2). Pada penelitian, energi terpakai yang dihitung adalah energi yang dibutuhkan menaikkan temperatur udara di dalam ruang pengering, tidak menghitung energi yang digunakan untuk perubahan temperatur material SHS/lantai ruang pendingin dan energi yang terbuang. Berdasarkan kedua nilai energi ini, masing-

masing dihitung efisiensinya (η) dengan menggunakan persamaan (3) dan masing-masing dibandingkan.

$$Q_i = \tau \cdot I_k \cdot t \cdot A \tag{1}$$

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_i - T_o) \tag{2}$$

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_i} \cdot 100\% \tag{3}$$



Gambar 5. Penempatan Material SHT

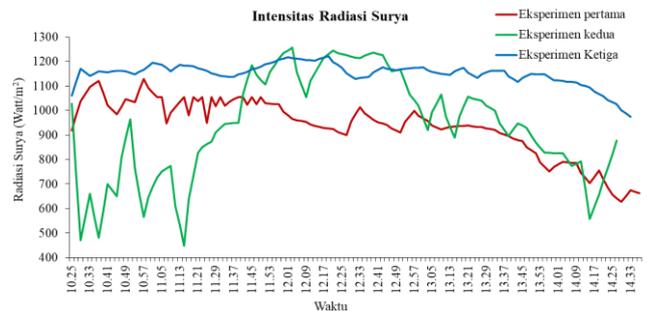
3. Hasil dan Pembahasan

Efisiensi panas pada alat pengering diperoleh dari data-data hasil eksperimen yang dilakukan. Pada grafik yang terlihat pada Gambar 6 menunjukkan bahwa intensitas radiasi solar selama eksperimen bervariasi. Pada eksperimen pertama intensitas radiasi solar (I) relatif stabil sepanjang waktu eksperimen (garis warna biru) dengan rata-rata I maksimal 1221 Watt/m² pada jam 12.19 WIB dan rata-rata 1151,14 Watt/m². Pada eksperimen kedua (garis warna hijau), intensitas radiasi solar (I) fluktuatif sepanjang waktu eksperimen (garis warna biru) dengan I maksimal 1257,2 Watt/m² pada jam 12.03 WIB dan rata-rata 935,58 Watt/m². Pada eksperimen ketiga intensitas radiasi solar (I) turun sepanjang waktu eksperimen (garis warna merah) dengan I maksimal 1128.2 Watt/m² dan rata-rata 934.74 Watt/m². Perbedaan intensitas radiasi surya dari masing-masing eksperimen terkait dengan tutupan awan [17]. Pada eksperimen pertama tidak terlihat awan, sementara eksperimen kedua dan ketiga terlihat awan yang menutupi.

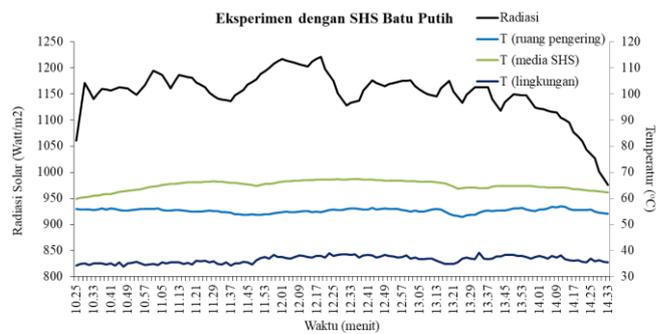
Pada eksperimen pertama, seperti yang terlihat pada Gambar 7, intensitas radiasi surya fluktuatif sampai dengan jam 14.01 WIB dan selanjutnya menurun. Namun pada waktu yang sama, temperatur ruang dan temperatur media SHS relatif stabil. Temperatur ruang pengering maksimal 57°C pada jam 11.33 WIB dan rata-rata 52.8°C. Temperatur media SHS maksimal 67.4 pada jam 11.33 WIB dan rata-rata

59.8 °C. Fenomena yang terjadi pada eksperimen pertama menunjukkan bahwa material SHS menyerap panas ketika radiasi matahari meningkat dan melepaskannya kembali ketika radiasi matahari turun. Dengan adanya fenomena ini, membuat temperatur ruang pengering relatif stabil.

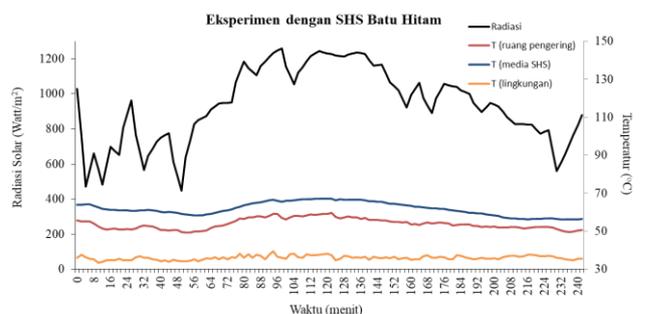
Pada eksperimen kedua, seperti yang terlihat pada Gambar 8, intensitas radiasi sangat fluktuatif sepanjang eksperimen. Hal ini disebabkan sering kali awan menutupi, sehingga intensitas radiasi menurun. Namun pada waktu yang sama, temperatur ruang dan temperatur media SHS relatif stabil. Temperatur ruang pengering maksimal 59.5°C pada jam 11.33 WIB dan rata-rata 53.87°C. Temperatur media SHS maksimal 67.2 °C pada jam 12.23–12.25 WIB dan rata-rata 61.77°C. Sama seperti pada fenomena eksperimen pertama, fenomena yang terjadi pada eksperimen kedua menunjukkan hal yang sama, bahkan dengan kondisi radiasi matahari yang lebih fluktuatif, temperatur ruang pengering masih relatif stabil.



Gambar 6. Perubahan Intensitas Radiasi Solar



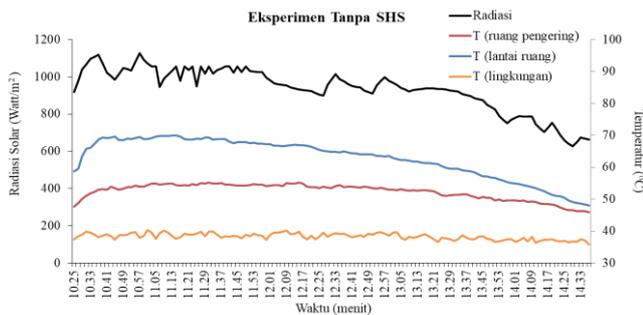
Gambar 7. Variasi Data Hasil Eksperimen Pertama



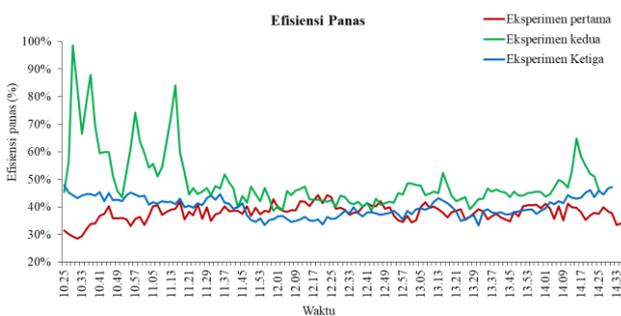
Gambar 8. Variasi Data Hasil Eksperimen Kedua

Pada eksperimen ketiga, seperti yang terlihat pada Gambar 9, intensitas radiasi cukup fluktuatif dan cenderung sepanjang eksperimen. Berbeda dengan hasil eksperimen pertama dan kedua, pada eksperimen ketiga, temperatur ruang dan temperatur lantai menurun, seiring dengan penurunan intensitas radiasi matahari. Temperatur ruang pengering maksimal 55.3°C pada jam 12.15 WIB dan rata-rata 52.43°C. Temperatur lantai maksimal 70°C pada jam 11.15 WIB dan rata-rata 62.96°C. Fenomena yang terjadi pada eksperimen ketiga menunjukkan bahwa energi panas berlebih ketika radiasi surya meningkat terserap oleh lantai ruang pengering dengan cepat sehingga sampai mencapai temperatur 70°C, lebih tinggi dari temperatur material SHS pada eksperimen pertama dan kedua. Fenomena ini berkaitan dengan pelat aluminium sebagai material lantai, dimana pelat aluminium cepat menyerap panas dan cepat juga melepaskannya dibandingkan dengan batu koral [9].

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari eksperimen, penelitian ini menemukan bahwa penggunaan material SHT dengan kemampuan menyerap panas (*charge*) dan melepaskan panas (*discharge*) mampu menstabilkan temperatur ruang pengering [13]. Perhitungan untuk mendapatkan efisiensi panas pada masing-masing eksperimen, hasilnya seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Variasi Data Hasil Eksperimen Ketiga



Gambar 10. Efisiensi Panas

Efisiensi panas tertinggi pada eksperimen kedua dengan rata-rata 49%, diikuti eksperimen pertama dan ketiga, masing-masing adalah 40% dan 38%. Penelitian ini menemukan bahwa material SHS batu koral mampu meminimalkan kehilangan energi panas [25], dan material batu koral hitam mampu menghasilkan efisiensi panas lebih tinggi dari material SHS batu putih, walaupun intensitas radiasi surya rata-rata pada eksperimen kedua (935,58 Watt/m²) lebih rendah dari eksperimen pertama (1151 Watt/m²). Temuan ini menunjukkan bahwa batu koral yang

berwarna hitam mampu menyerap panas lebih tinggi [16], [21].

4. Kesimpulan

Hasil dari uji eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menemukan bahwa temperatur ruang pengering pada alat pengering surya dengan menggunakan batu koral sebagai material SHS lebih stabil dibandingkan dengan tidak menggunakan SHS. Sementara itu, di antara batu koral hitam dan batu koral putih sebagai material SHS, efisiensi panas tertinggi diperoleh dari material batu hitam, masing-masing adalah 49% dan 40%.

Penelitian ini terbatas pada 2 warna batu koral yaitu warna hitam dan putih, untuk penelitian berikutnya perlu ditambah warna batu koral yang lain sehingga lebih banyak perbandingan efisiensi panas, serta juga perlu mengetahui kandungan mineral masing-masing batu koral melalui pengamatan dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM). Selain itu, penelitian dilakukan tanpa beban, sehingga pada penelitian berikutnya perlu dilakukan dengan beban untuk mengetahui laju pengeringan dan mempertimbangkan faktor kelembaban udara di dalam ruang pengering.

Ucapan Terimakasih

Disampaikan kepada semua pihak, khususnya kepada mahasiswa program studi teknik mesin Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai yang telah membantu proses pembuatan model alat pengering surya dan pengambilan data penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] I. Sarbu and C. Sebarhievici, "A comprehensive review of thermal energy storage," *Sustain.*, vol. 10, no. 1, 2018, doi: 10.3390/su10010191.
- [2] H. Panchal, J. Patel, and S. Chaudhary, "A comprehensive review of solar cooker with sensible and latent heat storage materials," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 40, no. 3, pp. 329–334, 2019, doi: 10.1080/01430750.2017.1392357.
- [3] Kemas Muhammad Abdul Fatah, Indriyani, and Ari Beni Santoso, "Uji Eksperimental Efisiensi Panas Alat Pengering Surya Langsung Pasif Berbiaya Murah dengan Variasi Material Penutup Transparan," *Infotekmesin*, vol. 13, no. 2, pp. 245–250, 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i2.1535.
- [4] M. S. Boedoyo, "Potensi Dan Peranan Plts Sebagai Energi Alternatif Masa Depan Di Indonesia," *J. Sains dan Teknol. Indones.*, vol. 14, no. 2, 2013, doi: 10.29122/jsti.v14i2.919.
- [5] Faisal Afif and Awaludin Martin, "Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022.
- [6] S. K. Verma, N. K. Gupta, and D. Rakshit, "A comprehensive analysis on advances in application of solar collectors considering design, process and working fluid parameters for solar to thermal conversion," *Sol. Energy*, vol. 208, no. August, pp. 1114–1150, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.08.042.
- [7] A. Gautam and R. P. Saini, "A review on sensible heat based packed bed solar thermal energy storage system for low temperature applications," *Sol. Energy*, vol. 207, no. July, pp. 937–956, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.07.027.
- [8] G. Alva, Y. Lin, and G. Fang, "An overview of thermal energy storage systems," *Energy*, vol. 144, pp. 341–378, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.12.037.
- [9] T. Bauer, W. D. Steinmann, D. Laing, and R. Tamme, "Thermal Energy Storage Materials and Systems," *Annu.*

- Rev. Heat Transf.*, vol. 15, pp. 131–177, 2012, doi: 10.1615/AnnualRevHeatTransfer.2012004651.
- [10] A. Aggarwal, N. Goyal, and A. Kumar, “Thermal characteristics of sensible heat storage materials applicable for concentrated solar power systems,” *Mater. Today Proc.*, vol. 47, no. xxxx, pp. 5812–5817, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.174.
- [11] M. R. D. Astanto, L. O. Nelwan, and Edy Hartulistiyoso, “Karakteristik Batu Basalt Sebagai Media Penyimpan Panas Pembakaran Biomassa pada Sistem Pengereng Gabah,” *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 10, no. 3, pp. 305–318, 2022.
- [12] K. B. Saputra, A. Aziz, L. R. Termal, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Riau, “Pengaruh Penyimpan Panas Pada Alat Pengereng Surya,” vol. 5, pp. 1–5, 2018.
- [13] M. F. Noor, M. F. Noor, J. T. Mesin, F. Teknik, U. P. Marga, and P. Panas, “Analisa Penggunaan Bahan Penyimpan Panas Pada Kolektor,” vol. 2, pp. 13–16.
- [14] Suhendra and N. Feby, “Analisis Penggunaan Batu Serpih Sebagai Media,” *Turbo*, vol. 7, no. 2, pp. 125–132, 2018.
- [15] S. Manohar, K. Bala, M. Santhanam, and A. Menon, “Characteristics and deterioration mechanisms in coral stones used in a historical monument in a saline environment,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 241, p. 118102, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118102.
- [16] L. Doulos, M. Santamouris, and I. Livada, “Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials,” *Sol. Energy*, vol. 77, no. 2, pp. 231–249, 2004, doi: 10.1016/j.solener.2004.04.005.
- [17] W. B. Chaouch, A. Khellaf, A. Mediani, M. E. A. Slimani, A. Loumani, and A. Hamid, “Experimental investigation of an active direct and indirect solar dryer with sensible heat storage for camel meat drying in Saharan environment,” *Sol. Energy*, vol. 174, no. April, pp. 328–341, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.09.037.
- [18] H. Atalay, “Performance analysis of a solar dryer integrated with the packed bed thermal energy storage (TES) system,” *Energy*, vol. 172, pp. 1037–1052, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.02.023.
- [19] H. Panchal, “Annual performance analysis of various energy storage materials in the upper basin of a double-basin solar still with vacuum tubes,” *Int. J. Ambient Energy*, vol. 41, no. 4, pp. 435–451, 2020, doi: 10.1080/01430750.2018.1472653.
- [20] H. Atalay, “Assessment of energy and cost analysis of packed bed and phase change material thermal energy storage systems for the solar energy-assisted drying process,” *Sol. Energy*, vol. 198, no. January, pp. 124–138, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.01.051.
- [21] G. Murali, K. Rama Krishna Reddy, M. Trinath Sai Kumar, J. SaiManikanta, and V. Nitish Kumar Reddy, “Performance of solar aluminium can air heater using sensible heat storage,” *Mater. Today Proc.*, vol. 21, no. xxxx, pp. 169–174, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.04.213.
- [22] F. M. Amoruso, U. Dietrich, and T. Schuetze, “Indoor thermal comfort improvement through the integrated BIM-parametricworkflow-based sustainable renovation of an exemplary apartment in Seoul, Korea,” *Sustain.*, vol. 11, no. 14, 2019, doi: 10.3390/su11143950.
- [23] M. Yahya, “Performance analysis of solar drying system using double pass solar air collector with finned absorber for drying copra,” *Contemp. Eng. Sci.*, vol. 11, no. 11, pp. 523–536, 2018, doi: 10.12988/ces.2018.811.
- [24] B. Santoso and R. R. Santoso, “Desain Dan Studi Eksperimental Unit Solar Dryer Berbahan Plastik Uv Terhadap Laju Pengerengan Daun Mengkudu,” *Appl. Innov.*, 2022, [Online]. Available: <http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/avoer/article/view/1254%0Ahttp://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/avoer/article/download/1254/783>.
- [25] A. Palacios, C. Barreneche, M. E. Navarro, and Y. Ding, “Thermal energy storage technologies for concentrated solar power – A review from a materials perspective,” *Renew. Energy*, vol. 156, pp. 1244–1265, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.127.