



Kinerja pengering satu tungku penukar panas dengan energi sekam padi untuk mengeringkan pisang menggantikan pengeringan langsung matahari

Performance of a heat exchanger-one furnace dryer with rice husk energy for drying bananas replaces direct sun drying

I.B. Alit, I G. Bawa Susana*

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 081338439330

*E-mail: gedebawa@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 30 January 2024

Accepted 21 March 2024

Available online 01 April 2024

Keywords:

Rice husks

Heat exchanger

Banana

Dryer



The banana drying process for small farmers only uses the sun due to technological and cost limitations. The weakness of drying products is that they are very dependent on the weather. An alternative is to use a rice husk energy dryer because it is cheap and easy to obtain. The method involves converting rice husks into thermal utilizing a heat exchanger. The heat exchanger transfers heat from burning the husk to the drying chamber. Research was conducted to compare the temperature and drying time between sun drying and rice husk dryers. Apart from that, to determine the dryer's performance for drying bananas for a small-scale farmer. As a result, the rice husk energy dryer provides a shorter time than drying under the sun. To reduce the water content from 72% to a maximum of 40%, the time required for a rice husk energy dryer is 300 minutes, and 660 minutes for sun drying. The resulting temperature averages 55.11°C, while sun drying averages 29.02°C. In addition, the rice husk energy dryer produces a drying efficiency of 44.15%, which occurs at the beginning of drying and ends at 4.61%. This is a result of the high initial moisture content. During drying, the water content of the material evaporates, which impacts the energy absorption process by the banana from the dryer. The drying rate also followed this pattern: at the beginning, it was highest at 5.93 g/minute, and at the end, it was the lowest at 0.1 g/minute.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 14, No. 1, April 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Matahari yang berlimpah di daerah tropis dimanfaatkan oleh petani kecil untuk mengeringkan produk pertanian pasca panen. Matahari sebagai energi bersih untuk proses pengeringan tersedia gratis. Pemanfaatan matahari yang mudah dan murah memiliki kekurangan dalam hal proses pengeringan langsung matahari

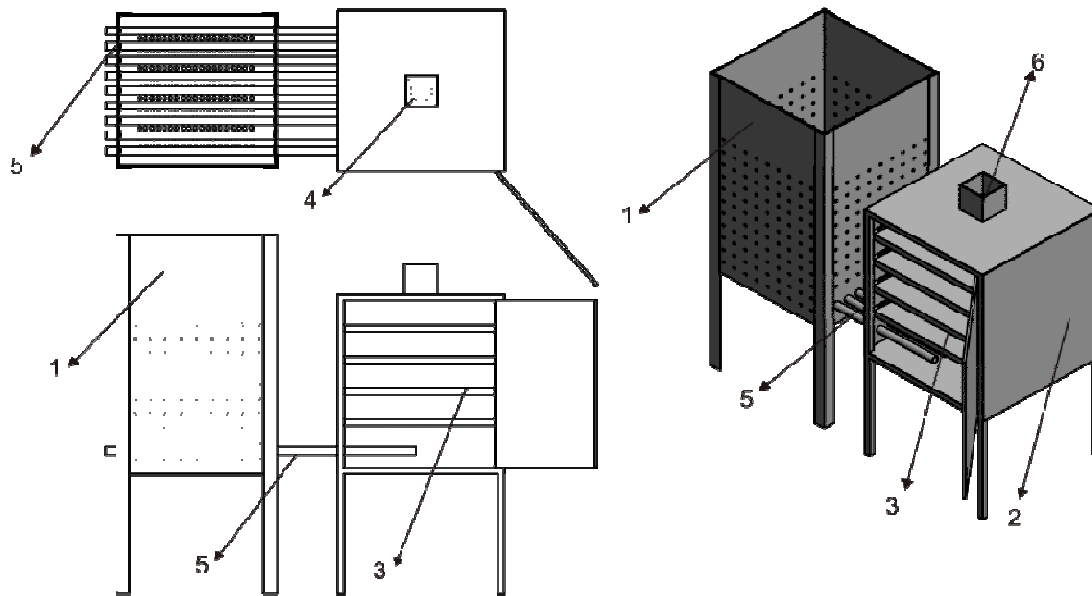
membutuhkan waktu lama dan sangat tergantung cuaca. Pengeringan langsung matahari menimbulkan penurunan kualitas produk akibat kondisi lingkungan seperti debu, gangguan Binatang, dll. Pengeringan dengan sinar matahari secara terbuka menimbulkan permasalahan seperti paparan hujan, debu, hewan, dan pengeringan yang berlebihan atau kurang (Paristiawan dkk., 2022). Selain itu, pengeringan matahari menimbulkan beban kerja tambahan bagi pekerjaannya akibat paparan panas sinar matahari. Temperatur yang lebih tinggi dalam jangka waktu lebih lama dapat meningkatkan risiko cedera akibat kelelahan, kurang konsentrasi, beban kerja yang diukur berdasarkan denyut nadi kerja cukup tinggi, dan penurunan produktivitas (Oshwiki, 2023; Susana, 2018). Aplikasi teknologi yang tepat guna pada petani kecil sebagai alternatif penanganan bahan pangan pasca panen.

Penanganan pasca panen seperti pada pisang diperlukan agar tidak mudah membusuk dan memberikan hasil maksimal bagi petani kecil. Sampai saat ini pemanfaatan buah pisang kebanyakan dalam bentuk segar karena mudah prosesnya seperti diolah menjadi jajanan tradisional atau dimakan langsung. Agar pisang memiliki nilai kegunaan dan ekonomi yang lebih tinggi diperlukan pengolahan lebih lanjut seperti menjadikan sale pisang. Industri sale pisang efisien dan menguntungkan untuk diusahakan oleh masyarakat dan memiliki masa simpan yang lebih lama (Prabaningrum dkk., 2022; Tanggasari dkk., 2023). Sale pisang dibuat dari buah pisang yang dikeringkan. Sale pisang merupakan makanan olahan sebagai salah satu alternatif memperpanjang umur buah pisang yang memiliki sifat mudah rusak. Buah pisang yang sudah kecoklatan memiliki nilai jual yang rendah karena terlihat kurang menarik dan pisang memiliki sifat mudah rusak (Taormina dan Hardin, 2021). Pengeringan buah pisang dibutuhkan untuk menurunkan kadar air agar memenuhi syarat dijadikan sale pisang. Sale pisang dibuat dari buah pisang segar dengan cara pengeringan yang memenuhi syarat kadar air maksimum 40% (BSN, 1996). Kadar air bahan pangan merupakan faktor kunci yang berpengaruh terhadap kualitas penyimpanan sehingga mengurangi kehilangan pasca panen (Zambrano dkk., 2019). Selain itu, mengurangi kadar air melalui proses pengeringan bertujuan mengatasi pertumbuhan mikroba. Pengeringan langsung matahari atau menjemur di bawah matahari merupakan cara paling mudah untuk mengurangi kadar air bahan pangan. Tetapi hal ini memberikan temperatur yang kurang optimal dan sangat bergantung terhadap cuaca. Pada penelitian Susana dkk. (2023) dijelaskan bahwa pengeringan dengan menjemur bahan pangan (kopi) di bawah sinar matahari hanya mampu menghasilkan rata-rata temperatur sebesar 29,44°C. Pengoptimalan temperatur sehingga dapat mempercepat waktu pengeringan dapat dilakukan melalui aplikasi pengering buatan. Aplikasi pengering buatan harus menggunakan pendekatan partisipatif yaitu sesuai dengan partisipasi pengguna yang dalam penelitian ini petani kecil di daerah Lombok-Indonesia. Keuntungan pendekatan partisipatif meliputi cara paling efektif untuk mendesain ulang tugas-tugas manual; pengadaan alat kerja; meringankan beban kerja fisik; serta menghasilkan relevansi, makna, dan kepercayaan bagi pekerja dalam cara yang saling terkait dan multi arah (Sormunen dkk., 2022; Limerick, 2018; Hansen dkk., 2023). Berdasarkan partisipasi dari petani kecil yang mudah memperoleh sekam padi, maka pengering buatan layak menggunakan energi limbah tersebut. Berlimpahnya limbah sekam padi di Lombok dapat digunakan sebagai alternatif sumber energi untuk proses pengeringan. Sekam padi di Nusa Tenggara Barat untuk tahun 2022 memiliki potensi sebesar 290.000 ton. Hal ini berdasarkan produksi padi Nusa Tenggara Barat tahun 2022 sebesar 1.450.000 ton dan 20 % dari berat biji-bijian curah hasil industri pengolahan beras adalah sekam padi (BPS, 2023; Hossain dkk., 2018). Nilai kalor sekam padi cukup tinggi dan setara dengan setengah nilai kalor batubara yaitu 11-15,3 MJ/kg (Awulu dkk., 2018), 3380 kkal/kg (Sasongko dkk., 2023), dan *net calorific value* 12-16 MJ/kg (International Finance Corporation, 2017). Selain itu, sekam padi yang dibakar langsung dan menggunakan kompor mampu menghasilkan temperatur maksimum masing-masing 560°C dan 556,5°C, serta sesuai untuk aplikasi energi panas karena mengandung silika, lignin, dan selulosa (Yan dkk., 2022; Tangka dkk., 2018; Thiedeitz dkk., 2020). Sekam padi sebagai salah satu biomassa dapat ditingkatkan nilai tambahnya dan pemanfaatannya dapat meningkatkan ekonomi petani kecil. Penggunaan biomassa di negara berkembang dapat meningkatkan status ekonomi dan mengurangi kerentanan individu masyarakat pedesaan terhadap sektor energi (Haq dkk., 2020). Untuk memudahkan penggunaan sekam padi dalam pengeringan dilakukan melalui proses konversi energi menjadi termal dengan aplikasi penukar kalor. Penukar kalor merupakan salah satu perangkat untuk meningkatkan perpindahan panas dari area pertukaran kecil sehingga efektif diimplementasikan secara luas untuk pemulihan panas pada berbagai aplikasi teknik seperti konversi energi, pembangkit listrik (Bououd dkk., 2018; Zhang dkk., 2018). Penukar kalor dapat diaplikasikan untuk pengeringan bahan pangan pasca panen skala petani kecil. Penukar kalor ditempatkan pada tungku pembakaran untuk proses konversi sekam padi menjadi termal.

Penelitian dilakukan untuk mengeringkan pisang yang dijadikan sale pisang skala petani kecil menggunakan pengering sumber energi sekam padi. Sekam padi dikonversikan menjadi termal dalam suatu tungku pembakaran melalui pipa penukar kalor. Model pengering ini diaplikasikan agar pisang yang dikeringkan tidak terkontaminasi debu, abu, dan kotoran lainnya, sehingga produk yang dihasilkan menjadi higienis dan kualitas meningkat. Selain itu, penelitian dilakukan untuk meningkatkan temperatur pengeringan dan membandingkan dengan pengeringan langsung matahari atau menjemur di bawah sinar matahari.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimental yaitu pengujian pengering dengan bahan bakar sekam padi melalui konversi energi menjadi termal menggunakan penukar kalor yang diletakkan pada tungku pembakaran. Desain alat seperti pada gambar 1 berdasarkan paten dan penelitian Susana dkk. (2021); Alit dan Susana (2021). Pada penelitian ini alat pengering digunakan untuk pengujian proses pengeringan pisang yang dijadikan sale pisang untuk skala petani kecil.



Gambar 1. Desain pengering satu tungku dengan penukar kalor energi sekam padi. 1. tungku, 2. ruang pengering, 3. rak pengering, 4. *exhaust fan*, 5. pipa-pipa penukar kalor, 6. saluran buang

Sampel bahan pangan yang dikeringkan menggunakan pisang yang diiris untuk dijadikan sale pisang. Pisang diiris 3-4 mm agar mudah dikeringkan dan proses pengeringan lebih singkat. Kadar air awal pisang adalah 72% dan dikeringkan sampai batas kadar air sesuai SNI yaitu 40% yang disarankan untuk sale pisang. Pengujian dilakukan pada pengering buatan dan menjemur di bawah sinar matahari. Hasilnya dibandingkan antara kedua proses pengeringan tersebut berdasarkan temperature pengeringan, kadar air, dan lama waktu pengeringan. Sampel pisang ditetapkan 2434 gram (2434 g) dan sekam padi 18 kilogram (18 kg) dengan tidak adanya penambahan massa sekam padi pada pengujian pengering buatan. Perpindahan panas pada pengering buatan secara konveksi paksa yaitu menggunakan *exhaust fan* yang diletakkan pada saluran buang ruang pengering. Kecepatan udara dibuat konstan sebesar 2 m/s. Penelitian ini menggunakan alat ukur seperti data logger, *thermocouple* tipe K, timbangan digital, *anemometer*, *moisture meter*. Pengujian sampel pisang seperti disajikan pada gambar 2.

Pengujian sampel dilakukan pada hari dan awal waktu yang sama agar mudah diperoleh perbandingan lama dan temperatur pengeringan antara menjemur dan penggunaan pengering buatan. Langkah awal berdasarkan penurunan kadar air mencapai 40% dan dilanjutkan dengan pengujian sampel berdasarkan habis terbakarnya massa sekam padi yang digunakan sebagai sumber energi pada pengering buatan.

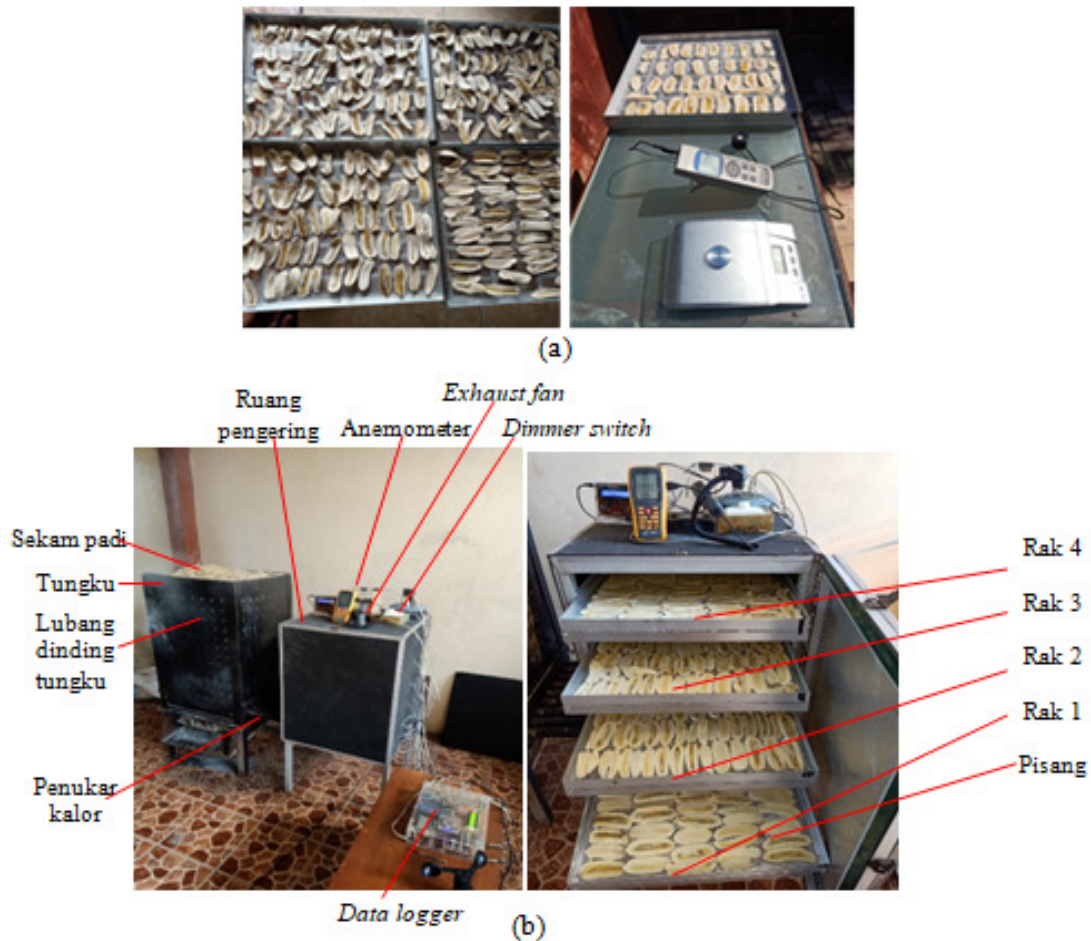
Data yang diukur dalam penelitian meliputi temperatur lingkungan, temperatur pipa penukar kalor, temperatur ruang pengering, waktu pengeringan, massa awal dan massa kering pisang. Dari data-data ini dapat dihitung kalor yang dibutuhkan untuk pengeringan, perpindahan energi dari udara ke bahan, kadar air, laju pengeringan, dan efisiensi pengeringan. Kalor yang digunakan untuk pengeringan Q (kJ) seperti pada persamaan 1.

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

Q_1 merupakan jumlah panas untuk memanaskan air bahan (kJ). Q_2 merupakan jumlah panas untuk menguapkan air bahan (kJ) (Çengel dkk., 2019; Hamdani dkk., 2018). C_{pb} adalah panas jenis pisang (kJ/°C), T_b adalah

Dinamika Teknik Mesin. Alit dan Susana: Kinerja pengering satu tungku penakar panas dengan energi sekam padi untuk mengeringkan pisang menggantikan pengeringan langsung matahari

temperatur bahan (pisang) ($^{\circ}\text{C}$), T_a adalah temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$), dan h_{fg} merupakan panas laten penguapan air (kJ/kg).



Gambar 2. Pengujian sampel pisang yang diiris secara (a) menjemur di bawah sinar matahari, (b) pengeringan buatan

$$Q_1 = m_t C_{pb} (T_b - T_a) \quad (2)$$

$$Q_2 = m_w h_{fg} \quad (3)$$

Perpindahan energi dari udara ke bahan yang dikeringkan q (kJ) dihitung berdasarkan persamaan 4 (Bergman dkk., 2011; Soponpongpiat dkk., 2020).

$$q = \rho_u V_u C_{pu} (T_{in} - T_{out}) \quad (4)$$

ρ_u merupakan massa jenis udara pengeringan (kg/m^3), C_{pu} adalah panas jenis udara ($\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$). T_{in} adalah temperatur udara masuk dan T_{out} merupakan temperatur udara keluar, dan *specific heat* C_{pu} pisang sebesar $3,35 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$ berdasarkan Engineering ToolBox (2024).

Massa pisang meliputi massa awal, m_t (kg) dan massa kering, m_k (kg). Massa kering pisang, m_k (kg) diperoleh melalui perlakuan pemanasan selama 3 jam pada temperatur $105\text{-}110^{\circ}\text{C}$. Massa awal dan kering digunakan untuk menghitung kadar air, K_a (%) (Henderson dan Perry, 1976; Charmonkolpradit dkk., 2021).

$$K_a = \frac{m_t - m_k}{m_t} \times 100\% \quad (5)$$

Laju pengeringan, \dot{m}_p (kg/s) dihitung berdasarkan perbandingan massa air yang diuapkan, m_w (kg) dengan waktu pengeringan, t (jam) (Brooker dkk., 1992).

$$\dot{m}_p = \frac{m_w}{t} \quad (6)$$

m_w dihitung berdasarkan massa pisang setelah dikeringkan, m_p (kg) dan massa pisang awal, m_t (kg).

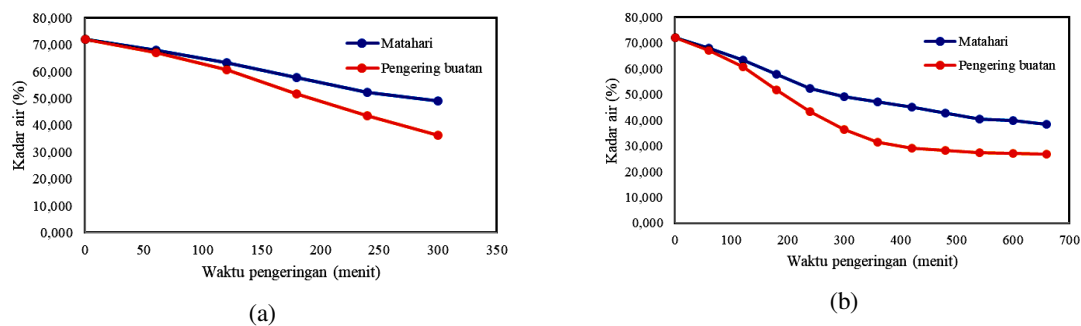
$$m_w = m_t - m_p \quad (7)$$

Efisiensi pengeringan, η dihitung berdasarkan perbandingan kalor yang digunakan untuk pengeringan, Q (kJ) dengan perpindahan energi dari udara ke bahan yang dikeringkan, q (kJ) (Çengel dkk., 2016).

$$\eta = \frac{Q}{q} 100\% \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal pengujian dilakukan terhadap sampel pisang untuk sale pisang dengan proses pengeringan melalui menjemur di bawah sinar matahari dan pengering buatan. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian berdasarkan perbandingan kadar air dan waktu dari penggunaan dua metode pengeringan dalam penelitian ini. Gambar 3a menunjukkan perbandingan pengeringan matahari dan menggunakan pengering buatan. Kadar air awal pisang yang dikeringkan sama yaitu 72%. Hasil pengujian berdasarkan kadar air sesuai persyaratan SNI yaitu maksimal 40% menunjukkan bahwa pengering buatan memerlukan waktu yang lebih singkat dibandingkan menjemur di bawah sinar matahari. Pengering buatan memerlukan waktu 300 menit untuk mencapai kadar air 36,37% dan hasil ini sesuai dengan persyaratan SNI. Sedangkan kadar air pisang dengan mengeringkan menjemur di bawah sinar matahari untuk waktu 300 menit hanya mencapai 49,23%. Dalam penelitian ditemukan juga bahwa sekam padi sebagai sumber energi pengering buatan dalam jumlah konstan sebesar 18 kg mampu bertahan sampai 660 menit untuk mengeringkan sampel pisang 2434 gram.

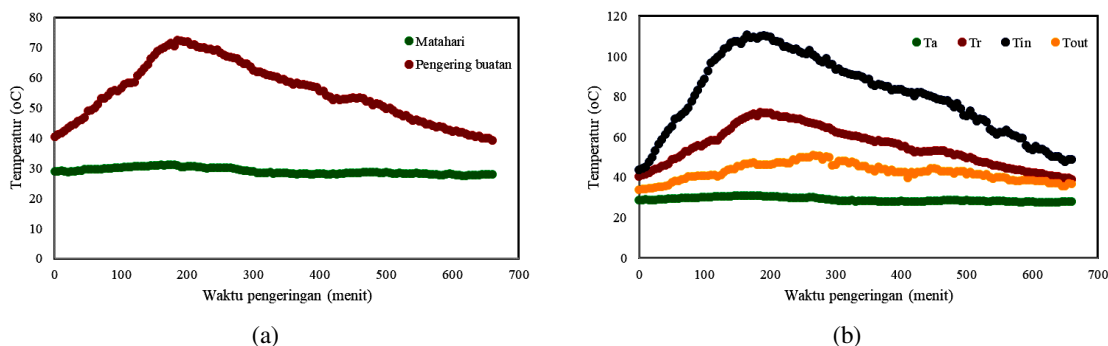


Gambar 3. Perbandingan kadar air dan lama waktu pengeringan pisang antara menjemur di bawah sinar matahari dengan pengering buatan untuk (a) batas kadar air sesuai SNI dan (b) sekam padi habis terbakar

Gambar 3b menunjukkan hal tersebut dan membandingkannya dengan menjemur di bawah sinar matahari. Kadar air pisang sampai sekam padi habis terbakar adalah 26,72% yang selama 660 menit. Sedangkan pisang yang dikeringkan dengan menjemur di bawah sinar matahari selama 660 menit menghasilkan kadar air sebesar 38,33%. Berdasarkan perbandingan tersebut dapat diungkap bahwa pengering buatan dengan energi sekam padi mampu memberikan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan menjemur di bawah sinar matahari. Dalam penelitian ini, waktu pengeringan dapat diperpendek sebesar 54,54% dengan pengering energi sekam padi. Kondisi ini sebagai dampak dari temperatur pengeringan. Temperatur pengeringan pada pengering energi sekam padi lebih tinggi dibandingkan menjemur di bawah sinar matahari yang hanya memanfaatkan temperatur lingkungan. Hal ini sejalan dengan penelitian Alit dan Susana (2021) pada pengeringan cabai merah bahwa mengeringkan bahan pangan melalui penjemuran langsung di bawah matahari menghasilkan waktu yang lambat akibat temperatur lingkungan yang tidak optimal. Penurunan kadar air bahan pangan yang dikeringkan semakin tinggi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi. Perbandingan temperatur pengeringan antara pengering energi sekam padi dengan menjemur di bawah matahari seperti yang disajikan pada gambar 4.

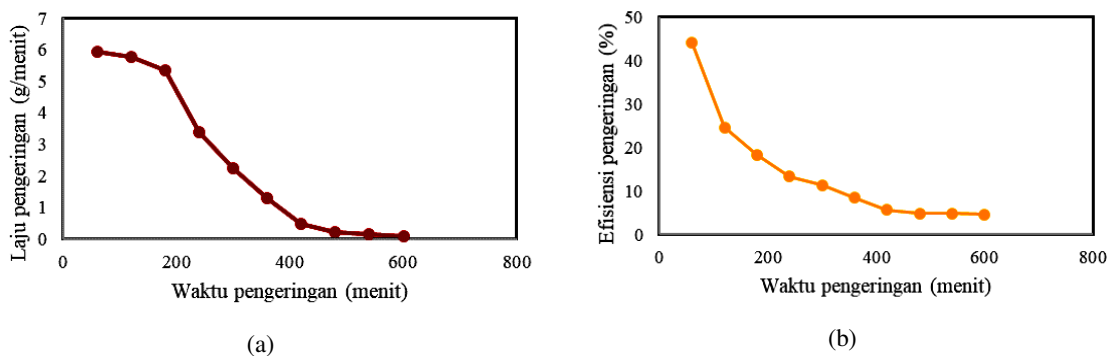
Berdasarkan gambar 4a, pengeringan pisang dengan menjemur di bawah sinar matahari memanfaatkan temperatur lingkungan mencapai rata-rata 29,02°C dengan rentang 27,57-31,12°C. Sedangkan aplikasi pengering buatan mampu meningkatkan temperatur lingkungan sebesar rata-rata 89,9%. Temperatur pengeringan pada pengering buatan mencapai rata-rata 55,11°C dengan rentang 39,12-72,47°C. Pengering buatan dengan energi

sekam padi dan aplikasi penukar kalor tidak bergantung dengan temperatur lingkungan yang berdampak terhadap waktu pengeringan lebih pendek dibandingkan pengeringan dengan menjemur di bawah sinar matahari. Penelitian sejalan dengan hasil Dasore dkk. (2020) bahwa waktu pengeringan yang menurun sebagai dampak dari terjadinya peningkatan temperatur. Hal unik ditemukan pada pengeringan buatan berhubungan dengan pola temperatur hasil konversi sekam padi menjadi termal menggunakan penukar kalor seperti ditunjukkan gambar 4b. Hal ini terjadi sebagai dampak dari penggunaan sekam padi dengan massa konstan yaitu tidak adanya penambahan massa sekam padi selama proses pengujian.



Gambar 4. Temperatur pengeringan (a) perbandingan antara menjemur di bawah sinar matahari dengan pengering buatan, (b) distribusi temperatur pengering buatan

Gambar 4b menunjukkan pola temperatur pada pengering buatan mengikuti sifat sekam padi. Temperatur yang masih rendah diawal berpengaruh terhadap proses pengeringan diawal adalah lebih lambat. Proses pembakaran sekam padi mengikuti sifat sekam padi yaitu dalam proses pembakaran diawali dengan penguapan sekam padi karena sekam padi mengandung kadar air sebesar 10-15% (Fathurahman dan Surjosatyo, 2022). Peningkatan temperatur pengeringan terjadi saat sekam padi berubah menjadi arang, kemudian habis terbakar akibat tidak adanya penambahan sekam padi pada tungku. Rata-rata temperatur lingkungan (T_a) yang masuk pipa penukar kalor adalah 29,02°C dengan rentang 27,57-31,12°C. Akibat perpindahan panas dari hasil pembakaran sekam padi, temperatur keluar pipa penukar kalor menjadi rata-rata 80,54°C dengan rentang 43,96-110,72°C dan temperatur ini sebagai temperatur masuk (T_{in}) ruang pengering. Rata-rata temperatur ruang pengering (T_r) yang diukur saat mengeringkan pisang adalah 55,11°C dengan rentang 39,12-72,47°C. Pengeringan pisang di dalam ruang pengering memanfaatkan proses perpindahan panas dari pembakaran sekam ke udara lingkungan yang mengalir di dalam pipa-pipa penukar kalor. Pemanfaatan udara lingkungan sebagai energi alami akan mengurangi biaya operasional (Singh dkk., 2019). Dalam penelitian juga ditemukan bahwa temperatur keluar ruang pengering (T_{out}) masih lebih tinggi dari temperatur lingkungan (T_a) yaitu rata-rata 42,54°C dengan rentang 34,03-51,09°C. Temperatur di dalam ruang pengering (T_r) dan keluar ruang pengering (T_{out}) mengikuti pola temperatur masuk ruang pengering (T_{in}) yaitu mengikuti sifat pembakaran sekam padi dalam tungku dengan massa tetap.



Gambar 5. Perbandingan (a) laju pengeringan dengan waktu dan (b) efisiensi pengeringan pada pengering buatan

Gambar 5 menunjukkan laju pengeringan pisang dan efisiensi pengeringan pada penggunaan pengering buatan. Berdasarkan gambar 5a dapat dijelaskan bahwa laju pengeringan paling tinggi terjadi pada kadar air pisang yang paling tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Lakshmi dkk. (2019) bahwa laju pengeringan relatif lebih tinggi pada kadar air yang lebih tinggi. Pada menit ke 60 ditemukan laju pengeringan mencapai 5,933 g/menit. Sedangkan pada menit ke 600 laju pengeringan sudah rendah yaitu 0,1 g/menit. Laju pengeringan setelah mencapai puncak kemudian menurun seiring berkurangnya kadar air. Meningkatnya laju pengeringan mengakibatkan hilangnya kelembaban bebas karena perpindahan panas sensibel ke sampel pisang kemudian terjadi laju penurunan setelah tercapainya puncak laju pengeringan. Ditemukan bahwa laju pengeringan berbanding lurus dengan kadar air. Kadar air semakin menurun diikuti laju pengeringan semakin menurun. Gambar 5b menunjukkan efisiensi pengeringan bahwa penurunan efisiensi pengeringan mengikuti penurunan kadar air pisang. Efisiensi pengeringan paling tinggi terjadi di awal proses yaitu pada menit 60 sebesar 44,15%. Hal ini sebagai dampak kandungan kadar air yang masih tinggi. Efisiensi sangat tinggi terjadi pada pengeringan awal karena tingginya energi dari pengering yang diserap oleh produk, serta selama proses pengeringan energi yang diserap produk berkurang karena berkurangnya kadar air (Djaeni dkk., 2019). Efisiensi pengering menurun akibat adanya proses untuk mengurangi kandungan air yang tinggi pada pisang. Pada menit ke 600 efisiensi pengeringan sebesar 4,61%. Berdasarkan hasil penelitian, maka biomassa sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi pengeringan. Hal ini sejalan dengan Logeswaran dkk. (2020) bahwa biomassa merupakan salah satu sumber energi yang handal karena dapat didaur ulang. Selain itu, untuk mengurangi limbah pertanian yang berhubungan dengan produksi beras. Hal ini berkaitan dengan beras merupakan makanan pokok di banyak negara, terutama di Asia.

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi melalui proses konversi energi menjadi termal menggunakan pipa penukar kalor yang diletakkan di dalam tungku menghasilkan beberapa temuan. Aplikasi pengering untuk mengeringkan pisang yang dijadikan sale pisang memberikan waktu yang lebih singkat dibandingkan pengeringan dengan menjemur di bawah matahari. Waktu yang dibutuhkan mengeringkan pisang dengan pengering buatan untuk menurunkan kadar air dari 72% menjadi maksimal 40% sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah maksimal 300 menit. Sedangkan, pengeringan pisang dengan menjemur di bawah sinar matahari membutuhkan waktu 660 menit untuk mencapai kadar air maksimal 40%. Berdasarkan temperatur pengeringan, pengering dengan energi sekam padi mencapai rata-rata 55,11°C selama mengeringkan pisang. Pada pengeringan dengan menjemur hanya mampu menghasilkan temperatur pengeringan sebesar rata-rata 29,02°C. Efisiensi pengering buatan paling tinggi terjadi di awal pengeringan yaitu 44,15% dan paling kecil terjadi di akhir yaitu 4,61%. Hal ini terjadi akibat pengaruh kandungan kadar air awal yang tinggi dan selama pengeringan terjadi penguapan kadar air bahan yang berdampak terhadap proses penyerapan energi oleh pisang dari pengering. Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber energi akan memberikan nilai tambah pada limbah pertanian dan mengurangi biaya pengeringan pascapanen petani kecil. Sekam padi menjadi energi alternatif yang handal dan berkelanjutan karena tersedia dalam jumlah melimpah.

DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I.B., Susana, I G.B., Drying performance of Jackfruit dodol using rice husk energy on household in Lombok, Indonesia, *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 17, 15, 2021.
- Alit, I.B., Susana, I G.B., Karakteristik termal-produktivitas *heat exchanger* untuk tungku sekam padi pada pengeringan cabai merah, *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 307-317, 2021.
- Awulu, J.O., Omale, P.A., Ameh, J.A., Comparative analysis of calorific values of selected agricultural wastes, *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 37(4), 1141-1146, 2018.
- Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P., *Fundamental of heat and mass transfer*, edisi 7, penerbit John Wiley & Sons, New York, 2011.
- Bououd, M., Hachchadi, O., Mechaqrane, A., Plate flat finned tubes heat exchanger: heat transfer and pressure drop modeling, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 161, 012001, 2018.
- BPS Provinsi Nusa Tenggara Barat, Luas panen dan produksi padi di Nusa Tenggara Barat 2022 (hasil kegiatan pendataan statistik pertanian tanaman pangan terintegrasi dengan metode kerangka sampel area), 2023.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., Hall, C.W., *Drying and storage of grain and oilseeds*, edisi 4, penerbit Van Nostrand, 1992.
- BSN, Sale pisang, SNI 01-4319-1996, Standar Nasional Indonesia, 1996.
- Çengel, Y.A., Boles, M.A., Kanoglu, M., *Thermodynamics an engineering approach*, edisi 9, penerbit McGraw-Hill, 2019.
- Çengel, Y.A., Turner, R.H., Cimbala, J.M., *Fundamental of Thermal-fluid Sciences*, edisi 5, penerbit McGraw-Hill Companies, 2016.

- Charmongkolpradit, S., Somboon, T., Phatchana, R., Sang-aroon, W., Tanwanichkul, B., Influence of drying temperature on anthocyanin and moisture contents in purple waxy corn kernel using a tunnel dryer, *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100886, 2021.
- Dasore, A., Polavarapu, T., Konijeti, R., Puppala, N., Convective hot air drying kinetics of red beetroot in thin layers, *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 14(23), 1-8, 2020.
- Djaeni, M., Irfandy, F., Utari, F.D., Drying rate and efficiency energy analysis of paddy drying using dehumidification with zeolite, *IOP Conf. Series: Journal of Physics*, 1295, 012049, 2019.
- Engineering ToolBox, Food and foodstuff-specific heat, Available online: https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html#gsc.tab=0, (accessed on January 25, 2024).
- Fathurahman, R., Surjosatyo, A., Utilization of rice husk as a fuel for gasification-A review, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1034, 012065, 2022.
- Hamdani, Rizal, T.A., Muhammad, Z., Fabrication and testing of hybrid solar-biomass dryer for drying fish, *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 489-496, 2018.
- Hansen, A.F., Hasle, P., Caroly, S., Reinhold, K., Järvis, M., Herrig, A.O., Heiberg, B.D., Sjøgaard, K., Punnett, L., Stochkendahl, M.J., Participatory ergonomics: What works for whom and why? A realist review, *Ergonomics*, 2023.
- Haq, M.A.U., Nawaz, M.A., Akram, F., Natarajan, V.K., Theoretical implications of renewable energy using improved cooking stoves for rural households, *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(5), 546-554, 2020.
- Henderson, S.M., Perry, R.L., *Agricultural Process Engineering*, penerbit The AVI Pub. Co., Inc., Westport, Connecticut, 1976.
- Hossain, S.K.S., Mathurand, L., Roy, P.K., Rice husk/rice husk ash as an alternative source of silica in ceramics: A review, *Journal of Asian Ceramic Societies*, 6(4), 299–313, 2018.
- International Finance Corporation, *Converting biomass to energy: A guide for developers and investors*, Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C., June, 2017.
- Lakshmi, D.V.N., Muthukuma, P., Ekka, J.P., Nayak, P.K., Layek, A., Performance comparison of mixed mode and indirect mode parallel flow forced convection solar driers for drying *Curcuma zedoaria*, *J. Food Process Eng.*, 42(4), 1-12, 2019.
- Limerick, R.B., Participatory ergonomics: Evidence and implementation lessons, *Applied Ergonomics*, 68, 289-293, 2018.
- Logeswaran, J., Shamsuddin, A.H., Silitonga, A.S., Mahlia, T.M.I., Prospect of using rice straw for power generation: a review, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 25956-25969, 2020.
- Oshwiki, Heat at work-guidance for workplaces, European Agency for Safety and Health at Work, 2023, Available online: <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/heat-work-guidance-workplaces> (accessed on January 21, 2024).
- Paristiawan, P.A., Ghazali, I., Aryanti, D., Budiarjono, Amanah, A., Idris, M., Hermansyah, D., Ali, E.A.B., A review of solar drying design and architecture: direct, indirect and mixed-mode solar dryer, *Jurnal Polimesin*, 2(20), 200-205, 2022.
- Prabaningrum, R., Sutrisno, J., Khairiyakh, R., Analisis usaha industry sale pisang skala rumah tangga di kecamatan Karangpucung kabupaten Cilacap, *Jurnal Kewirausahaan dan Bisnis*, 27(2), 117-129, 2022.
- Sasongko, N.A., Putra, N.G., Wardani, M.L.D., Review of types of biomass as a fuel-combustion feedstock and their characteristics, *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 6(2), 170-184, 2023.
- Singh, R., Mochizuki, M., Mashiko, K., Nguyen, T., Data center energy conservation by heat pipe based pre-cooler system, *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 13(24), 1-6, 2019.
- Soponpongpipat, N., Nanetoe, S., Comsawang, P., Thermal and torrefaction characteristics of a small-scale rotating drum reactor, *Processes*, 8(4), 489, 2020.
- Sormunen, E., Mäenpää-Moilanen, E., Ylisassi, H., Turunen, J., Remes, J., Karppinen, J., Martimo, K.P., Participatory ergonomics intervention to prevent work disability among workers with low back pain: a randomized clinical trial in workplace setting, *Journal of Occupational Rehabilitation*, 32, 731-742, 2022.
- Susana, I G.B., Alit, I.B., Okariawan, I D.K., Rice husk energy rotary dryer experiment for improved solar drying thermal performance on cherry coffee, *Case Studies in Thermal Engineering*, 41, 102616, 2023.
- Susana, I G.B., Improve of worker performance and quality of anchovy with ergonomic hybrid solar dryer, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(5), 1662-1667, 2018.
- Susana, I G.B., Alit, I.B., Yudhyadi, I G.N.K., Alat pengering berbahan bakar limbah sekam padi dengan mekanisme penukar kalor, Paten, HKI-3-HI.05.02.04.S24201803999-DS, Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia RI, Jakarta, 2021.

- Tanggasari, D., Ariskanopitasari, Afgani, C.A., Karakteristik pengeringan pisang kapok berdasarkan ketebalan irisan dan proses bolak balik pada pembuatan pisang sale, *Jurnal Agrotek UMMAT*, 10(1), 66-75, 2023.
- Tangka, J.K., Ngah, J.K., Tidze, V.C., Sako, E.T., A rice husk fired biomass stove for cooking, water and space heating, *International Journal of Trend in Research and Development*, 5(6), 83-89, 2018.
- Taormina, P.J., Hardin, M.D., *Food safety and quality-based shelf life of perishable foods*, Penerbit Springer, Switzerland, 2021.
- Thiedeitz, M., Schmidt, W., Härder, M., Kränkel, T., Performance of rice husk as has supplementary cementitious material after production in the field and in the lab, *Materials*, 13(19), 1-17, 2020.
- Yan, S., Yin, D., He, F., Cai, J., Schliermann, T., Behrendt, F., Characteristics of smoldering on moist rice husk for silica production, *Sustainability*, 14(1), 317, 2022.
- Zambrano, M.V., Dutta, B., Mercer, D.G., MacLean, H.L., Touchie, M.F., Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review, *Trends in Food Science & Technology*, 88, 484-496, 2019.
- Zhang, X., Keramati, H., Arie, M., Singer, F., Tiwari, R., Shooshtari, A., Ohadi, M., Recent developments in high temperature heat exchangers: a review, *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 11(18), 1-14, 2018.