

Investigasi Kinerja Energi dan Eksergi Pengereng Surya Konveksi Alamiah Terdistribusi dengan Media Penyimpan Panas Pasir

Joko Winarno* dan Sri Gati Hutomo

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta

Jalan TR. Mataram 55-57 Yogyakarta 55231

E-mail: jokowinarno@janabadra.ac.id

Diajukan: 07-11-2022; Direvisi: 10-08-2023; Dipublikasi: 21-08-2023

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memodifikasi pengereng surya konveksi alamiah tipe terdistribusi dengan menambahkan kaca pada ruang pengereng dan media *absorber* pasir sehingga terjadi kombinasi proses pengeringan langsung dan tak langsung untuk meningkatkan kinerja energi dan eksergi dari pengereng surya. Metode penelitian dilakukan melalui dua tahap, yakni tahap rancang bangun dan tahap uji eksperimental kinerja energi dan eksergi sistem pengereng surya konveksi alamiah tipe terdistribusi untuk proses pengeringan komoditi pertanian, yakni kedelai. Pengkajian terhadap kinerja energi dan eksergi sistem pengereng dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan kaca dan media *absorber* yang digunakan dalam proses pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit pengereng yang dirancang dengan media penyimpanan panas (*absorber*) pasir mampu menaikkan temperatur ambien 9.2 °C pada proses pengeringan kedelai (*charging*) dan 4,7 °C pada proses pelepasan panas (*discharging*). Penggunaan pasir sebagai media penyimpan panas pada unit pengereng yang dirancang juga mampu menaikkan laju pengeringan kacang kedelai sebesar 24.91% dengan efisiensi sebesar 10.91%. Besarnya perubahan eksergi aliran panas pada unit pengereng mencapai 3.161721×10^5 J/kg, dan semakin besar perubahan eksergi aliran udara yang melewati unit pengereng, maka laju pengeringan akan semakin meningkat.

Kata Kunci: *Absorber*; eksergi; kinerja energi; konveksi alamiah; pengereng surya

Abstract

This study aims to design and modify the distributed type natural convection solar dryer by adding glass to the drying chamber and absorber media so that a combination of direct and indirect drying processes occurs to improve the energy and exergy performance of the solar dryer. The research method was carried out through two stages, namely the design stage and the experimental test stage of energy and exergy performance of a distributed type natural convection solar drying system for the drying process of agricultural commodities, namely soybeans. The assessment of the energy and exergy performance of the drying system is intended to determine the strength of the addition of glass and absorber media used in the drying process. The results showed that the drying unit with sand absorber was able to raise the ambient temperature by 9.2 °C in the soybean drying process (charging) and 4.7 °C in the heat release process (discharging). The use of sand as a heat storage medium in the designed drying unit is also able to increase the drying rate of soybeans by 24.91% with an efficiency of 10.91%. The magnitude of the change in heat flow exergy in the drying unit reaches 3.161721×10^5 J/kg, and the greater the change in the exergy of the air flow passing through the drying unit, the drying rate will increase.

Keywords: *Absorber*; energy performance; exergy; natural convection; solar dryer

1. Pendahuluan

Saat ini sekitar tiga puluh persen produk makanan hilang atau rusak secara global, rantai pemborosan berasal dari produsen ke konsumen. Oleh karena itu mengurangi susut pascapanen melalui proses pengeringan produk pertanian dan perkebunan adalah salah satu metode strategis untuk meningkatkan pendapatan [1]. Pengeringan

dapat didefinisikan sebagai proses penurunan tingkat kelembaban suatu bahan atau produk karena perpindahan panas dan massa secara simultan. Proses pengeringan merupakan metode pengawetan yang paling umum yang telah digunakan selama beberapa dekade. Pengeringan produk pertanian dan perkebunan memiliki beberapa keunggulan seperti lebih lama umur simpan, pengurangan massa dan volume (kenyamanan dalam transportasi), lebih fleksibel untuk diolah selanjutnya dapat bertahan lebih lama [2]. Proses pengeringan yang umum dilakukan oleh para petani adalah dengan memanfaatkan energi panas radiasi matahari terutama untuk daerah tropis karena sumber energi panas radiasi matahari yang berlimpah, hanya saja metode pengeringan ini membutuhkan waktu yang relatif lama, sangat tergantung dengan cuaca dan kadang dapat menyebabkan kerusakan produk yang dikeringkan [3].

Pengembangan teknologi pengeringan energi surya merupakan terobosan dalam mengatasi berbagai kelemahan metode pengeringan langsung dengan sinar matahari. Salah satu teknologi pengering surya yang telah dikembangkan adalah sistem pengering energi surya tipe tak-langsung (*indirect type*) atau tipe terdistribusi. Dalam sistem ini, produk pertanian atau bahan makanan yang akan dikeringkan tidak terpapar radiasi sinar matahari secara langsung, sehingga dapat meminimalkan terjadinya perubahan warna dan retak pada permukaan produk yang dikeringkan. Di samping itu, sistem pengeringan ini juga dapat menghemat waktu pengeringan hingga 50% - 80% [4] & menawarkan temperatur optimum pengeringan yang *steady* pada suhu 45°C – 75 °C [3].

Pengembangan lebih lanjut dari pengering tipe tak-langsung adalah pengering surya konveksi alamiah yang terintegrasi dengan kolektor dan pemanas cadangan biomassa [5]. Hasil pengujian untuk proses pengeringan nanas seberat 20 kg menunjukkan bahwa pengering mampu mengurangi kadar air irisan nanas hingga 11% (db) dengan rata-rata efisiensi pengambilan kelembaban hari terakhir adalah 15%, 11% dan 13%, masing-masing dalam mode operasi solar, biomassa, dan solar-biomassa. Sistem hibrid kolektor surya tipe rak dan *solar cell* pada proses pengeringan ikan juga dilaporkan mampu menghasilkan efisiensi total 79.77 % [6]. Hasil analisis efisiensi dan efektifitas pengering surya dengan kolektor untuk proses pengeringan pisang raja *fillet* menunjukkan bahwa efisiensi kolektor sebesar 46.4% sedangkan efisiensi sistem adalah 78.73%. Kolektor memiliki efisiensi penghilangan kelembaban 77.5% yang dicapai dalam 20 jam [7]. Penggunaan *reflector* surya pada pengering surya juga mampu meningkatkan efisiensi dari 40.0% menjadi 58.5% di bawah kondisi puncak pada hari-hari biasa [8].

Pengembangan yang lebih masif terhadap pengering surya tipe tidak-langsung adalah pengering surya solar tidak langsung untuk mengeringkan jagung [9]. Pengering ini terdiri dari satu pemanas udara surya pasif kaca dengan 1 m² pelat datar tunggal sebagai pengumpul panas. Pemanas udara terhubung ke ruang pengering terisolasi yang dilengkapi dengan cerobong asap. Untuk meningkatkan efisiensi, pemanas udara dimodifikasi dengan celah udara yang lebih lebar (15 cm) untuk menampung tiga lapis *wire-mesh* penyerap antara kaca dan penyerap pelat datar. Penggunaan media penyimpan panas (*absorber*) berupa pasir juga telah dikembangkan untuk proses pengeringan anggur [10]. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan bahan penyimpan panas dalam pengujian yang dilakukan ternyata dapat mengurangi proses pengeringan 12 jam (dari 72 jam menjadi 60 jam) atau terjadi peningkatan laju pengeringan sebesar 16.67%. Untuk aplikasi temperatur rendah dapat menggunakan *absorber* air atau batu kerikil untuk mendapatkan hasil yang optimum [11].

Peningkatan laju pengeringan yang lebih agresif ditunjukkan oleh unit pengering yang dirancang dengan melibatkan dua kipas aliran aksial di saluran masuk udara untuk mempercepat dan mengontrol laju pengeringan [12]. Pada proses pengeringan pare dapat mengurangi proses pengeringan dari 11 jam menjadi 6 jam atau terjadi peningkatan laju pengeringan sebesar 45.45%. Upaya peningkatan kinerja pengering surya lainnya adalah dengan menggunakan plat *absorber* dengan permukaan bergelombang yang divariasikan. Pada penelitian ini diperoleh hasil pengering surya gelombang besar dengan efisiensi rata-rata 9.24 % memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan pengering surya gelombang kecil dengan efisiensi rata-rata 7.68 %. Pada pengering surya gelombang besar diperoleh efisiensi rata-rata pada rak 1 sebesar 1.33 %, pada rak 2 sebesar 3.83 % dan pada rak 3 sebesar 5.93 %. Pada pengering surya gelombang kecil diperoleh efisiensi rata-rata pada rak 1 sebesar 1.50 %, pada rak 2 sebesar 3.88 % dan pada rak 3 sebesar 2.30 % [13].

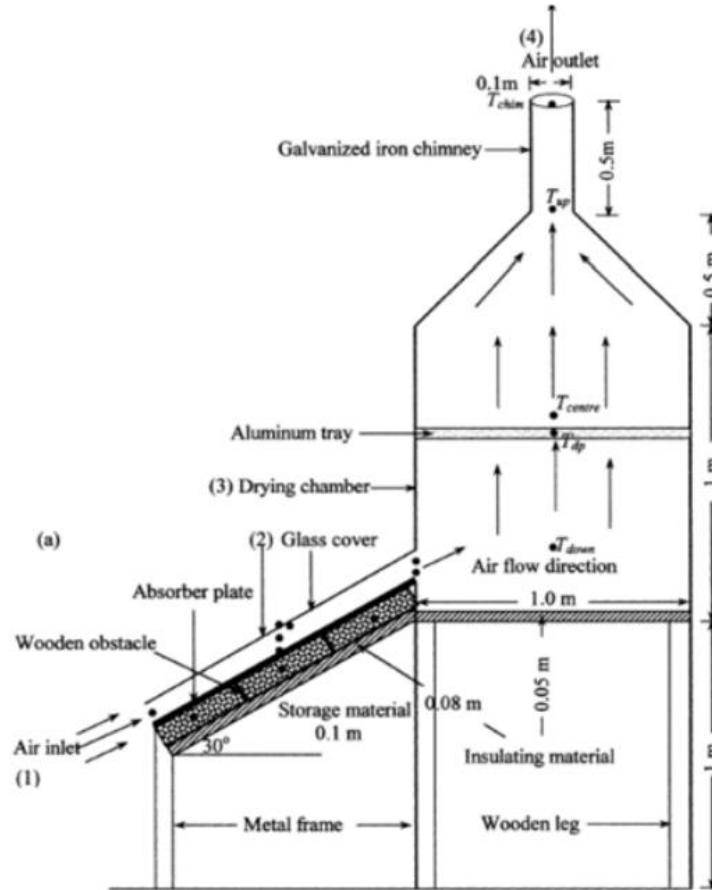
Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk melakukan rancang bangun dan modifikasi pengering surya konveksi alamiah tipe terdistribusi yang telah dikembangkan oleh El-Sebaei *et. al* [10]. Modifikasi yang dilakukan diantaranya adalah mengganti bagian atas dari ruang pengering diganti dengan kaca dan menambahkan kolektor panas dengan absorber pasir dan kerikil, sehingga terjadi dua proses pengeringan, yakni pengeringan langsung dari sinar matahari melalui kaca dan pengeringan tidak langsung melalui aliran udara panas yang melewati media penyimpan panas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data dan informasi sebagai dasar pengembangan pengering surya secara komersial dan memberikan sumbangan pemikiran kepada pengambil keputusan dalam peningkatan kualitas produk pertanian dan perkebunan.

2. Material dan Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan metode rancang bangun pengering surya konveksi alamiah tipe terdistribusi dan uji eksperimental untuk mengetahui kinerja energi dan eksergi dari pengering surya. Rancang bangun dilakukan dengan memodifikasi pengering surya yang telah dikembangkan oleh El-Sebaei *et. al* [10] seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.

Dalam rancangan ini, bagian atas dari ruang pengering diganti dengan bahan kaca dan menambahkan *absorber* kerikil dan pasir sebagai media penyerap panas pada bagian kolektor surya. Gambar 2 menunjukkan hasil rancangan unit pengering yang digunakan pada penelitian ini.

Bahan yang akan dikeringkan dalam penelitian ini adalah kacang kedelai sebanyak 1 kg yang dibagi dua masing-masing 500 g. Kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang terbuat dari *aluminium foil* yang masing-masing akan dikeringkan di dalam ruang pengering dan di luar unit pengering. Media penyimpan panas yang digunakan adalah pasir dan kerikil. Parameter yang diukur di antaranya temperatur ruang pengering, temperatur lingkungan, temperature kacang kedelai di dalam unit pengering dan temperatur kacang kedelai di luar unit pengering dan kelembaban ruang pengering. Pengujian dilakukan selama 3 jam di bawah terik matahari dimana terjadi proses penyerapan panas oleh media penyimpan panas dan 2 jam di tempat yang teduh dimana terjadi pelepasan panas oleh media penyimpan panas. Pengukuran data temperatur dilakukan setiap 15 menit. Berat kacang kedelai sebelum dikeringkan, sesudah dikeringkan selama 3 jam dan di akhir pengujian ditimbang untuk mengetahui pengurangan berat kacang kedelai selama proses pengeringan.



Gambar 1. Skema rancangan sistem pengering surya [10]



Gambar 2. Hasil rancangan unit pengering

Dalam penelitian ini perhitungan kadar air kacang kedelai yang digunakan adalah basis basah seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (1) [14].

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \quad (1)$$

Dengan M_w adalah kadar air basis basah (% bb), m_w adalah massa basah (kg) dan m_d adalah massa kering (kg). Laju pengeringan dihitung dengan Persamaan (2).

$$LP = \frac{m_{w,o} - m_{w,l}}{\Delta t} \quad (2)$$

Dengan LP adalah laju pengeringan (% bb/jam) $M_{w,o}$ adalah kadar air awal bahan (% bb) $M_{w,l}$ adalah kadar air akhir bahan (% bb) dan Δt adalah lama waktu pengeringan (jam). Efisiensi penggunaan energi dihitung dengan Persamaan (3) [15].

$$\eta_p = \frac{Q_{sp} + Q_{Uap}}{Q_s + Q_{loss}} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan η_p adalah efisiensi pengering surya, Q_{sp} adalah energi panas untuk menaikkan suhu bahan (kJ), Q_{Uap} adalah energi panas untuk penguapan air di dalam bahan (kJ), Q_s adalah radiasi energi surya sesaat (kJ) dan Q_{loss} adalah rugi-rugi panas dari pengering surya (kJ).

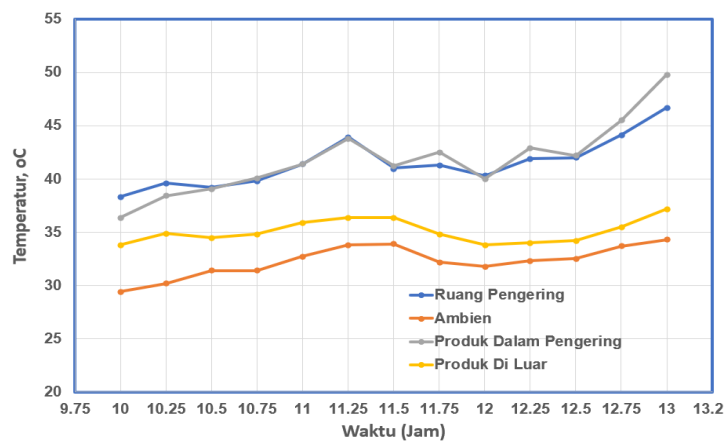
Dalam termodinamika, eksergi suatu sistem adalah kerja berguna maksimum yang mungkin dilakukan selama proses yang membawa sistem ke kesetimbangan dengan reservoir panas, mencapai entropi maksimum. Selama analisis exergi, asumsi berikut adalah [16]: (i) Alirannya stabil dan gas ideal, (ii) Potensial, energi kinetik, energi kimia, reaktif dan exergi non-reaktif diabaikan dan (iii) Perbedaan tekanan antara *inlet* dan *outlet* diasumsikan nol dan kehilangan energi produk diabaikan. Dengan demikian persamaan aliran eksergi dapat dituliskan seperti tersaji pada Persamaan (4).

$$Ex = c_{pa} \left[(T - T_o) - T_o \ln \left(\frac{T}{T_o} \right) \right] \quad (4)$$

Dengan Ex adalah aliran eksergi (kJ/kg), C_{pa} adalah panas jenis udara (kJ /kg.K), T adalah temperatur udara (K), T_o adalah temperatur lingkungan (K).

3. Hasil Pembahasan

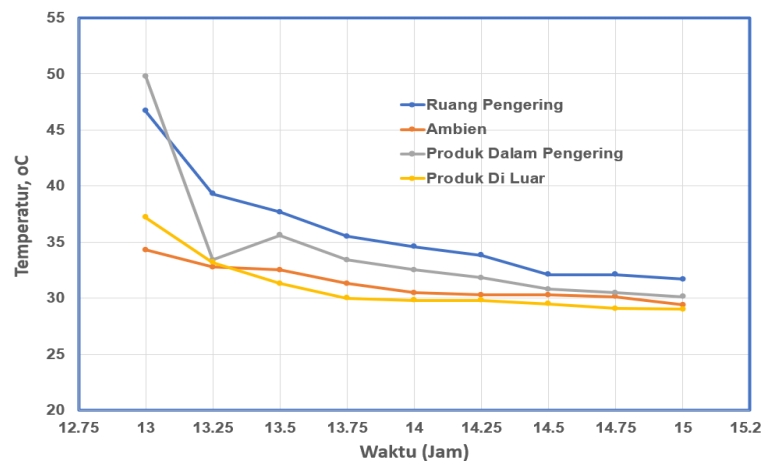
Dari serangkaian pengujian pengeringan bahan makanan berupa kacang kedelai dengan media penyimpan panas berupa pasir diperoleh hasil distribusi temperatur seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik distribusi temperatur pada proses pengeringan kacang kedelai (*charging*)

Gambar 3 menunjukkan variasi suhu sekitar dan suhu pengering dengan media penyerap panas pasir seiring waktu selama periode pengujian pengeringan (*charging*). Selama 3 jam pengujian suhu di dalam pengering bervariasi antara 38.3 °C dan 46.7 °C dengan nilai puncak 46.7 °C pada jam 13.00, Sedangkan temperatur ambien bervariasi antara 29.4 °C dan 34.3 °C dengan nilai maksimum mencapai 34.3 °C. Suhu kacang kedelai di dalam ruang pengering bervariasi antara 36.4 °C dan 49.8 °C dengan suhu maksimum mencapai 49.8 °C, sedangkan suhu kacang kedelai di luar ruang pengering bervariasi antara 33.8 °C dan 37.2 °C dengan temperatur maksimum mencapai 37.2 °C. Hal ini menunjukkan bahwa unit pengering yang dirancang mampu menaikkan temperatur *ambien* rata-rata sebesar 9.2 °C sehingga dapat mempercepat proses pengeringan.

Pengaruh penggunaan media panas pasir dalam proses pelepasan panas (*discharging*) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Distribusi Temperatur Pada Proses Pelepasan Panas (*discharging*)

Gambar 4 menunjukkan variasi suhu sekitar dan suhu pengering dengan media penyerap panas pasir seiring waktu selama periode pendinginan dimana pengering dan kacang kedelai yang dikeringkan dibawa ke tempat yang teduh. Selama 2 jam pengujian suhu di dalam pengering bervariasi antara 46.7 °C dan 31.7 °C dengan suhu terendah 31.7 °C pada jam 15.00, Sedangkan temperatur *ambien* bervariasi antara 34.3 °C dan 29.4 °C dengan suhu terendah mencapai 29.4 °C. Suhu kacang kedelai di dalam ruang pengering bervariasi antara 49.8 °C dan 30.1 °C dengan suhu terendah mencapai 30.1 °C, sedangkan suhu kacang kedelai di luar ruang pengering bervariasi antara 37.2 °C dan 29.0 °C dengan temperatur terendah mencapai 29.0 °C. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pasir sebagai media penyimpan pada unit pengering yang dirancang mampu menaikkan temperatur ambien rata-rata sebesar 4.7 °C setelah proses pengeringan di bawah terik matahari sehingga dapat memperpanjang proses pengeringan dan waktu pengeringan akan menjadi lebih singkat.

Berdasarkan pengukuran berat kacang kedelai dapat diketahui bahwa unit pengering yang dirancang dapat meningkatkan laju pengeringan (laju penguapan *moisture*) kacang kedelai 22 g/jam menjadi 24.4 g/jam atau terjadi kenaikan laju pengeringan sebesar 24.91%. Hasil ini lebih besar dari hasil pengujian yang dilakukan oleh

El-Sebaai *et. al* [10], yakni sebesar 20%. Hal ini karena lubang *inlet* dan *outlet* udara untuk proses pengeringan pada unit pengering yang digunakan dalam penelitian ini kurang besar.

Dalam penelitian ini, besarnya potensi energi maksimum yang dapat diambil dari aliran udara pada unit pengering adalah energi panas untuk menaikkan suhu kacang kedelai dan panas laten penguapan. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa besarnya perubahan eksergi aliran panas pada unit pengering mencapai 3.161721×10^5 J/kg, dan semakin besar perubahan eksergi aliran udara yang melewati unit pengering, maka laju pengeringan akan semakin meningkat. Oleh karena itu untuk meningkatkan perubahan eksergi yang besar dapat dilakukan dengan menambah aliran udara yang melewati unit pengering di antaranya dengan memperbesar lubang aliran udara di sisi *inlet* dan *outlet* atau menggunakan *blower* untuk meningkatkan aliran udara secara paksa serta mengurangi kebocoran udara.

4. Kesimpulan

Unit pengering yang dirancang dengan media penyimpan panas pasir mampu menaikkan temperatur ambien rata-rata sebesar 9.2 °C pada proses pengeringan kacang kedelai dan 4.7 °C pada proses pelepasan panas (*discharging*), sehingga dapat mempercepat proses pengeringan.. Berdasarkan pengukuran berat kacang kedelai sebelum dan sesudah proses pengeringan dapat diketahui bahwa unit pengering yang dirancang dapat meningkatkan laju pengeringan (laju penguapan moisture) sebesar 24.91% dengan efisiensi pengeringan sebesar 10,91%. Besarnya perubahan eksergi aliran panas pada unit pengering mencapai 3.161721×10^5 J/kg, dan semakin besar perubahan eksergi aliran udara yang melewati unit pengering, maka laju pengeringan akan semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sotoodeh, K. Sopian, and A. Ibrahim, Experimental studies of drying pineapple with an active indirect solar tunnel dryer in malaysia. *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.* 2021; 83(1), pp. 105–117.
- [2] P. S. Thakre, S. Deshmukh, P. Jain, M. Tech Scholar, and A. Professor, Design, fabrication and performance analysis of solar tunnel dryer using various absorber materials. *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.* 2016; 3(6), pp. 190–196.
- [3] P. Sudhakar, A review on performance enhancement of solar drying systems. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 2021; 1130(1), pp. 012042.
- [4] P. C. Phadke, P. V. Walke, and V. M. Kriplani, A review on indirect solar dryers. *ARNP J. Eng. Appl. Sci.* 2015; 10(8), pp. 3360–3371.
- [5] A. Madhlopa and G. Ngwalo, Solar dryer with thermal storage and biomass-backup heater. *Sol. Energy.* 2007; 81(4), 2007.
- [6] J. Arifin and M. Marsudi, Analisa pengering ikan air tawar dengan menggunakan sistem hybrid kolektor surya tipe rak dengan solar cell. *Info-Teknik.* 2018; 19(2), pp. 211.
- [7] A. O. Adelaja and B. I. Babatope, Analysis and testing of a natural convection solar dryer for the tropics. *J. Energy.* 2013.

- [8] S. Maiti, P. Patel, K. Vyas, K. Eswaran, and P. K. Ghosh, Performance evaluation of a small scale indirect solar dryer with static reflectors during non-summer months in the Saurashtra region of western India. *Sol. Energy*. 2011; 85(11).
- [9] H. Othieno, W. Grainger, and J. W. Twidell, Application of small scale solar crop driers to maize drying in kenya. *Energy for Rural and Island Communities*. 1982, pp. 377–386.
- [10] A. A. El-Sebaai, S. Aboul-Enein, M. R. I. Ramadan, and H. G. El-Gohary, Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer. *Energy Convers. Manag.* 2002; 43(16).
- [11] J. P. Angula and F. L. Inambao, Optimization of solar dryers through thermal energy storage: Two concepts. *Int. J. Eng. Res. Technol.* 2020; 13(10), pp. 2803–2813.
- [12] A. Sreekumar, P. E. Manikantan, and K. P. Vijayakumar, Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Convers. Manag.* 2008; 49(6).
- [13] J. Jamal, Analisis kinerja pengering surya tipe rak menggunakan heat absorber pelat gelombang dengan aliran udara natural. 2022; 20(1), pp. 1–8.
- [14] T. Panggabean, A. Neni Triana, and A. Hayati, “Kinerja Pengeringan Gabah Menggunakan Alat Pengering Tipe Rak dengan Energi Surya, Biomassa, dan Kombinasi,” *Agritech*, vol. 37, no. 2, p. 229, 2017, doi: 10.22146/agritech.25989.
- [15] D. C. K. Dipa, V. A. Koehuan, and M. M. Dwinanto1, Rancang bangun dan analisis kinerja rumah pengering kopi tipe efek rumah kaca dengan mekanisme konveksi paksa. *Lontar J. Tek. Mesin Undana*. 2021; 08(01), pp. 1–10.
- [16] V. Reddy Mugi and V. P. Chandramohan, Energy, exergy and economic analysis of an indirect type solar dryer using green chilli: A comparative assessment of forced and natural convection. *Therm. Sci. Eng. Prog.* 2021; 24, pp. 100950.