

PENGARUH KETINGGIAN CEROBONG TERHADAP UNJUK KERJA SOLAR DRYER MENGGUNAKAN PLAT ABSORBER BERGELOMBANG DENGAN EXHAUST FAN

Muhammad Ernanda Romadhon

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammadernanda.21033@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ketinggian cerobong terhadap efisiensi *solar dryer* menggunakan plat absorber bergelombang dengan exhaust fan pada pengeringan gabah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan cara melakukan pengujian pada variasi ketinggian cerobong terhadap efisiensi *solar dryer*. Hasil dari setiap pengujian dibandingkan untuk mendapatkan variasi ketinggian cerobong yang paling efisien. *Solar dryer* dirancang dengan variasi ketinggian cerobong 50 cm, 80 cm, 110 cm. Kolektor yang digunakan berukuran 1 m x 0,5 m dan menggunakan plat absorber bergelombang. Ruang pengering menggunakan penutup transparan dengan ukuran 0,5 m x 0,5 m dan tinggi 1 m. Setiap variasi diuji dengan menggunakan gabah setebal 5 cm dengan berat 10 kg, terdapat 2 rak dan 5 kg untuk tiap rak. Proses pengeringan dilakukan hingga kadar air gabah mencapai 14%. Hasil pengujian yang didapat dianalisis untuk mengetahui hasil yang paling efisien dari variasi tinggi cerobong. Hasil pada penelitian ini didapatkan efisiensi *solar dryer* tertinggi ada pada tinggi cerobong 50 cm karena peningkatan tinggi cerobong pada penelitian ini memberikan pengaruh dalam meningkatkan laju udara pengering yang mana meningkatnya laju udara pengering ini menyebabkan penurunan efisiensi pada *solar dryer*. Efisiensi pada tinggi cerobong 50 cm ini lebih tinggi sekitar 0,8% sampai 2,7% dibandingkan dengan efisiensi pada variasi tinggi cerobong yang lain.

Kata Kunci: *solar dryer*, efisiensi, cerobong

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in chimney height on the efficiency of a solar dryer using a corrugated absorber plate with an exhaust fan on grain drying. The method used in this study is an experiment by testing variations in chimney height on the efficiency of the solar dryer. The results of each test are compared to obtain the most efficient chimney height variation. The solar dryer is designed with variations in chimney height of 50 cm, 80 cm, 110 cm. The collector used measures 1 m x 0.5 m and uses a corrugated absorber plate. The drying chamber uses transparent cover with size of 0.5 m x 0.5 m and a height of 1 m. Each variation was tested using 5 cm thick grain weighing 10 kg, there are 2 racks and 5 kg for each rack. The drying process is carried out until the grain moisture content reaches 14%. The test results obtained are analyzed to determine the most efficient results from variations in chimney height. The results in this study obtained the highest solar dryer efficiency at a chimney height of 50 cm because the increase in chimney height in this study has an effect on increasing the drying air rate where the increase in drying air rate causes a decrease in the efficiency of the solar dryer. The efficiency at a chimney height of 50 cm is higher by around 0.8% to 2.7% compared to the efficiency at other chimney height variations.

Keywords: *solar dryer*, efficiency, chimney

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dan mayoritas masyarakatnya bermata pencaharian sebagai petani. Komoditas pertanian utama Indonesia salah satunya adalah padi yang menghasilkan gabah yang merupakan biji-bijian olahan untuk diubah menjadi beras. Padi merupakan salah satu komoditas hasil panen yang menjadi makanan pokok yang banyak dikonsumsi masyarakat di Indonesia (Putra & Novrinaldi, 2019). Tanaman padi dapat dijumpai hampir di seluruh wilayah di Indonesia. Produksi padi di Indonesia tahun 2024 diperkirakan sebanyak 52,66 juta ton gabah kering giling (GKG) dimana produksi pada tahun ini mengalami penurunan sebesar 1,32 juta ton GKG (2,45%) dari tahun 2023 yaitu sebanyak 53,98 juta ton GKG.

Provinsi Jawa Timur merupakan provinsi dengan total produksi padi yang tertinggi pada tahun 2024. Jika produksi padi total di tahun 2024 dikonversi menjadi beras untuk dikonsumsi maka total produksi beras di tahun 2024 sekitar 30,34 juta ton yang mana mengalami penurunan sebanyak 757,13 ribu ton beras (2,43%) dibanding tahun 2023 sebanyak 31,1 juta ton beras. Produksi beras diperoleh dari konversi hasil panen padi menjadi beras menggunakan angka konversi dari gabah ke beras dengan mempertimbangkan nilai gabah/beras yang susut atau tercecer untuk pemakaian nonpangan (Badan Pusat Statistik, 2024).

Proses pengeringan gabah termasuk proses yang penting dalam menentukan kualitas gabah karena berhubungan dengan proses penggilingan dan

penyimpanan (Putra & Novrinaldi, 2019). Proses pengeringan gabah hasil panen di Indonesia masih dilakukan secara konvensional dengan menjemur langsung dibawah sinar matahari. Dalam pengeringan hasil panen secara konvensional ini memiliki kekurangan seperti resiko terkontaminasi kotoran dan gabah yang berkurang karena dimakan hewan seperti ayam dan burung (Hanafi dkk., 2023). Pengeringan secara konvensional juga membutuhkan waktu yang lama dan tempat yang luas dan membutuhkan tenaga untuk menjaga agar gabah kering secara merata, selain itu cuaca yang tidak menentu bisa mempengaruhi pengeringan gabah sehingga harus ditutup atau diangkat yang mana ini membutuhkan waktu dan tenaga (Sari, 2017).

Salah satu cara penyelesaian dari permasalahan diatas dengan menyediakan alat pengering gabah yaitu *solar dryer*. Penggunaan alat pengering memerlukan biaya tambahan untuk investasi awal, akan tetapi pengeringan yang dilakukan dengan alat pengering dapat mengurangi resiko hasil panen yang menyusut atau *losses* (Napitu, 2016 dalam Putra & Novrinaldi, 2019). Selain itu proses pengeringan dengan alat pengering dapat mencegah gabah dari kontaminasi kotoran, debu dan lainnya (Putra & Novrinaldi, 2019).

Alat pengering pada penelitian ini menggunakan tenaga surya (*solar dryer*) dengan rak bertingkat seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Syafrun dkk. tahun 2018. *Solar dryer* terdiri dari kolektor surya untuk memanaskan udara yang masuk, ruang pengering untuk mengeringkan sampel, dan cerobong untuk jalur keluar udara. Konsep dasar *solar dryer* yaitu membiarkan aliran udara pengering melakukan kontak dengan bahan yang akan dikeringkan. Udara pengering ini berasal dari udara yang telah dipanaskan di kolektor sehingga suhunya meningkat dan memiliki kelembaban yang rendah kemudian panas dari udara yang melakukan kontak dengan bahan menguapkan air serta mengeluarkan uap air keluar dari *solar dryer* melalui cerobong sehingga menyebabkan pengurangan kadar air.

Agar dapat mempercepat waktu pengeringan, penambahan ketinggian cerobong dapat membantu dalam proses pengeringan produk. Cerobong asap adalah sebuah struktur yang digunakan untuk jalur pembuangan gas panas atau uap hasil dari pemanasan dari tungku, boiler, kompor bahkan perapian yang keluar menuju atmosfer (Siregar, 2021). Semakin tinggi cerobong, maka semakin tinggi pula perbedaan tekanan pada bagian bawah cerobong dan bagian atas cerobong, dengan kata lain semakin tinggi pula gaya dorong pembuangan gas panasnya (Karomah dkk., 2019 dalam Utami dkk., 2024).

Dari topik permasalahan di atas, tujuan pada penelitian yang dilakukan kali ini adalah mengetahui bagaimana pengaruh variasi penambahan ketinggian cerobong pada *solar dryer* dengan menggunakan *exhaust fan* terhadap kinerja *solar dryer*. Dengan kehadiran alat ini diharapkan dapat membantu petani meningkatkan kualitas hasil panen pada saat kegiatan penanganan pasca panen dengan penggunaan alat yang sederhana dan mudah digunakan. Serta dapat digunakan saat cuaca kurang mendukung agar tidak mengalami penundaan saat proses pengeringan

hingga menurunkan mutu gabah hasil pengeringan yang kurang optimal.

METODE

Jenis penelitian menggunakan Research and Development. Metode pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan eksperimen dengan mengubah variasi ketinggian cerobong 50 cm, 80 cm, 110 cm dan diamati serta mencatat hasil pengukuran yang dilakukan pada pengujian alat *solar dryer*. Penelitian diawali dengan studi literatur penelitian terdahulu, dilanjutkan dengan merancang alat pengering (*solar dryer*) dan pengujian alat pengering.

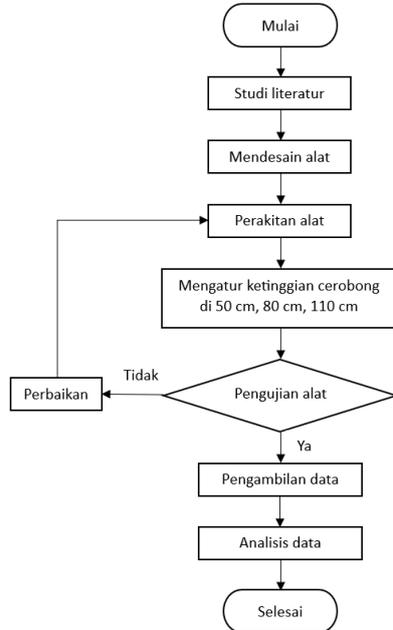
Variabel Penelitian:

- Variabel bebas
Variabel bebas merupakan variabel yang jika diubah akan memberikan perubahan atau dampak pada variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian Research and Development ini yaitu ketinggian cerobong dengan tinggi 50 cm, 80 cm, 110 cm.
- Variabel terikat
Variabel terikat yaitu variabel yang dapat berubah tergantung dari perubahan yang dilakukan pada variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian Research and Development ini yaitu efisiensi pengeringan pada *solar dryer*.
- Variabel kontrol
Variabel kontrol yaitu variabel yang sudah ditetapkan atau sama. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini yaitu ketebalan gabah yang akan dikeringkan 5 cm dan berat total 10 kg dan terdapat 2 rak, 5 kg tiap rak, plat absorber yang digunakan yaitu plat seng bergelombang besar dengan ukuran 1 m x 0,5 m dan menggunakan exhaust fan di setiap pengujiannya. Pengujian dilakukan hingga kadar air mencapai 14%.

Tempat dan Waktu Penelitian:

- Tempat
Penelitian ini berlokasi di *rooftop* lantai 4 gedung A8 Universitas Negeri Surabaya kampus Ketintang.
- Waktu
Waktu penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2025.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian Alat Solar Dryer yang Dirancang



Gambar 2. Rancangan solar dryer

Instrumen Pengumpulan Data

- **Thermometer digital**
Berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara pada bagian ruang pengering, keluar cerobong dan udara di lingkungan.
- **Solarimeter**
Digunakan untuk mengukur intensitas matahari saat pengujian berlangsung.
- **Timbangan digital**
Digunakan untuk menimbang berat gabah.
- **Moisture meter**
Untuk mengukur kadar air yang terdapat pada gabah yang diuji.
- **Anemometer**
Untuk mengukur kecepatan aliran udara bagian dalam pada ruang pengering dan kecepatan udara mengalir keluar cerobong.

Langkah Pengambilan Data

- Mempersiapkan gabah yang akan diuji sebanyak 10 kg untuk setiap dilakukannya pengujian. Pengujian dilakukan pada masing ketiga variasi tinggi cerobong. setiap variasi tinggi cerobong masing-masing

dilakukan pengujian sebanyak 3 kali. Dengan demikian total 9 kali pengujian yang dilakukan dan total gabah yang digunakan sebanyak 90 kg.

- Siapkan jam atau *stopwatch* untuk memonitoring lama waktu pengeringan dan memastikan waktu sesuai saat pengumpulan data. Data yang diambil pada pengujian ini dilakukan mulai dari jam 08:00 dengan selang waktu pengambilan datanya 30 menit hingga kadar air gabah mencapai 14%.
- Siapkan thermometer digital dan letakkan di dalam ruang pengering tepat dimana udara pengering mengalir memasuki ruang pengering dan diatas exhaust fan. Tempatkan thermometer di 3 titik secara berjejer pada posisi masuknya udara pengering dari kolektor ke ruang pengering dan tempatkan 1 thermometer di 1 titik pada atas cerobong.
- Timbang gabah dengan timbangan digital sebelum dimasukkan di setiap rak, 5 kg gabah dimasukkan pada rak 1 dan 5 kg gabahnya lagi dimasukkan pada rak 2. Sehingga total gabah yang dimasukkan solar dryer sebanyak 10 kg.
- Ukur kadar air gabah menggunakan moisture meter sebelum dimasukkan ke dalam rak 1 dan rak 2. Setelah mengukur berat dan kadar air barulah gabah dimasukkan ke dalam rak.
- Ukur laju aliran udara menggunakan anemometer di 3 titik tempat masuknya udara ke ruang pengering dari kolektor dan di 1 titik di atas exhaust fan.
- Ukur intensitas matahari menggunakan solarimeter.
- Ulangi tahap 3 sampai 7 dan catat hasil pengukuran setiap 30 menit sekali di setiap pengambilan datanya.
- Pengambilan data dilakukan hingga kadar air gabah mencapai 14%.

Rumus yang Digunakan

- $\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_{in\ total}} \times 100\%$
 Q_u merupakan energi yang digunakan untuk menguapkan air (J/s), rumus mencari Q_u :
- $Q_u = \dot{m}_w h_{fg}$
 \dot{m}_w adalah penguapan air (kg/s)
 h_{fg} adalah entalpi/kalor laten penguapan (J/kg)
- $\dot{m}_w = \frac{m_w}{3600 \cdot t}$
 m_w yaitu massa gabah yang berkurang (kg)
 t yaitu durasi dikeringkannya gabah (jam)
- $m_w = m_0 - m_1$
 m_0 adalah massa awal gabah di ruang pengering (kg)
 m_1 adalah massa akhir gabah di ruang pengering (kg)
 $Q_{in\ total}$ merupakan energi total yang diterima, menggunakan rumus berikut:
- $Q_{in\ total} = Q_{in\ kolektor} + Q_{in\ cover}$
- $Q_{in\ kolektor} = I \times A_{kolektor}$
- $Q_{in\ cover} = I \times A_{cover}$
 I adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2)
 $A_{kolektor}$ adalah luas kolektor (m^2)
 A_{cover} adalah luas penutup transparan ruang pengering (m^2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju penguapan massa air merupakan salah satu faktor dalam menentukan efisiensi pada solar dryer. Salah satu aspek yang mempengaruhi laju penguapan massa air pada proses pengeringan yaitu laju aliran udara pengering.

Tabel 1. Laju udara pengering

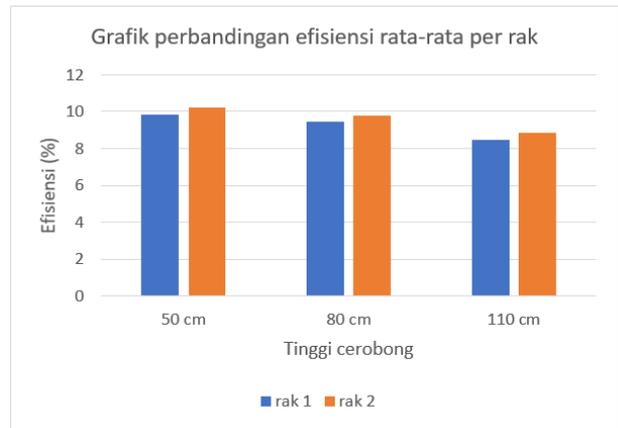
Tinggi cerobong	Laju udara ruang pengering (m/s)
50 cm	1,067222222
80 cm	1,084722222
110 cm	1,09037037

Pengaruh laju aliran udara juga sangat terlihat pada variasi tinggi cerobong. Laju aliran udara meningkat seiring bertambahnya ketinggian cerobong, dengan nilai 1,067 m/s pada cerobong 50 cm, 1,084 m/s pada cerobong 80 cm, dan 1,090 m/s pada cerobong 110 cm pada ruang pengering. Semakin tinggi cerobong, semakin kuat perbedaan tekanan antara dasar ruang pengering dan ujung cerobong, sehingga udara bergerak lebih cepat. Kecepatan udara yang tinggi mempercepat pelepasan uap air dari gabah, tetapi pada kondisi tertentu dapat menurunkan waktu kontak udara dengan bahan sehingga udara tidak dapat menguapkan air yang terkandung dalam bahan secara optimal.

Tabel 2. Laju penguapan dan efisiensi tiap rak

tinggi cerobong	laju penguapan kg/s		efisiensi rata-rata (%)	
	rak 1 (bawah)	rak 2 (atas)	rak 1 (atas)	rak 2 (bawah)
50 cm	2,28571 E-05	2,36508 E-05	9,85103 0005	10,2151 1933
80 cm	2,25214 E-05	2,33333 E-05	9,43097 0366	9,80536 5498
110 cm	2,31061 E-05	2,38889 E-05	8,47096 4102	8,87286 5018

Laju penguapan pada rak 1 dan rak 2 memperlihatkan pengaruh dari laju aliran udara pengering. Pada rak 1, laju penguapannya yaitu $2,28571 \times 10^{-5}$ kg/s (50 cm), $2,25214 \times 10^{-5}$ kg/s (80 cm), dan $2,31061 \times 10^{-5}$ kg/s (110 cm). Pada rak 2 laju penguapan lebih besar yaitu $2,36508 \times 10^{-5}$ kg/s (50 cm), $2,33333 \times 10^{-5}$ kg/s (80 cm), dan $2,38889 \times 10^{-5}$ kg/s (110 cm). Rak 2 (atas) konsisten memiliki laju penguapan yang lebih tinggi dibanding rak 1 (bawah) karena desain ruang pengering menggunakan penutup transparan posisi rak yang paling atas terkena panas dari penutup transparan dan aliran udara panas dari kolektor sedangkan rak 1 (bawah) panas yang masuk dari penutup transparan terhalangi oleh rak 2 (atas).

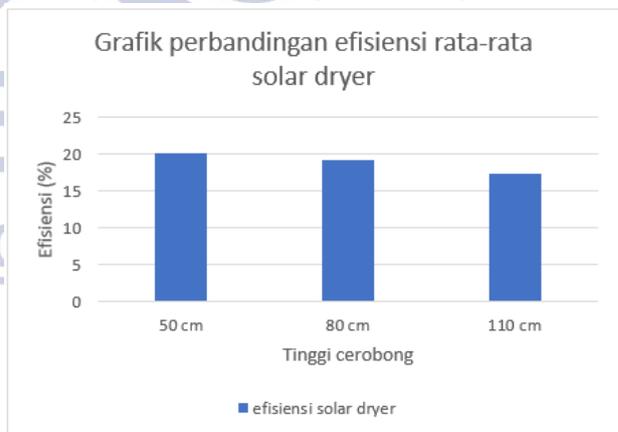


Gambar 3. Grafik perbandingan efisiensi tiap rak

Tabel 3. Perbandingan efisiensi total solar dryer

Tinggi cerobong	Qu (J/s)	Q in total (J/s)	η total (%)
50 cm	98,4600 8	501,573809 5	20,066149 33
80 cm	93,9026 4	474,662087 9	19,236335 86
110 cm	98,8847 3	564,391666 7	17,343829 12

Dapat dilihat hasil perhitungan efisiensi terbesar ada pada tinggi cerobong 50 cm dan mengalami penurunan efisiensi seiring bertambahnya tinggi cerobong. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya laju aliran udara yang mempercepat pelepasan panas ke lingkungan melalui cerobong, sehingga sebagian energi panas tidak termanfaatkan secara optimal untuk proses pengeringan. Akibatnya, efisiensi solar dryer justru menurun dari 20,06% pada cerobong 50 cm menjadi 19,23% pada cerobong 80 cm dan 17,34% pada cerobong 110 cm.



Gambar 4. Grafik perbandingan efisiensi total solar dryer

Simpulan

Pada tinggi cerobong 50 cm memiliki laju udara ruang pengering terendah yaitu 1,067 m/s dengan efisiensi tertinggi sebesar 20,06%, kemudian laju udara meningkat menjadi 1,084 m/s pada tinggi cerobong 80 cm dengan efisiensi sedikit menurun yaitu 19,23%, dan pada tinggi cerobong 110 cm memiliki laju udara tertinggi 1,09 m/s dengan efisiensi terendah yaitu 17,34%. Hal ini menunjukkan bahwa laju udara yang terlalu cepat dapat menyebabkan waktu kontak udara panas dengan bahan yang terlalu sebentar dan udara menjadi cepat berlalu sehingga panas yang tersedia belum sempat digunakan untuk menyerap kandungan air pada gabah secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin. (2021). *Karakteristik Atau Ciri-Ciri Gabah Berkualitas*. Sang Petani. <https://www.sangpetani.com/karakteristik-atau-ciri-ciri-gabah-berkualitas/>
- Afrizal, E., & Aziz, A. (2008). *Pengembangan Perangkat Pengering Surya (Solar Dryer) Jenis Pemanasan Langsung Dengan Penyimpan Panas Berubah Fasa Menggunakan Rak Bertingkat Pengembangan Perangkat Pengering Surya (Solar Dryer) Jenis Pemanasan Langsung Dengan Penyimpan Panas Berubah*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1106.7282>
- Al-Neama, M. A., & Farkas, I. (2016). Influencing of solar drying performance by chimney effect. *Hungarian Agricultural Engineering*, 30(January 2016). <https://doi.org/10.17676/hae.2016.30.11>
- Aldelina Gina Damayanti, Rosiana Ulfa, & Bagus Setyawan. (2022). Proses Pengeringan Gabah Pada Industri Pembenihan Padi Di Pt. Padi Nusantara Mangir – Rogojampi. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Ilmu Pertanian (Jipang)*, 4(1), 8–12. <https://doi.org/10.36526/jipang.v4i1.2673>
- Allo, R., Tambing, E., & Pongsapan, A. S. (2022). Karakteristik Pengering Surya Dengan Rak Bertingkat, Kolektor Sekunder Dan Exhaust Fan. *Seminar Hasil Penelitian Pengembangan Ipteks Dan Sains*, 173–182. lppm.uncen.ac.id
- Anggara, M., & Desiasni, R. (2019). Pengaruh Bentuk Permukaan Heat Absorber Plate terhadap Temperatur dan Waktu Pengeringan pada Solar Dryer Kemiri. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 28–32. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.916>
- Badan Pusat Statistik. (2024). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2024 (Angka Sementara). *Berita Resmi Statistik*, 2024(74), 1–14. <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2022/10/17/1910/pada-2022--luas-panen-padi-diperkirakan-sebesar-10-61-juta-hektare-dengan-produksi-sekitar-55-67-juta-ton-gkg.html>
- Gupta, A. (n.d.). *Handbook Of Chemical Engineering Calculations*.
- Hafizh Izzulhaq, M., & Pratiwi Septiriani, N. (2021). *Rancang Bangun Pengering Kolektor Surya Tipe Pelat Ber-Fin Sistem Konveksi Paksa Dengan Memanfaatkan Sel Fotovoltaik*.
- Hanafi, N., Alfadian, M. R., & Binurgo, E. H. (2023). Rancang Bangun Pengering Gabah Otomatis. *Jurnal EEICT (Electric Electronic Instrumentation Control Telecommunication)*, 6(1). <https://doi.org/10.31602/eeict.v6i1.10610>
- Hidayat, R. (2021). *Analisa Kinerja Alat Pengering Buah Pinang Menggunakan Energi Surya Dengan Membandingkan Pengeringan Di Bawah Sinar Matahari Secara Langsung (Tradisional)*.
- Jamal, J. (2022). Analisis Kinerja Pengering Surya Tipe Rak Menggunakan Heat Absorber Pelat Gelombang dengan Aliran Udara Natural. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 20(1), 1–8. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v20i1.3414>
- Krisna. (2023). *Gabah Kering Panen: Pengertian, Ciri-ciri dan Perbedaannya dengan Gabah Kering Giling*. Parboaboa.Com. <https://parboaboa.com/gabah-kering-panen>
- Lestari, S., & Kurniawan, F. (2021). Pemutuan Fisik Gabah dan Beras Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI). *Agriprima : Journal of Applied Agricultural Sciences*, 5(2), 159–168. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v5i2.438>
- Millati, T., Pranoto, Y., Bintoro, N., & Utami, T. (2017). Pengaruh Suhu Penyimpanan pada Gabah Basah yang Baru Dipanen terhadap Perubahan Mutu Fisik Beras Giling. *Agritech*, 37(4), 477. <https://doi.org/10.22146/agritech.12015>
- Molenaar, R. (2020). Panen Dan Pascapanen Padi, Jadung Dan Kedelai. *Eugenia*, 26(1), 17–28.
- Nurlaila, R., Zulmiardi, Safriwardy, F., & Sylvia, N. (2022). *Pengembangan Perangkat Solar Dryer Untuk Pembuatan Asam Suntidi Dusun Madat Desa Paloh Lada Kecamatan Dewantara Aceh Utara*. 5(3), 574–579.
- Perum.bulog. (2022). *perbedaan Gabah Kering Giling (GKG) dengan Gabah Kering Panen (GKP)*. Instagram. <https://www.instagram.com/perum.bulog/p/Cjza3CyrGUK/?hl=en>
- Pongsapan, A. S., & Allo, R. (2022). Karakteristik Pengering Surya (Solar Dryer) Dengan Turbin Ventilator. *Jurnal Teknik AMATA*, 3(2), 1–9. <https://doi.org/10.55334/jtam.v3i2.297>
- Putra, S. A., & Novrinaldi, N. (2019). Analisis Energi Panas Pada Alat Pengeringan Gabah Tipe Swirling Fluidized Bed. *Teknik*, 40(2), 84. <https://doi.org/10.14710/teknik.v39i3.22765>
- Rahman, M. A., Hasnain, S. M. M., Paramasivam, P., Zairov, R., & Ayanie, A. G. (2025). Solar Drying for Domestic and Industrial Applications: A Comprehensive Review of Innovations and Efficiency Enhancements. *Global Challenges*, 2400301, 1–22. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400301>
- Ridwan, K., Pujiastuti Lestari, S., Prayogatama, A., Safitri, D., & Aditya, M. (2018). Prototipe Pengering Tenaga Surya Ditinjau Dari Penggunaan Kolektor

- Termal Ganda Dan Sistem Fotovoltaik Prototype Dryer Solar in Terms of Usage Dual Collector Thermal and System Photovoltaic. *Jurnal Kinetika*, 9(01), 7–14.
<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Sari, L. J. (2017). Uji Performansi Alat Pengering Gabah Tipe Dmp-1 dengan Penambahan Batu Alor Hitam pada Ruang Kolektor dan Ruang Pengering Sebagai Penyimpan Panas. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(3), 257–264.
- Singh, R., Salhan, P., & Kumar, A. (2021). CFD Modelling and Simulation of an Indirect Forced Convection Solar Dryer. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 795(1).
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/795/1/012008>
- Siregar, A. H. (2021). Pengaruh Tinggi Cerobong Lurus Pembakaran Sampah Terhadap Kecepatan Pembakaran.
- Sugandi, W. K., P, B. M., Thoriq, A., & Rifki, F. (2021). Kajian Kebutuhan Energi Spesifik Dan Kapasitas Kerja Mesin Pengering Gabah Berbahan Bakar Kayu (Studi Kasus di Kelompok Tani Warga Mekar, Desa Tegal, Kecamatan Karawang Timur, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(1), 16.
<https://doi.org/10.23960/jtep-l.v10i1.16-25>
- Sugiyono. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*.
- Syafrun, M., Himran, S., & Piarah, W. H. (2018). Analisis Perubahan Waktu Pengeringan Terhadap Variasi Tinggi Cerobong. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 22(1), 1–8. <https://doi.org/10.25042/jpe.052018.01>
- Tumbal, N., Ludong, D. P. M., & Lengkey, L. C. C. E. (n.d.). *Modifikasi Alat Pengering Energi Surya Tipe Rak Untuk Pengeringan Bahan Pangan*.
- Utami, A. A. P., Agustin, B. P. T., Hidayah, F. N. A., & Adabiyah, S. U. (2024). Analisis Tekanan Pada Cerobong Asap Menggunakan Prinsip Hukum Bernoulli. 4(1), 495–500.
<https://doi.org/10.52562/biochephy.v4i1.1196>
- Yusuf, M., Wijaksana, H., & Astawa, K. (2018). Pengaruh Variasi Ketinggian Cerobong Pada Proses Pengeringan Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar Dengan Sirip Berlubang. 7(3), 237–244.