

PENINGKATAN KINERJA TERMAL ALAT PENGERING JAGUNG BERBASIS KOLEKTOR SURYA DENGAN MODIFIKASI GEOMETRI PELAT ABSORBER BERGELOMBANG

Usman^{1*}, Mahmuddin², Ishak Amar³, Hendi Lilih Wijayanto¹, Muhammad Alfian¹

¹ Jurusan Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali
Jl. Trans Sulawesi, Morowali, Sulawesi Tengah, 94974.

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia
Jl. Urip Sumoharjo Km. 5, Makassar, Sulawesi Selatan, 90231.

³ Jurusan Teknik Alat Berat, Politeknik Batulicin
Jl. Malewa, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan, 72271.

*Email: usmanhaya46@gmail.com

Abstrak

Modifikasi geometri pelat absorber merupakan salah satu pendekatan strategis untuk meningkatkan perpindahan panas pada kolektor surya, namun kajian eksperimental yang membandingkan secara langsung pengaruh bentuk gelombang segi empat dan setengah lingkaran terhadap kinerja sistem pengering jagung masih sangat terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh geometri pelat absorber bergelombang segi empat dan setengah lingkaran terhadap kinerja termal kolektor dan performa pengeringan jagung menggunakan metode eksperimental langsung (*direct experimental method*) di bawah kondisi radiasi matahari alami. Pengujian dilakukan terhadap 6 kg jagung dengan kadar air awal 25,5% (basis basah) selama 360 menit, dengan interval pengamatan setiap 45 menit. Parameter yang dianalisis meliputi penurunan kadar air, kecepatan udara, laju aliran massa udara (\dot{m}_a), energi panas berguna (Q_U), dan efisiensi termal kolektor (η_{th}). Efisiensi termal tertinggi dicapai pada interval pengeringan menit ke-225, yaitu sebesar 39,8% untuk pelat segi empat dan 32% untuk pelat setengah lingkaran. Hasil menunjukkan bahwa pelat absorber segi empat memberikan kinerja lebih baik dibandingkan setengah lingkaran: kadar air akhir yang dicapai sebesar 9,2% berbanding 10,8%; kecepatan udara maksimum masing-masing 0,9 m/s dan 0,8 m/s. Peningkatan performa ini dipengaruhi oleh luas permukaan efektif yang lebih besar serta turbulensi aliran yang lebih tinggi pada geometri segi empat, sehingga optimasi geometri absorber terbukti meningkatkan efektivitas sistem pengering surya.

Kata kunci: efisiensi termal, geometri absorber, kolektor surya, pengering jagung, perpindahan panas

PENDAHULUAN

Pengeringan hasil pertanian berbasis energi surya semakin berkembang sebagai solusi berkelanjutan dalam meningkatkan mutu dan stabilitas produk pascapanen. Berbagai kajian menunjukkan bahwa sistem pengering surya mampu meningkatkan efisiensi energi serta mempercepat proses pengeringan jika dibandingkan dengan metode konvensional terbuka (Babar *et al.*, 2020; Kong *et al.*, 2020; Tuncer *et al.*, 2020). Integrasi kolektor surya dengan ruang pengering terbukti meningkatkan stabilitas temperatur sekaligus menjaga kualitas produk akhir (Mehdipour *et al.*, 2020; Sözen *et al.*, 2021; Predolin *et al.*, 2022).

Kinerja sistem pengering surya sangat bergantung pada desain kolektor udara, terutama konfigurasi lintasan aliran dan bentuk pelat absorber. Studi eksperimental menunjukkan bahwa modifikasi jumlah lintasan aliran (*multi-pass*) dan perluasan luas permukaan efektif mampu meningkatkan efisiensi termal secara signifikan (Tuncer *et al.*, 2020; Kritacom, Bunchan and Luampon, 2022; Rajendran *et al.*, 2022). Selain itu, penambahan material penyimpan panas atau modifikasi struktur absorber juga berkontribusi terhadap perbaikan distribusi temperatur dan intensitas perpindahan panas (Sözen *et al.*, 2021; Behera and Mohanty, 2023; Kandukuri, Sharma and Arun, 2024).

Beragam pendekatan peningkatan performa kolektor udara surya telah dilakukan melalui optimasi geometri permukaan, penambahan turbulensi buatan, serta variasi tekstur absorber guna meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi (Naik, Prajapati and Chandramohan, 2023; Santosh *et al.*, 2023; Sebbar and Oubenmoh, 2023). Penelitian lain memperlihatkan bahwa

perubahan geometri pelat absorber berpengaruh langsung terhadap pola aliran udara, pembentukan vorteks, dan laju perpindahan panas (Lemoubou *et al.*, 2022; Ennissioui and Benghoulam, 2023; Majumder *et al.*, 2024). Bahkan, integrasi pendekatan hibrida dengan desain kolektor yang dioptimalkan mampu meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan hingga di atas 70% pada kondisi tertentu (Kandukuri, Sharma and Arun, 2024; Kumar *et al.*, 2024; Xu and Liu, 2025).

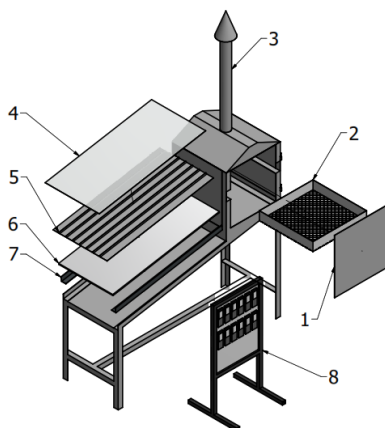
Dalam konteks pengeringan produk pertanian, stabilitas temperatur dan laju pengeringan sangat dipengaruhi oleh performa kolektor sebagai sumber energi panas utama (Maridurai *et al.*, 2021; Madhankumar and Viswanathan, 2022). Evaluasi eksperimental terbaru menunjukkan bahwa optimasi desain kolektor mampu mempercepat waktu pengeringan dan meningkatkan keseragaman kadar air akhir produk (Sheelam and Parvathy, 2024; Madhankumar *et al.*, 2026). Namun demikian, sebagian besar penelitian lebih menitikberatkan pada peningkatan efisiensi kolektor secara umum tanpa membandingkan secara spesifik pengaruh variasi geometri gelombang pelat absorber terhadap kinerja sistem pengering secara langsung.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, masih diperlukan analisis eksperimental yang secara komprehensif membandingkan dua bentuk geometri pelat absorber bergelombang, yaitu segi empat dan setengah lingkaran, dalam sistem pengering jagung. Evaluasi tidak hanya difokuskan pada efisiensi termal kolektor, tetapi juga mencakup distribusi temperatur, laju pengeringan, serta waktu pencapaian kadar air akhir. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh modifikasi geometri pelat absorber terhadap peningkatan kinerja termal kolektor surya dan performa sistem pengering jagung secara menyeluruh.

METODOLOGI PENELITIAN

Desain Sistem Pengering

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental langsung (*direct experimental method*) dengan sistem pengering surya tipe tidak langsung (*indirect solar dryer*) yang terdiri dari kolektor udara surya dan ruang pengering. Kolektor berfungsi menyerap radiasi matahari dan memanaskan udara yang kemudian dialirkan menuju ruang pengering untuk menurunkan kadar air jagung. Konfigurasi sistem mengacu pada prinsip dasar solar air heater sebagaimana digunakan dalam penelitian eksperimental sebelumnya (Tuncer *et al.*, 2020; Krittacom, Bunchan and Luampon, 2022; Rajendran *et al.*, 2022). Instalasi dapat dilihat pada Gambar 1. Instalasi Alat Pengering Jagung:

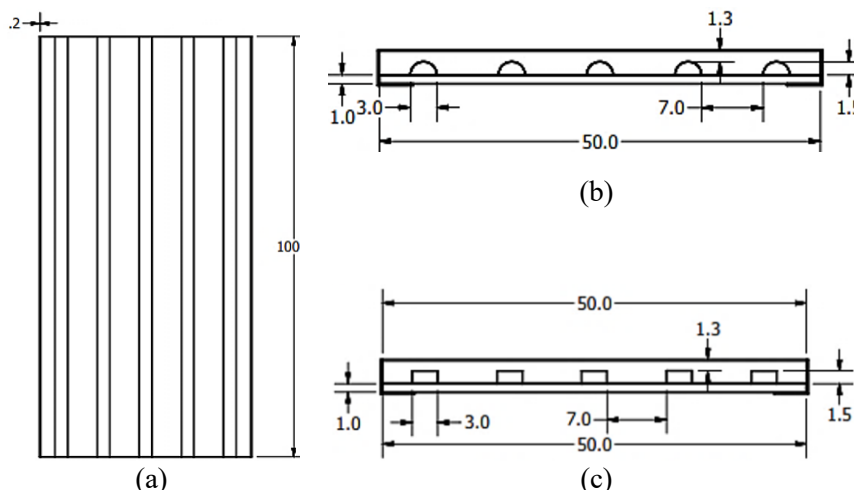


Gambar 1. Instalasi Alat pengering Jagung

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1. Penutup ruang pengering | 5. Kolektor |
| 2. Rak pengering | 6. Sterofoam |
| 3. Cerobong | 7. Dudukan siku |
| 4. Kaca | 8. Panel kontrol |

Konfigurasi sistem pengering secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1. Kolektor dirancang dengan dua variasi geometri pelat absorber bergelombang, yaitu gelombang segi empat dan gelombang setengah lingkaran. Geometri pelat absorber seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Tampak atas kolektor, (b) Kolektor setengah lingkaran, (c) kolektor segi empat

Kedua variasi memiliki dimensi luar, tebal material, dan jenis material yang sama, sehingga perbedaan performa hanya ditentukan oleh bentuk geometri gelombang. Pelat absorber segi empat memiliki luas permukaan efektif sebesar $0,72 \text{ m}^2$, sedangkan pelat setengah lingkaran memiliki luas permukaan efektif sebesar $0,68 \text{ m}^2$. Perbedaan luas permukaan ini timbul akibat perbedaan geometri gelombang yang memengaruhi panjang lintasan permukaan kontak dengan aliran udara. Modifikasi geometri absorber dilakukan untuk meningkatkan turbulensi aliran dan luas permukaan efektif perpindahan panas (Lemoubou *et al.*, 2022; Naik, Prajapati and Chandramohan, 2023; Sebban and Oubenmoh, 2023).

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan beban pengeringan berupa 6 kg jagung dengan kadar air awal 25,5% (basis basah). Proses pengeringan berlangsung pada kondisi radiasi matahari alami dengan sistem aliran udara konveksi paksa.

Parameter yang diukur meliputi:

1. Temperatur udara masuk kolektor (T_{in})
2. Temperatur udara keluar kolektor (T_{out})
3. Temperatur ruang pengering
4. Intensitas radiasi matahari (I)
5. Penurunan kadar air jagung

Pengambilan data dilakukan setiap 45 menit hingga kadar air mencapai batas aman simpan. Interval ini memungkinkan analisis transien laju pengeringan dan distribusi temperatur sebagaimana diterapkan pada studi pengering surya eksperimental sebelumnya (Maridurai *et al.*, 2021; Madhankumar and Viswanathan, 2022; Sheelam and Parvathy, 2024).

Analisis Kinerja Termal Kolektor

Efisiensi termal kolektor dihitung berdasarkan keseimbangan energi antara energi panas berguna yang diserap udara dengan energi radiasi matahari yang diterima kolektor (Sözen *et al.*, 2021; Kandukuri, Sharma and Arun, 2024). Energi panas berguna dinyatakan pada persamaan (1):

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

Sedangkan efisiensi termal kolektor dihitung menggunakan persamaan (2):

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_c I} \quad (2)$$

dengan:

- \dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s)
- C_p = kalor jenis udara (J/kg·K)
- T_{out} = temperatur udara keluar kolektor (°C)
- T_{in} = temperatur udara masuk kolektor (°C)
- A_c = luas permukaan kolektor (m²)
- I = intensitas radiasi matahari (W/m²)

Pendekatan ini umum digunakan dalam evaluasi performa *solar air heater* (Tuncer *et al.*, 2020; Rajendran *et al.*, 2022; Kandukuri, Sharma and Arun, 2024).

Analisis Laju Aliran Massa Udara Pengeringan

Laju aliran massa udara dihitung berdasarkan kecepatan udara terukur dan luas penampang cerobong keluaran menggunakan persamaan (3):

$$\dot{m}_a = \rho_{ud} \cdot A_o \cdot v_o \quad (3)$$

dengan:

- ρ_{ud} = Massa jenis udara (kg/m³)
- A_o = Luas penampang cerobong (m²)
- v_o = Kecepatan udara (m/s)

Analisis ini digunakan untuk mengevaluasi percepatan penurunan kadar air akibat variasi geometri absorber (Madhankumar and Viswanathan, 2022; Predolin *et al.*, 2022).

Analisis Perbandingan Geometri

Perbandingan kedua variasi kolektor dilakukan berdasarkan:

1. Rata-rata efisiensi termal kolektor
2. Waktu pencapaian kadar air akhir
3. Distribusi temperatur udara
4. Nilai laju pengeringan rata-rata

Pengaruh geometri terhadap turbulensi aliran dan koefisien perpindahan panas dianalisis secara kualitatif berdasarkan teori peningkatan konveksi paksa akibat perubahan bentuk permukaan (Ennissioui and Benghoulam, 2023; Santosh *et al.*, 2023; Majumder *et al.*, 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengukuran

Data hasil penelitian disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2. Tabel 1 menampilkan data hasil pengukuran langsung selama proses pengeringan jagung menggunakan dua variasi geometri pelat absorber, yaitu profil setengah lingkaran dan profil segi empat. Parameter yang diamati meliputi waktu pengeringan, intensitas radiasi matahari, kecepatan udara, kadar air, serta perubahan massa bahan yang diukur setiap interval 45 menit. Data eksperimen tersebut kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan parameter kinerja termal kolektor yang disajikan pada Tabel 2, meliputi laju aliran massa udara (\dot{m}_a), energi panas berguna (Q_U), dan efisiensi termal (η_{th}) untuk masing-masing tipe kolektor.

Tabel 1. Data hasil pengukuran

No	Pukul (jam)	Lama Pengeringan (menit)	Intensitas (W/m ²)	Kec. udara (m/s)		Kadar Air (%)		Massa (kg)	
				½ lingkaran	persegi	½ lingkaran	persegi	½ lingkaran	persegi
1	08:45	0	710	0	0	25,5	25,5	6	6
2	09:30	45	738,5	0,1	0,1	23,3	22,9	5,9	5,8
3	10:15	90	807	0,2	0,25	21,1	19,9	5,7	5,6
4	11:00	135	1177	0,3	0,4	19	17,9	5,5	5,4
5	11:45	180	1278,5	0,5	0,6	17,8	15,85	5,3	5,2
6	12:30	225	1385,7	0,8	0,9	15,7	13,9	5,1	5
7	13:15	270	1373	0,6	0,8	13,4	12,1	4,9	4,8
8	14:00	315	1266	0,55	0,65	11,7	10,3	4,7	4,6
9	14:45	360	1166,5	0,35	0,45	10,8	9,2	4,5	4,4

Tabel 2. Data hasil perhitungan

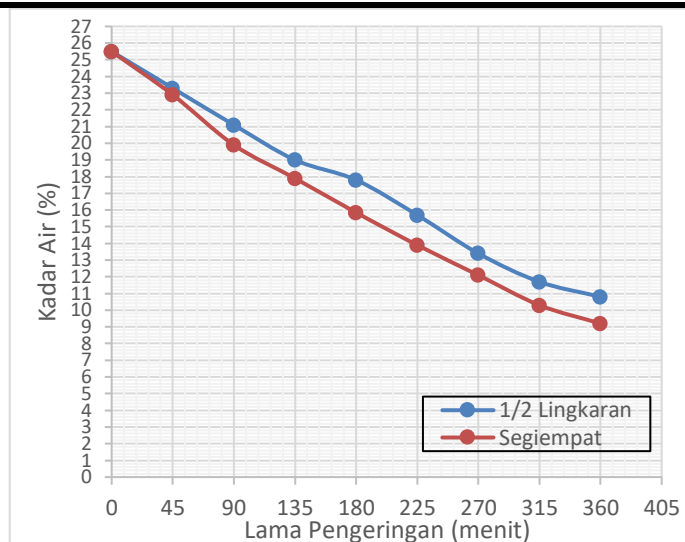
No	Pukul (jam)	Lama Pengeringan (menit)	Intensitas (W/m ²)	\dot{m}_a (kg/s)		Q_U (kJ/s)		η_{th} (%)	
				½ lingkaran	persegi	½ lingkaran	persegi	½ lingkaran	persegi
1	08:45	0	710	0	0	111	185,8	0	0
2	09:30	45	738,5	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-4}$	116	197,5	9,4	14,5
3	10:15	90	807	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	147	237,3	14,9	17,9
4	11:00	135	1177	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	292	427	23,6	29,6
5	11:45	180	1278,5	$3,06 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	335	476,8	30	33,6
6	12:30	225	1385,7	$4,91 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	389	526	32	39,8
7	13:15	270	1373	$3,67 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	366	519	29	35,3
8	14:00	315	1266	$3,35 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	317	464	24	28,3
9	14:45	360	1166,5	$2,12 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	280	413,7	15	25,5

Analisis Penurunan Kadar Air Jagung

Sebagaimana Terlihat pada Gambar 3. Grafik hubungan kadar air (%) terhadap lama pengeringan (menit) menunjukkan bahwa kadar air menurun secara bertahap seiring bertambahnya durasi pengeringan, dengan laju penurunan yang berbeda pada masing-masing geometri. Pada awal proses (0 menit), kadar air kedua perlakuan berada pada 25,5%. Setelah 225 menit, kadar air pada pelat setengah lingkaran turun menjadi 15,7%, sedangkan pelat segi empat mencapai 13,9%. Pada akhir pengeringan (360 menit), kadar air tercatat sebesar 10,8% untuk setengah lingkaran dan 9,2% untuk segi empat. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3, kurva penurunan kadar air pelat segi empat secara konsisten berada di bawah kurva setengah lingkaran, mengindikasikan laju pengeringan yang lebih tinggi sepanjang proses.

Hasil ini selaras dengan penelitian Lemoubou et al. (2022) yang menyimpulkan bahwa geometri permukaan absorber berpengaruh signifikan terhadap efisiensi perpindahan panas dan laju pengeringan bahan. Behera et al. (2023) dan Naik et al. (2023)) juga menegaskan bahwa modifikasi bentuk permukaan absorber dapat meningkatkan turbulensi udara dan memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi. Selain itu, Madhankumar et al. (2022) dan Kong et al. (2020) melaporkan bahwa peningkatan suhu dan distribusi udara panas yang lebih merata berkontribusi langsung terhadap percepatan penurunan kadar air produk pertanian.

Secara keseluruhan, perbedaan penurunan kadar air menunjukkan bahwa desain pelat segi empat memiliki kemampuan transfer panas yang lebih efektif sehingga mempercepat proses evaporasi air selama pengeringan.



Gambar 3. Grafik hubungan kadar air (%) terhadap lama pengeringan (menit)

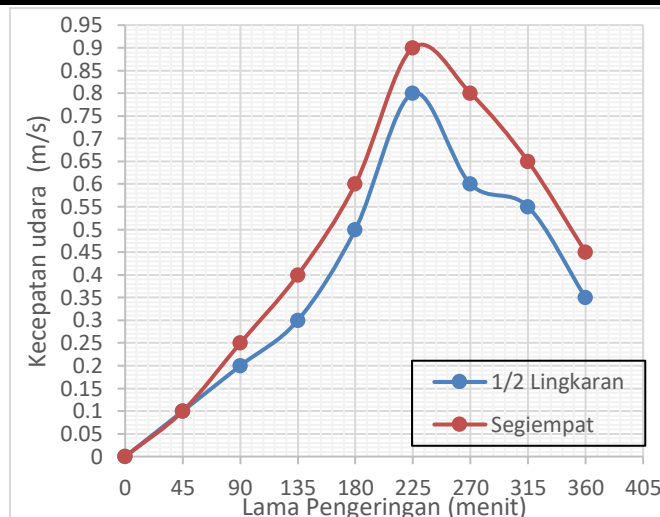
Analisis Perubahan Kecepatan Udara

Dapat dianalisa pada Gambar 4. Grafik hubungan kecepatan udara (m/s) terhadap lama pengeringan (menit) menunjukkan pola peningkatan hingga mencapai puncak pada menit ke-225, kemudian mengalami penurunan hingga akhir pengujian. Pada pelat setengah lingkaran, kecepatan udara meningkat dari 0 m/s menjadi 0,8 m/s, sedangkan pada pelat segi empat mencapai 0,9 m/s pada waktu yang sama. Setelah itu, kecepatan udara menurun menjadi 0,35 m/s (setengah lingkaran) dan 0,45 m/s (segi empat) pada menit ke-360. Seperti diperlihatkan pada Gambar 4, pelat segi empat secara konsisten menghasilkan kecepatan udara yang lebih tinggi dibandingkan pelat setengah lingkaran.

Pola peningkatan kecepatan udara pada paruh pertama pengujian disebabkan oleh meningkatnya intensitas radiasi matahari, yang mendorong kenaikan temperatur udara dalam kolektor dan memperkuat efek konveksi paksa. Penurunan kecepatan udara setelah menit ke-225 terjadi seiring dengan menurunnya intensitas radiasi matahari menjelang sore hari, yang mengakibatkan berkurangnya beda tekanan termal yang menggerakkan aliran udara. Fenomena ini konsisten dengan karakteristik radiasi surya harian yang mencapai puncak sekitar tengah hari kemudian menurun secara bertahap.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Ennissioui dan BENGHOULAM (2023) dan Majumder et al. (2024) yang menyatakan bahwa geometri absorber yang dimodifikasi dapat meningkatkan turbulensi aliran dan mempercepat distribusi udara panas di dalam kolektor. Rajendran et al. (2022) dan Tuncer et al. (2020) juga melaporkan bahwa peningkatan laju aliran udara berdampak langsung pada peningkatan perpindahan panas konveksi. Lebih lanjut, Kumar dan Sharma (2024) dalam tinjauannya menegaskan bahwa desain kolektor dengan peningkatan karakteristik aliran udara merupakan salah satu metode paling efektif untuk meningkatkan performa solar air heater.

Dengan demikian, kecepatan udara yang lebih tinggi pada pelat segi empat berkontribusi terhadap peningkatan proses perpindahan panas dan mendukung hasil penurunan kadar air yang lebih cepat.



Gambar 4. Grafik hubungan kecepatan udara (m/s) terhadap lama pengeringan (menit)

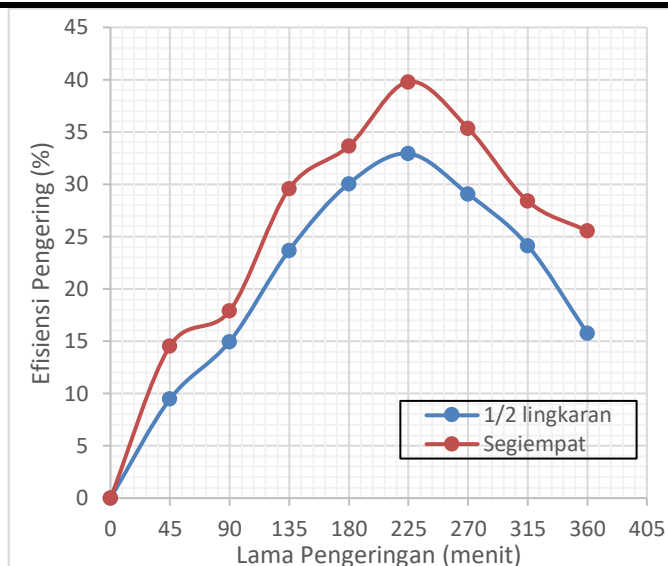
Analisis Efisiensi Termal Kolektor

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi pengeringan (%) terhadap lama pengeringan (menit), efisiensi termal kolektor meningkat dari awal proses hingga mencapai nilai maksimum pada menit ke-225, kemudian mengalami penurunan pada akhir pengeringan. Interval menit ke-225 merupakan titik optimal karena bertepatan dengan puncak intensitas radiasi matahari ($1.385,7 \text{ W/m}^2$) sekaligus kecepatan udara tertinggi, sehingga perpindahan panas dari absorber ke udara berlangsung paling efisien. Pada pelat setengah lingkaran, efisiensi maksimum tercatat sebesar 32%, sedangkan pada pelat segi empat mencapai 39,8%. Setelah itu, efisiensi menurun menjadi 15% (setengah lingkaran) dan 25,5% (segi empat) pada menit ke-360.

Penurunan efisiensi setelah titik maksimum disebabkan oleh menurunnya intensitas radiasi matahari dan berkurangnya kadar air bahan, sehingga energi yang dimanfaatkan untuk proses evaporasi menjadi lebih kecil. Nilai Q_U pada pelat segi empat secara konsisten lebih tinggi dari pelat setengah lingkaran, hal ini dipengaruhi oleh luas permukaan efektif yang lebih besar ($0,72 \text{ m}^2$ berbanding $0,68 \text{ m}^2$) serta turbulensi aliran yang lebih intens akibat geometri sudut tajam gelombang segi empat.

Hasil ini konsisten dengan penelitian Babar et al. (2020) dan Maridurai et al. (2021) yang menyatakan bahwa peningkatan desain kolektor secara langsung meningkatkan energi panas berguna (Q_U) dan efisiensi sistem pengering. Krittacom et al. (2022) serta Santosh et al. (2023) menegaskan bahwa modifikasi permukaan absorber mampu meningkatkan penyerapan radiasi dan memperbaiki performa termal kolektor. Selain itu, Sebbar et al. (2023) dan Xu et al. (2025) dalam kajiannya menyimpulkan bahwa optimalisasi geometri absorber merupakan faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi sistem pengering tenaga surya.

Penurunan efisiensi setelah titik maksimum disebabkan oleh menurunnya intensitas radiasi matahari dan berkurangnya kadar air bahan, sehingga energi yang dimanfaatkan untuk proses evaporasi menjadi lebih kecil. Secara keseluruhan, kolektor dengan pelat absorber segi empat menunjukkan performa termal dan efisiensi pengeringan yang lebih unggul dibandingkan pelat $\frac{1}{2}$ lingkaran, sehingga lebih efektif untuk aplikasi pengeringan jagung.



Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi pengeringan (%) terhadap lama pengeringan (menit)

KESIMPULAN

Penelitian eksperimental terhadap dua variasi geometri pelat absorber bergelombang, yaitu setengah lingkaran dan segi empat, menunjukkan bahwa modifikasi bentuk pelat absorber memberikan pengaruh nyata terhadap kinerja termal kolektor surya dan performa sistem pengering jagung. Kedua sistem mampu menurunkan kadar air jagung secara signifikan selama 360 menit pengeringan, namun pelat segi empat menunjukkan laju pengeringan yang lebih cepat dengan kadar air akhir 9,2% dibandingkan 10,8% pada pelat setengah lingkaran. Hal ini mengindikasikan bahwa desain segi empat lebih efektif dalam meningkatkan proses evaporasi air dan mempercepat pencapaian kadar air aman penyimpanan.

Dari aspek karakteristik aliran dan perpindahan panas, pelat segi empat menghasilkan kecepatan udara maksimum yang lebih tinggi (0,9 m/s) dibandingkan pelat setengah lingkaran (0,8 m/s), disertai nilai energi panas berguna (Q_U) yang secara konsisten lebih besar sepanjang proses. Efisiensi termal tertinggi dicapai oleh pelat segi empat sebesar 39,8% pada interval menit ke-225, sementara pelat setengah lingkaran mencapai 32%. Perbedaan ini disebabkan oleh luas permukaan efektif yang lebih besar (0,72 m² berbanding 0,68 m²) serta turbulensi aliran yang lebih tinggi pada geometri segi empat, sehingga distribusi temperatur di dalam ruang pengering menjadi lebih optimal.

Berdasarkan pertimbangan keseluruhan aspek kinerja tersebut, sistem pengering dengan pelat absorber bergelombang segi empat dinilai memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan pelat setengah lingkaran. Desain pelat segi empat dapat direkomendasikan sebagai konfigurasi yang lebih efektif dan adaptif dalam meningkatkan performa sistem pengering jagung berbasis energi surya. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pengaruh jumlah gelombang dan amplitudo terhadap kinerja sistem pengering.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia serta Ketua Program Studi Teknik Perawatan Mesin Politeknik Industri Logam Morowali atas dukungan dan penyediaan fasilitas laboratorium yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang telah direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Babar, O.A. *et al.* (2020) "Design and performance evaluation of a passive flat plate collector solar dryer for agricultural products," *Journal of Food ...* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13484>.

Behera, D.D. and Mohanty, R.C. (2023) "Thermal performance of a hybrid solar dryer through experimental and CFD investigation," *Journal of Food Process ...* [Preprint].

Available at: <https://doi.org/10.1111/jfpe.14386>.

Ennissiou, J. and Benghoulam, E. (2023) "Three-dimensional computational fluid dynamics modeling using the RANS approach of indirect-type solar dryers based on smooth and corrugated absorber plates," ... *of Thermal* ... [Preprint]. Available at: <https://asmedigitalcollection.asme.org/thermalscienceapplication/article-abstract/15/12/121008/1166549>.

Kandukuri, K.S., Sharma, P.K. and Arun, R.K. (2024) "A comparative assessment of distributive mode active solar dryers: Flat plate collector vs evacuated tube collector with thermal energy storage and perforated baffled ...," *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X24001154>.

Kong, D. *et al.* (2020) "Experimental study of solar photovoltaic/thermal (PV/T) air collector drying performance," *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20309063>.

Krittacom, B., Bunchan, S. and Luampon, R. (2022) "Heat transfer enhancement of solar collector by placing wire mesh stainless porous material on the solar absorber plate of indirect forced convection solar dryer," *Thermal Science and Engineering* ... [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2451904922001111>.

Kumar, R. *et al.* (2024) "Thermal and effective assessment of solar thermal air collector with roughened absorber surface: an analytical examination," ... *Journal of Low* ... [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctae056/7656036>.

Lemoubou, E.L. *et al.* (2022) "Thermal analysis of the effect of absorber plate geometric parameters on the dynamic of an indirect type solar dryer," ... *of Thermal* ... [Preprint]. Available at: <https://asmedigitalcollection.asme.org/thermalscienceapplication/article-abstract/14/12/121003/1143136>.

Madhankumar, S. *et al.* (2026) "Thermal and environmental assessment of a solar dryer with phase change material and enhanced absorber plates," *Journal of Energy* ... [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X26007097>.

Madhankumar, S. and Viswanathan, K. (2022) "Computational and experimental study of a novel corrugated-type absorber plate solar collector with thermal energy storage moisture removal device," *Applied Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261922010339>.

Majumder, P. *et al.* (2024) "Design and assessment of an adapted absorber solar air collector tailored for sustainable drying applications," *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X24006972>.

Maridurai, T. *et al.* (2021) "Investigation of fin geometries impact on thermal efficiency of solar dryer," *Materials Today* ... [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321020514>.

Mehdipour, R. *et al.* (2020) "Geometry modification of solar collector to improve performance of solar chimneys," *Renewable Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148120312271>.

Naik, N. V., Prajapati, S. and Chandramohan, V.P. (2023) "Impact of dimensions and optimized dimensions of corrugation of solar air heater for an indirect solar dryer for better heat transfer," *Thermal Science and* ... [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245190492300269X>.

Predolin, R.E. *et al.* (2022) "An experimental and numerical investigation of absorber positioning in a natural convection solar drying system," *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X22005588>.

Rajendran, V. *et al.* (2022) "Experimental study on the thermal performance of a solar

air heater integrated with multi-geometry arrangements over the absorber plate,” ... *Science and Pollution* ... [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18830-x>.

Santosh, R. *et al.* (2023) “Effect of geometric variation and solar flux distribution on performance enhancement of absorber tube thermal characteristics for compound parabolic collectors,” *Renewable Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148123005037>.

Sebbar, E.H. and Oubenmoh, S. (2023) “Optimization of geometrical parameters of a solar collector coupled with a thermal energy storage system,” ... *of Thermal* ... [Preprint]. Available at: <https://asmedigitalcollection.asme.org/thermalscienceapplication/article-abstract/15/9/091007/1163552>.

Sheelam, S. and Parvathy, C.V. (2024) “Solar air collector with right-angle triangle corrugations for an indirect type solar dryer for enhancement in performance: S. Sheelam, C. Velayudhan Parvathy,” ... *of Thermal Analysis and Calorimetry* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12680-6>.

Sözen, A. *et al.* (2021) “Thermal performance improvement of an indirect solar dryer with tube-type absorber packed with aluminum wool,” *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X21001316>.

Tuncer, A.D. *et al.* (2020) “Thermal performance analysis of a quadruple-pass solar air collector assisted pilot-scale greenhouse dryer,” *Solar Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X20304059>.

Xu, G. and Liu, H. (2025) “Efficiency analysis of solar drying system integrated with flat-plate solar collector and thermal storage units,” *Renewable Energy* [Preprint]. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148125002319>.