

STUDI NUMERIK KOMPARASI MODEL GEOMETRI ABSORBER TERHADAP KINERJA TERMAL SISTEM PENGERING PASCAPANEN

Jumriadi^{1,*}, Sitti Nur Isnian²

¹ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.

² Jurusan Penyuluhan Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Halu Oleo, Kampus Hijau Bumi Tridharma, Kendari, 93231, Sulawesi Tenggara, Indonesia.

* **Corresponding Author:** jumriadi@unsrat.ac.id

To cite this article:

Jumriadi, J., & Isnian, S. N. (2026). Studi Numerik Komparasi Model Geometri Absorber terhadap Kinerja Termal Sistem Pengering Pascapanen. *JIIKPP (Jurnal Ilmiah Inovasi dan Komunikasi Pembangunan Pertanian)*, 5 (3), 460 – 468. <http://doi.org/10.56189/jiikpp.v5i3.93>

Received: 1 Mei 2026; **Accepted:** 22 Juli 2026; **Published:** 30 Juli 2026

ABSTRACT

Solar-based post-harvest drying is a sustainable solution to improve the quality and shelf life of agricultural products in tropical regions. The thermal performance of solar drying systems is strongly influenced by the absorber geometry as the main heat-absorbing component. This study aims to analyze the effect of absorber geometry variation on the thermal performance of a solar collector for post-harvest drying applications. A numerical approach based on Computational Fluid Dynamics (CFD) was employed using ANSYS Fluent under steady-state airflow conditions and uniform heat flux. Three copper absorber configurations were investigated: flat plate, 6-fin absorber, and 12-fin absorber. The evaluated parameters include temperature distribution, outlet air temperature, and inlet pressure. The results indicate that finned absorbers significantly enhance outlet air temperature compared to the flat-plate configuration, with the 12-fin absorber providing the highest thermal performance at the expense of increased pressure drop. These findings highlight a trade-off between thermal enhancement and airflow resistance. The study implies that absorber geometry optimization is an effective strategy to improve solar collector performance for post-harvest drying systems.

Keywords: *Solar Collector, Finned Absorber, Post-Harvest Drying, CFD.*

PENDAHULUAN

Di negara-negara beriklim tropis, proses pengeringan dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan yang melimpah dan ramah lingkungan adalah metode paling populer yang digunakan dalam penanganan pascapanen untuk mempertahankan kualitas produk dan memperpanjang umur simpan produk karena dianggap berbiaya rendah (Kindi et al., 2023).

Hingga saat ini, pengeringan hasil pertanian dan perikanan di negara-negara berkembang termasuk Indonesia, masih didominasi oleh metode pengeringan terbuka (open sun drying). Meskipun sederhana dan murah, metode ini memiliki berbagai keterbatasan seperti tidak adanya sistem kontrol suhu, ketidakmerataan dalam proses pengeringan, terpapar berbagai kotoran dan debu, ketergantungan terhadap cuaca serta tidak terlindung dari hujan (Handika, 2020). Keterbatasan tersebut berdampak langsung pada penurunan mutu produk dan tingginya potensi kehilangan hasil.

Olehnya itu, diperlukan pengembangan sistem pengering yang lebih efisien dan terkontrol guna mendukung pertanian berkelanjutan. Sistem pengering yang andal, tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kualitas dan keamanan pangan, tetapi juga mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs)

khususnya tujuan ke-2 (zero hunger), melalui penerapan teknologi pascapanen yang lebih efektif dan berkelanjutan (Rahman et al., 2025).

Salah satu teknologi yang dinilai mampu mengatasi permasalahan tersebut adalah indirect solar dryer (ISD). Sistem ini umumnya terdiri atas kolektor surya atau absorber dan ruang pengering (drying cabinet) dimana proses pemanasan udara berlangsung secara tidak langsung. Dalam sistem ini, absorber berperan sebagai komponen utama yang menyerap radiasi matahari dan mengkonversinya menjadi energi panas, kemudian mentransfer panas tersebut ke udara pengering yang dialirkan menuju ruang pengering. Karakteristik absorber, baik dari sisi geometri maupun material secara langsung memengaruhi distribusi suhu, laju perpindahan panas, serta kenaikan temperature udara yang masuk ke dalam sistem pengering (Azizah, 2020; Hadi & Tety Rachmawati, 2021; Cipta, 2025).

Absorber merupakan elemen kunci dalam kolektor surya karena berperan sebagai komponen yang menyerap energi radiasi dan mentransfernya ke fluida kerja (udara) melalui perpindahan panas konduksi dan konveksi. Pada sistem solar air collector, permukaan absorber yang sederhana seperti pelat datar mampu menaikkan temperature udara kerja, namun efisiensi transmisi panas ini sering dibatasi oleh luas permukaan yang tersedia dan interaksi aliran fluida pada boundary layer. Simulasi numerik 3-D menunjukkan distribusi temperature dan aliran udara dapat diprediksi secara akurat serta membantu dalam desain absorber yang efisien untuk pengeringan produk pertanian (Kindi et al., 2023; Fidelli et al., 2025).

Pengembangan geometri absorber dengan menambahkan struktur tambahan seperti sirip telah terbukti secara teoritis dan numerik meningkatkan laju perpindahan panas dari permukaan absorber ke fluida. Penelitian numerik pada kolektor surya memperlihatkan bahwa penambahan berbagai bentuk sirip atau modifikasi permukaan absorber dapat menghasilkan peningkatan koefisien perpindahan panas konvektif (heat transfer coefficient) serta Nusselt number dibandingkan permukaan pelat datar. Studi pada kolektor surya dengan permukaan sinusoidal dan fin menunjukkan bahwa geometri permukaan yang dimodifikasi dapat meningkatkan distribusi temperature dan mempromosikan turbulensi lokal yang memperkuat interaksi antara udara dan permukaan absorber (Prasetyo, 2021; Basem et al., 2025; Sulthan, 2025).

Penelitian eksperimental yang dilakukan (Chabane, 2014; Sulthan, 2025; Amar et al., 2026) pada solar air heater memperkuat temuan numerik bahwa penambahan sirip pada permukaan absorber meningkatkan laju perpindahan panas dan efisiensi termal kolektor. Dalam studi tersebut, solar air heater dengan sirip menunjukkan peningkatan temperature udara outlet dan efisiensi termal dibandingkan desain tanpa sirip, disebabkan oleh perluasan luas permukaan efektif dan peningkatan pengadukan aliran udara di sepanjang saluran collector. Selain meningkatkan perpindahan panas, penggunaan sirip dalam kolektor sering dikaitkan dengan meningkatnya pressure drop akibat perubahan arah aliran dan hambatan tambahan di dalam saluran udara. Literatur numerik menunjukkan bahwa desain sirip yang lebih kompleks cenderung memperbesar pressure drop sehingga terjadi trade-off antara peningkatan distribusi panas dan kebutuhan energi dorong aliran udara (Selviyanty & Abu, 2024; Afrizal, 2025; Donga et al., 2025;). Dalam desain kolektor untuk aplikasi pengeringan pascapanen, pemilihan geometri absorber perlu mempertimbangkan gabungan peningkatan kinerja termal dengan dampaknya terhadap resistensi aliran agar sistem tetap efisien dari sisi energi dan termal.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa absorber plat datar merupakan konfigurasi yang paling sederhana dan banyak digunakan pada sistem pengering surya karena kemudahan fabrikasi dan biaya relatif rendah. Namun demikian, konfigurasi ini memiliki keterbatasan dalam penyerapan panas karena luas permukaan yang terbatas sehingga banyak panas yang tidak bisa dimaksimalkan dan terbuang percuma. Oleh karena itu, pengembangan model geometri absorber seperti penggunaan absorber tipe sirip menjadi pendekatan yang banyak dikaji untuk memperbesar luas permukaan kontak panas dan meningkatkan intensitas turbulensi aliran udara, sehingga perpindahan panas konvektif dapat ditingkatkan (Arunkumar et al., 2020; Biksono, 2022; Vengadesan et al., 2024).

Meskipun berbagai studi telah membahas modifikasi geometri absorber pada sistem pengering surya, sebagian besar penelitian masih didominasi oleh pendekatan eksperimen atau model termal sederhana. Pendekatan tersebut umumnya memerlukan biaya dan waktu yang relative besar serta memiliki keterbatasan dalam mengamati fenomena aliran dan distribusi suhu secara detail. Oleh karena itu, studi numerik berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) menjadi alternatif yang efektif untuk menganalisis pengaruh variasi model geometri absorber terhadap kinerja termal dan karakteristik aliran udara secara lebih mendalam pada sistem pengering pascapanen. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini secara khusus mengevaluasi pengaruh

jumlah sirip absorber terhadap kinerja termal menggunakan pendekatan CFD tiga dimensi dengan parameter geometri yang terkontrol.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan studi numerik yang bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh model geometri absorber terhadap kinerja termal sistem pengering pascapanen berbasis energi surya. Analisis difokuskan pada evaluasi karakteristik perpindahan panas dan aliran udara di dalam kolektor surya sebagai bagian utama dari sistem pengering. Pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan untuk memodelkan fenomena aliran udara dan perpindahan panas di dalam kolektor surya dengan variasi geometri absorber. Simulasi numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent yang memungkinkan analisis distribusi temperature, pola aliran udara, serta parameter kinerja termal secara lebih detail dan komprehensif.

Desain Sistem Pengering Surya

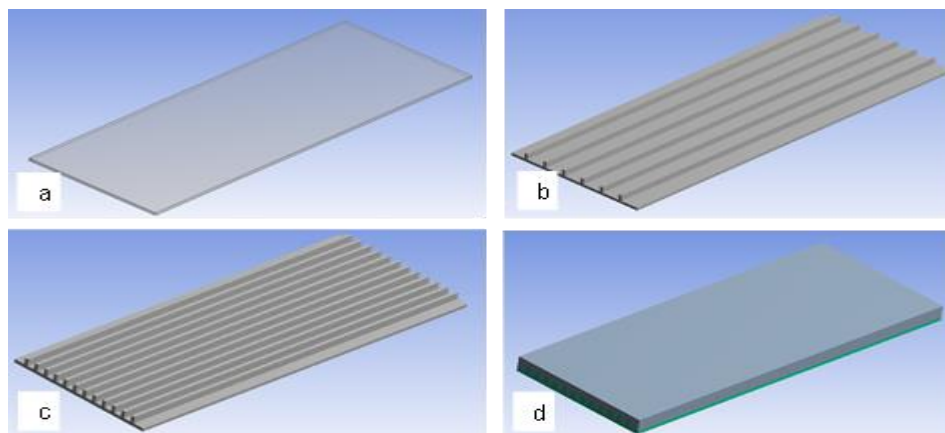
Sistem pengering yang dikaji merupakan indirect solar dryer (ISD) dimana proses pemanasan udara terjadi di dalam kolektor surya sebelum udara panas dialirkan ke ruang pengering. Fokus penelitian diarahkan pada bagian kolektor surya (absorber) sebagai komponen utama dalam konversi energi radiasi matahari menjadi energi panas. Variasi desain absorber yang dianalisis meliputi: (1) Absorber pelat datar, (2) Absorber tipe sirip dengan 6 sirip, dan (3) Absorber tipe sirip dengan 12 sirip.

Seluruh konfigurasi absorber menggunakan material tembaga, sehingga pengaruh sifat termofisika material terhadap kinerja termal dapat dieliminasi. Dengan pendekatan ini, perbedaan kinerja termal yang diperoleh secara langsung mempresentasikan pengaruh variasi geometri dan jumlah sirip absorber terhadap distribusi suhu, karakteristik aliran udara serta peningkatan temperature udara kolektor.

Untuk menjaga validitas perbandingan, seluruh parameter geometris lainnya yang meliputi dimensi kolektor, ketebalan plat absorber, tinggi saluran udara, serta posisi penutup kaca dibuat identic pada setiap model simulasi. Selain itu, kondisi batas dan parameter operasi yang diterapkan pada simulasi CFD juga disamakan sehingga analisis komparatif dapat dilakukan secara objektif dan terkontrol.

Desain Geometri Absorber dan Penutup Kolektor

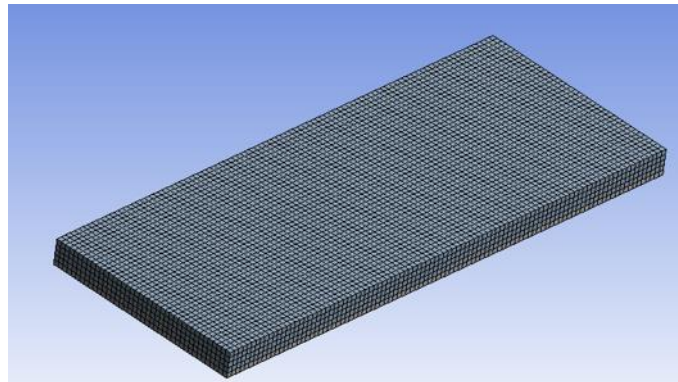
Absorber dimodelkan dengan Panjang 40 cm dan ketebalan 1 cm. pada konfigurasi absorber tipe sirip, digunakan 12 buah sirip yang tersusu merata diatas permukaan absorber. Setiap sirip memiliki tinggi 2 cm dan lebar 1 cm. dengan orientasi sejajar arah aliran udara untuk meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan intensitas turbulensi aliran. Sebagai penutup kolektor surya, digunakan material kaca semi-transparan. Kaca ini berfungsi untuk memungkinkan transmisi radiasi matahari menuju permukaan absorber sekaligus mengurangi kehilangan panas ke lingkungan. Jarak antara permukaan absorber dan kaca penutup ditetapkan sebesar 4 cm yang sekaligus membentuk saluran aliran udara pengering di dalam kolektor. dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Model absorber dengan tiga jenis model yakni a.) Kolektor tipe pelat, b). Kolektor tipe 6 sirip, c). Kolektor tipe 12 sirip, d). Absorber dengan penutup kaca

Pemodelan Geometri dan Diskretisasi Mesh

Pemodelan geometri tiga dimensi dilakukan menggunakan ANSYS Design Modeler. Domain fluida dan solid dimodelkan secara terpisah untuk merepresentasikan aliran udara dan konduksi panas pada absorber serta kaca penutup (Agustina & Syuhada, 2015). Proses diskretisasi dilakukan menggunakan kualitas high dengan elemen mesh 0.01.



Gambar 2. Mesh pada absorber

Asumsi dan Model Fisis

Simulasi numerik dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa asumsi untuk menyederhanakan permasalahan tanpa mengurangi representasi fisis utama sistem pengering surya, yaitu: 1) Aliran udara di dalam saluran kolektor bersifat *steady-state*, 2) Perpindahan panas yang terjadi meliputi konduksi pada material padat dan konveksi antara absorber dan udara pengering, 3) Sifat termofisika material dan fluida dianggap konstan selama proses simulasi, 4) Tidak terjadi perubahan fase fluida, 4) Radiasi matahari dimodelkan sebagai fluks panas seragam yang bekerja pada permukaan absorber

Penerapan asumsi-asumsi tersebut memberikan beberapa implikasi terhadap hasil simulasi. Asumsi aliran *steady-state* memungkinkan diperolehnya distribusi suhu dan kecepatan aliran yang stabil, sehingga analisis dapat difokuskan pada kondisi operasi tunak sistem. Pembatasan mekanisme perpindahan panas hanya pada konduksi dan konveksi dianggap memadai karena kedua mekanisme tersebut dominan dalam sistem pengering surya tipe kolektor. Sementara itu, anggapan sifat termofisika yang konstan serta tidak terjadinya perubahan fase fluida menyederhanakan persamaan governing tanpa menimbulkan deviasi signifikan terhadap perilaku termal sistem. Adapun pemodelan radiasi matahari sebagai fluks panas seragam pada permukaan absorber merupakan pendekatan yang umum digunakan untuk memperoleh gambaran umum kinerja termal, meskipun pada kondisi nyata intensitas radiasi bersifat tidak seragam. Secara keseluruhan, asumsi-asumsi yang digunakan masih mampu merepresentasikan karakteristik fisis utama sistem dan menghasilkan prediksi yang konsisten dengan prinsip-prinsip perpindahan panas yang berlaku.

Kondisi Batas dan Parameter Simulasi

Kondisi batas yang diterapkan pada domain simulasi ditetapkan sebagai berikut:

- Inlet udara: kecepatan udara konstan 0.1 m/s dengan temperature udara lingkungan.
- Outlet udara: Kondisi pressure outlet pada tekanan atmosfer.
- Permukaan absorber: diberikan fluks panas seragam yang mempresentasikan intensitas radiasi matahari.
- Dinding saluran dan penutup kaca: kondisi no-slip
- Dinding luar kolektor: diasumsikan adiabatic, sehingga kehilangan panas ke lingkungan diabaikan.

Properti Material

Material absorber yang digunakan dalam seluruh variasi model adalah tembaga, dengan tujuan mengisolasi pengaruh geometri absorber terhadap kinerja termal system (Fahrudin & Firdaus, 2024). Tembaga dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang tinggi sehingga mampu mendistribusikan panas secara lebih merata pada permukaan absorber. Penutup kolektor menggunakan kaca semi transparan, yang dimodelkan

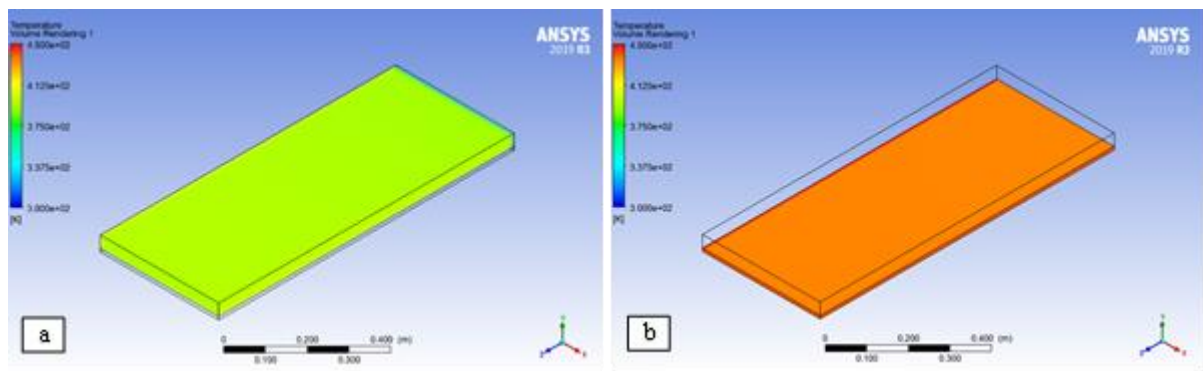
sebagai material padat dengan property termal konstan. Nilai property termofisika udara, tembaga, dan kaca diambil dari literatur standar serta basis data material pada perangkat lunak ANSYS Fluent.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik memberikan gambaran yang jelas mengenai pengaruh variasi model geometri absorber terhadap kinerja termal sistem pengering pascapanen. Pada semua model, temperatur rata-rata udara inlet ditetapkan sebesar 300 K, sehingga perbandingan kinerja termal dapat ditelaah secara adil antar variasi geometri.

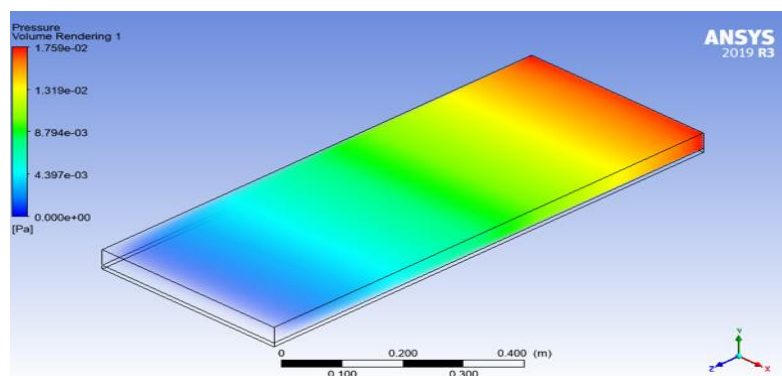
Absorber Pelat Datar

Pada model absorber pelat datar, dimana permukaan penyerap memiliki profil sederhana tanpa sirip tambahan, hasil simulasi menunjukkan bahwa temperature udara outlet meningkat secara signifikan dibandingkan inlet. Temperatur outlet tercatat rata-rata mencapai 395,896 K disertai temperature kaca penutup 396,663 K dan temperature kolektor 434,045 K sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Hal ini menunjukkan bahwa geometri pelat datar mampu mengakumulasi energi panas radiasi matahari, namun karena luas permukaan perpindahan panas terbatas, efisiensi pemindahan panas dari permukaan ke udara masih belum optimal.



Gambar 4. a.) Distribusi temperatur pada kaca penutup dan b.) Temperatur pada pelat datar

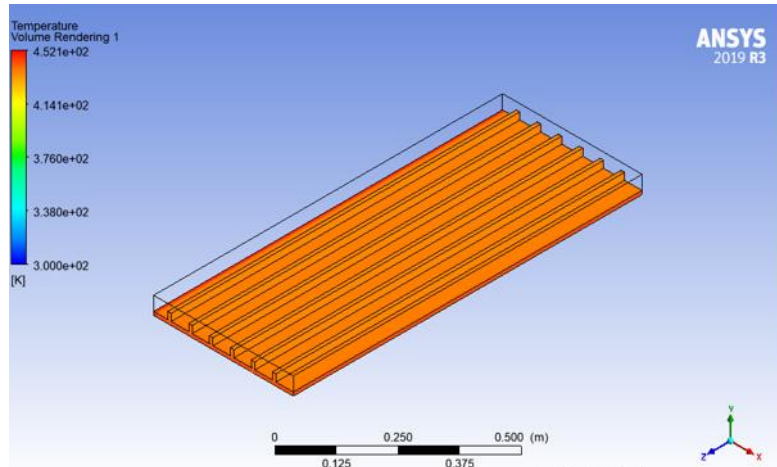
Perbedaan temperature outlet yang dicapai oleh pelat datar konsisten dengan studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa konfigurasi permukaan absorber yang sederhana tetap mampu menaikkan temperature udara pengering, tetapi belum optimal dalam hal distribusi panas dan peningkatan laju perpindahan panas dibandingkan dengan desain yang dimodifikasi yang meningkatkan luas area kontak dan turbulensi aliran udara (Priyadi et al., 2024; Basem et al., 2025). Tekanan inlet pada model ini dicatat sebesar 0,0a7 Pa sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5, yang menggambarkan resistensi aliran rendah akibat tidak adanya gangguan geometri tambahan di permukaan absorber.



Gambar 5. Distribusi tekanan pada absorber

Absorber Tipe sirip (6 sirip)

Penerapan sirip sepanjang permukaan absorber meningkatkan kinerja termal sistem dibandingkan pelat datar. Pada konfigurasi 6 sirip, temperature outlet udara meningkat menjadi 414,152 K, temperature kaca 414,957, dan temperature kolektor 436,35 K sebagaimana ditunjukkan gambar 7. Peningkatan suhu ini menunjukkan bahwa penambahan sirip berhasil memperbesar luas permukaan yang bersentuhan dengan udara panas, sehingga konveksi dipromosikan dan panas lebih efektif dipindahkan dari absorber ke aliran udara.

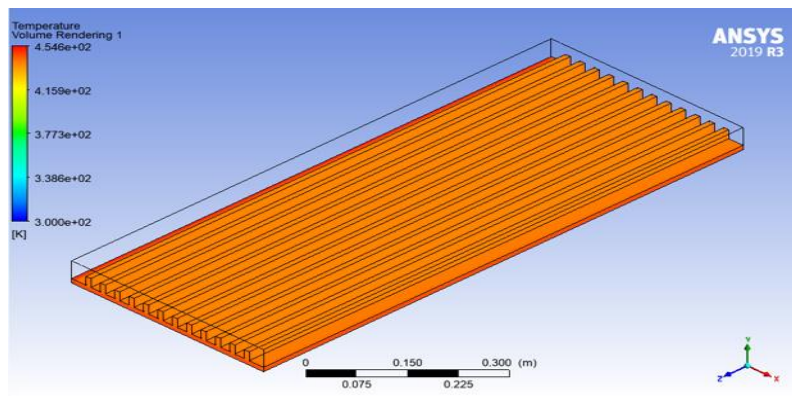


Gambar 7. Distribusi temperatur pada kolektor 6 sirip

Fenomena peningkatan temperature sebagai efek peningkatan luas permukaan ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa penggunaan sirip atau modifikasi permukaan absorber dapat secara signifikan meningkatkan laju perpindahan panas dan efisiensi termal kolektor surya dibandingkan konfigurasi pelat datar (Vengadesan et al., 2024). Pada model ini, tekanan inlet meningkat menjadi 0,0239 Pa, yang menunjukkan adanya peningkatan pressure drop akibat hambatan kecil yang timbul dari sirip. Meskipun demikian, dampaknya masih berada dalam rentang yang wajar untuk sistem aliran internal.

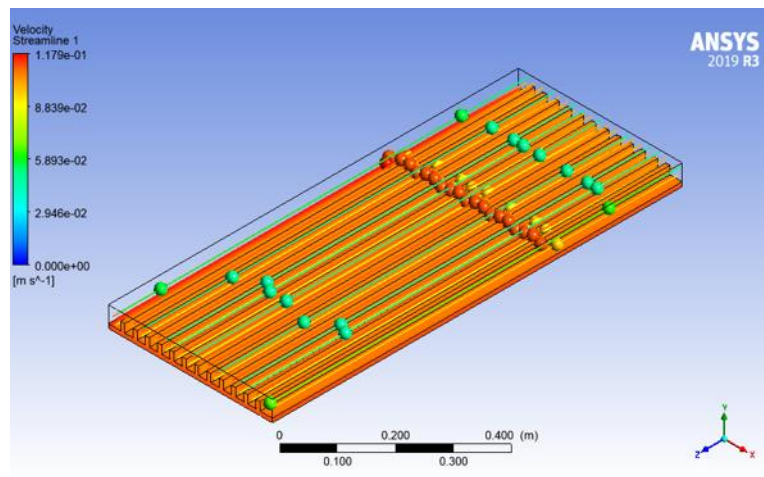
Absorber tipe sirip (12 sirip)

Lebih lanjut, model absorber dengan 12 sirip menunjukkan kinerja termal tertinggi di antara ketiga variasi sinematik yang dianalisis. Temperatur outlet udara tercatat mencapai 423,445 K, temperature kaca 424,416 K, dan temperature kolektor 439,083 K sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8, ini menunjukkan peningkatan yang konsisten ketika jumlah sirip diperbanyak yang berimplikasi pada luas permukaan absorber sehingga perpindahan panas dari permukaan absorber ke aliran udara lebih efisien.



Gambar 8. Distribusi temperatur pada absorber sirip 12

Hasil ini konsisten dengan laporan numerik yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sirip dapat meningkatkan distribusi temperature dan performa kolektor secara keseluruhan karena peningkatan luas permukaan kontak antara fluida dan dinding yang dipanaskan (Prabowo, 2025; Basem et al., 2025). Namun demikian, peningkatan jumlah sirip juga diikuti oleh kenaikan tekanan inlet yang lebih tinggi yakni 0,0325 Pa. Hal ini menunjukkan adanya kompromi antara peningkatan kinerja termal dan kenaikan verlies tekanan yang harus dipertimbangkan dalam desai sistem praktis.



Gambar 9. Profil kecepatan pada absorber sirip 12

Diskusi: Perbandingan Kinerja Termal

Perbandingan tiga variasi geometri menunjukkan bahwa desain sirip memberikan keuntungan termal yang jelas dibandingkan pelat datar dengan nilai outlet temperature tertinggi yang dicapai oleh model 12 sirip. Peningkatan suhu keluar udara ini menunjukkan bahwa sirip meningkatkan efisiensi perpindahan panas melalui: Peningkatan luas permukaan kontak panas, Promosi turbulensi aliran lokal di sekitar sirip, dan Peningkatan pertukaran energi antara permukaan absorber dan udara (Syahril et al., 2026; Vengadesan et al., 2024).

Namun demikian, desainer sistem perlu mempertimbangkan trade-off antara peningkatan temperature dan kenaikan tekanan yang mungkin mempengaruhi kebutuhan energi dorong/ventilasi dalam implementasi praktis. Hasil ini juga menguatkan bahwa modifikasi geometri absorber adalah salah satu cara efektif untuk meningkatkan kinerja termal tanpa harus mengubah material dasar.

Implikasi Kinerja untuk Pengereng Pascapanen

Kenaikan temperature outlet udara dari pelat datar ke sirip 6 dan sirip 12 menunjukkan bahwa penggunaan sirip berpotensi mempercepat proses pengeringan karena udara panas yang lebih tinggi akan meningkatkan laju sorpsi kelembapan dari produk pascapanen. Meskipun analisis kadar air tidak dibahas dalam model ini, temuan temperatur yang lebih tinggi secara termal jelas menunjang potensi peningkatan efisiensi proses pengeringan secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Studi numerik ini mengevaluasi pengaruh variasi geometri absorber terhadap kinerja termal sistem pengereng pascapanen berbasis energi surya menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD). Hasil simulasi menunjukkan bahwa absorber pelat datar mampu meningkatkan temperature udara pengereng, namun kinerjanya masih lebih rendah dibandingkan konfigurasi absorber bersirip. Penambahan sirip pada absorber secara signifikan meningkatkan temperature outlet dan pemerataan distribusi panas akibat peningkatan luar permukaan perpindahan panas dan intensitas interaksi aliran udara. Absorber dengan 12 sirip memberikan kinerja termal terbaik, tetapi juga menghasilkan pressur drop tertinggi. Temuan ini menegaskan bahwa modifikasi geometri absorber merupakan strategi efektif untuk meningkatkan kinerja termal kolektor surya, dengan tetap mempertimbangkan kompromi antara peningkatan temperature dan hambatan aliran dalam perancangan sistem

pengering surya. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kondisi operasi, seperti kecepatan aliran udara dan intensitas radiasi matahari terhadap kinerja absorber bersirip. Validasi eksperimental juga diperlukan untuk memastikan keakuratan hasil simulasi numerik.

REFERENSI

- Afrizal, M. (2025). Optimasi Desain Pipa Hisap pada Kapal TSHD Freeway Melalui Aplikasi Pipa Spiral untuk Reduksi Penurunan Tekanan Aliran Lumpur Air-Pasir: Bahasa Indonesia. *Applied Science Technology in Naval Engineering (ASTNE)*, 3(2), 1–6. <https://doi.org/10.54378/astne.v3i2.11799>
- Agustina, D., & Syuhada, A. (2015). Pengaruh komposisi material absorber terhadap kinerja kolektor surya. In *Implementasi Teknologi Rekayasa dalam Upaya Peningkatan Kualitas Hidup Masyarakat dan Lingkungan* (II, pp. 80–83).
- Arunkumar, H. S., Karanth, K. V., & Kumar, S. (2020). Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39, 100685. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100685>
- Azizah, R. R. R. (2020). *Rancang Bangun Alat Tray Dryer Sistem Hybrid Untuk Pengeringan Ikan Asin (Uji Kinerja Alat Berdasarkan Efisiensi Termal)*. Politeknik Negeri Sriwijaya. <http://eprints.polsri.ac.id/id/eprint/9527>
- Basem, A., Hajlaoui, K., Rajab, H., Sharma, A., Alrasheedi, N. H., Raj, N., Sharma, R., & Ahmadi, A. (2025). Investigating solar air collector performance with different absorber surfaces and Piranha fins through numerical simulation. *Scientific Reports*, 15(1), 35361. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19394-9>
- Chabane, F. (2014). Experimental study of heat transfer and thermal performance with longitudinal fins of solar air heater. *Journal of Advanced Research*, 5(2), 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.03.001>
- Cipta, A. M. (2025). Analisis Teoretis Desain Alat Pemanas Tenaga Surya dalam Menunjang Efisiensi Pengeringan Gabah. *Journal of Science and Technology: Alpha*, 1(3), 62–68. <https://doi.org/10.70716/alpha.v1i3.229>
- Donga, R. K., Kumar, S., & Velidi, G. (2025). *Heat transfer enhancement in a parabolic trough collector using finned tubular absorber*. 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07825-6>
- Fahrudin, A., & Firdaus, R. (2024). Buku Ajar Perpindahan Panas Heat Sink dan Permukaan Bersirip. *Umsida Press*, 1–68.
- Fidelli, A. S., Yohana, E., & Tauviqirrahman, M. (2025). Simulasi Numerik Perpindahan Panas Dan Massa Pada Sistem Pengeringan Berbasis Udara Panas. *Jurnal Teknik Mesin*, 13(3), 109–112.
- Hadi, P., & Tety Rachmawati, T. (2021). *Kajian Karakteristik Pengering Hibrid V-Shape Solar Collector–Indirect Gas Burner Pada Pengeringan Cabai*.
- Handika, A. (2020). *Gambaran Pengaruh Jumlah Kendaraan Dan Faktor Iklim Terhadap Kadar Debu Di Udara Tahun 2020*. Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang.
- Kindi, F. Al, Al-shukaili, T., Pathare, P. B., Jahwari, F. Al, Al-azri, N., & Ghadani, O. Al. (2023). *Thermal Performance of a Flat-Plate Solar Collector for Drying Agricultural Crops*. 2349–2365. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040144>
- Prabowo, A. D. (2025). Pengaruh Konfigurasi Sirip Kolektor Panas terhadap Kinerja Termal pada Luas Permukaan Perpindahan Panas yang Sama Menggunakan CFD. *Integra STEM Journal*, 1(1).
- Prasetyo, J. (2021). *Pengaruh Variasi Geometri Sirip Tipe Sudut Terhadap Temperatur Dan Pressure Drop Kolektor Photovoltaic Thermal (Pv/T) Menggunakan Metode CFD*.
- Priyadi, M. U. Z., Saleh, Y. K. P., Fikri, M. L. S., Rohman, M. F., & Saputra, L. (2024). Performa Termal Kondensor Udara pada Wind Tunnel: Evaluasi Perpindahan Panas. *Jurnal Permadi: Perancangan, Manufaktur, Material Dan Energi*, 6(03), 230–237. <https://doi.org/10.52005/permadi.v6i03.155>
- 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*, 9(2), 2400301. <https://doi.org/10.1002/gch2.202400301>
- Selviyanty, V., & Abu, R. (2024). Pengaruh Heat Exchanger pada Pipa Ganda dengan Variasi Jumlah dan Jarak Sirip. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(4), 15134–15141. <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i4.14856>
- Sulthan, M. A. (2025). *Simulasi Cfd Unjuk Kerja Kolektor Floating Photovoltaic (Fpv) Menggunakan Sirip Cross-Cut*.
- Syahril, M., Syuhada, A., Amin, M., Akbar, A., & Widodo, S. B. (2026). Studi Eksperimental Perpindahan Panas Dan Bilangan Reynolds-Nusselt Pada Compact Heat Exchanger Dengan Sirip Spiral Berpotongan. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 43–51. <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v7i2.3264>
- Vengadesan, E., Arunkumar, T., Krishnamoorthi, T., & Senthil, S. (2024). *Thermal performance improvement in solar air heating : An absorber with continuous and discrete tubular and v-corrugated fins*. 48(January). <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102416>