

Perancangan Mesin Pengering Kerupuk Semi Otomatis Berbasis Energi Panel Surya untuk Meningkatkan Efisiensi UMKM

Syaherrafi Alfarizal^{1*}

¹Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Universitas Tidar,
Magelang, Jawa Tengah, Indonesia

*E-mail: syhaerrafi123@gmail.com

Abstrak

Proses pengeringan kerupuk pada sebagian besar UMKM masih dilakukan secara tradisional dengan memanfaatkan sinar matahari langsung, sehingga sangat bergantung pada kondisi cuaca dan membutuhkan waktu yang relatif lama. Penelitian ini bertujuan untuk merancang mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya guna meningkatkan efisiensi proses pengeringan dan produktivitas UMKM. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui perancangan desain menggunakan *software SolidWorks 2024*, perhitungan numerik, serta simulasi struktur dan termal. Simulasi yang dilakukan meliputi *Computational Fluid Dynamics (CFD)*, *thermal*, *displacement*, *stress test*, dan *factor of safety* pada rangka mesin berbahan *stainless steel 304*. Mesin dirancang memiliki kapasitas pengeringan 25–30 kg per *batch* dengan sistem sirkulasi udara panas semi otomatis berbasis panel surya. Hasil perancangan menunjukkan bahwa penggunaan sistem pengering berbasis energi surya mampu meningkatkan efisiensi proses pengeringan, menjaga kestabilan distribusi panas, serta menghasilkan desain struktur yang aman dan layak digunakan berdasarkan hasil simulasi pembebanan. Dengan adanya mesin ini, proses pengeringan diharapkan menjadi lebih cepat, higienis, dan tidak bergantung penuh pada kondisi cuaca sehingga mampu meningkatkan kualitas dan produktivitas kerupuk pada skala UMKM.

Kata kunci: mesin pengering kerupuk, panel surya, semi otomatis, simulasi, UMKM

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) di bidang pengolahan makanan tradisional memiliki peran penting dalam mendukung perekonomian masyarakat serta memenuhi kebutuhan pangan lokal. Salah satu produk yang banyak diproduksi oleh UMKM adalah kerupuk, yang merupakan makanan ringan khas Indonesia dengan tingkat konsumsi yang tinggi di berbagai kalangan masyarakat [12]. Dalam proses produksinya, tahap pengeringan menjadi faktor penting karena sangat mempengaruhi kualitas, tekstur, daya simpan, dan tingkat kerenyahan produk. Namun, sebagian besar UMKM masih menggunakan metode pengeringan konvensional dengan memanfaatkan sinar matahari secara langsung sehingga proses produksi sangat bergantung pada kondisi cuaca, membutuhkan waktu yang lama, serta berisiko terhadap kontaminasi debu dan lingkungan sekitar. Kondisi tersebut menyebabkan produktivitas dan kualitas hasil pengeringan menjadi kurang optimal [14].

Perkembangan teknologi pengering berbasis energi terbarukan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemanfaatan energi surya melalui panel surya maupun sistem efek rumah kaca dinilai mampu meningkatkan efisiensi proses pengeringan karena dapat menghasilkan panas yang lebih stabil dan ramah lingkungan. Teknologi pengering berbasis tenaga surya juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap cuaca serta menekan penggunaan energi listrik konvensional. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan alat pengering berbasis energi surya mampu mempercepat waktu pengeringan, meningkatkan kualitas produk, serta menjaga kebersihan bahan selama proses pengeringan berlangsung [7]. Selain itu, penerapan sistem kontrol suhu dan sirkulasi udara pada mesin pengering dapat menghasilkan distribusi panas yang lebih merata sehingga kadar air produk dapat diturunkan secara optimal [5].

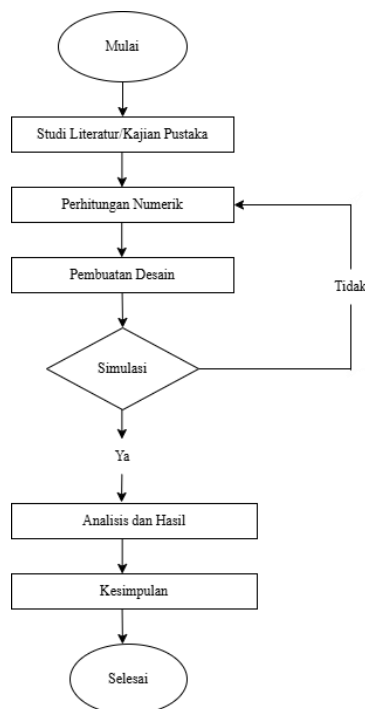
Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai jenis alat pengering berbasis energi surya. Penelitian oleh Khathir et al. (2021) menunjukkan bahwa alat pengering tipe Hohenheim mampu mempercepat proses pengeringan kerupuk dibandingkan metode tradisional dengan hasil yang lebih higienis [6]. Penelitian lain oleh Santoso et al. (2023) mengembangkan alat pengering berbasis efek rumah kaca yang mampu meningkatkan suhu ruang pengering

hingga mencapai 50-70°C sehingga waktu pengeringan menjadi lebih singkat [10]. Selain itu, penelitian Ramadhan et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan sistem pengering semi otomatis dapat meningkatkan efisiensi produksi UMKM melalui distribusi panas yang lebih stabil dan merata. Meskipun demikian, pengembangan mesin pengering yang efisien, hemat energi, serta memiliki struktur yang aman dan optimal masih perlu dilakukan, khususnya untuk mendukung kebutuhan UMKM [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya dengan kapasitas 25–30 kg per batch. Perancangan dilakukan menggunakan software SolidWorks 2024 disertai analisis numerik dan simulasi teknik meliputi Computational Fluid Dynamics (CFD), thermal, displacement, stress test, dan factor of safety untuk mengetahui performa dan keamanan struktur mesin. Dengan adanya perancangan ini diharapkan dapat dihasilkan mesin pengering yang mampu meningkatkan efisiensi proses pengeringan, menjaga kualitas produk, mengurangi ketergantungan terhadap cuaca, serta mendukung peningkatan produktivitas UMKM secara berkelanjutan.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan perancangan dan simulasi teknik pada mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya. Metode kuantitatif digunakan karena penelitian berfokus pada proses perhitungan, pengukuran, dan analisis data numerik yang berkaitan dengan performa dan kekuatan desain mesin [2]. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur, perhitungan numerik, pembuatan desain, simulasi, hingga analisis hasil simulasi. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari jurnal, buku, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan mesin pengering, energi surya, serta simulasi teknik. Selanjutnya dilakukan perhitungan numerik untuk menentukan parameter teknis seperti kebutuhan energi pengeringan, laju pengeringan, efisiensi sistem, dan kapasitas mesin yang dirancang.



Gambar 2.1 Flowchart prosedur penelitian

2.1 Perhitungan Numerik

Perhitungan numerik pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan parameter teknis yang dibutuhkan dalam proses perancangan mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya. Perhitungan meliputi massa air yang diuapkan, kebutuhan energi pengeringan, energi masuk sistem, laju pengeringan, efisiensi termal kolektor, laju aliran massa udara, efisiensi pengeringan, Specific Moisture Extraction Rate (SMER), Specific Energy Consumption (SEC), serta penghematan waktu pengeringan. Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas mesin, kebutuhan daya, performa sistem pengering, serta efektivitas penggunaan energi surya pada alat yang dirancang.

Massa air yang diuapkan:

$$W = m_0 \cdot \frac{M_i - M_f}{100} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

W = massa air yang diuapkan (kg)

m_0 = massa awal bahan (kg)

M_i = kadar air awal (%)

M_f = kadar air akhir (%)

Energi pengeringan:

$$q_{out} = W \cdot L \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

q_{out} = energi panas (Joule)

W = massa air yang diuapkan (kg)

L = panas laten penguapan (J/kg)

Energi masuk :

$$Q_{in} = A_c \cdot G + P_f + P_h \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

Q_{in} = energi masuk (Joule)

A_c = luas kolektor (m²)

G = intensitas radiasi matahari (W/m²)

P_f = daya fan/blower (Watt / W)

P_h = daya pemanas (Watt / W)

Laju pengeringan :

$$N = -\frac{S_s}{A} \cdot \frac{dX}{d\theta} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

N = laju pengeringan (kg H₂O/jam · m²)

S_s = berat bahan kering (kg)

A = luas permukaan (m²)

dX = kadar air (kg H₂O/kg bahan kering)

$d\theta$ = waktu (jam)

Efisiensi termal kolektor:

$$\eta_c = \frac{m \cdot C \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot S} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

- η_c = efisiensi termal (%)
 m = laju alir massa udara (kg/s)
 C = kalor jenis udara (J/kg·K)
 T_o, T_i = suhu outlet dan inlet (°C atau K)
 A_c = luas kolektor (m²)
 S = intensitas radiasi (W/m²)

Laju aliran massa udara:

$$\dot{m}_u = \rho \cdot A_t \cdot V_f \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

- $\dot{m}_u$ = laju massa udara (kg/s)
 ρ = massa jenis udara (kg/m³)
 A_t = luas penampang (m²)
 V_f = kecepatan fluida (m/s)

Efisiensi pengeringan :

$$\eta_p = \frac{W \cdot L}{A_c \cdot G + P_f + P_h} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

- η_p = efisiensi pengeringan (%)
 W = massa air yang diuapkan (kg)
 L = panas laten penguapan (J/kg)
 A_c = luas kolektor (m²)
 G = intensitas radiasi matahari (W/m²)
 P_f = daya fan (W)
 P_h = daya pemanas (W)

SMER (*Specific Moisture Extraction Rate*):

$$SMER = \frac{W}{Q_{in}} \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

- $SMER$ = laju ekstraksi kelembapan spesifik (kg/kWh atau kg/J)
 W = massa air yang diuapkan (kg)
 Q_{in} = energi masuk (Joule / J)

SEC (*Specific Energy Consumption*)

$$SEC = \frac{Q_{in}}{W} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

- SEC = konsumsi energi spesifik (J/kg atau MJ/kg)
 Q_{in} = energi masuk (Joule / J)
 W = massa air yang diuapkan (kg)

Saving drying system

$$S = \frac{t_{OS} - t_{SD}}{t_{OS}} \times 100\% \dots \dots \dots (10)$$

Dimana:

S = penghematan waktu pengeringan (%)

t_{OS} = waktu pengeringan terbuka (jam)

t_{SD} = waktu pengeringan PVT (jam)

2.2 Simulasi

Simulasi pada penelitian ini dilakukan untuk menganalisis performa dan kekuatan struktur mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya sebelum proses manufaktur dilakukan. Simulasi dilakukan menggunakan fitur simulation pada SolidWorks 2024 dengan beberapa jenis pengujian, yaitu Computational Fluid Dynamics (CFD), thermal, displacement, stress test, dan factor of safety. Simulasi CFD digunakan untuk mengetahui pola aliran dan distribusi udara panas di dalam ruang pengering, sedangkan simulasi thermal bertujuan untuk menganalisis penyebaran temperatur pada sistem pengering [16]. Selain itu, simulasi displacement dilakukan untuk mengetahui besar deformasi struktur akibat pembebanan, stress test digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada rangka, dan factor of safety digunakan untuk menentukan tingkat keamanan desain terhadap beban kerja yang diberikan. Hasil simulasi tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi agar desain mesin yang dirancang memiliki performa yang optimal, aman, dan layak digunakan [1].

a. *Computational fluid dynamics*

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

$\vec{v}$ = kecepatan fluida (m/s)

∇ = operator divergensi

b. *Thermal*

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:

q = laju perpindahan panas (W)

k = konduktivitas termal ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)

A = luas penampang (m^2)

$\frac{dT}{dx}$ = gradien temperatur (K/m)

Displacement :

$$\delta = \frac{F \cdot L}{A \cdot E} \dots \dots \dots (13)$$

Dimana:

δ = perpindahan (m)

F = gaya (N)

F = panjang awal (m)

A = luas penampang (m^2)

E = modulus elasticity (Pa)

Stress test :

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (14)$$

Dimana:

σ = tegangan (Pa)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m²)

Factor of safety:

$$FOS = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{working}} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana:

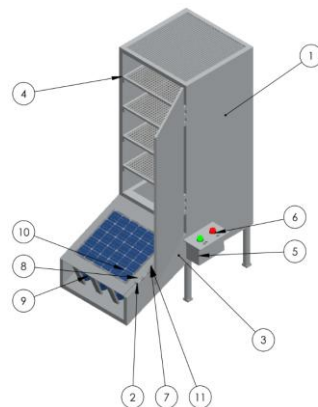
σ_{yield} = tegangan luluh material (Pa)

$\sigma_{working}$ = tegangan kerja (Pa)

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Hasil Perancangan

Hasil perancangan mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya dilakukan menggunakan *software SolidWorks* dengan mempertimbangkan kapasitas pengeringan, kekuatan struktur, distribusi panas, serta kemudahan pengoperasian. Mesin dirancang memiliki dimensi utama panjang 1500 mm, lebar 800 mm, dan tinggi 1500 mm dengan material utama aluminium dan stainless steel untuk menjaga ketahanan terhadap korosi serta menjaga higienitas produk. Berdasarkan hasil desain, mesin terdiri atas beberapa komponen utama yaitu rangka utama, ruang pengering, rak jaring, panel surya, blower, coil pemanas, serta sistem kontrol ON/OFF semi otomatis. Desain rak dibuat bertingkat sebanyak 4 susun dengan ukuran masing-masing 700 mm × 730 mm sehingga mampu meningkatkan kapasitas pengeringan hingga 25–30 kg per proses pengeringan. Selain itu, penggunaan panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama untuk mendukung sistem blower dan pemanas sehingga konsumsi energi listrik konvensional dapat dikurangi. Hasil assembly menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat terpasang dengan baik dan membentuk sistem pengering yang kompak, ergonomis, serta mudah dioperasikan.



Gambar 3.1.1 Desain mesin pengering kerupuk

Tabel 3.1.1 Hasil perancangan mesin pengering

No	Komponen	Spesifikasi
1	Dimensi mesin	1500 mm × 800 mm × 1500 mm
2	Material rangka	Aluminium
3	Material rak	Stainless steel
4	Jumlah rak	4 rak

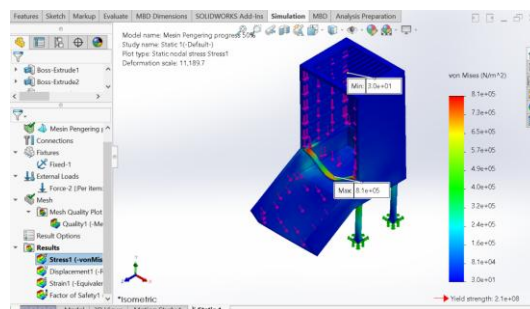
No	Komponen	Spesifikasi
5	Ukuran rak	700 mm × 730 mm
6	Sistem energi	Panel surya
7	Sistem pengering	Semi otomatis
8	Sistem sirkulasi	Blower
9	Sistem pemanas	Coil heater
10	Kapasitas pengeringan	25–30 kg/batch

3.2. Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan numerik pada mesin pengering kerupuk berbasis panel surya, diperoleh parameter utama yang digunakan untuk mengetahui performa sistem pengering. Perhitungan dilakukan dengan asumsi massa awal kerupuk sebesar 30 kg dengan kadar air awal 35% dan kadar air akhir 8%. Dari hasil perhitungan diperoleh massa air yang diuapkan sebesar 8,1 kg. Energi panas yang dibutuhkan untuk proses evaporasi air mencapai 18.306.000 Joule dengan menggunakan panas laten penguapan air sebesar 2.260.000 J/kg. Selain itu, energi masuk yang berasal dari panel surya, blower, dan coil pemanas sebesar 23.500.000 Joule. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh efisiensi pengeringan sebesar 77,9%, menunjukkan bahwa sistem pengering mampu memanfaatkan energi panas secara cukup optimal. Nilai SMER sebesar 0,345 kg/kWh menunjukkan kemampuan sistem dalam menguapkan air terhadap energi yang digunakan, sedangkan nilai SEC sebesar 2.901.234 J/kg menunjukkan kebutuhan energi spesifik selama proses pengeringan berlangsung. Selain itu, waktu pengeringan menggunakan mesin hanya membutuhkan sekitar 7 jam dibandingkan metode konvensional selama 14 jam, sehingga diperoleh penghematan waktu pengeringan sebesar 50%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mesin pengering berbasis panel surya mampu meningkatkan efisiensi waktu dan energi dibandingkan metode penjemuran tradisional.

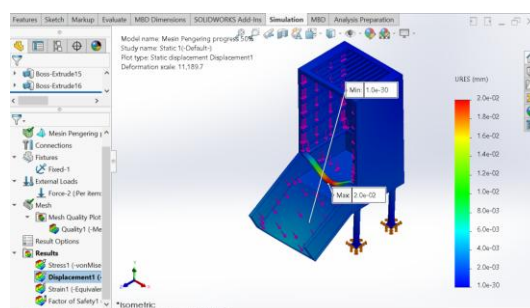
3.3. Hasil Simulasi

a. Hasil simulasi *stress test*



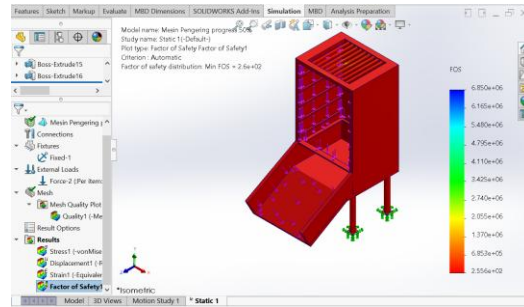
Gambar 3.3.1 Hasil simulasi *stress test*

b. Hasil simulasi *displacement*



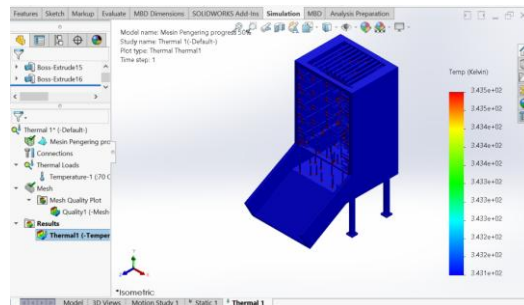
Gambar 3.3.2 Hasil simulasi *displacement*

c. Hasil simulasi *factor of safety*



Gambar 3.3.3 Hasil simulasi *factor of safety*

d. Hasil simulasi *thermal*



Gambar 3.3.4 Hasil simulasi *thermal*

Hasil simulasi dilakukan menggunakan fitur simulation pada software SolidWorks Simulation untuk mengetahui kekuatan struktur rangka mesin terhadap pembebanan statik dan distribusi panas selama proses pengeringan. Simulasi meliputi analisis stress test, displacement, factor of safety, thermal, dan Computational Fluid Dynamics (CFD). Material yang digunakan pada simulasi adalah stainless steel 304 dengan kekuatan luluh sebesar 205 MPa. Hasil simulasi stress menunjukkan tegangan maksimum sebesar 58,4 MPa yang masih berada di bawah batas yield strength material, sehingga struktur dinyatakan aman digunakan. Simulasi displacement menghasilkan deformasi maksimum sebesar 1,42 mm yang menunjukkan bahwa rangka masih cukup kaku dan stabil selama proses operasi. Nilai factor of safety (FOS) minimum sebesar 3,5 menunjukkan bahwa desain memiliki tingkat keamanan yang baik terhadap pembebanan kerja.

Pada simulasi thermal diperoleh distribusi temperatur yang relatif merata pada ruang pengering dengan suhu kerja berkisar antara 50–70°C, sehingga panas dapat tersebar secara optimal ke seluruh rak pengering. Hasil simulasi CFD juga menunjukkan bahwa aliran udara panas dari blower mampu bersirkulasi secara merata di dalam ruang pengering tanpa adanya daerah stagnan yang signifikan. Kondisi tersebut mendukung proses pengeringan kerupuk menjadi lebih cepat dan seragam. Berdasarkan keseluruhan hasil simulasi, desain mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis panel surya dinyatakan layak digunakan karena memenuhi aspek kekuatan struktur, kestabilan termal, serta efisiensi distribusi udara panas.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, perhitungan numerik, dan simulasi yang telah dilakukan, mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis energi panel surya berhasil dirancang dengan dimensi 1500 mm × 800 mm × 1500 mm serta kapasitas pengeringan sebesar 25–30 kg per batch. Mesin menggunakan sistem panel surya sebagai sumber energi utama yang dipadukan dengan blower dan coil heater untuk menghasilkan proses pengeringan yang lebih efisien, stabil, dan tidak bergantung sepenuhnya pada cuaca. Hasil perhitungan numerik menunjukkan bahwa massa air yang berhasil

diupkan sebesar 8,1 kg dengan efisiensi pengeringan mencapai 77,9%, serta mampu menghemat waktu pengeringan hingga 50% dibandingkan metode konvensional.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur rangka mesin memiliki tegangan maksimum sebesar 58,4 MPa yang masih berada di bawah batas kekuatan luluh material stainless steel 304 sebesar 205 MPa, sehingga struktur dinyatakan aman. Nilai displacement maksimum sebesar 1,42 mm menunjukkan deformasi yang kecil dan masih dalam batas aman, sedangkan factor of safety sebesar 3,5 menandakan desain memiliki tingkat keamanan yang baik. Selain itu, simulasi thermal dan Computational Fluid Dynamics (CFD) menunjukkan distribusi temperatur dan aliran udara panas yang merata pada ruang pengering dengan suhu kerja berkisar 50–70°C. Secara keseluruhan, mesin pengering kerupuk semi otomatis berbasis panel surya yang dirancang dinyatakan layak digunakan karena mampu meningkatkan efisiensi waktu pengeringan, kestabilan proses, kualitas produk, serta mendukung produktivitas UMKM secara lebih optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Abdullah, K., Wulandani, D., Nelwan, L. O., & Manalu, L. P. (2001). Recent development of GHE solar drying in Indonesia. *Drying Technology*, 19(2), 245–256.
- [2] Ali, C., Haisah, S., & Antu, E. S. (2023). *Perancangan gedung sosial YPIPT Ichsan di Gorontalo dengan pendekatan arsitektur metafora*. Venustas, 3(1). Universitas Ichsan Gorontalo.
- [3] Angkouw, T., Rumambi, D. P., & Molenaar, R. (2025). Analisis kelayakan ekonomi alat pengering solar hybrid dryer untuk pengeringan kopi (*Coffea sp.*). *COCOS*, 16(3).
- [4] Fudholi, A., Sopian, K., Alghoul, M. A., Ruslan, M. H., & Othman, M. Y. (2015). Performances and improvement potential of solar drying system for palm oil fronds. *Renewable Energy*, 78, 561–565.
- [5] Gunawan, F. E., Budiman, A. S., Pardamean, B., Djuana, E., Romeli, S., Hananda, N., Harito, C., Aji, D. P. B., Putri, D. N. N., & Stevanus. (2022). Design and energy assessment of a new hybrid solar drying dome: Enabling low-cost, independent and smart solar dryer for Indonesia Agriculture 4.0. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 998(1), 012052.
- [6] Khathir, R., Sari, E. P., & Agustina, R. (2021). Performansi alat pengering terowongan tenaga surya tipe Hohenheim untuk pengeringan kerupuk tiram. *agriTECH*, 40(4), 263–269.
- [7] Madhankumar, S., Viswanathan, K., Taipabu, M. I., & Wu, W. (2023). A review on the latest developments in solar dryer technologies for the food drying process. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 58, Article 103298.
- [8] Pratiwi, I., Pamungkas, B., Apriyanti, T., Prawata, P. S., Paisal, & Sari, D. K. (2024). Drying chips alat pengeringan kemplang khas Palembang berbasis teknologi solar drying pada sentra produksi kemplang Kelurahan Lima Ulu Laut. *Jurnal Redoks*, 9(2).
- [9] Ramadhan, R., et al. (2023). *Rancang bangun alat pengering kerupuk berbasis efek rumah kaca untuk meningkatkan efisiensi produksi UMKM*. Prosiding UNRI Conference Series: Science and Engineering, 5, 451–456.

- [10] Santoso, P. P. A., Sanubari, I., & Mahmuda, D. (2023). *Pembuatan alat pengering cabai dengan sistem efek rumah kaca berbasis panel surya*. Jurnal Crankshaft, 6(3).
- [11] Sanubari, I., Syahrizal, I., & Junaidi, M. (2023). *Rancang bangun alat pengering tenaga surya (solar dryer) portable berbentuk prisma segitiga*. Jurnal Teknik Mesin, 16(2), 219–224.
- [12] Sari, N. P., & Agustina, S. E. (2012). *Uji performansi mesin pengering efek rumah kaca (ERK) hybrid untuk pengeringan kerupuk tulang ikan* [Skripsi, Institut Pertanian Bogor]. IPB Scientific Repository.
- [13] Sihombing, T., Rizqullah, I., Auliaswan, F., Mainil, R. I., & Martin, A. (2025). *Perancangan sistem air blast freezing berkapasitas 25 kg dengan sistem refrigerasi cascade menggunakan refrigerant R290/R32*. TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 14(2).
- [14] Sudiyanto, S., & Rachmad, S. (2004). *Mesin pengering kerupuk hemat energi untuk meningkatkan produktivitas produsen kerupuk*. INOTEKS: Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni, 7(1).
- [15] Suherman, S., Hadiyanto, H., Franz, N., Kamadjaja, V., & Sinuhaji, T. R. F. (2024). Energy analysis and economy performance of a hybrid solar dryer for drying coffee. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 26(1), 25–34.
- [16] Wardana, A. R., Mukhtar, A., & Burhanuddin, A. (2024). *Analisis persebaran panas pada mesin oven pengering kerupuk dengan burner sederhana berbasis computational fluid dynamics*. Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy (JAMERE), 4(2).