

Penerapan Teknologi Mesin Pengering Biji Kopi Menggunakan Sistem Solar Panel

Yusup Nur Rohmat^{1*}, Muhammad Luthfi², Adi Kusmayadi³, Nanang Setiawan⁴,
Ferdian Dwi Susanto⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Indramayu, Jurusan Teknik
JI Raya Lohbener Lama No. 08 Indramayu

*Corresponding author: yusupnurrohmat@polindra.ac.id

Abstract

This research aims to design, manufacture, and test a renewable energy-based coffee bean drying machine using a solar panel system to increase the efficiency of the post-harvest coffee drying process which currently depends on the weather and takes a long time. The research methods include mechanical and thermal system design using SolidWorks 2022 software, static frame analysis, thermal efficiency calculations, fabrication processes, and experimental testing of coffee bean moisture content reduction. The machine is designed with a galvanized hollow iron frame (50 × 50 × 0.8 mm), a drying tube with a capacity of ± 2 – 2.4 kg, a 0.5 HP electric motor, a 1:20 ratio gearbox, and a gear transmission system with a total ratio of 69 which produces a rotation of 20.29 RPM and a torque of 175.624 N-m. The machine design was created using SolidWorks 2022 software and tested through static simulations, with results showing a maximum stress of 1.177 MPa, a deformation of 0.012 mm, and a safety factor of 174, making the frame safe to use. The calculated thermal efficiency reached 67.36% with a 500-watt heater power, producing 3,600 kJ of heat energy, of which 2,425.1 kJ was absorbed by the coffee beans. The fabrication process involves marking, cutting, rolling, bending, welding, assembly, wiring, and finishing, using hollow iron, galvanized steel, and stainless steel mesh as the primary materials. Coffee bean moisture content testing is performed at varying time intervals. Testing with a time of 3 hours 30 minutes and 4 hours, significant results were achieved, namely 3 hours 30 minutes because it had a water content of 12% according to SNI standards, with a mass reduced from 1320 grams to 695 grams. For comparison, the manual drying method using sunlight requires approximately 3–4 weeks to achieve a similar water content. The research results show that the solar panel-based coffee drying machine is able to speed up the drying process significantly, is more consistent, environmentally friendly, does not depend on weather conditions, and has the potential to increase the productivity of coffee farmers in Indonesia.

Keywords: *Dryer machine, Coffee beans, Solar panel, Thermal efficiency, Moisture content.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin pengering biji kopi berbasis energi terbarukan menggunakan sistem panel solar untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan pascapanen kopi yang selama ini bergantung pada cuaca dan membutuhkan waktu lama. Metode penelitian meliputi perancangan mekanik dan sistem termal menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2022, analisis statik rangka, perhitungan efisiensi termal, proses fabrikasi, serta pengujian eksperimental terhadap penurunan kadar air biji kopi. Mesin dirancang dengan rangka besi *hollow galvanis* (50 × 50 × 0,8 mm), tabung pengering berkapasitas ± 2 – 2,4 kg, motor listrik 0,5 HP, gearbox rasio 1:20, serta sistem transmisi gear dengan total rasio 69 yang menghasilkan putaran 20,29 RPM dan torsi 175,624 N-m. Desain mesin dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2022* dan diuji melalui simulasi statik, dengan hasil menunjukkan tegangan maksimum 1,177 MPa, deformasi 0,012 mm, serta faktor keamanan mencapai 174 sehingga rangka aman digunakan. Perhitungan efisiensi termal mencapai 67,36% dengan daya heater 500 Watt yang menghasilkan energi panas 3600 kJ dan diserap 2425,1 kJ oleh biji kopi. Proses fabrikasi dilakukan melalui tahapan *marking, cutting, rolling, bending, welding, assembly, wiring*, dan *finishing* dengan material utama besi *hollow*, plat galvalum, dan plat jaring *stainless steel*. Pengujian kadar air biji kopi dilakukan dengan variasi waktu. Pengujian dengan waktu 3 jam 30 menit dan 4 jam, hasil yang signifikan dicapai yaitu 3 jam 30 menit karena memiliki kadar air 12% sesuai standar SNI, dengan massa berkurang dari 1320 gram menjadi 695 gram. Sebagai pembanding, metode pengeringan manual menggunakan sinar matahari memerlukan waktu ±3–4 minggu untuk mencapai kadar air serupa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin pengering kopi berbasis panel solar mampu mempercepat proses pengeringan secara signifikan, lebih konsisten, ramah lingkungan, tidak bergantung pada kondisi cuaca, serta berpotensi meningkatkan produktivitas petani kopi di Indonesia.

Kata kunci: Mesin pengering, Biji kopi, Panel Solar, Efisiensi termal, Kadar air



1. Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis di Indonesia yang memiliki nilai ekonomi tinggi, baik sebagai penyumbang devisa negara maupun sebagai sumber penghasilan utama bagi jutaan petani. Cita rasa kopi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah proses pascapanen, khususnya tahap pengeringan biji kopi. Proses pengeringan bertujuan menurunkan kadar air biji kopi hingga mencapai standar aman menurut SNI, yaitu maksimum 12,5%. Jika kadar air masih tinggi, biji kopi rentan terhadap serangan mikroorganisme dan penurunan mutu, sehingga berpengaruh terhadap kualitas, daya simpan, dan harga jual [1].

Metode pengeringan tradisional yang masih banyak digunakan petani di Indonesia adalah penjemuran langsung di bawah sinar matahari. Cara ini relatif sederhana dan murah, tetapi sangat bergantung pada kondisi cuaca serta membutuhkan waktu 2–4 minggu. Keterbatasan tersebut menurunkan efisiensi produksi, terutama saat musim hujan, karena proses pengeringan bisa terhambat dan mutu biji kopi menurun. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi teknologi berupa mesin pengering yang mampu mempercepat proses pengeringan, menjaga konsistensi kualitas, dan mengurangi ketergantungan terhadap kondisi alam [2] [3].

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi berkelanjutan, pemanfaatan panel solar menjadi solusi potensial dalam mendukung proses pengeringan. Mesin pengering berbasis energi solar menawarkan keunggulan hemat energi, ramah lingkungan, serta dapat dioperasikan secara mandiri oleh petani tanpa ketergantungan pada pasokan listrik konvensional [4], [5]. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji perancangan mesin pengering kopi dengan analisis kekuatan rangka, perhitungan torsi, efisiensi termal, serta simulasi numerik untuk memastikan keandalan sistem. Penelitian lain melanjutkan tahap pembuatan dan pengujian mesin, termasuk evaluasi kadar air, laju pengeringan, serta perbandingan dengan metode penjemuran manual [6] [7].

Mesin pengering biji kopi merupakan alat yang mengintegrasikan sistem pemanas (heater) dan motor penggerak sebagai komponen utama proses

pengeringan. Heater berfungsi menghasilkan udara panas yang dialirkan ke ruang pengering, sedangkan motor penggerak digunakan untuk memutar tabung berisi biji kopi sehingga terjadi perataan panas dan sirkulasi udara yang merata. Integrasi kedua sistem ini menjadikan proses pengeringan lebih efisien karena panas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal dengan bantuan putaran motor yang mencegah biji menggumpal atau terbakar pada satu sisi. Dengan rancangan ini, mesin mampu menurunkan kadar air biji kopi secara konsisten hingga mencapai standar mutu (sekitar 12%), sekaligus mengurangi ketergantungan pada pengeringan konvensional yang memerlukan waktu lebih lama. Manfaat dari alat ini diharapkan mampu memberikan solusi alternatif untuk mempercepat proses pengeringan pada biji kopi sehingga menghasilkan produktifitas bagi petani [8] [9].

Penelitian mengenai pengeringan biji kopi dengan memanfaatkan energi panas matahari telah dilakukan dengan rancangan solar dryer tipe kabinet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan dengan sistem ini mampu menurunkan kadar air biji kopi dari 54% menjadi 12% dalam waktu 2–3 hari, lebih cepat dibandingkan metode penjemuran langsung. Suhu dalam ruang pengering dapat dipertahankan pada kisaran 45–55°C, sehingga kualitas biji kopi yang dihasilkan tetap terjaga [10].

Studi lain mengenai penggunaan sistem pengering berbasis listrik menunjukkan bahwa kombinasi heater dan kipas sirkulasi mampu meningkatkan efisiensi pengeringan. Pada penelitian tersebut, penggunaan daya 600 W menghasilkan suhu pengeringan rata-rata 60°C dengan kadar air biji kopi akhir mencapai 11,8%. Proses pengeringan berlangsung lebih singkat yaitu 8–10 jam dibandingkan metode alami, serta memberikan hasil pengeringan yang lebih merata [11].

Selain itu, penelitian tentang pengeringan mekanis dengan sistem pengadukan (rotary dryer) menunjukkan bahwa pemanfaatan motor penggerak pada kecepatan 20–25 rpm mampu mencegah terjadinya penumpukan dan meningkatkan

kontak panas secara merata. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa laju pengeringan lebih stabil dengan kualitas biji kopi yang lebih seragam. Efisiensi energi sistem rotary dryer dilaporkan mencapai 72%, sehingga dapat menjadi alternatif efektif dalam pengolahan pascapanen kopi. Proses pengeringan merupakan salah satu tahapan krusial dalam pengolahan pascapanen kopi karena sangat berpengaruh terhadap kualitas fisik, cita rasa, serta daya simpan biji kopi. Pada tingkat petani, metode pengeringan yang paling umum digunakan masih mengandalkan penjemuran langsung menggunakan sinar matahari, yang memiliki berbagai keterbatasan, seperti ketergantungan pada kondisi cuaca, waktu pengeringan yang relatif lama, kebutuhan lahan yang luas, serta risiko kontaminasi debu dan mikroorganisme. Kondisi tersebut sering menyebabkan ketidaktercapaian kadar air standar ($\leq 12\%$ sesuai SNI) secara konsisten, sehingga berpotensi menurunkan mutu dan nilai jual kopi.

Sebagai alternatif, mesin pengering mekanis telah banyak dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut karena mampu menyediakan kondisi pengeringan yang lebih terkontrol, higienis, dan berkelanjutan. Salah satu tipe mesin pengering yang banyak digunakan adalah rotary dryer, yang bekerja dengan prinsip pengadukan kontinu sehingga biji kopi bergerak dan berinteraksi secara merata dengan sumber panas. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan sistem pengadukan dengan kecepatan putar 20–25 rpm mampu mencegah terjadinya penumpukan material, meningkatkan keseragaman distribusi panas, serta menghasilkan laju pengeringan yang lebih stabil dengan kualitas produk yang lebih homogen. Selain itu, efisiensi energi pada sistem rotary dryer dilaporkan dapat mencapai sekitar 72%, sehingga relatif efisien untuk aplikasi pascapanen [12] [13]. Namun demikian, sebagian besar mesin pengering mekanis yang ada masih bergantung pada energi listrik berbasis fosil, yang menimbulkan biaya operasional tinggi

dan keterbatasan penerapan di daerah pedesaan yang akses listriknya terbatas. Oleh karena itu, integrasi energi terbarukan, khususnya panel surya, menjadi solusi potensial untuk mendukung pengeringan kopi yang lebih ramah lingkungan, hemat energi, dan berkelanjutan. Penggunaan energi surya diharapkan dapat menekan konsumsi energi konvensional sekaligus meningkatkan kemandirian energi petani.

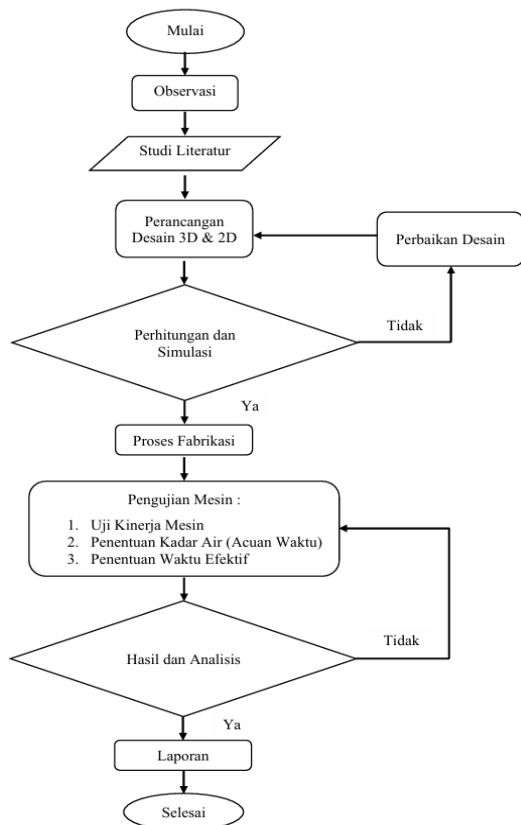
2. Metode Penelitian

Dalam proses alat pengering biji kopi perlu adanya proses desain/perancangan, pembuatan dan pengujian mesin pengering biji kopi dengan integrasi panel solar, dan point - point di bawah ini merupakan penjelasan singkat terkait diagram alir.

- Mulai
- Observasi merupakan metode proses pengamatan secara langsung untuk memperoleh data terhadap proses pengeringan biji kopi yang dilakukan oleh petani, termasuk metode pengeringan konvensional, waktu pengeringan, kendala cuaca, serta kebutuhan energi selama proses pengeringan.
- Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi mengenai penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang dijadikan acuan dalam melakukan penelitian.
- Perancangan desain 3D dan 2D menggunakan software Solidworks 2022.
- Perhitungan dilakukan secara umum pada tiga aspek, yaitu kekuatan rangka, transmisi, dan kelistrikan. Adapun dilakukan tiga simulasi untuk menguji kekuatan rangka, yaitu tegangan, displacement, dan factor of safety.
- Jika hasil perancangan aman dan sesuai dengan kebutuhan maka dilakukan proses fabrikasi dengan acuan desain 2D (gambar kerja).
- Pengujian mesin dilakukan tiga tahap untuk menguji kelayakan kinerja dan disesuaikan dengan standar dan

kebutuhan yaitu kadar air akhir pada biji kopi sebesar 12%.

- Hasil pengujian disajikan berupa data secara sistematis dan objektif, serta analisis bertujuan untuk menafsirkan hasil yang diperoleh agar peneliti dapat menghubungkan data dengan teori yang relevan, mengevaluasi keterkaitan antar variabel, dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil.
- Apabila hasil dan analisis sesuai dengan standar dan kebutuhan, maka dibuatkan laporan sebagai bukti dokumentasi dan administrasi pengujian mesin yang disusun berdasarkan data dan fakta yang telah diamati pada mesin pengering biji kopi dengan sistem panel solar.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Selanjutnya pengujian mesin pengering berbasis panel surya, yang dilakukan dalam tiga tahap pengujian. Pengujian meliputi uji kinerja mesin atau fungsional sistem panel surya, penentuan kadar air dan penentuan waktu yang efektif. Parameter yang diamati meliputi kestabilan suplai daya dari panel surya, suhu

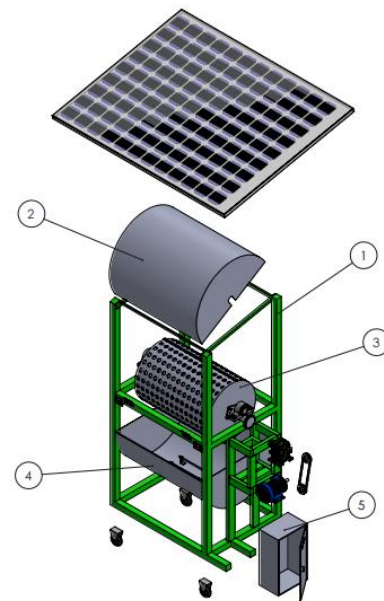
pengeringan, waktu pengeringan, dan penurunan kadar air biji kopi hingga mencapai 12% sesuai standar SNI [14]. Data hasil pengujian kemudian disajikan secara sistematis dan objektif, selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi hubungan antara kinerja sistem panel surya, performa mesin pengering, dan hasil pengeringan biji kopi. Analisis ini bertujuan untuk menafsirkan hasil penelitian, mengaitkan data dengan teori dan penelitian sebelumnya, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi dan efektivitas pengeringan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Desain Gambar

Tabel 1. Komponen Mesin Pengering Biji Kopi

No	Kompoen	Jumlah	Keterangan
1	Rangka	1	Dibuat
2	Penutup Atas	1	Dibuat
3	Tabung Pengering	1	Dibuat
4	Penutup Bawah	1	Dibuat
5	Panel Boc	1	Dibeli



Gambar 2 Desain Mesin Pengering Biji Kopi

Desain mesin pengering biji kopi dengan sistem panel solar dirancang menggunakan software Solidworks 2022, program ini juga digunakan untuk mengamati tegangan, displacement, dan factor of safety pada rangka mesin. Selain

desain rangka, dilakukan juga proses desain beberapa komponen lainnya seperti tabung pengering biji kopi, panel box, panel solar, sistem transmisi (gearbox, pulley, gear), dan komponen lainnya. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 2.

3.2 Material

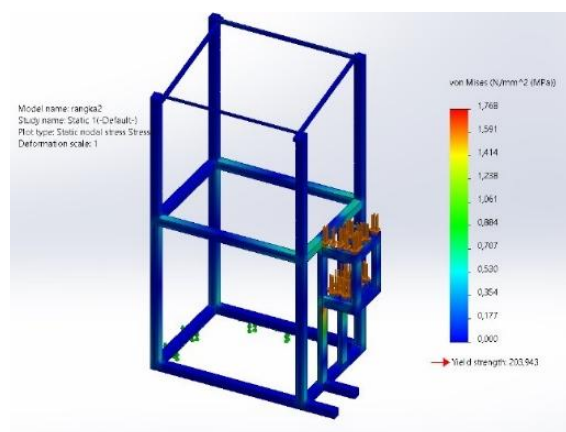
Material yang digunakan pada rangka ini, yaitu menggunakan besi hollow dengan profil 50 x 50 x 0,8 mm dengan bahan galvanis. Hollow galvanis memiliki elastic modulus sebesar 200.000 N/mm² dengan yield strength sebesar 203,943 N/mm² Adapun properties material bahan tersebut dapat, detailnya dilihat pada dibawah ini.

Tabel 2. Mass Properties Hollow Galvanis

Property	Value	Units
Elastic Modulus	200000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus		N/mm ²
Mass Density	7870	kg/m ³
Tensile Strength	356.9006745	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	203.9432426	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient		/K
Thermal Conductivity		W/(m-K)
Specific Heat		J/(kg-K)
Material Damping Ratio		N/A

3.3 Hasil Simulasi Statik (Solidworks 2022)

A. Pengamatan Tegangan (Stress) Rangka

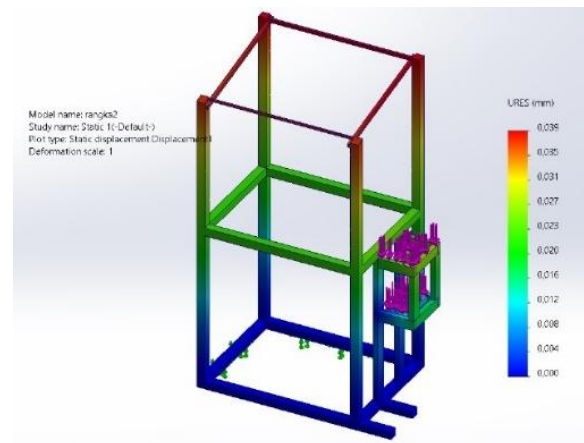


Gambar 3. Simulasi Tegangan Pada Rangka

Pada rangka ini, tegangan terbesar senilai 1,768 N/mm² (MPa) terdapat pada rangka samping dan Yield strength dari material hollow galvanis yaitu sebesar 203,943 N/mm². Maka, rangka dapat dikatakan aman karena nilai stress tidak melebihi dari batas yield strength. Simulasi stress dapat dilihat pada gambar.

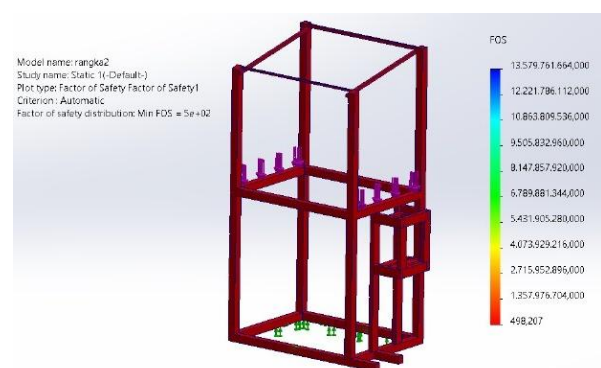
B. Pengamatan Perpindahan (Displacement) Rangka

Perpindahan (*displacement*) merupakan perubahan bentuk pada benda yang dikenakan gaya. Dari simulasi tersebut diperoleh total deformasi terbesar yaitu 0,039 mm pada rangka samping. Perubahan bentuk pada rangka dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4. Simulasi Displacement Pada Rangka

C. Pengamatan Faktor Keamanan (Safety Factor) Rangka



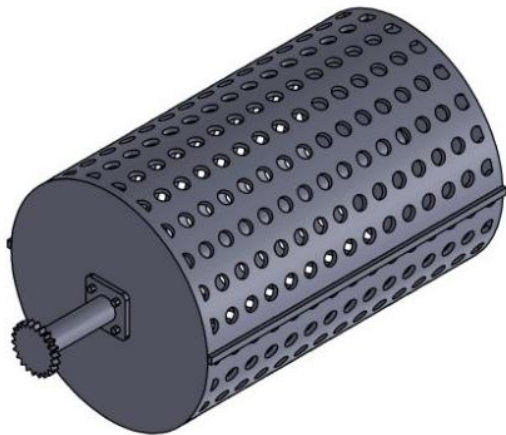
Gambar 5. Simulasi Factor of Safety Rangka

Faktor keamanan merupakan acuan utama yang digunakan dalam menentukan kualitas produk [15]. Pada simulasi ini, faktor kewanan minimum diperoleh

sebesar 498,207 atau 500. Dengan nilai faktor keamanan mencapai 3 digit, maka produk tersebut dinilai sangat aman. Simulasi *factor of safety* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

3.3 Pembuatan Tabung Pengering

Tabung pengering berfungsi sebagai wadah pengeringan biji kopi yang berputar menggunakan poros dan digerakan oleh sistem transmisi. Pembuatan tabung pengering menggunakan besi plat dengan ketebalan 1 mm dengan dimensi yang disesuaikan dengan kebutuhan rangka yaitu diameter 0,77 m dan panjang 0,84 m, volume 0,002 m³. Dengan volume tersebut, diperoleh kapasitas maksimal biji kopi sebesar 2,4 kg. Detailnya dapat dilihat pada gambar.



Gambar 6. Desain 3D Tabung Pengering Biji Kopi

4.5 Perhitungan Daya Penggerak, Sistem Transmisi, dan Poros

A. Perencanaan Daya Motor

Pada perancangan desain yang disesuaikan dengan kebutuhan, motor listrik yang dibutuhkan yaitu motor AC 0,5 HP dengan koefisien konversi HP ke Watt yaitu 745,7. Maka, berikut merupakan perhitungan daya motor listrik 0,5 HP.

$$P = PHP \times \text{Koefisien Konversi}$$

$$P = 0,5 \text{ HP} \times 745,7$$

$$P = 372,85 \text{ Watt}$$

Maka, daya yang dihasilkan oleh motor AC 0,5 HP yaitu sebesar 372,85 W.

B. Perhitungan Sistem Transmisi

Penggunaan jumlah gear besar yaitu 69, dan jumlah gigi kecil sebesar 20 menghasilkan gear rasio sebesar 3,45. Hasil tersebut didapatkan dari pembagian jumlah gear besar dengan gear kecil. Adapun rasio gearbox yang digunakan yaitu 1 : 20 dengan rasio pulley 1 : 1.

Maka total rasio transmisi dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Rasiototal} = \text{Gearbox rasio} \times \text{Gear rasio} \times \text{Pulley rasio}$$

$$\text{Rasio total} = 20 \times 3,45 \times 1$$

$$\text{Rasio total} = 69$$

Maka, total rasio transmisi yaitu sebesar 69.

C. Perhitungan Output RPM

Pada motor 0,5 HP memiliki RPM maksimal sebesar 1400 RPM. Dengan total rasio yang telah diketahui, maka output RPM pada tabung pengering dapat dihitung sebagai berikut.

$$\text{Output RPM} = \frac{(\text{RPM Maks Motor})}{(\text{Total Transmisi})}$$

$$\text{Output RPM} = \frac{(1400 \text{ RPM})}{69}$$

$$\text{Output RPM} = 20,29 \text{ RPM}$$

Maka, putaran output pada poros dan tabung mesin pengering biji kopi yaitu sebesar 20,29. Hasil tersebut sesuai dengan standar dan referensi yang telah diketahui, dengan putaran lambat dapat menghasilkan panas yang merata pada proses pengeringan.

D. Kecepatan Sudut dan Torsi

Adapun perhitungan kecepatan sudut dan torsi yang dibutuhkan, dapat dilihat pada tabel.

Tabel 3. Perhitungan Kecepatan Sudut dan Torsi

Variabel yang Diketahui	
• Putaran <i>output</i> (n) = 20,29 RPM	
• Waktu maksimal 1 putaran = 60 s	
• Daya motor (P) = 372,85 W	
Hasil Perhitungan	
• Kecepatan Sudut (ω)	• Torsi (T)
$\omega = \frac{2\pi \times n}{60}$	$T = \frac{P}{\omega}$
$\omega = \frac{2(3,14) \times 20,29}{60}$	$T = \frac{372,85 \text{ W}}{2,123 \text{ rad/s}}$
$\omega = 2,123 \text{ rad/s}$	$T = 175,624 \text{ N.m}$

E. Perencanaan Poros

Perhitungan poros yang dibutuhkan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Perhitungan Poros

Variabel yang Diketahui	
<ul style="list-style-type: none"> Jenis Material Poros = Baja Karbon S45C Kekuatan Tarik Material (σ_b) = 58 kg/mm² Faktor Keamanan Material 1 (sf_1) = 6 Faktor Keamanan Material 2 (sf_2) = 3 Faktor Koreksi (K_t) = 2 Faktor Lenturan (C_b) = 2 Daya Rencana (P_d) = 372,85 W atau 0,3725 kW RPM Maksimal Motor (n) = 1400 RPM 	
Hasil Perhitungan	
<ul style="list-style-type: none"> Momen Puntir (T) $T = 9,74 \times 10^5 \frac{Pd}{n}$ $T = 9,74 \times 10^5 \frac{0,3725 \text{ kW}}{1400 \text{ RPM}}$ $T = 259,153 \text{ kg.mm}$	<ul style="list-style-type: none"> Tegangan Geser Ijin (τ_a) $\tau_a = \frac{\sigma_b}{sf_1 \times sf_2}$ $\tau_a = \frac{58}{6 \times 3} = 2,4 \text{ kg/mm}^2$
<ul style="list-style-type: none"> Diameter Poros $d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{\frac{1}{3}}$ $d_s = \left[\frac{5,1}{2,4} \times 2 \times 2 \times 259,153 \right]^{\frac{1}{3}}$ $d_s = 13,01 \text{ mm} \rightarrow 20 \text{ mm}$	

4.6 Perhitungan Pengeringan Biji Kopi

Untuk menghitung laju pengeringan pada proses pengeringan biji kopi, perlu diketahui massa awal kopi dalam keadaan basah sebesar 2.400 g, dengan tingkat kadar air awal rata-rata sebesar 50% dan tingkat kadar air akhir rata-rata 12%. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

- Massa Kering**

$$\text{Massa Kering} = \text{Massa Basah} \times \left(\frac{100 - K_{awal}}{100} \right)$$

$$\text{Massa Kering} = 2.400 \text{ g} \times \left(\frac{100 - 50}{100} \right)$$

$$\text{Massa Kering} = 1.200 \text{ g}$$
- Massa Akhir (Kadar Air Akhir 12%)**

$$\text{Massa Akhir} = \frac{\text{Massa Kering}}{1 - \frac{K_{akhir}}{100}}$$

$$\text{Massa Akhir} = \frac{1.200 \text{ g}}{1 - \frac{12}{100}}$$

$$\text{Massa Akhir} = 1.363,64$$
- Laju Pengeringan (Md)**

$$Md = \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{waktu}}$$

$$Md = \frac{2400 \text{ g} - 1.363,64 \text{ g}}{60 \text{ menit}}$$

$$Md = 17,27 \text{ gram/menit}$$

Maka, pengeringan biji kopi dengan asumsi waktu 60 menit memperoleh laju pengeringan 17,27 gram/menit.

4.7 Efisiensi Termal Pengeringan

Untuk menghitung efisiensi termal pengeringan pada heater, dapat dilihat pada tabel.

Tabel 5. Perhitungan Efisiensi Termal Pengeringan

Variabel yang Diketahui	
<ul style="list-style-type: none"> Massa Akhir Kopi (m_{akhir}) = 1,36 kg Massa Penguapan Air (m_{air}) = 1,03 kg Kalor Laten Penguapan Air (L) = 2.257 kJ Waktu Pemanasan (t) = 3.600 s Daya heater (P) = 500 W 	
Hasil Perhitungan	
<ul style="list-style-type: none"> Energi Total Masuk (Q_{in}) $Q_{in} = P \times t$ $Q_{in} = 500 \text{ W} \times 3.600 \text{ s}$ $Q_{in} = 1.800 \text{ kJ}$	<ul style="list-style-type: none"> Energi Diserap (Q_{out}) $Q_{out} = m_{air} \times L$ $Q_{out} = 1,03 \text{ kg} \times 2.257 \text{ kJ}$ $Q_{out} = 2.399,99 \text{ kJ}$
<ul style="list-style-type: none"> Efisiensi Pengeringan $\eta = \frac{Q_{in}}{Q_{out}} \times 100\%$ $\eta = \frac{1.800 \text{ kJ}}{2.399,99 \text{ kJ}} \times 100\%$ $\eta = 76,89\%$	

Maka, berdasarkan perhitungan pada tabel 4, energi heater 500 W selama 1 jam dapat menghasilkan efisiensi termal sebesar 76,89% dari energi total yang dibutuhkan.

4.8 Sistem Tenaga Panel Solar

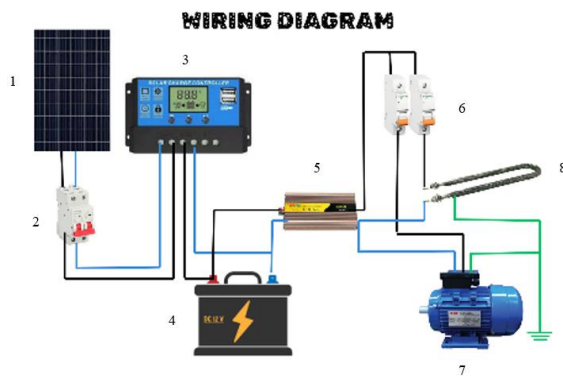
Untuk menghitung efisiensi termal pengeringan pada heater, dapat dilihat pada tabel.

Tabel 6. Perhitungan Sistem Tenaga Panel Solar

Variabel yang Diketahui	
<ul style="list-style-type: none"> Energi Panel (E_p) = 1.275 Wh Pengisian Aktif Panel (P_p) = 300 W Beban Mesin (Motor dan Heater) = 1.150 W Daya Baterai (P_b) = 850 W Daya Baterai Diseri (P_s) = 2.400 Wh Maksimum Aman Baterai (P_a) = 0,6 Wh 	
Hasil Perhitungan	
<ul style="list-style-type: none"> Suplai Baterai (S_b) $S_b = P_s \times P_a$ $S_b = 2.400 \text{ Wh} \times 0,6 \text{ Wh}$ $S_b = 1.440 \text{ Wh}$	<ul style="list-style-type: none"> Pemenuhan Beban $P_p + P_b$ $= 300 \text{ W} + 850 \text{ W}$ $= 1.150 \text{ W}$
<ul style="list-style-type: none"> Durasi Penggunaan Sistem Panel Solar (t) $t = \frac{\text{Energi Panel (} E_p \text{)} + \text{Suplai Baterai (} S_b \text{)}}{\text{Beban Mesin}}$ $t = \frac{1.275 \text{ Wh} + 1.440 \text{ Wh}}{1.150 \text{ Wh}}$ $t = 2,35 \text{ jam atau } 2 \text{ jam } 35 \text{ menit}$	

Adapun wiring diagram mesin pengering biji kopi dengan sistem panel solar dapat

dilihat pada gambar 7, dan keterangannya pada tabel 7.



Gambar 7. Wiring Diagram

Tabel 7. Keterangan Wiring Diagram

No	Kompoen	Jumlah	Spesifikasi
1	Panel Solar	1	300 W
2	MCB Panel	1	20 A
3	Charge Controller	1	30 A
4	Baterai	2	12V-100Ah
5	Inverter	1	1500 W
6	MCB	2	4 A
7	Motor Listrik	1	650 W
8	Heater	1	500 W

4.9 Sistem Hybrid Mesin Pengering Biji Kopi

Tabel 8. Perhitungan biaya penggunaan energi listrik

Variabel yang Diketahui
• Beban Mesin (B_{mesin}) = 1.150 W
• Faktor Daya Motor ($\cos \phi$) = 0,85
• Waktu Operasi (t) = 8jam/hari
• Waktu Operasi Panel (t_{panel}) = 2,35 jam
• Sisa Waktu Operasi (t_{sisa}) = 5,42 jam
• Energi Panel = 1.275 Wh
• Energi Efektif Baterai = 1.440 Wh
• Total Suplai = 2.715 Wh
• Tarif Listrik PLN = Rp 1.444/kWh
Hasil Perhitungan
• Defisit Energi
$E_{PLN} = B_{mesin} \times t_{sisa}$
$E_{PLN} = 1.150 \text{ Wh} \times 5,42 \text{ h}$
$E_{PLN} = 6,2 \text{ kWh}$
• Biaya Listrik PLN
Biaya = $E_{PLN} \times \text{Tarif Listrik}$
Biaya = $6,2 \text{ kWh} \times \text{Rp } 1.444/\text{kWh}$
Biaya = Rp 8.953/hari

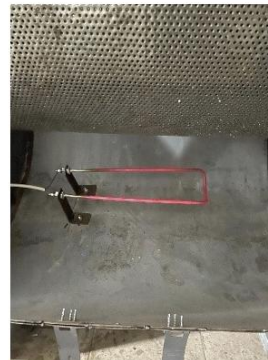
Sistem ini berfungsi untuk melanjutkan kinerja mesin setelah

menggunakan sistem panel solar yang hanya bisa menghidupkan mesin selama 2 jam 35 menit, selanjutnya disuplai dari arus AC (PLN) selama 5 jam 25 menit sehingga dapat mencapai waktu operasi mesin selama 8 jam/hari. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan kinerja mesin dengan rata-rata kerja manusia yaitu 8 jam/hari. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada table 8.

Maka, defisit energi yang harus disuplai oleh arus AC (PLN) yaitu sebesar 6,2 kWh dengan durasi waktu 5,42 jam atau 5 jam 25 menit dan biaya per harinya sebesar Rp 8.953/hari.

4.10 Pengujian Kinerja Mesin

Pengujian kinerja mesin dilakukan setelah melalui proses fabrikasi dengan acuan gambar desain yang telah dirancang. Pada gambar 8 dapat dilihat uji fungsi putaran tabung mesin dengan putaran 20,29 RPM. Adapun pada gambar 9 dapat dilihat uji fungsi heater, dengan daya 500 W dan suhu tertinggi $\pm 160^\circ\text{C}$.



Gambar 8. Uji Mesin Gambar 9. Uji Heater

4.11 Pengujian Kadar Air Akhir Biji Kopi

Tabel 9. Pengujian Kadar Air Biji Kopi (Acuan Waktu)

Pengujian Pertama (20 Menit)				
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)	Air
1.025	1.025	18,5%	30,5%	
Pengujian Kedua (40 Menit)				
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)	Air
1.025	960	30,5%	32%	
Pengujian Ketiga (60 Menit)				
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)	Air
1.025	955	32%	30%	

Pengujian kadar air akhir pada biji kopi dilakukan tiga kali dengan acuan waktu pada perhitungan teoritis yaitu ≤ 60 menit. Dengan detail waktu sebesar 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Untuk menguji kadar air pada biji kopi menggunakan alat ukur grain moisture meter. Adapun hasilnya dapat dilihat pada table 9.

Pada pengujian pertama (20 menit), terdapat peningkatan kadar air yang signifikan, hal tersebut disebabkan oleh heater yang membutuhkan waktu 18 menit agar mencapai suhu tertinggi. Hal tersebut juga dialami pada pengujian kedua (40 menit), dengan kadar air yang belum optimal diupkan oleh heater, hal tersebut membuat kondisi biji kopi berlendir akibat peningkatan kadar air.

Adapun pada pengujian ketiga (60 menit), biji kopi sudah mulai mengalami penurunan kadar air. Selisih penurunannya hanya 2%, dan kadar air akhir masih terbilang tinggi, sebesar 30%. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian lanjutan untuk menguji efektivitas waktu pengeringan biji kopi hingga mendapat hasil maksimal dengan standar kadar air biji kopi sebesar 12%.

4.12 Pengujian Efektivitas Waktu

Tabel 10. Pengujian Efektivitas Waktu

Pengujian Pertama - Mesin (3 jam 30 Menit)			
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)
1.320	695	26%	12%
Pengujian Kedua - Mesin (4 Jam)			
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)
1.320	620	26%	9,5%
Pengujian Manual (3 - 4 Minggu)			
Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)
1.320	695	26%	12%

Setelah mengetahui pengujian ≤ 60 menit belum efektif menurunkan kadar air akhir biji kopi dikarenakan proses pemanasan ke suhu tertinggi pada heater yang membutuhkan waktu selama 18 menit. Maka, dilakukan pengujian lanjutan untuk mengetahui efektivitas waktu pengeringan. Dilakukan dua pengujian, dengan memperoleh hasil waktu 3 jam 30 menit dan

4 jam. Kedua pengujian tersebut memperoleh hasil yang berbeda juga, dan jika dikomparasikan dengan proses pengeringan manual, hasilnya dapat dilihat pada table 10.

Dari hasil pengujian pertama, diperoleh waktu 3 jam 30 menit untuk menghasilkan biji kopi dengan kadar air akhir 12%. Hasil tersebut merupakan waktu paling efektif dalam proses pengeringan menggunakan mesin. Adapun pengujian kedua diperoleh waktu 4 jam, waktu yang cukup lama dan hasilnya terlalu kering dengan kadar air 9,5%. Sedangkan jika dikomparasikan dengan hasil proses pengeringan manual yang membutuhkan waktu lebih lama karena mengandalkan cuaca dan cahaya matahari, yaitu selama 3-4 minggu untuk menghasikan kadar air akhir biji kopi sebesar 12% Pengujian kadar air biji kopi dilakukan dengan variasi waktu namun hasil signifikan baru dicapai setelah 3 jam 30 menit hasil yang signifikan dicapai yaitu 3 jam 30 menit karena memiliki kadar air 12% sesuai standar SNI, dengan massa berkurang dari 1320 gram menjadi 695 gram. Sebagai pembanding, metode pengeringan manual menggunakan sinar matahari memerlukan waktu $\pm 3-4$ minggu untuk mencapai kadar air serupa.

4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pembuatan, dan pengujian data yang diperoleh, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Penelitian ini berhasil merancang, memfabrikasi, dan menguji kinerja mesin pengering biji kopi tipe rotary dryer yang terintegrasi dengan sistem panel surya sebagai sumber energi alternatif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin pengering mampu bekerja secara stabil dengan kecepatan putar tabung yang sesuai untuk proses pengadukan, sehingga distribusi panas berlangsung merata dan proses pengeringan berjalan efektif. Integrasi sistem panel surya memungkinkan mesin beroperasi pada tahap awal pengeringan dengan memanfaatkan energi

terbarukan, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap sumber listrik konvensional. Kinerja pengeringan menunjukkan bahwa mesin mampu menurunkan kadar air biji kopi hingga mencapai 12% sesuai standar SNI dalam waktu 3 jam 30 menit, yang jauh lebih singkat dibandingkan metode pengeringan konvensional. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan mesin pengering biji kopi berbasis panel surya tidak hanya meningkatkan efisiensi waktu pengeringan, tetapi juga menghasilkan proses yang lebih konsisten dan terkontrol. Dengan demikian, mesin pengering yang dikembangkan berpotensi menjadi solusi pascapanen kopi yang efisien, ramah lingkungan, dan aplikatif, khususnya bagi petani kopi skala kecil hingga menengah.

Ucapan terimakasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Politkenik Negeri Indramayu (POLINDRA) dan Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan bantuan pendanaan dana hibah penelitian Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi Nomor Kontrak 0070/C3/AL.04/2025, dan rekan-rekan dosen dan mahasiswa khususnya di Jurusan Teknik, yang telah banyak membantu dan kebersamai mulai dari proses perancangan mesin hingga pengujian kinerja mesin pengering biji kopi.

Referensi

- [1] D. Santoso and S. Egra, "Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Karakteristik dan Sifat Organoleptik Biji Kopi Arabika (*Coffeae Arabica*) Dan Biji Kopi Robusta (*Coffeae Cannephora*)," *Rona Teknik Pertanian*, vol. 11, no. 2, pp. 50–56, Oct. 2018, doi: 10.17969/rtp.v11i2.11726.
- [2] Asyiva Nurbaeti, Mila Kusumawardani, and Hendro Darmono, "Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Internet Of Things," *Jurnal Jaringan Telekomunikasi*, vol. 11, pp. 74–80, Nov. 2021.
- [3] R. M. Siregar, B. Mulyara, R. Dian, M. Maisarah, M. A. S. Pane, and A. Prayogi, "DESIGN OF CONTROL SYSTEM AND TEMPERATURE IN COFFEE DRYER ARDUINO BASED AUTOMATIC USING FUZZY," *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer)*, vol. 10, no. 3, pp. 634–642, Feb. 2025, doi: 10.33480/jitk.v10i3.6166.
- [4] YN Rohmat, B Badruzzaman, T Endramawan, and CR Pahlevi, "Perancangan Alat Pengering Kulit Ikan Lele dan Patin Dengan Menggunakan Sistem Solar Cell," *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, vol. 7, pp. 212–219, Nov. 2021.
- [5] Y. Kurniawan, B. Khoirun, Y. N. Rohmat, M. I. Al Hamid, and A. Yatim, "Performance Analysis of Mango Fruit Freezing System Using Solar Energy," *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 40–44, Feb. 2023, doi: 10.52158/jamere.v3i1.447.
- [6] B. S. Sihombing, Sumarno, Ika Okta Kirana, Poningsih, and Irawan, "RANCANG BANGUN ALAT PENGERING BIJI KOPI BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO," *STORAGE: Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 1, pp. 8–15, Feb. 2022, doi: 10.55123/storage.v1i1.155.
- [7] I. G. Bawa Susana, I. B. Alit, and I. D. K. Okariawan, "Rice husk energy rotary dryer experiment for improved solar drying thermal performance on cherry coffee," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 41, p. 102616, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2022.102616.

- [8] Zian Nur Fauzi and Heri Widiatoro, "Perancangan Mesin Pengering Biji Kopi Semi Otomatis Kapasitas 25 kg," *IRWNS*, vol. 12, pp. 182–187, Aug. 2021.
- [9] A. Y. Kebede, M. T. Tigabu, A. T. Admase, and A. J. Bezie, "Performance evaluation of diminutive solar dryer for drying of green coffee beans: In Ethiopian highlands," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 65, p. 105653, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.csite.2024.105653.
- [10] T. K. Marpaung, A. H. Sianturi, and J. A. Siagian, "RANCANGAN ALAT/MESIN PENDING KOPU MENGGUNAKAN BLOWER PANAS," *RODA: Jurnal Pendidikan dan Teknologi Otomotif*, vol. 2, no. 1, p. 35, Jun. 2022, doi: 10.24114/roda.v2i1.30917.
- [11] Andri Agus Salim, Endah Fitriani, and Tamsir Ariyadi, "Rancang Bangun Alat Ukur Kadar Air Dan Pending Biji-Bijian Berbasis Mikrokontroller," *Electrician : Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 18, no. 2, pp. 121–127, May 2024, doi: 10.23960/elc.v18n2.2611.
- [12] A. Z. Abidin *et al.*, "Improving Coffee Bean Drying Performance Using Polydryer (Dryer Assisted with Superabsorbent Polymer)," *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2024, no. 1, Jan. 2024, doi: 10.1155/2024/1559845.
- [13] N. Nafisah, I. N. Syamsiana, R. I. Putri, W. Kusuma, and A. D. W. Sumari, "Implementation of fuzzy logic control algorithm for temperature control in robusta rotary dryer coffee bean dryer," *MethodsX*, vol. 12, p. 102580, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.mex.2024.102580.
- [14] S. Suherman, H. Hadiyanto, M. A. Asy-Syaqiq, G. Afifah Ghassani, and M. Ajundasari, "Energy and exergy performance evaluation of a drying coffee beans system using a photovoltaic–direct solar dryer at different drying temperature conditions," *International Journal of Ambient Energy*, vol. 45, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1080/01430750.2024.2344548.
- [15] Yusup Nur Rohmat, "Studi Eksperimen Konversi Lpg Pada Sepeda Motor Berbahan Bakar Bensin," *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 1, pp. 11–17, Nov. 2015.