

**ANALISA LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA MESIN PENGERING BIJI KOPI**M. Rakha Al Hakim<sup>1</sup>, Fenoria Putri<sup>2</sup>, Muhammad Irfan Dzaky<sup>3</sup><sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Barat. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30128

[Alhakimrakha03@gmail.com](mailto:Alhakimrakha03@gmail.com)<sup>1</sup>**Abstrak**

Kota Pagar Alam, sebagai salah satu daerah penghasil kopi di Sumatera Selatan, masih banyak menggunakan metode pengeringan tradisional yang bergantung pada sinar matahari dengan kekurangan sangat ketergantungan terhadap cuaca. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan debit udara sebesar 300, 400, dan 500 liter per menit serta temperatur udara pengering 60°C, 70°C, dan 80°C. Parameter yang diamati meliputi penurunan massa biji kopi, penyusutan kadar air, dan laju perpindahan panas. Alat bantu yang digunakan antara lain thermocouple, hot wire anemometer, RH meter, dan timbangan digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi debit dan temperatur udara, semakin besar laju perpindahan panas dan semakin cepat penurunan kadar air biji kopi. Pada debit udara 500 LPM dengan suhu 80°C diperoleh laju perpindahan panas tertinggi sebesar 343 W, dengan penurunan massa terbesar sebesar 534 gram dari massa awal 2100 gram, kadar air akhir mencapai 38,93%.

**Kata kunci :** pengeringan kopi, biji kopi robusta, debit udara, suhu pengering, perpindahan panas.

**Abstract**

*Pagar Alam City, as one of the coffee-producing regions in South Sumatra, still relies heavily on traditional sun drying methods, which are highly dependent on weather conditions. The experiment was carried out by varying the air flow rate at 300, 400, and 500 liters per minute and drying air temperature at 60°C, 70°C, and 80°C. The observed parameters included the reduction of coffee bean mass, moisture content decrease and the heat transfer rate. Supporting instruments used in this study included thermocouples, a hot wire anemometer, an RH meter, and a digital scale. The results showed that increasing both the air flow rate and drying temperature significantly enhanced the heat transfer rate and accelerated the reduction of moisture content in the coffee beans. At an air flow rate of 500 LPM and a temperature of 80°C, the highest heat transfer rate of 343 W, was obtained, with the largest mass reduction of 534 grams from an initial mass of 2100 grams, a final moisture content of 38.93%.*

**Key words :** coffee drying, robusta coffee beans, air flow rate, drying temperature, heat transfer.

**PENDAHULUAN**

Kota Pagar Alam merupakan salah satu daerah penghasil kopi utama di Provinsi Sumatera Selatan dengan luas perkebunan mencapai 8.237 hektar dan tingkat produktivitas sekitar 12.782 kg per tahun [1]. Kopi merupakan komoditas unggulan yang memiliki kontribusi besar terhadap perekonomian masyarakat setempat. Namun, permasalahan utama yang dihadapi oleh petani adalah proses pascapanen, khususnya pada tahap pengeringan biji kopi. Proses pengeringan yang masih banyak dilakukan secara tradisional menggunakan sinar matahari sangat bergantung pada kondisi cuaca, sehingga sering menyebabkan

kadar air biji kopi tidak stabil. Ketidakstabilan kadar air tersebut dapat menurunkan mutu fisik dan cita rasa kopi akibat pertumbuhan jamur dan perubahan warna biji [2].

Menurut SNI 01-2907-1999, kadar air maksimum yang direkomendasikan untuk penyimpanan biji kopi adalah 12% agar mutu tetap terjaga dan mencegah pertumbuhan mikroorganisme [3]. Namun, pada praktiknya, proses pengeringan alami sering kali tidak mampu mencapai kadar air tersebut secara konsisten, terutama saat kondisi kelembapan udara tinggi. Oleh karena itu, inovasi teknologi pengeringan menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi dan kestabilan proses.

Salah satu teknologi modern yang dapat diterapkan adalah sistem pengering berbasis heat pump drying yang memanfaatkan prinsip kerja siklus refrigerasi. Sistem ini bekerja dengan cara mengondensasikan uap air dari udara lembab dan memanaskannya kembali sehingga dapat digunakan kembali dalam siklus tertutup. Metode ini lebih efisien dibandingkan pengeringan konvensional karena mampu menghemat energi dan mengontrol suhu serta kelembapan secara stabil [4]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sistem refrigerasi dengan double condenser mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan mempercepat proses pengeringan biji kopi [5].

Masalah lain yang dihadapi dalam pengeringan kopi adalah lamanya waktu pengeringan dan tingginya konsumsi energi yang dibutuhkan [6]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh debit udara dan temperatur udara pengering terhadap laju perpindahan panas pada biji kopi robusta menggunakan sistem pengering berbasis refrigerasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi pengering kopi yang lebih efisien serta menjadi referensi dalam penerapan sistem pengering modern di daerah penghasil kopi seperti Kota Pagar Alam.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif, yaitu dengan melakukan pengujian langsung terhadap mesin pengering kopi berbasis sistem refrigerasi. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit udara sebesar 300, 400, dan 500 liter per menit (LPM) serta temperatur udara pengering sebesar 60°C, 70°C, dan 80°C. Setiap kombinasi variabel diuji selama waktu pengeringan tertentu untuk mengamati perubahan massa, kadar air, dan besarnya laju perpindahan panas yang terjadi.

### 1. Bahan

Objek penelitian dalam penelitian ini adalah biji kopi robusta yang berasal dari Desa Penandingan, Kota Pagar Alam, Sumatera Selatan.



Gambar 1 Sampel Biji kopi robusta

Sampel yang digunakan merupakan biji kopi hasil panen segar yang belum mengalami proses pengeringan dengan kadar air awal 64,36%, sesuai hasil uji laboratorium kadar air menggunakan metode SNI 01-2907-2008. Setiap percobaan menggunakan massa awal biji kopi sebesar 2.100 gram yang dikeringkan menggunakan variasi debit dan temperatur udara pengering

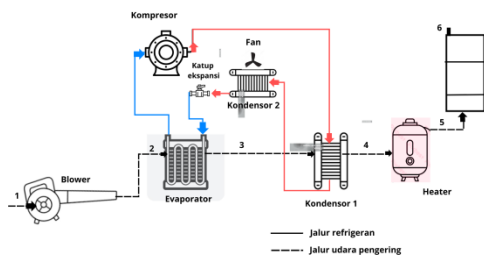
### 2. Alat

Alat utama yang digunakan adalah mesin pengering kopi berbasis sistem refrigerasi dengan tipe *double condenser heat pump*. Komponen utama terdiri atas kompresor, kondensor ganda, evaporator, katup ekspansi, serta ruang pengering dengan dimensi 50 × 50 × 50 cm dan dilengkapi blower untuk mensuplai udara ke ruang pengering, serta heater untuk meningkatkan suhu sesuai dengan variasi yang diinginkan, Refrigeran yang digunakan adalah R-410A.



Gambar 2 Mesin Pengering Kopi Sistem Refrigerasi

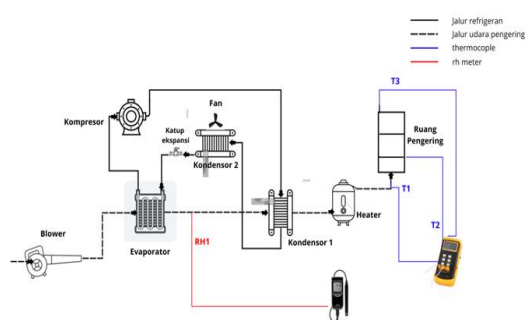
Alat Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Hot wire anemometer untuk mengukur kecepatan udara yang selanjutnya dikonversi menjadi debit udara (LPM). Rh meter digunakan untuk mengukur kelembapan relatif udara sebelum dan sesudah proses pengeringan. Timbangan digital untuk mengukur perubahan massa biji kopi sebelum dan sesudah proses pengeringan.



Gambar 3 Siklus kerja mesin pengering sistem refrigerasi

Udara dari lingkungan pertama kali disedot oleh blower dan dialirkan ke dalam sistem pengering. Selanjutnya, udara tersebut melewati evaporator, tempat di mana udara didinginkan sehingga uap air di dalamnya mengembun. Proses ini secara langsung menurunkan kelembaban udara, menjadikannya lebih kering. Udara kering tersebut kemudian diarahkan ke kondensator 1, yang memanfaatkan panas buangan dari siklus refrigerasi untuk memanaskan udara, meningkatkan suhu awal. Setelah dari kondensator 1, udara mengalir ke heater gas, di mana suhu udara dinaikkan lagi hingga mencapai tingkat optimal untuk proses pengeringan. Udara panas ini kemudian disirkulasikan ke dalam ruang pengering, di mana udara bersentuhan langsung dengan biji kopi dan menguapkan kadar air yang terkandung di dalamnya. Uap air yang terbentuk dibawa keluar oleh aliran udara kering tersebut. Sementara itu, di sisi lain, sistem refrigerasi tertutup bekerja secara berkesinambungan. Kompresor menekan refrigerasi dalam bentuk gas untuk masuk ke kondensator 2, yang dibantu oleh kipas (fan) untuk membuang panas ke lingkungan. Setelah melewati katup ekspansi, tekanan refrigerasi diturunkan sehingga suhunya ikut turun, lalu masuk kembali ke evaporator untuk menyerap panas dari udara dan mengulang siklus pendinginan. Seluruh rangkaian ini bekerja simultan untuk menjaga suhu dan kelembaban tetap stabil selama proses pengeringan berlangsung.

### 3. Posisi Alat Ukur



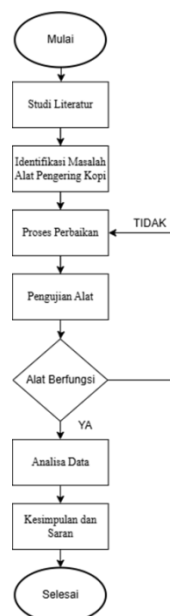
Gambar 4 Posisi Alat ukur

Termokopel 1 (T1) dipasang pada jalur masuk ruang pengering, tepat sebelum udara memasuki ruang pengering. Peletakan ini bertujuan untuk mengukur suhu udara pengering yang berasal dari sistem pemanas setelah mengalami proses pemanasan.

Termokopel 2 (T2) ditempatkan di dalam ruang pengering, posisi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi suhu aktual di dalam ruang pengering.

Termokopel 3 (T3) dipasang pada jalur keluar ruang pengering, setelah udara melewati biji kopi. Sensor ini berfungsi untuk mengukur suhu udara pengering setelah menyerap panas dari biji kopi yang sedang dikeringkan.

Sensor *Relative Humidity* 1 (RH1) diletakkan pada jalur udara dari evaporator menuju kondensator 1. Sensor ini digunakan untuk memantau tingkat kelembaban udara yang telah didinginkan oleh evaporator.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan debit udara sebesar 300, 400, dan 500 liter per menit (LPM) serta temperatur udara pengering sebesar 60°C, 70°C, dan 80°C.



Gambar 6 Biji kopi robusta

Pengujian dilakukan selama 60 menit untuk setiap variasi, dan hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan massa yang signifikan seiring peningkatan suhu dan debit udara.

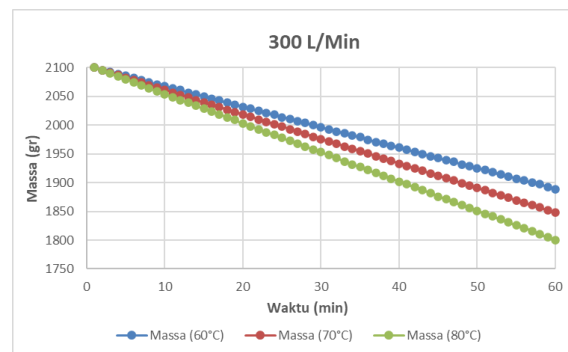
Tabel 1 Data hasil penurunan massa

Debit Udara (L/min)	Suhu	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Penurunan Massa
300	(60°C)	2100	1889	211
	(70°C)	2100	1848	252
	(80°C)	2100	1800	300
400	(60°C)	2100	1844	256
	(70°C)	2100	1790	310
	(80°C)	2100	1759	341
500	(60°C)	2100	1796	304
	(70°C)	2100	1671	429
	(80°C)	2100	1566	534

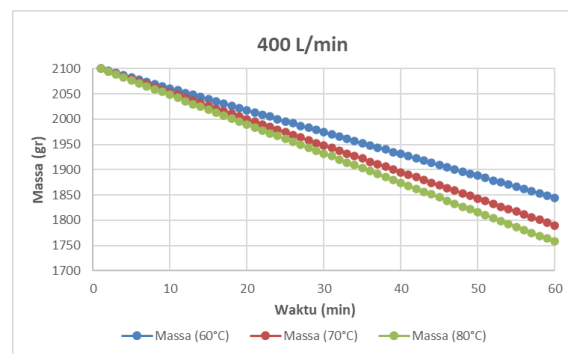
Hasil pengujian yang disajikan dalam Tabel 1 dapat dianalisis bahwa peningkatan suhu dan debit udara pengering memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan massa biji kopi robusta selama proses pengeringan. Pada setiap tingkat debit udara, kenaikan suhu dari 60°C ke 80°C menyebabkan peningkatan penurunan massa secara bertahap.

Pada debit 300 LPM, penurunan massa meningkat dari 211 gram pada suhu 60°C menjadi 300 gram pada suhu 80°C. Pola serupa juga terlihat pada debit 400 LPM, yang meningkat dari 256 gram menjadi 341 gram, serta pada debit 500 LPM yang menunjukkan peningkatan signifikan dari 304

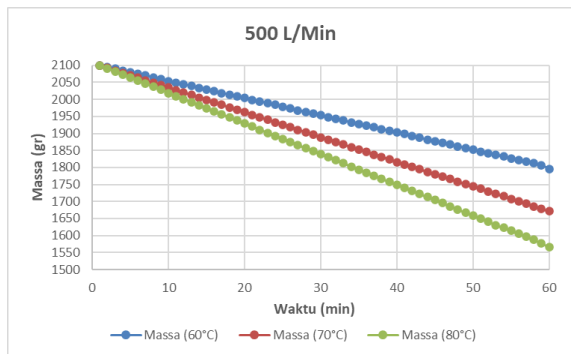
gram menjadi 534 gram. Hal ini menunjukkan bahwa suhu udara yang lebih tinggi mempercepat proses penguapan air dari biji kopi. Selain itu, pada setiap tingkat suhu, peningkatan debit udara juga berbanding lurus dengan peningkatan penurunan massa. Pada suhu 60°C, debit 300 LPM menghasilkan penurunan massa sebesar 211 gram, sedangkan pada debit 500 LPM penurunannya mencapai 304 gram. Begitu pula pada suhu 80°C, penurunan massa meningkat signifikan dari 300 gram pada debit 300 LPM menjadi 534 gram pada debit 500 LPM. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit udara yang digunakan, semakin cepat proses pengeringan berlangsung karena peningkatan laju perpindahan panas dan massa uap air dari permukaan biji kopi ke udara. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kombinasi suhu dan debit udara yang tinggi memberikan hasil pengeringan yang lebih optimal. Kondisi paling efektif dalam penelitian ini diperoleh pada kombinasi suhu 80°C dan debit udara 500 LPM, yang menghasilkan penurunan massa terbesar sebesar 534 gram, menandakan proses pengeringan berlangsung paling cepat dan efisien pada kondisi tersebut.



Gambar 7 Grafik hasil pengeringan 300 L/min



Gambar 8 Grafik hasil pengeringan 400 L/min



Gambar 9 Grafik hasil pengeringan 500 L/min

Grafik perubahan massa biji kopi terhadap waktu menunjukkan bahwa semakin lama proses pengeringan berjalan, massa biji kopi semakin berkurang secara bertahap. Pada awalnya, massa biji kopi sekitar 2.100 g. Selama 60 menit proses pengeringan, massa terus menurun karena air di dalam biji kopi menguap terbawa oleh aliran udara panas.

Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa suhu yang lebih tinggi membuat biji kopi lebih cepat kering. Misalnya pada debit udara 300 LPM, setelah 60 menit pengeringan massa biji kopi turun menjadi 1.889 g pada suhu 60°C, lalu 1.848 g pada suhu 70°C, dan semakin rendah menjadi 1.800 g pada suhu 80°C. Ini terjadi karena semakin tinggi suhu udara, semakin besar perbedaan suhu dengan biji kopi, sehingga proses pemanasan dan penguapan air berlangsung lebih cepat.

Selain suhu, jumlah udara yang ditiupkan (debit udara) juga sangat memengaruhi kecepatan pengeringan. Pada suhu 80°C, massa akhir biji kopi mencapai 1.800 g pada debit 300 LPM, turun menjadi 1.759 g pada 400 LPM, dan semakin rendah menjadi 1.566 g pada 500 LPM. Semakin besar debit udara, semakin cepat aliran udara bergerak sehingga panas lebih mudah masuk ke biji kopi dan mempercepat penguapan air.

Kombinasi suhu tinggi dan debit udara besar terbukti menghasilkan pengeringan paling cepat. Kondisi terbaik ada pada suhu 80°C dengan debit 500 LPM, di mana massa biji kopi turun hingga 1.566 g atau berkurang sekitar 534 g dari massa awal. Sebaliknya, pengeringan paling lambat terjadi pada suhu 60°C dengan debit 300 LPM, dengan penurunan massa hanya sekitar 211 g.

Secara keseluruhan, percobaan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan semakin besar debit udara, semakin cepat biji kopi kehilangan air. Hasil ini sesuai dengan prinsip dasar bahwa semakin banyak energi panas dan semakin kuat aliran udara, semakin cepat pula proses penguapan air dari dalam bahan.

### Analisa Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas dalam proses pengeringan sangat dipengaruhi oleh karakteristik aliran udara dan suhu, yang dikarakterisasi oleh besaran nondimensi seperti bilangan Reynolds (*Re*), bilangan Prandtl Number (*Pr*), dan Dalam Pada penelitian ini, bilangan Reynolds dihitung untuk mengetahui karakter aliran udara yang terjadi pada saluran pengering digunakan pendekatan berdasarkan persamaan rumus:

$$Re = \frac{U.L}{\nu} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- Re = Reynolds
- U = Kecepatan rata rata aliran udara (m/s)
- L = Panjang diameter hidrolis ruang pengering (m)
- ν = Viskositas kinematik udara (m<sup>2</sup>/s)

Dalam persamaan ini luas area keseluruhan kopi diasumsikan 50 x 50

Menghitung Reynold (*Re*) 300 lpm 60°

$$Re = \frac{0,02 \times 0,25}{18,97 \times 10^{-6} m^2/s} = 263,57 \dots\dots\dots(2)$$

300 lpm 70° = 249,75

300 lpm 80° = 237,08

Menghitung Reynold (*Re*) 400 lpm 60°

$$Re = \frac{0,024 \times 0,25}{18,97 \times 10^{-6} m^2/s} = 316,29 \dots\dots\dots(3)$$

400 lpm 70° = 299,70

400 lpm 80° = 284,50

Menghitung Reynold (*Re*) 500 lpm 60°

$$Re = \frac{0,032 \times 0,25}{18,97 \times 10^{-6} m^2/s} = 421,72 \dots\dots\dots(4)$$

500 lpm 70° = 399,60

500 lpm 80° = 379,33

Nilai nilai seperti *p*, *k*, *Cp*, *ν* dan *Pr* diperoleh dari Tabel [8].

Keterangan:

- p* = rho udara
- k* = konduktivitas termal biji kopi
- ν* = viskositas kinematik udara
- Pr* = Prandtl Number

Untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan panas konveksi (*h*) digunakan pendekatan berdasarkan persamaan rumus.

$$h = 0.664 \cdot \frac{k}{L} (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3}$$

Menghitung nilai koefisien perpindahan panas (*h*) 300 lpm 60°

$$h = 0.664 \times \frac{0,6}{0,25} \times (263,57)^{1/2} \times (0,696)^{1/3} = 22,928 \dots\dots\dots(5)$$

300 lpm 70° = 22,297

300 lpm 80° = 21,703

Menghitung nilai koefisien perpindahan panas (*h*)  
400 lpm 60°

$$h = 0.664 \times \frac{0.6}{0.25} \times (316,29)^{1/2} \times 0,696^{1/2} = 25,116 \dots \dots \dots (6)$$

400 lpm 70° = 24,425

400 lpm 80° = 23,774

Menghitung nilai koefisien perpindahan panas (*h*)  
500 lpm 60°

$$h = 0.664 \times \frac{0.6}{0.25} \times (421,72)^{1/2} \times 0,696^{1/3} = 29,001 \dots \dots \dots (7)$$

500 lpm 70° = 28,204

500 lpm 80° = 27,452

Untuk menghitung jumlah panas yang ditransfer secara konveksi dari fluida ke permukaan maka digunakan rumus konveksi sebagai berikut:

$$q = h A (T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

q = Laju perpindahan panas (Watt/meter)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi(W/m<sup>2</sup>·K)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

T<sub>s</sub> = Suhu udara pemanas (°C)

T<sub>∞</sub> = Suhu awal Biji Kopi (°C)

Dalam persamaan ini luas permukaan perpindahan panas biji kopi diasumsikan 50 x 50 dan suhu awal biji kopi diasumsikan 30° C.

$$300 \text{ lpm } 60^\circ = 22,928 \times 0.25 \times (60 - 30) = 172 \text{ W} \dots \dots \dots (9)$$

$$300 \text{ lpm } 70^\circ = 22,297 \times 0.25 \times (70 - 30) = 223 \text{ W}$$

$$300 \text{ lpm } 80^\circ = 21,703 \times 0.25 \times (80 - 30) = 271 \text{ W}$$

$$400 \text{ lpm } 60^\circ = 25,116 \times 0.25 \times (60 - 30) = 188 \text{ W}$$

$$400 \text{ lpm } 70^\circ = 24,425 \times 0.25 \times (70 - 30) = 244 \text{ W}$$

$$400 \text{ lpm } 80^\circ = 23,774 \times 0.25 \times (80 - 30) = 297 \text{ W}$$

$$500 \text{ lpm } 60^\circ = 29,001 \times 0.25 \times (60 - 30) = 218 \text{ W}$$

$$500 \text{ lpm } 70^\circ = 28,204 \times 0.25 \times (70 - 30) = 282 \text{ W}$$

$$500 \text{ lpm } 80^\circ = 27,452 \times 0.25 \times (80 - 30) = 343 \text{ W}$$

Hasil Dalam perhitungan ini, luas permukaan perpindahan panas biji kopi diasumsikan sebesar 50 x 50 cm atau 0,25 m<sup>2</sup>, sedangkan suhu awal biji kopi diasumsikan 30°C.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan  $q = h A (T_s - T_\infty)$  diperoleh bahwa nilai laju perpindahan panas meningkat seiring dengan kenaikan suhu pemanas dan debit udara pengering. Pada debit udara 300 LPM, nilai Q yang dihasilkan berturut-turut adalah 172 W pada suhu 60°C, 223 W pada 70°C, dan 271 W pada 80°C. Untuk debit 400 LPM, nilai Q sebesar 188 W, 244 W, dan 297 W pada suhu 60°C, 70°C, dan 80°C. Sedangkan pada debit 500 LPM, nilai Q diperoleh sebesar 218 W pada 60°C, 282 W pada 70°C, dan 343 W pada 80°C.

Dari data hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanas maka selisih suhu antara udara pengering dan biji kopi juga semakin besar, sehingga jumlah energi panas yang ditransfer ke biji kopi meningkat. Selain itu, peningkatan debit udara menyebabkan perpindahan panas secara konveksi menjadi lebih efektif karena udara panas yang mengalir lebih banyak dapat membawa energi panas ke permukaan biji kopi dengan lebih merata.

Kombinasi terbaik diperoleh pada debit udara 500 LPM dan suhu 80°C, dengan laju perpindahan panas tertinggi sebesar 343 W. Hal ini menunjukkan bahwa pengeringan dengan debit udara besar dan suhu tinggi mampu mempercepat proses pengeringan biji kopi karena energi panas yang ditransfer lebih besar.

**Analisa Penurunan Kadar Air**

Kandungan air dalam bahan, khususnya hasil pertanian, dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu air bebas (*free water*) dan air terikat (*bound water*). Air bebas merupakan air yang berada pada permukaan bahan dan jumlahnya merupakan selisih antara kadar air total bahan dengan kadar air kesetimbangan pada kondisi suhu dan kelembaban tertentu. Sementara itu, air terikat adalah air yang berada di dalam jaringan bahan dan terikat secara fisik maupun kimia, dengan tekanan uap lebih rendah dibandingkan dengan cairan murni pada suhu yang sama [9].

Dalam proses pengeringan, air yang pertama kali diuapkan adalah air bebas, kemudian dilanjutkan dengan air terikat. Air yang dapat diuapkan ini sering disebut sebagai *vaporable water*. Untuk menguapkan air tersebut diperlukan energi, di mana energi penguapan untuk air terikat secara fisik lebih besar dibandingkan dengan air bebas, dan energi terbesar dibutuhkan untuk menguapkan air yang terikat secara kimia [9].

Prinsip dasar pengeringan adalah terjadinya perpindahan air dari bahan ke udara karena adanya perbedaan kandungan uap air antara udara pengering dengan bahan. Proses ini

menyebabkan kadar air bahan berkurang seiring dengan penyerapan energi panas yang digunakan untuk menguapkan air [10].

Ada dua cara untuk menyatakan kandungan air pada biji kopi, yaitu:

1. Basis Kering (dry basis) Kadar air secara basis kering (dry basis) adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan bahan keringnya.
2. Basis Basah (wet basis) Kadar air secara basis basah (wet basis) adalah perbandingan antara berat air didalam bahan tersebut dengan berat bahan basah. Untuk menghitung kadar air biji kopi kering yang diperkirakan dapat digunakan persamaan berikut ini (11).

Untuk menghitung massa kadar air diperoleh menggunakan persamaan rumus:

$$w_i = \frac{(W_{kb} - W_{kk})}{W_{kb}} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Untuk menghitung berat air biji kopi awal, dapat digunakan persamaan berikut ini:

$$w_i = W_{kb} \times w_i \dots\dots\dots(11)$$

Untuk menghitung berat kering biji kopi, dapat digunakan persamaan berikut ini:

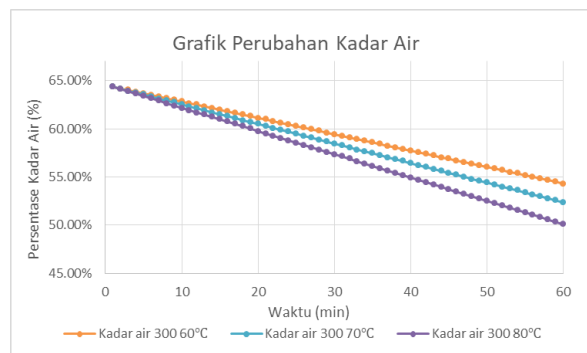
$$w_i = W_{kb} - w_{ko} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- $w_i$  = kadar air awal biji kopi (%)
- $W_{kb}$  = berat biji kopi basah (gram)
- $W_{kk}$  = berat biji kopi kering (gram)
- $W_{ko}$  = berat air biji kopi (gram)

Berikut perhitungan kadar air dari biji kopi untuk mengetahui penurunan kadar air selama telah dilakukan proses pengeringan. Yang dimana telah dilakukan pengujian kadar air awal di Kementerian Perindustrian dengan Metode Uji SNI-2907-2008 yang mendapatkan hasil uji kadar air 64,36%.

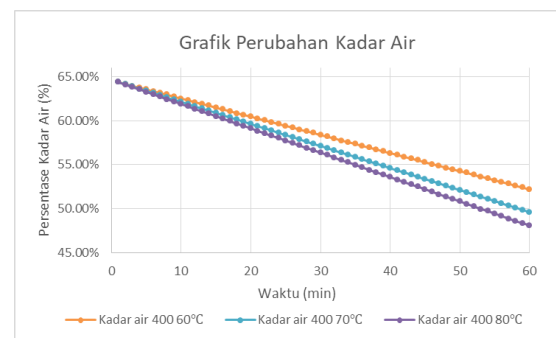
$$64.36\% = \frac{(2100 - 748)}{2100} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$



Gambar 10 Grafik kadar air 300 lpm

Berdasarkan grafik penyusutan kadar air diatas terlihat bahwa kadar air awal biji kopi robusta adalah sebesar 64,36% untuk semua variasi suhu udara pengering (60°C, 70°C, dan 80°C). Selama proses pengeringan selama 60 menit, terjadi penurunan kadar air yang cukup signifikan seiring bertambahnya waktu dan naiknya suhu udara pengering. Pada suhu 60°C, kadar air menurun dari 64,36% menjadi 54,31%, sehingga terjadi penyusutan kadar air sebesar 10,05%. Sementara pada suhu 70°C, kadar air akhir tercatat sebesar 52,36%, yang berarti terjadi penyusutan sebesar 12,00%. Adapun pada suhu 80°C, kadar air turun hingga 50,07%, menghasilkan penyusutan tertinggi sebesar 14,29%.

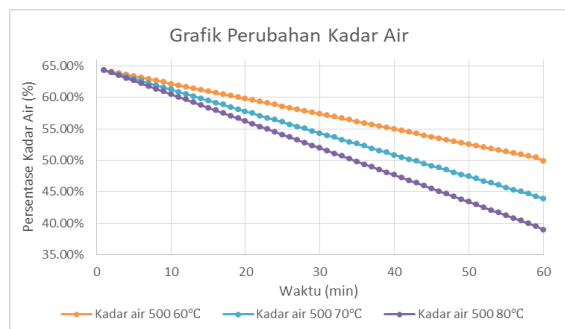
Grafik perubahan kadar air menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu udara pengering, semakin cepat laju pengurangan kadar air pada biji kopi. Penurunan yang lebih cepat pada suhu tinggi disebabkan oleh meningkatnya energi panas yang diterima oleh permukaan biji kopi, sehingga mempercepat proses penguapan air dari dalam biji menuju udara sekitar.



Gambar 11 Grafik kadar air 400 lpm

Berdasarkan grafik penyusutan kadar air kopi robusta pada debit udara 400 LPM terlihat bahwa terjadi penurunan kadar air secara bertahap seiring berjalannya waktu, baik pada suhu 60°C, 70°C, maupun 80°C.

Pada suhu 60°C, kadar air awal sebesar 64,36% mengalami penurunan hingga mencapai 52,17% dalam waktu 60 menit. Ini menunjukkan adanya penurunan kadar air sebesar 12,19%. Sementara pada suhu 70°C, kadar air turun lebih cepat, dari 64,36% menjadi 49,60% dengan total penyusutan sebesar 14,76%. Pada suhu tertinggi, yaitu 80°C, laju pengeringan meningkat signifikan, ditunjukkan oleh penurunan kadar air dari 64,36% menjadi 48,12%, atau terjadi penyusutan sebesar 16,24%.



Gambar 12 Grafik kadar air 500 lpm

Berdasarkan grafik penyusutan kadar air biji kopi robusta pada debit udara 500 LPM, terlihat bahwa proses pengeringan menghasilkan penyusutan kadar air yang semakin cepat seiring meningkatnya suhu udara pengering.

Pada suhu 60°C, kadar air awal sebesar 64,36% menurun secara bertahap menjadi 49,88% dalam waktu 60 menit. Ini menunjukkan adanya penyusutan kadar air sebesar 14,48%. Sementara pada suhu 70°C, kadar air menurun dari 64,36% menjadi 43,93%, dengan total penyusutan 20,43%. Penurunan paling signifikan terjadi pada suhu 80°C, di mana kadar air turun dari 64,36% menjadi 38,93%, dengan total penyusutan mencapai 25,43%.

Laju penurunan kadar air pada debit 500 LPM lebih cepat dibandingkan dengan debit 300 LPM dan 400 LPM. Hal ini terjadi karena peningkatan debit udara mempercepat laju konveksi panas dan membantu membawa uap air keluar dari ruang pengering dengan lebih efisien.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan melalui eksperimen menunjukkan bahwa variasi debit udara pengering memberikan pengaruh signifikan terhadap laju perpindahan panas dan percepatan proses pengeringan biji kopi robusta. Semakin besar debit udara yang digunakan, semakin cepat massa air pada biji kopi berkurang, karena aliran udara dengan debit tinggi mampu mempercepat proses konveksi panas dan mengeluarkan uap air secara lebih efisien. Selain itu, temperatur udara pengering juga berperan penting dalam meningkatkan laju perpindahan panas. Peningkatan suhu dari 60°C hingga 80°C terbukti memperbesar perbedaan suhu antara udara pengering dan biji kopi, sehingga mempercepat proses penguapan air. Kombinasi terbaik diperoleh pada debit udara 500 LPM dengan suhu 80°C, yang menghasilkan penurunan massa terbesar sebesar 534 gram dari massa awal 2.100 gram dengan kadar

air akhir mencapai 38,93%. Pada kondisi tersebut, laju perpindahan panas tertinggi tercatat sebesar 343 W, menandakan bahwa kombinasi suhu tinggi dan debit udara besar merupakan kondisi paling efektif untuk meningkatkan efisiensi proses pengeringan biji kopi robusta.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Frangga, S. Jahroh, and Y. H. Asnawi, "Robusta Coffee Marketing Channel Analysis Picking Rainbows and Picking Reds in Pagar Alam City," *Int. J. Res. Rev.*, vol. 10, no. 12, pp. 815–823, 2024, doi: 10.52403/ijrr.20231281.
- [2] M. Rohman, B. C. Tjiptady, P. Choirina, F. K. Asshidiqi, M. N. i. Humam, and M. R. Chanda, "Pemberdayaan Kelompok Tani Kopi Melalui Penerapan Mesin Sortir Otomatis Untuk Meningkatkan Produksi Pasca Panen," *J. Abdi Masy. Saburai*, vol. 4, no. 02, pp. 82–90, 2023, doi: 10.24967/jams.v4i02.2474.
- [3] Badan Standarisasi Nasional (BSN), SNI 01-2907-1999: Kopi Biji, Jakarta: BSN, 1999.
- [4] M. I. Dzaky, E. A. Kosasih, M. B. Fauzi, A. T. Prabowo, and A. Zikri, "Activation Energy Analysis of Coffee Beans Drying Using Double Condenser Refrigeration System," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2377, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2377/1/012058.
- [5] M. I. Dzaky, E. A. Kosasih, I. I. Hakim, and A. Zikri, "Investigation of Thin-Layer Drying of Coffee Beans Using a Double-Condenser Compression Refrigeration System: Effects of Air Mass Flux, Specific Humidity and Drying Temperature," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 106, no. 1, pp. 90–103, 2023, doi: 10.37934/arfmts.106.1.90103.
- [6] D. Kumaisyaroh and S. Bahri, "ANALISIS RANTAI MARKOV UNTUK PREDIKSI HASIL PRODUKSI TANAMAN KOPI DI PROVINSI SUMATERA SELATAN Markov chain Analysis for Prediction of Coffee Crop Production in South Sumatera Province," *J. Mat. Statiska dan Ter.*, vol. 02, no. 02, pp. 125–134, 2023, <https://doi.org/10.30598/parameterv2i02pp125-134>.

- [7] V. Holman, *Heat Transfer*, vol. 15, no. 3. 1999. doi: 10.1080/01973762.1999.9658510.
- [8] T. Rokhman, “Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Konveksi.” [Online]. Available: <https://taufiqurrokhman.wordpress.com/tag/prandtl/>.
- [9] Setijahartini, S. 1985. *Pengeringan Agro Industri*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [10] Firdaus, Aneka. 2016. *Perancangan dan Analisa Alat Pengering Ikan dengan Memanfaatkan Energi Briket Batubara*. Palembang: Universitas Sriwijaya. <https://dx.doi.org/10.22441/jtm.v5i4.1216>.
- [11] S. S. T. Gultom, H. Ambarita, M. S. Gultom, dan F. H. Napitupulu, “Rancang Bangun dan Pengujian Pengering Biji Kopi Tenaga Listrik dengan Pemanfaatan Energi Surya,” *Jurnal Dinamis*, vol. 7, no. 4, pp. 11–20, Des. 2019. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v7i4.7201>.