

Analisa Kebutuhan Energi Termal Pada Kotak Pengering Biji Kopi Arabica yang di Isolasi dengan Aluminium Foil

¹⁾Parulian Siagian, ¹⁾Richard A.M Napitupulu, ¹⁾Miduk Tampubolon, ²⁾Lestina Siagian, ³⁾Horas Siagian, ³⁾Hendrik V Sihombing

¹⁾Dosen tetap Prodi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen., Medan

²⁾Dosen tetap Prodi Teknik Elektro Universitas HKBP Nommensen., Medan

³⁾Mahasiswa Pascasarjana Prodi Teknik Mesin USU Medan
parulian.siagian@uhn.ac.id

Abstrac

The experiment test was carried out to obtain the composition of the caloric quality needed to determine the water content and the mass amount of coffee beans when they were dried by utilizing the sun's heat. Heat transfer processes by convection, conduction and radiation play an important role in the drying process with heat quality. Ambient temperature data of 35⁰C with a constant fan rotation speed of 1.0m/s. The duration of the test is 5 days where the initial sample weight is 5000gr with the final result being a water content of 12-15%, with a duration of testing per day for 10 hours starting at 08.00-18.00Wib. The final drying weight of coffee beans for 5 days is: 2500.21gr with an initial weight of 5000kg. The temperature difference around the box is 31,110C. heat weight to evaporate water content $Q_h = 65.6058.kJ$. and the heat required in heating the Coffee beans is 72,839 kJ. The ability to dry 5000gr of coffee beans requires total heat: 138.43kJ with a drying box volume of 8.88m³.

Keywords: Thermal, Energy, coffee, isolation, aluminium foil.

Diterima : 20, Desember 2022, Revisi 20, Januari 2023, Diterima 23 February 2023

1. Pendahuluan.

Pengeringan adalah sebuah proses dalam upaya mengurangi atau menghilangkan sebagian kadar air dari suatu bahan atau sampel yang dikeringkan. Pengeringan sangat berguna di banyak hala khususnya untuk penanganan pasca panen pertanian.. Energy panas dapat kita peroleh dengan secara alami (konvensional) atupun secara metode buatan. Energy panas konvensional bersumber dari energy panas matahari yang kita dapatkan secara gratis dan cuma cuma. Hal inilah yang menjadi daya tarik tersendiri karena tidak mengeluarkan biaya . Akan tetapi pengeringan secara konvensional ini memiliki kerugian tersendiri karena sangat tergantung oleh cuaca lingkungan Salah satu produk yang membutuhkan pengeringan adalah kopi. Prinsip pengeringan biasanya akan melibatkan dua kejadian yaitu panas yang diberikan pada bahan dan air yang harus dikeluarkan dari bahan. Dua fenomena ini menyangkut pindah panas ke dalam dan pindah massa ke luar. Yang dimaksud dengan pindah panas adalah peristiwa perpindahan energi dari udara ke dalam bahan yang dapat menyebabkan berpindahnya sejumlah massa (kandungan air) karena gaya dorong untuk keluar dari bahan (pindah massa)[1]. Metode pengeringan yang biasa dilakukan adalah metode konvensional dan pengering buatan. Menurut Survei lapangan pengeringan kopi di provinsi Sumatera Utara mengungkapkan bahwa proses pengeringan adalah sangat tradisional[2]. Beberapa factor factor yang mempengaruhi Pengeringan yaitu: luas permukaan, suhu, kecepatan udara, kelembapan udara,tekanan udara,waktu.

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran kalkulasi kemampuan dan besar energy panas yang ada dalam kotak pengering sebagai pengering biji kopi dengan sumber panas yang berasal dari kolektor surya.

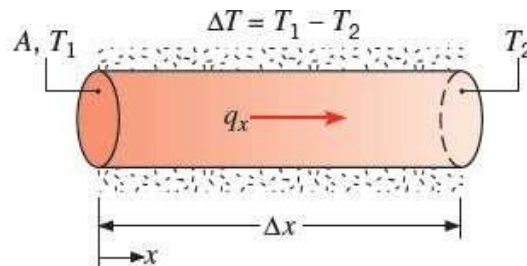
2. DASAR TEORI

2.1. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material [6]. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.2. Perpindahan Kalor Konduksi

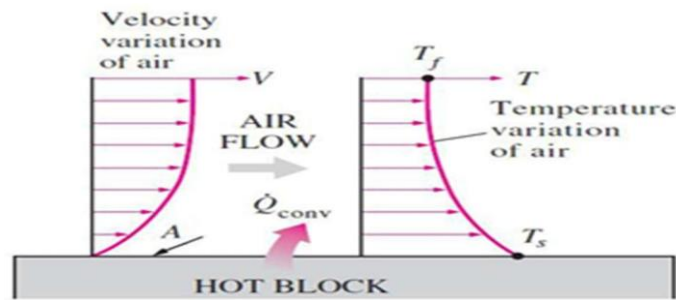
Perpindahan kalor konduksi merupakan proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair, atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (*temperature gradient*), maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah. Perhatikan perpindahan kalor konduksi seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Perpindahan kalor konduksi[3]

2.3. Perpindahan Kalor Konveksi

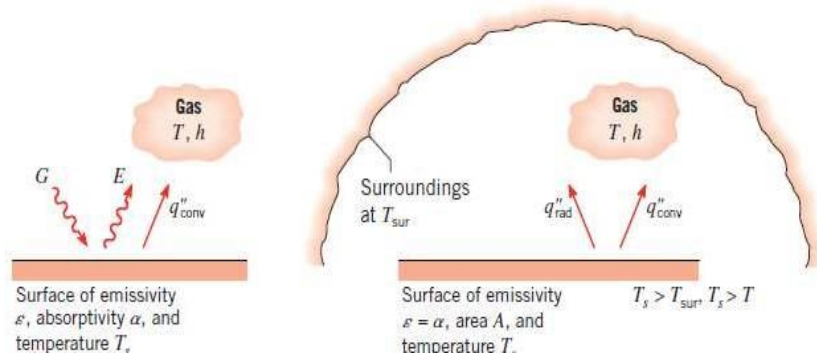
Perpindahan kalor konveksi merupakan perpindahan panas antara permukaan solid dan berdekatan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa/eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*). Perhatikan perpindahan kalor konveksi seperti pada gambar .2.



Gambar 2. Perpindahan kalor konveksi [4]

2.4. Perpindahan Kalor Radiasi

Berlainan dengan mekanisme konduksi dan konveksi, dimana perpindahan energi terjadi melalui bahan antara, kalor juga dapat berpindah melalui daerah-daerah hampa. Mekanismenya di sini adalah sinaran atau radiasi elektromagnetik [4]. Jadi radiasi merupakan perpindahan energi karena emisi gelombang elektromagnet (atau *photons*). Untuk mempermudah pemahaman, perhatikan gambar 3.



Gambar 3. Perpindahan kalor radiasi [5]

2.5. Energi Termal

Iradiasi surya (*Ih*) Pengukuran iradiasi surya menggunakan alat *lightmeter*, dengan cara diukur langsung di dekat alat pengering, yaitu di tempat yang terkena sinar matahari secara langsung. Total iradiasi surya harian (*Ih*) dihitung secara matematis dengan menggunakan metode Simpson [6]

$$Ih = \Delta t \left[I_i + 4 \sum I_{tgi} + 2 \sum I_{tgi} + I_f \right] \dots \dots \dots 1)$$

Kebutuhan energi yang digunakan dalam proses pengeringan, energi surya yang diterima oleh alat model pengering [7]

$$Q1 = 3,6 \cdot IR \cdot AP(\tau\alpha) \cdot t \dots \dots \dots 2)$$

Panas yang digunakan untuk menguapkan air produk dengan persamaan Siebel [5][8]

$$Q3 = m_u \times h_{fg} \dots \dots \dots 3)$$

$$M_u = m_0 \cdot (M_0 - M_f 100 - M_f) \dots \dots \dots 4)$$

$$H_{fg} = 2502 - 2,3775 T \dots \dots \dots 5)$$

Panas yang diterima udara model pengering

$$Q_3 = m_{ud} \cdot C_{ud} \cdot (T_R - T_1) \cdot 3600t \dots\dots\dots 6)$$

Kehilangan panas pada dinding transparan.

$$Q_{l4} = A_d \cdot U_d \cdot (T_R - T_a) \dots\dots\dots 7)$$

Panas yang digunakan untuk menaikkan suhu produk

$$Q_2 = m_0 \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \dots\dots\dots 8)$$

$$C_p = 0,837 + 0,034 \cdot M_0 \dots\dots\dots 9)$$

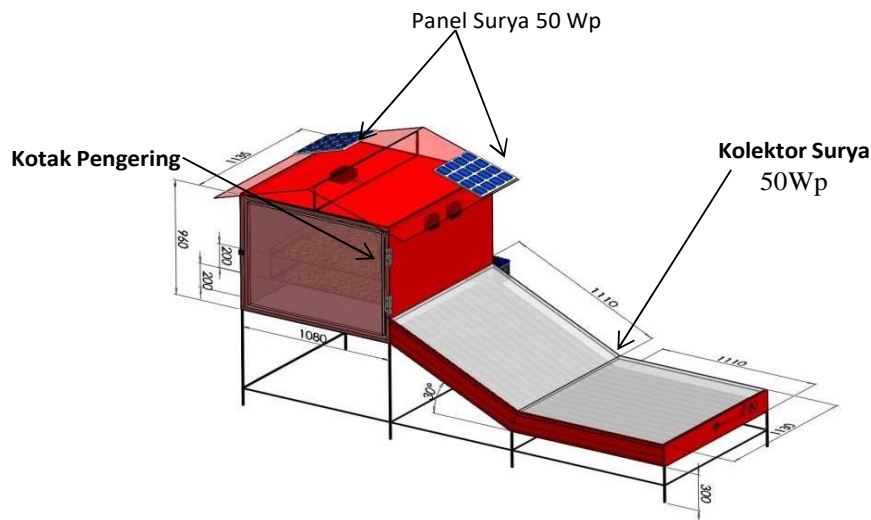
Efisiensi sistem pengeringan

$$\eta = Q_t / Q_T \times 100\% \dots\dots\dots 10)$$

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Analisis data yang dilakukan dengan pendekatan matematis untuk menyelesaikan model perhitungan matematik yang diolah dengan program computer *Math Lab*.

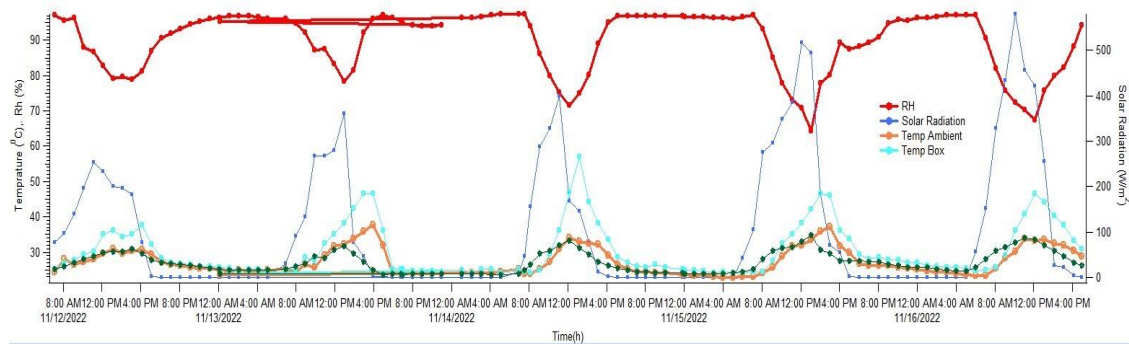
3. Metode Penelitian

Penlitian ini dilakukan di Laboratorium Sustainable Energy Researc Centre Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Pembuatan desain kotak pengering dimulai dari perhitungan volume ruangan dan persiapan material pendukung. Ukuran Kotak pengering 960cm x 1135 cmx 1060cm lihat gambar 4.



Gambar 4. Desain dan dimensi Kotak pengering Biji Kopi

4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 5. Grafik temperature ruang, radiasi matahari, temperature ambien dan kelembapan

Pada gambar 5 diperlihatkan radiasi matahari berbanding terbalik dengan kelembapan sementara temperature ruangan pada saat pukul 08.00 WIB - hingga menjelang pukul 12.00wib cenderung meningkat dan berangsur angsur turun lagi menjelang pukul 17.00 WIB. Demikian juga pengujian hari ke dua dan seterusnya hingga hari ke lima. Pada jam jam matahari tidak ada antara pukul 18.00 hingga pukul 08.00 WIB pagi esok harinya temperature dan kelembapan minimum dan konstan.

4.1. Konsep Desain Kotak Pengering

Penentuan konsep desain kotak pengering untuk mengeringkan biji kopi difokuskan pada alat pengumpul panas kolektor yang berfungsi sebagai pengumpul panas dan penyerap radiasi matahari ditambah bantuan panel surya 50Wp sebanyak 2 buah sebagai sumber listrik menggerakkan kipas. Kipas angin 12volt berfungsi membantu mengalirkan panas yang ada dalam kolektor masuk keruang pengering (konveksi paksa). Yang diletakkan disalah satu sisi kotak pengering. Kotak pengering di alapisi di bagian dalam dengan aluminium foil uk 0.3 mm baru di ikuti styrofoam 30mm dan terakhir plat ukuran 3mm. Pelapisan dilakukan adalah untuk menjaga temperatur tetap bisa berfungsi maksimum tanpa mengalami terbuang begitu saja. Temperatur ruang pengering berkisar antara 32.343- 56.89°C, temperature ambient 25.70-35.00°C. Kotak pengering bisa berfungsi terus menerus sepanjang waktu. Spesifikasi kotak pengering seperti tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Data awal dalam perancangan Kotak pengering

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Kapasitas	5000	Gr
2	Kadar Air awal	90	%
3	Kadar Air akhir	12-15	%
4	Tempratur Kotak Pengering	56.89	°C
5	Temperature Ambient	35	°C

4.2. Dimensi dan Desain Kotak Pengering

Bobot biji kopi yang dikeringkan 5000 gr dengan massa jenis 561 kg/m³. Maka dari jumlah kapsitas biji kopi didapat dimensi yang dibutuhkan untuk menampung biji kopi secara keseluruhan.

$$V_{\text{kopi}} = \frac{M_{\text{kopi}}}{\rho_{\text{kopi}}} = V_{\text{kopi}} = \frac{5 \text{ kg}}{561 \text{ kg/m}^3} = 0.0088 \text{ m}^3$$

Sehingga kebutuhan volume ruang kotak pengering adalah :

$$\begin{aligned} V_{\text{kopi}} &= p \times l \times t \\ 0.0088 \text{ m}^3 &= p \times l \times 0.0101 \text{ m} \\ p \times l &= \frac{0.0088 \text{ m}^3}{0.0101 \text{ m}} \\ &= 0.8818 \text{ m}^2 \\ &= 8.88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas total kotal rak pengering 8.88 m² yang tersusun 3 buah rak bertingkat maka luas setiap rak 2.9 m². Dimensi ruang pengering biji kopi dapat dilihat seperti tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Dimensi dan karakteristik Kotak Pengering

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Kapasitas	5000	Gr
2	Jmlah Rak	3	Buah
3	Luas Total Rak	8.88	m ²
4	Luas setiap Rak	2.9	m ²
5	Lebar Rak	1	m
6	Panjang Rak	1	m
7	Jarak antara rak	0.25	m
8	Jumlah Ruang Pengering	3	buah
9	Tinggi Keseluruhan Rak	2	m
10	Lebar Ruang Pengering	1080	cm
11	Panjang Ruang Pengering	1136	cm

4.3. Estimasi Total Energi yang dibutuhkan untuk mengeringkan kopi

$$Q_{\text{total}} = Q_h + Q_w + Q_{\text{loss}} \dots \dots \dots (11)$$

Dimana : Q_h = Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan sampel (kJ)

Q_w = Energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air (kJ)

Q_{loss} = Energi yang hilang di ruang pengering (kJ)

Jadi energi yang dibutuhkan untuk memanaskan/menguapkan kadar air dalam biji kopi dihitung dengan rumus :

$$Q_h = m_1 \times C_{p(\text{kopi})} \times \Delta t + m_w \times h_{fg} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana : Q_h = Kalor pengeringan (J)

C_p = Kapasitas Panas spesifik kopi

dengan asumsi $C_p = C_{\text{air}} = 4.179 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, karena biji kopi cenderung banyak mengandung air

$$\Delta t = T_d - T_i \text{ (perubahan suhu } ^\circ\text{C)}$$

$$H_{fg} = h_g - h_f \text{ (kalor laten penguapan, dimana } T \text{ ruang pengering } 56.89^\circ\text{C,}$$

$$\text{temperatur luar kotak pengering } 25.78^\circ\text{C.}$$

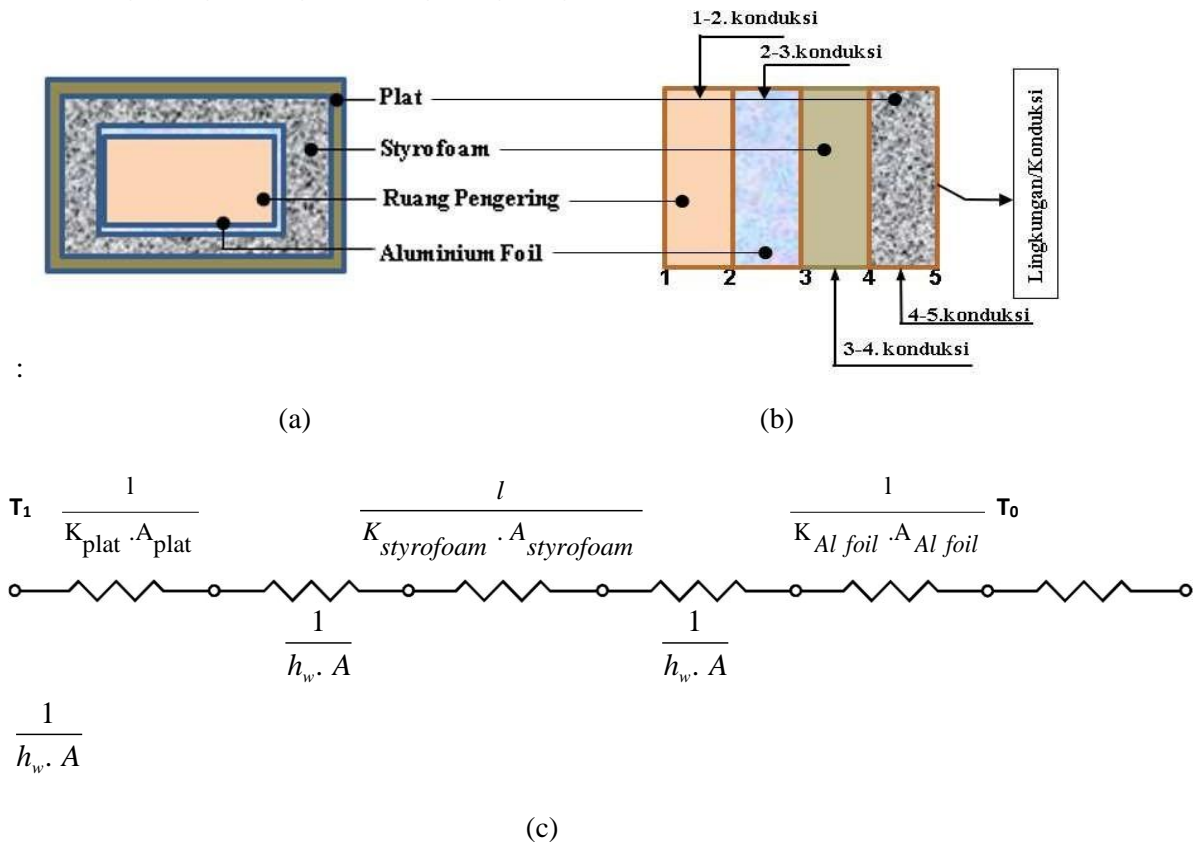
Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan biji kopi adalah :

$$Q_w = \dot{m} \times C_{p(kopi)} \times \Delta t + t$$

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots(13)$$

Dimana : m = massa laju aliran fluida (kg/s)
 p = massa jenis fluida (kg/m³), A = luas penampang (m²)
 v = kecepatan aliran(m/s), t = lama waktu pengeringan (menit)

4.4. Energi yang Hilang di Ruang Pengering



Gambar 6..(a) Bahan dan skets ruang pengering, (b). Perpindahan panas yang terjadi diruang pengering (c). Tahanan termal dan Analogi laju konduksi konveksi dalam kotak pengering.[9]

Energi yang hilang dilokasi ruang pengering melalui salah satu sisi dinding dihitung denganpersamaan

Jadi $Q_{loss} = U \cdot A \cdot \Delta T$

$$Q_{loss} = \frac{T_2 - T_1}{\frac{l}{K_{plat} \cdot A_{plat}} + \frac{1}{h_w \cdot A} + \frac{l}{K_{styrofoam} \cdot A_{styrofoam}} + \frac{1}{h_w \cdot A} + \frac{l}{K_{Al.Foil} \cdot A_{Al.Foil}} + \frac{1}{h_w \cdot A}}$$

Dimana: T_2 = Temperature Kotak Pengering ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 = Temperatur diluar kotak pengering ($^{\circ}\text{C}$)

K = Konduktifitas Termal (w/m)

h_w = Koefisien Perpindahan Panas Konveksi ($\text{w}/\text{m}^2\text{k}$)

A = Luas Penampang (m^2)

Kandungan kadar air biji kopi yang dikeringkan selama 5 hari adalah : 2500.21gr. Untuk menghitung besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air dalam bahan dapat di hitung dengan persamaan :

$$Q_h = m_1 \times C_p \times \Delta t + m_w \times h_{fg}$$

$C_{pkopi} = 0.672 \text{ Kal}/\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ dimana temperatur kotak pengering 56.89°C , temperatur luar kotak pengering 25.78°C , Sehingga di dapat

$$\Delta t = T_1 - T_0 = 56.89^{\circ}\text{C} - 25.78^{\circ}\text{C}$$

$$= 31.11^{\circ}\text{C}, \text{ maka } Q_h = 5 \text{ kg} \times 4.179 \text{ kJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C} \times (31.11^{\circ}\text{C}) + (2.5 \text{ kg}) \times (2406 \text{ J}/\text{kg})$$

$$Q = 65.6058 \text{ kJ}$$

Perhitungan panas yang dibutuhkan memanaskan biji kopi dalam ruang pengering dapat dihitung dengan menggunakan persamaan .

$$Q = \dot{m} C_{p(udara)} \Delta T \times t$$

$$= (\dot{V} \rho) C_{p(udara)} \Delta T \times t$$

Kipas terdiri dari 2 buah dengan luas penampang $A = 0.005 \text{ m}^2$, kipas ini berfungsi menghisap temperatur dalam kotak pengering kelilingkungan dengan kecepatan konstan $1.0 \text{ m}/\text{s}$. Waktu penengrangan membutuhkan waktu 10 jam di mulai dari 08.00-18.00 Wib

$$Q_w = (\dot{V} \rho) C_{p(udara)} \Delta T \times t$$

$$Q_w = 1.293 \text{ Jkg}/\text{m}^3 \times 0.005 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m}/\text{s} \times 1.006 \text{ J}/\text{kg}^{\circ}\text{C} \times 31.11^{\circ}\text{C} \times (10.3600)$$

$$Q = 72.839 \text{ kJ}$$

Jadi kemampuan untuk mengeringkan 5kg biji kopi memerlukan kalor total adalah: 138.43kJ

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian temperatur dalam kotak pengering $56,89^{\circ}\text{C}$, yang bersumber dari kolektor surya dengan temperature ambient 35°C . Kecepatan kipas konstan $1.0 \text{ m}/\text{s}$, dengan lama pengujian per hari selama 10 jam dimulai pada 08.00-18.00 WIB. Akhir

penegeringan bobot kadar air biji kopi selama 5 hari adalah 2500,21gr dengan berat awal 5000kg.

Dengan perbedaan temperature dalam kotak pengering dan temperature lingkungan 31.11°C, besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air dalam bahan $Q_h=65.6058.kJ$. Panas yang dibutuhkan memanaskan biji kopi **72.839 kJ**. Kemampuan untuk mengeringkan 5kg biji kopi memerlukan kalor total adalah :138.43kJ dengan volume kotak pengering 8.88m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Y. Setyawan, S. Djiwo, and T. Sugiarto, "SIMULATION MODEL OF FLUID FLOW AND TEMPERATURE DISTRIBUTION IN POROUS MEDIA USING CYLINDRICAL, CONVERGENT AND DIVERGENT NOZZLES," 2017.
- [2] P. Siagian, E. Y. Setyawan, T. Gultom, F. H. Napitupulu, and H. Ambarita, "A field survey on coffee beans drying methods of Indonesian small holder farmers," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Sep. 2017, vol. 237, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/237/1/012037.
- [3] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*, 4th ed. New York, Amerika: Wiley, 1996.
- [4] Y. A. Cengel, "Heat Transference a Practical Approach," *MacGraw-Hill*, vol. 4, no. 9, p. 874, 2004, [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20279-7_5.
- [5] J. Holman, *Perpindahan Kalor*, 6th ed. Jakarta: Erlangga.
- [6] E. J. Purcell and D. Varberg, *Kalkulus dan Geometri Analitis*, 5th ed. Jakarta: Erlangga, 1992.
- [7] Galuh Fekawati Rustam M., Wulandani, and Dyah, "Uji Performansi Model Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)- Hybrid Tipe Rak Berputar Pada Pengeringan Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*)," Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2010.
- [8] R. P. Singh and D. R. Heldman, *Introduction to Food Engineering*. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014.
- [9] P. Siagian, *Pengantar Perpindahan Panas*, 1st ed. Medan: Kita Menulis, 2022.