

Simulasi CFD Distribusi Temperatur pada Pengering Biji Kopi dengan Sistem Konveksi Paksa

Humisar Pasaribu¹, Partahi Lumbangaol¹, Horas S. Siagian², Richard A M Napitupulu³, Parulian Siagian³, Eko Yohanes Setyawan⁴

¹Dosen tetap Prodi Teknik Sipil Universitas HKBP Nommensen, Medan

²Mahasiswa Pascasarjana Prodi Teknik Mesin USU Medan

³Dosen tetap Prodi Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen, Medan

⁴Dosen tetap Prodi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang

parulian.siagian@uhn.ac.id

Abstract

Drying is a mass transfer and heat transfer process that is strongly influenced by temperature and air velocity. The importance of analyzing the temperature distribution and air velocity is expected to be used as a reference to optimize the drying process to be faster and better. This study aims to analyze the temperature distribution and air velocity that occurs in a coffee bean dryer with a forced convection system using CFD simulation. CFD simulations are carried out using ANSYS Fluent software, with steady conditions, and using a pressure-based solver method. It is obtained that the temperature distribution that occurs with the estimated absorber temperature difference with the drying chamber is 31% during the day.

Keyword: *Drying, Forced Convection, CFD*

Abstrak

Pengeringan adalah proses perpindahan massa dan perpindahan panas yang sangat dipengaruhi oleh temperatur dan kecepatan udara. Pentingnya analisa distribusi temperatur dan kecepatan udara diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk mengoptimasi proses pengeringan agar menjadi lebih cepat dan lebih baik. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisa distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi pada alat pengering biji kopi dengan sistem konveksi paksa dengan menggunakan simulasi CFD. Simulasi CFD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent, dengan kondisi steady, dan menggunakan metode solver pressure-based. Diperoleh distribusi temperatur yang terjadi dengan estimasi perbedaan temperatur absorber dengan ruang pengering adalah 31% pada siang hari.

Kata Kunci: *Pengeringan, Konveksi Paksa, CFD*

Diterima : 10, Juli 2023, Revisi 24, Juli 2023, Diterima 04 Agustus 2023

1. PENDAHULUAN

Pengeringan adalah proses perpindahan massa dan perpindahan panas secara simultan. Analisis terhadap proses ini rumit, karena proses yang terjadi adalah transient [1], [2]. Sehingga sampai saat ini, masih sangat dibutuhkan analisa untuk memperoleh kondisi pengeringan yang ideal agar memperoleh hasil pengeringan yang baik. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses pengeringan yaitu: luas permukaan, suhu, kecepatan udara, kelembapan udara, tekanan udara, waktu [3], [4].

Temperatur dan kecepatan udara merupakan faktor yang memiliki pengaruh cukup besar terhadap proses pengeringan. Semakin tinggi nilai temperatur maka akan

mempercepat proses pengeringan begitu juga sebaliknya, dan semakin tinggi nilai kecepatan udara sebagai konveksi paksa maka akan mempercepat proses pengeringan [5][6].

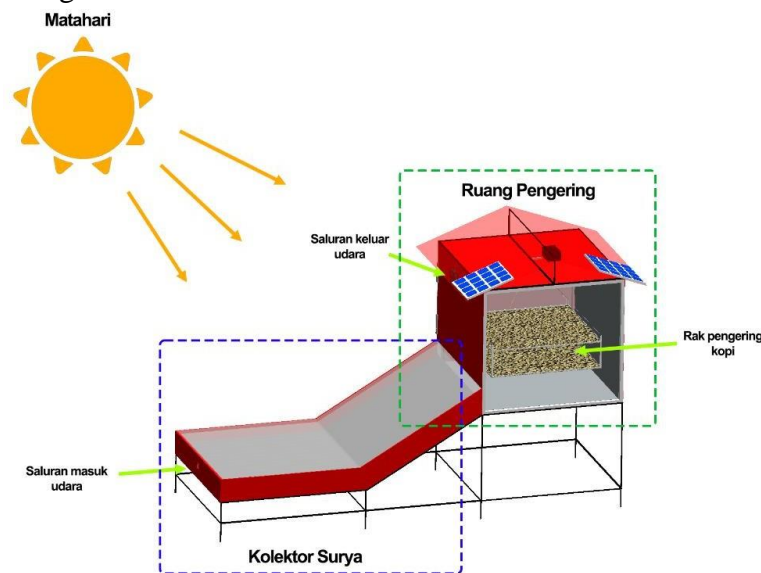
Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dalam menganalisa proses pengeringan, diantaranya [7], [8] melakukan simulasi variasi sudut kolektor alat pengering kopi dan diperoleh sudut kolektor 30 derajat dapat menyimpan panas lebih baik. Kolektor surya dengan plat yang di perpanjang dapat digunakan untuk menyimpan radiasi matahari lebih besar [9]. Juga melakukan pengeringan menggunakan desikan agar terjadi pengeringan selama 24 jam[10], [11].

Fokus pada penelitian ini adalah untuk menganalisa distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi pada pengering biji kopi dengan sistem konveksi paksa dengan menggunakan simulasi CFD. Sehingga dengan adanya analisa distribusi temperatur dan kecepatan udara dapat dilakukan optimasi agar proses pengeringan menjadi lebih cepat dan lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

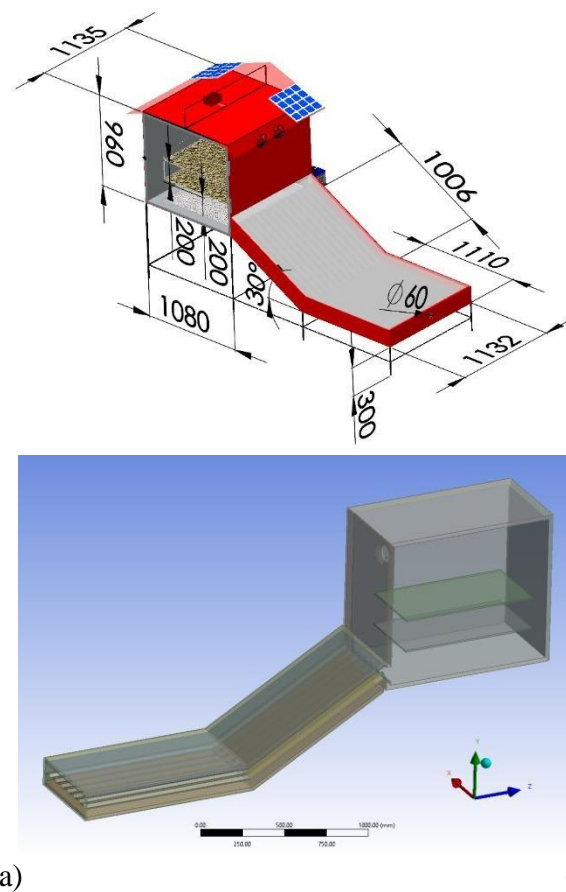
2.1. Model Geometri

Pengering biji kopi yang digunakan terdiri dari 2 komponen utama, yaitu ruang pengering dan kolektor surya. Adapun skema alat pengering biji kopi yang digunakan dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 1. Skema alat pengering biji kopi

Radiasi matahari yang terdapat pada saat pagi, siang dan sore hari akan diserap oleh kolektor surya dengan cara menyerap intensitas radiasi matahari pada sebuah plat yang di cat hitam, kemudian menghambat panas yang telah terkumpul tersebut dengan menggunakan kaca, lalu panas yang terkumpul pada kolektor surya kemudian di alirkan ke ruang pengering dengan cara menghisap udara melalui saluran keluar ruang pengering dengan menggunakan kipas.



Gambar 2. (a) Desain alat pengering biji kopi, (b) geometri simulasi Desain

alat pengering biji kopi yang digunakan merupakan desain yang telah dilakukan oleh P Siagian [1] dengan ukuran ruang pengering yang digunakan adalah 960 cm \times 1135 cm \times 1080 cm diisolasi dengan styrofoam 30 mm dan lapisan aluminium foil. Terdapat dua kolektor surya yaitu kemiringan 0°; dan kemiringan 30° yang terbuat dari tipe pelat datar yang berdimensi 1.132 mm \times 1.110 mm dan 1.132 mm \times 1.006 mm.

Pada proses simulasi, dilakukan metode clean up geometri berdasarkan desain alat pengering biji kopi agar menghilangkan komponen detail yang dianggap tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil simulasi agar proses simulasi dapat dilakukan tanpa menggunakan kapasitas memori yang sangat banyak.

Kondisi simulasi yang digunakan adalah steady dan diaktifkan gaya gravitasi sebesar 9.81 m/s², menggunakan metode solver pressure-based dan beberapa kondisi batas, agar dalam hasil simulasi dapat diperoleh proses perpindahan panas yang terjadi mendekati keadaan aktual.

Kondisi batas yang digunakan pada simulasi adalah data yang diperoleh dari hasil pengujian secara eksperimental pada tanggal 14 November 2022 yang dapat dilihat pada table berikut :

<i>Boundary Condition</i>	Table 1. Kondisi Batas <i>Information</i>	
<i>Outlet</i>	Type	: Velocity - inlet
	Velocity Magnitude	: 1 m/s
<i>Inlet</i>	Type	: Pressure-outlet
	Temperature	: 297.03 K, 300 K, 302.41 K

<i>Kaca Kolektor Miring</i>	Type	: Wall
	Material	: Kaca
	Temperature	: 296.67 K, 342.53 K, 307.39 K
<i>Kaca Kolektor Datar</i>	Type	: Wall
	Material	: Kaca
	Temperature	: 296.4 K, 333.54 K, 305.92 K
<i>Aluminium Composite Panel</i>	Type	: Wall
	Material	: ACP
	Temperature	: 297.69 K, 312.13 K, 304.31 K
<i>Absorber</i>	Type	: Wall
	Material	: Aluminium
	Temperature	: 298.61 K, 376.67 K, 300.18 K

Dalam simulasi terdapat beberapa material yang digunakan, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Table 2. Material

<i>Material</i>	<i>Massa Jenis</i> (kg/m ³)	<i>Panas Spesifik</i> (j/kg.K)	<i>Konduktivitas Thermal</i> (w/m.k)
<i>Styrofoam</i>	960	1300	0.033
<i>Kaca</i>	2500	840	1.05
<i>Glasswool</i>	20	840	0.03
<i>Aluminum-Foil</i>	2710	904	235
<i>ACP</i>	1510	1470	0.22097
<i>Aluminium</i>	7100	382	113
<i>Kopi</i>	656	1400	0.112

Sedangkan nilai material udara yang digunakan merupakan fungsi temperatur, dengan temperatur udara yang berbeda memiliki nilai material yang berbeda juga [12].

- Densitas udara

$$\rho = 0.27177 + 1.6507 \exp\left(\frac{-173-T}{58.124}\right) + 1.6307 \exp\left(\frac{-173-T}{299.1}\right) \quad (1)$$

- Viskositas udara

$$\mu = 1.7154 \times 10^{-5} + (5.0304 \times 10^{-8}T) - (3.7512 \times 10^{-11}T^2) + (3.5398 \times 10^{-14}T^3) + (-2.1549 \times 10^{-17}T^4) + (4.7955 \times 10^{-21}T^5) \quad (2)$$

- Konduktivitas thermal udara

$$k = 0.024125 + (8.0526 \times 10^{-5}T) - (3.0471 \times 10^{-8}T^2) - (1.6489 \times 10^{-11}T^3) + (1.8313 \times 10^{-14}T^4) + (6.2557 \times 10^{-18}T^5)$$

Penelitian Eksperimental dan simulasi dilakukan pada bulan November 2022 dan berada di Pusat Riset Energi Berkelanjutan, Magister Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, kota Medan dengan lokasi geografis 3° 30' – 3° 43' Lintang Utara dan 98° 35' – 98° 44' dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent 2020 R2.

2.2. Model Matematika

Dalam simulasi CFD terdapat 3 Persamaan pembentuk aliran (Governing Equation) yang umum digunakan, yaitu hukum kekekalan massa (kontinuitas), hukum kekekalan momentum, dan hukum kekekalan energi. Karena pada simulasi yang dilakukan terdapat peristiwa aliran fluida dan juga perpindahan panas, maka persamaan pengatur yang digunakan adalah 3 hukum.

- Kekekalan Massa (continuity).

(3)

(4)

- Kekekalan Momentum (X,Y,Z).

$$\nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v \quad (5)$$

- Kekekalan Energi.

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v c_p T) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q^T \quad (6)$$

Model turbulensi yang digunakan adalah standar k-epsilon. Model k-epsilon standar merupakan model ketahanan, dan memiliki akurasi dalam berbagai aliran turbulen dan simulasi perpindahan panas.

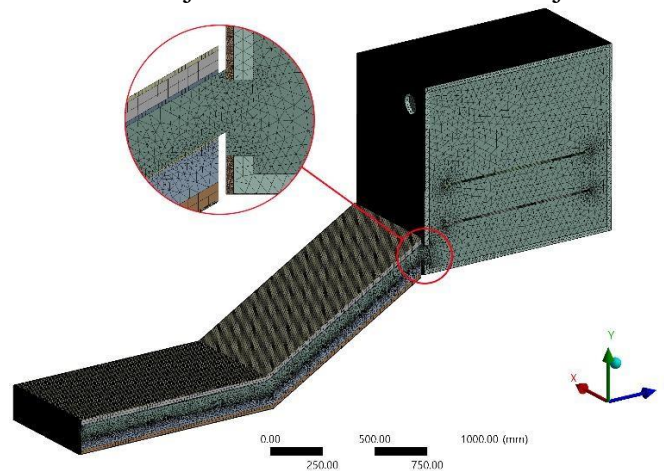
- Model Turbulent k-epsilon.

$$\mu_{\text{turb}} = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\epsilon} \quad (7)$$

Persamaan pembentuk aliran tersebut merupakan persamaan yang sangat rumit dan membutuhkan waktu yang sangat banyak apabila diselesaikan secara analitik, untuk itu dalam penyelesaiannya sangat dibutuhkan software metode numerik CFD.

2.3. Meshing

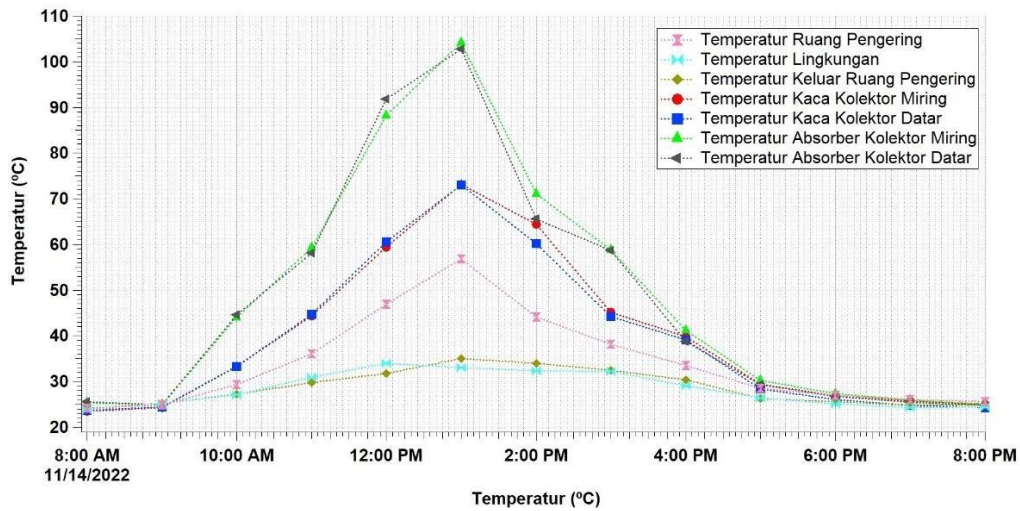
Pada penelitian ini digunakan beberapa pengaturan dalam pembuatan meshing, diantaranya adalah ukuran mesh pada komponen yang memiliki tebal yang tipis seperti kaca dan plat absorber digunakan ukuran mesh yaitu 2 mm, sedangkan komponen lainnya digunakan pengaturan ukuran mesh adaptif 10 mm – 35 mm. Untuk jenis mesh yang digunakan merupakan gabungan mesh tetrahedron dan mesh hexagonal, sehingga dengan pengaturan mesh ini dihasilkan jumlah nodes 6.717.838 dan jumlah element 24.801.504.



Gambar 3. Meshing

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

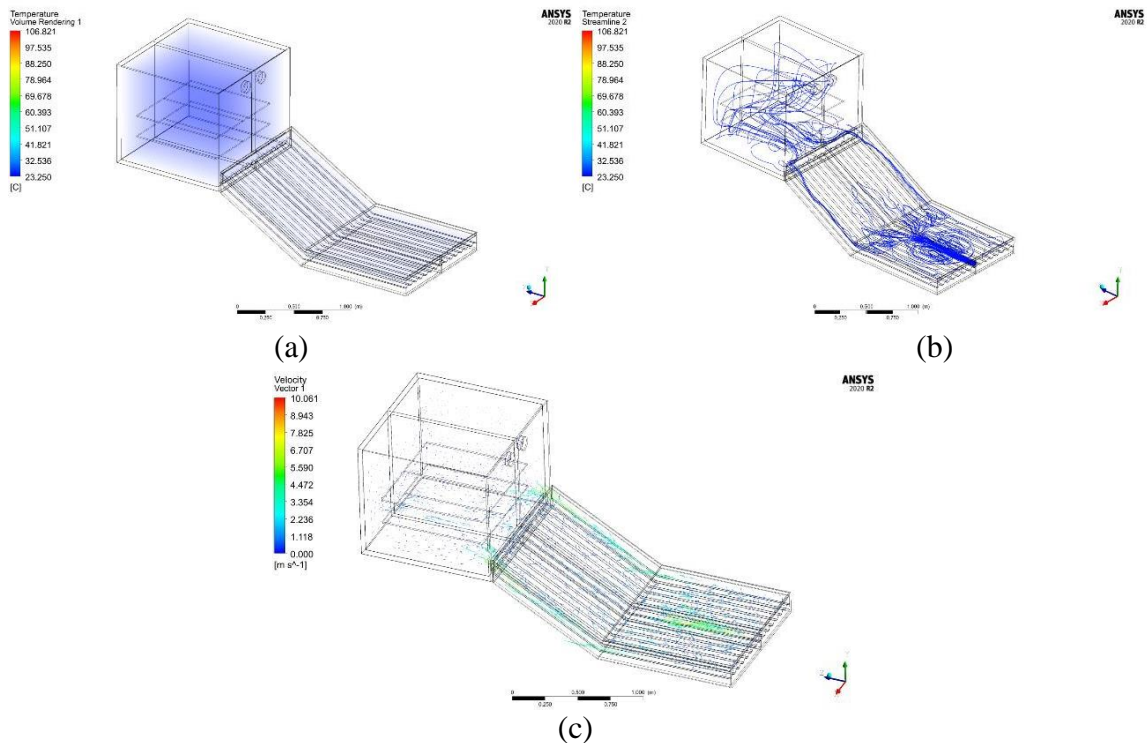
Berdasarkan hasil eksperimental 14 november 2022, dapat diperoleh distribusi temperatur yang telah di ukur dengan menggunakan Agilent data logger, yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4. Temperatur vs Waktu

3.1. Simulasi Pagi Hari

Pada simulasi ini merupakan hasil simulasi pada pagi hari pukul 08.00 WIB, maka dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



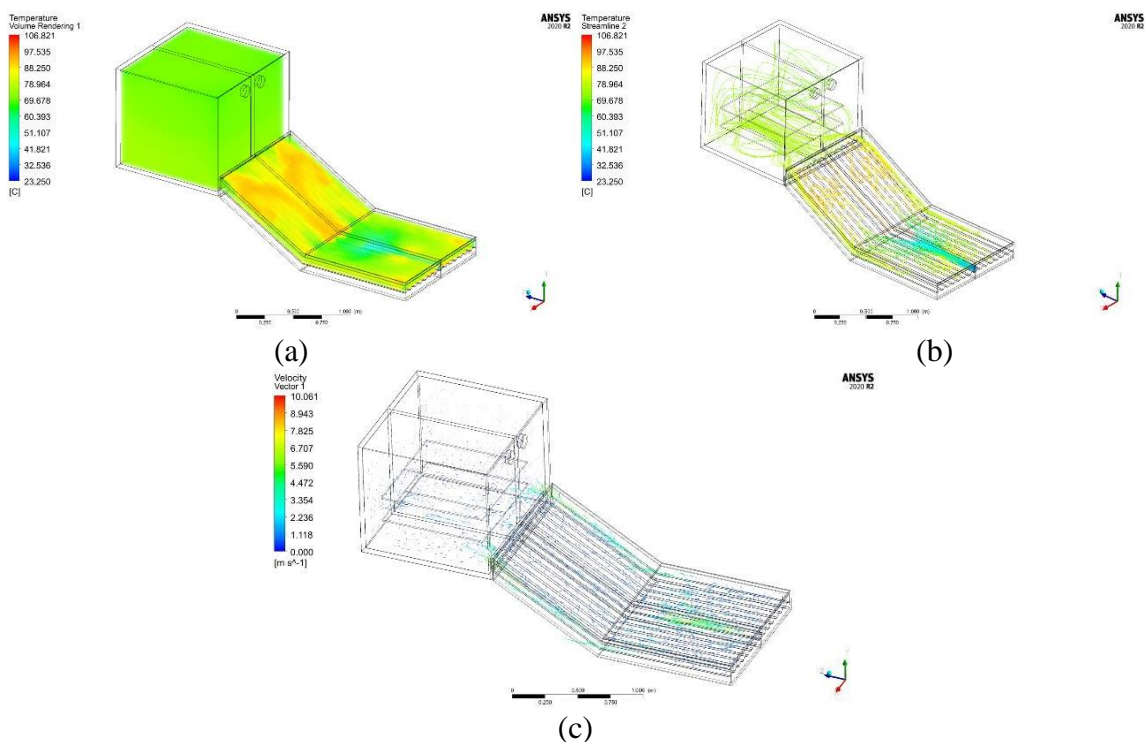
Gambar 5. (a) Distribusi Temperatur Pagi Hari, (b) Distribusi Streamline Temperatur Pagi Hari, (c) Distribusi Vektor Kecepatan Pagi Hari

Pada gambar diatas merupakan hasil simulasi berupa analisa distribusi temperatur, streamline temperatur dan vektor kecepatan yang terjadi pada bagian kolektor dan juga ruang pengering dari alat pengering kopi pada pagi hari pukul 08.00 WIB. Dapat dilihat distribusi kontur temperatur yang terjadi pada setiap bagian kolektor dan ruang pengering masih mengalami temperatur yang cukup rendah yaitu sekitar 24.919 C, ini disebabkan karena kondisi simulasi adalah pada saat pagi hari, dimana temperatur absorber masih sekitar 34 C sehingga distribusi temperatur yang berada pada kolektor cenderung sama.

Dengan adanya hisapan udara keluar ruang pengering, rata rata kecepatan aliran udara yang masuk pada kolektor yaitu sebesar 9.78413 m s^{-1} . Diperoleh pola aliran vektor kecepatan pada daerah sekitar aliran masuk kolektor, yang terbentuk cenderung memutar yaitu pada bagian kolektor yang rata, ini disebabkan karena perbedaan temperatur yang masuk ke dalam kolektor terhadap plat absorber yang menyebabkan terjadinya peristiwa perpindahan panas secara konveksi antara plat absorber dan udara masuk, udara yang temperatur lebih dingin akan bergerak pada temperatur absorber yang lebih panas yang berada pada bagian kiri dan kanan kolektor datar, sehingga terbentuklah pola aliran vektor yang cenderung memutar.

3.2. Simulasi Siang Hari

Pada simulasi ini merupakan hasil simulasi pada pagi hari pukul 13.00 WIB, maka dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6. (a) Distribusi Temperatur Siang Hari, (b) Distribusi Streamline Temperatur Siang Hari, (c) Distribusi Vektor Kecepatan Siang Hari

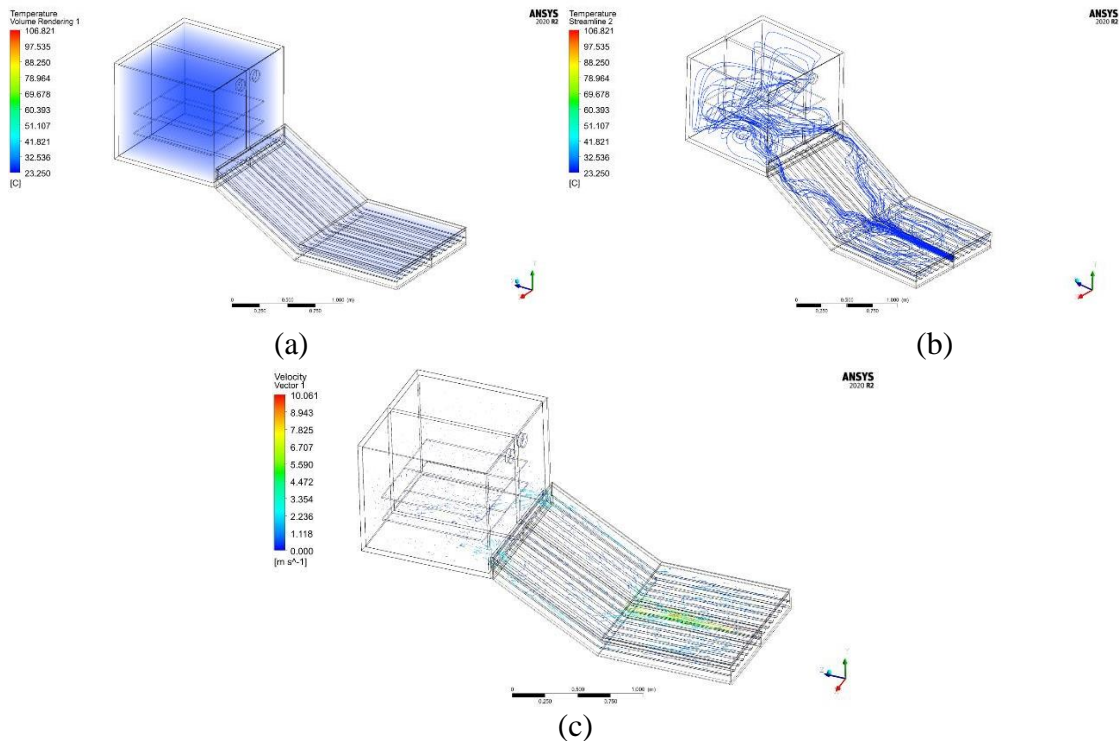
Pada gambar diatas merupakan hasil simulasi berupa analisa distribusi pola aliran vektor kecepatan yang terjadi pada alat pengering kopi yang terjadi pada siang hari pukul 13.00 WIB. Dapat dilihat distribusi kontur temperatur yang terjadi pada setiap komponen alat pengering kopi, Dengan plat absorber yang bersuhu 104 C , kemudian memanaskan udara yang masuk melalui kolektor sekitar 33.082 C , dan mendistribusikan udara ke bagian ruangan pengering dengan temperatur rata rata yaitu 71.05 C .

Distribusi pola aliran streamline temperatur yang terjadi yaitu udara yang masuk melalui lubang inlet juga cenderung menyebar dan membentuk pola aliran yang memutar pada kolektor rata, namun distribusi pola aliran streamline pada siang hari ini memiliki penyebaran yang cenderung lebih turbulent dari pada pagi hari, ini disebabkan temperatur udara pada kolektor mempengaruhi distribusi aliran udara yang terdapat pada alat pengering.

Distribusi pola aliran vektor kecepatan yang terbentuk memiliki nilai distribusi kecepatan yang lebih tinggi dari pada yang terjadi pada pagi hari dimana terdapat udara yang memiliki kecepatan 3.70575 m s^{-1} ini disebabkan karena temperatur yang terjadi pada siang hari cukup tinggi sehingga dikarenakan adanya perpindahan panas secara konveksi yang terjadi akan menyebabkan peningkatan distribusi udara baik dari temperatur yang rendah ke temperatur yang lebih tinggi, dan temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah/konsep kesetimbangan energi.

3.3. Simulasi Sore Hari

Pada simulasi ini merupakan hasil simulasi pada pagi hari pukul 17.00 WIB, maka dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. (a) Distribusi Temperatur Sore Hari, (b) Distribusi Streamline Temperatur Sore Hari, (c) Distribusi Vektor Kecepatan Sore Hari

Pada gambar diatas merupakan hasil simulasi berupa analisa distribusi pola aliran vektor kecepatan yang terjadi pada alat pengering kopi yang terjadi pada sore hari pukul 17.00 WIB. Dapat dilihat distribusi kontur temperatur yang terjadi pada sore hari temperatur pada komponen kolektor maupun ruang pengering sudah menurun dan memiliki temperatur yang hampir sama dimana temperatur yang terdapat pada ruang pengering yaitu 26.676 C .

Dapat dilihat distribusi pola aliran streamline distribusi temperatur yang terjadi, yaitu udara yang masuk melalui lubang inlet juga cenderung menyebar dan membentuk pola aliran yang memutar pada kolektor rata, distribusi pola aliran streamline pada sore hari ini memiliki penyebaran yang cenderung sama dengan yang terjadi pada pagi hari.

Distribusi pola aliran vektor kecepatan yang terjadi pada sore hari memiliki pola yang hampir sama dengan aliran vektor kecepatan pada pagi hari, dimana terdapat pola aliran Kecepatan udara di bagian ruang pengering $0.0225839 \text{ m s}^{-1}$.

4. KESIMPULAN

Distribusi temperatur dan kecepatan udara yang terjadi pada alat pengering kopi ditentukan dari temperatur masuk udara dan sumber panas radiasi matahari yang terjadi pada saat proses pengeringan. Kolektor surya yang berfungsi menampung panas memiliki distribusi temperatur penentu pada terjadinya distribusi ruang pengering dikarenakan udara masuk dialirkan dari kolektor surya ke ruang pengering dengan estimasi perbedaan temperatur absorber dengan ruang pengering adalah 31% pada siang hari. Distribusi kecepatan udara yang terjadi tidak memiliki perbedaan yang cukup besar apabila terjadi pada pagi, siang dan sore hari, tetapi pada siang hari dapat meningkatkan turbulensi dan penyebaran aliran udara pada kolektor surya dan ruang pengering.

Pada penelitian ini memiliki batasan dengan menganalisa proses perpindahan panas dan distribusi udara, untuk itu dengan adanya penelitian ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian simulasi untuk menganalisa penurunan massa pada proses pengeringan sehingga dapat mengestimasi proses pengeringan yang lebih mendekati dengan keadaan aktual dengan metode simulasi CFD.

5. REFERENSI

- [1] H. Putra, F. H. Napitupulu, H. Ambarita, and S. F. Dina, "Experimental Study and Mathematical Modeling of Cocoa Drying Process with Solar Energy Intermittently," 2014.
- [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*, Institute of Physics Publishing, Sep. 2017. doi: 10.1088/1757-899X/237/1/012037.
- [3]) Parulian Siagian *et al.*, "Analisa Kebutuhan Energi Termal Pada Kotak Pengering Biji Kopi Arabica yang di Isolasi dengan Aluminium Foil," vol. 4, no. 2, 2023.
- [4] H. Ambarita, H. K. J. Munthe, and T. Hutagalung, "Design of a Continuous Coffee Bean Solar Dryer," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1542/1/012025.
- [5] N. D. M. Romauli and H. Ambarita, "Study on the convective drying of potato cube," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/260/1/012042.
- [6] W. S. Damanik, F. H. Napitupulu, A. H. Nasution, and H. Ambarita, "Energy analysis of double slope aktive solar still," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012007.
- [7] A. R. H. Sirait, G. P. Hutapea, and H. Ambarita, "Comparison of 2 angle collectors with variations 0°, 20°, 30° and trapezoidal groove plate," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1542/1/012069.
- [8] H. Ambarita, R. E. T. Siregar, A. D. Ronowikarto, and E. Y. Setyawan, "Effects of the inclination angle on the performance of flat plate solar collector," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2018. doi: 10.1088/1742-6596/978/1/012097.
- [9] A. Qadry, T. Hutagalung, K. J. M. Harry, R. A. M. Napitupulu, and H. Ambarita, "Experiemental study on solar dryer with extended flat plate collector," in *IOP*

- Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012018.
- [10] S. F. Dina, H. Ambarita, F. H. Napitupulu, and H. Kawai, "Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 5, pp. 32–40, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.csite.2014.11.003.
- [11] A. Qadry, N. D. M. Romauli, and H. Ambarita, "Study on Experimental of continuous solar dryer with desiccant CaCl₂ thermal storage," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1542/1/012043.
- [12] Himsar Ambarita, *Perpindahan Panas Dan Massa : Penyelesaian Analitik Dan Numerik*, vol. 1. Malang: Intelegensia Media, 2017.