

# ANALISIS THERMAL DAN REDESAIN ALAT PENGERING KAKAO MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) DI USAHA MANDIRI DESA WIYONO KABUPATEN PESAWARAN

A. Yudi Eka Risano<sup>1\*</sup>, M. Husein Manalu<sup>2</sup>, dan M.Dyan Susila E.S<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Lampung

## Riwayat artikel:

Received: 24 Februari 2022

Accepted: 17 Maret 2022

Published: 10 April 2022

## Keywords:

Alat pengering, Kakao, Kalor, Analisis Thermal, Computational Fluid Dynamics

## Correspondent Email:

yudi.eka@eng.unila.ac.id

## How to cite this article:

David (2022) Analisis Thermal Dan Redesain Alat Pengering Kakao Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd) Di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 10(2)

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

**Abstrak.** Usaha Mandiri di desa Wiyono Kabupaten Pesawaran merupakan salah satu bentuk usaha yang bergerak di bidang pengolahan kakao melalui proses pengeringan dengan alat pengering sederhana berukuran panjang 2,4 m, lebar 1,2 m dan tinggi 0,6 m. Untuk meningkatkan efektifitas alat pengering yang digunakan dan meningkatkan kualitas hasil pengeringan, maka dilakukan penelitian dengan pertama-tama dilakukan analisis perpindahan panas, laju aliran panas dan distribusi temperatur yang terjadi di dalam alat pengering tersebut. Selanjutnya dari hasil yang diperoleh, dilakukan proses redesain alat pengering. Dalam proses redesain alat pengering berdasarkan perhitungan termal, sebaran suhu dan laju energy panas yang terjadi di dalam ruang pengering serta waktu pengeringan yang dibutuhkan dan kebutuhan bahan bakar (kayu bakar). Tahap selanjutnya, hasil redesain alat dianalisis kembali terutama distribusi temperatur yang terjadi dengan simulasi pemodelan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Dari hasil perhitungan dan simulasi CFD didapatkan suhu rata-rata pengeringan sebesar 85,34 °C, kalor yang dibutuhkan selama proses pengeringan 420.062,32 kJ, waktu yang dibutuhkan dalam pengeringan 16 jam dan bahan bakar yang diperlukan sebanyak 102,96 kg atau 0,11 m<sup>3</sup>.

**Abstract.** Independent business in Wiyono village, Pesawaran Regency is a form of business that is engaged in cocoa processing through a drying process with a simple dryer measuring 2.4 m long, 1.2 m wide and 0.6 m high. To increase the effectiveness of the dryer used and improve the quality of the drying results, a research was carried out by first analyzing the heat transfer, heat flow rate and temperature distribution that occurred in the dryer. Furthermore, from the results obtained, the process of redesigning the dryer is carried out. In the process of redesigning the dryer based on thermal calculations, the distribution of temperature and rate of heat energy that occurs in the drying chamber as well as the drying time required and the need for fuel (firewood). The next stage, the results of the redesign of the tool are re-analyzed, especially the temperature distribution that occurs by modeling simulations using Computational Fluid Dynamics (CFD). From the results of calculations and simulations of CFD obtained an average drying temperature of 85.34 oC, the heat required during the drying process is 420.062.32 kJ, the time required for drying is 16 hours and the fuel required is 102.96 kg or 0.11 m<sup>3</sup>.

## 1. Pendahuluan

Tumbuhan kakao merupakan tanaman perkebunan yang berasal dari Amerika Selatan, namun seiring perkembangan zaman maka tumbuhan kakao dapat hidup di negara lain, termasuk di Indonesia. Tumbuhan kakao ini banyak tumbuh dengan subur di beberapa daerah di Provinsi Lampung khususnya di kabupaten Pesawaran. Luas lahan kakao di

kabupaten Pesawaran sebesar 15.146,8 hektar dan produksi sebesar 8.517,8 ton, BPS Kabupaten Pesawaran, 2013 [1].

Proses produksi kakao di salah satu desa di kabupaten Pesawaran yaitu di desa Wiyono dilakukan melalui proses pengeringan dengan dua cara yaitu dengan sinar matahari dan juga dengan menggunakan alat pengering dengan bentuk bak penampang.

Seiring permintaan pasar akan kakao yang semakin meningkat, maka pengeringan secara tradisional dengan sinar

matahari sudah tidak dapat memenuhi permintaan tersebut dikarenakan waktu pengeringan ini relative lama yaitu 3-4 hari.

Oleh karena itu diperlukan alat pengering kakao yang lebih efektif. Di Usaha Mandiri desa Wiyono sudah menggunakan alat pengering kakao sederhana yang berukuran 240 cm x 120 cm. Untuk meningkatkan efektifitas alat pengering kakao ini maka dilakukan analisis, redesain dan modifikasi alat pengering.

### 1.1. Karakteristik biji kakao dan kerusakan pada biji kakao

Kakao merupakan tanaman perkebunan yang hidup dengan naungan pohon-pohon yang tinggi dengan curah hujan dan kelembaban yang tinggi serta suhu yang relatif sama sepanjang tahun. Tanaman tahunan ini dapat mulai berproduksi pada umur 18 bulan (1,5 tahun).

Karakteristik biji kakao banyak diperhatikan terutama karena berpengaruh terhadap hasil yang akan diperoleh oleh pabrik coklat, khususnya adalah kadar air, berat biji, dan kadar kulit. Sifat-sifat fisik tersebut satu sama lain saling berkaitan dan dapat ditentukan dengan mudah, Wahyudi, 2008 [2].

Pada biji kakao terdapat beberapa kerusakan yang sering terjadi, antara lain :

- Kerusakan fisik atau mekanis**  
Kerusakan ini terjadi karena adanya perlakuan fisik atau adanya benturan mekanis selama pasca panen, pengemasan, pengangkutan maupun selama penyimpanan.
- Kerusakan biologis**  
Kerusakan biologis pada biji kakao terjadi karena hama gudang, bintang pengerat maupun perlakuan fisiologis. Kerusakan ini juga dipengaruhi oleh kadar air, suhu penyimpanan serta oksigen.
- Kerusakan mikrobiologis**  
Kerusakan ini disebabkan oleh pengeringan yang tidak optimal atau biji kering yang menyerap air selama penyimpanan sehingga hal ini dapat mendorong jamur-jamur tumbuh dalam biji kakao.
- Kerusakan kimia**  
Kerusakan kimia ini disebabkan karena perubahan kimia yang dipengaruhi oleh suhu selama reaksi berlangsung, seperti oksigen yang mempercepat reaksi oksidasi, reaksi biologis seperti enzimatis, pH yang mempengaruhi denaturasi protein atau perubahan warna, dan adanya logam yang menjadi precursor reaksi.

Penurunan kualitas mutu kakao dapat dicegah dengan menerapkan teknologi pasca panen kakao yang benar dan memperhatikan syarat mutu kakao yang telah ditentukan.

Dengan memperhatikan hal tersebut diharapkan mutu kakao Indonesia bukan hanya mengalami peningkatan produksi dari segi kuantitas tapi juga mempunyai daya saing dari segi kualitas di pasar internasional Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2010 [3].

### 1.2. Pengeringan biji kakao

Biji kakao yang diperdagangkan dan dipergunakan untuk produk-produk coklat diperoleh dari pengolahan biji kakao. Untuk dapat menghasilkan biji kakao yang berkualitas baik maka harus melalui tahapan-tahapan yang benar.

Adapun tahapan dalam penanganan pasca panen kakao meliputi pemetikan, pengupasan/pemecahan kulit buah, fermentasi, perendaman, dan pencucian, pengeringan dan penyimpanan merupakan tahapan penting dalam pengolahan untuk memperoleh biji kakao yang bermutu baik, Susanto, 1994 [4]

Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang optimal, Hayati, 2012 [5]. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa (pindah massa dalam hal ini adalah perpindahan massa air keluar dari bahan yang dikeringkan dalam proses pengeringan tersebut). Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu, Voigh, 2008 [6]:

- Luas permukaan
- Suhu
- Kecepatan udara
- Kelembaban udara
- Tekanan atmosfer dan vakum
- Waktu

### 1.3. Analisa kadar air dan kebutuhan energi selama proses pengeringan kakao

Kadar air kakao yang telah dikeringkan dapat dihitung dengan persamaan, Abdulillah, 2000 [7] :

$$K_f = \frac{[W_{kk} - W_{ko}]}{W_{kk}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

- $K_f$  = kadar air kakao (%)
- $W_{kk}$  = berat kakao kering (kg)
- $W_{ko}$  = berat kakao dengan kadar air 0% (kg)

Sedangkan kebutuhan energi ( $Q_d$ ) selama proses pengeringan dapat dihitung dengan persamaan Incropera, 1990 [8] :

$$Q_d = Q_h + Q_w + Q_l \quad (2)$$

dimana :

- $Q_h$  = energi pemanasan kakao (kkal)
- $Q_w$  = energi pemanasan air kakao (kkal)
- $Q_l$  = energi penguapan air kakao (kkal)

## 2. Metodologi

### 2.1 Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering kakao, termokopel, dan komputer dengan *software computational fluid dynamics* (CFD).

### 2.2 Tahapan penelitian

Adapun tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengumpulan data-data pendukung, perhitungan dan analisis perpindahan panas yang terjadi, proses redesain alat pengering kakao dan melakukan analisis hasil redesain dengan menggunakan CFD.

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Data-data teknis awal

Data-data teknis awal dari alat pengering kakao dan karakteristik kakao yang terdapat di desa Wiyono kabupaten Pesawaran, adalah sebagai berikut :

- Spesifikasi alat pengering kakao
 

Panjang alat pengering	: 240 cm
Lebar alat pengering	: 120 cm
Tinggi alat pengering	: 80 cm
Jumlah plat	: 1 buah

- Material pelat : tembaga
- Ukuran pelat : 224 cm x 104 cm
- Material dinding : bata dan asbes
- Kapasitas alat pengering : 100 kg

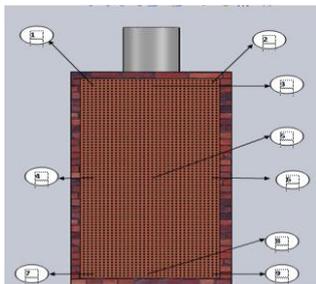
b. Karakteristik kakao

Pengeringan kakao di desa Wiyono dilakukan dengan dua tahap yaitu dengan cara menjemur selama satu hari kemudian dilakukan pengeringan dengan menggunakan alat pengering kakao. Adapun perubahan karakteristik kakao diukur dari perubahan berat kakao yang dihasilkan.

- Berat kakao (kadar air 55%) : 100 kg
- Berat kakao (kadar air 7%) : 48,38 kg

c. Distribusi temperatur ruang pengering

Adapun lokasi pengukuran distribusi temperatur dapat dilihat pada gambar 1 dan hasil pengukuran pada plat pengering kakao sebelum proses redesain dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Lokasi pengukuran distribusi temperatur pada alat pengering kakao

Tabel 1. Hasil pengukuran distribusi temperature pada plat alat pengering kakao sebelum redesain

Nomor Lokasi	Temperatur (°C)
1	62,6
2	59,2
3	51,7
4	64,3
5	64,8
6	70,7
7	65,8
8	63,3
9	55,5

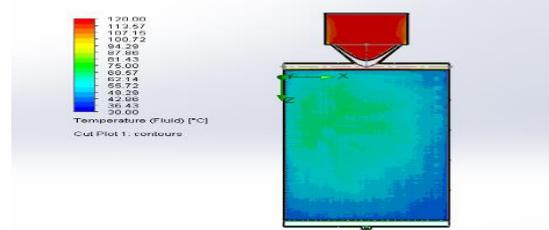
d. Simulasi CFD awal (sebelum redesain) alat pengering

Untuk mensimulasikan rancangan awal/sebelum desain alat pengering kakao ini menggunakan parameter-parameter masukan seperti pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Parameter masukan pada simulasi menggunakan CFD

Parameter	Nilai
Temperatur masuk pipa	120 °C
Debit udara masuk	0,052 m <sup>3</sup> /det
Temperatur awal alat pengering	30 °C
Temperatur lingkungan	30 °C
Kecepatan udara masuk ruang pengering	0,1 m/det
Tekanan udara	1 atm

Hasil simulasi awal alat pengering dapat dilihat pada gambar 2 dan poin parameter sebaran suhu pada plat dapat dilihat pada tabel 3.



Gambar 2. Hasil simulasi alat pengering sebelum redesain

Tabel 3. Poin parameter sebaran suhu pada plat

x (m)	y (m)	z (m)	P (atm)	T (°C)
0,38	1,04	1,73	1	50,29
0,37	1,04	2,45	1	62,03
0,35	1,04	3,12	1	55,15
2,66	1,04	3,16	1	47,07
2,75	1,04	1,67	1	60,13
2,73	1,04	2,54	1	75,11
5,15	1,04	3,22	1	36,40
5,13	1,04	3,15	1	36,30
5,12	1,04	1,74	1	40,60

Dari hasil pengukuran distribusi temperature pengeringan dan simulasi menggunakan CFD menunjukkan sebaran suhu pada alat pengering tidak merata. Sehingga dilakukan redesain alat pengering untuk mendapatkan hasil sebaran suhu yang lebih baik.

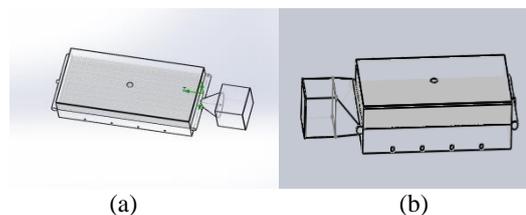
3.2 Redesain alat pengering kakao

Tujuan utama dari redesain alat pengering kakao ini adalah untuk membuat sebaran suhu yang terdapat di ruang pengering merata. Pada penelitian ini redesain yang dilakukan dengan mengurangi tinggi alat pengering, menambahkan lapisan dinding, memperbesar ukuran rak, dan menambahkan pipa aliran gas panas di bawah plat pengering. Adapun perbedaan desain awal dan redesain alat pengering terlihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Parameter redesain alat pengering

No	Keterangan	Desain awal	Redesain
1	Panjang alat pengering	240 cm	240 cm
2	Lebar alat pengering	120 cm	120 cm
3	Tinggi alat pengering	80 cm	60 cm
4	Material dinding Yunianto, 2014 [9]	Bata	Baja dan asbes
5	Jumlah rak	1	1
6	Ukuran rak	220 cm x 100 cm	239,4 cm x 119,4 cm
7	Diameter pipa dalam	-	2,54 cm
8	Total panjang pipa	-	57,6 m
9	Material pipa	-	Tembaga

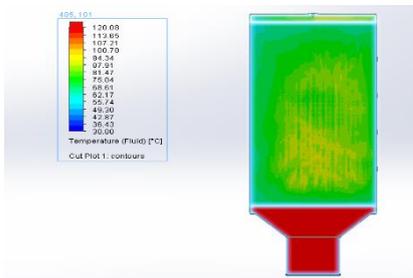
Adapun rancangan modifikasi redesain alat pengering kakao dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Alat pengering kakao desa Wiyono kabupaten Pesawaran (a) sebelum modifikasi (b) setelah modifikasi

3.3 Simulasi redesain alat pengering kakao

Setelah dilakukan redesain dan modifikasi alat pengering kakao, selanjutnya dilakukan simulasi menggunakan CFD. Hasil simulasi dan sebaran suhu redesain alat pengering kakao dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 5 berikut.



Gambar 4. Hasil simulasi ruang pengering setelah modifikasi

Tabel 5. Poin parameter sebaran suhu pada plat hasil redesain

x (m)	y (m)	z (m)	P (atm)	T (°C)
0,33	1,05	1,72	1	81,47
0,36	1,05	2,44	1	84,60
0,35	1,05	3,13	1	81,46
2,76	1,05	3,15	1	86,70
2,77	1,05	1,66	1	81,03
2,77	1,05	2,55	1	86,50
5,13	1,05	3,20	1	81,25
5,13	1,05	3,12	1	81,22
5,14	1,05	1,77	1	81,32

Dari gambar 4 dan tabel 5 di atas terlihat bahwa sebaran suhu yang terjadi pada plat pengering telah merata yang ditandai dengan warna hijau yang dominan dengan suhu yang telah mencapai suhu optimal pengeringan yaitu 65 – 90 °C.

3.4 Perhitungan kalor dan kebutuhan bahan bakar pengeringan

a. Data-data awal perhitungan

Adapun data-data awal yang diperlukan dalam perhitungan terdapat pada table berikut :

Tabel 6. Data awal perhitungan

Keterangan	Nilai
Berat total kakao awal ( $W_{kb}$ )	100 kg
Berat total kakao dengan kadar air 0% ( $W_{ko}$ )	45 kg
Berat total kakao dengan kadar air 7% ( $W_{kk}$ )	48,38 kg
Berat air total kakao ( $W_i$ )	55 kg
Temperatur awal kakao	30 °C
Temperatur gas masuk alat pengering ( $T_s$ )	120 °C
Temperatur lingkungan	30 °C
Panas jenis kakao ( $h_{fg}$ )	2,23 kJ/kg
Panas laten penguapan air (l)	2295 kJ/kg
Nilai kalor terendah kayu bakar (LHV <sub>kb</sub> )	17.000 kJ/kg
Panjang alat pengering	2,4 m
Lebar alat pengering	1,2 m
Tinggi alat pengering	0,6 m

b. Perhitungan energi pemanasan kakao ( $Q_h$ )

$$Q_h = W_{kb} \cdot c_{p.kakao} \cdot \Delta T$$

$$= 100 \times 2,23 \times (85,34 - 30)$$

$$= 12.400,59 \text{ kJ}$$

c. Perhitungan energi pemanasan air kakao ( $Q_w$ )

$$Q_w = W_i \cdot c_{p.air} \cdot \Delta T$$

$$= 55 \times 4,18 \times (85,34 - 30)$$

$$= 12.723 \text{ kJ}$$

d. Perhitungan energi penguapan air kakao ( $Q_i$ )

$$Q_i = W_r \cdot h_{fg}$$

$$= 51,62 \times 2295$$

$$= 118.467,49 \text{ kJ}$$

e. Perhitungan laju aliran energy konveksi ( $Q_{kv}$ )

$$Q_{kv} = h \cdot A \cdot (T_s - T_d)$$

$$= 7,79 \times 9,19 \times (120 - 85,34)$$

$$= 2.480,76 \text{ W} = 8.930,74 \text{ kJ / jam}$$

f. Perhitungan lama pengeringan (t)

$$t = \frac{Q_h + Q_w + Q_i}{Q_{kv}}$$

$$= \frac{12.400,59 + 12.723 + 118.467,49}{8930,7411}$$

$$= 16,07 \text{ jam}$$

g. Perhitungan total kalor yang dibutuhkan ( $Q_{total}$ )

$$Q_{total} = Q_h + Q_w + Q_i + Q_{kv} + Q_{hw}$$

$$= 12.400,59 + 12.723 + 118.467,49 +$$

$$+ 143.588,45 + 132.882,78$$

$$= 420.062,32 \text{ kJ}$$

h. Total bahan bakar yang dibutuhkan (BB)

$$BB = \frac{\text{kebutuhan kayu bakar}}{\eta_{tungku}}$$

$$= \frac{24,71}{0,24}$$

$$= 102,96 \text{ kg (0,103 m}^3\text{)}$$

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian didapatkan hasil redesain alat pengering kakao dengan dimensi 240 cm x 120 cm x 60 cm dengan diameter pipa dalam pengering 1 inci dan pipa depan serta belakang masing-masing berukuran 4 inci yang terbuat dari tembaga serta dinding alat pengering terbuat dari asbes dengan tebal 3 mm. Sedangkan dari hasil perhitungan dan simulasi menggunakan CFD diperoleh suhu pengeringan mencapai 85,34 °C, dengan lama pengeringan ± 16 jam (lebih cepat dibandingkan desain awal 22 jam), serta kebutuhan bahan bakar yang berupa kayu bakar dengan jumlah lebih hemat yaitu sebesar 102,96 kg (0,103 m<sup>3</sup>).

**Ucapan terima kasih**

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Usaha Mandiri desa Wiyono kabupaten Pesawaran atas izin dan kerjasamanya serta Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dan bantuannya sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar.

**Daftar pustaka**

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesawaran (2013) Luas Areal dan Produksi Tanaman Perkebunan Menurut Jenis Komoditi di Kabupaten Pesawaran, Lampung.
- [2] Wahyudi, T., T.R. Panggabean, Pujiyanto, A.A. Prawoto. (2008). Panduan Lengkap Kakao Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir, Penebar Swadaya, Jakarta.
- [3] Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. (2010) Buku Pintar Budidaya Kakao, Agromedia Pustaka, Jakarta.
- [4] Susanto. (1994) Tanaman Kakao Budidaya dan Pengolahan Hasil, Kanisius, Yogyakarta.
- [5] Hayati, R., Yusmanizar, Mustafiril, Fauzi, H., (2012) Kajian fermentasi dan suhu pengeringan pada mutu kakao, Jurnal Keteknik Pertanian, Vol. 26, N0.2, 129-135.
- [6] Voigh, Rudolf. (2008) Buku Pelajaran Teknologi Farmasi, UGM Press, Yogyakarta.
- [7] Abdulillah, Kamaruddin (2000) Pengeringan Industrial, IPB Press, Bogor.
- [8] Incropera, F.P., and De Witt, D.P. (1990) Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Third Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [9] Yunianto, Bambang dkk. (2014) Pengembangan Desain Tungku Bahan Bakar Kayu Rendah Polusi Dengan Menggunakan Dinding Beton Semen, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.