

KAJI EKSPERIMEN PERFORMANSI MESIN PENGUPAS KOPI DENGAN PEMANFAATAN GAS BUANG MOTOR BAKAR BENSIN

Suryadimal

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Bung Hatta

Abstrak

In the globalization era, the scientists have been created a machine to peeling the coffee seed to improve the production and the quality output. The importance thing to prevent the coffee seed is break is giving the energy to coffee skin. This treatment can make the water in coffee prestige has lessed, especially " kopi gelondongan "

The best method that can we use is using the exaushing gas of internal engine of the coffee sheed machine that connect with drying system. According to experiment, this machine can make the water in coffee prestige has lessened from 2.4% until 8.07 % in the speed of motor 1000 rpm to 2200 rpm as long as 30 minutes , and efficiency 28.65%.

1. Pendahuluan

Kopi merupakan salah satu komoditi pertanian yang banyak ditemui di benua Amerika, Afrika dan Asia, dimana kopi dapat tumbuh pada daerah-daerah yang letak geografisnya 20° LU - 20° LS^[6]. Hasil tanaman kopi dari Indonesia sudah mencapai $\pm 4\%$ dari produksi dunia, dengan propinsi Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang memproduksinya, seperti di daerah Pasaman Timur, Payakumbuh, Batu Sangkar, Agam, Painan dan Solok. Menurut laporan BPS Sumbar tahun 2001, Solok merupakan daerah penghasil kopi terluas yaitu sebesar 11.833 Ha^[1].

Pada umumnya petani menjual komoditi ini dalam bentuk kopi gelondong (kulit dengan biji) dengan harga yang relatif murah yaitu untuk per kilogram, sekitar sepertiga harga biji kopi yang telah dikupas dengan persentase 85 % berat inti dan 15 % berat kulit. Salah satu penyebabnya karena proses pengupasan kulit tanduk dan kulit ari biji dilakukan secara tradisional dengan cara menumbuk sehingga banyak biji yang pecah .

Teknik-teknik yang dikembangkan untuk memperoleh hasil kopi yang baik, selain dilakukan dengan budi daya dan pemanenan, juga cara penanganan hasil panen di antaranya *hulling*. *Hulling*

bertujuan untuk memisahkan biji kopi yang sudah kering dengan kulit (kulit tanduk dan kulit ari), dimana proses *hulling* dilakukan dengan mesin pengupas yang disebut *huller*^[5].

Mesin pengupas kopi dengan sistem *hammer mill* sudah banyak dikembangkan, seperti yang dibuat oleh PT. Citra Lamtoro Gung Persada dengan kapasitas 90 kg/jam, biji pecah (*defect system*) sekitar 0,5 %, dan proses pemisahan kulit dengan biji kopi dilakukan dengan proses mekanik^[8]. Proses mekanik terjadi ketika buah kopi memasuki ruang pemukul, dimana batang pemukul digerakkan oleh motor penggerak yang dihubungkan secara mekanik dengan poros pemukul. Akibat gerak putar batang pemukul maka buah kopi yang masuk akan terlempar sampai membentur dinding pembentur secara berulang-ulang. Proses ini mengakibatkan buah kopi terkelupas dari kulit.

Sewaktu proses pengupasan dilakukan, banyak hal yang perlu diperhatikan untuk mencegah biji kopi pecah, diantaranya menurunkan kadar air yang dimiliki oleh kopi gelondong. Mesin pengupas kopi yang dirancang dan dibuat mampu meningkatkan buah kopi terkelupas dari kulit sewaktu kadar air dari kopi gelondong kurang dari 13 % sehingga kondisi biji kopi dengan

kadar air di atas 15 % tidak dapat dicapai. Teknologi-teknologi untuk menurunkan kadar air dari kopi gelondong yang akan diolah oleh mesin pengupas kopi sudah banyak dikembangkan, dengan sistem pengering yang terpisah dari mekanisme pengupas kopi.

Pengeringan biji kopi merupakan tahap penting dalam pengolahan biji kopi, baik untuk pengolahan kering maupun pengolahan basah. Pengeringan kopi ini dapat dilakukan secara konvensional yaitu dengan memanfaatkan sinar matahari selama 10-14 hari untuk mendapatkan kadar air $\pm 20\%$, sedangkan dengan teknologi pengeringan hanya membutuhkan waktu ± 18 jam. Pengeringan ini dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama, pemanasan pada temperatur 65°C - 100°C untuk menurunkan kadar air dari 40% - 20% . Tahap kedua, pemanasan pada temperatur 50°C - 60°C untuk menurunkan kadar air dari 20% - 10% .

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Tinjauan Tentang Kopi

Tanaman kopi merupakan tanaman yang sudah tidak asing lagi bagi masyarakat Indonesia. Tinggi tanaman ini mencapai 10 meter dan diameter batang dapat mencapai 0,3m. Hampir diseluruh wilayah Indonesia dapat ditemukan kopi. Kopi merupakan tumbuhan asli daerah yang beriklim tropis disepanjang katulistiwa, dimana kopi dapat tumbuh pada daerah-daerah yang letak geografisnya 20 lintang utara sampai 20 lintang selatan. Di Indonesia dikenal ada beberapa kopi yaitu kopi Arabika, kopi Robusta dan kopi Liberika.

2.2. Dasar Perpindahan Panas

Kalor atau panas merupakan suatu bentuk energi. Perpindahan energi terjadi akibat perbedaan temperatur, energi akan berpindah dari bagian yang bertemperatur tinggi ke bagian yang bertemperatur rendah. Hal ini juga terkait dengan "Hukum Termodinamika" yang pertama, yang menyatakan energi tidak dapat diciptakan atau dihilangkan. Hukum tersebut memberikan landasan dasar *bahwa bila suatu benda menerima panas, maka panas*

yang diterima tersebut harus sama dengan panas yang diberikan oleh benda lain terhadap benda tersebut.

Proses perpindahan panas dapat berlangsung dalam tiga cara, yaitu :

1. Perpindahan panas konduksi
2. Perpindahan panas konveksi
3. Perpindahan panas radiasi

2.3. Termodinamika campuran udara-uap air sebagai gas ideal

Udara merupakan suatu campuran udara kering dengan uap air yang tak berinteraksi secara eksklusif, dimana setiap unsur pokok juga merupakan sebuah komponen. Udara merupakan campuran udara kering dengan uap air, dapat diperlukan sebagai ideal karena temperatur udara kering cukup tinggi dibandingkan dengan temperatur jenuhnya, dan tekanan parsial uap air lebih rendah dibandingkan dengan tekanan jenuhnya. Persamaan gas ideal untuk campuran udara-udara air yaitu:

$$P_w \cdot v = R_w \cdot T \text{ atau } P_a \cdot v = R_a \cdot T$$

(2.10)

Dimana:

P_w : tekanan parsial uap air jenuh (Pa)

P_a : tekanan parsial udara kering (Pa)

R_w : konstanta gas untuk uap air $461,5 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$

R_a : konstanta gas untuk udara kering $287 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$

V : volume spesifik campuran udara-uap air (m^3/kg)

T : temperatur campuran udara uap air ($^{\circ}\text{K}$)

Uap air pada tekanan dibawah 1 atm di idealisasikan sebagai gas ideal. Apabila tekanan parsial uap air sama dengan tekanan jenuh air pada temperatur campuran maka campuran disebut campuran jenuh.

2.4. Konsep Perpindahan Massa

Perpindahan massa dapat terjadi karena beberapa macam fenomena yang berlainan. Perpindahan massa yang berlangsung

secara konveksi, dimana massa berpindah dari suatu tempat ke tempat lain dalam sistim aliran yang terjadi pada tingkat makroskopik ditinjau sebagai masalah mekanik fluida. Jika pada suatu sistim terdapat gradien konsentrasi pada salah satu atau beberapa konstituen dalam sistim, maka akan terjadi perpindahan massa dalam tingkat mikroskopik akibat pembauran dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah.

Difusi massa tidak hanya terjadi atas dasar molekul, tetapi juga dalam aliran turbulen, dimana terjadi difusi yang dipercepat akibat proses pencampuran pusaran cepat. Laju difusi diberikan oleh hukum fick, yang menyatakan bahwa fluks massa dari suatu konsistensi persatuan luas berbanding lurus dengan gradien suhu.

$$\frac{\dot{m}}{A} = -D \cdot \frac{dc_a}{dx} \quad (2.23)$$

Dimana :

D : konstanta proporsionalitas (tetapan kesebandingan), koefisien difusi (m^2/s)

$\frac{\dot{m}}{A}$: fluks massa persatuan

penampang $\left(\frac{kg/s}{m^2} \right)$

dc_a : konsentrasi massa komponen A persatuan volume (kg/m^3)

Dari penurunan persamaan gas ideal, densitas ρ_A menunjukkan konsentrasi massa A dalam hukum fick. Sedangkan konstanta gas R dinyatakan dengan perbandingan konstanta gas Universal R_o dengan molekul M_A . Persamaan densitas didapat :

$$\rho_A = C_A = \frac{P_A \cdot M_A}{R_o \cdot T} \quad (2.24)$$

Dimana :

P_A : tekanan parsial gas

M_A : berat molekul gas

R_o : konstanta gas universal : 8315

($J/kg \cdot mol \cdot ^\circ K$)

Untuk difusi komponen A kedalam komponen B dalam fick ditulis sebagai :

$$\frac{\dot{m}}{A} = -D_{AB} \frac{M_A}{R_o \cdot T} \cdot \frac{dp_A}{dx} \quad (2.25)$$

Atau

$$\frac{\dot{m}B}{A} = -D_{BA} \frac{M_B}{R_o \cdot T} \cdot \frac{dp_B}{dx} \quad (2.26)$$

Persamaan (2.25) dapat diinginkan untuk mendapatkan fluks massa komponen A sebagai :

$$\frac{\dot{m}A}{A} = \frac{DM_A}{R_o \cdot T} \cdot \frac{PA_2 \cdot PA_1}{Ax} \quad (2.27)$$

2.5. Koefisien Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa dapat didefinisikan seperti koefisien perpindahan kalor dengan persamaan :

$$\dot{m}A = h_D \cdot A \cdot (C_{A1} - C_{A2}) \quad (2.28)$$

Dimana :

$\dot{m}A$ = fluks massa difusi

h_{DA} = koefisien perpindahan massa

C_{A1}, C_{A2} = konsentrasi tempat berlangsungnya difusi

Dengan menggunakan prinsip keserupaan pada perpindahan kalor, jika lapisan batas laminar diatas plat rata menjadi difusi sebagai akibat suatu kondisi perpindahan massa pada permukaan, maka dapat diturunkan suatu persamaan untuk konsentrasi komponen tertentu didalam lapisan batas.

$$U \cdot \frac{d_{CA}}{dx} + V \frac{d_{CA}}{dy} = D \cdot \frac{d^2_{CA}}{d^2 y} \quad (2.29)$$

Dimana C_A adalah konsentrasi komponen yang berdifusi melalui lapisan batas.

Beberapa hubungan empiris untuk koefisien perpindahan massa diberikan oleh *gilliland* untuk penguapan zat cair ke udara didalam kolom bundar, dimana zat cair membasahi permukaan dan udara didorong melalui kolom. Dengan persamaan :

$$\frac{hoD}{D} \cdot 0,023 \cdot \left[\frac{\rho Um.d}{\mu} \right]^{0,83} \cdot \left[\frac{V}{D} \right]^{0,33} \quad (2.30)$$

Karena ruas kiri pada persamaan (2.25) dibuat dengan angka *sherwood* (Sh) dan profil konsentrasi serta kecepataannya mempunyai bentuk yang sama apabila $V = D$ atau $V/D = 1$. Perbandingan tak berdimensi ini disebut angka *Schmidt*. Persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$Sh = 0,023 \cdot Re^{0,83} \cdot Sc^{0,33} \quad (2.31)$$

Persamaan (2.26) serupa dengan persamaan Dittus Boetler yaitu $N_{ud} = 0,23 \cdot Red^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$. Persamaan (2.26) berlaku untuk : $2000 < Red < 35000$ dan $0,8 < Se < 2,5$.

Bila perpindahan kalor dan perpindahan massa berlangsung secara serentak (simultan), maka didapat persamaan :

$$\frac{h}{h_D} \cdot \rho \cdot Cp \cdot \left[\frac{Sc}{Pr} \right]^{2/3} \quad (2.32)$$

Koefisien perpindahan massa tergantung pada bilangan *Reynold* yang menunjukkan kondisi aliran fluida, bilangan *Prandtl* menunjukkan perbandingan difusitas momentum terhadap difusitas termal dan *Schmidt* menunjukkan perbandingan difusitas termal terhadap difusitas massa.

2.6. Konsep Pengeringan

Pengeringan adalah proses perpindahan panas dan uap secara simultan, yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan media pengering yang biasanya berupa panas.

Dasar proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dengan bahan yang akan dikeringkan. Dalam hal ini kandungan uap air-udara lebih sedikit atau dengan kata lain udara mempunyai kelembaban nisbi yang rendah sehingga terjadi penguapan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada dua yaitu : faktor yang

berhubungan dengan udara pengering dan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Penguujian



3.2. Bahan Dan Alat

Bahan dan peralatan yang digunakan adalah :

- ✚ Biji kopi
- ✚ Flowmeter
- ✚ Tachometer
- ✚ Timbangan
- ✚ Stopwatch
- ✚ Termokopel dan Termodigital.

3.3. Format Dalam Pengambilan Data

Data dan parameter yang dibutuhkan dalam penguujian meliputi data dari fluida kerja, sifat-sifat fisik dari bahan yang akan dikeringkan.

1. Kondisi Udara Pengering

- Temperatur fluida kerja
- Kerapatan udara pengering, ρ
- Entalphi

2. Kondisi Bahan Kopi

- Massa bahan kopi yang akan dikeringkan
- Kadar air awal bahan, X_1
- Kadar air akhir bahan, X_2

Asumsi yang dipakai selama penguujian antara lain: kerugian panas pada

saluran gas buang motor bakar diabaikan, kadar air awal bahan dan distribusi laju aliran udara tidak merata.

3.4. Prosedur Pengujian

- Siapkan kopi yang akan di uji
- Timbang kopi yang akan diuji dengan massa 5 kg
- Periksa instalasi pengujian, apakah sudah berada dalam kondisi baik
- Siapkan alat ukur
- Masukkan kopi kedalam box drayer
- Hidupkan motor
- Atur putaran motor pada putaran 1000 rpm
- Tunggu selama 30 menit dan catat temperatur masuk dan keluar serta kecepatan gas buang motor bakar
- Matikan motor keluarkan kopi dari box drayer
- Timbang massa kopi
- Dinginkan mesin selama 30 menit
- Lakukan langkah 1 sampai dengan 11 untuk putaran (1300 rpm, 1700 rpm, 2200 rpm)

3.5. Analisis Data

1. Kadar Air (kA)

$$KA = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\%$$

(%BB)

2. Jumlah Air yang Diuapkan

(m_a)

$$m_a = m_{awal} - m_{akhir} \quad (\text{gr})$$

3. Laju Aliran massa

- Masuk Ruang

Pengering (\dot{m}_1)

$$\dot{m}_1 = \rho_1 \cdot A \cdot V \quad (\text{kg/s})$$

- Keluar Ruang Pengering

(\dot{m}_2)

$$\dot{m}_2 = \rho_2 \cdot A \cdot V \quad (\text{kg/s})$$

4. Energi Panas Masuk Ruang Pengering (Q_1)

$$Q_1 = \dot{m} \cdot h_{in}$$

(watt)

5. Energi Panas Keluar Ruang Pengering (Q_2)

$$Q_2 = \dot{m} \cdot h_{out}$$

(watt)

6. Efisiensi Pengeringan (η)

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

4. Hasil Dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian terhadap pegeringan kopi menggunakan motor bakar mesin pengupas kopi dengan pada putaran yang bervariasi, maka didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Pengujian Kopi Dengan Variasi Putaran

Put rpm	t (mnt)	Massa Kopi (kg)		Temp (°C)		Kec(m/s)	
		Awal	Akhir	T _{in}	T _{out}	V _{in}	V _{out}
1000	30	5	4,88	95	43	1,92	0,25
1300	30	4,88	4,70	110	52	2,69	0,39
1700	30	4,70	4,46	129	57	3,46	0,62
2200	30	4,46	4,10	163	68	4,29	1,24

4.2. Pengolahan Data Putaran 1000 Rpm

✚ Kadar Air

$$KA = \frac{5 \text{ kg} - 4,8 \text{ kg}}{5 \text{ kg}} \times 100\%$$

$$= 2,4\%$$

✚ Jumlah Air yang Diuapkan

$$m_a = 5 \text{ kg} - 4,88 \text{ kg}$$

$$= 0,12 \text{ kg}$$

✚ Laju Aliran Massa Masuk Ruang

Pengering ($\dot{m}_1 = \rho \cdot A \cdot V$)

Dimana :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (0,0254 \text{ m})^2$$

$$= 5,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{\rho_x - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1} =$$

$$\rho_x = 0,93 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{m}_1 = 0,93 \frac{kg}{m^3} \cdot 5,07 \times 10^{-4} m^2 \cdot 1,92 \frac{m}{s}$$

$$= 2,04 \times 10^{-3} \frac{m}{s}$$

✚ Laju Aliran Massa Keluar Ruang

Pengering ($\dot{m}_2 = \rho \cdot A \cdot V$)

$$\frac{T_x - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{\rho_x - \rho_1}{\rho_2 - \rho_1}$$

$$\rho_x = 1,105 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_2 = 1,105 \frac{kg}{m^3} \cdot 5,07 \times 10^{-4} m^2 \cdot 0,25 \frac{m}{s}$$

$$= 3,15 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

✚ Energi Panas Masuk Ruang Pengering (Q_1)

$$\frac{368^0 K - 360^0 K}{370^0 K - 360^0 K} = \frac{h_x - 10,473 \frac{kJ}{kmol}}{10,765 \frac{kJ}{kmol} - 10,473 \frac{kJ}{kmol}}$$

$$h_x = 10,71 \frac{kJ}{kmol}$$

Mr CO = 12 + 16 = 28 (massa 1 mol CO = 28 gram)

$$h_x = 10,71 \frac{kJ}{Kmol} = 0,3825 \frac{kJ}{Kg}$$

$$Q_1 = 2,04 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \times 0,3825 \frac{kJ}{kg}$$

$$= 0,00078 kW = 0,78 W$$

✚ Energi Panas Keluar Ruang Pengering (Q_2)

$$Q_2 = 3,15 \times 10^{-4} \frac{kg}{s} \times 0,328 \frac{kJ}{kg}$$

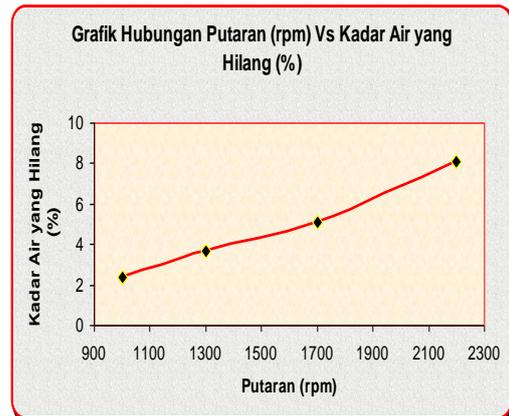
$$= 0,103 W$$

✚ Efisiensi Pengeringan (η)

$$\eta = \frac{0,103 W}{0,78} \times 100\% = 13,21\%$$

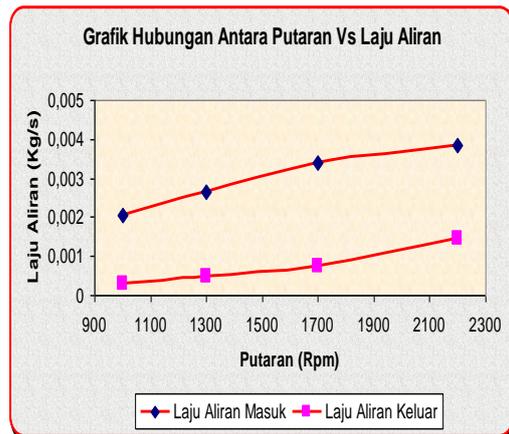
4.3. Pembahasan

Dari hasil pengujian maka dapat di analisa besaran-besaran hasil pengujian seperti dibawah ini:



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Putaran Vs Kadar Air

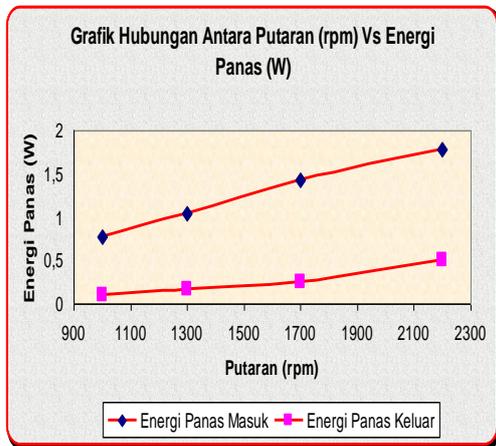
Berdasarkan Gambar 4.1 diatas terlihat bahwa ada peningkatan kadar air rata-rata yang hilang pada kopi adalah 4,82% dengan kenaikan kadar air yang hilang maksimum putaran 2200 rpm dengan lama waktu pengujian adalah 30 menit.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Putaran Vs Laju Aliran Massa

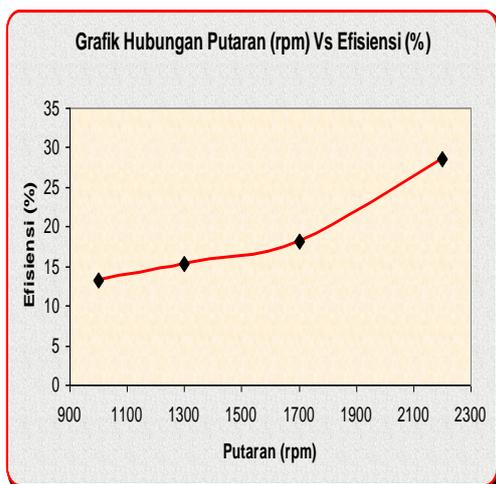
Berdasarkan dari analisa Gambar 4.2, pada putaran 2200 rpm dan rata-rata laju aliran massa masuk ruang pengering adalah $2,98 \times 10^{-3} kg/s$ dan rata-rata laju aliran

massa keluar ruang pengering $4,23 \times 10^{-3}$ kg/s dengan lama waktu pengujian adalah 30 menit.



Gambar 4.3. Grafik Hubungan Putaran Vs Energi Panas

Dari analisa Gambar 4.3 didapat energi panas masuk ruang pengering rata-rata untuk mengeringkan bahan adalah 1,26 Watt dan energi panas keluar ruang pengering rata-rata adalah 0,26 Watt pada putaran bervariasi serta waktu pengujian 30 menit



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Putaran Vs Efisiensi

Dari Grafik Hubungan Putaran Vs Efisiensi analisa pengujian didapat efisiensi rata-rata adalah 18,82 %, dan efisiensi yang paling tinggi adalah pada putaran 2200 rpm yaitu 29,5 %.

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan sistem pengering yang bersumber dari gas buang motor bakar dapat mengurangi kadar air 2,4 % sampai 8,07 %.

Laju perpindahan panas masuk ruang pengering lebih tinggi dibanding laju perpindahan panas keluar ruang pengering karena panas mengalir menuju ke daerah temperatur yang rendah dengan laju perpindahan maksimal adalah 1.8 Watt. Efisiensi rata-rata sistem adalah 13,21% sampai 28,65% pada putaran 1000 rpm sampai 2200 rpm.

5.2 Saran

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik disarankan untuk memvariasikan waktu dan kapasitas kopi serta perlu ketelitian dalam pembacaan alat ukur dan pemilihan bahan pengeringan kopi yang mempunyai konduktivitas termal tinggi.

Daftar Notasi

Notasi	Arti
A	Luas Penampang
C _p	Panas Spesifik
h	Enthalpy
k	Konduktivitas Termal Bahan
\dot{m}	Laju Aliran Massa
P _w	Tekanan parsial uap air jenuh
P _a	Tekanan Parsial Udara Kering
R _w	Konstanta Gas Untuk Uap Air
V	Volume Spesifik Campuran Udara-Uap Air
T	Temperature Campuran Udara Uap Air
D _{qs}	Laju Perpindahan Kalor sensibel
D _{ql}	Laju Perpindahan Kalor Laten
T _a	Temperatur Udara
T _s	Temperatur Permukaan Basah
D	Konstanta Proporsionalitas
σ	Stefan Boltzman
ρ	Massa Jenis
$\dot{m}A$	fluks massa difusi
ΔT	Perubahan Temperatur
Δx	Jarak Rambatan Panas

DAFTAR PUSTAKA

1. Bluestein, Maurice. *Thermodynamics and Heat Power*. 2001, Indiana University. Prentice Hall.
2. BPS, Badan Pusat Statistik Propinsi Sumatera Barat, 2002, *Sumatera Barat Dalam Angka*.
3. Hewitt, G.F. *Process Heat Transfer*. 1999, CRC Press. United State of Amerika.
4. Holman, J.P. *Perpindahan Kalor* . 1995, Jakarta. Edisi keenam ; Erlangga.
5. Najiyati, Sri., Danarti, 2002, *Kopi Budi Daya dan Penanganan Pasca Panen*, Penerbit Swadaya, Depok.
6. PT. Citra Lamtoro Gung Persada, *Mesin Pengupas Kopi Sistem Hammer Mill*, Jakarta.
7. Yunus A Cengel and Robert H Turner. *Fundamental of Thermal Fluid Sciences*. 2001, University of Nevada. McGraw Hill.