

## MODEL REDUKSI KADAR KAFEIN PADA PROSES DEKAFEINASI BIJI KOPI

RUSLI HIDAYAT dan RANGGI DIAS DWI WIJAYA

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: [rusli\\_mat@yahoo.co.id](mailto:rusli_mat@yahoo.co.id) & [ranggidias@gmail.com](mailto:ranggidias@gmail.com)

Dalam biji kopi terdapat salah satu zat yang disebut dengan kafein. Tingginya kadar kafein di dalam biji kopi diduga dapat menyebabkan keluhan terutama bagi penikmat kopi yang tidak memiliki toleransi tinggi terhadap kafein [6]. Untuk mengurangi kadar kafein pada kopi diperlukan proses dekafeinasi agar kopi menjadi kopi rendah kafein. Dalam pengolahan biji kopi, panas yang digunakan perlu diatur tinggi rendah temperaturnya agar tidak merusak biji kopi. Kopi secara umum berbentuk ellipsoida dengan dua lapisan yang berbeda sifat fisiknya [8], sehingga untuk mengetahui profil temperatur pada kopi diperlukan syarat batas antarmuka (Interface Boundary Conditions). Dengan ditemukannya model perpindahan panas pada dua lapisan yang berbeda sifat fisiknya dan model syarat batas antarmuka ini maka model ini akan dapat digunakan untuk menentukan profil/evolusi panas pada proses dekafeinasi kopi (penurunan kadar kafein). Dengan diketahuinya evolusi temperatur pada proses dekafeinasi kopi maka hasil ini dapat digunakan dalam pengolahan biji kopi.

**Kata Kunci: Dekafeinasi, Model Reduksi, Suhu, Perpindahan Panas.**

### 1. Pendahuluan

Biji kopi mengandung salah satu zat yang disebut dengan kafein. Tingginya kadar kafein di dalam biji kopi diduga dapat menyebabkan keluhan terutama bagi penikmat kopi yang tidak memiliki toleransi tinggi terhadap kafein. Dekafeinasi kopi merupakan proses ekstraksi padat-cair, dimana tujuan utama dalam proses dekafeinasi adalah mengurangi kadar kafein yang terkandung didalam biji kopi tersebut. Proses ini yang menjadikan kopi menjadi rendah kafein [6].

Penelitian tentang model perpindahan panas pada proses penetasan telur itik telah dilakukan pada tahun 2010 dengan mengaproksimasi model ellipsoida menggunakan model

sferik atau bola [7]. Pada proses dekafeinasi, model dilakukan pada biji kopi yang sudah dikupas kulit buahnya sehingga terdapat dua lapisan yaitu lapisan daging buah dan biji kopi itu sendiri yang mempunyai sifat fisik berbeda. Untuk mengetahui profil temperatur pada kedu lapisan kopi yang berbeda sifat fisiknya diperlukan syarat batas antarmuka (Interface Boundary Conditions). Dengan ditemukannya model perpindahan panas pada dua lapisan yang berbeda sifat fisiknya dan model syarat batas antarmuka ini maka model ini akan dapat digunakan untuk menentukan profil/evolusi panas pada proses dekafeinasi kopi (penurunan kadar kafein). Dengan diketahuinya evolusi temperatur pada proses dekafeinasi kopi maka hasil ini dapat digunakan dalam pengolahan biji kopi.

## 2. Model Reduksi Kadar Kafein Pada Kopi

Dekafeinasi atau pereduksian kadar kafein dari biji kopi merupakan proses ekstraksi padat-cair dengan konsentrasi kafein terlarut sangat tergantung pada waktu proses (holding time). Model mekanistik untuk ekstraksi kafein harus meliputi perhitungan difusi kafein di dalam biji kopi dimana konveksi kafein pada kondisi batas pelarut dan padatan dalam hal ini permukaan kopi, dan hubungan kesetimbangan yang terjadi antara konsentrasi kafein dalam biji kopi dan pelarut. Proses pelarutan ataupun penurunan kadar kafein pada biji kopi dapat dianalogkan sebagai suatu proses pelepasan air pada proses pengeringan. Perpindahan senyawa kafein dari dalam biji kopi yang diasumsikan berbentuk bulat (spherical) memiliki hambatan internal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hambatan eksternal sehingga laju perpindahan massa kafein dapat diperkirakan atau diprediksi dengan menggunakan persamaan difusi dengan difusivitas efektif yang tetap.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial C_A}{\partial r} \right) \quad (2)$$

## 3. Model Perpindahan Panas

Model perpindahan panas yang digunakan dalam penelitian ini adalah model spheric

$$C \cdot \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (3.1)$$

dan model perpindahan massanya adalah persamaan (2).

Syarat awal yang digunakan dalam penelitian ini adalah

$$T(\forall r, t = 0) = T_{awal} \quad (3.2)$$

Kemudian syarat batas yang digunakan antara lain syarat batas pusat

$$\left( \frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=0} = 0 \quad (3.3)$$

selanjutnya yaitu syarat batas *interface*

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\rho_1 \cdot C_1 + \rho_2 \cdot C_2}{2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.4)$$

dan syarat batas luar

$$\lambda_r \left\{ \frac{\partial T}{\partial r} \right\}_{boundary} = \frac{\lambda_o}{\delta} \{ T_{lingkungan} - T_{boundary} \} \quad (3.5)$$

## 4. Diskritisasi Model

Pendiskritan persamaan-persamaan (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), dan (3.5) dilakukan menggunakan skema metode- $\vartheta$  sebagai berikut.

**4.1. Syarat Batas pada  $r = 0$  (Syarat Batas Pusat)**

Syarat batas pusat pada  $r = 0$ , dapat ditulis sebagai berikut

$$\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{r=0} = 0 \tag{4.1}$$

Dengan menggunakan integral pada persamaan spherik dengan batas  $\left[0, \frac{1}{2}\Delta r\right]$  kemudian didiskritisasi dengan metode- $\theta$ . diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\left(1 + 6\frac{\lambda}{C\rho}\nu\theta\right)T_0^{n+1} - 6\frac{\lambda}{C\rho}\nu\theta T_1^{n+1} = \left(1 - 6\frac{\lambda}{C\rho}\nu(1-\theta)\right)T_0^n + 6\frac{\lambda}{C\rho}\nu(1-\theta)T_1^n \tag{4.2}$$

Dimana  $\nu = \frac{\Delta t}{\Delta r^2}$ .

**4.2. Diskritisasi Titik-Titik Interior**

Diskritisasi persamaan *Interior Grid-Point*  $1 \leq j \leq N_1 - 1$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &-\frac{\lambda\nu\theta\left(j-\frac{1}{2}\right)^2}{C\rho\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}T_{j-1}^{n+1} + \left[1 + 2\frac{\lambda\nu\theta}{C\rho}\left(\frac{\left(j^2+\frac{1}{4}\right)}{\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}\right)\right]T_j^{n+1} - \frac{\lambda\nu\theta\left(j-\frac{1}{2}\right)^2}{C\rho\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}T_{j+1}^{n+1} = \\ &\frac{\lambda\nu(1-\theta)\left(j-\frac{1}{2}\right)^2}{C\rho\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}T_{j-1}^n + \left[1 - 2\frac{\lambda\nu\theta}{C\rho}\left(\frac{\left(j^2+\frac{1}{4}\right)}{\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}\right)\right]T_j^{n+1} + \frac{\lambda\nu(1-\theta)\left(j-\frac{1}{2}\right)^2}{C\rho\left(j^2+\frac{1}{12}\right)}T_{j+1}^{n+1} \end{aligned} \tag{4.3}$$

**4.3. Diskritisasi Syarat Batas *Interface* dan Syarat Batas Luar**

Syarat batas interface dan syarat batas luar didiskritisasi menggunakan metode- $\vartheta$  diperoleh persamaan (4.4) dan (4.5).

$$\begin{aligned} &\frac{\nu\lambda}{r^2(\rho_1C_1 + \rho_2C_2)}\left(2r\theta(\Delta r + r)T_{j+1}^{n+1} + 2r\theta(r - \Delta r)T_{j-1}^{n+1} - 4r^2\theta T_j^{n+1}\right) - T_j^{n+1} = \\ &\frac{\nu\lambda}{r^2(\rho_1C_1 + \rho_2C_2)}\left(-4r\Delta r(\theta - 1) + 2r^2(1 - \theta)\right)T_{j+1}^n - 4r^2(\theta - 1)T_j^n \\ &- \left(4r\Delta r(\theta - 1) + 2r^2(1 - \theta)\right)T_{j-1}^n - T_j^n \end{aligned} \tag{4.4}$$

$$\left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right)\theta T_j^{n+1} - \frac{\theta}{\Delta r}T_{j-1}^{n+1} = \alpha T_{lingkungan} + \frac{(1-\theta)}{\Delta r}T_{j-1}^n - \left(\alpha + \frac{1}{\Delta r}\right)(1-\theta)T_j^n \tag{4.5}$$

dengan  $\alpha = \frac{\mu}{\lambda\delta}$

**4.4. Sistem Persamaan Matriks untuk Perpindahan Panas**

Bentuk matriks pada *grid point*  $0 \leq j \leq J$ , untuk proses pemanasan biji kopi dengan jari-jari sebesar  $r$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & I_1 & I_2 & I_3 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_0^{n+1} \\ T_1^{n+1} \\ T_2^{n+1} \\ \dots \\ T_{int}^{n+1} \\ \dots \\ T_{j-1}^{n+1} \\ T_J^{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & I_4 & I_5 & I_6 & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \gamma_3 & \gamma_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_0^n \\ T_1^n \\ T_2^n \\ \dots \\ T_{int}^n \\ \dots \\ T_{j-1}^n \\ 1 \end{bmatrix}$$

dimana  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5$ , dan  $I_6$  adalah komponen matrik pada *interface*. Nilai komponen matriks ditunjukkan sebagai berikut:

$$A_1 = 1 + 6 \frac{\lambda v \theta}{C \rho}, A_2 = -6 \frac{\lambda v \theta}{C \rho}, B_1 = 1 - 6 \frac{\lambda v}{C \rho} (1 - \theta), B_2 = (1 - \theta) 6 \frac{\lambda v}{C \rho}$$

$$\alpha_1 = -\frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j - \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \alpha_2 = 1 + 2 \frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \alpha_3 = -\frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}$$

$$\beta_1 = \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j - \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \beta_2 = 1 - 2 \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \beta_3 = \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}$$

$$I_1 = \frac{v \lambda 2 r \theta (r - \Delta r)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}, I_2 = -\frac{v \lambda 4 r^2 \theta}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} - 1, I_3 = -\frac{v \lambda 2 r \theta (\Delta r + r)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}$$

$$I_6 = -\frac{v \lambda (4 r \Delta r (\theta - 1) + 2 r^2 (1 - \theta))}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}, I_5 = -\frac{v \lambda 4 r^2 (\theta - 1)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} - 1$$

$$I_4 = -\frac{v \lambda (4 r \Delta r (\theta - 1) + 2 r^2 (1 - \theta))}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}$$

$$\gamma_1 = -\frac{\theta}{\Delta r^2}, \gamma_2 = (\alpha + \frac{1}{\Delta r}) \theta, \gamma_3 = \frac{(1 - \theta)}{\Delta r}, \gamma_4 = (\alpha + \frac{1}{\Delta r}) (1 - \theta)$$

dengan  $T_{int}$  merupakan  $T$  pada *interface*.

#### 4.5. Sistem Persamaan Matriks untuk Perpindahan Massa Kafein

Bentuk matriks pada *grid point*  $0 \leq j \leq J$ , untuk proses perpindahan massa kafein pada biji kopi dengan jari-jari sebesar  $r$  adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_0^{n+1} \\ K_1^{n+1} \\ K_2^{n+1} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ K_{j-1}^{n+1} \\ K_j^{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \gamma_3 & \gamma_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_0^n \\ K_1^n \\ K_2^n \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ K_{j-1}^n \\ K_j^n \end{bmatrix}$$

nilai komponen matriks ditunjukkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1 + 6Dv\theta, \quad A_2 = -6Dv\theta \\ B_1 &= 1 - 6Dv(1-\theta), \quad B_2 = (1-\theta)6Dv \\ \alpha_1 &= -Dv\theta \frac{(j-\frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \alpha_2 = 1 + 2Dv\theta \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \alpha_3 = -Dv\theta \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})} \\ \beta_1 &= Dv(1-\theta) \frac{(j-\frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \beta_2 = 1 - 2Dv(1-\theta) \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \beta_3 = Dv(1-\theta) \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})} \\ \gamma_1 &= -\frac{\theta}{\Delta r^2}, \quad \gamma_2 = (\alpha + \frac{1}{\Delta r})\theta, \quad \gamma_3 = \frac{(1-\theta)}{\Delta r}, \quad \gamma_4 = (\alpha + \frac{1}{\Delta r})(1-\theta) \end{aligned}$$

#### 5. Nilai-nilai Parameter yang Digunakan dan Hasil Simulasi

Untuk stabilitas dalam komputasi maka nilai  $\theta$  yang digunakan adalah 0,75, dengan jumlah *grid point* (N) dalam masing-masing lapisan biji kopi sebesar 25 dan pada daging buah sebesar 5, sedangkan kadar awal kafein ( $K_0$ ) untuk kopi Robusta sebesar 2,4793% dan kopi Arabika 2,0028% (Hartono, 2009) [6]. Nilai difusivitas massa kafein ( $D$ ) pada biji kopi sebesar  $2 \times 10^{-7} m^2 / s$  dan suhu lingkungan ( $T_{lingkungan}$ ) yang digunakan sebesar 90°C dan 100°C. pada dekafeinasi biji kopi. Sedangkan untuk parameter-parameter lain yang menggunakan data primer disajikan pada Tabel 1. Dimana satuan untuk  $\lambda$  adalah ( $W/m^3 \cdot ^\circ C$ ), kemudian untuk  $C$  adalah ( $J/Kg \cdot ^\circ C$ ), selanjutnya untuk  $\rho$  adalah ( $Kg/m^3$ ), dan untuk  $r$  adalah ( $cm$ ).

Tabel 1. Nilai-nilai parameter dari sifat fisik biji kopi

No	Kopi	Lapisan	$\lambda$	$C$	$\rho$	$r$
1	Robusta	Biji	0,1161	4005,746	628,7	1

		Daging	0,011	3000	500	1,1
2	Arabika	Biji	0,1044	3700,927	612	1,4
		Daging	0,011	3000	500	1,5

Pada saat simulasi temperatur pengering yang digunakan adalah 90°C dan 100°C dengan suhu awal adalah 27°C. Sedangkan simulasi pada model perpindahan massa digunakan target kadar akhir kafein pada biji kopi yaitu 0,1% dan 0,2%. Dengan memasukkan parameter pada Tabel 1, maka akan diperoleh profil perpindahan panas dan massa serta didapatkan total waktu yang dibutuhkan oleh masing-masing jenis kopi, baik untuk menyamakan temperatur tiap lapisan biji kopi ataupun menyamakan kadar kafein di setiap lapisan biji kopi. Hasil simulasi yang diperoleh seperti disajikan pada Tabel 2 untuk waktu perpindahan panas, dan untuk waktu perubahan kadar kafein disajikan pada Tabel 3. Sedangkan total waktu proses dekafeinasi pada jenis kopi robusta dan kopi arabika disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2 Ringkasan waktu yang dibutuhkan oleh biji kopi untuk pemanasan

No	Jenis Kopi	Suhu Lingkungan	
		90°C	100°C
1.	Kopi Robusta	33 detik	34 detik
2.	Kopi Arabika	44 detik	59 detik

Tabel 3 Ringkasan waktu yang dibutuhkan oleh biji kopi untuk pengurangan kadar kafein

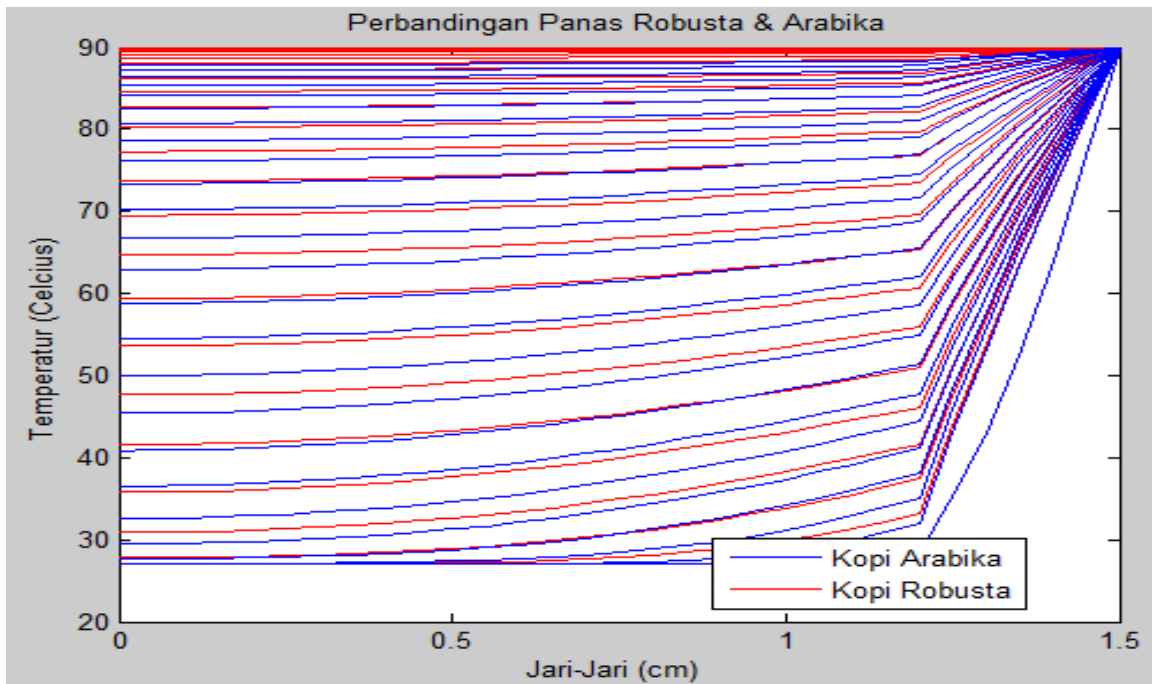
No	Jenis Kopi	Kadar Kafein Akhir	
		0,1%	0,2%
1.	Kopi Robusta	571 detik	504 detik
2.	Kopi Arabika	729 detik	597 detik

Tabel 4 Ringkasan waktu yang dibutuhkan oleh biji kopi untuk dekafeinasi

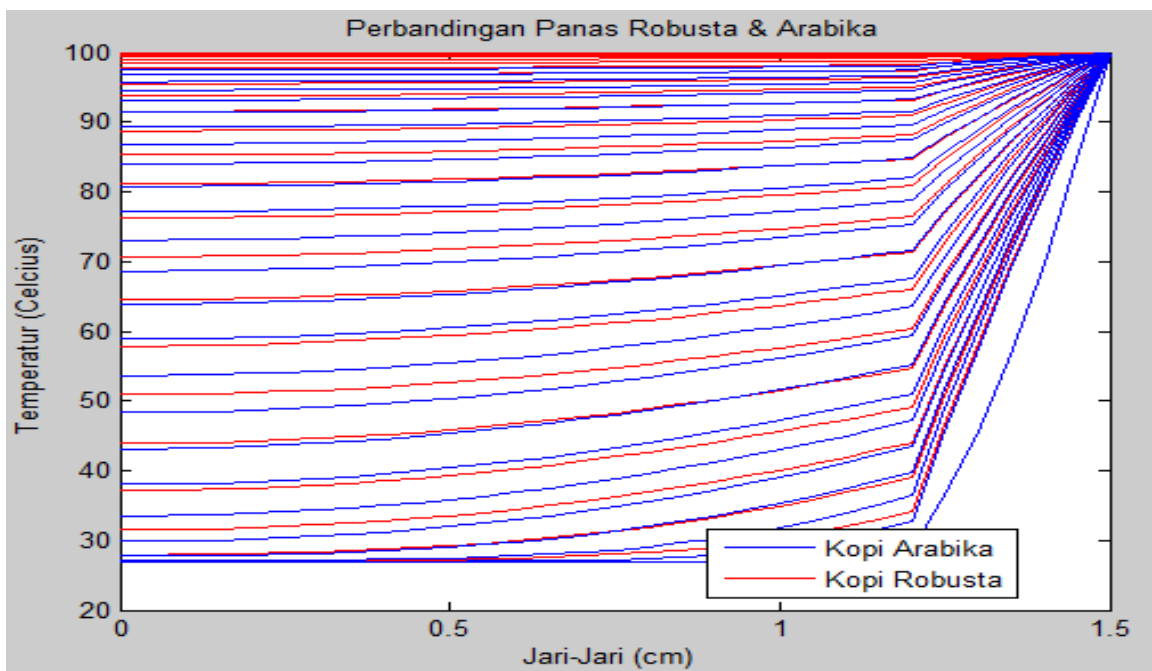
No	Jenis Kopi	Total Waktu Dekafeinasi			
		90°C		100°C	
		0,1%	0,2%	0,1%	0,2%
1.	Kopi Robusta	604 detik	537 detik	605 detik	538 detik
2.	Kopi Arabika	773 detik	641 detik	788 detik	656 tik

**6. Analisis Hasil Simulasi**

Dari hasil simulasi yang diperoleh jika dilakukan perbandingan profil perpindahan panas dan massa pada kopi robusta dan kopi arabika seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 6.1 dan 6.2.



Gambar 6.1 Pengeringan Kopi Robusta dan Kopi Arabika dengan suhu 90°C



Gambar 6.2 Pengeringan Kopi Robusta dan Kopi Arabika dengan suhu 100°C

Hasil perbandingan profil perpindahan panas antara kopi robusta dan kopi arabika akan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan profil perpindahan panas kopi robusta dan kopi arabika

Suhu (°C)	90 °C		100 °C	
Waktu (detik)	Robusta	Arabika	Robusta	Arabika
0	27	27	27	27
5	41,5779	32,5872	43,8919	33,4740
10	69,5228	54,5002	76,2725	58,8653
15	84,6220	73,3923	93,7700	80,7551
20	89,1243	84,0766	98,9865	93,1317
25	89,9162	88,8396	99,9038	98,1335
30	89,9925	89,6656	99,9948	99,6125
35	90	89,9927	100	99,9379
40	90	90	100	99,9911
45	90	90	100	99,9964
50	90	90	100	99,9982
55	90	90	100	99,9982
60	90	90	100	100
Total waktu	33 detik	44 detik	34 detik	59 detik

*Holding time*  untuk menyamakan suhu sebesar 90°C dan 100°C di setiap lapisan biji kopi pada jenis kopi robusta adalah 33 detik dan 34 detik. Hasil ini sedikit lebih cepat bila dibandingkan dengan kopi arabika yang membutuhkan waktu 44 detik dan 59 detik.

Pada proses reduksi kafein diperoleh hasil bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mengurangi kadar kafein pada kopi robusta dengan kadar kafein awal sebesar 2,4793% menjadi 0,1% dan 0,2% adalah 571 detik dan 504 detik. Kemudian waktu yang dibutuhkan oleh kopi arabika dari kadar kafein awal sebesar 2,0028% menjadi 0,1% dan 0,2% adalah 729 detik dan 597 detik. Jadi waktu yang dibutuhkan oleh kopi robusta untuk mengurangi kadar kafein menjadi 0,1% dan 0,2% lebih cepat jika dibandingkan dengan kopi arabika. Padahal jika dilihat kadar awal kafein pada kopi arabika lebih rendah daripada kopi robusta. Hal ini disebabkan kepadatan massa dan panas spesifik pada kopi robusta lebih besar daripada kopi arabika (lihat Tabel 6).

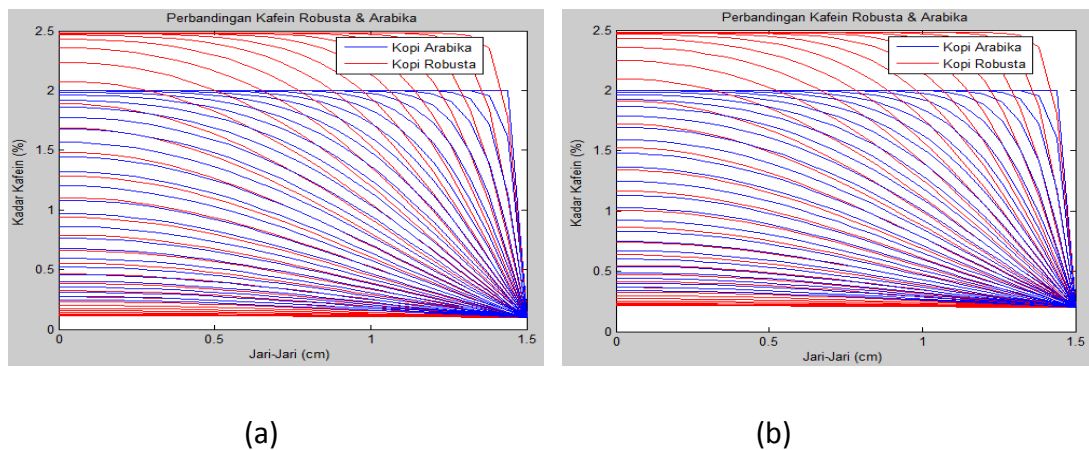
Tabel 6 Perbandingan profil perpindahan massa kafein kopi robusta dan kopi arabika

Kafein akhir (%)	0,1%		0,2%	
	Robusta	Arabika	Robusta	Arabika
Waktu (detik)				
0	2,4793	2,0028	2,4793	2,0028
20	2,4793	2,0028	2,4793	2,0028
40	2,4793	2,0028	2,4793	2,0028
60	2,4793	2,0028	2,4793	2,0028
120	2,4652	2,0027	2,4658	2,0027
180	2,0758	1,9619	2,0939	1,9642
240	1,2856	1,6767	1,3383	1,6950
300	0,66161	1,2004	0,74096	1,2449
360	0,32216	0,76356	0,41507	0,83106



Kafein akhir (%)	0,1%		0,2%	
420	0,17509	0,4577	0,27319	0,54079
480	0,12147	0,27518	0,221	0,36773
540	0,10532	0,17832	0,2	0,27557
600	0,1	0,13217	0,2	0,2
660	0,1	0,11211	0,2	0,2
720	0,1	0,1043	0,2	0,2
780	0,1	0,1	0,2	0,2
Total waktu	571 detik	729 detik	504 detik	597 detik

Sedangkan pada proses perpindahan massa kafein, akan ditampilkan perbandingan profil perpindahan massa kafein pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3 (a) Penurunan Kadar Kafein Kopi Robusta dan Kopi Arabika menjadi 0,1 %  
 (b) Penurunan Kadar Kafein Kopi Robusta dan Kopi Arabika menjadi 0,2%

**Kesimpulan**

Dari hasil simulasi dan pembahasan menunjukkan bahwa kopi robusta memiliki waktu perpindahan panas lebih cepat dibandingkan dengan jenis kopi arabika, baik pada suhu lingkungan 90°C maupun 100°C yaitu sebesar 33 detik dan 34 detik sehingga waktu yang diperlukan untuk mereduksi kadar kafeinnya kopi robusta juga lebih cepat dibandingkan kopi jenis arabika, dimana untuk kadar kafein akhir 0.1% sebesar 571 detik dan 0.2% sebesar 504 detik.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1]. A.A. Alonso, J.R. Banga and R. Perez-Martin (1998), Modeling and adaptive control for batch sterilization, Journal Comp. Chem. Engi. 22, 3. hal. 445-458.

- [2]. A.A. Alonso (1997), A complete dynamic model for the thermal processing of bio-products in batch units and its application to controller design, *Journal. Chem.Engineering Science.* 52 , 8, hal. 1307-1322.
- [3]. Çengel, Y. A. 1998. *Heat Transfer : A Practical Approach*. Nevada: McGraw-Hill Inc.
- [4]. Deindoefer, F.H. and Humphrey (1959), A.E., Principles in the design of continuous sterilizers, *Journal Appl. Microb.* 7, hal. 264-270.
- [5]. Deindoefer, F.H. and Humphrey, A.E. (1959), Analytical method for calculating heat sterilization times, *Journal. Appl. Microb.* 7, hal. 256-264.
- [6]. Hartono, E. 2009. Penetapan Kadar Kafein Dalam Biji Kopi Secara Kromatografi Cair Kinerja Tinggi. *Jurnal Biomedika.* 2(15):1-9.
- [7]. Hidayat, R. 2010. *Model Perpindahan Panas Proses Penetasan Telur Menggunakan Syarat Batas Interface*. Proceeding Seminar Internasional Universitas Riau.
- [8]. Lilis. 2001. *Kasus Fisika Pangan Dua Jenis Kopi (Coffea sp.) Yang Diukur Beberapa Sifat Fisiknya*. Skripsi: Institut Pertanian Bogor.