

JMP

JURNAL ILMIAH MATEMATIKA DAN PENDIDIKAN MATEMATIKA
(SCIENTIFIC JOURNAL OF MATHEMATICS AND MATHEMATICAL EDUCATION)

Volume 10 Nomor 2, Desember 2018



Dipublikasikan oleh

Jurusan Matematika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Jenderal Soedirman

Purwokerto

DEWAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Dr. Mashuri
Ketua : Sri Maryani, Ph.D.
Anggota : Bambang Hendriya Guswanto, Ph.D.
Budi Pratikno, Ph.D.
Dr. Jajang



DEWAN EDITOR

Yudi Soeharyadi, Ph.D., *Institut Teknologi Bandung (ITB), Indonesia.*

Mohd. Ariff bin Admon, Ph.D., *Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia.*

Prof. Dr. Amir Kamal Amir, *Universitas Hasanuddin (UNHAS), Indonesia.*

Prof. Dr. Edi Syahputra, *Universitas Negeri Medan (UNIMED), Indonesia.*

Bambang Hendriya Guswanto, Ph.D., *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Dr. Jajang, *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Maharani, Ph.D., *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Sri Maryani, Ph.D., *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Dr. Mashuri, *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Dr. Idha Sihwaningrum, *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Dr. Nunung Nurhayati, *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Budi Pratikno, Ph.D., *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*

Wuryatmo A. Sidik, Ph.D., *Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED), Indonesia.*



JMP : VOL. 10 NO. 2 DESEMBER 2018

Isah Aisah, M. Suyudi, dan Tika Kartika, *Representasi Kode Kernel pada DNA*, Hal. 1-8.

Nugroho Arif Sudibyo dan Siti Komsatun, *Pelabelan Total tak Reguler pada Beberapa Graf*, Hal. 9-16.

Rusli Hidayat, Firdaus Ubaidillah, dan Hadi Siswanto, *Optimasi Proses Pengeringan Kopi di Pabrik Kopi PTPN XII Gumatir dengan Menggunakan Mason Dryer*, Hal. 17-30.

Dyah Retno Kusumawardani, *Kemampuan Penalaran Berdasarkan Keyakinan Matematika dalam Pembelajaran PBL melalui Pendekatan Interaksi Dyadic*, Hal. 31-42.

Sri Utami Zuliana, *Penentuan Model Terbaik Regresi Ridge dan Terapannya*, Hal. 43-48.

Abduh Riski, Heri Purwantoro, dan Ahmad Kamsyakawuni, *Penyembunyian Chipertext Algoritma Gost pada Citra ke dalam Audio dengan Metode Least Significant Bit*, Hal. 49-62.

Ahmad Kamsyakawuni, Ahmad Husnan Fanani, dan Abduh Riski, *Pengamanan Citra dengan Algoritma Diffie-Hellman dan Algoritma Simplified Encryption Standard (S-DES)*, Hal. 63-80.

Aloysius Joakim Fernandez, *Pembangkit Grup Persamaan Schrodinger*, Hal. 81-92.

Sri Rahayu, Nurul Gusriani, dan Iin Irianingsih, *Zero-inflated Poisson Regression to Determine the Factors that Influence the Maternal Mortality Rate in Bandung 2016*, Hal. 93-106.

**OPTIMASI PROSES PENGERINGAN KOPI
DI PABRIK KOPI PTPN XII GUMITIR
DENGAN MENGGUNAKAN MASON DRYER**

Rusli Hidayat

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember
rusli.fmipa@unej.ac.id

Firdaus Ubaidillah

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember
firdaus_u@yahoo.com

Hadi Siswanto

Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember
hadi.siswanto73195@gmail.com

ABSTRACT. *Coffee Processing Plant of the PTPN XII Gumitir is a coffee drying factory that was built in 1910 using a giant batch dryer called Mason Dryer as many as four units, each of which has a capacity of 20 tons, so factory is capable of processing 80 tons for a single simultaneous process. The ambient temperature used is 120°C with a residency time of 18 hours and desirable level of reduction in water content of 9%. To optimize the process, a mathematical model of the process is needed to predict energy use, heat distribution (heat profile in coffee beans) and residency time (heat penetration time required by coffee beans). Existing process models are still limited to models for drying the coffee beans. To optimize the process, a heat transfer temperature from ambient temperature (heating temperature) is needed to enter the Mason Dryer which function as the ambient temperature of the coffee beans at each location/ position of the coffee beans in Mason Dryer. With the discovery of the model for ambient temperature will complement the existing model.*

Keywords: *Optimization of Coffee Drying Process*

ABSTRAK. Pabrik Pengolahan Kopi PTPN XII Gumitir merupakan pabrik pengeringan kopi yang dibangun pada tahun 1910 dengan menggunakan *batch dryer* raksasa yang disebut dengan Mason Dryer sebanyak empat unit yang masing-masing memiliki kapasitas 20 ton, sehingga pabrik tersebut mampu mengolah 80 ton untuk sekali proses simultan. Temperatur ambient yang digunakan 120°C dengan waktu residensi selama 18 jam dan tingkat penurunan kadar air yang diinginkan sebesar 9%. Untuk melakukan proses optimasi, diperlukan model matematika dari proses tersebut guna memprediksi penggunaan energi, distribusi panas (profil panas dalam biji kopi), dan waktu residensi (waktu penetrasi panas yang diperlukan oleh biji kopi). Model proses yang ada masih terbatas pada model model untuk mengeringkan sebutir biji kopi. Untuk mengoptimalkan proses tersebut diperlukan model perpindahan panas dari temperatur ambient (temperatur

pemanas) yang masuk ke dalam Mason Dryer yang berfungsi sebagai temperatur ambient dari biji kopi pada setiap lokasi biji kopi dalam Mason Dryer. Dengan ditemukannya model untuk temperatur ambient akan melengkapi model yang sudah ada.

Kata Kunci: Optimasi Proses Pengeringan Kopi

1. Pendahuluan

Kopi merupakan tanaman yang banyak dibudidayakan di negara tropis. Kopi yang populer dibudidayakan di Indonesia adalah kopi robusta dan kopi arabika. Meskipun kopi arabika lebih awal masuki di Indonesia, namun kopi robusta unggul dalam kemampuannya untuk beradaptasi sehingga mudah untuk dibudidayakan (Santoso, 2018).

Proses pengolahan produksi biji kopi robusta mentah (hasil petikan dari pohon) menjadi kopi bubuk bercita rasa tinggi melibatkan serangkaian kegiatan yang berkesinambungan. Tahap pengolahan kopi berturut-turut pemetikan kopi, pengeringan, penyortiran, dan diakhiri dengan beberapa tahap pengolahan kopi secara sekunder. Salah satu proses pengolahan biji kopi yang sangat penting dan krusial adalah proses pengeringan karena proses tersebut menjadi penentu kualitas biji kopi untuk tahap berikutnya (Hamni, 2014).

Dalam proses pengeringan, kadar air awal biji kopi robusta secara umum yaitu 48.7% dan kadar air maksimal biji kopi kering menurut SNI yaitu 12.5% (Agustina, 2016). Proses pengeringan kopi dalam jumlah besar lebih efektif menggunakan alat pengering. Misalnya, dengan alat pengering *tray dryer* dengan suhu mesin pemanas 60°C menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengeringan semakin cepat mendekati kadar air setimbang yaitu dalam waktu 16 jam (Santoso, 2018). Alat pengering lainnya seperti *flex dryer* yaitu teknologi yang menggunakan sumber energi matahari untuk pengeringan. Waktu pengeringan menggunakan *flex dryer* mulai 12,6 jam hingga 22.5 jam tergantung pada suhu pemanasan (De, 2015).

Pabrik Pengolahan Kopi PTP XXVI Gunitir di kawasan Jember Jawa timur merupakan pabrik pengeringan kopi yang dibangun pada tahun 1910 dengan menggunakan *batch dryer* raksasa sebanyak empat unit yang masing-masing memiliki kapasitas 18 ton, sehingga pabrik tersebut mampu mengolah 72

ton untuk sekali proses. Untuk melakukan optimalisasi proses, diperlukan model matematika dari proses tersebut guna memprediksi penggunaan energi, distribusi panas (profil panas dalam biji kopi) dan waktu residensi (waktu penetrasi panas yang diperlukan oleh biji kopi). Hal menarik lain adalah waktu pengeringan kopi dari kondisi basah hingga selesai adalah 18 jam. Oleh karena itu, pada kondisi tersebut perlu adanya simulasi untuk mengamati profil biji kopi saat kering optimal. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menemukan faktor yang mempengaruhi optimasi pada proses pengeringan kopi robusta di Pabrik Pengolahan Kopi PTP XXVI Gunitir di kawasan Jember Jawa timur .

2. METODE PENELITIAN

a. Observasi

Tahap awal penelitian yaitu melakukan observasi ke Pabrik Pengolahan Kopi PTP XXVI Gunitir untuk mengetahui kondisi pengeringan pada *mason dryer*. Selain itu, dari observasi didapat beberapa data yang digunakan dalam tahap lebih lanjut.



Gambar 1. Salah satu petugas pabrik memberikan penjelasan cara kerja *mason dryer*.

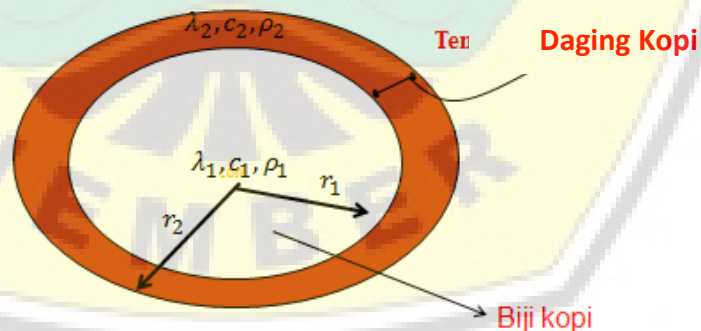
b. Penentuan Parameter Awal dan Batasan Masalah

Biji kopi yang baru dipanen pada umumnya berwarna merah dan bentuknya bulat (spheroid) seperti yang tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambar biji kopi.

Setelah mengalami pengeringan baik secara alami menggunakan matahari ataupun pengeringan buatan, biji kopi robusta akan menyusut dan berbentuk ellipsoid. Sebelum dimasukkan ke *mason dryer*, kadar air dalam kopi rata-rata sebesar 48,7 % hingga kadar air turun sebesar maksimal 12,5% (sumber). Selanjutnya untuk mengetahui perambatan panas pada kopi dari bagian luar hingga ke bagian inti, diperlukan penampang melintang bagian biji kopi.



Gambar 3. Gambar biji kopi.

Hidayat (2014) yang merupakan nilai-nilai parameter untuk kopi robusta, yaitu dalam penelitian ini buah kopi diasumsikan berbentuk bola dan terbagi menjadi dua lapisan (*layer*), yaitu lapisan biji kopi (*mesocarp*) dan lapisan daging kopi (*endocarp*). Simbol parameter fisik lapisan biji kopi dan daging kopi yang

digunakan masing-masing adalah C_1, C_2 (panas spesifik, dalam $J/kg^{\circ}C$); ρ_1, ρ_2 (massa jenis, dalam kg/m^3); dan λ_1, λ_2 (konduktivitas panas, dalam $W/m^{\circ}C$). Nilai semua parameter sifat fisik kopi tersebut diambil dari

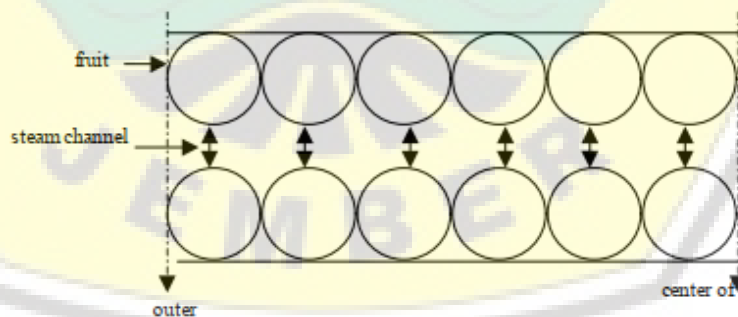
$$C_1 = 2539; C_2 = 1713; \rho_1 = 1023; \rho_2 = 925; \lambda_1 = 0.1677; \lambda_2 = 0.1713.$$

Dalam hal ini diasumsikan bahwa buah kopi yang dikaji berukuran diameter 1,5 cm atau $1,5 \cdot 10^{-2}m$, dengan rincian biji kopi berjari-jari 0,6 cm dan ketebalan daging kopi 0,15 cm. Temperatur yang dihantarkan *mason dryer* ke kopi yaitu $120^{\circ}C$ dan suhu permukaan buah $25^{\circ}C$, dengan batasan masalah yaitu panas di dalam mesin terisolasi dan ukuran setiap kopi diasumsikan sama.

c. Menyusun Model Matematika

Lapisan biji kopi diasumsikan memiliki dua lapisan. Setiap lapisan memiliki sifat fisik yang berbeda. Oleh karena itu, bukan hanya satu model matematika yang bekerja pada sistem pengeringan kopi robusta.

Model matematika yang digunakan mengacu pada model matematika sterilisasi biji kelapa sawit pada mesin pemanas yang memiliki bentuk dan sifat fisik hampir serupa. Walaupun, ukuran kopi lebih kecil dari biji kelapa sawit (Hidayat, 2000).



Gambar 4. Skema perambatan panas pada biji Kopi

Biji kopi yang berada pada *mason dryer* tercampur secara acak. Namun Panas dari pusat pemanas, merambat dari buah satu ke buah lainnya hingga menyebar rata ke seluruhnya buah. Oleh karena itu, berdasarkan gambar 4 diasumsikan enam buah berjajar saling mentransfer panas satu dengan lainnya.

Pada bagian pusat kopi, perubahan suhu terhadap jari-jari selalu nol. Sehingga di titik pusat biji kopi, yaitu di $r = 0$:

$$\left(\frac{\partial T}{\partial r}\right)_{r=0} = 0 \quad (1)$$

Di lapisan biji kopi $0 < r < 6 \cdot 10^{-3}$ atau di lapisan daging kopi $6 \cdot 10^{-3} < r < 7,5 \cdot 10^{-3}$ menggunakan persamaan perambatan panas pada bola pejal:

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

Di titik *interface* (batas lapisan biji dan daging kopi), yaitu di $r = 6 \cdot 10^{-3}$:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\rho_1 \cdot C_1 + \rho_2 \cdot C_2}{2} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

Di titik batas luar (antara buah kopi dan lingkungan luar), yaitu di $r = 7,5 \cdot 10^{-3}$:

$$\lambda_i \left\{ \frac{\partial T}{\partial r} \right\}_{boundary} = \frac{\lambda_o}{\delta} \{ T_{lingkungan} - T_{boundary} \} \quad (4)$$

dengan syarat awal:

$$T(r, t = 0) = T_{awal}, \quad 0 < r < 7,5 \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

Dari persamaan (1)–(5) akan didiskritisasi menggunakan beda hingga metode θ , dilanjutkan pembuatan program, simulasi, dan tahap akhir yaitu analisis hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Diskritisasi

Dengan menggunakan skema pendiskritan metode θ (yaitu diambil $\theta = 0,75$), didapatkan bentuk diskrit dari persamaan (1) – (5), yaitu masing-masing pada persamaan (6) – (10). Di titik pusat biji kopi, yaitu di $r = 0$:

$$\left(1 + 6 \frac{\lambda}{C\rho} \nu \theta\right) T_0^{k+1} - 6 \frac{\lambda}{C\rho} \nu \theta T_1^{k+1} = \left(1 - 6 \frac{\lambda}{C\rho} \nu (1-\theta)\right) T_0^k + 6 \frac{\lambda}{C\rho} \nu (1-\theta) T_1^k, \quad (6)$$

dengan $\nu = \frac{\Delta t}{\Delta r^2}$. Di titik-titik interior untuk $0 < r < 6 \cdot 10^{-3}$ atau $6 \cdot 10^{-3} < r < 7,5 \cdot 10^{-3}$:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{\lambda v \theta \left(j - \frac{1}{2}\right)^2}{C \rho \left(j^2 + \frac{1}{12}\right)} T_{j-1}^{k+1} + \left[1 + 2 \frac{\lambda v \theta}{C \rho} \left(\frac{j^2 + \frac{1}{4}}{j^2 + \frac{1}{12}} \right) \right] T_j^{k+1} - \frac{\lambda v \theta \left(j - \frac{1}{2}\right)^2}{C \rho \left(j^2 + \frac{1}{12}\right)} T_{j+1}^{k+1} = \\
 & \frac{\lambda v (1 - \theta) \left(j - \frac{1}{2}\right)^2}{C \rho \left(j^2 + \frac{1}{12}\right)} T_{j-1}^k + \left[1 - 2 \frac{\lambda v \theta}{C \rho} \left(\frac{j^2 + \frac{1}{4}}{j^2 + \frac{1}{12}} \right) \right] T_j^{k+1} + \frac{\lambda v (1 - \theta) \left(j - \frac{1}{2}\right)^2}{C \rho \left(j^2 + \frac{1}{12}\right)} T_{j+1}^{k+1}
 \end{aligned} \tag{7}$$

Di titik *interface* (batas lapisan biji dan daging kopi), yaitu di $r = 6.10^{-3}$:

$$\begin{aligned}
 & \frac{v \lambda}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} \left(2r \theta (\Delta r + r) T_{j+1}^{k+1} + 2r \theta (r - \Delta r) T_{j-1}^{k+1} - 4r^2 \theta T_j^{k+1} \right) - T_j^{k+1} = \\
 & \frac{v \lambda}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} \left(- (4r \Delta r (\theta - 1)) + 2r^2 (1 - \theta) \right) T_{j+1}^k - 4r^2 (\theta - 1) T_j^k \\
 & - (4r \Delta r (\theta - 1)) + 2r^2 (1 - \theta) T_{j-1}^k - T_j^k
 \end{aligned} \tag{8}$$

Di titik batas luar (antara buah kopi dan lingkungan luar), yaitu di $r = 7,5.10^{-3}$:

$$\begin{aligned}
 & -\frac{\theta. k_3. \Delta t}{k_1. \Delta r_f} T_{j-1}^{k+1} + \left(1 + \left[\frac{k_2}{k_1} + \frac{k_3}{k_1. \Delta r_f} \right]. \Delta t. \theta \right) T_j^{k+1} \\
 & = -\frac{(1 - \theta). k_3. \Delta t}{k_1. \Delta r_f} T_{j-1}^k + \left(1 - \left[\frac{k_2}{k_1} + \frac{k_3}{k_1. \Delta r_f} \right]. \Delta t. (1 - \theta) \right) T_j^k + \frac{k_2. \Delta t}{k_1} T_s \tag{9}
 \end{aligned}$$

di mana nilai dari $k_1 = N^2 \frac{\Delta r_f}{2} - N^2 \frac{\Delta r_f^2}{4} + N^2 \frac{\Delta r_f^3}{24}$, $k_2 = \frac{\lambda}{c \rho} \frac{(N. \Delta r)^2 \lambda_s}{\lambda_3 \delta}$, dan $k_3 =$

$\frac{\lambda}{c \rho} \left(N. \Delta r_f - \frac{\Delta r_f}{2} \right)^2$. Syarat awalnya

$$T_j^0 = T_0, \tag{10}$$

dengan j bergerak dalam radius $0 < r < 7,5.10^{-3}$.

Dengan sistem pendiskritan sebagaimana pada persamaan (6) – (10), maka untuk *grid point* $0 \leq j \leq J$, bentuk matriks model pemanasan buah kopi dengan jari-jari r adalah:

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & I_1 & I_2 & I_3 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & \gamma_1 & \gamma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [T_f]_0^{n+1} \\ [T_f]_1^{n+1} \\ [T_f]_2^{n+1} \\ \dots \\ [T_f]_I^{n+1} \\ \dots \\ [T_f]_{J-2}^{n+1} \\ [T_f]_{J-1}^{n+1} \\ [T_f]_J^{n+1} \end{bmatrix} \\
 = & \begin{bmatrix} B_1 & B_2 & 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & I_4 & I_5 & I_6 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \gamma_3 & \gamma_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [T_f]_0^n \\ [T_f]_1^n \\ [T_f]_2^n \\ \dots \\ [T_f]_I^n \\ \dots \\ [T_f]_{J-1}^n \\ [T_f]_J^n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ 0 \\ c_b T_s \end{bmatrix} \tag{11}
 \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 1 + 6 \frac{\lambda v \theta}{C \rho}, \quad A_2 = -6 \frac{\lambda v \theta}{C \rho}, \quad B_1 = 1 - 6 \frac{\lambda v}{C \rho} (1 - \theta), \quad B_2 = (1 - \theta) 6 \frac{\lambda v}{C \rho} \\
 \alpha_1 &= -\frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j - \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \alpha_2 = 1 + 2 \frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \alpha_3 = -\frac{\lambda v \theta}{C \rho} \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})} \\
 \beta_1 &= \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j - \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \beta_2 = 1 - 2 \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j^2 + \frac{1}{4})}{(j^2 + \frac{1}{12})}, \quad \beta_3 = \frac{\lambda v (1 - \theta)}{C \rho} \frac{(j + \frac{1}{2})^2}{(j^2 + \frac{1}{12})} \\
 I_1 &= \frac{v \lambda 2 r \theta (r - \Delta r)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}, \quad I_2 = -\frac{v \lambda 4 r^2 \theta}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} - 1, \quad I_3 = -\frac{v \lambda 2 r \theta (\Delta r + r)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} \\
 I_6 &= -\frac{v \lambda (4 r \Delta r (\theta - 1) + 2 r^2 (1 - \theta))}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)}, \quad I_5 = -\frac{v \lambda 4 r^2 (\theta - 1)}{r^2 (\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2)} - 1
 \end{aligned}$$

$$I_4 = -\frac{\nu\lambda(4r\Delta r(\theta-1)+2r^2(1-\theta))}{r^2(\rho_1C_1+\rho_2C_2)}, \quad c_b = \frac{k_2\Delta t}{k_1}$$

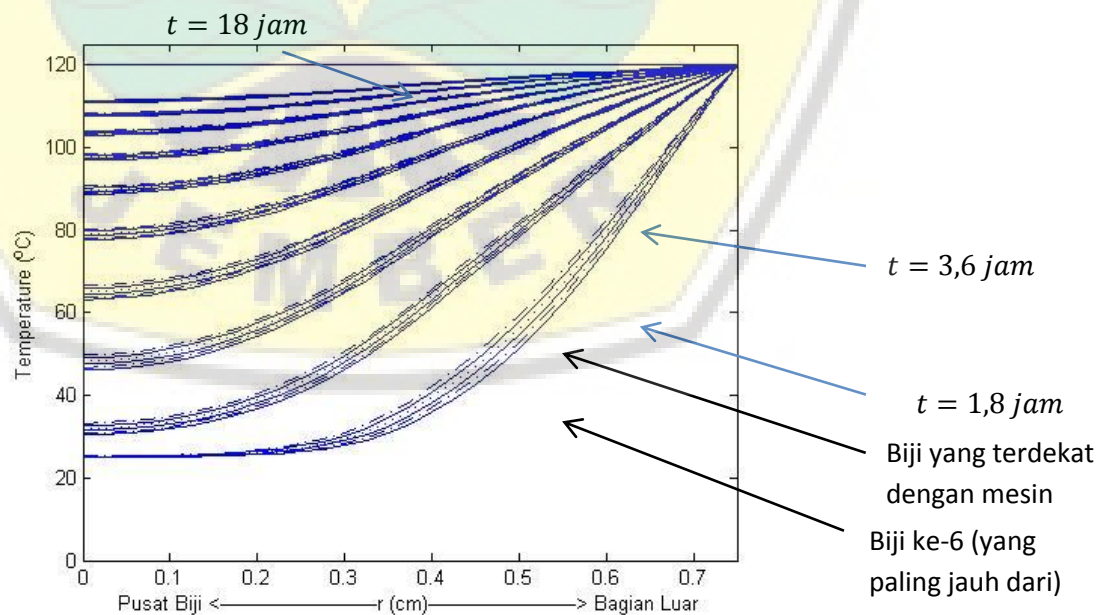
$$\gamma_1 = -\frac{\theta k_3\Delta t}{k_1\Delta r_f}, \quad \gamma_2 = \left(1 + \left(\frac{\Delta tk_2}{k_1} + \frac{\Delta tk_3}{k_1\Delta r_f}\right)\theta\right)$$

$$\gamma_3 = \frac{(1-\theta)k_3\Delta t}{k_1\Delta r_f}, \quad \gamma_4 = \left(1 - \left(\frac{\Delta tk_2}{k_1} + \frac{\Delta tk_3}{k_1\Delta r_f}\right)(1-\theta)\right)$$

dengan $T_s=T_0$ merupakan suhu pada pemanas dan $T_f = T$ adalah T buah pada kedalaman tertentu.. Selanjutnya, persamaan (11) akan dicari solusinya menggunakan program *matlab* yang digunakan untuk simulasi.

b. Waktu dan Penyebaran Panas

Penyebaran panas pada setiap lapisan biji kopi robusta bisa didapat melalui simulasi program. Nilai parameter awal diantaranya suhu pengeringan $T_s = 120^\circ C$, suhu buah $T_f = 25^\circ C$, $r_1 = 0.65 \text{ cm}$, $r_2 = 0.75 \text{ cm}$, waktu pemanasan $t = 18 \text{ jam}$, dan parameter lain dari sifat fisik buah kopi. Grafik penyebaran panas pada biji kopi robusta dengan nilai awal disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 5. Grafik Distribusi Panas pada Biji Kopi Robusta dengan Nilai Awal.

Gambar 5 menunjuk distribusi panas pada biji kopi dalam 18 jam pertama. Seiring dengan berjalannya waktu, suhu di pusat buah kopi meningkat. Walaupun dalam 3 jam pertama peningkatan suhu tidak signifikan. Namun, di waktu berikutnya di atas 5 jam peningkatan suhu di pusat buah mulai tampak. Jika T_{c1} menyatakan suhu dipusat biji kopi robusta dan T_{c2} menyatakan suhu pada *interface* yang menghubungkan biji buah dan daging buah, maka saat $T_s = 120^\circ\text{C}$ dan $t = 18$ jam nilai dari T_{c1} dan T_{c2} berturut-turut $110,8202167^\circ\text{C}$ dan $118,9251682^\circ\text{C}$. Berdasarkan hal tersebut, panas pada biji kopi terdistribusi di setiap lapisan.

Berdasarkan asumsi sebelumnya bahwa terdapat 6 buah kopi robusta yang bersentuhan dalam *mason dryer*, Suhu setiap buah bisa kita simulasikan dari yang terdekat dengan mesin hingga yang paling jauh dengan mesin. Pada gambar 5 saat $t = 1.8$ jam, semua biji awalnya memiliki suhu permukaan yang sama. Namun, pada batas *interface* suhu keenam buah tersebut mulai terlihat perbedaan. Selain itu, semakin dekat biji kopi robusta dengan pusat panas maka semakin tinggi suhu yang akan terdistribusi dalam biji. Oleh karena itu, perlu adanya pengadukan secara merata sehingga pengeringan optimal.

Tabel 1. Tabel distribusi panas saat (10 – 18 jam)

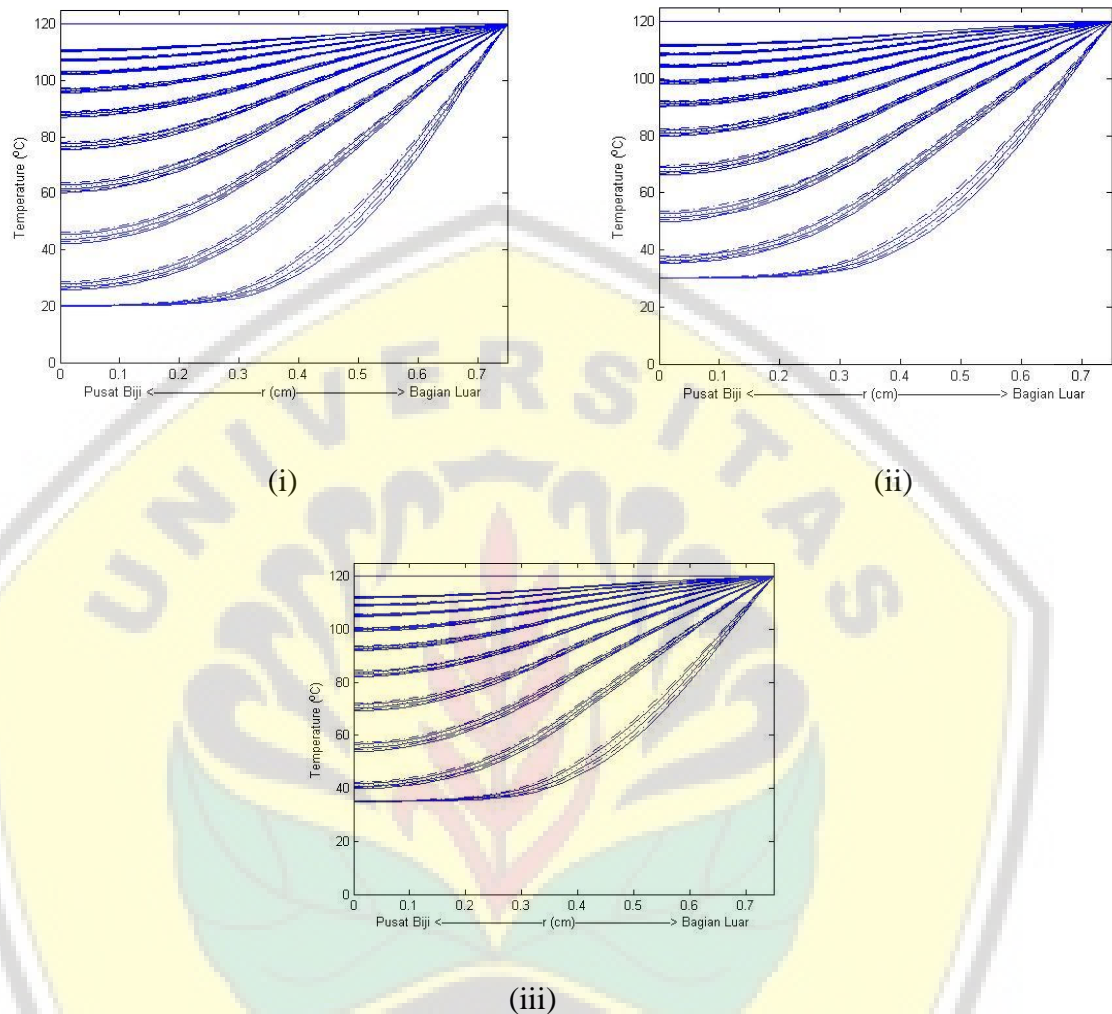
T_s ($^\circ\text{C}$)	t=10		t=15		t=18	
	T_{c1}	T_{c2}	T_{c1}	T_{c2}	T_{c1}	T_{c2}
100	72,58623053	96,75556166	88,04774346	98,59968092	92,75302541	99,1514747
105	75,75849772	101,5392477	92,25082896	103,5063149	97,26982322	104,0948981
110	78,93076492	106,3229337	96,45391445	108,4129488	101,786621	109,0383215
115	82,10303212	111,1066197	100,6569999	113,3195828	106,3034189	113,9817448
120	85,27529931	115,8903057	104,8600854	118,2262168	110,8202167	118,9251682
125	88,44756651	120,6739917	109,0631709	123,1328507	115,3370145	123,8685916
130	91,61983371	125,4576777	113,2662564	128,0394847	119,8538123	128,812015

Tabel 2. Tabel distribusi panas saat (20 dan 25 jam)

T_s ($^{\circ}\text{C}$)	t=20		T=25	
	T_{c1}	T_{c2}	T_{c1}	T_{c2}
100	94,80857065	99,39221568	97,74439781	99,73594016
105	99,4624194	104,3516902	102,5939942	104,7183326
110	104,1162682	109,3111647	107,4435906	109,7007251
115	108,7701169	114,2706392	112,293187	114,6831176
120	113,4239657	119,2301137	117,1427834	119,6655101
125	118,0778144	124,1895881	121,9923798	124,6479026
130	122,7316632	129,1490626	126,8419762	129,6302951

Berdasarkan Tabel 1 dan 2 dapat diketahui bahwa semakin besar temperatur pengeringan semakin cepat panas masuk kedalam kopi. Hal demikian juga berlaku terhadap waktu pengeringan karena semakin besar waktu pengeringan semakin cepat panas merambat ke biji kopi. Sehingga untuk mengoptimalkan pengeringan biji kopi, baik mengoptimalkan waktu maupun energi, penentuan waktu pemanasan dan suhu pemanas *mason dryer* adalah faktor yang sangat penting.

Berikutnya simulasi dengan variasi suhu lingkungan. Variasi suhu lingkungan yaitu $T_f = 20^{\circ}\text{C}$, $T_f = 25^{\circ}$, $T_f = 30^{\circ}\text{C}$, dan $T_f = 35^{\circ}\text{C}$. Suhu pusat kopi masing-masing saat $T_f = 20^{\circ}\text{C}$ maka $T_{c1} = 110,337^{\circ}\text{C}$, saat $T_f = 25$ maka $T_{c1} = 110,8202^{\circ}\text{C}$, saat $T_f = 30^{\circ}\text{C}$ maka $T_{c1} = 111,3034$, dan saat $T_f = 35^{\circ}\text{C}$ maka $T_{c1} = 111,7866$. Semakin tinggi suhu lingkungan maka semakin tinggi pula suhu pusat kopi saat proses pengeringan. Berdasarkan nilai tersebut dan gambar 6 maka suhu lingkungan berpengaruh dalam proses pengeringan.



Gambar 6. grafik (i) saat $T_f = 20^\circ\text{C}$; (ii) saat $T_f = 30^\circ\text{C}$; dan (iii) saat $T_f = 35^\circ\text{C}$

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi pengeringan optimal ($T_s = 120^\circ\text{C}$ dan $t = 18$ jam) dengan *mason dryer* dapat diketahui T_{c1} dan T_{c2} berturut-turut $110,8202167^\circ\text{C}$ dan $118,9251682^\circ\text{C}$. Selain itu, beberapa faktor yang mempengaruhi optimalitas pengeringan kopi robusta adalah pengadukan/ pencampuran kopi dalam *mason dryer*, suhu pemanas, waktu pemanasan, dan suhu lingkungan. Sehingga, Pabrik Pengolahan Kopi PTP XXVI Gunitir dapat mempertimbangkan faktor-faktor

yang mempengaruhi proses pengeringan kopi agar proses pengeringan biji kopi berjalan lebih optimal dengan *mason dryer*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada Ketua Lembaga Penelitian Universitas Jember yang telah memberi kesempatan kepada kelompok riset pemodelan matematika untuk melakukan penelitian ini. Tak lupa juga terimakasih sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Rektor Universitas Jember atas dukungan finansial yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, R., d.k.k., *Karakteristik Pengeringan Biji Kopi dengan Pengeringan Tipe Bak dengan Sumber Panas Tungku Sekam Kopi dan Kolektor Surya*, Jurnal Ilmiah Pertanian Agrotechno, **1**(1) (2016), 20-27.
- De, J. S., d.k.k., *New Technologies for Drying of Coffee*, University of Viçosa, Brazil, 1-17, 2015.
- Hamni, A., d.k.k., *Implementasi Sistem Gasifikasi untuk Pengeringan Biji Kopi*, Jurnal Mechanical, **5**(1) (2014), 21-25.
- Hidayat, R., *Modeling Palm Fruit Sterilization In Batch Unit Process*, Thesis, Faculty of Mathematical Sciences Twente University, Enschede, Netherlands, 2000.
- Hidayat, R., Wijaya, R.D.D., *Model Reduksi Kadar Kafein pada Proses Dekafeinasi Biji Kopi*, Prosiding Seminar Nasional Matematika, Jurusan Matematika Universitas Jember, 385-394, 2014.
- Santoso, D., d.k.k., *Model Matematis Pengeringan Lapisan Tipis Biji Kopi Arabika (Coffeae arabica) dan Biji Kopi Robusta (Coffeae)*, Jurnal Teknologi Pertanian Andalas, **22**(1) (2018), 86-95.

