



STUDI KINETIKA PENGERINGAN BUNGA ROSELLA (*Hibiscus Sabdariffa*) MENGGUNAKAN PENGERING RAK UDARA RESIRKULASI

Rustam Santiko Nugroho, Dr. Ing. Suherman *)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, Kampus Undip Tembalang, Semarang, 50255, Indonesia,

Abstrak

Pada penelitian ini akan dilakukan studi untuk mencari model pengeringan lapisan tipis dan difusivitas efektif untuk bunga rosella (*Hibiscus sabdariffa*) dengan menggunakan pengering rak udara resirkulasi. Pengeringan rosella dengan menggunakan pengering rak udara resirkulasi dengan setting suhu operasi 40, 50 dan 60°C. Data eksperimen yang didapatkan selanjutnya akan dicocokkan (*fitting*) dengan model pengeringan lapisan tipis. Model lapisan tipis untuk rosella akan didapatkan dari regresi koefisien yang menghasilkan hasil yang paling cocok dengan data eksperimen. Model Newton merupakan model yang mempunyai kecocokan tertinggi untuk dapat menunjukkan kinetika pengeringan rosella. Konstanta pengeringan didapatkan dari hubungan linier dengan suhu. Untuk difusivitas efektif didapatkan dengan menggunakan hukum Fick kedua, dimana nilai yang didapatkan bervariasi dari 1.405×10^{-10} sampai $2,283 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Hubungan difusivitas efektif moisture dengan suhu dapat dijelaskan oleh persamaan Arrhenius. Energi aktivasi selama pengeringan didapatkan 21,02 kJ/gmol.

Kata kunci : energi aktivasi, difusivitas, pengeringan, rosella, model pengeringan lapisan tipis

Abstract

This study was performed to determine the most appropriate thin layer drying model and the effective moisture diffusivity of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) using recirculated tray dryer. Rosella dried using recirculated tray dryer at temperatures of 40, 50 and 60°C. The drying data were fitted to eleven thin layer models and a thin layer model for the roselle calyx was developed by regressing the coefficients of the best fit model. The Newton model was most adequate model for describing the thin layer drying kinetics of the roselle calyx. The drying constant was found to vary linearly with temperature. Also, effective diffusivity was evaluated by using Fick's second law, which varied from 1.405×10^{-10} to $2.283 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. The dependence of moisture diffusivity on temperature was described by Arrhenius type equation. The activation energy for moisture diffusion during drying was 21.02 kJ/gmol.

Key words: Activation energy, diffusivity, drying, roselle, thin layer drying

1. Pendahuluan

Rosella (*Hibiscus sabdariffa*) adalah tanaman yang sudah banyak dikenal dan dimanfaatkan diberbagai negara termasuk di Indonesia. Bagian yang dimanfaatkan dari tanaman ini adalah bunganya yang berwarna merah. Pemanfaatan bunga rosella sebagai bahan pangan sangat beragam, antara lain sebagai teh herbal, selai, jus, penyedap rasa dll. Untuk di Indonesia bunga rosella lebih banyak dikenal sebagai bunga yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan teh herbal, atau di beberapa daerah disebut sebagai teh merah. Berbagai kandungan anti oksidan yang terdapat dalam kelopak rosella menjadikan teh yang rasal dari rosella memiliki banyak manfaat. Menurut Dep.Kes RI No. 10.65/35.15/05, setiap 100 gr rosella mengandung 260-280 mg vitamin C, vitamin D, vitamin B1 dan vitamin B2. Kandungan lainnya yaitu kalsium 486 mg, omega 3, magnesium, beta karotin dan asam amino esensial, seperti lysine dan agrinine.

Bunga rosella biasanya dipanen dengan kadar air yang tinggi (sekitar 85%). Oleh karena itu, proses pengeringan merupakan proses *treatment* setelah pemanenan yang sangat penting untuk mengurangi kadar air dan untuk meningkatkan ketahanan produk. Pengeringan merupakan suatu proses yang memadukan antara perpindahan panas dan massa. Banyak pemodelan matematika yang telah digunakan untuk menjelaskan proses pengeringan. Beberapa pemodelan lapisan tipis telah dapat menjelaskan untuk pemodelan beberapa

*) Penulis Penanggung Jawab (Email: email_dosen@undip.ac.id)

produk agricultural. Beberapa model lapisan tipis untuk produk agricultural telah dipublikasikan seperti pengeringan litchi (Janjana et al.,2011), pengeringan sorgum (Shen et all.,2011), dll.

Sebelumnya, model pengeringan lapisan tipis untuk pengeringan rosella sudah ditemukan (Saeed et al.,2008). Akan tetapi, studi tersebut belum dapat menjelaskan tentang diffusivitas efektif dan pengaruh temperature pada diffusivitas pada pengeringan rosella. Oleh karena itu, sasaran dari studi ini untuk mendapatkan model lapisan tipis kinetika pengeringan bunga rosella, untuk mencari diffusivitas efektif, dan untuk mencari energy aktivasi yang dibutuhkan dalam pengeringan bunga rosella. Dan dalam proses pengeringan bunga rosella ini menggunakan pengering rak udara resirkulasi. Model difusi sederhana yang berdasarkan hukum Fick's kedua digunakan untuk mencari diffusivitas efektif. Sedangkan persamaan Arrhenius digunakan untuk mencari energy aktivasi pada proses pengeringan tersebut.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Eksperimen penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.

Persiapan Bahan Baku

Bunga rosella yang masih segar yang didapatkan dari daerah Mijen, Semarang. Biji rosella dibuang dan bunga dibersihkan sebelum dikeringkan. Kadar air mula-mula dan kadar air akhir pertama-tama dicari dengan menggunakan metode pengovenan pada suhu 105⁰C (Ruiz, 2005).

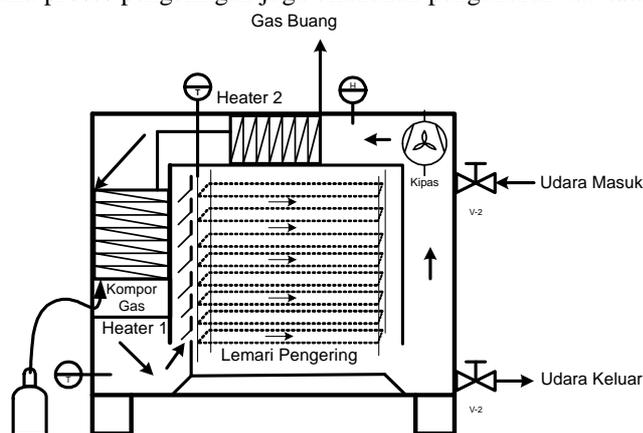
Prosedur Eksperimen

Alat pengering multi rak yang dirancang tersusun atas tiga bagian utama yaitu (i) unit pemanas pengering udara berbahan bakar gas LPG, (ii) pre pemanas dan resirkulator udara, dan (iii) rak multi, tempat material yang akan dikeringkan. Pada awal proses udara didalam dryer akan dipanas di pemanas utama yaitu menggunakan gas LPG sebagai bahan bakar. Antara udara pengering dengan gas pembakaran tidak terjadi pencampuran, karena udara pengering berada di dalam pipa, sedangkan gas pembakaran berada di luar pipa. Oleh karena itu udara pengering ini tetap bersih dan higienitas produk bisa tercapai.

Selanjutnya, udara panas ini akan digunakan untuk mengeringkan bahan yang ditaruh di multi rak (*tray*), yang berjumlah 5 rak. Sebagian udara akan dibuang melalui *valve* udara keluar, sedangkan sebagian lagi di sirkulasi kembali melewati heater-2, heater-1, dan kemudian kembali ke pengering rak. Untuk mengurangi panas yang hilang ke lingkungan, seluruh bagian alat dilapisi dengan isolator.

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan variabel berubah menggunakan parameter suhu yaitu 40⁰C, 50⁰C, 60⁰C, letak *tray* ke 1, 2, 3, 4, pada *resirculated tray dryer*. Untuk variable tetap digunakan berat rosella masing –masing *tray* yaitu 50 gram dan waktu pengambilan untuk analisa *moisture* setiap 5 menit.

Eksperimen dilakukan sampai kadar air dalam rosella mencapai 14%. Setelah akhir operasi, hasilnya dianalisa dan dilakukan pengamatan visual. Pengamatan meliputi warna, waktu pengeringan, aroma, tekstur, dan rasa. Selain itu, selama proses pengeringan juga dilakukan pengukuran *humidity* udara pemanas didalam *tray*.



Gambar 2.1 . Alat pengering rak multi dilengkapi resirkulator udara pengering (*Resirculated Tray Dryer*)

Model Kinetika Pengeringan dan Penentuan Konstanta Pengeringan

Analisa regresi non linear dilakukan dengan menggunakan software MATLAB 7.0. Hasil pencocokan/fitting antara data eksperimen dengan thin layer model dievaluasi antara beberapa factor, yaitu koefisien (R^2), penurunan phi square (χ^2) dan root mean square error (RMSE). Fitting terbaik akan mempunyai R^2 terbesar dan mempunyai χ^2 dan RMSE terkecil (Duc et al.,2011; Janjana et al.,2011; Radhika et al.,2011; Shen et al.,2011). Penurunan χ^2 dan RMSE dapat dihitung dengan persamaan:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N}} \quad (2)$$

Dimana $MR_{exp,i}$ adalah moisture ratio dari data eksperimen, $MR_{pre,i}$ adalah moisture ratio prediksi dari model matematika yang digunakan, N adalah jumlah pengamatan, dan Z adalah jumlah konstanta yang ada pada model matematika yang digunakan (Akpinar,2006)

• **Evaluasi Dari Efektivitas Difusi**

Karakteristik pengeringan pada periode falling rate dapat dijelaskan dengan menggunakan hukum Fick's diffusion (Crank, 1975), pers (3)

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left[-\pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t\right] \quad (3)$$

Dimana D_{eff} adalah efektifitas difusi (m^2/s); L adalah setengah ketebalan bahan (m). Kemudian, pers.(3) dapat diberikan dalam bentuk logaritmik sebagai berikut:

$$\ln(MR) = \ln\left[\frac{8}{\pi^2}\right] - \pi^2 \frac{D_{eff}}{4L^2} t \quad (4)$$

• **Pengaruh Temperatur Pada Difusivitas Dan Perhitungan Energi Aktifasi**

Difusivitas dapat didapatkan dari plotting data eksperimen pengeringan yaitu $\ln MR$ versus waktu pengeringan seperti pers (4), dan dapat dihitung slope dari garis lurusnya. Efektivitas difusi moisture dapat dihubungkan dengan temperatur dengan persamaan Arrhenius seperti dijelaskan dibawah ini (Shen et al.,2011):

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (5)$$

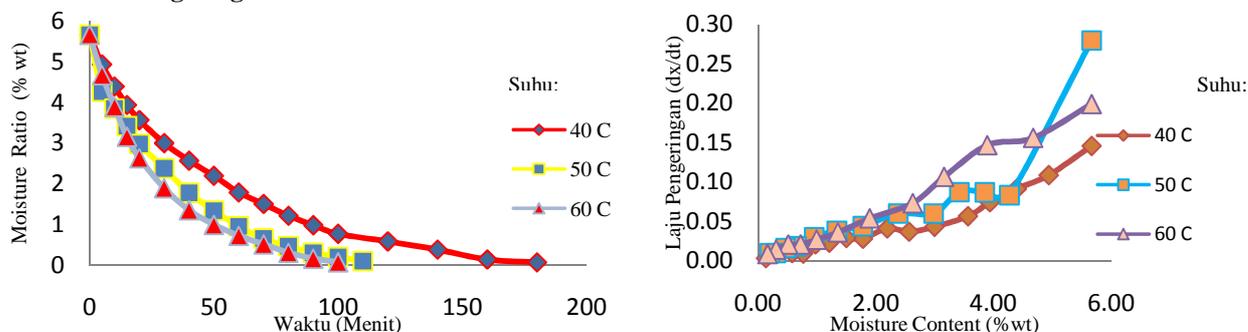
Dimana D_{eff} adalah efektifitas difusi moisture (m^2/s), D_0 adalah konstanta yang ekuivalen dengan difusivitas pada temperatur tinggi (m^2/s), E_a adalah energi aktivasi (kj/mol), R adalah konstanta gas (8.314 J/(mol K)), dan T adalah temperatur absolute (K). Energi aktivasi (E_a) dan konstanta (D_0) dapat didapatkan dari plotting $\ln(D_{eff})$ versus $1/T$ setelah dilinierisasi untuk per (5)

Tabel 2.1 Model Persamaan Kinetika Pengeringan

Nama Model	Persamaan
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modified Page	$MR = \exp(-kt)^n$
Modified Page	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson and Pabis	$MR = a.\exp(-kt)$
Logaritmic Two term	$MR = a.\exp(-kt) + c$
Two term exponential	$MR = a.\exp(-k_0t) + b.\exp(-k_1t)$
Wang and Singh Thompson	$1 + at + bt^2$ $t = a.\ln(MR) + b[\ln(MR)]^2$
Diffusion approximation	$MR = a.\exp(-kt) + (1-a)\exp(-bkt)$
Verma et al.	$MR = a.\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
Modified Henderson and Pabis	$MR = a.\exp(-kt) + b.\exp(-gt) + c.\exp(-ht)$
Midilli et al.	$MR = a.\exp(-kt^n) + bt$

((Ertekin, C, et al, 2003)

3. Hasil dan Pembahasan
Kurva Pengeringan Rosell



Gambar 3.1 Pengaruh suhu terhadap laju pengeringan; kadar air versus waktu (kiri) dan laju pengeringan versus kadar air (kanan)

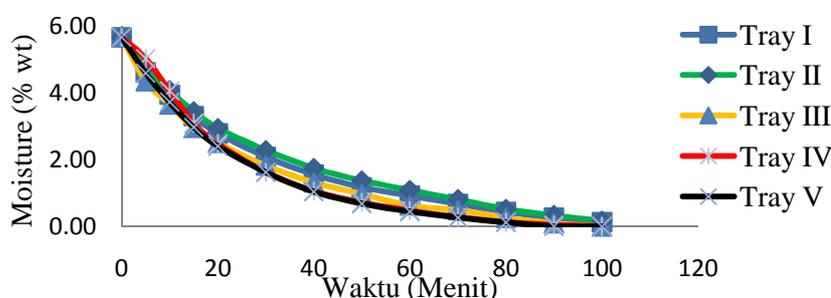
Dalam penelitian ini, laju pengeringan konstan (*Constant Drying Rate*) tidak diperoleh. Yang diperoleh hanyalah *falling rate*, sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 4.2. (hubungan antara x (moisture content) vs dx/dt (laju pengeringan) pada berbagai suhu). Hal ini terjadi karena kelopak bunga Rosella yang dikeringkan termasuk jenis tanaman agrikultur. Dimana pada umumnya pengeringan tanaman agrikultur tidak diperoleh laju pengeringan konstan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Hawlader dkk., (1991); Krokida dkk., (2003); Prabhanjan dkk., (1995).

Periode *falling rate* banyak ditemukan pada pengeringan produk biologikal. Laju pengeringan selama periode *falling rate* disebabkan karena gradien konsentrasi dari kandungan air di dalam matrix buah. Pergerakan kandungan air internal ini sebagai hasil dari beberapa mekanisme yaitu difusi cairan, aliran kapilari, aliran yang disebabkan *shrinkage*, dan gradien tekanan.

Pengaruh Suhu

Berdasarkan gambar 3.1 dan data yang diperoleh dari hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur operasi alat *recirculated tray dryer* merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap laju pengeringan bunga rosella dan juga total proses pengeringan yang terjadi hanya pada periode *falling rate period*. Hal ini mengindikasikan proses pengeringan pada rosella dipengaruhi oleh proses difusi. Diantara ketiga variable suhu yang digunakan, laju pengeringan paling cepat ditunjukkan pada saat suhu 60°C. Proses pengeringan pada suhu 60°C sudah terlihat bahwa membutuhkan waktu paling cepat, jadi secara kuantitatif pengeringan pada suhu 60°C merupakan variabel yang paling baik.

Pengaruh Tray



Gambar 3.2 Hubungan antara moisture content dengan waktu pada suhu 60°C

Gambar 3.3 menunjukkan bahwa ada distribusi udara pengering yang tidak merata, yang ditunjukkan dalam bentuk pengaruh antara rak terhadap kurva pengeringan. Untuk rak 1 dan 2 laju pengeringan lebih lambat dibandingkan rak 3, 4 dan 5. Untuk mencapai kadar moisture di bawah 14% pada suhu 60°C, rak 1 dan rak 2 membutuhkan waktu 100 menit. Sedangkan rak 3, 4, dan 5 hanya membutuhkan waktu 80 menit. Hal ini disebabkan karena aliran udara pengering lebih banyak mengalir ke rak 3, 4 dan 5. Pada rak 3, 4, dan 5 ada pipa masukan udara pengering yang diameternya sama. Sedangkan rak 1 dan 2 yang posisinya lebih diatas, tidak ada pipa udara masukan. Dengan kata lain, udara yang melewati rak 1 dan 2 merupakan sisa udara pengeringan dari rak 3, 4 dan 5. Oleh karena itu, laju pengeringan di rak 3, 4 dan 5 lebih tinggi dibandingkan rak 1 dan 2.

Penerapan Model Pengeringan Lapisan Tipis

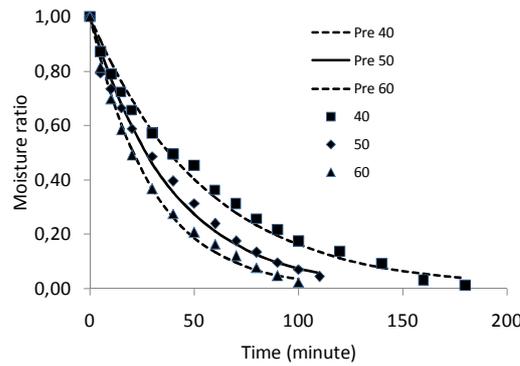
Moisture ratio dihitung dari data yang didapat pada temperature yang berbeda, yang telah di fitting dengan thin layer models. Hasil regresi statistik dari berbagai model, termasuk koefisien dari model pengeringan dapat dilihat pada tabel 3.1. Nilai R^2 yang lebih besar dari 0.97 adalah Newton. Diasumsikan untuk model dengan R^2 terbesar dan χ^2 dan RMSE terkecil mempunyai kecocokan yang paling baik dengan data eksperimen yang diperoleh. Oleh karena itu, model Newton dipilih untuk memprediksi karakteristik pengeringan. Disini efek dari temperature digunakan untuk mencari hubungan antara konstanta k . Persamaan regresi yang menghubungkan konstanta dari model Newton dan temperature pengeringan ditunjukkan seperti berikut:

$$MR = \exp(-kt), \text{ dimana } k: \text{konstanta}$$

$$k = 0,000765T - 0,012383, \quad R^2 = 0,999986$$

sehingga, didapatkan thin layer model untuk Rosella adalah:

$$MR = \exp[-(0,000765T - 0,012383)t]$$



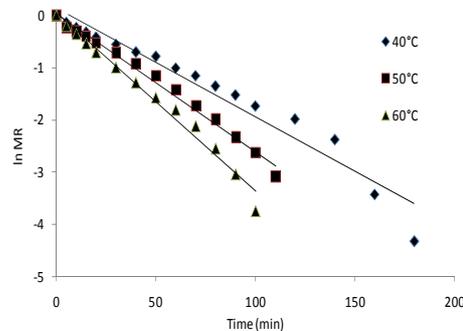
Gambar 3.3 Hubungan antara Moisture Ratio dengan Waktu

Dari gambar 3.4 menunjukkan data eksperimen MR vs t yang dibandingkan dengan model Newton pada 3 variabel temperature dan dari grafik dapat dibandingkan kurva yang memiliki kecocokan dengan data eksperimen. Hal ini mengindikasikan bahwa model Newton dapat dijadikan sebagai pemodelan pengeringan lapis tipis untuk rosella dengan menggunakan alat *recirculated tray dryer*.

Tabel 3.1 Hasil Statistik Dari Berbagai *Thin Layer Drying Model*

Model	T (°C)	Model constants	R ²	χ ²	RMSE
Newton	40	k = 0.0182	0.9801	0.0009	0.0294
	50	k = 0.0259	0.9882	0.0011	0.0320
	60	k = 0.0335	0.9963	0.0004	0.0187
Page	40	k = 0.3199 n = 0.2792	0.3842	0.0302	0.1632
	50	k = 0.3838 n = 0.2660	0.7003	0.0304	0.1613
	60	k = 0.4392 n = 0.2681	0.7195	0.0309	0.1616
Modified Page	40	k = 0.6119 n = -0.0639	-0.9196	0.0940	0.2881
	50	k = 0.5875 n = 0.0027	0.3132	0.0696	0.2442
	60	k = 0.6255 n = -0.0339	0.2224	0.0855	0.2690

Evaluasi Diffusivitas Efektif



Gambar 3.4 Hubungan antara ln MR dengan Waktu

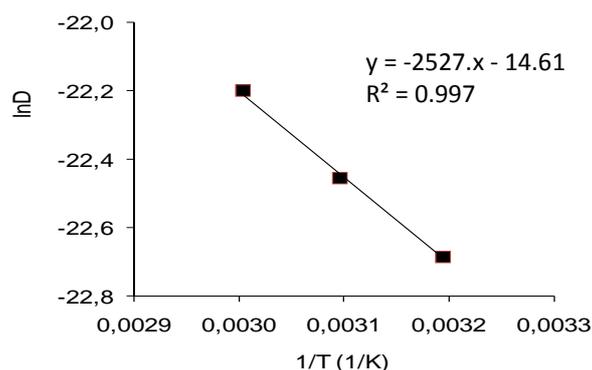
Diffusivitas efektif (D_{eff}) dari rosella pada 3 variabel temperature dapat diketahui dengan memploting $\ln MR$ vs t (gambar 3.3) dan nilai D_{eff} merupakan slope dari linierisasi kurva tersebut, dan hasil data dapat dilihat di tabel 3.2.

Tabel 3.2 Diffusivitas Efektif Dari Rosella Pada Berbagai Temperatur

No	Temperature (°C)	Diffusivity (m ² /s)
1	40	1.405x10 ⁻¹⁰
2	50	1.770x10 ⁻¹⁰
3	60	2.283x10 ⁻¹⁰

Dari hasil dapat dilihat bahwa diffusivitas akan meningkat seiring dengan peningkatan temperature. Evaporasi semakin cepat pada suhu yang lebih tinggi, oleh karena itu, diffusivitas pun akan semakin besar. Karena semakin banyak pula air yang teruapkan. Tetapi hal ini perlu dilakukan pengawasan, supaya produk yang dihasilkan tidak menjadi gosong atau hancur akibat suhu operasi yang terlalu tinggi.

Penerapan Teori Arrhenius



Gambar 3.5 Diffusivitas Efektif Sebagai Fungsi Dari Temperatur

Dari gambar hubungan $1/T$ vs $\ln D$ yang dilinierisasi didapatkan slope. Oleh karena kinetika difusi mengikuti persamaan Arrhenius, slope ini sebagai nilai E_a/R , sehingga dapat dihitung energi aktivasinya dan didapatkan nilai sebesar 21,02 kJ/gmol.

Analisa Kandungan Kimia

Salah satu parameter penting dari kualitas produk Rosella adalah analisa kandungan ascorbat acid atau kandungan vitamin C pada rosella. Analisa dengan menggunakan analisa GC-MS. Didapatkan hasil untuk ascorbat acid yang terdapat pada produk rosella kering sebesar 184,98 mg dalam setiap 100 gram produk.

4. Kesimpulan

Pengeringan rosella menggunakan *recirculated tray dryer* hanya membutuhkan waktu 100 menit untuk mengeringkan rosella sampai kadar air sebanyak 14% (sesuai keinginan pasar) sebanyak 250 gr dengan suhu 60°C. Tray ke 3, 4, 5 merupakan tray yang efektif untuk mengeringkan kelopak bunga rosella. Pemodelan pengeringan lapisan tipis yang sesuai dengan pengeringan rosella dengan *recirculated tray dryer* adalah model Newton. Efektivitas difusi meningkat dengan meningkatnya suhu operasi, pada penelitian ini didapatkan bervariasi dari 1.405×10^{-10} to 2.283×10^{-10} m²/s dan energi aktivasi untuk difusi kandungan air didapatkan sebesar 21,02 kJ/gmol. Kandungan *asorbat acid* yang didapatkan sebesar 184,98 mg/ 100 gr sampel untuk suhu operasi 60°C.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bpk. Dr. Ing. Suherman, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah mencurahkan ilmu dan waktunya dalam membimbing penulis. Dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Akpinar, E. K. 2006. Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for some Vegetables and Fruits. *Journal of Food Engineering* 73: 75-84
- Crank, J., 1975. The Mathematics of Diffusion. 2nd Edn., Oxford University Press, London
- Duc, LA., J.W. Han and D. H. Keum, 2011, Thin Layer Drying Characteristics Of Rapeseed (*Brassica napus* L.), *J. Stored Product Res.*, 47, 32-38
- Hawladar, M. N. A., Perera, C. O. and tian, M. 2006. Properties of Modified Atmosphere Heat Pump Dried Foods. *Journal of Food Engineering* 74: 392-401
- Janjana, S., M. Precopped, N. Lamlerta, B. Mahayotheeb, B.K. Balac, M. Nagle, and J. Müllerd, 2011, Thin-layer drying of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), *Food and Bioproducts Processing*, 89, 194–201
- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maraulis, Z. B. and Marinos-Kouris, D. 2003. Drying Kinetics of Some Vegetables. *Journal of Food Engineering* 59: 391-403
- Radhika, IG.B., S.V. Satyanarayana and D.G. Rao, 2011, Mathematical Model on Thin Layer Drying of Finger Millet (*Eluesine coracana*), *Adv. J. of Food Sci. and Tech.*, 3(2), 127-131
- Ruiz, R. P. 2005. Gravimetric measurements of water. *Handbook of food analytical chemistry*. Edited by: Wrolstad *et al.* John Wiley and Sons, NJ, USA: 5-12.
- Saeed, I.E., Sopian, K., and Abidin, Z. Zainol. 2008 . Drying characteristics of Roselle (1): Mathematical Modeling and Drying Experiments. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript FP 08 015. Vol. X

Shen, F, L. Peng, Y. Zhang, J. Wu, X. Zhang, G. Yang, H. Peng, H. Qi, S. Deng, 2011, Thin-layer drying kinetics and quality changes of sweet sorghum stalk for ethanol production as affected by drying temperature, *Industrial Crops and Products*, 34, 1588– 1594