



JURNAL RONA TEKNIK PERTANIAN

ISSN : 2085-2614

JOURNAL HOMEPAGE : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>



Model Pengeringan Lapisan Tipis Rebung Bambu “Tabah” (*Gigantochloa nigrociliata* KURZ)

Gede Arda^{1*)}, P.K. Diah Kencana¹⁾, IBP. Gunadnya¹⁾, Ni Luh Yulianti¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana

*Email:gedearda@unud.ac.id

Abstrak

Rebung bambu tabah (*Gigantochloa nigrociliata* KURZ) merupakan produk khas daerah Pupuan, Tabanan, Bali yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai produk yang bernilai ekonomis. Kajian awal proses pengeringan rebung untuk meningkatkan umur simpan rebung bambu Tabah dilakukan pada penelitian ini. Kurva laju pengeringan rebung bambu Tabah memberikan informasi penting untuk proses pengeringan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mempelajari karakteristik laju pengeringan rebung bambu Tabah melalui aplikasi model pengeringan lapisan tipis. Rebung bambu Tabah yang dibelah menjadi dua dan empat bagian dikeringkan pada suhu 50°C, 60°C, dan 70°C. Perubahan kadar air setiap saat kemudian dimodelkan dengan model Newton dan Page. Kesesuaian model yang digunakan dievaluasi dengan menentukan nilai koefisien determinasi (r^2) dan RMSE dari model. Hasil menunjukkan bahwa model Page lebih baik digunakan untuk memodelkan pengeringan rebung bambu Tabah pada semua perlakuan. Model Newton menunjukkan ketidaksesuaian yang sangat tinggi pada suhu 50°C namun kesesuaiannya meningkat pada suhu yang lain.

Kata kunci : Rebung bamboo tabah, model pengeringan lapisan tipis

Thin Layer Drying Model of Bamboo Shoots “Tabah” (*Gigantochloa nigrociliata* KURZ)

Gede Arda^{1*)}, P.K. Diah Kencana¹⁾, IBP. Gunadnya¹⁾, Ni Luh Yulianti¹⁾

¹⁾Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Udayana

*Email:gedearda@unud.ac.id

Abstract

Bamboo shoots Tabah (*Gigantochloa nigrociliata* KURZ) is a unique product of Pupuan District, Tabanan, Bali which is potent to be developed as highly value product. Preliminary study of the bamboo shoots drying to enhance its storage life was conducted in this research. Bamboo shoots Tabah's drying rate curve give an important information for its drying process. Therefore, the aim of this research was to study the characteristics of bamboo shoots Tabah drying by applying thin layer drying models. Bamboo shoots split into two and four pieces were dried under drying air temperatures 50°C, 60°C, and 70°C. Instantaneous moisture content of the shoots are modeled by Newton and Page model. The goodness of the models were evaluated by determining its coefficient of determination (r^2) and RMSE. The results showed that Page model was better to model the bamboo shoots Tabah drying process on all drying treatments. The Newton Model indicated the worst fit on drying air temperature 50°C while showed better fit on other temperatures.

Keywords : Bamboo shoots Tabah, thin layer drying models

PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan proses pengurangan bahan volatil secara termal, utamanya adalah air, untuk menghasilkan produk padatan. Air itu sendiri terikat secara lemah dalam kombinasi kimia, tersedia dalam bentuk larutan cair dalam padatan produk atau terjebak dalam struktur mikro dari padatan yang membuat tekanan uapnya lebih kecil dari tekanan uap air dalam bentuk cair yang biasa disebut dengan air terikat (Mujumdar, 2006). Pengeringan merupakan unit operasi yang paling banyak digunakan dalam memproses produk pertanian. Namun, pengeringan juga merupakan proses termal yang banyak memerlukan energy dan juga waktu dalam prosesnya. Itu sebabnya, metode pengeringan yang dikembangkan senantiasa ditujukan untuk mengurangi kebutuhan energi dan juga memperpendek waktu pengeringan dengan tetap mempertahankan kualitas yang diharapkan (Kassem *et al.*, 2011).

Suatu proses pengeringan akan menghasilkan karakteristik laju pengeringan yang dapat diplot ke dalam kurva antara waktu dan rasio kadar air awal, kadar air pada saat tertentu dan kadar air keseimbangan. Kurva ini mempunyai peranan penting dalam mempelajari proses pengeringan serta bermanfaat dalam perancangan alat pengeringan yang sesuai. Salah satu manfaat dengan diperolehnya kurva laju pengeringan adalah dapat dilakukan prediksi terhadap kadar air produk setiap saat. Pemodelan laju pengeringan dengan model lapisan tipis sudah terbukti mampu memodelkan laju pengeringan dengan baik. Beberapa model tersedia dan juga sudah dikembangkan lebih lanjut untuk disesuaikan oleh para peneliti. Beberapa model yang telah tersedia untuk digunakan untuk mengevaluasi laju pengeringan disajikan dalam Table 1. Namun kurva laju pengeringan bersifat spesifik produk sehingga tidak setiap model dapat digunakan untuk semua produk. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kerumitan model tidak selalu menghasilkan model yang lebih baik. Model matematis dengan pendekatan model lapisan tipis telah digunakan untuk pengeringan buah, sayuran, produk ikan dan juga produk pertanian dan perkebunan (Akpınar *et al.*, 2003; Jain and Pathare, 2007; Jayas *et al.*, 1991; Karathanos and Belessiotis, 1999; Midilli *et al.*, 2002; Thuwapanichayanan *et al.*, 2008; Yaldiz *et al.*, 2001). Model dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok model yaitu model teoritis, semi teoritis dan model empiris. Model semi empiris memberikan kemudahan antara teori dan aplikasinya (Akpınar, 2006a). Model semi empiris ini diantaranya adalah model Newton (O'Callaghan *et al.*, 1971), model Page (Akpınar *et al.*, 2003), model Henderson and Pabis (Karathanos and Belessiotis, 1999), model Logaritmik (Yaldiz *et al.*, 2001), model Dua Suku (*Two-Term*) (Togrul and Pehlivan, 2004), model Dua Suku Eksponensial (*Two-Term Exponential*) (Akpınar *et al.*, 2003), model Verma *et al.* (Verma *et al.*, 1985) dan model Midilli–Kucuk (Midilli *et al.*, 2002).

Karena kemampuan dari aplikasi model ini dalam mempelajari laju pengeringan berbagai produk menarik untuk diterapkan pada pengeringan rebung bambu Tabah (*Gigantochloa nigrociliata* KURZ). Rebung bambu Tabah merupakan salah satu jenis bambu yang awalnya banyak terdapat di daerah Pupuan, Kabupaten Tabanan, Bali. Setiap musim hujan, rebung bambu Tabah dipanen kemudian dijual dipinggir jalan ataupun ke pasar terdekat dalam bentuk rebung utuh. Karena terbatasnya musim panen, yaitu bulan Desember sampai bulan Maret, mendorong dilakukannya pengembangan teknologi pasca panen rebung bamboo Tabah. Beberapa teknik pascapanen yang telah dilakukan adalah membuat rebung bambu rebus (*steamed bamboo shoots*) serta rebung bambu tabah kering, meskipun beberapa teknik masih bersifat kajian awal. Untuk mendukung kajian terhadap teknik pengeringan rebung bambu tabah, perlu dilakukan studi tentang aplikasi model pengeringan lapisan tipis untuk rebung bambu tabah.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh dari ukuran rebung yang dikeringkan dengan membagi rebung menjadi 2 bagian (belah 2) dan 4 bagian (belah 4). Kenampakan dari rebung bambu Tabah yang belum dan telah dikupas serta dibersihkan ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Rebung yang belum dikupas



Gambar 2. Rebung yang sudah dikupas

Selanjutnya tahapan metode yang dilakukan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

2.1 Penurunan model

Model yang digunakan dalam penelitian ini hanya menggunakan model semi empiris sederhana yaitu model Newton dan model Page. Sebelum model siap digunakan terlebih dahulu dilakukan linierisasi model dengan langkah-langkah sebagai berikut :

a. Model Newton

$$MR = e^{-kt} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = e^{-kt}$$

$$\ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right) = -kt$$

$$\ln \left(\frac{M_o - M_e}{M_t - M_e} \right) = kt \dots\dots\dots (2)$$

Persamaan 1 berubah bentuk menjadi Persamaan 2 yang memenuhi bentuk persamaan linier sehingga dapat diidentifikasi menjadi variable dan konstantnya sebagai berikut: $\ln \left(\frac{M_o - M_e}{M_t - M_e} \right)$; $m = -k$ = konstanta laju pengeringan; $x = t$ (waktu); dimana MR adalah rasio kadar air; M adalah kadar air (basis kering); o,t,e menunjukkan kadar air awal, pada t tertentu, kadar air keseimbangan.

b. Model Page

$$MR = e^{-kt^n} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} = e^{-kt^n}$$

$$-\ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right) = kt^n$$

$$\log \left\{ -\ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right) \right\} = \log(kt^n)$$

$$\log \left\{ -\ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right) \right\} = \log k + n \log t \dots\dots\dots (4)$$

Dengan cara yang sama, maka persamaan 4, dapat diidentifikasi variable dan konstanta persamaannya sebagai berikut : $y = \log \left\{ -\ln \left(\frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \right) \right\}$; $m = n$ = variable model; $b = \log k$ dan $k = 10^b$; $x = \log t$ (waktu); MR adalah rasio kadar air; M adalah kadar air (basis kering); o,t,e menunjukkan kadar air awal, pada t tertentu, kadar air keseimbangan.

2.2 Prosedur Penelitian

Rebung bambu tabah dipanen secara selektif untuk mendapatkan rebung dengan kualitas yang baik yaitu, pelepah rebung masih putih dengan diameter relatif seragam. Setelah dipanen, rebung dicuci dan dibawa ke laboratorium untuk dikupas, kemudian dipotong sesuai dengan perlakuan. Rebung yang telah dikupas kemudian dipotong dengan panjang 10 cm; sebagian dibelah dua; sebagian dibelah empat. Pengeringan langsung

dilakukan setelah semua sampel siap. Rebung dikeringkan dalam oven (labo) dengan suhu 50°C, 60°C dan 70°C. Massa rebung ditimbang setiap 30 menit sampai diperoleh massa seimbang. Data yang diperoleh kemudian ditabulasi dan ditransformasi sesuai dengan kebutuhan dalam Persamaan 2 dan Persamaan 4.

2.3 Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian ditabulasi dan ditransformasi sesuai dengan kebutuhan dalam Persamaan 2 dan Persamaan 4. Konstanta persamaan kemudian diekstrak melalui tahapan sebagai berikut: untuk model Newton, plot data waktu t dan $y = \log \left\{ -\ln \left(\frac{Mt - Me}{Mo - Me} \right) \right\}$ kemudian dicari persamaan liniernya dengan menggunakan menu *trendline*. Dari persamaan linier yang diperoleh kemudian diekstrak konstanta persamaan yang dibutuhkan yaitu nilai k .

Melalui cara yang identik, konstanta model Page dapat diperoleh dengan mengekstrak nilai k dan n dari persamaan linier yang diperoleh melalui menu *trendline*. Semua data dianalisis dengan menggunakan program Excel versi 2010 (Microsoft Inc. USA). Nilai kesesuaian model dalam memprediksi data laju pengeringan dinilai dengan menggunakan dua parameter yaitu koefisien determinasi (r^2) dan Root Mean Square Error (RMSE) dimana nilai koefisien determinasi (r^2) menunjukkan kemampuan untuk menggambarkan laju perubahan kadar air semakin baik apabila nilainya mendekati nilai 1 dan sebaliknya model semakin baik apabila nilai RMSE yang diperoleh semakin kecil. Kombinasi antara nilai koefisien determinasi dan RMSE akan menjadi acuan dalam penentuan model terbaik. Pengaruh pembelahan rebung sebelum dikeringkan dianalisis dengan uji t (t -test) terhadap nilai r^2 dan RMSE antara rebung yang dibelah dua dan dibelah empat. Hasil uji t yang signifikan menunjukkan bahwa pembelahan rebung sebelum dikeringkan mempunyai pengaruh terhadap ketepatan model model serta sebaliknya, hasil uji yang tidak signifikan pada taraf 5% menunjukkan pembelahan rebung sebelum dikeringkan tidak berpengaruh pada model yang diperoleh.

Tabel 1. Model-model pengeringan lapisan tipis (*thin layer drying models*)

Model	Persamaan Model	Referensi
Newton	$Mr = \exp(-kt)$	O'Callaghan <i>et al.</i> (1977)
Page	$Mr = \exp(-kt^n)$	Agrawal and Singh (1977)
Page Dimodifikasi	$Mr = \exp((-kt)^n)$	Diamante and Munro (1993)
Henderson & Pabis	$Mr = a \exp(-kt)$	Chhinman (1984)

Geometris	$M_r = at^{-n}$	Chandra and Singh (1995)
Wang & Singh	$M_r = 1 + at + bt^n$	Wang and Singh (1978)
Ekspensial dua suku	$M_r = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$	Sharaf-Elden <i>et al.</i> (1980)
Logaritmik	$M_r = a_0 + a \exp(-kt)$	Chandra and Singh (1995)
Pendekatan Difusi	$M_r = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$	Kassem (1998)
Verma <i>et al.</i>	$M_r = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$	Verma <i>et al.</i> (1985)
Dua suku	$M_r = a_1 \exp(-kt) + a_2 \exp(-k_2t)$	Henderson (1974)
Midilli <i>et al.</i>	$M_r = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al</i> (2002)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Newton merupakan model yang paling sederhana untuk digunakan memodelkan laju pengeringan atau laju perubahan kadar air dari suatu produk. Model ini mengasumsikan bahwa tidak ada hambatan bagi air untuk menuju ke permukaan produk dan kemudian menguap dapat diabaikan serta hambatan hanya terkonsentrasi pada permukaan saja (Temple and Bostel, 1999). Namun Tabel 2 menyajikan bahwa model Newton sebagai model paling sederhana mampu menggambarkan laju perubahan kadar air. Ketidaktepatan model Newton dalam memodelkan laju perubahan kadar air terjadi pada suhu pengeringan 50°C dengan nilai koefisien determinasi dan RMSE pada belah 2 dan 4 masing-masing adalah 0.8093, 0.8216, 0.227 dan 0.201. Nilai ini menunjukkan bahwa kesalahan model dalam menggambarkan data eksperimen mencapai 18-22%.

Peningkatan kemampuan model meningkat pada suhu yang sama ketika digunakan model Page dimana nilai r^2 meningkat secara signifikan mencapai 0.9946 dan 0.9988. Nilai RMSE juga menunjukkan penurunan yang mencapai satu digit lebih rendah. Secara umum Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan model Page pada suhu pengeringan yaitu 50°C, 60°C, dan 70°C lebih baik daripada model Newton. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu rendah, hambatan bagi pergerakan air menuju permukaan produk mempunyai pengaruh besar terhadap laju pengeringan. Rebung bambu Tabah mempunyai kadar air 92% (bb) sehingga terdapat cukup air di permukaan produk untuk diuapkan. Namun seiring waktu pengeringan konsentrasi air permukaan semakin kecil. Perbedaan konsentrasi air di permukaan dan dalam produk membuat terjadinya perpindahan air dari dalam jaringan rebung menuju permukaan untuk kemudian menguap. Pada tahapan inilah pengaruh hambatan jaringan produk rebung bagi pergerakan air menuju permukaan menjadi besar. Hambatan ini dapat diatasi oleh kenaikan suhu pengeringan, sehingga pada suhu yang lebih tinggi penggunaan model Newton

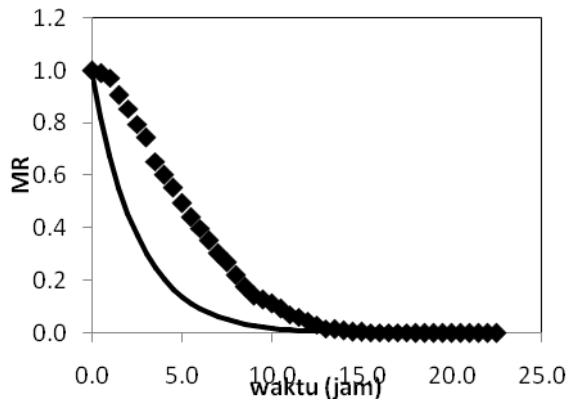
dan Page mampu menggambarkan laju perubahan kadar air rebung bamboo Tabah dengan lebih baik. Hal ini dapat secara analogi didasarkan pada temuan Aregbesola *et al.* (2015) bahwa nilai difusivitas efektif dari kacang dika (*Irvingia gabonensis*) meningkat dengan kenaikan suhu.

Hasil uji t dilakukan untuk mengetahui apakah ketepatan model Newton dan Page menunjukkan perbedaan apabila model diterapkan pada rebung yang dibelah dua dan empat. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelahan tidak menunjukkan pengaruh terhadap model Newton dan Page. Sehingga dengan hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa semua asumsi yang digunakan dalam model tidak dipengaruhi oleh pembelahan rebung.

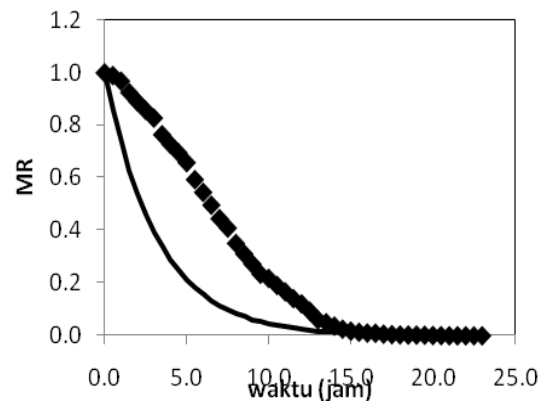
Tabel 2. Konstanta model pengeringan lapisan tipis dan nilai koefisien determinasi serta RMSE

SUHU	BELA H	JENIS MODEL	KONSTANTA		PERSAMAAN	r^2	RMSE
			k	n			
50	2	Newton	0,310	-	$Mr = \exp 0.310t$	0,8093	0,227
	4		0,397	-	$Mr = \exp 0.397t$	0,8216	0,201
	2	Page	0,028	1.812	$Mr = \exp 0.028t^{1.812}$	0,9946	0,031
	4		0,040	1.769	$Mr = \exp 0.040t^{1.769}$	0,9988	0,022
60	2	Newton	0,576	-	$Mr = \exp 0.576t$	0,9424	0,086
	4		0,543	-	$Mr = \exp 0.543t$	0,9868	0,038
	2	Page	0,277	1.286	$Mr = \exp 0.277t^{1.286}$	0,9965	0,017
	4		0,406	1.119	$Mr = \exp 0.406t^{1.119}$	0,9966	0,022
70	2	Newton	0,474	-	$Mr = \exp 0.474t$	0,9736	0,061
	4		0,526	-	$Mr = \exp 0.526t$	0,9172	0,120
	2	Page	0,280	1.292	$Mr = \exp 0.280t^{1.292}$	0,9932	0,024
	4		0,191	1.427	$Mr = \exp 0.191t^{1.427}$	0,9921	0,027

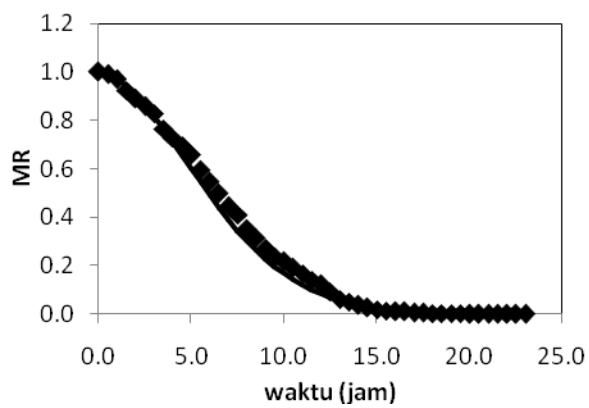
Gambaran perubahan kadar air selama proses pengeringan dan kadar air hasil pemodelan ditunjukkan oleh Gambar 2 sampai Gambar 3. Gambar 2 sampai Gambar 3 sangat menunjukkan bagaimana setiap model menggambarkan perubahan laju pengeringan setiap saat. Semakin berhimpit kedua kurva menunjukkan ketepatan model memprediksi kadar air rebung setiap saat (Mt). Sesuai dengan nilai r^2 dan RMSE yang diperoleh dimana model Newton pada suhu 50°C baik rebung yang dibelah 2 atau 4 sama-sama menunjukkan ketidaktepat model terlihat sangat jelas pada Gambar 2a dan 2b.



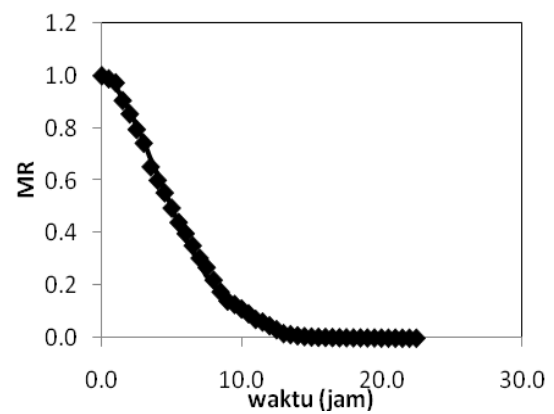
(a)



(b)

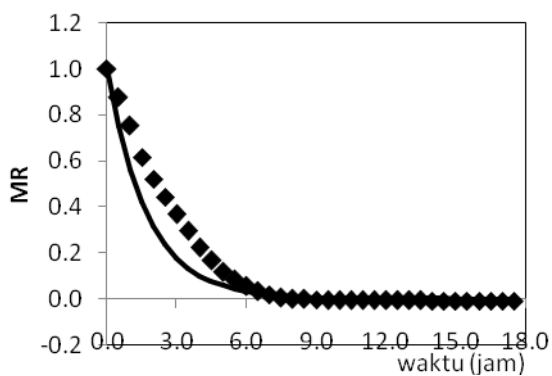


(c)

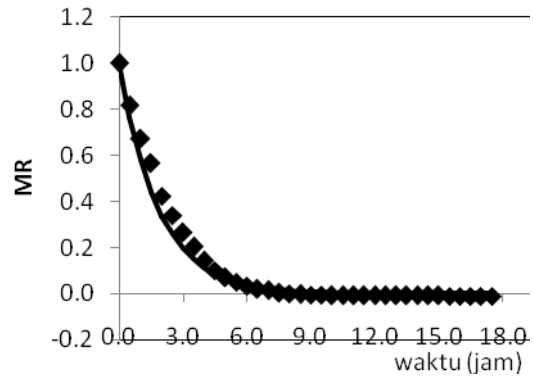


(d)

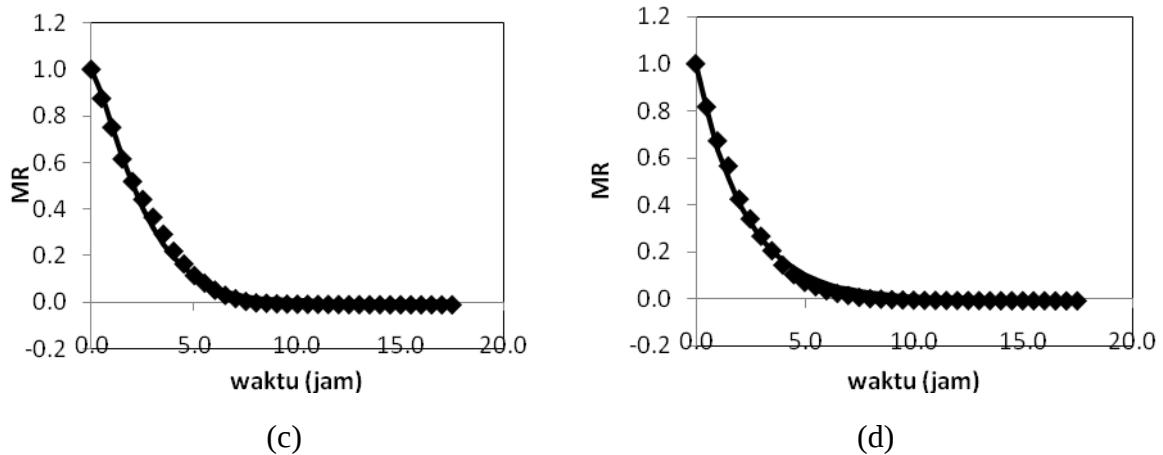
Gambar 2. (a) 50°C belah 2 model Newton; (b) 50°C belah 4 model Newton;
(c) 50°C belah 2 model Page; (d) 50°C belah 4 model Page



(a)



(b)

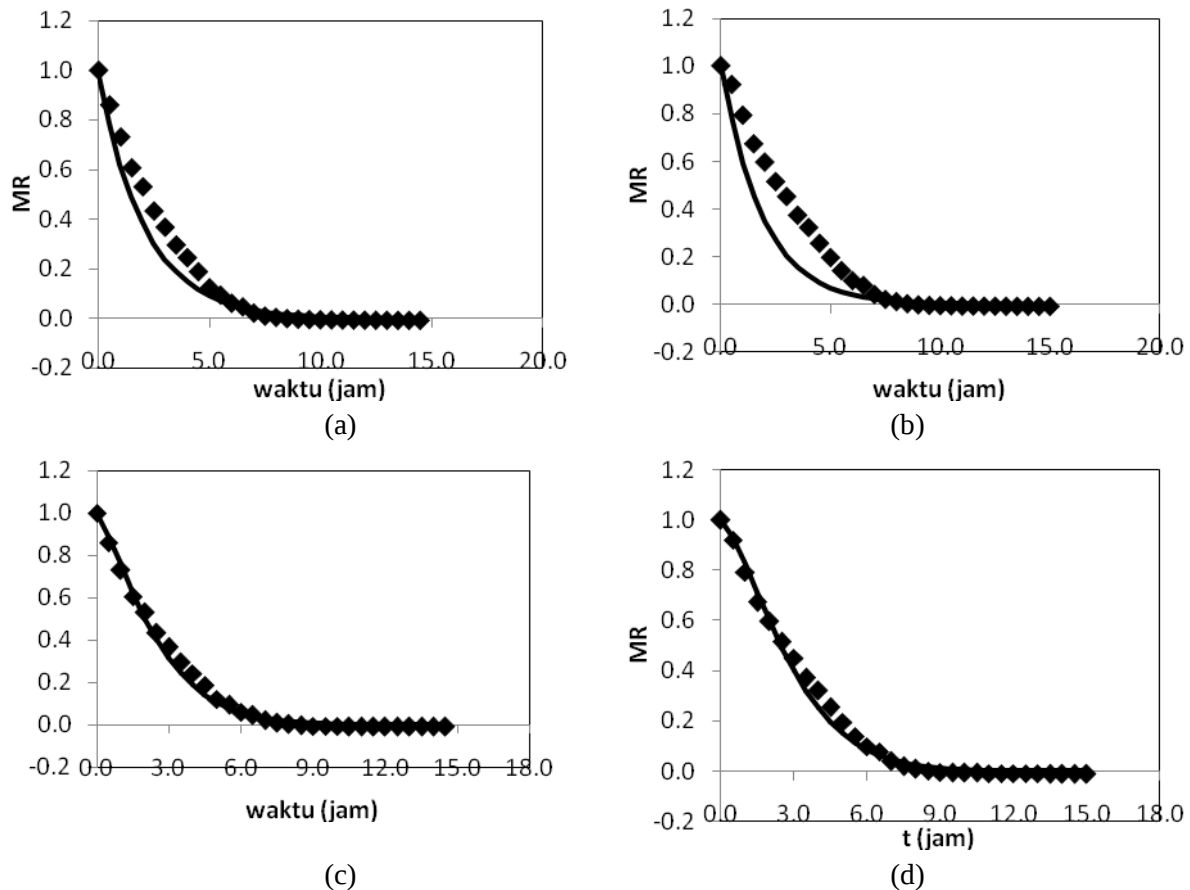


Gambar 3: (a) 60 °C belah 2 model Newton; (b) 60 °C belah 4 model Newton;
(c) 60 °C belah 2 model Page; (d) 60 °C belah 4 model Page

Sesuai dengan sifat dari persamaan eksponensial dimana nilai konstan model k dan n mencirikan perilaku dari model. Semakin besar nilai k baik bernilai positif ataupun negatif menunjukkan laju perubahan variabel terikatnya, dalam persamaan model lapisan tipis ini adalah laju perubahan kadar air setiap saat, semakin cepat untuk menuju suatu nilai tertentu secara asimtotik yaitu kadar air keseimbangan. Secara teoritis, laju pengeringan akan semakin cepat apabila suhu pengeringan semakin tinggi. Perubahan ini seharusnya tergambar dalam perubahan nilai konstanta model k dan n , yaitu semakin tinggi dengan semakin tingginya suhu pengeringan. Namun hasil analisis menunjukkan hal yang berbeda. Suhu tidak mempunyai hubungan yang sebanding dengan nilai konstanta model. Temuan ini menunjukkan temuan yang sama dengan apa yang dilaporkan oleh Aregbesola *et al.* (2015)

KESIMPULAN

Antara dua model semi empiris yang diterapkan pada proses pengeringan rebung bamboo tabah, model Page menunjukkan keunggulannya dalam memodelkan perubahan kadar air rebung bamboo tabah yang dikeringkan pada suhu 50, 60, 70. Namun, model Newton mampu menunjukkan kesesuaiannya untuk digunakan memodelkan proses pengeringan rebung bamboo tabah pada suhu 60 dan 70 dengan nilai r^2 dan RMSE yang tidak berbeda dengan model Page. Meskipun dalam proses analisisnya lebih sederhana, namun untuk memodelkan laju perubahan kadar air rebung bamboo tabah yang dikeringkan lebih disarankan menggunakan model Page daripada Model Newton.



Gambar 4. (a) 70°C belah 2 model Newton; (b) 70°C belah 4 model Newton; (c) 70°C belah 2 model Page; (d) 70°C belah 4 model Page

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya peneliti sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Udayana atas dana yang telah disediakan untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga peneliti sampaikan kepada Pusat Penelitian Bambu Universitas Udayana atas bantuannya di lapangan untuk mengkoordinasikan kelompok tani sehingga semua kebutuhan rebung bamboo tabah dapat dipenuhi untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Y.C. and Singh, R.P., 1977, Thin-layer drying studies on short-grain rice, *ASAE Paper*, No. 77-3531 (St. Joseph, MI, USA).
- Akpinar, E.K., 2006a. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering* 73, 75–84.
- Akpinar, E.K., Bicer, Y., Yildiz, C., 2003. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering* 59, 99–104.

- Aregbesola, O.A., B.S Ogunsina, A.E. Sofolahan, N.N. Chime. 2015. . Mathematical modeling of thin layer drying characteristics of dika (*Irvingia gabonensis*) nuts and kernels .*Nigerian Food Journal* 33 (2015) 83–89.
- Chandra, P.K. and Singh, R.P., (1995). *Applied Numerical Methods for Food and Agricultural Engineers*. (CRC Press, Boca Raton, FL), pp. 163–167.
- Chandra, P.K. and Singh, R.P., (1995). *Applied Numerical Methods for Food and Agricultural Engineers*. (CRC Press, Boca Raton, FL), pp.163–167.
- Chhinman, M.S., 1984, Evaluation of selected mathematical models for describing thin layer drying of in-shell pecans. *Trans ASAE*, 27: 610–615.
- Diamante, L.M. and Munro, P.A., 1993, Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. *Solar Energy*, 51: 271–276.
- Henderson, S.M., 1974, Progress in developing the thin-layer drying equation. *Trans ASAE*, 17: 1167–1168.
- Jain, D., Pathare, P.B., 2007. Study the drying kinetics of open sun drying of fish. *Journal of Food Engineering* 78, 1315–1319.
- Jayas, D.S., Cenkowski, S., Pabis, S., Muir, W.E., 1991. Review of thin layer drying and wetting equations. *Drying Technology* 9 (3), 551–558.
- Karathanos, V.T., Belessiotis, V.G., 1999. Application of a thin layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research* 74, 355–361.
- Kassem, A.S., 1998, Comparative studies on thin layer drying models for wheat, In *Proceedings of the 13th International Congress on Agricultural Engineering, Vol. 6*
- Kassem, A.S., A.Z. Shokr, A.R. El-Mahdy, A.M. Aboukarima, E.Y. Hamed. 2011. Comparison of drying characteristics of Thompson seedless grapes using combined microwave oven and hot air drying, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (2011) 10, 33–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2010.05.001>
- Midilli, A., Ku" c, u" k, H. and Yapar, Z., 2002, A new model for single layer drying. *Dry Technol*, 20(7): 1503–1513.
- Mujumdar, Arun S.. 2006. *Handbook of industrial drying, third edition*, Taylor & Francis Group, LLC. New York
- O'Callaghan, J.R., Menzies, D.J. and Bailey, P.H., 1971, Digital simulation of agricultural dryer performance. *J Agric Eng Res*, 16(3): 223–244.
- Sharaf-Elden, Y.I., Blaisdell, J.L. and Hamdy, M.Y., 1980, A model of ear corn drying. *Trans ASAE*, 5: 1261–1265.

- Thuwapanichayanan, R., Prachyawarakorn, S., Soponronnarit, S., 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. *Journal of Food Engineering* 86, 573–583.
- Verma, L.R., Bucklin, R.A., Endan, J.B. and Wratten, F.T., 1985, Effects of drying air parameters on rice drying models. *Trans. ASAE*, 296–301
- Wang, C.Y. and Singh, R.P., 1978, A single layer drying equation for rough rice, *ASAE Paper*, No. 78-3001 (St. Joseph, MI, USA).
- Yaldiz, O., Ertekin, C., Uzun, H.B., 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy* 26, 457–465.