

## KARAKTERISTIK DAN MODEL MATEMATIKA KURVA PENGERINGAN RUMPUT LAUT *Eucheuma cottonii*

### ***Characteristics and Mathematical Model of Drying Curve of Eucheuma cottonii Seaweed***

Diini Fithriani<sup>1\*</sup>, Luthfi Assadad<sup>2</sup> dan Zaenal Arifin Siregar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Daya Saing Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan, Jl. KS Tubun, Petamburan VI Slipi, Jakarta Pusat, Indonesia

<sup>2</sup> Loka Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pengolahan Hasil Perikanan, Jl. Imogiri Barat Km 11,5, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia

\* Korespondensi Penulis: diini\_fithriani@yahoo.com

Diterima: 21 Agustus 2016; Disetujui: 15 Nopember 2016

#### ABSTRAK

Studi ini dimaksudkan untuk menginvestigasi karakteristik dan model matematika kurva pengeringan rumput laut *Eucheuma cottonii*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk perancangan alat pengering rumput laut yang efisien. Pengeringan *E.cottonii* dilakukan dengan menggunakan alat pengering laboratorium terkendali yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data dengan kecepatan udara 0,5 m/detik. Empat variasi RH yang dilakukan pada suhu 50 °C adalah 30%, 40%, 50% dan 60% serta empat variasi suhu yang dilakukan pada RH 40% adalah 40 °C, 50 °C, 60 °C dan 70 °C. Tiga model pengeringan yang diuji adalah model Newton, Henderson & Pabis dan Page. Simulasi model yang paling tepat ditentukan berdasarkan nilai R<sup>2</sup> yang paling tinggi, serta nilai *sum square error* (SSE) dan *root mean square error* RMSE yang paling rendah. Laju pengeringan lapis tipis rumput laut *E.cottonii* umumnya berada pada periode laju menurun. Hal ini sesuai dengan karakteristik pengeringan bahan-bahan biopolimer yang umumnya berlangsung dengan laju menurun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan RH cukup efektif dalam menurunkan kadar air dibandingkan peningkatan suhu. Pada RH rendah yaitu 30% suhu 50 °C, penurunan kadar air 50% dicapai dalam waktu 80-85 menit jauh lebih cepat dari RH 60% suhu 50 °C yaitu 165-170 menit. Pada suhu tertinggi yaitu 70 °C RH 40% penurunan kadar air 50% dicapai dalam waktu 90 menit selisih 15 menit lebih cepat dibandingkan suhu terendah yaitu 40 °C RH 40%. Kajian ini mendapati model pengeringan *E.Cottonii* yang paling sesuai adalah model pengeringan Page dengan nilai R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> terkoreksi, SSE and RMSE berturut - turut sebesar 0,98-0,99 ; 0,96-0,98 ; 0,0002-0,0126 dan 0,0002- 0,0206.

**KATA KUNCI:** model matematika, pengeringan, rumput laut, *Eucheuma cottonii*

#### ABSTRACT

*This study is intended to know the drying characteristics and drying curve mathematical models of Eucheuma cottonii seaweed. The results of this study are expected to be used for the design seaweed efficient dryer. E. cottonii was dried using a laboratory controlled dryer with data acquisition with air velocity of 0,5 m/s. Four variations of RH observed at temperature 50 °C were 30%, 40%, 50% and 60% and four variations of temperature observed at RH 50% were 40 °C, 50 °C, 60 °C and 70 °C. Three drying models were tested, i.e Newton, Henderson & Pabis and Page models. Simulation of the most appropriate model is determined based on the highest R<sup>2</sup>, as well as the lowest sum square error (SSE) and root mean square error (RMSE). The drying rate thin layer of seaweed *E.cottonii* generally at the falling rate period. This is in accordance with the drying characteristics of the biopolymer materials which generally take place at a rate decrease. The results showed that the decrease in RH quite effective in lowering levels of moisture content compared to the increase in temperature. At low RH at 30% and temperature of 50 °C, 50% moisture reduction achieved within 80-85 minutes much faster than RH 60% temperature 50 °C that is 165-170 minutes. At the highest temperature 70 °C and RH 40% reduction in water content of 50% is achieved within 90 minutes just difference 15 minutes faster than the lowest temperature that is 40 °C and RH 40%. The most suitable drying model for E. cottonii was the Page model with R<sup>2</sup>, SSE and RMSE values of 0.98-0.99; 0.96-0.98; 0.0002-0.0126 and 0.0002-0.0206 respectively.*

**KEYWORDS:** mathematical model, drying, seaweed, *Eucheuma cottonii*

## PENDAHULUAN

Rumput laut *Eucheuma cottonii* biasanya dipanen dengan kadar air yang sangat tinggi, dapat mencapai 93%, karena itu proses pengeringan adalah proses penting bagi rumput laut guna menurunkan kadar air. Kadar air yang baik untuk rumput laut kering adalah di bawah 35% (SNI 32%) (Wibowo, Peranginangin, Darmawan & Hakim, 2014). Kadar air maksimal rumput laut di tingkat petani adalah 40% dan lebih disukai 35% (McHugh, 2006). Penurunan kadar air adalah salah satu teknik tertua untuk pengawetan makanan (Saeed, Sopian & Abidin, 2008). Metode mekanik dan panas adalah dua metode dasar untuk menurunkan kadar air pada material padat (Karimi, 2010).

Aspek yang penting dari teknologi pengeringan adalah pemodelan matematika dari proses pengeringan. Prinsip pemodelan didasarkan pada satu set persamaan matematika yang dapat secara baik menjelaskan suatu sistem. Solusi dari persamaan ini harus menyediakan perhitungan parameter proses sebagai fungsi waktu pada setiap titik dalam pengering yang didasarkan pada kondisi primer. Penggunaan model simulasi penting untuk memprediksi performansi sistem pengeringan (Taheeri-Garravanda, Rafieea & Keyhania, 2011). Tujuan pemodelan matematika adalah untuk memudahkan dalam memilih kondisi operasi yang paling cocok dan kemudian mendisain peralatan pengeringan dan ruang pengeringan sesuai dengan kondisi operasi yang diinginkan (Kaleta & Gornichi, 2010).

Tiga model matematika yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Newton, model Henderson dan Pabis dan model Page. Ketiga model dipilih sebagai pembanding dengan data percobaan karena model-model tersebut merupakan model yang umum digunakan untuk menggambarkan karakteristik pengeringan lapisan tipis dan merupakan penyederhanaan model teoritis yang diperoleh dari persamaan difusi (Hukum II Fick). Model Newton merupakan sebuah model matematika pengeringan lapisan tipis yang juga disebut model Lewis. Lewis mendeskripsikan bahwa perpindahan air dari makanan dan bahan pangan dapat ditunjukkan dengan analogi aliran panas dari tubuh ketika tubuh direndam dalam cairan dingin (Kashaninejad, Mortazavi, Safekordi, & Tabil, 2007).

Model Henderson & Pabis telah digunakan pada model pengeringan lapisan tipis untuk berbagai produk pertanian di antaranya digunakan untuk model pengeringan jagung, gandum, beras kasar, kacang dan umbi umbian (Kashaninejad et al., 2007).

Model Page merupakan model yang dimodifikasi dari model Lewis. Page menyarankan model ini

dengan tujuan untuk mengoreksi kekurangan-kekurangan dari model Lewis (Kashaninejad et al., 2007). Model Page telah menghasilkan simulasi yang sesuai untuk menjelaskan pengeringan berbagai produk pertanian dan lebih mudah digunakan dibandingkan dengan persamaan lainnya. Perpindahan uap air melalui difusi secara teoritis lebih sulit serta memerlukan waktu komputasi dalam proses pemasangan data (Yadollahinia, Omid & Rafiee 2008).

Kriteria pembanding yang dipakai untuk menentukan model persamaan yang terbaik selain koefisien determinasi ( $R^2$ ), adalah *sum square error* (SSE) dan *root mean square error* (RMSE) (Yadollahinia et al., 2008; Taheeri-Garavanda et al., 2011). Nilai  $R^2$  digunakan sebagai kriteria pembanding untuk menentukan ketepatan model. Nilai RMSE merupakan deviasi antara nilai prediksi dari model dengan nilai hasil percobaan. Semakin tinggi nilai  $R^2$  dan semakin rendah nilai SSE dan RMSE maka model akan semakin tepat.

Persamaan pengeringan lapisan tipis dapat digunakan untuk memprediksi kurva pengeringan secara umum. Model matematik dan simulasi pengeringan dengan kondisi yang berbeda penting untuk memperoleh kontrol yang lebih baik dalam unit operasi pengeringan dan perbaikan keseluruhan dari kualitas akhir produk (Goyal, Kingsly, Manikantan & Ilyas, 2007). Berbagai penelitian telah menuliskan model matematika untuk pengeringan lapisan tipis seperti pada wortel (Aghabashlo, Kianmehr & Khani, 2008; Setyoprato, 2012), buah kesemek (Doymaz, 2012), plum (Goyal et al., 2007), apel (Meisami-asl & Rafiee, 2009), tomat (Taheeri-Garravand et al., 2011), jamur oyster (Tulek, 2011), *rapeseed* (Duc, Han, Keumb & Keum, 2011), ikan kembung (Hawa, Sumardi & Sari, 2009). Beberapa penelitian tentang pengeringan rumput laut telah dilakukan. Fudholi et al. (2011) telah mempelajari efek temperatur dan kelembaban pada rumput laut *Gracillaria cangii* dan juga mempelajari kinetika pengeringan rumput laut *E.cottonii* pada kelembaban rendah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi karakteristik dan model matematika kurva pengeringan rumput laut *E. cottonii*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk perancangan alat pengering rumput laut yang efisien.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *E.cottonii* segar yang dibeli dari pengepul di Desa Lontar, Serang, Banten. Rumput laut yang telah dibeli, ditransportasikan dan disimpan



Gambar 1. Alat pengering skala laboratorium yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data di Laboratorium Pindah Panas dan Massa , Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB

Figure 1. Laboratory Scale Dryer with Data Acquisition at Heat and Mass Transfer Laboratory, Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB

pada kondisi dingin  $\pm 8$  °C sebelum dikeringkan. Jeda waktu antara sampling *E.cottonii* dan awal penelitian pengeringan adalah 2 hari dan lama waktu penelitian adalah 2,5 minggu.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering skala laboratorium yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data di Laboratorium Pindah Panas dan Massa, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, oven Ikeda Scientific SS204D, desikator, seperangkat komputer, anemometer Kanomax A541.

### Pengoperasian Alat

Pada setiap percobaan, alat pengering dihidupkan sekitar setengah hingga satu jam sebelum percobaan dimulai, untuk menstabilkan ruang pengering dengan kondisi percobaan yang diinginkan. Kondisi percobaan yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1, di mana perlakuan pada proses pengeringan *E.cottonii* terdiri atas dua faktor,

yaitu faktor suhu dan faktor RH. Suhu yang divariasikan RH nya adalah suhu 50 °C sedangkan RH yang divariasikan suhunya adalah 40% yang merupakan suhu dan RH rata-rata yang dipergunakan dalam pengeringan rumput laut. Masing-masing uji coba dilakukan pada laju udara pengering 0,5m/detik.

Suhu pengering yang digunakan dalam penelitian ini adalah 40-70 °C. Sedangkan RH yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah 30-60%. Pengeringan bahan hasil pertanian menggunakan aliran udara pengering yang baik adalah antara 45 °C sampai 75 °C. Pengeringan dengan suhu di bawah 45 °C menyebabkan mikroba dan jamur yang merusak produk masih hidup, sehingga daya awet dan mutu produk rendah. Namun pada suhu udara pengering di atas 75 °C menyebabkan 8 struktur kimiawi dan fisik produk rusak, karena perpindahan panas dan massa air yang berdampak perubahan struktur sel (Setiyo, 2003).

Massa, suhu, dan kelembaban udara pengering dicatat datanya setiap 5 menit selama pengeringan.

Tabel 1. Kondisi percobaan pengeringan  
Table 1. Drying experiment condition

Suhu/Temperature (°C)	Kelembaban relatif/ Relatif humidity (RH) (%)			
	30	40	50	60
40		V		
50	V	V	V	V
60		V		
70		V		

Proses pengeringan berlangsung sampai massa *E. cottonii* konstan. Perubahan massa sampel diukur langsung secara otomatis dengan menggunakan timbangan digital GF-3000 A&D (kapasitas sampai dengan 3000 g dengan ketelitian 0,01 g). Pada saat penimbangan, blower secara otomatis akan mati agar tidak ada udara yang masuk ke ruang pengering.

Parameter pengamatan dan pengolahan data dalam penelitian ini meliputi:

- a. Perubahan massa *E. cottonii* setiap 5 menit selama pengeringan berlangsung
- b. Kadar air akhir/kadar air kesetimbangan  
Pengukuran kadar air akhir dilakukan setelah massa bahan konstan. Pengukuran kadar air akhir dilakukan dengan menggunakan oven pengering secara triplo (BSN, 2006).
- c. Perubahan kadar air selama pengeringan berlangsung  
Perubahan kadar air (per 5 menit) selama pengeringan diolah berdasarkan data kadar air akhir dan data perubahan massa *E. cottonii* setiap 5 menit. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat (t+5)} = \text{Berat (t)} \times \frac{100 - \text{kadar air (t)}}{100 - \text{kadar air (t+5)}}$$

Keterangan :

t = menit ke t

t+5 = menit ke t + 5 menit

- d. Laju Pengeringan (% bk/menit).

Laju pengeringan ditentukan dengan menghitung selisih berat kering bahan selama pengeringan terhadap waktu.

- e. *Moisture Ratio* (MR)

*Moisture Ratio* (MR) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ibrahim, Sopian, & Daud, 2009)

$$MR = \frac{MC - MCe}{MCo - MCe}$$

Keterangan :

MR = *Moisture ratio*

MCe = Kadar air kesetimbangan

MCo = Kadar air awal

MC = Kadar air pada waktu yang ditentukan

### Model Matematika Pengeringan

Model matematika pengeringan *E. cottonii* dihitung berdasarkan data MR hasil percobaan. Data MR hasil percobaan dihubungkan terhadap waktu didalam grafik dan dihitung persamaan matematikanya hingga menghasilkan konstanta pengeringan k, a dan n. Nilai k, a dan n hasil pemodelan digunakan untuk menghasilkan nilai MR model (Yadollahinia & Rafiee, 2008). Analisis regresi eksponensial dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel *spreadsheet* (Microsoft Office 2007).

Tabel 2. Model matematika yang digunakan untuk menggambarkan pengeringan lapis tipis  
Table 2. Mathematical models used to describe thin layer drying

Model/Model	Persamaan/Equation	Pustaka/Reference
Lewis	MR = exp(-kt)    ln (MR) = -kt	Kabganian, Carrier & Sokhansanj, 2002; Krokida, Maroulis & Kremalis 2002; Yaldyz & Ertekyn, 2001
Page	MR = exp(- ktn)    ln (-ln (MR)) = ln(k)+nln (t)	Cronin & Kearny, 1998; Gupta, Ahmet, Shivhare & Raghavan, 2002; Kabganian et al., 2002; Midilli, Kucuk & Yapar, 2002; Yaldyz & Ertekyn, 2001
Henderson and Pabis	MR = a exp(-kt)    ln MR = -kt + ln (a)	Kabganian et al., 2002

Catatan/Note :

MR = *Moisture Ratio*

k, a, n = konstanta pengeringan

Tabel 3. Ketidakpastian parameter selama pengeringan *Eucheuma cottonii*  
 Table 3. *Uncertainties of the parameters during drying Eucheuma cottonii*

Parameter/Parameters	Satuan/Unit	Keterangan/Note
Ketidakpastian pengukuran suhu/ <i>Uncertainty of the measurement of temperature</i> (maksimal/ <i>maximal</i> )	%	1
Ketidakpastian pengukuran Kelembaban Relatif/ <i>Uncertainty of the measurement of relative humidity</i> (maksimal/ <i>maximal</i> )	%	3

Tabel 4. Perbandingan data hasil pengukuran dengan yang diharapkan pada seting alat data  
 Table 4. *Comparison of measured data to the expected data at instrumental set up*

RH yang diharapkan/ <i>Expected RH</i>	40%			
Suhu yang diharapkan/ <i>Expected temperatures</i>	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Suhu aktual/ <i>Actual temperature</i> (°C)	40.5 ± 0.3	50.6 ± 0.8	60.2 ± 0.4	69.8 ± 0.4
RH aktual/ <i>Actual RH</i> (%)	40.1 ± 0.7	40.0 ± 0.2	39.3 ± 0.5	37.6 ± 3.0
RH yang diharapkan/ <i>Expected RH</i>	50 °C			
RH yang diharapkan / <i>Expected RH</i>	30%	40%	50%	60%
Suhu aktual/ <i>Actual temperature</i> (°C)	50.3 ± 0.2	50.6 ± 0.9	50.5 ± 0.3	50.6 ± 0.2
RH aktual/ <i>Actual RH</i> (%)	30.0 ± 0.3	40.1 ± 0.7	49.5 ± 2.0	59.0 ± 3.0

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Akuisisi dan kehandalan data

Kesalahan dan ketidakpastian dapat muncul dari pemilihan instrumen, kondisi, kalibrasi, lingkungan, observasi, pembacaan dan rencana pengujian (Apkinar, Midilli & Bicer, 2003). Dalam penelitian pengeringan *E. cottonii*, suhu, kelembaban relatif, dan penurunan berat diukur dengan alat-alat pengering di laboratorium yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data. Selama pengukuran, ketidakpastian pengukuran disajikan pada Tabel 3. Adapun hasil rata-rata dan standar deviasi RH dan temperatur dari masing-masing percobaan disajikan pada Tabel 4.

Secara umum suhu dan kelembaban relatif (RH) selama penelitian cukup stabil dan sesuai dengan pengaturan alat. Nilai rata-rata ketidakpastian pengukuran untuk suhu adalah 1% dan nilai rata-rata ketidakpastian pengukuran untuk RH adalah 3%. Ketidakpastian pengukuran pada RH terbesar, terjadi pada pengaturan suhu tertinggi yaitu 70 °C, RH 40%. Kesulitan alat mencapai RH 40% dapat dipahami karena semakin tinggi suhu, maka RH cenderung semakin rendah. Ketidakpastian sampel dihindari dengan penjagaan sampel selama transportasi dan penyimpanan. Sebelum percobaan sampel disimpan pada suhu dingin untuk menghindari kerusakan.

## Karakteristik Pengeringan

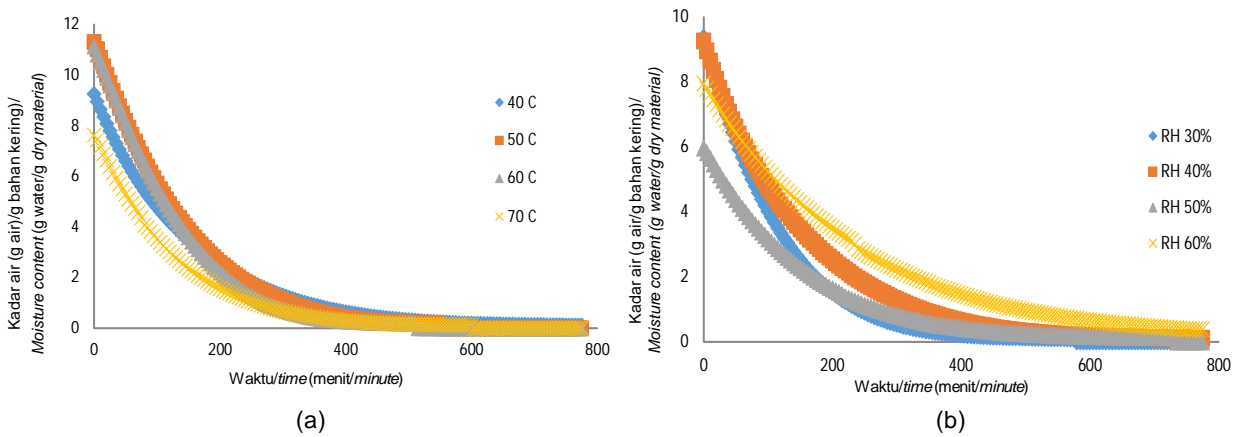
### Kurva kadar air terhadap waktu

Pengaruh kondisi pengeringan terhadap penurunan kadar air basis kering *E. cottonii* ditunjukkan pada Gambar 2. Penurunan kadar air terjadi dengan cepat pada menit-menit awal pengeringan, dan melambat seiring bertambahnya waktu pengeringan.

Dalam penelitian ini diketahui bahwa penurunan RH lebih efektif dalam menurunkan kadar air dibandingkan peningkatan suhu. Pada RH yang rendah yaitu 30%, penurunan kadar air 50% dicapai dalam waktu 80-85 menit, 2 kali lipat lebih cepat dari RH 60% yaitu 165-170 menit, sedangkan untuk menurunkan kadar air sebanyak 80% diperlukan waktu 180 menit, jauh lebih cepat dibandingkan RH 60% yaitu 380 menit. Pada suhu tertinggi yaitu 70 °C dibutuhkan waktu 90 menit untuk menurunkan kadar air sebanyak 50%, dan 205 menit untuk menurunkan kadar air sebanyak 80%, jika dibandingkan dengan suhu 40 °C hanya selisih 15 menit lebih cepat pada penurunan kadar air 50% dan 40 menit lebih cepat pada penurunan kadar air 80%.

### Kurva laju pengeringan terhadap waktu

Laju pengeringan menunjukkan banyaknya uap air yang diuapkan per satuan waktu. Laju pengeringan



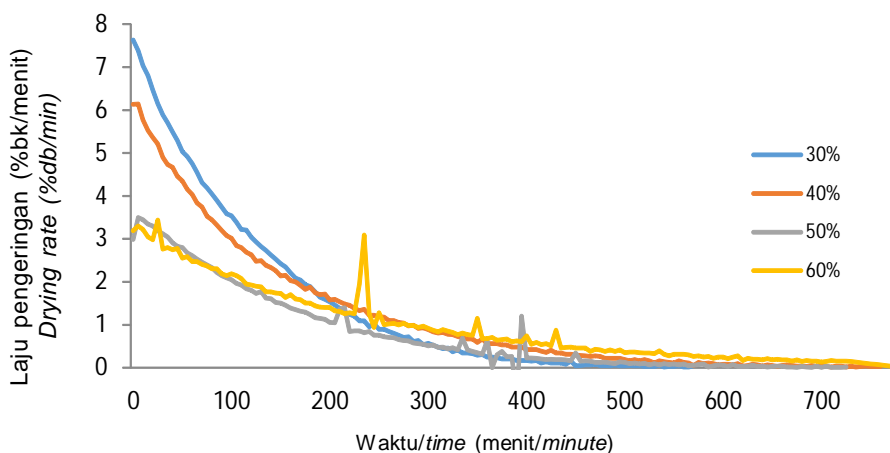
Gambar 2. Hubungan antara waktu dan kadar air pada (a) RH 40% (b) suhu 50 °C  
 Figure 2. Correlation between time and moisture content at (a) RH 40% (b) temperature 50 °C

atau kecepatan pengeringan suatu bahan, dipengaruhi oleh sifat bahan dan kondisi operasi pengeringan. Kondisi operasi yang menjadi variabel pengeringan terdiri dari aliran gas pengeringan, suhu, tekanan operasi, kelembaban udara, arah aliran udara pengering dan waktu.

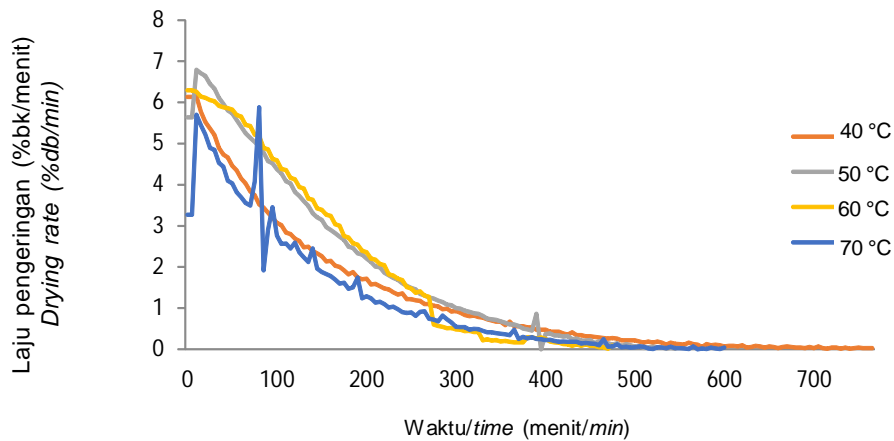
Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa besaran laju pengeringan *E. cottonii* cenderung menurun seiring bertambahnya waktu, sehingga dapat dikatakan bahwa pengeringan rumput laut *E. cottonii* berada pada laju pengeringan menurun. Hasil yang sama untuk jenis tanaman yang berbeda yaitu tomat dan beberapa buah dan sayuran telah dilaporkan (Akanbi, Adeyemi & Ojo, 2006; Akpinar, 2006). Dalam laju pengeringan menurun, proses difusi merupakan mekanisme fisik yang dominan dalam pergerakan kadar air di dalam bahan (Sinha, Hui, Özgül, Siddiq & Ahmed, 2010).

Pada Gambar 4 tampak bahwa laju pengeringan pada tahap awal yaitu 10 menit pertama mengalami kenaikan kemudian setelah itu mengalami penurunan, ini menunjukkan bahwa pengeringan *E. cottonii* pada RH 40% dengan variasi suhu mengalami periode *initial adjustment* yaitu periode awal di mana laju pengeringan naik atau turun dengan cepat.

Dari Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa nilai laju pengeringan pada tahap awal lebih tinggi daripada nilai laju pengeringan tahap akhir. Semakin tinggi laju pengeringan artinya jumlah yang diuapkan per menit semakin besar. Hal yang menjadi penyebab penurunan kadar air yang relatif besar di awal pengeringan adalah karena pada awal pengeringan kandungan air bebas yang berada di permukaan bahan masih tinggi sehingga terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air sampai tekanan uap air pada permukaan menurun. Pada tahap berikutnya



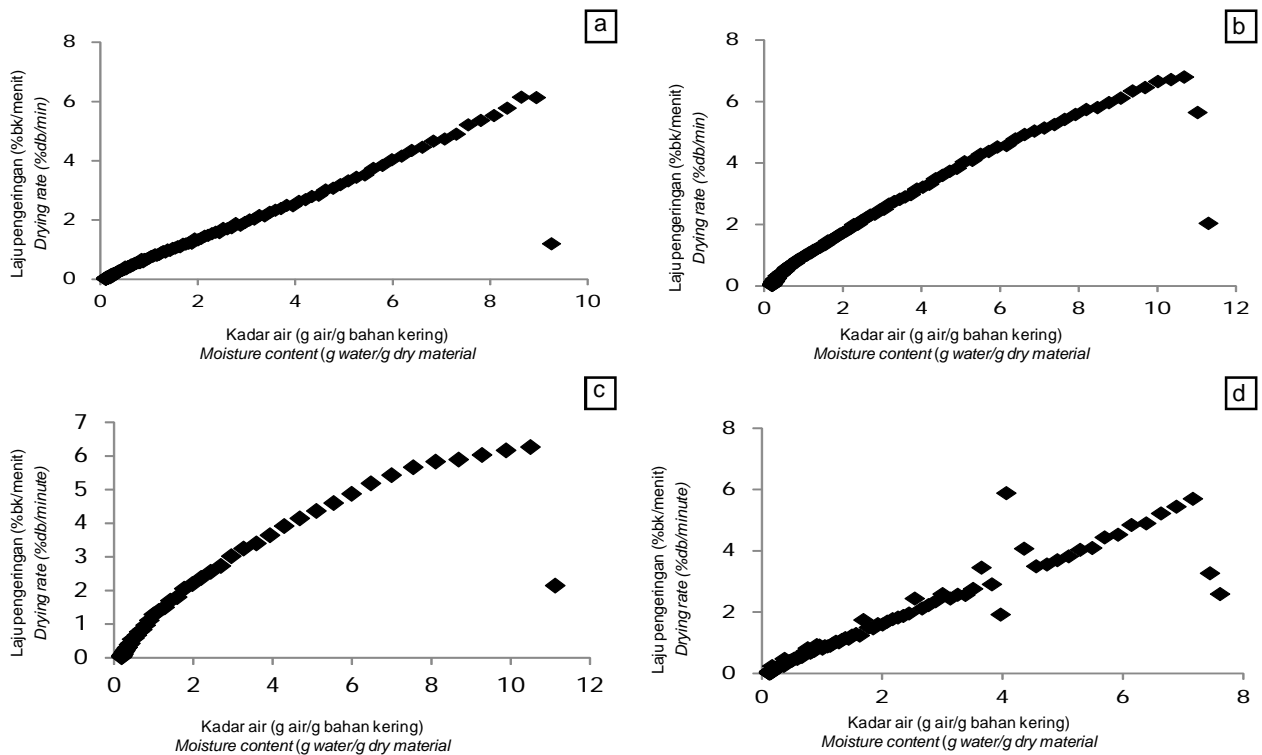
Gambar 3. Hubungan waktu dan laju pengeringan pada suhu 50 °C  
 Figure 3. Correlation between time and drying rate at temperature 50 °C



Gambar 4. Hubungan waktu dan laju pengeringan pada RH 40% pada berbagai variasi suhu  
 Figure 4. Correlation between drying rate and time at RH 40% at various temperature

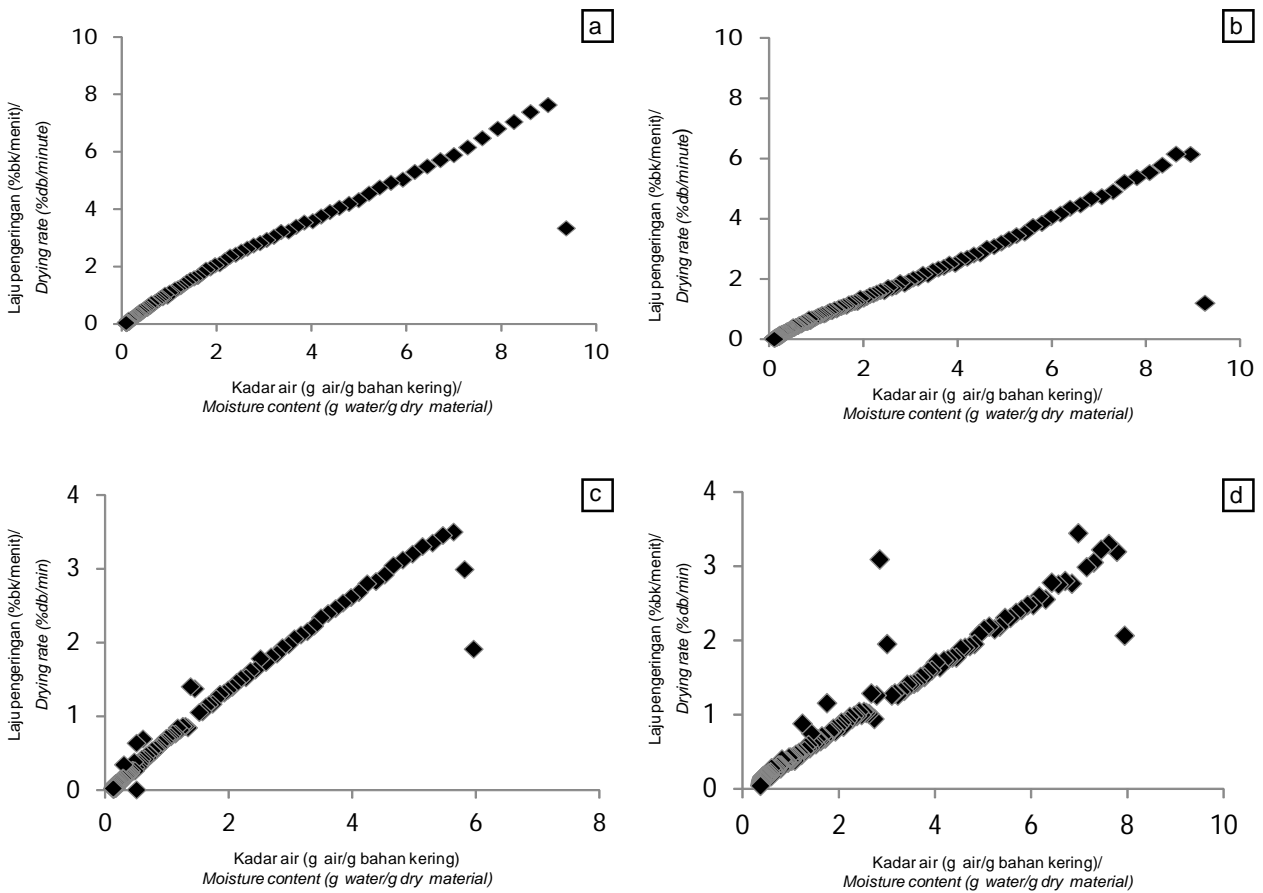
terjadi perpindahan air dari bahan ke permukaan secara difusi yang mengakibatkan penurunan massa air menjadi lebih lambat. Setelah air bahan semakin berkurang, maka tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitarnya dan tidak terjadi perpindahan air lagi (Chen & Mujumdar, 2009).

Proses pengeringan dengan laju pengeringan menurun sangat tergantung pada sifat-sifat alami bahan yang dikeringkan. Laju perpindahan massa selama proses ini dikendalikan oleh perpindahan internal bahan (Istadi, Sumardiono & Anas, 2002). Pada Gambar 3, pada suhu 70 °C, kurva suhu pengeringan tampak tidak stabil dan grafik laju



Gambar 5. Hubungan antara kadar air dan laju pengeringan pada RH 40% pada variasi suhu a) 40 °C, b) 50 °C, c) 60 °C, d) 70 °C

Figure 5. Correlation between moisture content and drying rate at RH 40% at various temperature a) 40 °C , b) 50 °C , c) 60 °C, d) 70 °C



Gambar 6. Hubungan antara kadar air dan laju pengeringan pada suhu 50 °C pada variasi RH a) 30%, b) 40%, c) 50%, d) 60%

Figure 6. Correlation between moisture content and drying rate at temperature 50 °C at various RH a) 30%, b) 40%, c) 50%, d) 60%

pengeringan lebih rendah dibandingkan suhu lainnya. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan proses *case hardening*. Suhu yang terlalu tinggi tidak dianjurkan karena suhu yang tinggi dapat merusak komponen aktif yang terkandung dalam rumput laut.

#### Kurva laju pengeringan terhadap kadar air

Kurva laju pengeringan terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6, Pada variasi suhu dan RH tampak bahwa pada kadar air tinggi, laju pengeringan juga tinggi, dan laju pengeringan menurun seiring berjalannya proses pengeringan. Menurut Thao dan Noohorm (2011) seiring berjalannya proses pengeringan, laju pengeringan menurun karena air yang diuapkan di permukaan bahan semakin sedikit dan mengandalkan perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan. Pada variasi suhu, laju pengeringan tertinggi dari suhu yang diujikan hampir sama yaitu pada kisaran 6%bk/menit. Pada variasi RH, laju pengeringan tertinggi pada RH rendah mencapai 6-

7% bk/menit. Sedangkan pada RH tinggi 50% dan 60% laju pengeringan tertingginya hanya setengahnya 3.5%bk/menit

#### Model matematika pengeringan *E. cottonii*

Berdasarkan model yang disusun pada Tabel 5 dan 6, yang diperlihatkan pada model Lewis dan Henderson, semakin rendah RH maka konstanta pengeringan cenderung semakin besar dan pada suhu yang tinggi konstanta pengeringan cenderung semakin besar. Pada kelembaban yang rendah proses penghilangan air bebas berlangsung lebih cepat dan sedikit hambatan dibandingkan pada kelembaban yang tinggi. Semakin tinggi temperatur udara dan kadar air bahan menyebabkan gaya dorong antara kandungan air di dalam bahan dan di udara makin besar sehingga cenderung mendorong keluarnya air dari dalam bahan sehingga difusifitas air makin besar, selanjutnya dapat meningkatkan besarnya konstanta pengeringan (Istadi et al., 2002)



Tabel 5. Model dan konstanta pengeringan lapis tipis pada suhu 50 °C  
 Table 5. Model and drying coefficient of thin layer drying at temperature 50 °C

Model	RH (%)	k	a	n	Persamaan /equation
Lewis	30	0.01100			$\ln(MR) = -0.011t$
	40	0.01000			$\ln(MR) = -0.01t$
	50	0.00800			$\ln(MR) = -0.008t$
	60	0.00600			$\ln(MR) = -0.006t$
Henderson & Pabis	30	0.01300	1.768.267		$\ln(MR) = -0.013 t + \ln(1.768267)$
	40	0.01200	2.190.216		$\ln(MR) = -0.012 t + \ln(2.190216)$
	50	0.00900	1.714.292		$\ln(MR) = -0.009 t + \ln(1.714292)$
	60	0.00700	1.698.932		$\ln(MR) = -0.007 t + \ln(1.698932)$
Page	30	0.00515		1.125	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00515) + 1.125 \ln(t)$
	40	0.00286		1.206	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00286) + 1.206 \ln(t)$
	50	0.00372		1.125	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00372) + 1.125 \ln(t)$
	60	0.00266		1.114	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00266) + 1.114 \ln(t)$

Tabel 6. Model dan konstanta pengeringan lapis tipis E. cottonii pada RH 40%  
 Table 6. Model and drying constanta thin layer drying E. cottonii at RH 40%

Model	Suhu/ Temperature (°C)	K	a	n	Persamaan/equation
Lewis	40	0.008000			$\ln(MR) = -0.008t$
	50	0.010000			$\ln(MR) = -0.01t$
	60	0.012000			$\ln(MR) = -0.012t$
	70	0.010000			$\ln(MR) = -0.01t$
Henderson & Pabis	40	0.009000	1.604.801		$\ln(MR) = -0.09t + \ln(1.604801)$
	50	0.013000	2.332.638		$\ln(MR) = -0.013t + \ln(2.33263)$
	60	0.014000	2.081.315		$\ln(MR) = -0.014t + \ln(2.081315)$
	70	0.012000	1.858.928		$\ln(MR) = -0.012t + \ln(1.858928)$
Page	40	0.004883		1.073	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00488) + 1.073 \ln(t)$
	50	0.002792		1.211	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00279) + 1.211 \ln(t)$
	60	0.002590		1.256	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.00259) + 1.256 \ln(t)$
	70	0.003739		1.162	$\ln[-\ln(MR)] = \ln(0.003739) + 1.162 \ln(t)$

Pengkorelasi model Newton, model Henderson & Pabis dan model Page yang sesuai dengan data hasil eksperimen menunjukkan bahwa model Page merupakan model yang paling sesuai dengan karakteristik pengeringan lapisan tipis *E. cottonii*, yang diujikan dengan variasi RH dan suhu. Nilai R<sup>2</sup> pada model Page tertinggi dibandingkan model lainnya yang berkisar pada 0,98-0,99, dan nilai R<sup>2</sup> terkoreksi adalah 0,96 pada variasi RH dan 0,98 pada variasi suhu. Dengan RMSE yang sangat rendah berkisar antara 0,0002-0,0206 dan nilai SSE 0,0002-0,0126.

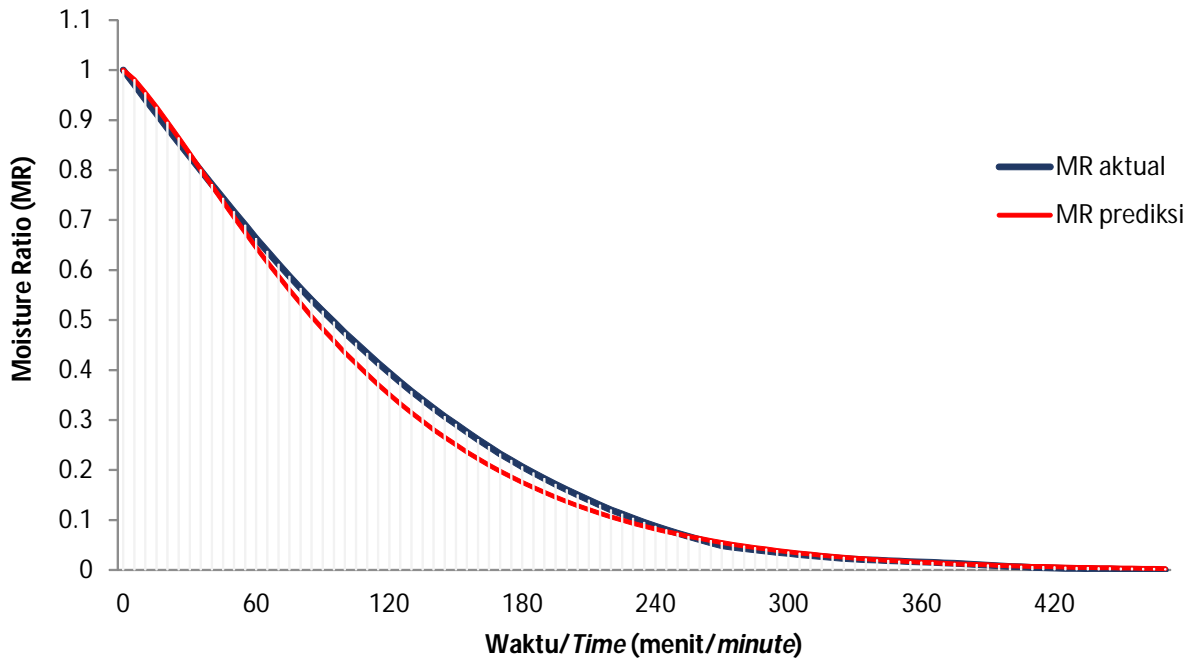
Meskipun nilai rata-rata RMSE model Page pada variasi kelembaban sedikit lebih tinggi (0,02

dibandingkan model Lewis dan nilai rata-rata SSE model Page pada variasi suhu lebih tinggi (0,01) dibandingkan model Lewis, namun model Page tetap paling sesuai karena nilai R<sup>2</sup> sebagai pedoman utama yang dimiliki model tersebut tertinggi (0,99) untuk kedua variasi (suhu dan RH) sedangkan RMSE dan SSE yang diperolehnya sangat rendah yang merupakan data pendukung.

Berdasarkan validasi model diketahui bahwa ada 99% data yang berada pada model Page (R<sup>2</sup>), namun dengan mempertimbangkan ketidakpastian pengukuran suhu sebesar 1% dan RH sebesar 3% (R<sup>2</sup> terkoreksi) dan adanya pembesaran error dapat

Tabel 7. Analisis statistik keabsahan model pengeringan  
 Table 7. Statistical analysis of drying model

Kelembaban Relatif/ Relative Humidity (%)	Lewis						Henderson & Pabis						Page			
	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> terkoreksi/ corrected R <sup>2</sup>	SSE	RMSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> terkoreksi/ corrected R <sup>2</sup>	SSE	RMSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> terkoreksi/ corrected R <sup>2</sup>	SSE	RMSE	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> terkoreksi/ corrected R <sup>2</sup>	SSE	RMSE
30	0.956	0.926	0.0019	0.0439	0.973	0.943	0.0223	0.1492	0.994	0.964	0.0002	0.0128	0.994	0.964	0.0002	0.0128
40	0.889	0.859	0.0694	0.0048	0.925	0.895	0.0653	0.2555	0.988	0.958	0.0186	0.0002	0.988	0.958	0.0186	0.0002
50	0.940	0.910	0.0355	0.0013	0.957	0.927	0.0002	0.1542	0.994	0.964	0.0001	0.0097	0.994	0.964	0.0001	0.0097
60	0.868	0.838	0.0775	0.0027	0.894	0.864	0.0005	0.1590	0.985	0.955	0.0112	0.1059	0.985	0.955	0.0112	0.1059
Rerata/Average	0.913	0.883	0.0461	0.0132	0.937	0.907	0.0221	0.1794	0.99	0.960	0.0075	0.0322	0.99	0.960	0.0075	0.0322
Suhu/ Temperature °C																
40	0.95	0.95	0.0012	0.035	0.963	0.953	0.0033	0.0579	0.991	0.981	0.0003	0.0190	0.991	0.981	0.0003	0.0190
50	0.871	0.871	0.0048	0.0693	0.909	0.899	0.0752	0.2743	0.994	0.984	0.0400	0.0206	0.994	0.984	0.0400	0.0206
60	0.923	0.923	0.0085	0.0924	0.956	0.946	0.0462	0.215	0.992	0.982	0.0400	0.0206	0.992	0.982	0.0400	0.0206
70	0.940	0.940	0.047	0.0022	0.962	0.952	0.0291	0.1706	0.986	0.976	0.0002	0.0122	0.986	0.976	0.0002	0.0122
Rerata/Average	0.921	0.921	0.0154	0.0497	0.948	0.938	0.0385	0.1794	0.990	0.981	0.0201	0.0181	0.990	0.981	0.0201	0.0181



Gambar 7. Kurva pengeringan model matematika *E. cottonii* pada suhu 60°C dan RH 40%  
 Figure 7. Drying curve matematic model of *E. cottonii* at temperature 60°C and RH 40%.

dikatakan bahwa tingkat kepercayaan pada model Page yang dihasilkan secara umum adalah di atas 90 %.

Gambar 7. merupakan salah satu contoh aplikasi penggunaan model matematika dalam membuat kurva pengeringan MR *E. cottonii*, hasil perbandingan MR aktual yang diperoleh dengan MR prediksi, di mana data yang digunakan adalah data MR aktual pada suhu 60°C dan RH 40%, dan MR prediksi merupakan hasil penggunaan persamaan model Page dengan konstanta-konstanta yang diperoleh dari penelitian ini yaitu  $\ln[-\ln(MR)] = \ln(0,00259) + 1,256 \ln(t)$  (Tabel 6). Dari Gambar 7 tampak bahwa kurva MR prediksi sangat mendekati dengan kurva MR aktual sehingga dapat dikatakan bahwa model Page ini cocok sebagai model matematika pengeringan rumput laut *E. cottonii*.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Laju pengeringan lapis tipis rumput laut *E. cottonii* umumnya berada pada periode laju menurun. Hal ini sesuai dengan karakteristik pengeringan bahan-bahan biopolimer yang umumnya berlangsung dengan laju menurun. Hasil kajian ini menginformasikan bahwa model matematika pengeringan rumput laut yang paling sesuai adalah model Page dengan nilai R<sup>2</sup> berkisar pada 0,98-0,99, dan nilai R<sup>2</sup> terkoreksi adalah 0,96 pada variasi RH dan 0,98 pada variasi suhu. RMSE berkisar antara 0,0002-0,0206 dan nilai SSE 0,0002- 0,0126.

Model matematika yang dihasilkan dalam penelitian ini terbatas penggunaannya pada RH dan suhu yang sama dengan penelitian ini, untuk mengetahui model persamaan pada suhu dan RH yang berbeda dari penelitian ini perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

**DAFTAR PUSTAKA**

Aghabashlo, M., Kianmehr, M.H., & Khani, S. (2008). Mathematical modeling of carrot thin layer drying using new model. *Energy Conversion and Management*, 49, 201-212.

Akanbi, C.T., Adeyemi, R.S., & Ojo, A. (2006) Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering*, 73, 157–163.

Akpinar, E. K., Midilli, A. & Bicer, Y. (2003). Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*, 44 (10), 1689-1705.

Akpinar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75-84.

[BSN]. Badan Standardisasi Nasional. (2006). Standar Nasional Indonesia Analisis Kadar Air pada produk perikanan (SNI 01-2354.2-2006). Jakarta

Chen, X. D. & Mujumdar, A. S. (2009). *Drying Technologies in Food Processing*. New York: John Wiley & Sons.

Cronin, K. & Kearney, S. (1998). Monte Carlo modeling of a vegetable tray dryer. *Journal of Food Engineering*, 35, 233-250.

- Doymaz, L. (2012). Evaluation of some thin-layer drying models of persimmon slices (*Diospyros kaki* L.). *Energy Conversion and Management*, 56, 199-205.
- Duc, L. A., Han, J. W., Keumb, & Keum, D. H. (2011). Thin layer drying characteristics of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Stored Products Research*, 47, 32-38.
- Fudholi, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Yahya, M., Zaharim, A., & Sopian, K. (2011). The effects of drying air temperature and humidity on drying kinetics of seaweed. *Recent Research in Geography, Geology, Energy, Environment and Biomedicine*, Corfu, 129-133.
- Goyal, R. K., Kingsly, A. R. P., Manikantan, M. R. & Ilyas, S. M. (2007). Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 176-180.
- Gupta, P., Ahmet, J., Shivhare, U. S., & Raghavan, G. S. V. (2002). Drying characteristics of red chilli. *Drying Technology*, 20 (10), 1975-1987.
- Hawa, L. C., Sumardi, H. S., & Sari, E. P. (2009). Penentuan karakteristik pengeringan lapisan tipis ikan kembung (*Rastrelliger* sp.) *Jurnal Teknologi Pertanian*, 10 (3), 153-161.
- Ibrahim, M., Sopian, K., & Daud, W.R.W. (2009). Study of the Drying Kinetics of Lemon Grass. *American Journal of Applied Sciences*, 6 (6), 1070-1075.
- Istadi, Sumardiono, S., & Soestrisnasnto, D. (2002). Penentuan Konstanta Pengeringan dalam Sistem Pengeringan Lapis Tipis (*Thin Layer Drying*). Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia. Inovasi Produk Berkelanjutan, Hotel Sahid Jaya Jakarta.
- Kaleta, A., & Gornicki, K. (2010). Some remarks on evaluation of drying models of red beet particle. *Energy Conversion and Management*, 51, 2967-2978.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., & Tabil, L. G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*, 78, 98-108.
- Karimi, F. (2010). Applications of super Heated steam for the drying of food products. *Int. Agrophysics*, 24, 195-204.
- Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., & Kremalis, C. (2002). Process design of rotary dryers for olive cake. *Drying Technology*, 20(4-5), 771-788.
- Kabganian, R., Carrier, D. J., & Sokhansanj, S. (2002). Physical characteristics and drying rate of Echinacea root. *Drying Technology*, 20(3), 637-649.
- Meisami-asl, E., & Rafiee, S. (2009). Mathematical modeling of kinetics of thin-layer drying of apple (var. Golab). *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript*, 1185.
- McHugh, D. J. (2006). *The Seaweed Industry in The Pacific Islands*. ACIAR Working Paper, 61 : 55 pp.
- Midilli, A., Kucuk, H. & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20 (7), 1503-1513.
- Saeed, I. E., Sopian, K., & Abidin, Z. (2008). Drying characteristics of roselle (1): mathematical modeling and drying experiments. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript* FP 08 015. Vol.X.
- Setiyo, Y. (2003) Aplikasi Sistem Kontrol Suhu dan Pola Aliran Udara Pada Alat Pengering Tipe Kotak untuk Pengeringan Buah Salak, Pengantar Falsafah Sains. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Setyoprato, P. (2012). Model matematika pengeringan lapis tipis. *Berkala Ilmiah Teknik Kimia*, 1 (1), 54-59.
- Sinha, N., Hui, Y. H., Özgül, E., Siddiq, M., & Ahmed, J. (2010). *Handbook of Vegetables and Vegetable Processing*. John Wiley & sons.
- Taheri-Garavanda, A., Rafiee, S., & Keyhania, A. (2011). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of tomato influence of air dryer conditions. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, 2 (2), 147-160.
- Thao, H. M., & Noomhorm, A. (2011). Modelling and effects of various drying methods on sweet potato starch properties. *Walailak J., Sci., Technol.*, 8, 139-158.
- Tulek, Y. (2011). Drying kinetics of oyster mushroom (*pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer. *J. Agr. Sci. Tech.*, 13, 655-664.
- Yadollahinia, A.R., Omid, M., & Rafiee, S. (2008). Design and Fabrication of Experimental Dryer for Studying Agricultural Products. *Int. J. Agri.Bio.*, 10, 61-65.
- Yaldyz, O., & Ertekyn, C. (2001). Thin layer solar drying of some vegetables. *Drying Technology*, 19, 583-596.
- Wibowo, S., Peranginangin, R., Darmawan, M., & Hakim, A.R. (2014). Teknik Pengolahan ATC dari Rumput Laut *Eucaema cottonii*. ISBN(13) 978-979-002-668-1. p. 76, Penebar Swadaya.