

PEMILIHAN KORELASI KANDUNGAN AIR SETIMBANG (TIGA PARAMETER) UNTUK PRODUK PERTANIAN PADI

J.P. Sitompul, Istadi ^{*)}, dan S. Sumardiono

Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10, Bandung, 40132

E-mail: johnner@termo.pauir.itb.ac.id

Abstract

This paper concerns about selection of equilibrium moisture content-correlation of paddy, based on non-linear parameter estimation. The mathematical prediction of paddy sorption isotherm was developed for three-parameter EMC correlations such as that of Modified-Henderson, Modified-Chung-Pfost, Modified-Oswin, and Modified-Halsey. Moisture sorption experimental data were determined using a dynamic method at temperature 30 °C, 40 °C and water activity range of 0.07 - 0.75. The vapor pressure variations of air surrounding the grains were adjusted by varying sulfuric acid solution. Non-linear regression algorithms such as Simplex and/or Rosenbrock were used to fit the measured data to the EMC correlations. The study found that generalized correlation coefficient (R^2) and the mean relative deviation were in the range of 0.85-0.99 and 1 % - 11 % respectively. In view of selection, it will be able to get the best equations among them to represent equilibrium moisture content of paddy grains. Furthermore, the Modified-Henderson correlation gives the best model for predicting the adsorption and desorption EMC for the range of temperature and water activity studied.

Keywords: EMC model, curve fitting, desorption-adsorption isotherm, paddy grains

1. PENDAHULUAN

Teknologi pengeringan memegang peranan sangat penting dalam proses-proses industri khususnya industri-industri pertanian, makanan, farmasi, pulp dan kertas, mineral, polimer, dan tekstil. Produk-produk pertanian berbentuk butiran, seperti: jagung, padi, kopi, dan lain-lain, biasanya dipanen dengan kadar air yang tinggi. Teknologi pengeringan banyak dilakukan dalam rangka proses pengawetan produk-produk tersebut sebelum dilakukan proses pengepakan. Konsep penting pada teori pengeringan dan pembasahan bahan-bahan biologis (khususnya bidang pertanian) adalah kandungan air kesetimbangan (equilibrium moisture content-EMC). Kandungan air ini merupakan salah satu faktor yang menentukan sampai seberapa jauh suatu bahan padat dapat dikeringkan pada kondisi lingkungan tertentu (aktivitas air tertentu). Konsep ini merupakan tolok ukur kemampuan berkembangnya mikro organisme yang menyebabkan terjadinya kerusakan atau pembusukan bahan pada saat penyimpanan.

Proses pengeringan merupakan proses yang kompleks dalam penggambaran fenomena-fenomena perpindahan yang simultan, multifasa dan multidimensi seperti perpindahan massa, energi, dan momentum. Pengembangan model-model matematis untuk menjelaskan proses-proses perpindahan dalam pengeringan tersebut merupakan topik penelitian yang digunakan oleh beberapa peneliti terdahulu hingga saat ini baik satu dimensi maupun dua dimensi (Istadi *et al.*, 1999; Sitompul *et al.*, 1999; Sitompul *et al.*, 2000a; Parry, 1985). Dalam hal ini, korelasi kandungan air setimbang digunakan dalam model pengeringan untuk mengetahui kelembaban udara setimbang di lapisan batas (permukaan butiran).

Penelitian tentang pemilihan korelasi EMC telah dilakukan oleh Sun dan Woods (1998) dengan membandingkan beberapa persamaan EMC/ERH untuk butiran jagung, demikian juga oleh Sitompul *et al.* (2000b & 2000c). Menurut Sun dan Woods (1998), persamaan Modified-Chung-Pfost dan

^{*)} **Afiliasi Tetap** : Jurusan Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto, Semarang, 50239

Modified-Oswin merupakan persamaan yang paling sesuai untuk produk butiran jagung. Sedangkan menurut Sitompul *et al.* (2000b), persamaan Modified-Henderson dan persamaan Modified-Oswin merupakan persamaan yang sesuai untuk produk butiran jagung. Pemilihan persamaan EMC dengan dua parameter telah dilakukan oleh Papadakis *et al.* (1993) dan Sitompul *et al.* (2000c). Namun demikian, korelasi EMC dua parameter kurang memberikan korelasi yang baik dibandingkan dengan korelasi tiga parameter.

Dalam penelitian ini, penentuan kandungan air setimbang dilakukan dengan metode dinamik pada temperatur 30 °C dan 40 °C. Data-data eksperimen yang diperoleh kemudian dikorelasikan (*fitting*) pada model-model EMC (Tabel 1) untuk mendapatkan korelasi yang paling sesuai untuk produk butiran padi. Proses pengkorelasian dilakukan dengan metode regresi non-linier dengan algoritma SIMPLEX menggunakan kode komputer dalam bahasa FORTRAN.

2. KORELASI-KORELASI KANDUNGAN AIR SETIMBANG

Bila bahan padat yang basah dibiarkan berhubungan dengan udara kering di sekitarnya, maka air akan berpindah dari bahan tersebut ke fasa udara. Hal ini terjadi karena tekanan uap air di udara lebih kecil daripada tekanan uap air cairan di padatan. Jika tekanan parsial uap air di udara sama dengan tekanan parsial uap air cairan di padatan, maka dikatakan bahwa kandungan air bahan tersebut merupakan kandungan air kesetimbangan atau *equilibrium moisture content* (EMC). Perbandingan antara tekanan uap air kesetimbangan dengan tekanan uap air jenuhnya disebut kelembaban relatif kesetimbangan atau *equilibrium relative humidity* (ERH) atau disebut juga dengan aktivitas air (*water activity*) yang dinyatakan dengan a_w (Sokhansanj *et al.*, 1995; Marinos-Kouris *et al.*, 1995).

Hubungan antara kandungan air kesetimbangan dengan aktivitas air yang sesuai pada temperatur tertentu dinamakan isoterm sorpsi air (*water sorption isotherm*). Parameter ini sangat menentukan sifat-sifat bahan kaitannya dengan proses penyimpanan bahan. Isoterm ini juga dapat digunakan untuk menentukan panas isosterik sorpsi (*sorption isosteric heat*) dan selanjutnya kebutuhan energi untuk pengeringan bahan padat dapat diperkirakan. Dengan isoterm ini pula dapat ditentukan mekanisme sorpsi air seperti halnya derajat keterikatan air (*degree of bound water*). Isoterm ini berbeda-beda tergantung pada jalannya proses, jika diperoleh dengan cara pembasahan maka disebut adsorpsi, jika dengan pengeringan maka disebut desorpsi.

Banyaknya model persamaan sorpsi yang dikembangkan menunjukkan bahwa pengembangan model matematik yang dapat menjelaskan data-data sorpsi pada rentang aktivitas air yang lebih lebar dan berlaku untuk bermacam-macam produk serta berbagai temperatur ternyata lebih sulit. Dalam hal ini, pemilihan model-model EMC tersebut harus memperhatikan beberapa faktor, antara lain : (a) kesesuaian data sorpsi terhadap model, (b) rentang aplikasi, (c) dasar teori parameter-parameter, (d) kesederhanaan, dan (e) tujuan yang diinginkan (Marinos-Kouris *et al.*, 1995). Beberapa persamaan model baik secara teoritis, semiempiris maupun empiris telah diusulkan oleh para peneliti untuk menjelaskan fenomena histeresis yang dapat dilihat pada Tabel 1. Beberapa peneliti menyatakan bahwa model GAB merupakan model yang paling baik untuk menjelaskan isoterm sorpsi air pada berbagai macam bahan makanan dan rentang aktifitas air yang lebar (0-0.9).

Bermacam-macam metode analisa regresi dapat digunakan untuk pengkorelasian (*curve fitting*) model-model di atas terhadap data-data eksperimen. Metode regresi non-linier lebih baik digunakan daripada metode regresi linier, karena regresi linier memberikan hasil pengkorelasian yang kurang baik dan sebaiknya dihindari (Marinos-Kouris *et al.*, 1995). Pengkorelasian persamaan dalam penelitian ini menggunakan metode optimasi numerik Simplex atau Rosenbrock. Model-model yang dikorelasikan dalam makalah ini adalah model-model EMC untuk tiga parameter seperti: Modified-Henderson, Modified-Chung-Pfost, Modified-Oswin, Modified-Halsey yang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Model-model korelasi dengan 3 parameter untuk prediksi kandungan air setimbang padatan (Stencl *et al.*, 1998; Barrozo *et al.*, 1996)

No.	Nama	Persamaan	Referensi
1	Modified Henderson	$X^* = \left(\frac{\ln(1-A_w)}{-A(T+C)} \right)^{1/B}$	(Thompson <i>et al.</i> , 1968)
2	Modified Chung-Pfost	$X^* = \frac{-1}{B} \ln \left(\frac{(C+T) \ln A_w}{-A} \right)$	(Chung & Pfost, 1967)
3	Modified Oswin	$X^* = (A+B T) \left(\frac{A_w}{1-A_w} \right)^C$	(Stencl <i>et al.</i> , 1998)
4	Modified Halsey	$X^* = \left(\frac{\exp(A+B T)}{-\ln A_w} \right)^C$	(Stencl <i>et al.</i> , 1998)

Korelasi (1) merupakan modifikasi dari persamaan Henderson (1952) berdasarkan pada model sorpsi Gibbs untuk menyesuaikan dengan produk butiran (Thompson *et al.*, 1968). Korelasi (2) diusulkan oleh Chung & Pfost (1967) berdasarkan teori potensial adsorpsi dan merupakan penyederhanaan dari persamaan keadaan (EOS). Korelasi (3) merupakan pengembangan dari deret matematik untuk bentuk kurva sigmoid. Korelasi (4) merupakan modifikasi empirik dari persamaan Halsey (1948) berdasarkan pada model teoritis BET (Brunnauer-Emmet-Teller)..

3. BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah butiran padi, asam sulfat, dan udara. Padi yang merupakan produk pertanian utama di Indonesia dapat diperoleh dengan mudah di beberapa tempat baik dalam keadaan kering atau basah. Asam sulfat pekat yang digunakan untuk membuat larutan asam sulfat, dapat diperoleh dari distributor bahan kimia atau toko bahan kimia. Untuk mendapatkan hasil eksperimen yang baik, asam sulfat kualitas p.a digunakan untuk membuat larutan asam sulfat. Akuades digunakan untuk pelarut dan air pencuci. Konsentrasi larutan asam sulfat yang digunakan untuk membuat terjadinya kelembaban udara tertentu, dibuat berdasarkan kurva hubungan antara kelembaban relatif dan konsentrasi larutan asam sulfat yang dapat diperoleh dari literatur (Wilson, 1921; Molnar, 1995).

Penentuan EMC butiran padi pada penelitian ini dilakukan dengan metode dinamik (Wilson, 1921; Papadakis *et al.*, 1993; Makower *et al.*, 1943; Molnar, 1995). Metoda ini diaplikasikan dengan mengalirkan udara dengan kelembaban dan temperatur tertentu secara kontinu terhadap bahan dengan kandungan air tertentu. Peralatan penelitian terdiri dari kolom tempat bahan, pemanas udara yang dilengkapi dengan *thermocontroller*, *flow regulator*, botol larutan asam sulfat, dan alat-alat ukur. Kelembaban udara yang masuk ke dalam kolom diatur dengan melewati udara tersebut pada larutan asam sulfat dengan konsentrasi tertentu sesuai dengan grafik. Konsentrasi asam sulfat diatur sedemikian rupa sehingga dicapai kesetimbangan antara tekanan uap air pada larutan dan tekanan uap air yang ada di udara (sesuai grafik hubungan hubungan antara kelembaban relatif dan konsentrasi larutan asam sulfat) (Wilson, 1921; Molnar, 1995). Laju alir udara yang digunakan berkisar antara 2 sampai 10 liter/menit. Volume larutan asam sulfat yang digunakan sekitar 500 ml yang ditempatkan pada 3 atau 4 botol dengan volume larutan asam sulfat pada botol pertama lebih besar dari volume pada botol berikutnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses adsorpsi, air mulai mengisi bagian kapiler bahan padat. Jika tekanan parsial uap air di udara lebih besar daripada tekanan parsial uap air cairan di dalam kapiler maka air akan masuk ke dalam pori-pori padatan. Sebaliknya, selama proses desorpsi (pengeringan), mula-mula pori-pori

padatan penuh dengan cairan yang akan keluar darinya jika tekanan parsial uap air di udara sekitarnya turun hingga di bawah tekanan parsial uap cairannya di bagian kapiler. Fenomena-fenomena tersebut biasanya dinamakan *sorption-desorption hysteresis* (Mujumdar *et al.*, 1995). Karena a_w tergantung pada temperatur, maka temperatur mempunyai pengaruh penting pada isoterm sorpsi. Jika bahan makanan tersebut dicoba pada temperatur yang makin besar pada kandungan air tetap, maka a_w akan meningkat dengan kenaikan temperatur.

Hasil-hasil percobaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2, terlihat bahwa untuk aktivitas udara yang sama, daya adsorpsi butiran padat selalu lebih kecil dari daya desorpsinya. Pada peristiwa adsorpsi, laju perpindahan massa dari udara ke permukaan butiran lebih besar daripada laju perpindahan massa dari permukaan butiran ke dalam butiran padat, maka akan terjadi akumulasi air di permukaan butiran padat dan membentuk lapisan film air. Lapisan film air yang terbentuk di permukaan padatan menyebabkan tekanan uap air di permukaan padatan menjadi lebih besar dibandingkan dengan di udara, yang mengakibatkan terjadinya penguapan air tersebut kembali ke udara sedikit demi sedikit sampai terjadi kesetimbangan. Sedangkan pada peristiwa desorpsi, laju perpindahan massa air dari dalam butiran ke permukaan lebih kecil dibandingkan dengan laju perpindahan massa dari permukaan butiran ke udara. Oleh karena itu, terjadi lapisan kering di permukaan butiran padat sehingga tekanan uap air di permukaan butiran lebih kecil dari pada di udara. Dalam hal ini, uap air udara akan masuk kembali ke permukaan butiran sedikit demi sedikit sampai terjadi kesetimbangan. Dengan demikian untuk suatu bahan padat dengan kelembaban udara yang sama, jumlah air yang masuk ke dalam butiran pada peristiwa adsorpsi lebih kecil daripada jumlah air yang tertinggal di dalam butiran pada peristiwa desorpsi.

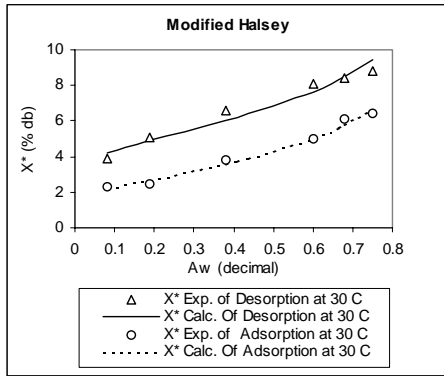
Data-data eksperimen kandungan air setimbang untuk produk butiran padi pada temperatur 30°C dan 40°C ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 untuk rentang aktivitas air 0,07 - 0,75 baik kurva adsorpsi maupun desorpsi. Kandungan air setimbang akan semakin besar dengan turunnya temperatur pada harga aktivitas air yang tetap. Kenaikan temperatur menyebabkan meningkatnya jumlah air yang teruapkan dan menurunnya jumlah air yang terserap pada aktivitas air tetap. Kecenderungan yang sama telah ditemukan untuk beberapa produk makanan seperti yang dilaporkan di beberapa literatur (McMinn *et al.*, 1997; Sun, 1998). Harga parameter-parameter korelasi (A,B,C) hasil regresi non-linear untuk model-model EMC di Tabel 1 dapat dilihat di Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Parameter-parameter isoterm desorpsi hasil regresi non-linier

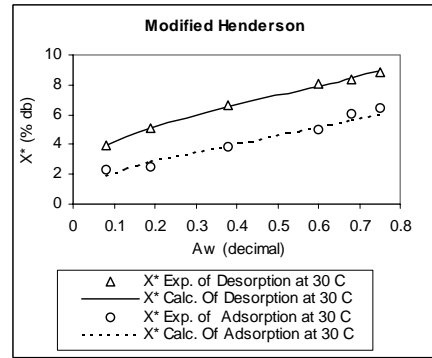
Nama	Temp. (°C)	Paramater terprediksi			(R ²)	Penyimpangan Rel. rata-rata (%)
		A	B	C		
Modified Henderson	30	2,5136x10 ⁻⁶	3,3921	22,982	0,9969	1,04
	40	3,8615x10 ⁻⁶	3,3145	25,156	0,9904	2,76
Modified Chung-Pfost	30	10202	0,4205	440,65	0,9824	3,02
	40	10202	0,45989	440,67	0,9884	2,86
Modified Oswin	30	0,60995	2,1417x10 ⁻²	0,23373	0,9837	2,74
	40	0,5887	1,8787x10 ⁻²	0,23957	0,9874	3,11
Modified Halsey	30	10,725	-1,955x10 ⁻²	0,37112	0,9436	5,7
	40	10,688	-2,0002x10 ⁻²	0,38102	0,9631	4,29

Tabel 3. Parameter-parameter isoterm adsorpsi hasil regresi non-linier

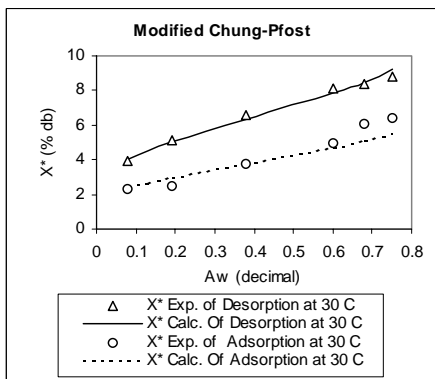
Nama	Temp. (°C)	Paramater terprediksi			(R ²)	Penyimpangan Rel. rata-rata (%)
		A	B	C		
Modified Henderson	30	4,7585x10 ⁻⁵	2,4785	26,684	0,9616	8,13
	40	9,8234x10 ⁻⁵	2,3088	25,88	0,9813	5,86
Modified Chung-Pfost	30	10202	0,69859	440,74	0,8655	10,31
	40	10815	0,60599	1389,6	0,9812	5,34
Modified Oswin	30	0,52042	1,3056x10 ⁻²	0,32179	0,9789	5,22
	40	0,54905	9,7099x10 ⁻³	0,3438	0,9782	5,31
Modified Halsey	30	10,026	-2,4795x10 ⁻²	0,5136	0,9804	4,87
	40	9,1656	-2,3344x10 ⁻²	0,54741	0,9507	6,06



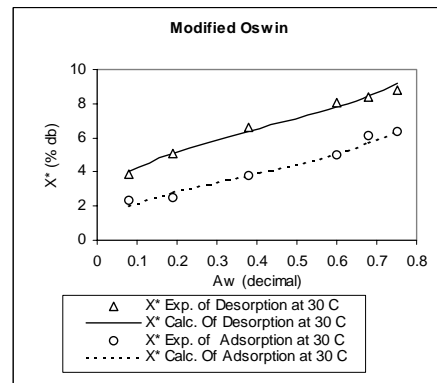
(a)



(b)

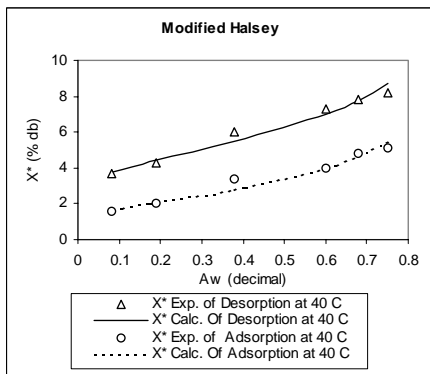


(c)

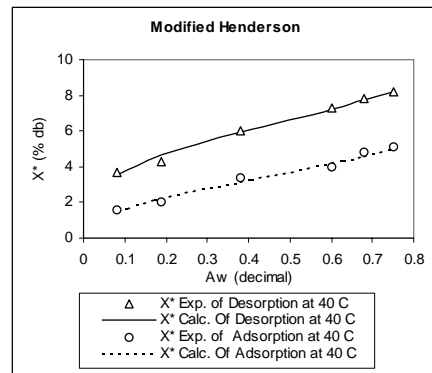


(d)

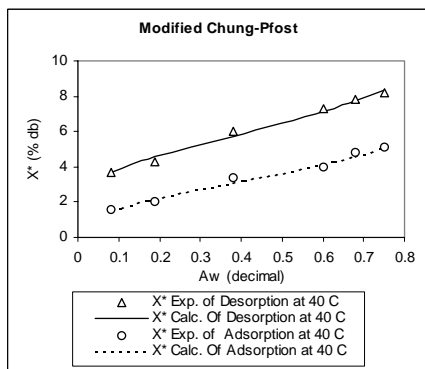
Gambar 1. Isoterm sorpsi hasil regresi untuk produk butiran padi pada temperatur 30°C



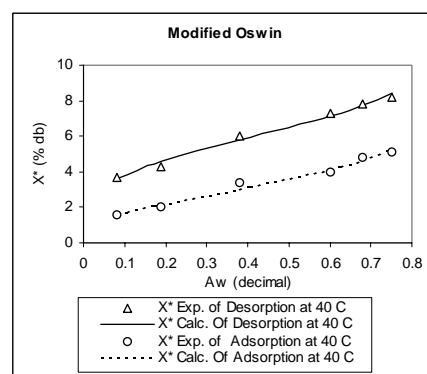
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Isoterm sorpsi hasil regresi untuk produk butiran padi pada temperatur 40°C

Untuk menyatakan kemampuan korelasi dari persamaan-persamaan model EMC tersebut antara data eksperimen dengan data terhitung, maka digunakan beberapa persamaan berikut:

$$\text{Fungsi objektif yang diminimasi : } OF = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|\hat{X}_i - X_i|}{X_i} \right)^2} \quad (1)$$

$$\text{Koefisien korelasi : } R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2)$$

$$\text{Prosen penyimpangan relatif rata-rata (\%): } \% \text{ Dev.} = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\hat{X}_i - X_i|}{X_i} \right) \quad (3)$$

Dari hasil percobaan penentuan kandungan air kesetimbangan butiran padi (Gambar 1 dan Gambar 2) dengan cara adsorpsi dan desorpsi, bentuk kurva kesetimbangan yang didapat untuk model-model yang dikorelasikan pada dasarnya tidak berbeda jauh dengan bentuk umum kurva kesetimbangan butiran yang lain pada umumnya (sigmoid). Koefisien korelasi (R^2) untuk hasil regresi dari beberapa model EMC tersebut mempunyai harga yang cukup tinggi ($R^2 = 0,85 - 0,99$) yang dihitung dengan Persamaan (2). Model Modified-Henderson menunjukkan harga R^2 tertinggi dibandingkan dengan model yang lain, demikian juga halnya dengan harga penyimpangan relatif rata-rata. Harga-harga parameter korelasi untuk model Modified-Henderson juga memberikan harga yang relatif tetap untuk temperatur yang berbeda. Dengan demikian, model Modified-Henderson merupakan model yang paling sesuai untuk produk butiran padi khususnya pada rentang temperatur 30 - 40 °C dan aktivitas air 0,07 - 0,75.

5. KESIMPULAN

Penentuan kandungan air setimbang produk butiran padi dapat dilakukan dengan metode dinamik. Model Modified-Henderson dengan tiga parameter merupakan model EMC yang lebih sesuai untuk produk butiran padi dibandingkan dengan model Modified-Chung-Pfost, Modified-Oswin dan Modified-Halsey dengan koefisien korelasi (R^2) 0,96 - 0,99 dan prosen penyimpangan relatif rata-rata 1,04 - 8,13 %. Keberlakuan model-model ini hanya pada rentang harga aktivitas air dan temperatur tertentu saja. Dalam hal ini, perlu dikembangkan atau dipilih lebih lanjut model yang bisa menjelaskan isotherm sorpsi yang dapat berlaku pada rentang aktivitas air yang lebih lebar dan juga dapat berlaku untuk semua jenis produk untuk berbagai temperatur.

Metode optimasi numerik Simplex dan/atau Rosenbrock telah berhasil digunakan untuk pengkorelasian data-data eksperimen pada model-model yang sangat non-linier. Dalam penelitian ini, metode tersebut telah diaplikasikan untuk berbagai persamaan model dengan tiga parameter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dewan Riset Nasional (RUT 7.1) atas sebagian dana penelitian yang diberikan untuk melaksanakan riset ini.

DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

A,B,C	parameter-parameter dalam korelasi EMC	
A_w	aktivitas air atau kelembaban rel. kesetimb.	decimal
EOS	persamaan keadaan atau <i>equation of state</i>	
R^2	koefisien korelasi	

T	temperatur absolut	K
X^*	kand. air setimbang atau EMC	%
\hat{X}_i	data terhitung	
\bar{X}_i	harga rata-rata data eksperimen	
X_i	data eksperimen	
n	jumlah data eksperimen	

DAFTAR PUSTAKA

1. Barrozo, M.A.S., D.J.M. Sartori, J.T. Freire, dan J.A. Achcar, 1996, Discrimination of Equilibrium Moisture Equations for Soybean Using Nonlinearity Measures, *Drying Technology*, Vol. 14, No. 7&8, hal. 1779-1794.
2. Chung, D.S., dan H.B. Pfof, 1967, Adsorption and Desorption of Water Vapour by Cereal Grains and Their Product. Part II, *Trans. of The ASAE*, Vol. 10, No. 4, hal. 549-551.
3. Halsey, G., 1948, Physical Adsorption on Non-Uniform Surface, *J. of Chem. Phys.*, Vol. 16, No. 10, hal. 931-937.
4. Henderson, S.M., 1952, A Basic Concept of Equilibrium Moisture, *Agric. Eng.*, Vol. 33, hal. 29-32.
5. Istadi, J.P. Sitompul, dan S. Sasmojo, 1999, Pengeringan Butiran Jagung Tipe Deep Bed: Pemodelan dan Simulasi, *Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 1999*, Bandung, Indonesia, hal. VI.47 - VI.54.
6. Makower, B., dan G.L. Dehority, 1943, Equilibrium Moisture Content of Dehydrated Vegetables, *Ind. & Eng. Chemistry*, Vol. 35, No. 2, hal. 193-197
7. Marinos-Kouris, D., dan Z.B. Maroulis, 1995, Transport Properties in The Drying of Solids, dalam *Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (ed.), Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York, hal. 113-159.
8. McMinn, W.A.M., dan T.R.A. Magee, 1997, Moisture Sorption Characteristics of Starch Materials, *Drying Technology*, Vol. 14, No. 5, hal. 1527-1551
9. Molnar, K., 1995, Experimental Techniques in Drying, dalam *Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (ed.), Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York, hal. 41-79.
10. Mujumdar, A.S., dan A.S. Menon, 1995, Drying of Solids: Principles, Classification, and Selection of Dryers, dalam *Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (ed.), Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York, hal. 1-39.
11. Papadakis, S.E., R.E. Bahu, K.A. McKenzie, dan I.C. Kemp, 1993, Measurement and Prediction of The Equilibrium Moisture Content for Drying, *The 1993 Research Event*, hal. 507-509.
12. Parry, J.L., 1985, Mathematical Modelling and Computer Simulation of Heat and Mass Transfer in Agricultural Grain Drying: A Review, *J. Agric. Eng. Res.*, Vol. 32, hal. 1-29.
13. Sitompul, J.P., dan Istadi, 2000a, Deep-Bed Drying of Corn In A Large Diameter Column: Modelling and Experimental Studies, *Proceeding of 12th International Drying Symposium (IDS) 2000*, Netherlands, Paper No. 224 (in press).
14. Sitompul, J.P., Istadi dan I. N. Widiassa, 1999, Modelling and Simulation of Deep Bed Grain Dryers, *Proceedings of The First Asian Australian Drying Conference 1999 (ADC '99)*, Bali, Indonesia, hal. 188-195
15. Sitompul, J.P., Istadi, dan S. Sumardiono, 2000b, Non-Linear Parameter Estimation of EMC Correlations for Grain-Type Agricultural Products, *Proceedings Institut Teknologi Bandung, Supplement of International Conference On Fluid and Thermal Energy Conversion 2000*, Bandung, Indonesia, Vol. 32, No.1, pp. 411-417.

16. Sitompul, J.P., S. Sumardiono, Istadi, dan S. Sasmojo, 2000c, Korelasi dan Prediksi Kandungan Air Setimbang Produk Pertanian Berbentuk Butiran, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia II*, Jakarta, Indonesia, hal. VI.47 - VI.54.
17. Sokhansanj, S. dan D.S. Jayas, 1995, Drying of Foodstuffs, dalam *Handbook of Industrial Drying*, A.S. Mujumdar (ed.), Vol. 1, Marcel Dekker, Inc., New York, hal. 589-625.
18. Stencl, J., J. Gotthardova, dan P. Homola, 1998, Equilibrium Moisture Content of Dried Blood Flour in The Temperature Range of 20 - 50 °C, *Drying Technology*, Vol. 16, No. 8, hal. 1729-1739.
19. Sun, Da-Wen, 1998, Selection of EMC/ERH Isotherm Equations for Shelled Corn Based On Fitting to Available Data, *Drying Technology*, Vol. 16, No. 3-5, hal. 779-797.
20. Thompson, T.L., R.M. Peart, dan G.H. Foster, 1968, Mathematical Simulation of Corn Drying - A New Model, *Trans. of The ASAE*, Vol. 11, No. 4, hal. 582-586.
21. Wilson, R.E., 1921, Humidity Control by Means of Sulfuric Acid Solutions with Critical Compilation of Vapor Pressure Data, *J. of Industrial and Eng. Chemistry*, Vol. 13, No. 4, hal. 326-331.