



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Model Persamaan Matematik Isoterm Sorpsi untuk Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*)

Habibullah^a, Adjar Pratoto^b

^{a,b}Program Magister Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 11 Agustus 2025

Revisi Akhir: 13 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Isoterm Sorpsi

Kayu manis

Adsorpsi

Desorpsi

KORESPONDENSI

Telepon: 082170276280

E-mail: adjar.pratoto@eng.unand.ac.id

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik isoterm sorpsi (adsorpsi dan desorpsi) untuk kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) pada suhu $30 \pm 1^\circ\text{C}$ dari data empirik yang diperoleh dengan menggunakan metode gravimetri statis. Kelembapan relatif udara sekeliling diatur dengan menggunakan campuran larutan H_2SO_4 dan akuades dalam rentang kelembapan relatif (RH) atau aktifitas udara antara 16% hingga 98%. Pengujian, kadar air kesetimbangan dilakukan dalam dua arah, yaitu adsorpsi dan desorpsi. Untuk adsorpsi, sampel dikeringkan terlebih dahulu dengan metode oven sebelum dimasukkan ke dalam bejana kedap udara dengan kelembapan udara yang telah dikondisikan. Sedangkan untuk proses desorpsi, sampel direndam dalam akuades terlebih dahulu. Hubungan antara kadar air kesetimbangan dan kelembapan relatif menunjukkan kurva sigmoid khas tipe II menurut klasifikasi Brunauer. Dalam pemodelan matematik, digunakan lima model isoterm sorpsi, yaitu GAB, Henderson, Oswin, Peleg, dan Smith. Evaluasi *fitness* model matematik dilakukan dengan menggunakan parameter statistik RMSE, χ^2 , modulus error, dan koefisien determinasi (R^2). Hasil menunjukkan bahwa model GAB paling sesuai untuk data adsorpsi, sedangkan model Smith memberikan hasil terbaik untuk desorpsi.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil rempah-rempah terbesar di dunia, dengan kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) sebagai salah satu komoditas ekspor unggulan. Negara ini menempati posisi keempat dalam ekspor kayu manis secara global, sentra produksi utama adalah Jambi, Sumatera Barat, Yogyakarta, dan Boyolali. Komoditas ini memiliki aroma khas serta rasa manis yang menjadikannya banyak dimanfaatkan dalam industri makanan, minuman, obat-obatan, maupun produk penghangat tubuh.

Kayu manis memiliki sifat higroskopis, yaitu kemampuan untuk menyerap atau melepas uap air dari lingkungan sekitar, tergantung pada kondisi kelembapan relatif udara. Karakteristik ini menyebabkan kadar air dalam

bahan bersifat dinamis. Jika tidak dikendalikan dengan baik, fluktuasi kadar air dapat memicu penurunan mutu, seperti pertumbuhan mikroorganisme, degradasi senyawa aktif, dan pembusukan. Pengendalian kadar air yang tepat menjadi langkah krusial dalam menjaga kualitas produk selama proses pasca panen, termasuk pengeringan dan penyimpanan.

Pemahaman mengenai interaksi kelembapan bahan dengan lingkungan sekitar diperoleh melalui pendekatan isoterm sorpsi, yang menggambarkan hubungan antara kelembapan relatif dan kadar air kesetimbangan pada suhu tertentu. Terdapat dua jenis kurva isoterm sorpsi, yaitu isoterm desorpsi yang menggambarkan pelepasan uap air saat kadar air bahan berada di atas kadar air kesetimbangan, serta isoterm adsorpsi yang menunjukkan penyerapan uap air bila kadar air bahan berada di bawah kadar air kesetimbangan. Data kurva isoterm sorpsi tidak

hanya mencerminkan keadaan termodinamika air dalam bahan, tetapi juga sangat bermanfaat dalam merancang strategi pengeringan yang efisien dan menentukan kelembapan relatif aman untuk penyimpanan [1][2].

Analisis hubungan kadar air dan kelembapan relatif umumnya dilakukan menggunakan pendekatan matematis melalui model-model persamaan isotherm sorpsi, seperti GAB, Henderson, Oswin, Peleg, dan Smith. Pemodelan ini memberikan pendekatan kadar air kesetimbangan berdasarkan kondisi lingkungan tertentu. Hasil dari model isotherm sorpsi memberikan informasi dalam merancang sistem pengeringan dan parameter penyimpanan untuk mempertahankan mutu dan stabilitas produk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Isotherm Sorpsi

Kadar air kesetimbangan pada bahan higroskopis adalah kadar air saat bahan tidak lagi menyerap atau melepas uap air meskipun berada dalam kontak dengan udara sebagian atau sepenuhnya dengan udara sekitar. Nilai kadar air ini bergantung pada jenis bahan, kelembapan relatif, serta suhu udara di sekitarnya [1].

Setiap bahan pangan memiliki tekanan uap khas pada suhu dan kadar air tertentu. Karena semua bahan pangan memiliki pori, ketika bersentuhan dengan udara lembap, molekul air akan terserap atau terlepas hingga tercapai kesetimbangan kadar air. Isotherm sorpsi yang terbentuk mencerminkan hubungan antara kadar air kesetimbangan dan kelembapan relatif pada suhu konstan, yang sangat dipengaruhi oleh tekanan parsial uap air di udara sekitar, meskipun pengaruh suhu relatif kecil dalam kisaran suhu penyimpanan dan pengeringan umum [3]. Jika kadar air suatu bahan tidak lagi berubah dalam kondisi tekanan uap air dan suhu tertentu, maka bahan tersebut telah mencapai kadar air kesetimbangan. Proses pencapaian kondisi ini bersifat alami namun dapat berlangsung sangat lambat, tergantung sifat higroskopis bahan.

2.2. Kelembapan Relatif

Kelembapan relatif adalah rasio tekanan parsial uap air (H_2O) terhadap tekanan uap jenuh air pada suhu tertentu dalam campuran udara-uap air. Secara sederhana kelembapan relatif dianggap sebagai jumlah uap air di udara sebagai persentase dari jumlah uap air yang dapat ditampung udara.

2.3. Metode pengujian Gravimetri

Pada metode ini melibatkan pengukuran perubahan berat suatu bahan. Perubahan berat dapat ditentukan baik secara berkelanjutan maupun terputus-putus dalam sistem dinamis dan statis. Metode berkelanjutan menggunakan neraca elektro atau neraca pegas guatz. Sedangkan pada sistem putus-putus larutan garam jenuh atau asam sulfat

ditempatkan dalam sistem vakum untuk mengukur kelembapan relatif kesetimbangan. Keunggulan metode statis adalah kemudahannya dalam mempertahankan kondisi [4]. Dalam metode ini, sampel ditempatkan dalam lingkungan yang diatur pada suhu dan kelembapan relatif. Ketika perubahan massa sampel tidak signifikan, kadar air sampel diukur dan diadopsi sebagai nilai kadar air kesetimbangan.

3. METODOLOGI

Sampel kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) diperoleh dari daerah Batusangkar, Provinsi Sumatera Barat. Pada pengujian adsorpsi sampel dikeringkan terlebih dahulu di dalam tungku pada suhu $100^{\circ}C$ selama 1 jam. Sedangkan pada pengujian desorpsi sampel direndam terlebih dahulu ke dalam akuades selama 12 jam hingga mencapai kondisi jenuh air.

Pengujian dilakukan pada suhu $30 \pm 1^{\circ}C$ menggunakan metode gravimetri statis. Lingkungan kelembapan relatif (RH) dikondisikan dalam rentang 16% hingga 98% menggunakan perbandingan campuran H_2SO_4 dan akuades dengan berbagai konsentrasi yang diatur untuk menghasilkan RH spesifik sesuai data referensi [5]. Sampel diletakkan dalam desikator tertutup rapat yang berisi larutan pengkondisian kelembapan dengan posisi berada di atas rak berlubang untuk mencegah kontak langsung dengan larutan. Kondisi suhu dan kelembapan relatif selama proses pengkondisian dipantau secara berkala menggunakan sensor DHT 21 yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Uno akurasi $\pm 5\%$ RH dan $\pm 5^{\circ}C$. Untuk verifikasi hasil pembacaan dikonfirmasi menggunakan Higrometer Analog dengan akurasi $\pm 2\%$ RH dan $\pm 1^{\circ}C$.

Massa sampel ditimbang secara berkala menggunakan timbangan analitik dengan readability $0,0001g$ yang telah dikalibrasi sebelumnya. Kadar air kesetimbangan tercapai apabila perubahan massa dalam tiga kali penimbangan berturut-turut setiap 24 jam menunjukkan hasil yang sama. Setelah tercapai kesetimbangan kadar air sampel ditentukan melalui metode oven pada suhu $105^{\circ}C$ selama 3 jam sesuai prosedur AOAC 925.10. Setelah diperoleh data kadar air kesetimbangan pada setiap tingkat kelembapan relatif, dilakukan pemodelan matematik dengan menggunakan persamaan GAB, Henderson, Oswin, Peleg, dan Smith. Parameter dari setiap model ditentukan melalui regresi tak-linear dengan menggunakan pemrograman Python.

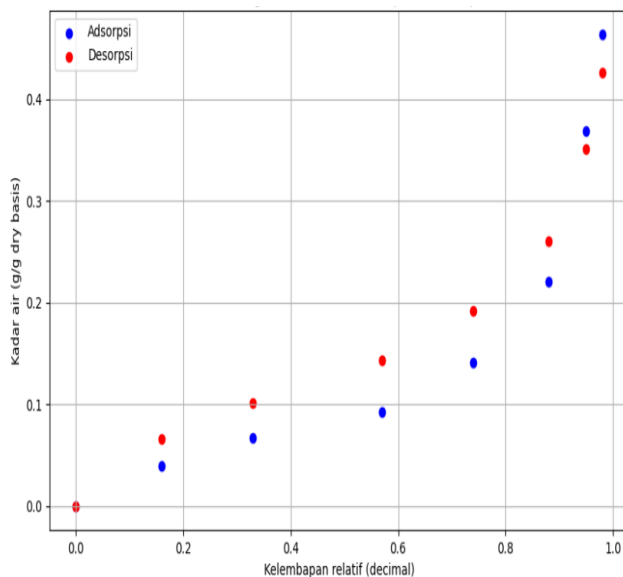
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data isotherm sorpsi kayu manis dalam basis kering (dry basis) hasil pengujian adsorpsi dan desorpsi ditampilkan Pada Tabel 1. Sedangkan grafik kadar air

kesetimbangan secara adsorpsi dan desorpsi ditunjukkan pada Gambar 1. Hubungan tersebut menunjukkan pola sigmoid atau Tipe II menurut klarifikasi Brunauer, dkk [6]. Seperti pada produk hayati higroskopis, terlihat nilai isoterm meningkat seiring dengan kenaikan RH, nilai data desorpsi selalu lebih tinggi dibandingkan adsorpsi yang menunjukkan bahwa terjadinya efek hysteresis.

Tabel 1. Kadar air kesetimbangan kayu manis

No	RH (%)	Kadar air kesetimbangan (g/g)	
		adsorpsi	desorpsi
1	0.16	0.0402	0.0658
2	0.33	0.0675	0.1018
3	0.57	0.0926	0.1439
4	0.74	0.1408	0.1916
5	0.88	0.2210	0.2607
6	0.95	0.3684	0.3514
7	0.98	0.4635	0.4265



Gambar 1. Kadar air kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi pada kayu manis

Dalam penelitian ini lima model persamaan, yaitu GAB, Henderson, Oswin, Smith, dan Peleg, dianalisis menggunakan teknik regresi. Kelima model persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{GAB Model} \quad : M = \frac{M_0 \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (1)$$

$$\text{Henderson Model} \quad : M = \left(\frac{-\ln(1 - a_w)}{A} \right)^{1/B} \quad (2)$$

$$\text{Oswin Model} \quad : M = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B \quad (3)$$

$$\text{Peleg Model} \quad : M = A a_w^B + C a_w^D \quad (4)$$

$$\text{Smith Model} \quad : M = A - B \ln(1 - a_w) \quad (5)$$

Pada Persamaan (1-5), M adalah kadar air (basis kering), a_w adalah aktifitas air ($RH / 100$), M_0 adalah kadar air monolayer, nilai (A, B, C, D, dan K) adalah konstanta model yang didapatkan dari *fitting* regresi tak-linear.

Evaluasi *fitness* model dilakukan dengan beberapa parameter static seperti root mean square error (RMSE), reduced chi square (χ^2), modulus (E), koefisien determinasi (R^2). Parameter tersebut dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{pred,i})^2}{n}} \quad (6)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{pred,i})^2}{n - n_c} \quad (7)$$

$$E = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{obs,i} - X_{pred,i}|}{X_{obs,i}} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{pred,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \bar{X})^2} \quad (9)$$

Kemampuan *fitting* suatu persamaan dalam kaitannya dengan jumlah data dinyatakan dalam nilai RMSE. Semakin rendah nilai RMSE maka kemampuan fitting persamaan semakin baik. Demikian juga dengan nilai (χ^2) dan E. Sedangkan pada nilai (R^2) semakin tinggi menyatakan *fitting* persamaan semakin baik.

Hasil konstanta model persamaan yang didapatkan melalui *fitting* regresi ditampilkan Pada Tabel 2. Data parameter konstan adsorpsi dan desorpsi dari ke 5 model persamaan matematis, sebagai berikut:

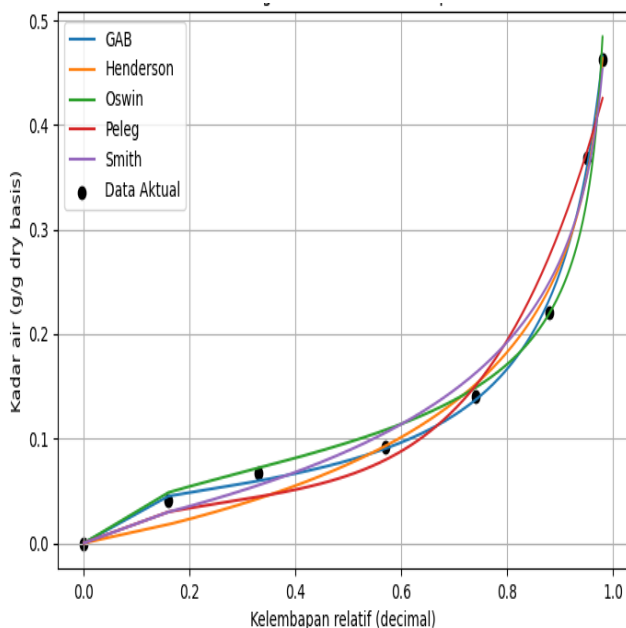
Tabel 2. Hasil parameter pada model persamaan

No	Persamaan	Parameter	Isoterm Sorpsi	
			Adsorpsi	Desorpsi
1	GAB	M_0	0.0438	0.0698
		C	40.0203	58.3647
		K	0.9249	0.8497
2	Henderson	A	8.138	10.0
		B	0.9541	1.187
3	Oswin	A	0.0964	0.1362
		B	0.4149	0.303

4	Peleg	A	0.0745	0.271
		B	0.5	5.0
		C	0.3893	0.1566
		D	0.5	0.5
5	Smith	A	0.01	0.0596
		B	0.1133	0.0954

Hasil permodelan dan data eksperimental adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan nilai parameter static 5 model persamaan isotherm adsorpsi ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil *fitting*, model GAB menunjukkan performa terbaik pada data adsorpsi dengan nilai R^2 (0.9977), RMSE (0.0071), χ^2 (0.000089), dan E% (5.31). Model ini secara signifikan menggambarkan karakteristik sigmoid tipe II dari data adsorpsi. Parameter terbaik yang diperoleh adalah: M_0 (0.0438), C (40.0203), dan K (0.9249).

Pada Model lain seperti Henderson R^2 (0.9866), Smith (0.9858), dan Peleg (0.9660) juga menunjukkan performa yang baik namun masih di bawah GAB. Model Oswin memiliki nilai R^2 (0.9837) dengan E(%) 9,37 yaitu berada di posisi kedua setelah nilai modulus GAB.



Gambar 2. Fitting model isotherm adsorpsi

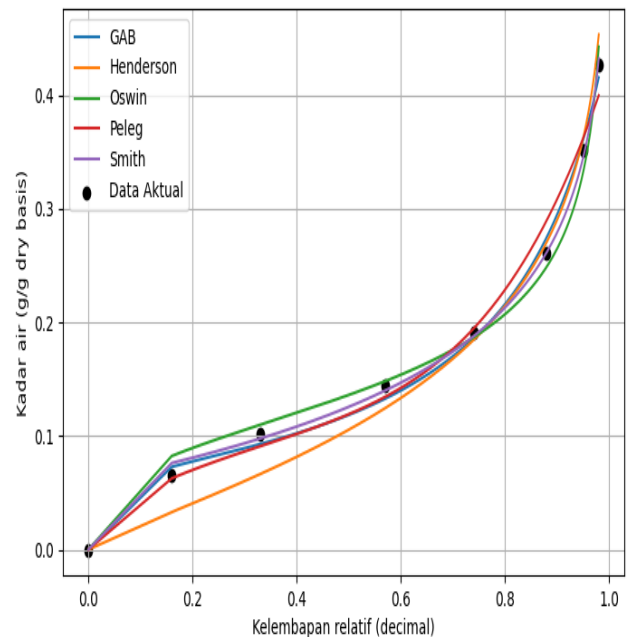
Tabel 3. Parameter static 5 model isotherm adsorpsi

Model	R^2	RMSE	Chi_red	Modulus_%
GAB	0.9977	0.0071	0.000089	5.31
Henderson	0.9866	0.0173	0.000418	16.61
Oswin	0.9837	0.0191	0.000510	9.37
Peleg	0.9660	0.0276	0.001773	16.45
Smith	0.9858	0.0178	0.000444	13.44

Hasil permodelan dan data eksperimental desorpsi ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan nilai Parameter

static 5 model persamaan isotherm desorpsi ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil *fitting*, model Smith memberikan hasil terbaik dengan R^2 (0.9978), RMSE (0.0057), χ^2 (0.000046), dan E% (3.99). Menunjukkan Smith dalam menggambarkan proses kelembaban kesetimbangan terbaik pada desorpsi. Parameter terbaik yang diperoleh adalah: A (0.0596) dan B (0.0954).

Model GAB berada diposisi kedua terbaik untuk desorpsi R^2 (0.9935), Oswin berada pada posisi ketiga R^2 (0.9892), Model Henderson R^2 (0.9891), Peleg (0.9754).



Gambar 3. Fitting model isotherm desorpsi

Tabel 4. Parameter static 5 model isotherm desorpsi

Model	R^2	RMSE	Chi_red	Modulus_%
GAB	0.9935	0.0099	0.000171	5.8
Henderson	0.9651	0.0230	0.000738	16.4
Oswin	0.9892	0.0128	0.000230	7.48
Peleg	0.9821	0.0165	0.000633	6.3
Smith	0.9978	0.0057	0.000046	3.99

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemodelan isotherm sorpsi kayu manis (*Cinnamomum burmannii*) melalui proses adsorpsi dan desorpsi pada suhu $30 \pm 1^\circ\text{C}$ menggunakan 5 model isotherm sorpsi, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Isotherm sorpsi kayu manis merupakan tipe II (Sigmoid) yang menunjukkan monolayer pada a_w rendah < 0.5 , dan terjadi multilayer pada $a_w > 0.7$, seperti karakteristik bahan higroskopis struktur pori mikro.

2. Isoterm adsorpsi menunjukkan bahwa model GAB memberikan performa terbaik pada proses adsorpsi, dengan nilai: koefisien determinasi R^2 (0,9977), nilai RMSE (0,0071), χ^2 (0,000089), E% (5,31) ini menunjukkan bahwa model GAB sangat baik dalam memprediksi bentuk kurva sigmoid tipe II, yang sesuai dengan sifat higroskopis kayu manis.
3. Isoterm desorpsi menunjukkan model Smith menjadi model terbaik pada proses desorpsi, dengan performa statistik unggul: R^2 (0,9978), nilai RMSE (0,0057), χ^2 (0,000046), E% (3,99) hal ini menunjukkan kemampuan model Smith dalam menggambarkan proses pelepasan air dari bahan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Rahman, M. K. Al-Khusaibi, K. A. AL-Farsi, I. M. Al-Bulushi, A. Abushelaibi, and N. Al-Habsi, "Moisture sorption isotherm and thermal characteristics of freeze-dried tuna," *Int. J. Food Stud.*, vol. 8, no. 1, pp. 87–96, 2019, doi: 10.7455/ijfs/8.1.2019.a8.
- [2] D. S. Cordeiro, G. S. V. Raghavan, and W. P. Oliveira, "Equilibrium Moisture Content Models for *Maytenus ilicifolia* Leaves," *Biosyst. Eng.*, vol. 94, no. 2, pp. 221–228, 2006, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2006.03.004.
- [3] Y. Singh and K. Prasad, "Sorption isotherms modeling approach of rice-based instant soup mix stored under controlled temperature and humidity," *Cogent Food Agric.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2015, doi: 10.1080/23311932.2015.1103683.
- [4] S. Arnosti, J. T. Freire, D. J. M. Sartori, and M. A. S. Barrozo, "Equilibrium moisture content of *Brachiaria brizantha*," *Seed Sci. Technol.*, vol. 27, no. 1, pp. 273–282, 1999.
- [5] S. S. H. Rizvi, "Thermodynamic Properties of Foods in Dehydration," *Eng. Prop. Foods Third Ed.*, pp. 239–326, 2014, doi: 10.1201/9781420028805-11.
- [6] S. S. H. Rizvi, "Thermodynamic properties of foods in dehydration.," *Eng. Prop. Foods*, pp. 133–214, 1986.