

Konstanta Laju Pengeringan Daun Sambiloto Menggunakan Pengereng Tekanan Rendah

Sri Rahayoe*, Budi Rahardjo dan Rr. Siti Kusumandari
Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada
Bulaksumur, Yogyakarta

Abstract

Herbs (traditional medicine) such as sambiloto leaves are sensitive to heat, therefore the drying process of herbs were performed at low-pressure. At low pressure, evaporation of water in the herbs can be carried out at a temperature below 100°C. The low temperature of drying may reduce the destruction of heat-sensitive chemicals inside the herbs. The present study aimed at analyzing the drying-rate constant of sambiloto leaves during low-pressure drying. Sambiloto leaves were dried at varied temperature of 30°C, 40°C, and 50°C, and varied pressure of 61 kPa, 48 kPa, and 35 kPa. The water content of sambiloto leaves was reduced from $\pm 70\%$ to $\pm 10\%$. The change in water content was measured after 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 and 210 minutes, by using thermogravimetry technique. The drying-rate constant was calculated using the equation of thin films. The drying-rate constant was $0.01 - 0.0175 \text{ min}^{-1}$. It was observed that the drying-rate increases as the pressure decreases. To predict the change of water content in sambiloto leaves during low-pressure drying process, an empirical equation for the drying-rate constant as a function of temperature and pressure was derived from the experimental data, $k_{\text{prediction}} = 0,00075T^{0,823}P^{-0,021}$.

Key words: drying-rate constant, low-pressure drying, sambiloto leaves.

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan pengeringan bahan herbal dan obat-obatan tradisional yang peka terhadap panas yaitu daun sambiloto menggunakan pengereng bertekanan rendah. Tekanan yang rendah akan membuat titik uap air akan turun sehingga air akan menguap pada suhu di bawah 100°C. Suhu rendah ini juga bertujuan untuk mengurangi tingkat kerusakan kandungan kimia bahan peka panas. Sedangkan tujuan penelitian adalah menganalisis konstanta laju pengeringan daun sambiloto selama proses pengeringan menggunakan pengereng tekanan rendah. Pengeringan daun sambiloto dilakukan pada suhu dan tekanan yang bervariasi yaitu variasi suhu 30°C, 40°C, 50°C dan variasi tekanan 61 kPa, 48 kPa dan 35 kPa. Pengeringan daun sambiloto dilakukan dari kadar air $\pm 70\%$ hingga $\pm 10\%$. Selama proses pengeringan perubahan kadar air diukur dengan interval waktu 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 dan 210 menit. Pengukuran kadar air dilakukan dengan cara termogravimetri. Analisis konstanta laju pengeringan menggunakan persamaan lapis tipis. Hasil penelitian menunjukkan nilai konstanta laju pengeringan pada tekanan rendah berkisar $0,01-0,0175 \text{ men}^{-1}$. Pengereng menggunakan tekanan rendah dapat meningkatkan laju pengeringan. Persamaan empiris konstanta laju pengeringan sebagai fungsi suhu dan tekanan yang dinyatakan sebagai $k_{\text{prediksi}} = 0,00075T^{0,823}P^{-0,021}$ dapat diaplikasikan untuk memprediksi perubahan kadar air daun sambiloto selama pengeringan pada tekanan rendah.

Kata kunci: konstanta laju pengeringan, pengereng bertekanan rendah, daun Sambiloto.

Pendahuluan

Dewasa ini, banyak orang mengkonsumsi obat tradisional dikarenakan tidak kalah manjur dengan obat modern yang ada selama ini. Keanekaragaman hayati Indonesia masih sangat sedikit yang menjadi subjek penelitian ilmiah di Indonesia, padahal Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan keanekaragaman hayati terbesar di dunia dengan lebih kurang 30.000 jenis tumbuh-tumbuhan berikut biota lautnya. Dari sekian besar jumlah tersebut baru sekitar 940 spesies yang diketahui berkhasiat terapeutik (mengobati) melalui penelitian ilmiah dan hanya

sekitar 180 spesies diantaranya yang telah dimanfaatkan dalam temuan obat tradisional oleh industri obat tradisional Indonesia. Hal ini disebabkan oleh pemanfaatan tumbuhan di Indonesia untuk mengobati suatu penyakit biasanya hanya berdasarkan pengalaman empiris yang diwariskan secara turun temurun tanpa disertai data penunjang yang memenuhi persyaratan (Lisdawati, 2002).

Salah satu bahan obat tradisional yang banyak dimanfaatkan adalah daun Sambiloto (*Andrographis paniculata*) yang banyak dijumpai hampir di seluruh kepulauan Nusantara. Daun sambiloto mengandung saponin, flavonoid, alkaloid, fenol dan tanin. Kandungan kimia lain

* Alamat korespondensi: email: yayoe_sri@yahoo.com

yang terdapat pada daun dan batang adalah laktone, panikulin, kalmegin dan hablur kuning yang memiliki rasa pahit. Secara tradisional Sambilotto telah dipergunakan untuk mengobati gigitan ular atau serangga, demam, disentri, rematik, tuberculosis, infeksi pencernaan, dan lain-lain. Sambilotto juga dimanfaatkan untuk antimikroba/antibakteri, anti sesak napas dan untuk memperbaiki fungsi hati (Yusron, 2005).

Bahan lokal obat tradisional, seperti halnya hasil pertanian dan produk hayati lainnya, saat dipungut atau dipanen umumnya masih mengandung air cukup tinggi. Pada saat masih menjadi satu dengan tanaman induknya, dalam bahan jamu terjadi kegiatan metabolisme. Di dalam bahan tersebut juga terdapat enzim yang melakukan biosintesis mengubah glukosa hasil fotosintesis menjadi beberapa bahan kimia yang dapat digunakan untuk pengobatan. Bahan hayati tersebut setelah dipetik terpisah dari tanaman induknya masih berlangsung kegiatan metabolismenya namun tanpa substrat yang dapat dikatalisir. Enzim tersebut akan mengubah bahan kimia bermanfaat jamu menjadi bahan kimia lainnya yang tidak memiliki efek farmakologi. Kandungan air tinggi dalam bahan menyebabkan kegiatan enzim masih tinggi pula. Hal tersebut dapat dicegah bilamana bahan jamu tersebut segera dikeringkan dan dijaga kandungan airnya tetap rendah. Disamping itu beberapa bahan kimia berkasiat farmakologi terkandung dalam bahan jamu peka akan suhu tinggi. Beberapa kandungan bahan tersebut berupa minyak atsiri dengan titik didih rendah ($<70^{\circ}\text{C}$) dan beberapa diantaranya mengandung komponen yang mudah rusak pada suhu tinggi $>70^{\circ}\text{C}$ (Pramono, 2006).

Untuk menjaga kualitas bahan peramu obat tradisional sehabis dipetik perlu segera dikeringkan dan dijaga kadar air tetap rendah. Namun pengeringan dengan suhu tinggi dapat merusak kandungan bahan kimia berefek farmakologi. Selama ini pengeringan bahan herbal dan obat-obatan dilakukan dengan penjemuran sinar matahari. Kelemahan cara tersebut adalah bergantung pada iklim, waktu lama, dan kurang higienis. Sebagian kecil juga mengeringkan dengan oven.

Oleh karena itu pada penelitian dilakukan pengeringan bahan herbal dan obat-obatan tradisional yang peka terhadap panas yaitu daun sambilotto menggunakan pengering bersuhu rendah dengan cara memberikan tekanan vakum pada ruang pengering. Sedangkan tujuan penelitian adalah menganalisis konstanta laju pengeringan daun sambilotto selama proses pengeringan pada tekanan rendah.

Metodologi Penelitian

Pendekatan teori

Pengeringan adalah penguapan air dari bahan yang merupakan suatu proses perpindahan panas dan perpindahan massa yang terjadi secara serempak, dimana media panas digunakan untuk menguapkan air dari permukaan bahan ke media pengering berupa udara. Laju pengeringan ini terjadi karena adanya perbedaan tekanan uap dipermukaan bahan dengan tekanan uap di udara pengering (Bejan, 1984; Brooker, dkk., 1972; Crank, 1975; Lydersen, 1983; Myers, 1971; Orizik, 1980).

Pengeringan dengan tekanan vakum banyak dikembangkan untuk bahan peka panas. Disamping itu tekanan vakum merupakan usaha untuk menaikkan laju pengeringan. Tekanan vakum akan menurunkan tekanan parsial uap air di udara dibawah tekanan jenuhnya. Disamping itu tekanan vakum akan menurunkan titik didih air. Karenanya air akan cepat berubah menjadi uap dibawah titik didih dengan tekanan atmosfer. Pemanasan pada pengeringan vakum dapat dilakukan dengan microwave, ohmic dan secara konveksi-konduksi telah banyak dilakukan. Laju pemanasan sangat bervariasi tergantung pada sumber panasnya. Pada prinsipnya pengeringan dengan tekanan vakum dapat dilakukan dengan suhu rendah dengan laju penguapan yang cukup baik. (Drouzas, 1999; Kozaoglu, 2006; McMinn, 2006; Mongpraneet, dkk., 2002; Montgomery, dkk., 1998).

Pengeringan bersuhu rendah pada tekanan vakum merupakan proses yang melibatkan perpindahan panas dan massa yang terjadi bersamaan. Panas yang masuk ke bahan akan menyebabkan kandungan air dalam bahan menguap. Pada bahan lapis tipis perpindahan panas yang terjadi berlangsung secara konveksi. Dengan adanya tekanan vakum, yaitu tekanan yang lebih rendah dari satu atmosfer maka titik didih air akan turun sehingga mudah menguap pada suhu yang lebih rendah dari 100°C .

Lewis (2003) menggunakan analogi hukum pendinginan Newton untuk menganalisis proses pengeringan. Pada persamaan pendinginan Newton dinyatakan bahwa perubahan suhu dari suatu massa yang dikelilingi oleh medium pada suhu yang konstan adalah sebanding dengan perbedaan massa dan medium apabila perbedaan suhunya sangat rendah.

Dengan asumsi bahwa laju kehilangan lengas dari sebutir bijian yang dikelilingi oleh udara pengering sebanding dengan perbedaan antara

kadar air bijian dan kadar air setimbang, maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{dM}{dt} = -k(M - Me) \tag{1}$$

Dari persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan penguapan air sebagai berikut:

$$\frac{M - Me}{M_0 - Me} = e^{-k.t} \tag{2}$$

Nilai $\frac{M - Me}{M_0 - Me}$ disebut nisbah lengas atau *moisture ratio* (MR), dimana M merupakan kadar air bahan pada lama pengeringan t menit, Mo merupakan kadar air awal Sambiloto dan Me adalah kadar air setimbang sambiloto pada saat proses pengeringan. Kadar air setimbang merupakan kadar air bahan pada kondisi tekanan uap air pada bahan sama dengan tekanan udara di sekelilingnya.

Konstanta laju pengeringan (k) bervariasi tergantung pada kondisi pengeringan berupa suhu dan tekanan total dalam tekanan vakum serta kandungan air dan jenis bahan yang dikeringkan. Konstanta laju pengeringan dihubungkan dengan peubah tersebut secara empiris sebagai berikut:

$$k = aT^b P^c \tag{3}$$

Dengan menggunakan software statistik SPSS, persamaan (3) dapat diubah menjadi bentuk regresi ganda sebagai berikut :

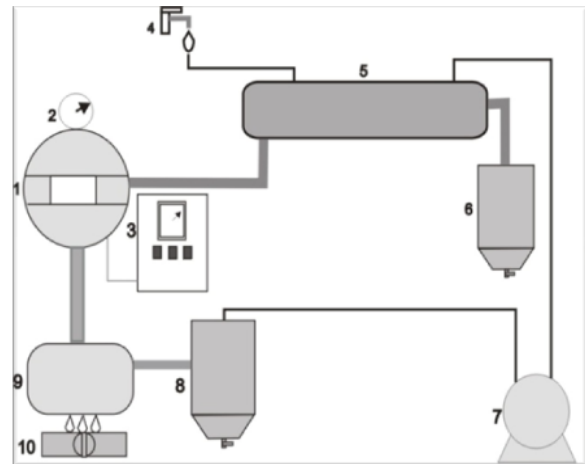
$$Y = a + bX_1 + cX_2 \tag{4}$$

dengan a, b dan c adalah tetapan.

Bahan dan alat penelitian

Bahan utama adalah daun Sambiloto yang diperoleh dari kebun produsen bahan baku herbal dan obat-obatan tradisional di daerah Kaliurang, Sleman, Yogyakarta. Adapun sifat fisik dan termis daun sambiloto sebagai berikut : kadar air awal ± 70%, densitas (ρ) 691,73 kg/m³, panas jenis (Cp) 3,375 kJ/kg°C, konduktivitas panas (k) 0,483 W/m°C, dan luas permukaan (A) 0,118 ×10⁻² m².

Peralatan utama yang digunakan berupa pengering vakum dengan kapasitas 1 kg (Gambar 1) dan peralatan pendukung berupa oven, termokopel, timbangan analitis, cawan, dan stopwatch.



- Keterangan:
1. Ruang pengering
 2. Manometer
 3. Panel kontrol
 4. Sumber alat
 5. Kondensor
 6. Tabung kondensat
 7. Pompa vakum
 8. Tabung udara
 9. Penampung udara panas
 10. Pemanas (kompor)

Gambar 1. Skema alat pengering vakum

Prosedur percobaan

Sebelum pengambilan data dilakukan penelitian pendahuluan untuk menentukan lama pengeringan tiap variasi hingga dicapai kadar air daun sambiloto ±10%. Pengeringan daun Sambiloto dilakukan dalam tiga variasi suhu dan tekanan ruang pengering yaitu suhu 30°C, 40°C, 50°C dan tekanan 60 kPa, 50 kPa, 35 kPa.

Pemanas dinyalakan dan pada kontrol panel suhu diatur sesuai variasi. Setelah tercapai suhu yang diinginkan, sampel sebanyak ± 100 g dimasukkan dalam ruang pengering (disusun dalam rak pengering) dan kondisi vakum mulai dilakukan dengan cara menghisap udara dalam ruang pengering.

Pengukuran kadar air dilakukan pada interval waktu 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150 dan 210 menit. Sampel yang telah dikeringkan 10 menit diambil untuk diukur kadar airnya. Kemudian pengukuran kadar air sampel pada menit ke-20 dilakukan dengan mengeringkan kembali sampel segar (mulai dari awal). Demikian seterusnya dilakukan cara yang sama untuk interval waktu yang lain. Bahan yang telah dikeringkan pada tiap waktu tersebut kemudian dioven pada suhu 105°C selama ±24 jam untuk dilakukan pengukuran kadar air secara gravimetri.

Perubahan suhu bahan dan suhu ruang pengering diukur menggunakan termokopel dengan cara memasang kabel termokopel pada sampel sebelum dimasukkan kedalam ruang pengering. Pengukuran suhu dilakukan tiap 10

menit selama pengeringan daun sambiloto dari kadar air $\pm 70\%$ hingga dicapai $\pm 10\%$ yang memerlukan waktu antara 150 – 210 menit (sesuai penelitian pendahuluan).

Analisis data

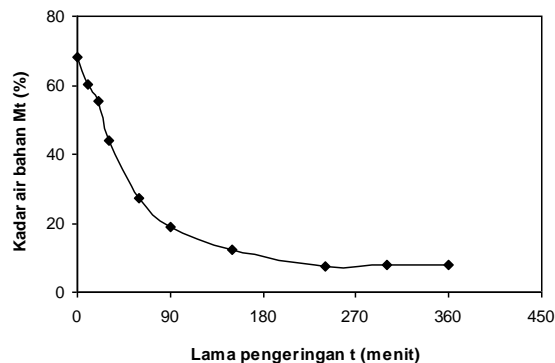
Data perubahan kadar air selama pengeringan digunakan untuk menentukan konstanta laju pengeringan (k). Dari persamaan (2) dibuat grafik hubungan waktu versus $\ln MR$ (*moisture ratio*) yang merupakan bentuk linier. Slope hubungan linier tersebut menunjukkan nilai konstanta laju pengeringan daun sambiloto. Dengan cara yang sama, diperoleh nilai k pada berbagai variasi kondisi suhu dan tekanan ruang pengering.

Nilai k pada berbagai variasi tersebut dianalisis menggunakan persamaan (3) sehingga diperoleh k sebagai fungsi suhu dan tekanan ruang pengering yang disebut sebagai k prediksi. Selanjutnya nilai k prediksi digunakan untuk memprediksi perubahan kadar air selama pengeringan dan hasilnya divalidasi dengan kadar air hasil observasi.

Hasil dan Pembahasan

Perubahan kadar air bahan selama pengeringan

Selama pengeringan terjadi perpindahan panas dan massa secara serempak. Perpindahan massa air bahan terjadi akibat adanya panas yang masuk dan adanya perbedaan tekanan uap air. Panas yang masuk bahan akan menguapkan kandungan air bahan secara perlahan-lahan menuju ruang pengering karena tekanan uap air ruang pengering lebih rendah daripada tekanan uap air pada bahan. Pada Gambar 2, nampak pada awal pengeringan, penurunan kadar air terjadi lebih cepat dan berangsur perlahan ketika mencapai kadar air seimbang. Kadar air setimbang terjadi ketika kandungan uap air bahan dengan lingkungan telah seimbang. Keadaan kandungan air yang sama pada keduanya mengakibatkan kandungan air tidak dapat berpindah (Chakraverty, 2001).

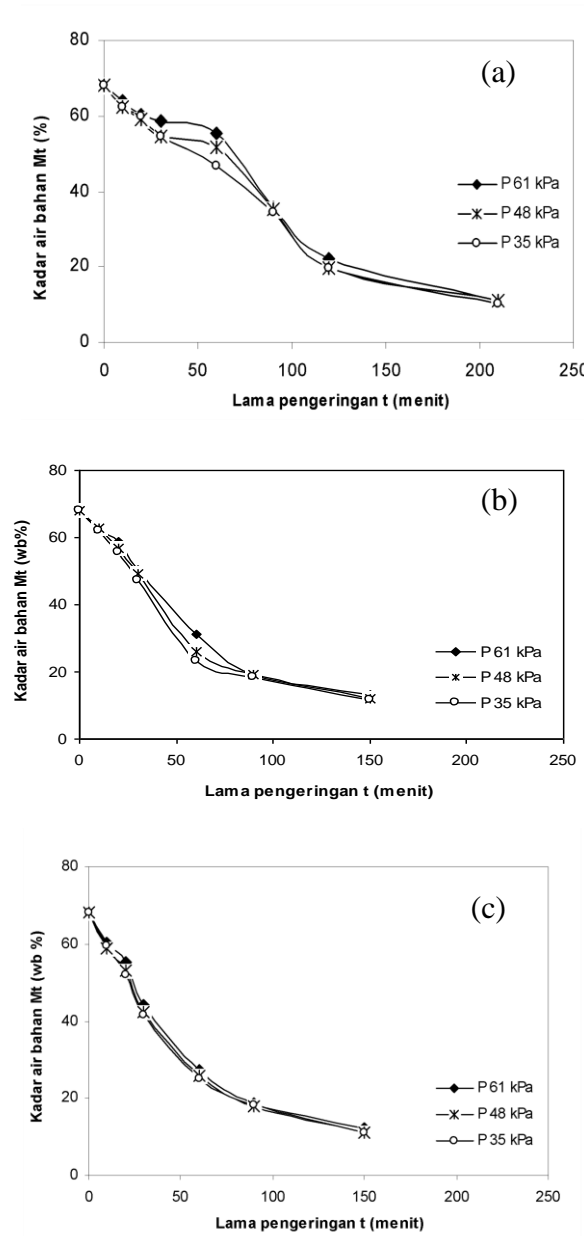


Gambar 2. Perubahan kadar air daun sambiloto selama pengeringan pada kondisi suhu 50°C , tekanan 61 kPa .

Pada Gambar 2, terlihat kadar air setimbang dicapai ketika pengeringan berlangsung 200 menit. Kadar setimbang daun sambiloto pada kondisi suhu pengeringan $30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ dan tekanan $35\text{ kPa} - 61\text{ kPa}$ menunjukkan kisaran nilai $4,3 - 7,4\%$ (wb). Waktu untuk mencapai kadar air setimbang berada pada kisaran 200 – 240 menit.

Gambar 3 menunjukkan kecenderungan semakin rendah tekanan, maka penurunan kadar air semakin cepat. Pengaruh tekanan terhadap perubahan kadar air semakin mengecil seiring dengan suhu ruang pengering yang semakin tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3c, dimana perubahan kadar air mendekati sama pada tekanan yang berbeda. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa tekanan vakum akan menurunkan tekanan parsial uap air di udara di bawah tekanan jenuhnya. Di samping itu tekanan vakum akan menurunkan titik didih air. Karenanya air akan cepat berubah menjadi uap di bawah titik didih dengan tekanan atmosfer.

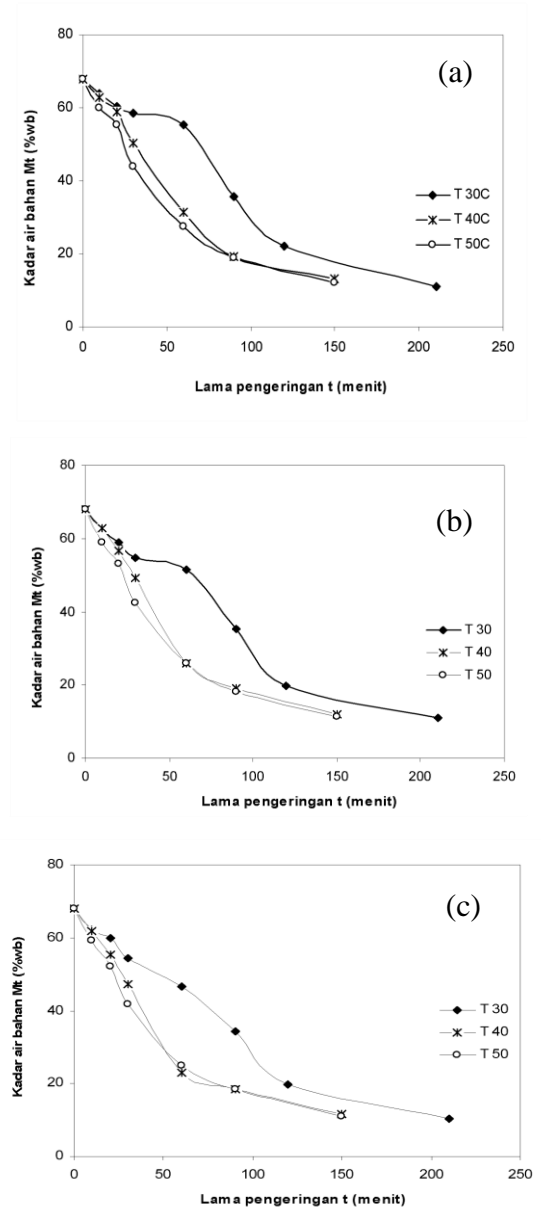
Adapun pengaruh suhu terhadap penurunan kadar air ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4, penurunan kadar air semakin cepat seiring dengan kenaikan suhu ruang pengering. Makin tinggi suhu udara pengering, makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa air bahan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan (Rachmawan, 2001).



Gambar 3. Perubahan kadar air daun sambilitoto selama pengeringan pada variasi tekanan dan kondisi (a) suhu 30°C, (b) suhu 40°C, (c) suhu 50°C

Dari variasi tekanan dan suhu pengering dapat diketahui bahwa besarnya tekanan dan suhu ruang pengering vakum sangat mempengaruhi besar penurunan kadar air bahan. Dengan semakin tinggi suhu dan semakin rendah tekanan ruang pengering maka perubahan kadar air bahan akan terjadi lebih cepat.

Cepatnya penurunan kadar air selain karena titik didih air mengalami penurunan juga karena air disedot ke tabung vakum pada saat membuka dan menutup kran pompa vakum dalam usaha untuk mempertahankan tingkat kevakuman ruang pengering.

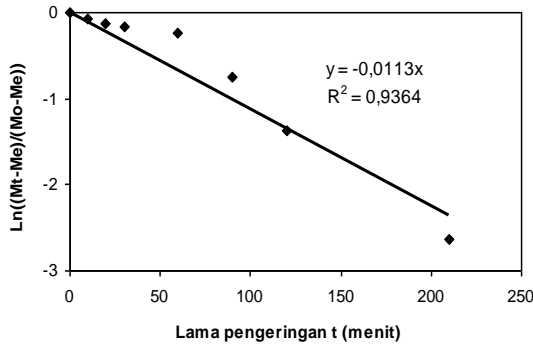


Gambar 4. Perubahan kadar air daun sambilitoto selama pengeringan pada variasi suhu dan kondisi (a) tekanan 61 kPa, (b) tekanan 48 kPa, (c) tekanan 35 kPa

Semakin besar perbedaan tekanan yang dibuat maka semakin besar pula udara dan air yang disedot dari ruang pengering sehingga penurunan kadar air juga lebih cepat terjadi.

Konstanta laju pengeringan

Konstanta laju pengeringan daun sambilitoto pada berbagai kondisi suhu dan tekanan ruang pengering dianalisis dengan membuat grafik hubungan $\ln MR$ versus waktu seperti terlihat pada Gambar 5. Nilai *slope* pada Gambar 5 menunjukkan besarnya konstanta laju pengeringan.



Gambar 5. Hubungan Ln ((Mt-Me)/(Mo-Me)) versus waktu pada kondisi pengeringan suhu 30°C dan tekanan 61 kPa

Hasil analisis konstanta laju pengeringan daun sambiloto pada berbagai suhu dan tekanan disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 tampak bahwa semakin tinggi suhu pengering maka konstanta laju pengeringan akan semakin besar. Sedangkan berdasarkan perubahan tekanan ruang pengering terlihat bahwa pada suhu 30°C dan 50°C konstanta laju pengeringan semakin turun dengan semakin kecilnya tekanan ruang pengering. Pada suhu pengering 40°C, konstanta laju pengeringan semakin besar jika tekanan ruang pengering semakin kecil.

Tabel 1. Konstanta laju pengeringan daun sambiloto pada berbagai suhu dan tekanan

T (°C)	P (kPa)	k (menit ⁻¹)
30	61	0,0113
	48	0,0107
	35	0,0107
40	61	0,0144
	48	0,0154
	35	0,0172
50	61	0,0175
	48	0,0159
	35	0,0159

Hasil konstanta laju pengeringan observasi digunakan untuk menentukan konstanta laju pengeringan prediksi, yang selanjutnya nilai tersebut dipakai untuk menghitung kadar air prediksi. Dengan memasukkan nilai k pada suhu dan tekanan yang bervariasi dan selanjutnya dianalisis menggunakan SPSS dengan regresi linier berganda fungsi suhu dan tekanan (T,P), diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$k_{\text{prediksi}} = 0,00075T^{0,823}P^{-0,021} \quad (5)$$

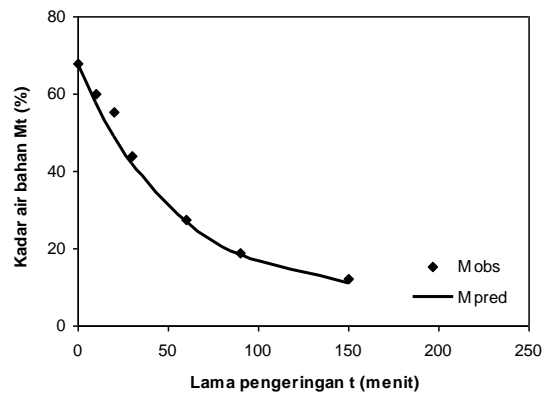
dimana T dan P adalah suhu dan tekanan konstan udara di dalam ruang pengering. Berdasarkan persamaan (5), diperoleh konstanta laju pengeringan prediksi seperti disajikan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa konstanta laju pengeringan prediksi sebagai fungsi tekanan

dan suhu. Semakin tinggi suhu udara pengering maka nilai k semakin besar karena panas yang diberikan semakin tinggi dan penguapan air juga semakin cepat. Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin rendah tekanan ruang pengering maka nilai k semakin besar karena keluarnya air dari bahan semakin cepat.

Tabel 2. Tabel konstanta laju pengeringan pada berbagai suhu dan tekanan

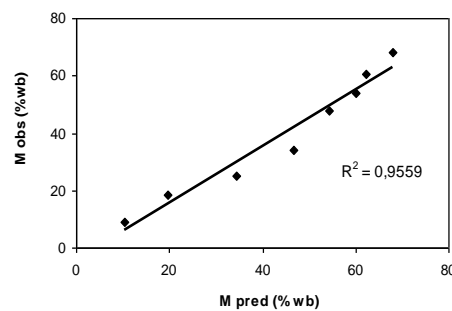
T (°C)	P (kPa)	k _{prediksi} (menit ⁻¹)	k _{obs} (menit ⁻¹)
30	61	0,0124	0,0113
	48	0,0125	0,0107
	35	0,0125	0,0107
40	61	0,0157	0,0144
	48	0,0158	0,0154
	35	0,0159	0,0172
50	61	0,0189	0,0175
	48	0,0190	0,0159
	35	0,0191	0,0159

Nilai k_{prediksi} pada Tabel 2 digunakan untuk memprediksi perubahan kadar air selama pengeringan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perubahan kadar air daun sambiloto selama pengeringan hasil observasi dan prediksi pada tekanan 61 kPa dan suhu 50°C.

Keterkaitan perubahan kadar air hasil observasi dan prediksi pada Gambar 6 divalidasi dengan membuat hubungan linier hasil observasi dan prediksi seperti disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kadar air daun sambiloto hasil observasi dan prediksi

Koefisien determinasi (R^2) untuk keseluruhan variasi suhu dan tekanan ruang pengering berkisar antara 0,95 – 0,97 yang berarti ada kedekatan hasil prediksi dan observasi. Untuk lebih jelasnya mengenai ada atau tidaknya perbedaan antara kadar air observasi dengan kadar air prediksi maka dilakukan analisa uji validasi dengan menggunakan SPSS Anova Satu Arah. Hasil uji validasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa nilai F hitung lebih kecil daripada F tabel sehingga nilai signifikansi dari data lebih besar dari 0,05 (>0,05). Hasil signifikansi ini adalah nilai probabilitas data. Karena probabilitas lebih besar dari 0,05 maka antara kadar air prediksi dengan observasi tidak ada perbedaan yang nyata.

Tabel 3. Hasil uji validasi kadar air prediksi

Suhu (°C)	Tekanan (kPa)	K (T,P)	
		F hit.	Sig.
30	61	0,335	0,572
	48	0,241	0,631
	35	0,212	0,652
40	61	0,062	0,808
	48	0,017	0,898
	35	0,000	0,994
50	61	0,026	0,876
	48	0,031	0,863
	35	0,029	0,868

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa nilai konstanta laju pengeringan hasil prediksi dapat diaplikasikan untuk memprediksi perubahan kadar air daun sambiloto selama pengeringan menggunakan pengering tekanan rendah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Konstanta laju pengeringan daun sambiloto menggunakan pengering tekanan rendah berkisar antara 0,01 – 0,0175 men^{-1} .
2. Penggunaan tekanan rendah dapat meningkatkan laju pengeringan.
3. Persamaan empiris konstanta laju pengeringan sebagai fungsi suhu dan tekanan dinyatakan dalam $k_{\text{prediksi}} = 0,00075T^{0,823}P^{-0,021}$, dengan T dan P adalah suhu dan tekanan konstan udara di dalam ruang pengering. Persamaan ini dapat diaplikasikan untuk memprediksi perubahan kadar air daun sambiloto selama

pengeringan menggunakan pengering tekanan rendah.

Daftar Pustaka

Bejan, A. 1984. *Convection of Heat Transfer*. John Wiley and Sons. New York.

Brooker, D. B., F. W. Baker-Arkema dan C. W. Hall. 1972. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold. New York.

Chakraverty, A. 2001. *Postharvest Technology*. Science Publisher. Inc. Enfield, USA.

Crank, J. 1975. *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press. Oxford.

Drouzas, A. E., E. Tsami and G. D. Saravacos. 1999. *Microwave Vacuum Drying of Model Fruit Gels*. J. of Food Eng. 39(2), 117-122.

Kozanoglu, B., A. C. Vazquez, J. W. Chanes and J. L. Patiño. 2006. *Drying of Seeds in a Superheated Steam Vacuum Fluidized Bed*. J. of Food Eng., 75(3), 383-387.

Lewis, M.J., 2003. *Physical Properties of Food Processing System*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, England.

Lisdawati, V. 2002. *Makalah :Buah Mahkota Dewa-Toksitas, Efek Antioksidan dan Efek Antikanker Berdasarkan Uji Penapisan Farmakologi*. www.mahkotadewa.com. Didownload tanggal 21 Juni 2007.

Lydersen, A. L. 1983. *Mass Transfer in Engineering Practice*. John Wiley and Sons. Trondheim.

McMinn. W. A. M., 2006. *Thin-layer Modelling of The Convective, Microwave, Microwave-Convective and Microwave-vacuum Drying of Lactose Powder*. J. of Food Eng. 72(2), 113-123.

Mongpraneet, S., T. Abe and T. Tsurusaki. 2002. *Accelerated Drying of Welsh Onion by Far Infrared Radiation Under Vacuum Conditions*. J. of Food Eng. 55(2), 147-156.

Montgomery, S. W., V. W. Goldschmidt and M. A. Franchek. 1998. *Vacuum Assisted Drying of Hydrophilic Plates: Static Drying Experiments*. Int. J. of Heat and Mass Trans., 41(4-5), 735-744.

Myers, G. E. 1971. *Analytical Methods in Conduction Heat Transfer*. McGraw Hill Book Company. New York.

Orizik, M. N. 1980. *Heat Conduction*. John Wiley and Sons. New York.

Pramono, S. 2006. *Peningkatan Efektivitas dan Daya Saing Obat Alami Indonesia*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Farmasi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Rachmawan, O. 2001. *Pengeringan, Pendinginan, dan Pengemasan Komoditas Pertanian*. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.

Yusron, M. 2005. *Budidaya Tanaman Sambiloto*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatika. Yogyakarta.