

Model Pendekatan Nilai Konstanta Penggorengan Vakum Keripik Pepaya

Prediction Models A Constant Value of Papaya Chips Vacuum-Frying

R. Sugiarto

Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian (INTAN) Yogyakarta

ABSTRACT

*This research is purposed to examine constant analysis model with two dependent variables, they are vacuum pressure (-p) within three levels: 60; 65 and 70 cmHg and frying temperature (T) in three levels: 70; 80; and 90°C with the ratio product mass toward medium mass (oil) R=1:20 within twice repetition for papaya chips frying. Analysis is conducted to the result of research toward the influence of each treatment with statistic experiment LSD (Least Square Design) with vacuum frying constant (K). Research with analysis model approach prefer on emphasizing functional relation between dependent variable and independent variable within nonlinear equation of logarithmic exponential with vacuum pressure (-p) as the independent variable and medium temperature or frying oil (T) in three level like have been mentioned. The analysis result with two independent variables vacuum pressure (-p) and vacuum frying temperature (T) got an equation for constant value of vacuum frying ($K_p = \text{minut}^{-1}$) and the prediction is: $K_p = 1.4642 * \exp(-0.5 * (((-p) - 181.838) / 45.1584)^2 + ((T - 93.7826) / 26.006)^2)$; $R^2 = 0.921$ The implementation of analysis result of vacuum frying constant value (K) which is used to predict history of chips water/moist level along the process of vacuum frying show the average of reliable validation experiment result ($R^2 > 0.94$). Then the experiment result of fried chips very related to the timing of frying that have been applied, with relative of final water level which not truly different in the test level 5%.*

Keywords: vacuum frying, frying constanta and papaya chips.

Naskah ini diterima pada tanggal 3 Oktober 2013, direvisi pada tanggal 17 Oktober 2013 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 16 Desember 2013

PENDAHULUAN

Saat ini keripik buah dan sayur telah banyak dikonsumsi, karena produk ini memiliki cita rasa khas, renyah dan enak. Salah satu pilihan produsen dalam memproduksi keripik buah dan sayuran adalah pada penggorengan vakum (*vacuum frying*) yang mampu menghasilkan cita rasa dan warna yang lebih baik, jika dibandingkan dengan produk yang diperoleh dengan cara memanggang atau merebus (Shyu, et al, 1998).

Hasil penelitian terhadap penggorengan kentang secara vakum, dijelaskan warna gelap dan merah pada produk keripik kentang disebabkan adanya reaksi antara gugus amina dan gula reduksi (reaksi pencoklatan non enzimatis atau reaksi Maillard) (Garayo and Moriera (2002). Karakteristik

bahan baku yang berpengaruh terhadap kualitas warna produk selama proses penggorengan vakum, meliputi: kadar air dan kadar sukrosa.

Berbagai pendekatan telah dilaksanakan untuk menggambarkan kondisi dan perubahan yang terjadi selama penggorengan produk. Model yang dikembangkan hingga sekarang masih menggambarkan perubahan yang terjadi selama proses penggorengan dan belum menjelaskan hubungan antara karakteristik bahan baku dan proses dengan perubahan pada produk yang dihasilkan.

Selama proses penggorengan buah secara vakum, perpindahan panas dan massa terjadi secara simultan. Perpindahan panas terjadi dari minyak panas menuju ke permukaan buah dan merambat ke dalam buah, yang terjadi dalam waktu yang bersamaan. Kondisi tersebut mengakibatkan banyak terjadi perubahan pada buah, baik perubahan fisik maupun kimiawi. Perubahan fisik hasil pemasakan terjadi lebih cepat, produk menjadi mekar, tekstur renyah dan terjadi pengembangan rasa. Perubahan secara kimiawi terjadi dengan adanya penguapan air, penyerapan minyak, gelatinisasi pati, denaturasi protein, pencoklatan non enzimatis dan perubahan warna pada bahan yang digoreng dari warna alaminya (Farhas dkk., 1996, Yamsaengsung dan Moriera, 2002 dalam Jamaluddin dkk., 2012).

Penelitian yang lebih komprehensif perlu dikembangkan untuk memperoleh pemahaman yang lebih lengkap dan sesuai terhadap proses penggorengan bahan pangan termasuk cara penggorengan vakum. Oleh karenanya dengan menyertakan karakteristik bahan baku dan teknik proses yang memadai menjadi perlu dilakukan untuk mendapatkan produk yang sesuai dengan standar mutu yang diinginkan.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan terhadap proses penggorengan vakum dengan berbagai perlakuan adalah nilai konstanta penggorengan (K) yang merupakan fungsi kadar air awal, kadar air akhir dan kadar air sesaat. Berbagai perlakuan yang diduga banyak berpengaruh terhadap nilai konstanta penggorengan (K) antara lain : suhu media (minyak), nisbah antara massa produk keripik terhadap massa media (R), tekanan vakum ($-p$) proses dan tingkat ketebalan irisan keripik buah segar. Buah segar yang akan dipakai pada penelitian ini adalah buah papaya matang sedang.

Pada penelitian ini variasi perlakuan yang diterapkan adalah suhu penggorengan sebagai peubah tak bebas dengan perlakuan tekanan vakum ($-p$), nisbah antara massa produk keripik terhadap massa media (R) dan tingkat ketebalan irisan keripik segar diposisikan sebagai peubah tak bebas yang telah ditentukan.

TINJAUAN PUSTAKA

Proses Pindah Panas dan Massa pada Penggorengan Vakum

Proses pengeringan merupakan suatu proses kompleks yang meliputi hubungan simultan antara panas transien, transpor massa dan momentum (Mujumdar, 1997). Seperti pada proses

pengeringan proses penggorengan vakum merupakan proses pemasakan yang juga melibatkan kegiatan hubungan simultan diatas.

Perpindahan panas selama penggorengan celup (*deep fat frying*) adalah perpindahan panas secara konveksi, disertai perpindahan panas dari permukaan ke dalam bahan secara konduksi (Jamaluddin dkk., 2012). Selain itu juga dikembangkan model perpindahan panas dan massa pada keripik kentang. Ni dan Datta (1999) dalam Jamaluddin dkk.(2012), menyebutkan bahwa dikembangkan model media berpori multifasa untuk menstimulasi penggorengan keripik kentang. Model tersebut melibatkan aliran yang disebabkan tekanan, namun model tersebut tidak mencakup fase minyak dan belum memperhitungkan perubahan porositas produk dan pengaruhnya terhadap perpindahan panas dan massa dari sistem.

Mekanisme Pindah Massa pada Penggorengan Vakum

Laju penurunan kadar air padatan dari buah nangka selama penggorengan vakum untuk tekanan vakum dan suhu selama penggorengan yang dijaga hingga suhu 100°C, menunjukkan semakin tinggi suhu dan dan tekanan vakum rendah terdapat kecenderungan laju penguapan air semakin cepat (Jamaluddin dkk., 2011). Hal itu terjadi karena pada proses penggorengan dengan suhu tinggi dan tekanan vakum rendah, suhu titik didih air juga menjadi lebih rendah sehingga energi panas yang masuk ke dalam padatan cenderung lebih besar jika dibandingkan dengan suhu rendah dan tekanan vakum lebih tinggi, sehingga padatan yang digoreng pada suhu tinggi dan tekanan vakum rendah lebih cepat menjadi matang dibandingkan suhu sama dan tekanan vakum tinggi. Sedangkan Garayo dan Moriera (2002) mengatakan bahwa kentang yang digoreng pada suhu lebih tinggi dengan tekanan vakum sama akan memerlukan waktu yang lebih singkat untuk mencapai kadar air yang sama.

Energi panas yang digunakan pada awal penggorengan digunakan untuk memanaskan permukaan dan menjalar ke bagian dalam padatan (bahan). Pada kondisi tersebut proses penguapan air bebas mulai berlangsung dari bagian dalam ke permukaan, karena terdapat perbedaan konsentrasi massa air pada bagian dalam dengan permukaan dan karena konsentrasi massa air dalam padatan. Air pada permukaan lebih cepat menjadi uap disebabkan adanya kontak langsung padatan dan minyak goreng. Penurunan kadar air dicirikan dengan adanya penguapan air dan terjadinya gelembung gas dari permukaan padatan (bahan) menuju minyak panas. Penurunan kadar air dikarenakan hilangnya sebagian air bebas dari dalam padatan menuju permukaan yang mengalami penguapan ke lingkungan (minyak panas) dan permukaan massa air menjadi uap di dalam padatan. Penurunan kadar air mendekati konstan setelah penguapan air bebas dalam padatan juga mendekati konstan atau pada saat kadar air mencapai sekitar 15%, kemudian melambat setelah penguapan air bebas konstan atau pada saat kadar air dibawah 15% (Jamaluddin, dkk., 2011).

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama penelitian ini adalah buah papaya matang sedang dengan bahan pendukung minyak goreng dengan kualitas baik. Beberapa peralatan utama yang diperlukan antara lain: mesin penggorengan vakum, timbangan analitis dan perlengkapannya untuk kepentingan pengukuran kadar air. Perlengkapan lain untuk penggorengan vakum juga digunakan sebagai penunjang kinerja mesin vakum.

Cara Penelitian

Proses penggorengan vakum merupakan proses pindah panas dan pindah massa yang berlangsung dalam kondisi tertutup dengan suhu dan tekanan yang relatif terkendali. Proses ini menguntungkan karena dengan proses penggorengan berlangsung pada suhu media rendah (dibawah 100°C), meskipun waktu yang diperlukan relatif lebih lama.

Proses penggorengan vakum relatif mudah dilakukan karena proses penggorengan dapat dengan mudah dikendalikan karena pengaturan suhu penggorengan relatif mudah dikendalikan dengan teknologi digital yang secara otomatis dapat mengendalikan besar api kompor pemanas (kompor LPG).

Secara umum kondisi kadar air bahan merupakan fungsi dari kadar air awal (M_0), kadar air akhir penggorengan (M_e), waktu penggorengan (t) dan nilai konstanta penggorengan (K). Untuk mengetahui perilaku riwayat suhu penggorengan vakum dapat diketahui dengan penerapan nilai K sebagai fungsi waktu penggorengan (t).

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati besarnya nilai konstanta penggorengan (K) sebagai fungsi waktu (t) pada kondisi perlakuan yang terkendali, seperti suhu penggorengan vakum (T), tekanan vakum ($-p$) dan nisbah massa produk yang digoreng terhadap massa minyak (R). Persamaan yang merupakan fungsi suhu penggorengan vakum (T) akan diperoleh untuk besarnya nilai konstanta penggorengan (K) dalam bentuk eksponensial atau regresi nonlinier.

Model pendekatan ini dikembangkan sebagai penyederhanaan dari persamaan difusi dengan asumsi bahwa proses penggorengan berlangsung dalam suatu lingkungan fluida sebagai media pemanas. Model ini dikembangkan sebagai analogi dari hukum Newton untuk proses pendinginan (Lewis (1921) dalam Brooker, D.B. et.al, 1992). Asumsi yang digunakan berupa laju penurunan lengas bahan akan proporsional terhadap perbedaan antara kadar lengas/kadar air dengan kondisi kadar lengas setimbang. Persamaan tersebut adalah:

$$\frac{d\overline{M}_b}{dt} = K(\overline{M}_b - M_e) \quad (1)$$

Dengan pemisahan variabel dan pengintegralan diperoleh persamaan:

$$\frac{\overline{M}_b(t) - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-Kt) \quad (2)$$

Selanjutnya diperoleh:

$$\text{Ln} \left(\frac{\overline{M}_b(t) - M_e}{M_0 - M_e} \right) = -Kt \quad (3)$$

Nilai tersebut akan sangat bermanfaat dalam penentuan kondisi kadar air prediksi setelah proses penggorengan vakum yang juga merupakan fungsi waktu seperti disebutkan pada persamaan (1), sehingga diperoleh:

$$M_b = f(M_0, M_e, K, t) \quad (4)$$

Adapun nilai konstanta penggorengan vakum (K) hasil penelitian merupakan fungsi tekanan vakum (-p) dan suhu media penggorengan (T). Nilai konstanta penggorengan vakum (K) yang dihasilkan juga akan diuji keshahihannya (uji validitas) terhadap rentang tekanan vakum (-p) dan suhu media penggorengan (T) atau bisa disebutkan sebagai:

$$K = f(-p; T) \quad (5)$$

Cara pendekatan model terhadap konstanta penggorengan (K_p) sebagai nilai prediksinya dikembangkan melalui persamaan dengan dua peubah bebas, yakni tekanan vakum (-P) dan suhu minyak penggorengan (T). Sedangkan nilai konstanta observasi (K_o) dikembangkan dari persamaan (3) untuk memperoleh kurva kelerengan K sebagai nilai konstanta penggorengan observasi dalam setiap perlakuan suhu.

Nilai konstanta penggorengan prediksi (K_p) diatas selanjutnya digunakan dalam penentuan nilai kadar air prediksinya sebagai fungsi waktu dengan memanfaatkan persamaan (2). Nilai konstanta penggorengan (K_p) diperoleh dengan memanfaatkan dua peubah bebas sebagai faktor utamanya, yakni tekanan vakum (-p) dan suhu penggorengan (T).

Asumsi dan Batasan

Proses penggorengan dilaksanakan pada tiga aras suhu minyak (70, 80 dan 90°C) dan pada tiga aras kondisi tekanan vakum, yakni -60; -65 dan -70 cmHg dengan memberikan batasan terhadap ketebalan irisan buah (5 mm) dan nisbah bobot irisan buah terhadap bobot media minyak (R = 1:20).

Untuk pencapaian tujuan tersebut diperlukan batasan dan asumsi selama proses penggorengan berlangsung sebagai berikut:

- a. Ketebalan dan densitas bahan (produk) diseragamkan dan dianggap benar-benar seragam,
- b. Suhu media penggorengan untuk selang waktu tertentu diupayakan seragam dan relatif konstan (mesin penggorengan vakum dilengkapi dengan sistem kendali suhu otomatis atau digital),
- c. Proses penggorengan dianggap seragam atau homogen dan sempurna,
- d. Sifat termal dan sifat fisik bahan selama proses penggorengan dianggap konstan,

e. Kadar air setimbang produk ditentukan.

Analisis model konstanta penggorengan

Cara pendekatan model terhadap konstanta penggorengan (K_p) sebagai nilai prediksinya dikembangkan melalui persamaan dengan dua peubah bebas, yakni tekanan vakum (-P) dan suhu minyak penggorengan (T). Sedangkan nilai konstanta observasi (K_o) dikembangkan dari persamaan (3) untuk memperoleh kurva kelerengan K sebagai nilai konstanta penggorengan observasi dalam setiap perlakuan suhu.

Nilai konstanta penggorengan prediksi (K_p) diatas selanjutnya digunakan dalam penentuan nilai kadar air prediksinya sebagai fungsi waktu dengan memanfaatkan persamaan (2). Nilai konstanta penggorengan (K_p) diperoleh dengan memanfaatkan dua peubah bebas sebagai faktor utamanya, yakni tekanan vakum (-p) dan suhu penggorengan (T).

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengembangkan persamaan-persamaan diatas untuk memperoleh nilai observasi konstanta penggorengan (K_o). Sedangkan analisis untuk nilai prediksinya dilakukan dengan mengembangkannya dalam bentuk persamaan dalam bentuk eksponensial atau logaritmik. Penentuan nilai konstanta penggorengan observasi dari analisis kadar air mengikuti langkah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Bagan analisis nisbah kadar air berbagai perlakuan.

	$T_n - P_n (U_n)$		
t	$M_b MR = \frac{(M_b - M_e)}{(M_0 - M_e)} Ln \left(\frac{M_b - M_e}{M_0 - M_e} \right)$		
0	M_0	1	0
t_1	M_{b1}	MR_1	$Ln(MR_1)$
t_2	M_{b2}	MR_2	$Ln(MR_2)$
t_3	M_{b3}	MR_3	$Ln(MR_3)$
\dots	\dots	\dots	\dots
t_n	M_{bn}	MR_n	$Ln(MR_n)$
	M_e		

Selanjutnya dengan kurva linier dapat diperoleh kurva kelerengan $Ln((M_b - M_e)/(M_0 - M_e))$ untuk setiap perlakuan. Nilai kurva kelerengan tersebut adalah nilai konstanta penggorengan (observasi). Tanda negatif menunjukkan laju penurunan kadar air. Dari hasil analisis juga diperoleh nilai kuadrat dari koefisien korelasi (R^2) yang menunjukkan keshahihan atau validitas hasil yang diperoleh. Pada umumnya untuk nilai $R^2 > 0.91$ menunjukkan analisis yang cukup shahih. Selanjutnya dilakukan analisis statistik LSD terhadap nilai konstanta penggorengan vakum obyektif (K_o) untuk melihat perbedaan yang terjadi akibat perbedaan perlakuan suhu media/minyak penggorengan (T).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Persamaan Observasi

Hasil pengamatan atau observasi terhadap riwayat kadar air (M_b) selama proses penggorengan menunjukkan pola menurun mengikuti kurva eksponensial. Sebagai contoh riwayat kadar air hasil pengamatan untuk tekanan vakum (-p) dan suhu penggorengan (T) dengan dua ulangan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengamatan kadar air (%) pada tekanan vakum (-p) = 60 cmHg dan tiga suhu penggorengan (T) = 70; 80 dan 90°C.

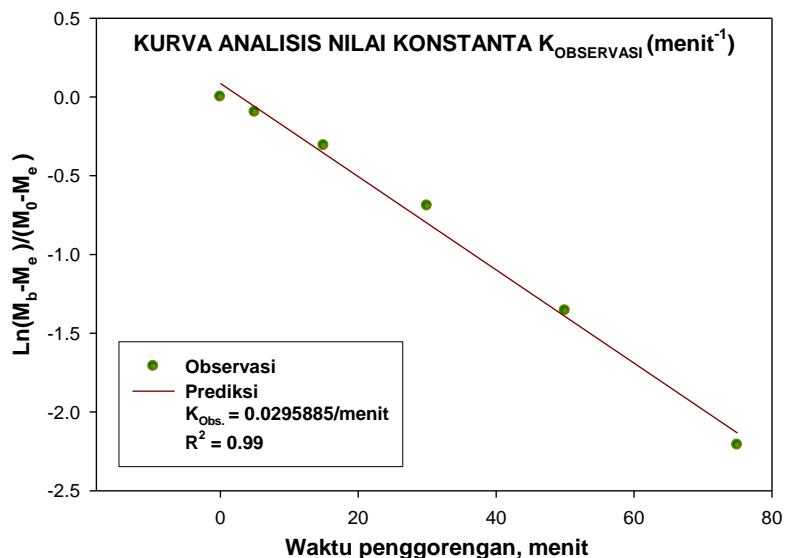
Waktu penggorengan t (menit ¹)	Suhu media (minyak goreng), °C					
	70		80		90	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
0	89.1163	89.1163	89.1163	89.1163	89.1163	89.1163
5	81.4524	82.4142	75.8412	77.0387	72.0427	70.6647
15	67.0445	68.2376	61.4297	63.1295	56.3329	55.2368
30	47.6551	46.3574	37.2197	38.3597	31.1237	32.7994
50	27.3935	28.4180	24.1173	23.4662	19.2380	21.6743
75	15.1224	14.8753	12.3453	11.9694	9.4524	10.1228

Adapun contoh langkah analisis kelerengan kurva untuk penentuan nilai konstanta penggorengan observasi (K_o) dari perlakuan tekanan vakum (-p = 60 cmHg) dan suhu penggorengan (T = 70°C) untuk ulangan 1 (U1) ditunjukkan pada Tabel 3. Selanjutnya dilakukan analisis penentuan nilai konstanta penggorengan vakum observasi (K_o) melalui analisis grafis matematis seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 3. Contoh analisis nilai konstanta penggorengan vakum.

t (menit)	$-p = 60 \text{ cmHg}; T = 70^\circ \text{C}; \text{Ulangan 1 (U1)}$		
	M_b	$(M_b - M_e)/(M_0 - M_e)$	$\ln(M_b - M_e)/(M_0 - M_e)$
0	89.1163	1	0
5	81.4521	0.907789	-0.096743
15	67.0445	0.734447	-0.308638
30	47.6551	0.501166	-0.690817
50	27.3935	0.257392	-1.357154
75	15.1224	0.109755	-2.209508
Me		6.0	

Selanjutnya dilakukan analisis penentuan nilai konstanta pengorengan vakum observasi (K_O) melalui analisis grafis matematis seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



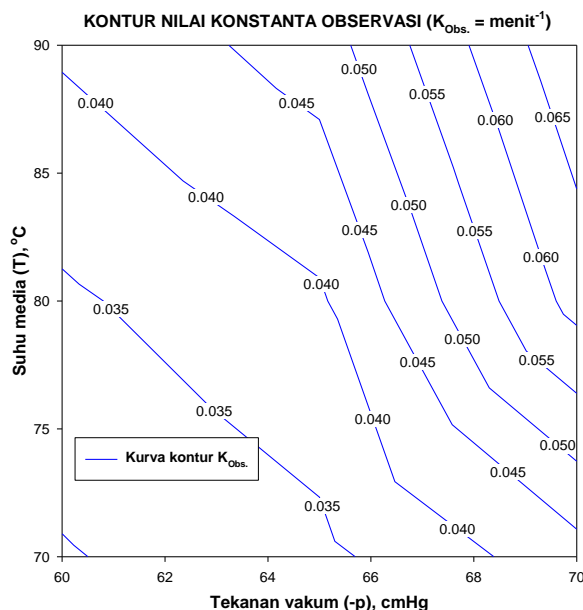
Gambar 1. Contoh hasil analisis nilai konstanta $K_{Observasi}$ untuk $p = -60$ cmHg; $T = 70^\circ C$ pada U1.

Analisis selanjutnya adalah penentuan nilai konstanta observasi (K_O) dari seluruh data observasi pada berbagai perlakuan tekanan vakum dan suhu penggorengan. Selanjutnya dilakukan analisis statistik LSD terhadap nilai konstanta penggorengan vakum obyektif (K_O) untuk melihat perbedaan yang terjadi akibat perbedaan perlakuan suhu media/minyak penggorengan (T) seperti ditunjukkan pada Tabel 4. dan kurva peta kontur observasinya pada Gambar 2.

Tabel 4. Hasil analisis statistik LSD konstanta penggorengan observasi (K_O) untuk perlakuan tekanan vakum dan suhu minyak.

<i>Perlakuan tekanan vakum (-p), cmHg</i>	<i>Perlakuan suhu minyak (T), °C</i>	<i>Nilai konstanta penggorengan observasi (K_O), menit⁻¹</i>
	70	0.029695 a
60	80	0.034464 b
	90	0.039512 c
	70	0.034226 b
65	80	0.040175 c
	90	0.046738 e
	70	0.042188 d
70	80	0.062146 f
	90	0.069868 g

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf uji 5%.



Gambar 2. Kurva kontur nilai konstanta penggorengan observasi.

Model Persamaan Prediksi

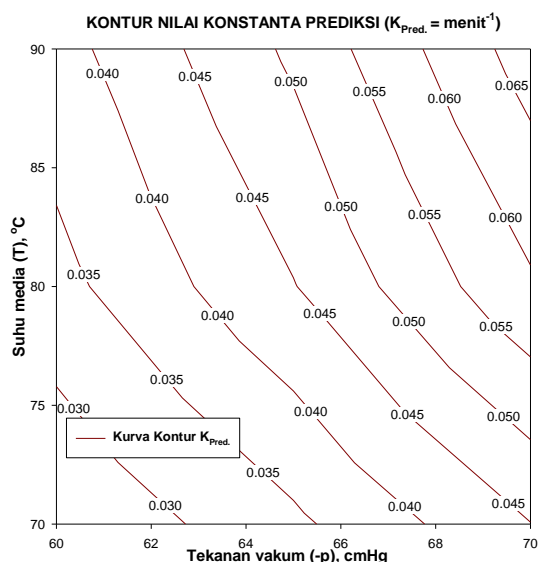
Hasil analisis konstanta penggorengan observasi (K_o) dari masing-masing tiga perlakuan tekanan vakum (-p) dan suhu media (T) diatas yang selanjutnya dilakukan analisis penyusunan model prediksi dari nilai konstanta penggorengan (K_p), dimana (-p) dan (T) sebagai peubah tak bebasnya yang merupakan pengembangan dari persamaan 5. Sedangkan hasil analisis konstanta penggorengan prediksi (K_p) ditunjukkan pada persamaan 6 dan Tabel 5. dengan kurva peta kontur nilai prediksinya pada Gambar 3.

$$K_p = 1.4642 * \exp(-0.5 * (((-p) - 181.838) / 45.1584)^2 + ((T - 93.7826) / 26.006)^2);$$

$$R^2 = 0.921 \tag{6}$$

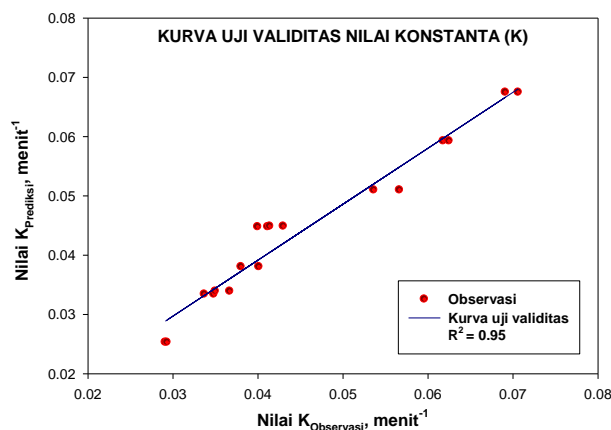
Tabel 5. Hasil analisis konstanta penggorengan prediksi (K_p).

Perlakuan tekanan vakum (-p), cmHg	Perlakuan suhu minyak (T), °C	Nilai konstanta penggorengan prediksi (K_p), menit ⁻¹
	70	0.025312
60	80	0.033414
	90	0.038048
	70	0.033915
65	80	0.044772
	90	0.050981
	70	0.044889
70	80	0.059259
	90	0.067477



Gambar 3. Kurva kontur nilai konstanta penggorengan prediksi.

Hasil analisis validitas dari nilai konstanta penggorengan prediksi (K_P) terhadap nilai konstanta penggorengan observasi (K_O) menunjukkan tingkat validitas yang sangat shahih ($R^2 = 0,96$), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



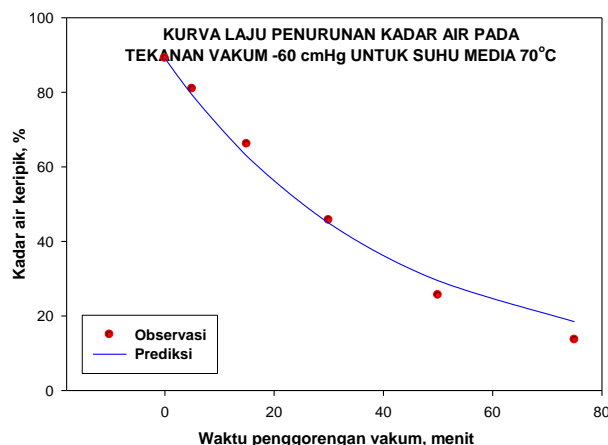
Gambar 4. Hasil uji validitas nilai konstanta penggorengan vakum.

Penerapan Model Prediksi

Setelah diperoleh model prediksi konstanta penggorengan vakum (K_P) dapat digunakan untuk menentukan nilai konstanta penggorengan prediksi dengan peubah bebas suhu media (minyak goreng). Penerapan model prediksi pada tekanan vakum $-p = 60$ cmHg ditunjukkan pada Tabel 6. yang memuat hasil analisis kadar air untuk suhu media minyak $T = 70^\circ\text{C}$. Kurva antara nilai observasi dan prediksinya yang ditunjukkan pada Gambar 5.

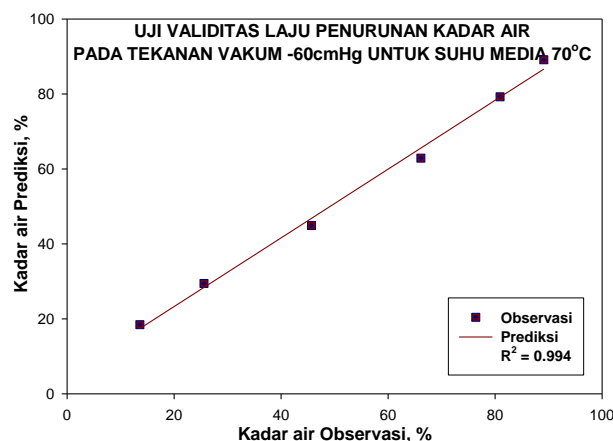
Tabel 6. Hasil analisis penerapan nilai konstanta (K) untuk kadar air pada tekanan vakum $-p = 60$ cmHg dan suhu media 70°C .

Waktu (menit)	M_b Observasi (%)	M_b Prediksi (%)
0	89.1163	89.1163
5	80.9369	80.5139
15	66.1279	65.8880
30	45.6871	49.1512
50	25.5971	33.8739
75	13.6167	22.1419



Gambar 5. Kondisi kadar air selama penggorengan vakum pada tekanan -60 cmHg untuk suhu 70°C .

Uji validitas dari penerapan model prediksi terhadap nilai observasinya untuk kondisi kadar air selama proses penggorengan vakum pada suhu penggorengan vakum $T = 70^{\circ}\text{C}$ dengan nilai $R^2 = 0,994$ seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji validitas kadar air prediksi terhadap observasi pada tekanan vakum -60 cmHg untuk suhu 70°C .

Uji kepekaan model

Konstanta penggorengan vakum

Uji kepekaan model dilakukan terhadap persamaan (5.5) dengan mengubah parameter tak bebasnya (sebagai variabel masukan) berupa: tekanan vakum (-p) dan suhu penggorengan (T) serta nilai prediksi konstanta penggorengan (K_p) sebagai variabel keluaran dengan bagan uji seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Bagan uji kepekaan model konstanta penggorengan vakum (K_p).

No.	Variabel Masukan		Variabel Keluaran
	Tekanan vakum (-p), cmHg	Suhu media penggorengan (T), °C	Konstanta penggorengan vakum (K), menit ⁻¹
1	60	70	0,025312
	65	70	0,033915
	70	70	0,044889
2	65	70	0.033915
	65	80	0.044772
	65	90	0.050981

Uji kepekaan model pengaruh variabel masukan terhadap variabel keluaran secara kuantitatif diperoleh hasil sebagai berikut:

1) Tekanan vakum (-p)

Hasil uji kepekaan model dengan perubahan tekanan vakum (-p) antara 5-10 cmHg memberikan perubahan menaik untuk nilai prediksi konstanta penggorengan vakum (K) sebesar 0,008603-0,019577 (menit⁻¹) atau berkisar antara 33,99-77,34%. Dengan demikian konstanta penggorengan vakum (K) amat sangat peka terhadap perubahan tekanan vakum (-p).

2) Suhu media penggorengan (T)

Hasil uji kepekaan model dengan perubahan suhu media penggorengan (T) antara 10-20°C memberikan perubahan yang juga menaik terhadap nilai prediksi konstanta penggorengan vakum (K) sebesar 0,010857-0,017066 (menit⁻¹) atau berkisar antara 32,01-50,32%. Oleh karenanya dapat dikatakan nilai konstanta penggorengan vakum (K) juga sangat peka terhadap perubahan suhu media penggorengan (T).

Lama penggorengan

Penggorengan keripik pepaya segar menjadi kering dengan nisbah bahan terhadap minyak (R) = 1: 20 dan variasi tekanan vakum (-p) = 60; 65 dan 70 cmHg serta suhu media atau minyak (T) = 70; 80 dan 90°C dengan tebal irisan 5 mm menghasilkan waktu penggorengan seperti ditunjukkan pada Tabel 8. berdasar pada tingkat kematangan keripik pepaya.

Tabel 8. Hasil analisis statistik LSD untuk lama penggorengan.

<i>Tekanan vakum (-p), cmHg</i>	<i>Suhu media (minyak), °C</i>	<i>Rerata lama penggorengan, menit</i>
60	70	109 a
	80	97 c
	90	90 d
65	70	104 b
	80	89 d
	90	71 f
70	70	86 d
	80	80 e
	90	58 g

Keterangan: angka yang diikuti dengan huruf yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada taraf uji 5%.

B. Pembahasan

Penelitian dengan pendekatan model persamaan nonlinier atau eksponensial dalam bentuk persamaan logaritmik untuk menentukan nilai konstanta penggorengan prediksi (K_p) dengan dua peubah tak bebas, yakni tiga tingkatan tekanan vakum ($-p$) = 60; 65 dan 70 cmHg dan suhu penggorengan vakum (T) = 70; 80 dan 90°C dengan nisbah massa produk (irisian buah papaya) terhadap massa media penggorengan atau $R = 1:20$ dan tebal irisan buah buah 5 cm telah diperoleh dari hasil analisis nilai konstanta (K) observasinya. Dengan penggunaan suhu penggorengan yang terkendali dan terkontrol pada mesin penggoreng vakum menjadikan proses penggorengan dapat berlangsung dengan relatif lebih baik dan terkontrol.

Pendekatan model analisis yang digunakan mampu menghasilkan nilai konstanta penggorengan vakum prediksi dengan cukup valid atau shahih yakni dengan $R^2 = 0.921$ (persamaan 6). Uji validitas untuk nilai konstanta penggorengan vakum prediksi (K_p) terhadap nilai observasinya menunjukkan hasil uji yang sangat valid ($R^2 = 0.96$), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Uji kepekaan model yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai kepekaan model terhadap perubahan nilai tekanan vakum ($-p$) memberikan nilai yang amat sangat peka, sedangkan terhadap perubahan suhu penggorengan (T) juga memberikan nilai yang sangat peka. Dengan perubahan tekanan vakum antara 5-10 cmHg mampu memberikan perubahan konstanta penggorengan (K_p) hingga 33-77%. Perubahan tersebut dapat dikatakan amat sangat peka atau amat sangat nyata terhadap perubahan variabel masukan tekanan vakum. Dengan demikian tekanan vakum yang diberikan pada setiap perlakuan penggorengan vakum akan sangat berpengaruh terhadap konstanta penggorengan yang selanjutnya berpengaruh sangat nyata terhadap kualitas hasil akhir keripik dan lama waktu penggorengan. Hasil uji kepekaan model terhadap perubahan suhu penggorengan juga memberikan nilai perubahan yang juga sangat peka terhadap nilai konstanta penggorengan prediksi (K_p) antara 32-50%. Hasil uji tersebut menunjukkan bahwa perubahan variabel masukan suhu penggorengan akan memberikan perubahan nilai konstanta K_p yang sangat nyata, sehingga suhu

penggorengan akan memberikan pengaruh yang sangat nyata terhadap hasil akhir penggorengan keripik buah.

Penerapan model konstanta penggorengan (K_{Prediksi}) untuk memprediksi riwayat kadar air produk (%) selama proses penggorengan vakum mampu menghasilkan rata-rata tingkat validitas yang cukup shahih ($R^2 > 0.94$). Terlihat bahwa laju penurunan kadar air mendekati konstan setelah penguapan air bebas dalam padatan juga mendekati konstan atau pada saat kadar air mencapai sekitar 15%, kemudian melambat setelah penguapan air bebas konstan atau pada saat kadar air dibawah 15% seperti disebutkan oleh Jamaluddin, dkk., 2011. Hasil analisis kadar air prediksi menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah dari nilai observasinya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Model konstanta penggorengan vakum prediksi (K_p) diperoleh dengan memanfaatkan dua peubah bebasnya yakni tekanan vakum ($-p$) dan suhu penggorengan (T) yang diperoleh dari nilai konstanta observasinya (K_o) dengan hasil yang cukup valid, mengikuti persamaan:
$$K_p = 1.4642 * \exp(-0.5 * (((-p) - 181.838) / 45.1584)^2 + ((T - 93.7826) / 26.006)^2); R^2 = 0.921$$
2. Penerapan model konstanta penggorengan vakum prediksi (K_p) untuk memprediksi nilai kadar air (M_b) menghasilkan tingkat validitas yang cukup shahih dengan $R^2 > 0,94$.
3. Lama penggorengan cenderung relatif lebih singkat untuk tekanan vakum dan suhu penggorengan yang lebih tinggi.

Saran

Penerapan pendekatan model konstanta penggorengan pada penelitian ini kiranya dapat diperluas untuk komoditas produk yang lain atau untuk nisbah massa bahan terhadap massa minyak penggorengan (R) yang lain untuk memperluas pemanfaatan dari pendekatan model yang diterapkan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall, 1992. *Drying and Storage of Grains and Oilseed*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Garayo, J., and Moriera, R. (2002). *Vacuum frying of potato chips*. Journal of Food Engineering **55**: 181-191.

Jamaluddin, Budi Rahardjo, Pudji Hastuti dan Rochmadi, 2011. *Model Perubahan Warna Keripik Buah selama Penggorengan Vakum*. Jurnal Agritech **31**: 333-351.

Jamaluddin, Budi Rahardjo, Pudji Hastuti dan Rochmadi, 2012. *Model Perpindahan Panas dan Massa selama Penggorengan Buah pada Keadaan Vakum*. Jurnal Agritech **32**: 35-43.

Mujumdar, A.S., 1997. *Drying Fundamentals*, In : Industrial Drying of Food by Baker, C.G.J. (editor). Blackie Academic and Professional, London.

Shyu, S., Hau, L. and Hwang, L.S. (1999). *Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils*. Journal of American Oil Chemical Society **75**: 1393-1398.