

MODEL PERUBAHAN VOLUME KERIPIK BUAH SELAMA PROSES PENGGORENGAN SECARA VAKUM

[Model for Volume Changes in Fruit Chips during Vacuum Frying]

Jamaluddin^{1)*}, Budi Rahardjo²⁾, Pudji Hastuti²⁾ dan Rochmadi³⁾

¹⁾ Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

²⁾ Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

³⁾ Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Diterima 11 Agustus 2010 / Disetujui 24 Desember 2010

ABSTRACT

Expansion and puffing are specific characteristics of fried products critical for consumer preferences. To obtain expanded and puffed dried products that fit well with consumer acceptance criteria, it is necessary to pay attention to the process conditions which change the raw material characteristics during frying. The important changes include volume and density ratio of the products during frying. Hypothetically, these changes are due to water vaporization and the decrease dry matter in the products. The objective of this research is to develop a mathematical model of volume and density ratio changes for jack fruit during vacuum frying as a function of water and starch content reductions. Samples were vacuum fried at 70–100°C and pressure of 80–90 kPa for 15–60 min. The parameters observed were volume and density as well as water and starch contents of samples before and after vacuum frying. The results showed that the developed model can be used to predict changes in volume and density ratio of jack fruit during vacuum frying.

Keywords: volume, density, water content, starch content and vacuum frying

PENDAHULUAN

Penggorengan makanan dapat merubah struktur pori produk dalam bentuk penyusutan atau pemekaran. Perubahan struktur tersebut dapat mempengaruhi difusivitas gas dan cairan di dalam bahan (Kawas, Moreira, 2000; Lujan, Moreira, 1996; Xiong, Narsimhan dan Okos, 1991; Yamsaengsung dan Moreira, 2002a). Selanjutnya Asensio (1999), Yamsaengsung, Moreira (2002b) mengembangkan korelasi semi empirik perubahan struktur pada penyusutan dan pemekaran produk yang disebabkan oleh pengembangan. Penelitian tersebut telah berhasil mengungkapkan perubahan volume dan porositas bahan selama proses penggorengan dan menjelaskan bahwa perubahan volume dan porositas bahan disebabkan karena hilangnya air terikat dan adanya perubahan struktur sel dalam bahan, namun penelitian tersebut belum mempertimbangkan terjadinya perubahan volume dan rasio perubahan densitas karena adanya penguapan air sehingga terbentuk rongga kosong dan penurunan kadar pati karena terjadinya reaksi gelatinisasi di dalam bahan.

Pengembangan model matematik yang menjelaskan perubahan volume dan struktur selama proses penggorengan telah dikembangkan oleh Kawas, Moreira (1996), Lujan *et al.*, (1996), Yamsaengsung, Moreira (2002a), Math *et al.*, (2003). Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa penggorengan dapat mengubah struktur produk dengan terjadinya penyusutan, pemekaran, kepadatan, perubahan tekstur dan kimiawi pada bahan. Namun model tersebut belum menjelaskan

perubahan volume dan rasio perubahan densitas karena berubahnya kondisi bahan baku, meliputi: penurunan kadar air dan penurunan kadar pati. Padahal kondisi tersebut sangat penting dipertimbangkan sebagai penyebab terjadinya perubahan volume dan rasio perubahan densitas bahan pangan selama penggorengan. Yamsaengsung, Moreira (2002a) membuat model empirik untuk menggambarkan perubahan volume *tortilla chip* selama penggorengan. Hasil penelitiannya menunjukkan *tortilla chip* mengalami penyusutan dan pengembangan disebabkan oleh pengembangan gelembung gas dalam *tortilla chip*. Whitaker (1977) dan Asensio (1999) mengembangkan model untuk menjelaskan penghilangan air terikat dianggap sebagai penyebab penyusutan pada struktur sel bahan. Penelitian tersebut telah berhasil menjelaskan gejala perubahan volume dan kaitannya dengan penurunan kadar air di dalam bahan, namun belum menjelaskan pengaruh kondisi bahan baku dan hubungan secara empirik antara penurunan kadar air dan kadar pati dengan perubahan volume dan rasio perubahan densitas produk.

Penelitian secara menyeluruh selama proses penggorengan pada makanan berpati dilakukan oleh Supriyanto (2007) dan menjelaskan bahwa perubahan volume produk dipengaruhi oleh nisbah amilosa dan amilopektin. Penelitian tersebut belum mengungkap kondisi bahan baku dan reaksi yang terjadi dengan perubahan volume dan rasio perubahan densitas produk. Padahal, salah satu faktor sehingga keripik buah disukai oleh konsumen adalah yang memiliki sifat mekar atau mengembang. Oleh karena itu, untuk dapat menghasilkan produk keripik buah sesuai dengan selera konsumen, maka tersedianya model matematik kondisi bahan baku dan reaksi yang terjadi sangat penting, agar mutu produk dapat

*Korespondensi Penulis :
Email : mamal_ptm@yahoo.co.id

diperkirakan secara baik untuk menghasilkan produk yang lebih berkualitas. Dengan demikian, penelitian lebih komprehensif masih perlu dikembangkan agar diperoleh pemahaman lebih lanjut pada proses penggorengan bahan pangan. Saat ini belum banyak penelitian yang memperlihatkan hubungan antara penguapan air dan penurunan kadar pati dengan perubahan volume dan rasio perubahan densitas buah selama proses penggorengan vakum.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model matematik perubahan volume dan rasio perubahan densitas buah selama proses penggorengan vakum karena penurunan kadar air dan kadar pati dalam padatan, sehingga hasil penelitian ini diharapkan dapat mengungkapkan perubahan volume dan rasio perubahan densitas bahan pangan selama penggorengan secara vakum yang belum dikemukakan sebelumnya.

METODOLOGI

Persamaan model empirik perubahan volume

Perubahan volume berupa penyusutan dan pemekaran serta rasio perubahan densitas berupa pengecilan dan pembesaran pori sangat menentukan kekerasan dan kerenyahan produk. Perubahan volume (V_v) dan rasio perubahan densitas (V_p) produk diduga dipengaruhi oleh penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama proses penggorengan. Dengan demikian perubahan volume dan rasio perubahan densitas produk disebabkan oleh adanya perubahan kadar air, perubahan kadar pati dalam padatan dijelaskan dalam persamaan berikut.

$$V_v(C_a, C_{pt}) = f(C_a, C_{pt}) \dots \dots \dots (1)$$

$$V_p(C_a, C_{pt}) = f(C_a, C_{pt}) \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan (1) dan (2) menunjukkan bahwa perubahan volume dan rasio perubahan densitas tergantung pada konsentrasi kadar air dan kadar pati di dalam padatan. Sehingga perubahan volume dan rasio perubahan densitas padatan dapat dicari dengan menggunakan pendekatan analisis dimensi (*dimensional analysis*) yang dikemukakan dalam sistem persamaan seperti berikut ini.

$$V_v = a C_a^x C_{pt}^y \dots \dots \dots (3)$$

$$V_p = a C_a^x C_{pt}^y \dots \dots \dots (4)$$

Dengan menyederhanakan persamaan (3) dan (4) dalam bentuk logaritma, maka nilai a , x dan y dapat dievaluasi berdasarkan data percobaan dengan metode *least square multiple regression* sebagai berikut.

$$\log V_v = \log a + x \log C_a + y \log C_{pt} \dots \dots \dots (5)$$

$$\log V_p = \log a + x \log C_a + y \log C_{pt} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

a	: Konstante
C	: Konsentrasi (kg/m ³ total)
V	: Perubahan
x, y	: Bilangan eksponen
<i>Subscripts</i>	
a	: Air di dalam padatan
pt	: Pati di dalam padatan
v	: Volume (mm ³)
p	: Densitas (kg/mm ³)

Bahan dan alat

Bahan utama penelitian adalah buah nangka jenis nangka salak (berdasarkan sifat-sifat buahnya) yaitu daging buah padat, berair dan kurang aroma. Buah nangka berumur 12–24 jam setelah dipanen, dibeli dari petani melalui pedagang buah di pasar tradisional di Kota Baru Yogyakarta. Diasumsikan bahan homogen diseluruh padatan termasuk permukaan padatan, sedangkan bahan pendukung penelitian adalah minyak goreng dan bahan-bahan kimia untuk analisis kimia.

Alat utama adalah penggoreng vakum (*vacuum fryer*) dibuat secara khusus untuk skala laboratorium dan dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian dilengkapi dengan perekam data (*data logger*) sistem komputer, sedangkan alat pendukung adalah gelas ukur, mikrometer, timbangan analitik, alat ukur analisa kadar airdan kadar pati.

Pelaksanaan penelitian

Sampel digoreng pada kombinasi suhu 70–100°C dan lama penggorengan 15 sampai 60 menit serta tekanan vakum 80–90 kPa. Perubahan volume (V_v), rasio perubahan densitas (V_p), penurunan kadar air dan kadar pati ditentukan sebelum dan setelah digoreng. Proses penelitian dan pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Pengukuran dan analisis

Pengukuran volume

Volume sampel diukur dengan menggunakan metode dalam Taiwo dan Baik (2006). Perubahan volume sampel adalah perbandingan volume setelah dan sebelum digoreng. Volume sampel sebelum dan setelah digoreng diukur dengan gelas ukur.

Pengukuran rasio perubahan densitas

Rasio perubahan densitas sampel diukur dengan menggunakan metode dalam Taiwo dan Baik (2006). Rasio perubahan densitas adalah kepadatan sampel sebelum digoreng dikurangi dengan kepadatan sampel setelah digoreng dibagi dengan kepadatan sampel sebelum digoreng.

Analisis kadar air

Kadar air di dalam sampel sebelum dan setelah digoreng dianalisis dengan menggunakan metode oven vakum (AOAC, 1970; Snell *et. al.*, 1972) dengan ukuran sampel 10 g.

Analisis kadar pati

Kadar pati di dalam sampel sebelum dan setelah digoreng dianalisis menggunakan metode (*Direct Acid Hydrolysis Method*; AOAC, 1970). Untuk bahan berbentuk padat digunakan

ukuran sampel 2 – 5 g, sedangkan bahan yang mengandung lemak pati yang terdapat sebagai residu pada kertas saring dicuci 5 kali dengan 10 ml ether, selanjutnya residu dipindahkan secara kuantitatif dari kertas saring ke dalam Erlenmeyer untuk hidrolisa asam dengan HCl 25% selama 2,5 jam dan setelah dingin dinetralkan dengan larutan NaOH 45% kemudian disaring untuk penentuan kadar glukosa. Kadar gula dinyatakan sebagai glukosa dari filtrat yang diperoleh. Berat pati adalah berat glukosa dikalikan 0,9.

Analisis data

Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan *multiple regression* dan statistik. *Method multiple regression* digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear model perubahan volume dan rasio perubahan densitas produk sebagai fungsi penurunan kadar air dan pati; sedangkan analisis statistik digunakan analisis regresi bergandengan program SPSS untuk mencari signifikansi dan pengaruh penurunan kadar air dan penurunan kadar pati terhadap perubahan volume dan rasio perubahan densitas padatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan volume padatan nangka selama penggorengan vakum

Perubahan volume padatan nangka dengan berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 1a dan 1b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 90 kPa dan 100°C. Dari gambar tampak perubahan volume berupa penyusutan dan pemekaran dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum.

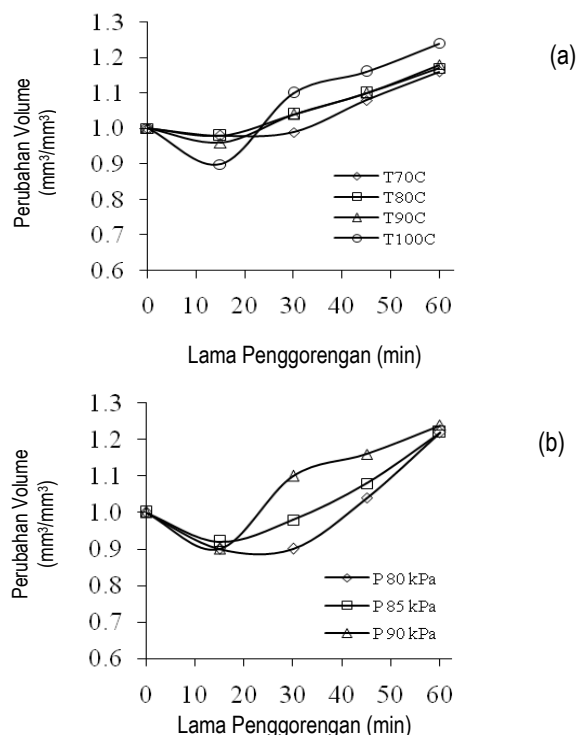
Pada tekanan vakum rendah dengan suhu makin tinggi ada kecenderungan padatan mengalami penyusutan dan pemekaran yang cepat atau sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh penggorengan pada suhu dan tekanan vakum lebih tinggi, perpindahan panas ke permukaan dan kemudian masuk ke dalam padatan lebih cepat dibanding pada suhu dan tekanan vakum lebih rendah, sehingga air pada permukaan dan di dalam padatan lebih cepat keluar menyebabkan padatan menjadi menyusut dan beberapa lama menjadi mekar. Selanjutnya berdasarkan Gambar 1a dan 1b tampak titik laju penyusutan dan pemekaran padatan.

Penyusutan terus berlangsung sebelum penguapan air bebas mencapai konstan atau pada saat kadar air masih di atas 15%, pada keadaan tersebut tidak terjadi pemekaran, namun beberapa lama setelah kadar air di bawah 15% padatan sudah mulai mengembang dan akhirnya menjadi mekar.

Penyusutan dan pemekaran diduga ada hubungan dengan penguapan air bebas dalam padatan, sehingga penguapan air bebas menyebabkan padatan mengalami penyusutan dan pemekaran. Penelitian ini sesuai dengan penelitian Asensio (1999) serta Yamsaengsung, Moreira (2002a) yang menjelaskan bahwa perubahan volume bahan selama penggorengan disebabkan oleh hilangnya air terikat dalam bahan.

Pada awal penggorengan mula-mula air bebas pada permukaan keluar dan beberapa lama air bebas dalam padatan juga keluar mengakibatkan padatan menjadi menyusut.

Setelah semua air bebas keluar terjadi pengerasan pada permukaan sehingga sebagian air bebas terjebak di dalam padatan. Karena air menerima panas, sehingga menjadi uap dan memuai akhirnya padatan menjadi mengembang.



Gambar 1. Perubahan volume padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 90 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C.

Rasio perubahan densitas padatan nangka selama penggorengan vakum

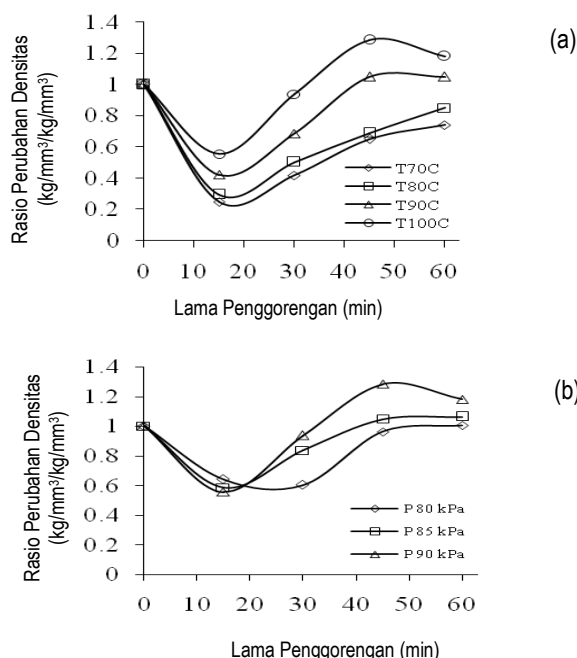
Rasio perubahan densitas padatan nangka selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 90 kPa dan 100°C. Dari gambar tampak profil rasio perubahan densitas padatan sama dengan perubahan volume. Pada tekanan vakum rendah dengan suhu makin tinggi rasio perubahan densitas mengalami penurunan dan sebaliknya.

Pada awalnya padatan mengalami penurunan rasio perubahan densitas, namun kemudian beberapa lama terjadi peningkatan rasio perubahan densitas padatan. Titik laju penurunan dan peningkatan rasio perubahan densitas tampak terjadi pada menit ke 15. Titik perubahan tersebut dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Di samping itu, penurunan dan peningkatan rasio perubahan densitas tampak dipengaruhi oleh penguapan air bebas dalam padatan. Penurunan rasio perubahan densitas tampak terjadi ketika penguapan air bebas belum konstan pada saat kadar air masih di atas 15%, namun beberapa lama setelah penguapan air bebas menjadi konstan

ketika kadar air di bawah 15% rasio perubahan densitas padatan mulai menjadi meningkat sampai akhir penggorengan.

Uap air keluar secara perlahan-lahan sehingga sebagian air bebas menyebabkan rongga menjadi mengecil dan secara bersamaan terbentuk lapisan keras pada permukaan padatan. Pada saat itu pembentukan rongga mulai menjadi besar sampai akhir penggorengan. Kondisi tersebut diduga karena lapisan keras yang terbentuk membatasi difusi air dari dalam, akhirnya air menguap dan menyebabkan terjadinya tekanan dari dalam, sehingga padatan yang digoreng struktur porinya menjadi mengembang dan membentuk kantong udara. Kantong udara yang terbentuk inilah yang mungkin memberikan bunyi berderak dan renyah ketika produk digigit.

Hasil penelitian ini mendukung penelitian Yamsaengsung, Moreira (2002b) yang menjelaskan bahwa pembentukan lapisan keras pada penggorengan *tortilla chip* sangat mengurangi laju penguapan air dan menyebabkan tekanan di dalam *chip*. Peningkatan tekanan tersebut menyebabkan pengembangan pori sehingga menghasilkan produk akhir yang renyah.



Gambar 2. Rasio perubahan densitas padatan selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 90 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C.

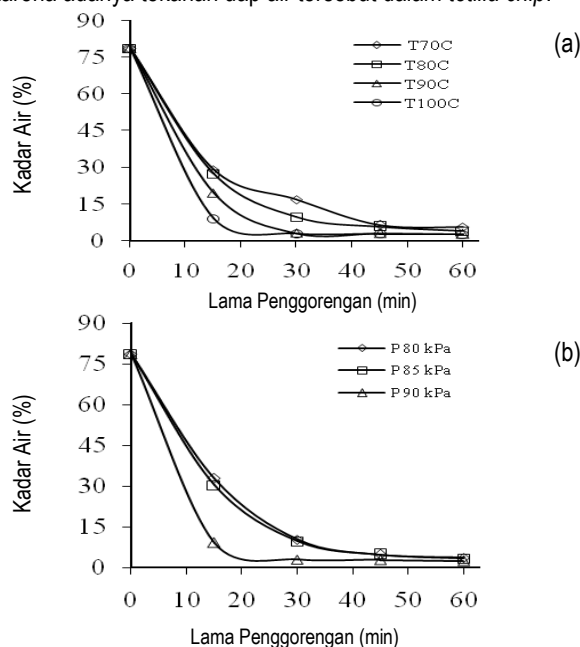
Penurunan kadar air padatan selama penggorengan vakum

Penurunan kadar air padatan selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 3a dan 3b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 90 kPa dan 100°C. Berdasarkan gambar tampak laju penguapan air bebas selama penggorengan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Pada tekanan vakum rendah dengan suhu makin tinggi, ada kecenderungan laju penguapan air bebas semakin cepat atau sebaliknya. Hal ini disebabkan karena titik didih air dan lama penguapan air dipengaruhi oleh tekanan vakum. Penelitian ini mendukung penelitian Garayo, Moreira (2002) yang

menjelaskan bahwa kentang yang digoreng pada suhu lebih tinggi dengan tekanan vakum sama memerlukan waktu lebih singkat untuk mencapai kadar air yang sama. Pada awal penggorengan, energi panas digunakan untuk memanaskan permukaan kemudian bagian dalam padatan. Pada kondisi ini proses penguapan air bebas mulai berlangsung dari bagian dalam ke permukaan, karena adanya perbedaan konsentrasi massa air dibagian dalam dengan permukaan dan karena konsentrasi massa air pada permukaan lebih rendah dibandingkan konsentrasi massa air di dalam padatan.

Air pada permukaan lebih cepat menjadi uap disebabkan oleh adanya kontak langsung padatan dengan minyak goreng. Penurunan kadar air dicirikan adanya penguapan air dan terjadinya gelembung gas dari permukaan padatan ke media minyak panas. Pada awal penggorengan, penguapan air bebas dari dalam padatan tampak mendekati konstan sebelum kadar air mencapai 15%, beberapa lama kemudian melambat dan menjadi konstan setelah kadar air di bawah 15%.

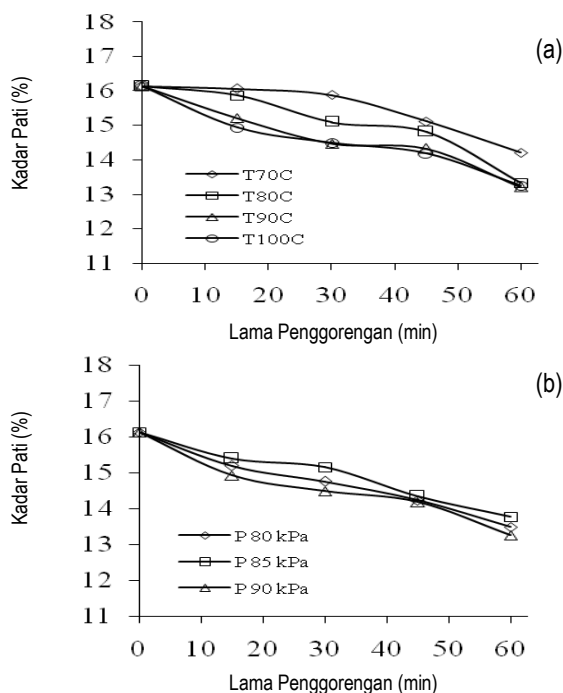
Perubahan kadar air ini ada keterkaitan dengan perubahan volume dan rasio perubahan densitas padatan. Titik perubahan volume dan rasio perubahan densitas, dimana padatan mulai menyusut dan porinya mengecil dimulai dari awal penggorengan sampai tahap sebelum penguapan air bebas konstan, yaitu saat kadar air di atas 15%, namun beberapa lama setelah penguapan air bebas konstan, yaitu saat kadar air di bawah 15%, padatan mulai mengembang kembali dan terjadi pembesaran pori sampai menjadi mekar. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Kawas (2002) serta Yamsaengsung, Moreira (2002a) yang menjelaskan bahwa penguapan air dari dalam padatan menyebabkan terjadinya pengerutan dan setelah semua air terikat menguap, *tortilla chip* menjadi mekar karena adanya tekanan uap air tersebut dalam *tortilla chip*.



Gambar 3. Penurunan kadar air padatan selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 90 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C.

Penurunan kadar pati padatan nangka selama penggorengan vakum

Hasil penelitian penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 90 kPa dan 100°C. Dari gambar nampak laju penurunan kandungan pati sama dengan laju penurunan kadar air. Pada awalnya penurunan kadar pati berlangsung agak cepat dan beberapa lama kemudian laju penurunan kadar pati menjadi lambat. Titik penurunan tersebut dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Pada tekanan vakum rendah dengan suhu makin tinggi pati dalam padatan banyak mengalami penurunan atau sebaliknya, pada tekanan vakum tinggi dengan suhu makin rendah pati dalam padatan makin sedikit mengalami penurunan.



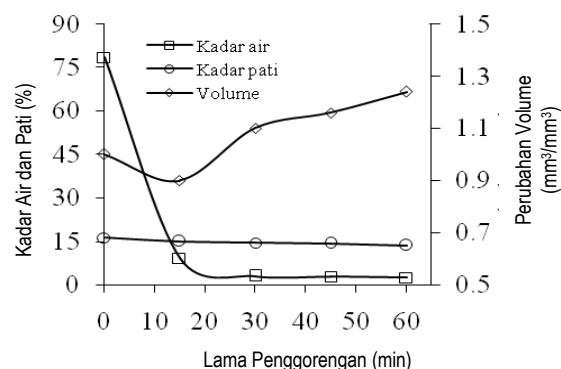
Gambar 4. Penurunan kadar pati padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 90 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C.

Penurunan kadar pati di dalam padatan diduga disebabkan penggelembungan granula yang semakin besar akibat bertambahnya waktu dan naiknya suhu penggorengan. Kondisi ini menyebabkan molekul amilosa lepas keluar dan keluar dari granula; sehingga makin lama waktu dan suhu penggorengan makin tinggi, kadar pati di dalam padatan makin berkurang. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Whistler, Be Miller (1999) yang menjelaskan bahwa saat pati mencapai titik gelatinisasi terjadi penggabungan molekul melalui ikatan hidrogen dan membentuk bangunan kristal, pada keadaan tersebut amilosa menjadi sukar dicerna oleh enzim. Kemungkinan lain yang menyebabkan kandungan pati di dalam padatan mengalami penurunan karena pada proses pemanasan, pati akan mengalami proses gelatinisasi dimana granula-granula pati membesar, dengan membesarnya granula-

granula pati akan melemahkan ikatan hidrogen, sehingga akan memudahkan enzim amylase melakukan penetrasi untuk memutuskan ikatan glukosida pada pati dan akhirnya merubah pati menjadi glukosa (Juliastruti, Dian, 2009). Penurunan kadar pati di dalam padatan mungkin disebabkan oleh adanya peningkatan kadar minyak yang terjadi secara signifikan dengan suhu dan tekanan vakum. Penurunan kadar pati di dalam padatan dalam penelitian ini belum divalidasi dengan melacak ke mana pati tersebut perginya. Penurunan kadar pati tampak mempengaruhi perubahan volume dan rasio perubahan densitas padatan. Penggabungan laju perubahan volume, disebabkan oleh penguapan air dan penurunan kadar pati serta rasio perubahan densitas padatan disebabkan penguapan air dan penurunan kadar pati akan dapat memperlihatkan keterkaitan ketiga proses tersebut.

Perubahan volume sebagai fungsi penguapan air dan penurunan kadar pati padatan nangka selama penggorengan vakum

Hasil penggabungan laju perubahan volume, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100°C dengan tekanan vakum 90 kPa disajikan pada Gambar 5. Dari gambar tampak saling keterkaitan ketiga proses, yaitu perubahan volume, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan vakum. Perubahan volume padatan dimulai dari volume awal kemudian berubah menjadi menyusut dengan cepat, setelah beberapa lama volume padatan menjadi mekar kembali. Penyusutan diduga disebabkan oleh penguapan air bebas dari dalam padatan yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan di dalam dan padapermukaan padatan. Karena tekanan dalam padatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan bagian luar, air dalam padatan keluar. Pada saat kadar air masih di atas 15%, penyusutan terus berlangsung dan padatan tidak mengalami pemekaran.



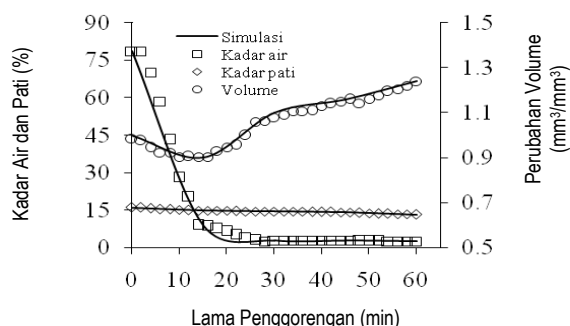
Gambar 5. Perubahan volume, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 90 kPa.

Pemekaran mulai terjadi ketika kadar air di bawah 15% pada saat tekanan dalam padatan sudah mendekati tekanan padapermukaan, panas menyebabkan pengerasan pada permukaan secara perlahan, sehingga sebagian air akan terjebak di dalam padatan. Uap air yang terjebak dalam padatan tidak keluar lagi dan menjadi bertekanan serta membentuk kantong gas, sehingga menyebabkan padatan menjadi

mengembang dan akhirnya menjadi mekar. Begitu pula halnya dengan perubahan kadar pati tampak mempengaruhi perubahan volume padatan. Pada titik dimana perubahan kadar pati cukup drastis yaitu saat kandungan kadar pati di atas 15%, padatan mengalami penyusutan dan belum mengembang, namun setelah melewati titik tersebut atau pada saat kadar pati di bawah 15%, dimana pati hampir tidak berubah lagi padatan sudah mulai mengembang dan akhirnya menjadi mekar.

Perhitungan perubahan volume, penguapan air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (3) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tampak hasil perhitungan perubahan volume, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Model matematik perubahan volume padatan angka disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar pati selama proses penggorengan vakum dinyatakan dalam persamaan (5) berikut ini.

$$V_v = 133,98 C_a^{0,03} C_{pt}^{-1,82} \dots\dots\dots (5)$$



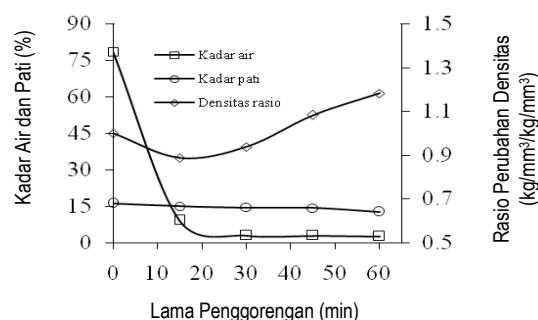
Gambar 6. Perhitungan volume, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan angka selama penggorengan pada suhu minyak 100 °C dengan tekanan vakum 90 kPa.

Hasil analisis statistik menunjukkan penurunan kadar air dan kadar pati berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan volume padatan ($p < 0,01$), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Secara sendiri-sendiri penurunan kadar air berkontribusi 31% terhadap perubahan volume lebih kecil jika dibandingkan dengan penurunan kadar pati yang berkontribusi 60,1% terhadap perubahan volume, sedangkan secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar pati berkontribusi 60,1% terhadap perubahan volume padatan.

Rasio perubahan densitas sebagai fungsi penguapan air dan penurunan kadar pati padatan angka selama penggorengan vakum

Gambar 7 menyajikan penggabungan rasio perubahan densitas, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan angka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 90 kPa. Penurunan rasio perubahan densitas diduga disebabkan oleh penguapan air bebas dari dalam padatan. Titik penurunan dan peningkatan rasio perubahan densitas dimulai dari awal penggorengan dimana pengecilan pori mulai terjadi dengan cepat saat kadar air di atas 15%.

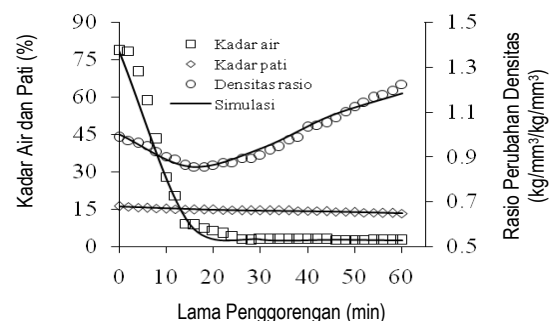
Pada kondisi ini pori dalam padatan mengalami pengecilan dan tidak mengalami pembesaran. Tetapi, setelah kadar air berada di bawah 15% tampak pembesaran pori mulai terjadi sampai akhir penggorengan. Disamping itu, fenomena yang sama tampak terjadi pada perubahan kadar pati, agaknya perubahan kadar pati tersebut mempengaruhi penurunan dan peningkatan rasio perubahan densitas padatan. Penurunan rasio perubahan densitas tampak terjadi ketika titik dimana kadar pati mengalami perubahan cukup drastis pada saat kandungan kadar pati di atas 15%, namun setelah melewati titik tersebut atau pada saat kadar pati di bawah 15%, dimana pati hampir tidak berubah lagi, pori padatan mulai membesar dan akhirnya menjadi mengembang.



Gambar 7. Rasio perubahan densitas, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan angka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 90 kPa.

Perhitungan rasio perubahan densitas, penguapan air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (4) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 8. Dari gambar tampak hasil perhitungan rasio perubahan densitas, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati mengikuti data hasil pengamatan. Dengan demikian model matematik rasio perubahan densitas padatan angka disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar pati selama proses penggorengan vakum dinyatakan dalam persamaan (6) berikut.

$$V_p = 1494,79 C_a^{0,1} C_{pt}^{-2,79} \dots\dots\dots (6)$$



Gambar 8. Rasio perubahan densitas, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan angka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 90 kPa.

Hasil analisis menunjukkan penurunan kadar air dan kadar pati berpengaruh secara signifikan terhadap rasio perubahan densitas padatan ($p < 0,01$) baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Secara sendiri-sendiri penurunan kadar air berkontribusi 34% dan penurunan kadar pati berkontribusi 49,7% terhadap rasio perubahan densitas, namun jika secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar pati berkontribusi 50,6% terhadap rasio perubahan densitas padatan.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini adalah bahwa suhu dan tekanan vakum berpengaruh terhadap perubahan volume dan rasio perubahan densitas serta penguapan air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan. Laju perubahan volume dan rasio perubahan densitas dipengaruhi oleh laju penguapan air dan laju penurunan kadar pati. Apabila penguapan air bebas belum konstan atau pada saat kadar air masih di atas 15%, terjadi penyusutan dan pengecilan pori, beberapa lama setelah penguapan air bebas konstan atau kadar air di bawah 15% mulai terjadi pemekaran dan pembesaran pori sampai akhir penggorengan. Demikian pula dengan laju penurunan kadar pati, laju perubahan volume dan rasio perubahan densitas berupa penyusutan dan pengecilan pori tampak terjadi sampai penurunan kadar pati belum konstan atau di atas 15%, namun setelah kadar pati mendekati konstan atau di bawah 15% mulai terjadi pemekaran dan pembesaran pori dalam padatan. Model matematik yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi perubahan volume dan rasio perubahan densitas yang disebabkan karena penguapan air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama proses penggorengan secara vakum pada sampel buah nangka.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC. 1970. Official methods analysis of the associations of official analytical chemists. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Asensio MC. 1999. Transport phenomena during drying of deformable, hygroscopic porous media: Fundamentals and applications. Ph.D. dissertation, Texas A&M University, College Station. TX.
- Garayo J, Moriera RG. 2002. Vacuum fraying of potato chips. *J of Food Engineering* 55:181–191.
- Juliastuti SR, Dian YP. 2009. Parameter kinetika reaksi alfa-amylase dan glucoamylase pada yield glukosa dari proses hidrolisa limbah padat tapioka. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia. Bandung. 19-20 Oktober 2009.
- Kawas ML, Moreira RG. 1996. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *J of Food Engineering* 47:97–107.
- Kawas ML, Moreira RG. 2000. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. M.S. thesis, Texas A&M University, College Station, TX.
- Lujan FJ, Acosta, Moreira RG. 1996. Relationship between tortilla chips microstructure and oil reduction. *Cereal Chemistry Journal* 74:216–223.
- Math RG, Velu Nagender VA, Rao DG. 2003. Effect of frying conditions on moisture, fat and density of papad. *J of Food Engineering* 64:429–434.
- Supriyanto. 2007. Proses penggorengan bahan makanan sumber pati: kajian nisbah amilosa-amilopektin. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. UGM Yogyakarta.
- Taiwo KA, Baik OD. 2006. Effects of pre-treatments on the shrinkage and textural proper-ties of fried sweet potatoes. *LWT* 40:661–668.
- Whitaker S. 1977. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: A theory of drying. *Advances in Heat Transfer* 13:119–203.
- Xiong X, G Narsimhan, Okos MR. 1991. Effect of composition and pore structure on binding energy and effective diffusivity of moisture in porous food. *J of Food Engineering* 15:187–208.
- Yamsaengsung, Moriera RG. 2002a. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part I: Model development. *J of Food Engineering* 53:1–10.
- Yamsaengsung, Moriera RG. 2002b. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part II: Model solution and validation. *J of Food Engineering* 53:11–25.