

MODEL MATEMATIKA OPTIMASI UNTUK PERBAIKAN PROSES PENGGORENGAN VAKUM TERHADAP TEKSTUR KERIPIK BUAH

JAMALUDDIN¹, BUDI RAHARDJO², PUDJI HASTUTI DAN ROCHMADI³

¹ Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

² Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

³ Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

E-mail: mamal_ptm@yahoo.co.id

ABSTRAK

Keras dan renyah adalah karakteristik spesifik dari produk goreng yang disukai konsumen. Untuk mempunyai tekstur yang renyah produk menjadi sesuai dengan keinginan konsumen, ini membutuhkan penelitian perubahan karakteristik dari material dasar dan kondisi penggorengan. Dalam proses penggorengan, perubahan karakteristik dari kekerasan dan kerenyahan makanan terjadi. Perubahan ini diperkirakan karena vaporasi kadar air dan penurunan kandungan pati dalam makanan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematis dari perubahan kekerasan dan kerenyahan menjadi fungsi dari air dan penurunan kandungan isi. Sampel dari penelitian ini adalah buah nangka goreng pada temperatur 70–100° C, selama 15–60 menit, dan tekanan 80–90 kPa. Parameter yang dilihat adalah kekerasan dan kerenyahan, kandungan air dan pati sebelum dan sesudah penggorengan. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan dan kerenyahan berubah sesuai fungsi vaporasi air dan penurunan kandungan pati dapat digunakan untuk memperkirakan kekerasan dan kerenyahan produk selama penggorengan.

Kata kunci: *tekstur kekerasan dan kerenyahan, kandungan air, kandungan pati, buah nangka*

ABSTRACT

Hard and crunchiness are specific characteristics of fried product preferred by consumer. To have texture of crunchy product being suitable with consumer taste, it is necessary to observe characteristic change of raw material and frying condition. In frying process, the changes of hardness and crunchiness characteristics of food occur. These changes are predicted caused by free water vaporization and the decrease of starch content in food. The objective of this research is to develop mathematical model of hardness and crunchiness changes as the function of water and extract content degradation. Sample of the research is jack fruit fried in the temperature of 70–100° C, duration of 15–60 minutes, and pressure of 80–90 kPa. The parameters observed are hardness and crunchiness, water and starch content before and after frying. The result showed that hardness and crunchiness change as the function of water vaporization and the decrease of starch content can be used to predict hardness and crunchiness of product during vacuum frying.

Key words: *hardness and crunchiness texture, water content, starch content, jack fruit*

PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, pilihan konsumen terhadap produk makanan goreng yang berkadar lemak rendah telah mendorong para industri makanan untuk memproduksi makanan goreng yang memiliki kadar lemak lebih rendah namun masih memiliki tekstur, warna dan cita rasa yang disukai konsumen. Penggorengan vakum (*vacuum fryer*) telah menjadi salah satu pilihan industri penggorengan dalam memproduksi keripik buah-buahan dan sayur-sayuran. Hal tersebut disebabkan karena produk keripik buah dan sayuran memiliki kelebihan bila dibandingkan produk dengan cara memanggang atau merebus. Kelebihan tersebut

antara lain: mengandung kadar minyak relatif lebih rendah, mempunyai warna lebih cerah dan memiliki cita rasa khas jika dimakan (Garayo dan Moreira, 2002; Shyu *et al.*, 1998).

Model matematika dengan kompleksitas beragam sudah banyak dikembangkan. Model berkaitan dengan penggorengan produk berdasarkan kondisi bahan baku dengan asumsi sifat fisik konstan, sejumlah besar model telah didasarkan pada difusi sederhana, perpindahan panas dan massa menggunakan berbagai pendekatan mempertimbangkan atau mengabaikan penguapan (Ateba dan Mittal, 1994; Dincer dan Yildiz, 1996; Moreira *et al.*, 1995; Rice dan Gamble, 1989). Namun model penggorengan

yang telah dikembangkan, sejauh ini belum memperlihatkan hubungan kombinasi antara bahan baku dan kondisi penggorengan dengan perubahan tekstur produk. Padahal banyak perubahan tidak diinginkan dapat terjadi dalam bahan pangan selama proses penggorengan, dan nampaknya kondisi tersebut dapat diperkecil apabila proses dapat dikendalikan dengan baik, sehingga nantinya sifat tekstur produk yang dihasilkan sesuai dengan selera konsumen.

Penelitian lebih komprehensif perlu dikembangkan agar diperoleh pemahaman lebih lanjut pada proses penggorengan bahan pangan. Salah satunya adalah dengan cara mempertimbangkan karakteristik dan kondisi bahan baku serta perubahan yang mungkin terjadi dengan teknik proses. Karakteristik bahan pangan yang diduga berpengaruh terhadap sifat kekerasan dan kerenyahan produk selama proses penggorengan secara vakum adalah penguapan air dan perubahan kadar pati. Dari penelusuran pustaka diperlihatkan bahwa model matematik perubahan kekerasan dan kerenyahan produk telah dikembangkan selama ini belum menggambarkan hubungan antara penguapan air dan penurunan kadar pati. Diharapkan dengan pemahaman dan pengkajian lebih mendalam untuk menemukan fenomena perubahan tekstur selama proses penggorengan vakum dengan bahan baku buah nangka, akan memungkinkan dilakukan rekayasa tekstur pada produk goreng untuk dapat memenuhi selera konsumen dan dalam usaha menyelaraskan dengan isu kesehatan. Dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematik perubahan kekerasan dan kerenyahan disebabkan menguapnya air dan penurunan kadar pati pada bahan pangan dengan sampel buah nangka selama proses penggorengan vakum.

METODE

Model matematika. Bentuk persamaan yang menggambarkan tekstur produk meliputi: kekerasan (T_o) dan kerenyahan (T_e). Perubahan kekerasan dan kerenyahan diduga disebabkan karena menguapnya air bebas dan perubahan kadar pati di dalam padatan. Dengan demikian perubahan kekerasan dan kerenyahan padatan dinyatakan sebagai fungsi dari penguapan air bebas dan penurunan kadar pati yang dinyatakan dalam bentuk parameter dan persamaan sebagai berikut.

$$T_{o(Ca, Cpt)} = f(C_a, C_{pt}) \dots \dots \dots (1)$$

$$T_{e(Ca, Cpt)} = f(C_a, C_{pt}) \dots \dots \dots (2)$$

parameter:

C_a = konsentrasi air di dalam padatan

C_{pt} = konsentrasi pati di dalam padatan

Persamaan (1) dan (2) kemudian disusun dalam suatu sistem persamaan seperti berikut.

$$T_{o(Ca, Cpt)} = a(C_a^x, C_{pt}^y) \dots \dots \dots (3)$$

$$T_{e(Ca, Cpt)} = a(C_a^x, C_{pt}^y) \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan (3) dan (4) tersebut selanjutnya lebih disederhanakan dalam bentuk logaritma seperti di bawah ini.

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

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

Nilai a, x dan y dievaluasi berdasarkan data percobaan dengan metode *least square multiple regression*.

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

Alat. Alat utama adalah penggoreng vakum (*vacuum fryer*) dibuat secara khusus untuk skala laboratorium dan dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian dilengkapi dengan data *logger* sistem komputer, sedangkan alat pendukung adalah gelas ukur, mikrometer, timbangan analitik, alat ukur analisa kadar air dan kadar pati serta *Universal Testing Machine* Do-FBO.STS (Zwich/Zo.5).

Pelaksanaan Penelitian. Sampel digoreng pada kombinasi suhu 70 sampai 100° C, dan lama penggorengan 15 sampai 60 menit serta tekanan vakum 80 sampai 90 kPa. Setelah semua sampel digoreng, kemudian dilakukan pengukuran perubahan kekerasan (T_o), kerenyahan (T_e), analisis kadar air dan kadar pati sebelum dan setelah digoreng. Proses penelitian, pengukuran dan analisis dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

Pengujian tekstur. Tegangan dan regangan sampel diukur menggunakan *Universal Testing Machine* Do-FBO.STS (Zwich/Zo.5) dengan cara sampel diletakkan tegak lurus (tegangan normal) di atas landasan penekan kemudian alat uji dioperasikan.

Penekanan dilakukan untuk mengukur gaya sampai mencapai nilai maksimum atau sampai sampel menjadi pecah. Tegangan dan regangan didefinisikan sama dengan kekerasan dan kerenyahan. Tegangan adalah perbandingan gaya dengan luas penampang bahan, sedangkan regangan adalah perbandingan perubahan panjang dengan panjang awal bahan.

Analisis kadar air. Kadar air di dalam sampel sebelum dan setelah digoreng dianalisis menggunakan metode oven vakum (AOAC, 1970) 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).

Analisis data. Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan *multiple regression* dan statistik. Metode *multiple regression* digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear model perubahan kekerasan dan kerenyahan produk disebabkan karena penurunan kadar air dan kadar pati. Sedangkan analisis statistik digunakan analisis regresi berganda dengan program SPSS untuk mencari signifikansi dan pengaruh penurunan kadar air dan penurunan kadar pati terhadap perubahan kekerasan dan kerenyahan padatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Kekerasan Padatan Nangka Selama Penggorengan Vakum

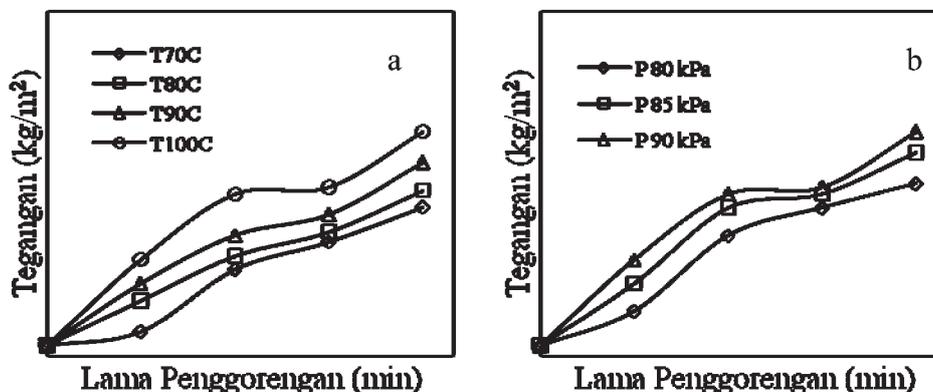
Hasil penelitian perubahan kekerasan padatan nangka dengan berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 1a dan 1b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 90 kPa dan 100° C. Berdasarkan gambar tersebut nampak profil perubahan kekerasan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Makin tinggi suhu dan tekanan vakum nampak ada

kecenderungan padatan mengalami perubahan nilai kekerasan yang cukup tinggi atau sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena penggorengan pada suhu dan tekanan vakum lebih tinggi, perpindahan panas ke permukaan dan ke dalam padatan lebih cepat dibanding pada suhu dan tekanan vakum lebih rendah, sehingga air di permukaan dan di dalam padatan lebih cepat keluar menyebabkan padatan menjadi menyusut dan beberapa lama menjadi mekar. Di samping itu perubahan kekerasan diduga ada keterkaitan dengan penguapan air bebas dalam padatan. Pada awal penggorengan mula-mula air bebas di permukaan keluar dan beberapa lama air bebas dalam padatan juga keluar mengakibatkan padatan menjadi menyusut. Setelah sebagian besar air bebas keluar terjadi pengerasan di permukaan sehingga sebagian air bebas masih terjebak dalam padatan menyebabkan sifat tekstur keripik nangka mengalami perubahan yang semula lunak akhirnya menjadi keras.

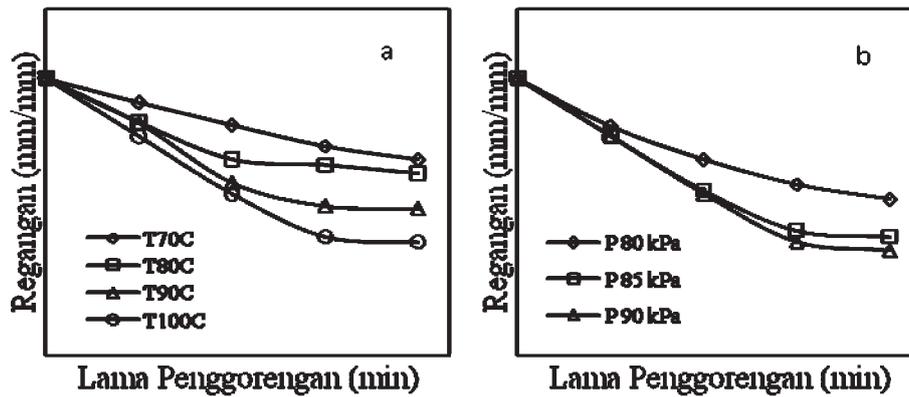
Titik laju perubahan tekstur dari lunak menjadi keras tersebut nampak terjadi pada saat penguapan air bebas belum konstan atau kadar air dalam padatan di atas 15%, namun beberapa lama setelah penguapan air bebas sudah konstan atau kadar air di bawah 15% peningkatan kekerasan produk makin tinggi sampai akhir penggorengan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Yamsaengsung dan Moreira (2002a) yang menemukan hubungan perubahan kekerasan disebabkan penurunan kadar air dengan pembentukan lapisan keras di permukaan dan pengembangan pori di dalam tortilla chip.

Perubahan Kerenyahan Padatan Nangka Selama Penggorengan Vakum

Gambar 2a dan 2b menyajikan perubahan kerenyahan padatan nangka selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak. Suhu dan tekanan vakum selama penggorengan dijaga tetap



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



Gambar 2. Perubahan kerenyahan padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 90 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100° C

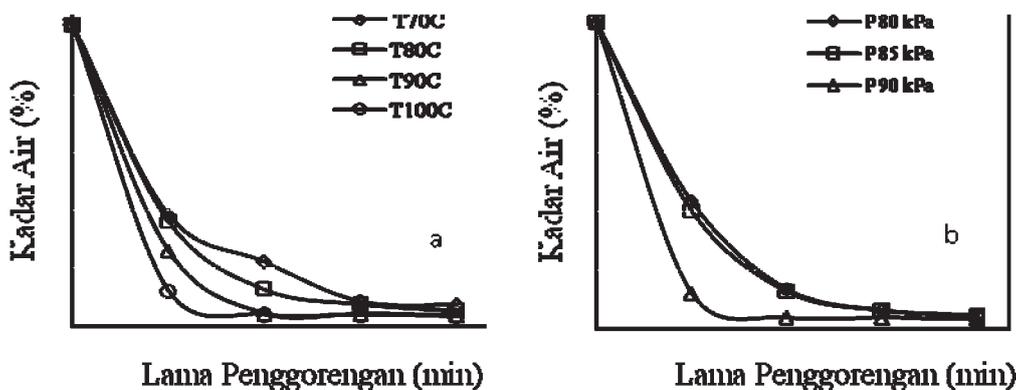
pada 100° C dan 90 kPa. Dari gambar terlihat profil perubahan kerenyahan sama dengan perubahan kekerasan, di mana perubahan nilai kerenyahan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Makin tinggi suhu dan tekanan vakum, semakin tinggi padatan mengalami penurunan regangan. Nilai regangan yang kecil menunjukkan bahwa padatan mudah terdeformasi, karena itu sifat teksturnya menjadi lebih renyah.

Dimulai dari awal penggorengan, secara perlahan padatan sudah mengalami penurunan nilai kerenyahan dari lunak menjadi rapuh, beberapa saat kemudian menjadi cepat sampai akhir penggorengan. Titik laju perubahan nilai kerenyahan dari lambat menjadi cepat nampak ada pengaruhnya dengan laju penguapan air bebas dalam padatan. Perubahan nilai kerenyahan secara perlahan nampak terjadi pada saat penguapan air bebas belum konstan atau kadar air di atas 15%, beberapa lama setelah penguapan air bebas konstan atau kadar air di bawah 15% kerenyahan mengalami perubahan yang cepat sampai akhir penggorengan. Hal ini menunjukkan bahwa makin rendah kandungan kadar air dalam

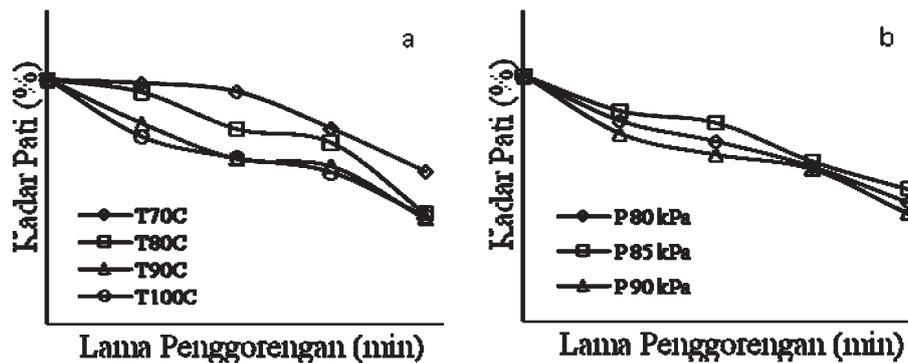
padatan semakin kecil nilai regangannya atau sebaliknya, sehingga pada kondisi ini tekstur padatan yang dihasilkan menjadi semakin renyah. Penelitian ini mendukung penelitian Firdaus *et. al.*, (2001) yang menjelaskan bahwa hilangnya sebagian air bebas dalam padatan menyebabkan sifat tekstur mengalami perubahan yang semula lunak akhirnya menjadi keras. Saat tekanan di dalam padatan sudah mendekati tekanan di permukaan secara bersamaan terjadi pengerasan dipermukaan yang menghambat penguapan air dan akhirnya sebagian air terjebak di dalam padatan sehingga tidak dapat keluar lagi dan berubah menjadi gas yang bertekanan dan membentuk rongga udara, pada kondisi ini sifat tekstur produk keripik nangka menjadi lebih keras dan bertambah renyah serta menimbulkan bunyi yang berderak pada saat dikunyah.

Penurunan Kadar Air Padatan Nangka Selama Penggorengan Vakum

Penurunan kadar air padatan nangka selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 3a



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



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

dan 3b. Suhu 100° C dan tekanan vakum 90 kPa dijaga tetap selama penggorengan. Dari gambar nampak laju penguapan air selama penggorengan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Makin tinggi suhu dan tekanan vakum ada kecenderungan laju penguapan air semakin cepat. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan di dalam dan di luar padatan, serta perbedaan tekanan antara ruang penggorengan dengan tekanan atmosfer, sehingga padatan akan kehilangan air lebih cepat dalam bentuk uap air melalui pori-pori. Penelitian ini mendukung penelitian Garayo dan Moreira (2002) menjelaskan bahwa kentang yang digoreng pada suhu lebih tinggi dengan tekanan vakum sama memerlukan waktu lebih singkat untuk mencapai kadar air yang sama.

Makin jauh perbedaan antara tekanan di dalam ruang penggorengan dengan tekanan atmosfer, air yang disedot ke tabung vakum akan semakin besar, kondisi ini mengakibatkan kadar air dalam padatan menjadi lebih cepat keluar pada saat penggorengan dilakukan pada tekanan vakum lebih tinggi dibandingkan pada tekanan vakum yang lebih rendah. Berdasarkan Gambar 5 dan 6 nampak laju penurunan kandungan air terus terjadi selama penguapan air bebas dalam padatan belum konstan atau kadar air masih di atas 15%, beberapa lama kemudian menjadi melambat setelah penguapan air bebas sudah konstan atau kadar air di bawah 15%.

Perubahan kadar air agaknya mempengaruhi perubahan kekerasan dan kerenyahan produk. Kekerasan dan kerenyahan mulai bertambah tinggi setelah kadar air mendekati 15%, beberapa saat kemudian akhirnya menjadi lebih tinggi sampai mencapai kondisi tekstur akhir. 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

pada bagian dalam dengan permukaan, dan karena konsentrasi massa air di permukaan lebih rendah dibandingkan konsentrasi massa air dalam padatan. Air di permukaan lebih cepat menjadi uap disebabkan 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.

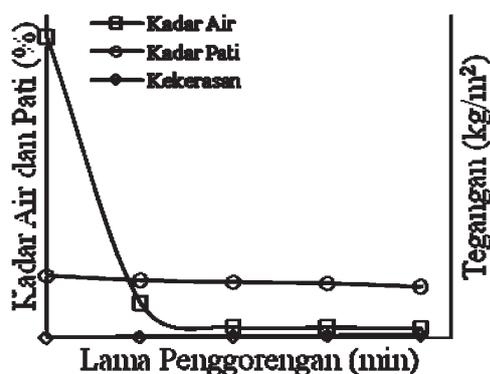
Penurunan kandungan pati dalam padatan selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Tekanan vakum dan suhu dijaga tetap selama penggorengan pada 90 kPa dan 100° C. Dari gambar tersebut nampak laju penurunan kandungan pati sama dengan laju penurunan kadar air dalam padatan. Pada awalnya penurunan pati berlangsung agak cepat dan beberapa saat kemudian menjadi agak lambat. Titik perubahan tersebut agaknya dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum, makin tinggi suhu dan tekanan vakum semakin banyak pati dalam padatan mengalami penurunan atau sebaliknya makin rendah suhu dan tekanan vakum semakin sedikit pati mengalami penurunan. Dari gambar terlihat sejak awal penggorengan sudah berlangsung penurunan kadar pati dalam padatan secara cepat kemudian beberapa lama menjadi lambat sampai akhir penggorengan. 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 tinggi suhu penggorengan, semakin berkurang kadar pati di dalam padatan.

Penurunan pati di dalam padatan diduga disebabkan pada 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 di mana 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 (Juliastuti dan Dian, Y.P, 2009). Hal lain yang memungkinkan pati di dalam padatan nangka berkurang karena adanya peningkatan kadar minyak yang terjadi secara signifikan dengan suhu dan tekanan vakum. Sama halnya dengan penurunan kandungan air, penurunan kandungan pati nampak ada keterkaitan dengan perubahan kekerasan dan kerenyahan produk. Penggabungan laju perubahan kekerasan, penguapan air dan penurunan kadar pati serta penggabungan laju perubahan kerenyahan, penguapan air dan penurunan kadar pati akan dapat memperlihatkan keterkaitan ketiga proses tersebut.

Perubahan Kekerasan sebagai Fungsi Penurunan Kadar Air dan Kadar Pati Padatan Nangka Selama Penggorengan Vakum

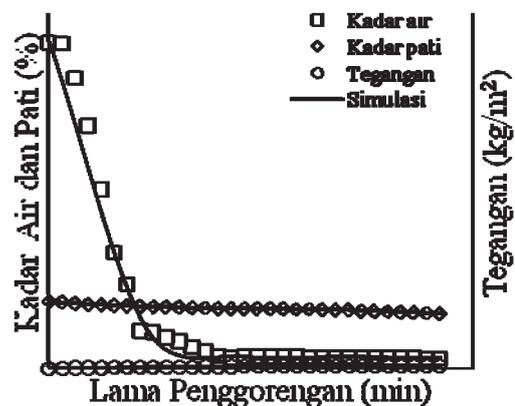
Gambar 5 menyajikan penggabungan laju perubahan kekerasan, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100° C dengan tekanan vakum 90 kPa. Berdasarkan gambar nampak saling keterkaitan ketiga proses, yaitu perubahan kekerasan, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan pada kondisi vakum. Pada awal penggorengan perubahan kekerasan padatan dimulai dari lunak menjadi keras kemudian beberapa lama berubah dengan cepat menjadi semakin keras. Perubahan kekerasan



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

diduga ada keterkaitan dengan penguapan air bebas dari dalam padatan yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan di dalam dan di permukaan padatan. Karena tekanan dalam padatan lebih tinggi jika dibandingkan dengan bagian luar, sehingga air bebas dalam padatan keluar. Titik perubahan laju kekerasan dari lunak menjadi keras nampak mulai terjadi sejak awal penggorengan sampai pada saat penguapan air bebas mulai menjadi konstan sebelum kadar air mencapai 15%. Pada kondisi ini peningkatan nilai kekerasan masih rendah, namun beberapa lama ketika penguapan air bebas mulai konstan atau kadar air di bawah 15% terjadi peningkatan kekerasan yang tinggi sampai akhir penggorengan.

Hilangnya sebagian air bebas menyebabkan kekerasan padatan mengalami perubahan yang semula lunak akhirnya menjadi keras. Pada saat tekanan dalam padatan sudah mendekati tekanan di permukaan maka terjadilah pengerasan di permukaan dan menghambat penguapan air, sehingga sebagian air yang terjebak dalam padatan tidak dapat keluar lagi dan berubah menjadi gas bertekanan dan membentuk rongga udara, pada kondisi ini sifat tekstur padatan menjadi lebih keras dan bertambah renyah serta menimbulkan bunyi yang berderak pada saat dikunyah. Begitu pula halnya dengan penurunan kadar pati. Penurunan kadar pati agaknya ada keterkaitan dengan perubahan kekerasan padatan. Pada titik di mana penurunan kadar pati cukup drastis yaitu saat kandungan kadar pati di atas 15%, padatan mengalami perubahan tekstur dari lunak menjadi keras. Namun setelah melewati titik tersebut atau pada saat kadar pati di bawah 15%, di mana penurunan kadar pati mulai konstan tekstur padatan sudah mulai menjadi semakin keras.



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

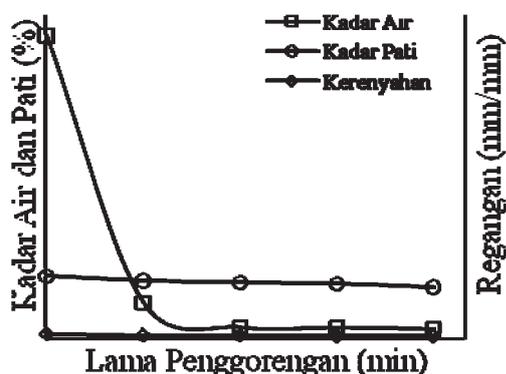
Perhitungan perubahan kekerasan, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (3) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut nampak ada kecenderungan hasil perhitungan mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Model matematik perubahan kekerasan padatan karena penguapan air dan penurunan kadar pati selama proses penggorengan vakum dinyatakan dalam persamaan (7) seperti berikut ini.

$$T_o = 28.74 C_a^{-0.79} C_{pt}^{-1.19} \dots\dots\dots (7)$$

Hasil analisis statistik menunjukkan penurunan kadar air dan kadar pati berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan padatan ($p < 0.01$), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Penurunan kadar air berkontribusi 57% terhadap kekerasan sedangkan penurunan kadar pati berkontribusi 62% terhadap kekerasan, namun jika secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar pati berkontribusi 68,7% terhadap kekerasan padatan.

Perubahan Kerenyahan sebagai Fungsi Penurunan Kadar Air dan Kadar Pati Padatan Nangka Selama Penggorengan Vakum

Penggabungan laju perubahan kerenyahan, penurunan kadar air dan kadar pati dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100° C dengan tekanan vakum 90 kPa disajikan pada Gambar 7. Dari gambar nampak saling keterkaitan ketiga proses, yaitu perubahan kerenyahan, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati. Dimulai dari awal penggorengan kerenyahan padatan



Gambar 7. Perubahan kerenyahan, penurunan kadar air dan penurunan kadar pati padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100° C dengan tekanan vakum 90 kPa

mulai berubah secara perlahan-lahan dari lunak mendekati renyah, beberapa lama kemudian berubah dengan cepat sampai menjadi renyah. Perubahan kerenyahan diduga ada kaitannya dengan penguapan air bebas dari dalam padatan. Penguapan air bebas menyebabkan padatan menjadi menyusut beberapa saat sampai semua air bebas keluar dari dalam, setelah itu padatan menjadi mengembang karena adanya air yang terjebak oleh pembentukan lapisan keras dipermukaan padatan, sehingga berubah menjadi gas dan membentuk rongga udara menyebabkan sifat tekstur produk menjadi renyah.

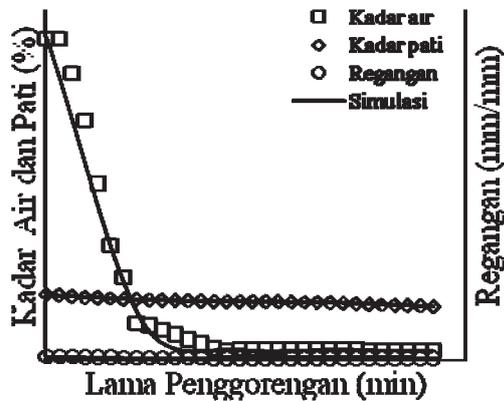
Sama halnya dengan perubahan kekerasan, titik laju perubahan kerenyahan dari lunak mendekati renyah nampak mulai terjadi sejak awal penggorengan sampai penguapan air bebas dalam padatan mulai menjadi konstan sebelum kadar air mencapai 15%. Pada keadaan ini peningkatan kerenyahan masih rendah, tetapi pada saat kadar air dalam padatan mulai konstan atau di bawah 15% terjadi peningkatan kerenyahan yang cukup tinggi hingga akhir penggorengan. Kondisi ini menunjukkan bahwa makin rendah kadar air semakin renyah tekstur produk yang dihasilkan. Disamping itu kondisi yang sama juga terjadi pada penurunan kadar pati. Penurunan kadar pati nampak mempunyai pengaruh terhadap perubahan kerenyahan padatan. Titik di mana penurunan kadar pati cukup drastis pada saat kandungan kadar air mendekati konstan sebelum mencapai kadar air 15%, padatan mengalami perubahan tekstur dari lunak menjadi mendekati renyah. Setelah melewati titik tersebut penurunan kadar pati mulai menjadi konstan atau pada saat kadar air di bawah 15%, tekstur padatan menjadi semakin renyah.

Perhitungan perubahan kerenyahan serta penurunan kadar air dan kadar pati dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (4) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut nampak ada kecenderungan hasil perhitungan mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Model matematik perubahan kerenyahan padatan karena penguapan air dan penurunan kadar pati selama proses penggorengan vakum dinyatakan dalam persamaan (8) seperti berikut ini.

$$T_e = 0.004 C_a^{0.1} C_{pt}^{1.9} \dots\dots\dots (8)$$

Hasil analisis statistik menunjukkan penurunan kadar air dan kadar pati berpengaruh secara signifikan terhadap kekerasan padatan ($p < 0.01$), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Penurunan kadar air berkontribusi 44,5% terhadap

kerenyahan sedangkan penurunan kadar pati berkontribusi 37.7% terhadap kerenyahan, namun jika secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar pati berkontribusi 46.1% terhadap kerenyahan padatan.



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

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa suhu dan tekanan vakum mempengaruhi perubahan kekerasan dan kerenyahan produk, penguapan air serta penurunan kadar pati dalam padatan selama penggorengan. Laju perubahan kekerasan dan laju perubahan kerenyahan dipengaruhi oleh laju penguapan air bebas sesuai dengan kandungan air dan laju penurunan kadar pati dalam padatan. Bilamana kandungan air dalam padatan belum konstan sebelum kadar air mencapai 15%, peningkatan nilai kekerasan dan kerenyahan masih rendah. Apabila kadar air dalam padatan mulai konstan atau di bawah 15% terjadi peningkatan kekerasan dan kerenyahan padatan yang tinggi sampai akhir penggorengan. Begitu pula dengan laju penurunan kadar pati, laju perubahan kekerasan dan kerenyahan meningkat pada saat

penurunan kadar pati mulai menjadi konstan atau pada saat kadar pati di bawah 15%, tekstur padatan menjadi semakin keras dan renyah. Model matematik yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi perubahan kekerasan dan kerenyahan produk disebabkan penguapan air dan penurunan kadar pati selama proses penggorengan secara vakum.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC, 1970. Official methods analysis of the Associations of official analytical chemists. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Atteba, P., dan G.S. Mittal, 1994. Modeling the deep-fat frying of beef meatballs. *International Journal of Food Science and Technology* 29, pp. 429–440.
- Dincer dan Yildiz, 1996. Modeling of thermal and moisture diffusions in cylindrical shaped sausages during frying. *Journal of Food Engineering* 28 (1996), pp. 35–43.
- Firdaus, M., Bambang, D.A. dan Harijono, 2001. Penyerapan minyak pada french fries kentang. *Biosain* 1(2): 76–85.
- Garayo, J, dan R, Moriera, 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineerin.* 55, pp. 181–191.
- Juliastuti, S. R., dan Y. P. Dian, 2009. Parameter kinetika rReaksi alfa-amylase dan glucoamylase pada yield glukosa dari proses hidrolisa limbah padat tapioka. *Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia.* Bandung, 19-20 Oktober 2009.
- Moreira, R.G., J.E. Palau dan X. Sun, 1995. Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach. *Food Technology* 49, pp. 146–150.
- Rice, P., dan M.H., Gamble, 1989. Technical note: modeling moisture loss during potato slice frying. *International Journal of Food Science and Technology* 24 (1989), pp. 183–187.
- Shyu, S., L., Hau, dan L. S., Hwang, 1998. Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *Journal of American Oil Chemical Society*, 75, 1393–1398.
- Yamsaengsung dan Moriera, 2002a. Modeling the transport phenomena and structural changes during deep fat frying. Part I: Model development. *Journal of Food Engineering* 53, pp. 1–10.