

## MODEL PERUBAHAN WARNA KERIPIK BUAH SELAMA PENGGORENGAN VAKUM

Model of Fruit Flaky Color Change during Vacuum Frying

Jamaluddin<sup>1</sup>, Budi Rahardjo<sup>2</sup>, Pudji Hastuti<sup>2</sup>, Rochmadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Jl. Dg. Tata Malengkeri Makassar, Sulawesi Selatan 92114; <sup>2</sup>Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora, Bulaksumur 55281; <sup>3</sup>Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281  
Email: mamal\_ptm@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Warna alami pada produk keripik buah adalah merupakan salah satu sifat khas yang disukai oleh konsumen, untuk mempertahankan warna alami keripik buah agar tidak banyak mengalami perubahan selama dalam penggorengan, perlu diperhatikan perubahan karakteristik bahan baku dan pengendalian proses, agar warna keripik buah yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan secara empirik model matematik perubahan warna keripik buah selama dalam proses penggorengan vakum dengan mempertimbangkan ke dalam model perubahan kadar air dan kadar sukrosa di dalam padatan. Sampel penelitian adalah buah nangka digoreng pada suhu 70-100 °C, lama penggorengan 15-60 menit dan tekanan vakum 13-23 kPa. Parameter yang diamati adalah warna (L), warna (a), warna (b), kadar air dan kadar sukrosa sebelum dan setelah sampel digoreng. Hasil penelitian menunjukkan perubahan warna L, a dan b dipengaruhi oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa di dalam padatan, sehingga secara empirik model matematik perubahan warna L, a dan b yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi perubahan warna keripik buah selama dalam proses penggorengan secara vakum.

**Kata kunci** : Warna, kadar air, kadar sukrosa, penggoreng vakum, buah nangka

### ABSTRACT

The natural colour of fruit flaky product is one of specific property preferred by consumer. To maintain the natural colour of the fruit flaky during frying, it is necessary to pay attention the characteristic changes of raw material and control the process in order not to have much changes to get the intended colour. The objective of this research is to develop empirically mathematical model of fruit flaky colour changes during vacuum frying process by considering the change of water and sucrose contents in the product. Sample of the research were jack fruits fried in the temperature of 70–100 °C, frying duration of 15–60 minutes, and vacuum pressure of 13-23 kPa. The observed parameters are colour (L), colour (a), colour (b), water and sukrose contents before and after frying. The result showed that colour changes (L, a and b) were influenced by free water vaporization and sukrose decreasing in product, so empirically, the developed mathematical model of colour changes (L, a and b) can be used to predict fruit flaky colour changes during vacuum frying.

**Keywords**: Colour, water content, sucrose content, vacuum frying, jack fruit

### PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, pilihan konsumen terhadap produk makanan goreng yang berkadar lemak rendah, telah mendorong industri makanan untuk memproduksi produk makanan goreng yang memiliki kadar lemak lebih rendah namun masih memiliki tekstur, warna dan cita rasa yang

disukai. Penggorengan vakum (*vacuum frying*) menjadi salah satu pilihan industri dalam memproduksi keripik buah-buahan dan sayur-sayuran, karena produk yang dihasilkan dari proses penggorengan vakum memiliki warna serta cita rasa yang lebih baik, jika dibandingkan dengan produk yang dihasilkan dari cara memanggang atau merebus (Shyu dkk., 1998; Garayo dan Moreira, 2002).

Beberapa penelitian berhasil mengungkapkan perubahan warna selama proses pemanasan atau penggorengan bahan makanan. Garayo dan Moreira (2002) melakukan penelitian pada penggorengan kentang secara vakum, kemudian menjelaskan bahwa warna gelap dan merah pada produk keripik kentang disebabkan adanya reaksi antara gugus amina dan gula reduksi (reaksi pencoklatan non enzimatis/reaksi Maillard). Sedangkan Rodrigues (2003) menemukan perlakuan *osmotic dehydration* yang dapat mengurangi reaksi pencoklatan enzimatis, sehingga meningkatkan warna produk. Akan tetapi penelitian tersebut belum menjelaskan pengaruh kondisi penggorengan dengan penurunan kadar air dan perubahan kadar sukrosa, kadar gula reduksi, kadar  $\beta$ -karoten dalam padatan terhadap warna produk yang dihasilkan.

Model matematika sudah banyak dikembangkan berkaitan dengan penggorengan produk (Rice dan Gamble, 1989; Ateba dan Mittal, 1994; Moreira dkk., 1995; Dincer dan Yildiz, 1996). Namun model yang telah dikembangkan, sejauh ini belum memperlihatkan hubungan antara kondisi penggorengan dengan perubahan warna yang disebabkan oleh perubahan kadar air, kadar sukrosa, kadar gula reduksi dan kadar  $\beta$ -karoten dalam produk. Padahal perubahan warna tidak diinginkan terjadi pada beberapa bahan pangan selama penggorengan, misalnya pada keripik buah-buahan dan sayur-sayuran. Kondisi tersebut dapat diperkecil apabila proses bisa dikendalikan secara baik dengan memperhatikan perubahan dalam bahan selama penggorengan.

Penelitian secara menyeluruh terhadap perubahan warna yang mungkin terjadi selama proses penggorengan pada bahan pangan, masih perlu dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik bahan baku ke dalam model yang berpengaruh terhadap warna produk akhir. Karakteristik bahan baku yang berpengaruh terhadap kualitas warna produk selama proses penggorengan secara vakum meliputi: kadar air dan kadar sukrosa. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan secara empirik model matematik perubahan warna keripik buah (dengan sampel buah nangka) selama proses penggorengan secara vakum disebabkan oleh penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan.

## METODE PENELITIAN

### Persamaan Model Empirik Perubahan Warna

Perubahan warna L, a dan b keripik buah diduga disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan. Sehingga perubahan warna keripik buah didefinisikan sebagai fungsi dari perubahan konsentrasi air dan konsentrasi sukrosa di dalam padatan.

Dengan demikian secara empirik model matematik yang menggambarkan perubahan warna keripik buah dapat dijabarkan dalam persamaan berikut.

$$W_{L(Ca, Csk)} = f(C_a^x, C_{sk}^y) \quad (1)$$

$$W_{a(Ca, Csk)} = f(C_a^x, C_{sk}^y) \quad (2)$$

$$W_{b(Ca, Csk)} = f(C_a^x, C_{sk}^y) \quad (3)$$

Persamaan (1), (2) dan (3) kemudian disusun dalam suatu sistem persamaan sebagai berikut.

$$W_L = aC_a^x C_{sk}^y \quad (4)$$

$$W_a = aC_a^x C_{sk}^y \quad (5)$$

$$W_b = aC_a^x C_{sk}^y \quad (6)$$

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 (*Artocarpus heterophyllus*) 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. Kadar air dan kadar sukrosa awal sampel adalah 78,57 % db dan 50,88 %, diasumsikan konsentrasi bahan dianggap homogen diseluruh padatan termasuk permukaan padatan, sedangkan bahan pendukung penelitian adalah minyak goreng jenis Bimoli dengan volume 10 liter dibeli dari pasar tradisional Demangan Yogyakarta. Rasio antara minyak dengan bahan adalah; 10 Liter bahan per 250 g bahan.

### Alat

Alat utama adalah penggoreng vakum (*vacuum fryer*) dibuat secara khusus untuk skala laboratorium dan dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian dilengkapi data logger sistem komputer, sedangkan alat pendukung terdiri dari gelas ukur, mikrometer, timbangan analitik, alat ukur analisa kadar air dan kadar sukrosa serta *Hunter's lab calorimetric system*.

### Pelaksanaan Penelitian

Sampel digoreng pada kombinasi suhu 70 sampai 100 °C dan lama penggorengan 15 sampai 60 menit serta tekanan vakum 13 sampai 23 kPa. Rasio antara minyak dengan bahan adalah; 10 liter bahan per 250 g bahan. Lama waktu penggunaan minyak goreng adalah 6 jam, setelah waktu tersebut minyak goreng tersebut kemudian diganti sampai semua proses penggorengan bahan selesai. Semua sampel kemudian dilakukan pengukuran warna (L, a, b) dan analisis kadar air, kadar sukrosa sebelum dan setelah digoreng. Proses penelitian, pengukuran dan analisis dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

**Pengamatan Warna Sampel**

Warna sampel buah nangka sebelum dan setelah digoreng pada berbagai variasi lama, suhu dan tekanan vakum diukur menggunakan *Hunter's lab calorimetric system* (Lee dkk., 2001). Kalorimeter Hunter mempunyai prinsip seperti spektrofotometer yang mengukur reflektan dengan filter X, Y dan Z. Alat ini dilengkapi dengan integrasi langsung untuk konversi ke nilai-nilai L, a dan b (Soekarto, 1990). Karakteristik warna yang diukur adalah kecerahan (*light*) diberi notasi (L), warna kromatik campuran merah-hijau diberi simbol (a) dan warna kromatik campuran biru-kuning diberi simbol (b).

**Analisis Kadar Air**

Kadar air sampel sebelum dan sesudah digoreng dianalisis menggunakan metode oven vakum (AOAC, 1995) dengan ukuran sampel 10 g dibuat sebanyak 3 sampel. Proses penelitian dan analisis dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

**Analisis Kadar Sukrosa**

Kadar sukrosa sampel sebelum dan sesudah digoreng dianalisis dengan metode (Spektrofotometri, Metode Nelson-Somogyi, AOAC, 1995). Proses penelitian dan analisis dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan.

**Analisis Data**

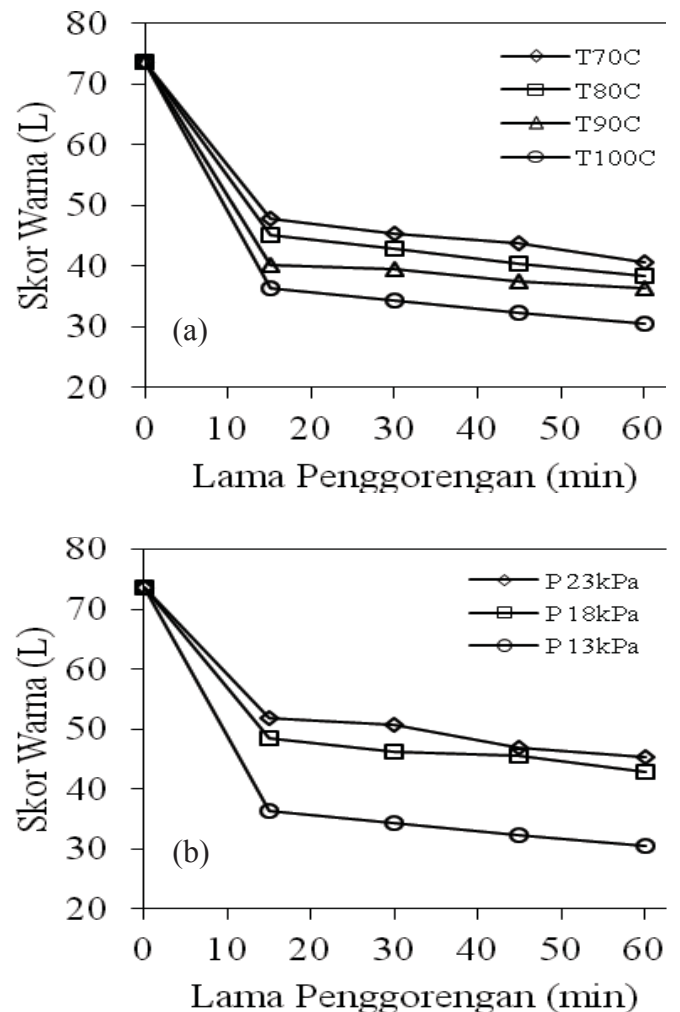
Data hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan *multiple regression* dan statistik. Metode *multiple regression* digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear model perubahan warna L, a dan b produk sebagai fungsi penurunan kadar air dan kadar sukrosa. Sedangkan analisis statistik digunakan analisis regresi berganda dengan program SPSS untuk mencari signifikansi dan pengaruh penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa terhadap perubahan warna L, a dan b produk.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perubahan Warna (L) Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Nilai warna kecerahan produk dinyatakan dengan simbol L (*light*) yang memiliki kisaran 0 (hitam) sampai 100 (putih) (Soekarto, 1990). Perubahan warna L padatan nangka dengan berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 1a dan 1b. Tekanan vakum dan suhu minyak selama penggorengan dijaga tetap 13 kPa dan 100 °C. Dari gambar nampak padatan nangka mengalami

perubahan warna L selama penggorengan. Perubahan tersebut dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum, makin tinggi suhu dan tekanan vakum rendah semakin besar warna L mengalami perubahan (semakin gelap warna produk yang dihasilkan). Kondisi tersebut disebabkan pada penggorengan dengan suhu tinggi dan tekanan vakum rendah, bagian permukaan padatan lebih cepat menerima panas dibandingkan dengan penggorengan pada suhu rendah dan tekanan vakum lebih tinggi. Akibat panas, air di permukaan dan di dalam padatan ke luar dalam bentuk uap air dan secara bersamaan terjadi pengerasan di permukaan sehingga menyebabkan warna padatan menjadi gelap, selain itu warna L mengalami perubahan lebih besar diduga karena adanya reaksi maillard yang cepat terjadi pada suhu tinggi dan tekanan vakum rendah dibandingkan dengan suhu rendah dan tekanan vakum tinggi, sehingga terjadinya reaksi maillard menyebabkan warna L padatan mengalami perubahan.



Gambar 1. Perubahan warna (L) padatan nangka selama penggorengan, (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 13 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100 °C

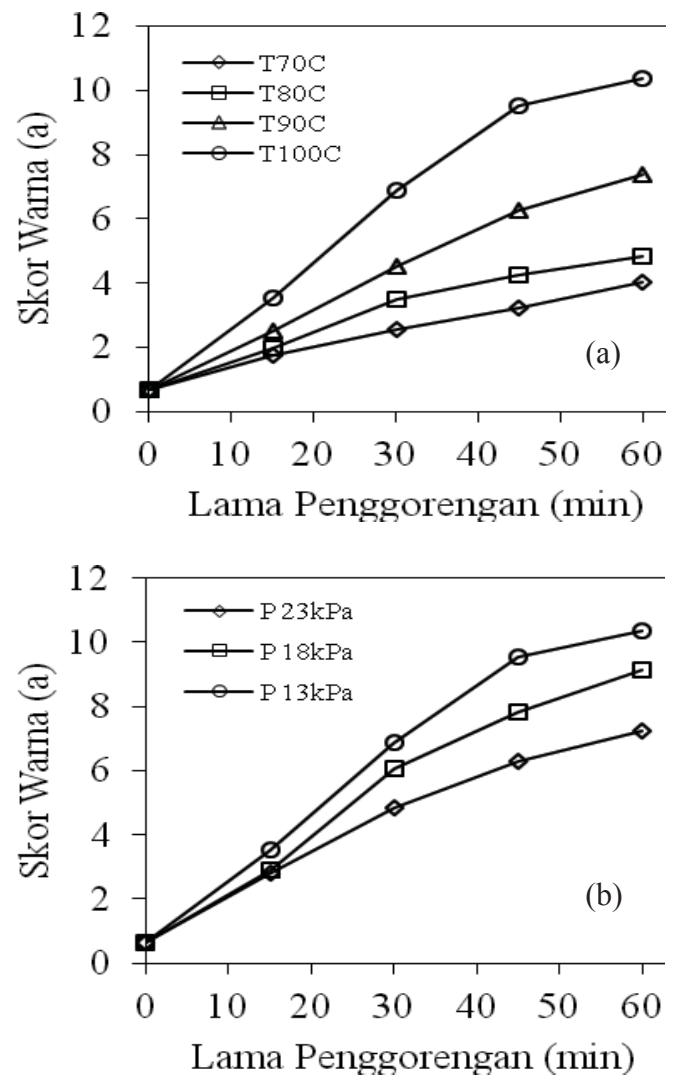
Penelitian Wibowo dkk. (2006) sejalan dengan hasil penelitian ini, yang menjelaskan bahwa terjadinya lapisan keras dipermukaan produk menyebabkan penguapan air menjadi lebih sukar dan perpindahan panas dari minyak ke bahan tidak optimum, sehingga bagian permukaan lebih banyak menerima panas dan membentuk lapisan keras di permukaan menyebabkan warna menjadi gelap. Perubahan warna L diduga ada hubungannya dengan penguapan air bebas dalam padatan. Titik perubahan warna L nampak terjadi pada menit ke 15. Dimulai dari awal penggorengan warna L mengalami penurunan selama penguapan air bebas dalam padatan belum konstan saat kadar air masih di atas 15 %, kemudian beberapa lama warna L menjadi konstan setelah penguapan air bebas telah mendekati konstan saat kadar air di bawah 15 %. Sama halnya dengan penguapan air bebas, penurunan kadar sukrosa diduga turut mempengaruhi perubahan warna L dalam padatan. Warna L terus mengalami perubahan selama penurunan kadar sukrosa belum konstan atau pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, namun beberapa lama setelah kadar sukrosa dalam padatan mulai menjadi konstan atau pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %, warna L juga mulai menjadi konstan.

**Perubahan Warna (A) Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Nilai a menunjukkan warna kromatik antara merah dan hijau. Nilai a positif berkisar antara 0 sampai + 100 menunjukkan intensitas warna merah dan nilai a negatif antara 0 sampai - 80 menyatakan intensitas warna hijau (Soekarto, 1990). Perubahan warna (a) keripik nangka dengan berbagai variasi suhu dan tekanan vakum selama penggorengan disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Selama penggorengan tekanan vakum dan suhu dijaga tetap pada 13 kPa dan 100 °C, dari gambar nampak padatan nangka mengalami perubahan warna (a) kearah kemerahan. Dimulai dari awal penggorengan warna a mengalami perubahan secara perlahan kearah warna kemerahan sampai menit ke-15 dan beberapa saat setelah di atas menit ke-15 sampai menit ke-30 warna a mengalami perubahan kearah warna kemerahan secara cepat, sehingga warna padatan semakin bertambah kemerahan. Perubahan warna a nampak dipengaruhi oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan.

Berdasarkan Gambar 2a dan 2b nampak perubahanan warna a terus meningkat selama penguapan air bebas dalam padatan belum konstan atau saat kadar air masih di atas 15 %, setelah beberapa lama perubahan warna a sudah mulai konstan dan akhirnya menjadi konstan ketika penguapan air bebas dalam padatan juga sudah mulai menjadi konstan atau pada saat kadar air di bawah 15 %, demikian pula halnya dengan perubahan kadar sukrosa, diduga ada keterkaitan

dengan perubahan warna a padatan. Warna a terus mengalami perubahan selama penurunan kadar sukrosa dalam padatan belum konstan atau pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, kemudian setelah beberapa lama akhirnya warna a menjadi konstan pada saat penurunan kadar sukrosa juga konstan atau pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %.



Gambar 2. Perubahan warna (a) padatan nangka selama penggorengan, (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 13 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100 °C

**Perubahan Warna (b) Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Warna (b) adalah salah satu parameter pada produk keripik nangka yang menjadi kesukaan konsumen. Nilai b menunjukkan warna kromatik antara biru sampai kuning. Nilai b positif antara 0 sampai + 70 menyatakan intensitas warna kuning dan nilai b negatif dari 0 sampai - 70 menunjukkan



intensitas warna biru (Soekarto, 1990). Perubahan warna b padatan nangka selama penggorengan pada berbagai suhu dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 3a dan 3b, selama penggorengan tekanan vakum dan suhu dijaga tetap pada 13 kPa dan 100 °C. Berdasarkan Gambar 3a dan 3b nampak warna b mengalami perubahan yang cepat kearah warna kuning kecoklatan dimulai dari awal penggorengan sampai kira-kira mencapai menit ke-15, namun beberapa lama setelah waktu tersebut perubahan warna b sudah mulai menjadi lambat dan akhirnya menjadi konstan.

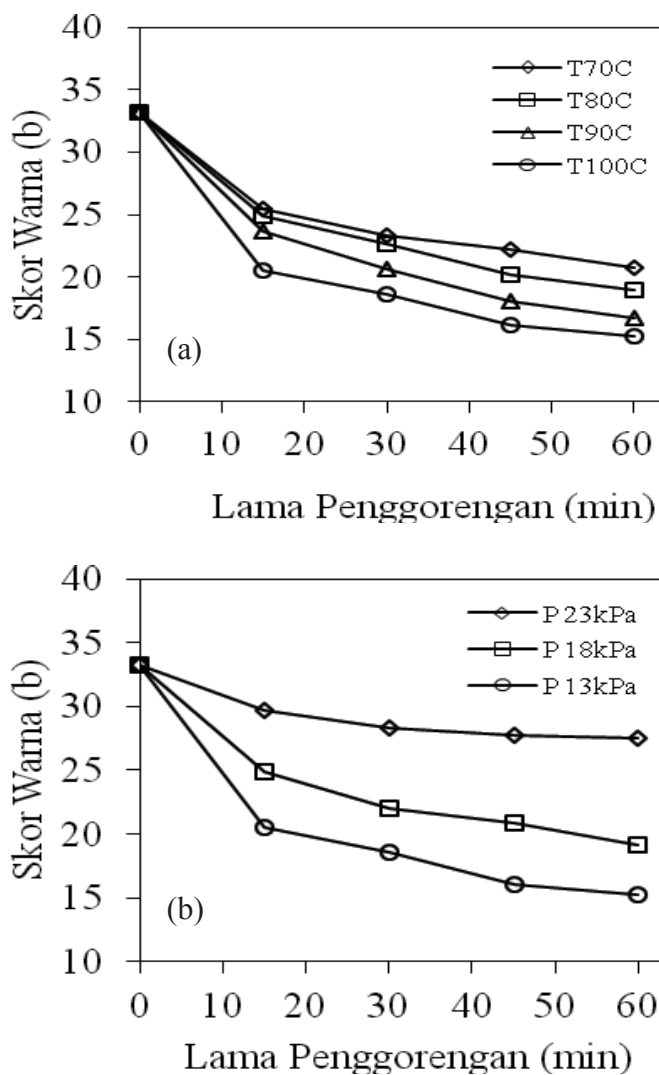
Titik perubahan warna b nampak dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum, dimana makin tinggi suhu dan tekanan vakum rendah semakin besar padatan mengalami perubahan warna b. Perubahan warna b disebabkan penggorengan dengan suhu tinggi dan tekanan vakum rendah terjadi perpindahan

panas lebih cepat ke permukaan dan ke dalam padatan, sehingga air di permukaan dan di dalam padatan lebih cepat keluar dan di permukaan padatan terjadi pengerasan mengakibatkan warna padatan lebih cenderung kearah warna kuning kecoklatan. Menurut Ketaren (1986), permukaan lapisan luar akan berwarna coklat keemasan akibat penggorengan dan terbentuknya warna pada permukaan bahan disebabkan oleh reaksi pencoklatan. Perubahan warna b nampak ada keterkaitan dengan penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa. Dari Gambar 3a dan 3b nampak warna b padatan terus mengalami perubahan selama penguapan air bebas belum konstan atau pada saat kadar air masih di atas 15 %, kemudian beberapa lama perubahan warna b mulai menjadi lambat dan akhirnya konstan setelah penguapan air bebas mendekati konstan atau pada saat kadar air di bawah 15 %, demikian pula halnya dengan penurunan kadar sukrosa. Warna b terus mengalami perubahan selama penurunan kadar sukrosa belum konstan atau pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, namun setelah kadar sukrosa mulai menjadi konstan atau pada saat kadar sukrosa di bawah 40 % warna b juga mulai menjadi konstan.

**Penurunan Kadar Air Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Penurunan kadar air padatan nangka selama penggorengan dengan berbagai variasi suhu minyak dan tekanan vakum disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Tekanan vakum dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 13 kPa dan 100 °C, dari gambar tampak makin tinggi suhu dan tekanan vakum rendah ada kecenderungan laju penguapan air semakin cepat. Hal tersebut disebabkan 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 masak dibandingkan suhu sama dan tekanan vakum tinggi. Penelitian ini mendukung penelitian Garayo dan 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 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



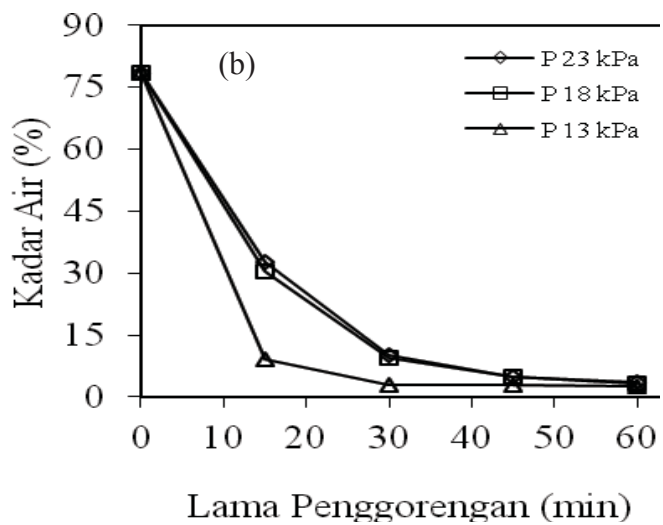
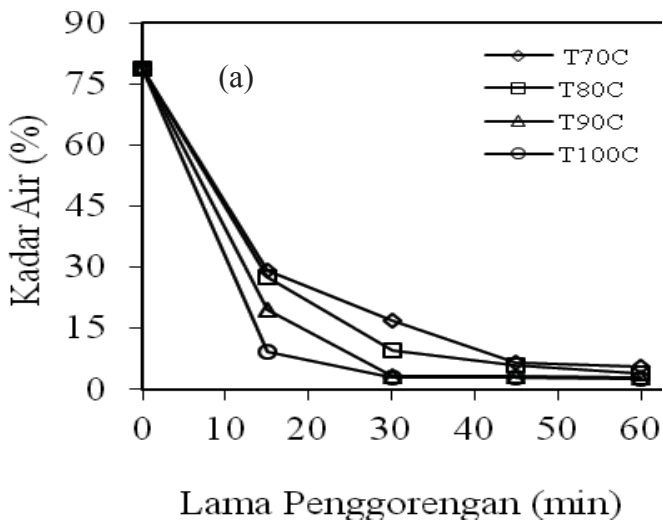
Gambar 3. Perubahan warna (b) padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 13 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C

langsung padatan dengan minyak goreng. Penurunan kadar air dicirikan adanya penguapan air dan terjadinya gelembung gas dari permukaan padatan ke media minyak panas. Penurunan kadar air disebabkan hilangnya sebagian air bebas dari dalam padatan ke permukaan yang menguap ke lingkungan (dalam minyak panas) dan perubahan massa air menjadi uap di dalam padatan. Penurunan kandungan air mendekati konstan setelah penguapan air bebas dalam padatan juga mendekati konstan atau pada saat kadar air mencapai 15 %, kemudian melambat setelah penguapan air bebas konstan atau pada saat kadar air di bawah 15 %. Penurunan kadar air tampak ada hubungan dengan perubahan warna L, a dan b. Titik perubahan L, a dan b dimulai dari awal penggorengan sampai penguapan air bebas mendekati konstan atau pada saat kadar air di atas 15 %, beberapa lama setelah kadar air di bawah 15 % sampai

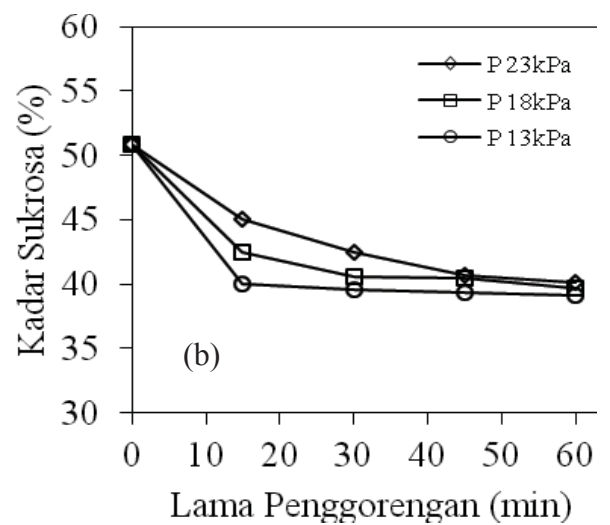
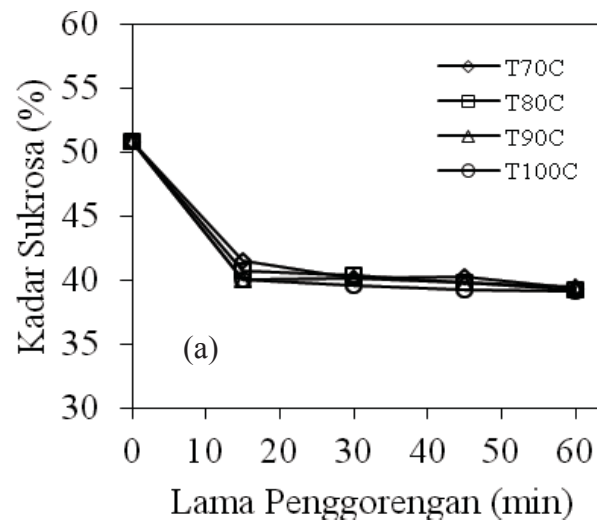
konstan perubahan warna L, a dan b juga sudah mulai konstan dan akhirnya menjadi konstan.

**Penurunan Kadar Sukrosa Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Gambar 5a dan 5b menyajikan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama proses penggorengan pada suhu dan tekanan vakum berbeda, selama proses penggorengan tekanan vakum dan suhu dijaga tetap pada 13 kPa dan 100 °C. Dari gambar nampak penurunan kadar sukrosa dipengaruhi oleh suhu dan tekanan vakum. Makin tinggi suhu dan tekanan vakum rendah semakin cepat kadar sukrosa dalam padatan mengalami penurunan. Kondisi ini disebabkan karena penggorengan pada suhu tinggi dan tekanan vakum rendah,



Gambar 4. Penurunan kadar air padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 13 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100 °C



Gambar 5. Penurunan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan vakum 13 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100 °C

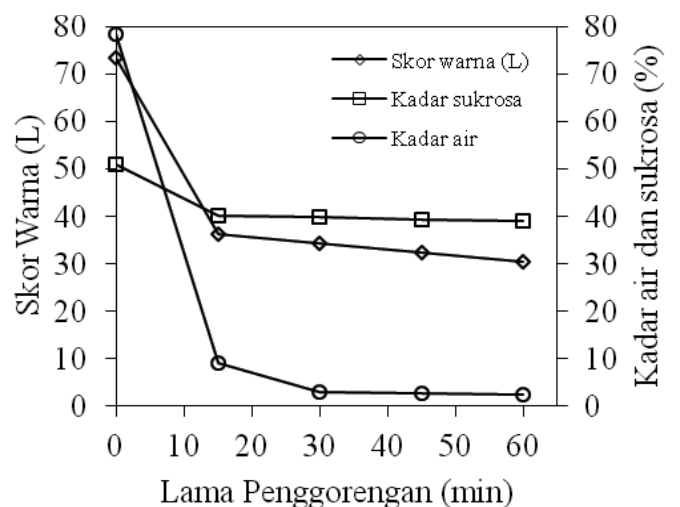
padatan lebih cepat menerima panas sehingga air bebas dalam padatan lebih cepat menguap dan terjadi pembentukan lapisan keras dipermukaan sehingga sukrosa mengalami reaksi karamelisasi menyebabkan padatan mengalami perubahan warna L, a dan b. Penelitian ini mendukung penelitian Saloko dan Iskandar (2009) yang berhasil mengungkapkan bahwa warna yang terbentuk pada pembuatan gula semut disebabkan karena proses penguapan dan terjadinya reaksi karamelisasi, sedangkan menurut Ketaren (1986) pembentukan lapisan keras dipermukaan akan menyebabkan produk yang digoreng berwarna coklat keemasan. Oleh sebab itu untuk menghindari terjadinya pengerasan dipermukaan sebelum produk menjadi masak dan reaksi-reaksi selama penguapan mungkin dapat dilakukan dengan suhu rendah dan tekanan hampa.

Berdasarkan Gambar 5a dan 5b nampak kadar sukrosa dalam padatan mengalami penurunan dengan cepat sampai menit ke 15, beberapa saat setelah lama waktu tersebut penurunan kadar sukrosa menjadi konstan. Titik perubahan sukrosa agaknya ada keterkaitan dengan penguapan air bebas dalam padatan. Penurunan kadar sukrosa masih terus berlangsung selama penguapan air bebas dalam padatan belum konstan atau pada saat kadar air masih di atas 15 %, beberapa lama setelah penguapan air bebas sudah mulai konstan atau pada saat kadar air di bawah 15 % penurunan kadar sukrosa dalam padatan menjadi konstan. Disamping itu penurunan kadar sukrosa nampak mempengaruhi perubahan warna L, a dan b pada padatan angka yang digoreng. Penggabungan perubahan warna L, a dan b dengan penurunan kadar air dan kadar sukrosa akan menjelaskan dengan baik ketiga proses tersebut.

**Perubahan Warna (L) sebagai Fungsi Penurunan Kadar Air dan Kadar Sukrosa Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Penggabungan perubahan warna L, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100 °C dengan tekanan vakum 13 kPa disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan gambar nampak saling keterkaitan ketiga proses, yaitu perubahan warna L, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan pada kondisi vakum. Perubahan warna L dalam padatan dimulai dari warna L awal kemudian berubah dengan cepat sampai menit ke-15, setelah beberapa lama warna L padatan menjadi konstan. Penurunan warna L nampak 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, air dalam padatan keluar. Dari Gambar 6 nampak warna L terus mengalami penurunan selama penguapan air

bebas belum konstan pada saat kadar air masih di atas 15 %, namun beberapa lama setelah penguapan air bebas mulai konstan pada saat kadar air di bawah 15 % warna L cenderung menjadi konstan. Demikian pula halnya dengan penurunan kadar sukrosa nampak berpengaruh terhadap penurunan warna L dalam padatan. Warna L terus mengalami penurunan selama penurunan kadar sukrosa masih terus berlangsung pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, beberapa lama warna L cenderung konstan ketika penurunan kadar sukrosa juga sudah konstan pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %.



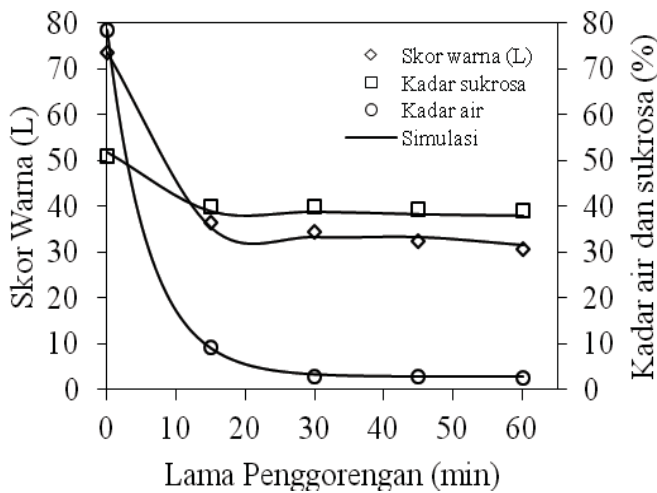
Gambar 6. Perubahan warna (L), penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 13 kPa

Hasil perhitungan perubahan warna L, penguapan air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (4) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 7. Berdasarkan gambar tersebut nampak hasil perhitungan perubahan warna L, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Dengan demikian model matematik perubahan warna (L) padatan nangka disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa selama proses penggorengan vakum dijabarkan pada persamaan berikut.

$$W_L = 0,01C_a^{0,1}C_{sk}^{2,37} \tag{7}$$

Hasil analisis statistik menunjukkan penurunan kadar air dan kadar sukrosa berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan warna L padatan ( $p < 0,01$ ), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Penurunan kadar air berkontribusi 63,4 % terhadap perubahan warna L, sedangkan penurunan kadar sukrosa berkontribusi 57,3 % terhadap perubahan warna L dan secara bersama-sama penurunan

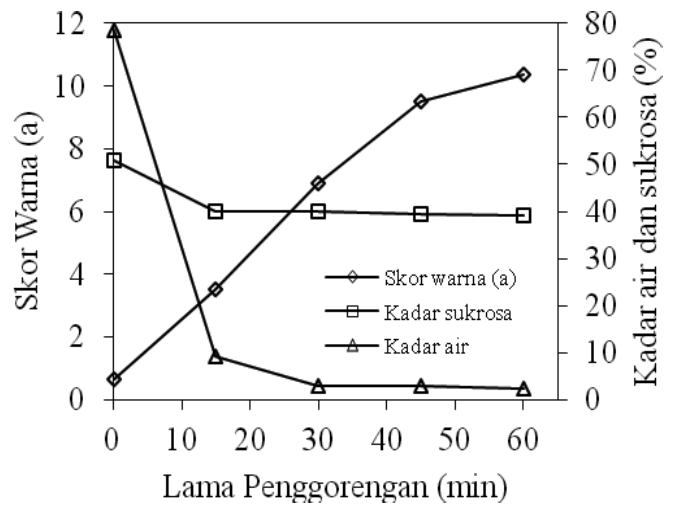
kadar air dan kadar sukrosa berkontribusi 65,9 % terhadap perubahan warna L padatan. Sedangkan penurunan kadar gula reduksi dan β-karoten tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan warna L (hasil penelitian perubahan gula reduksi dan β-karoten tidak ditampilkan dalam penelitian ini).



Gambar 7. Perhitungan warna (L), penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 13 kPa

**Perubahan Warna (A) sebagai Fungsi Penurunan Kadar Air dan Kadar Sukrosa Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

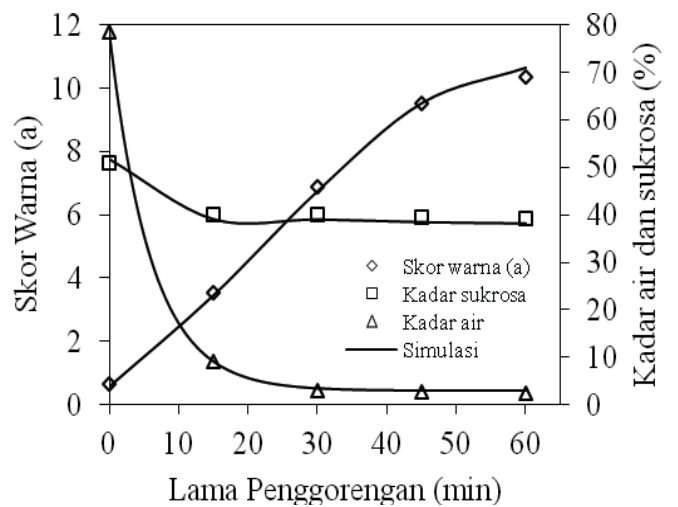
Penggabungan penurunan warna a, penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan vakum pada suhu 100 °C dan tekanan vakum 13 kPa disajikan pada Gambar 8. Dari gambar nampak warna a dipengaruhi oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa. Dimulai dari awal penggorengan warna a mengalami perubahan secara cepat ke arah kemerahan. Peningkatan warna a diduga karena penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa dari dalam padatan. Dari gambar nampak warna a mengalami peningkatan sebelum penguapan air bebas konstan pada saat kadar air masih di atas 15 %, beberapa lama peningkatan warna a cenderung konstan setelah penguapan air bebas menjadi konstan pada saat kadar air di bawah 15 %. Begitu pula dengan penurunan kadar sukrosa yang mempengaruhi penurunan warna a dalam padatan. Warna a mengalami peningkatan selama penurunan kadar sukrosa belum konstan pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, namun beberapa lama setelah kadar sukrosa dalam padatan sudah konstan pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %, warna a juga cenderung konstan.



Gambar 8. Perubahan warna (a), penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 13 kPa

Hasil perhitungan perubahan warna a, penguapan air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (5) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 8. Dari gambar nampak hasil perhitungan perubahan warna a, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Dengan demikian secara empirik model matematik perubahan warna (a) padatan nangka disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa selama proses penggorengan vakum dijabarkan dalam persamaan berikut.

$$W_a = 221,89C_a^{-0.72}C_{sk}^{-0.68} \tag{8}$$



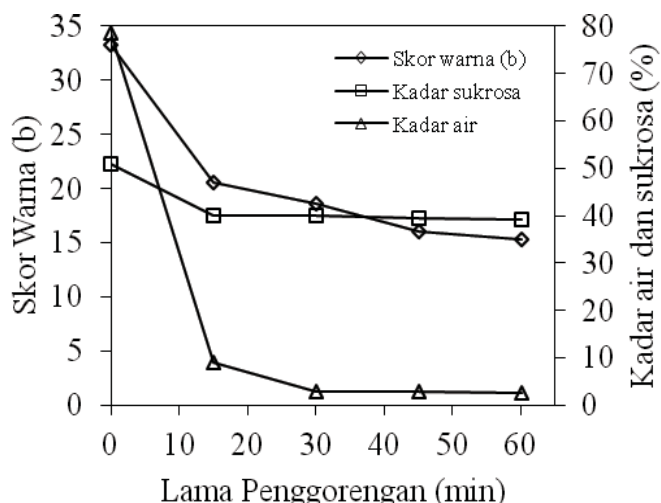
Gambar 8. Perhitungan warna (a), penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100 °C dengan tekanan vakum 13 kPa



Hasil analisis statistik menunjukkan penurunan kadar air dan kadar sukrosa berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan warna a padatan ( $p < 0,01$ ), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa masing-masing berkontribusi 54,4 % dan 33,3 % terhadap perubahan warna a, sementara jika secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar sukrosa berkontribusi 55,1 % terhadap perubahan warna a padatan. Sedangkan penurunan kadar gula reduksi dan  $\beta$ -karoten tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan warna a (hasil penelitian perubahan gula reduksi dan  $\beta$ -karoten tidak ditampilkan dalam penelitian ini).

**Perubahan Warna (B) sebagai Fungsi Penurunan Kadar Sukrosa dan Kadar Air Padatan Nangka selama Penggorengan Vakum**

Penggabungan perubahan warna (b), penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100 °C dengan tekanan vakum 13 kPa disajikan pada Gambar 9. Dari gambar nampak saling keterkaitan ketiga proses, yaitu perubahan warna b, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan pada kondisi vakum. Perubahan warna b dalam padatan dimulai dari warna b awal kemudian berubah dengan cepat sampai menit ke-15, kemudian beberapa lama warna b padatan menjadi konstan. Titik penurunan warna b tampak ada keterkaitan dengan penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan.



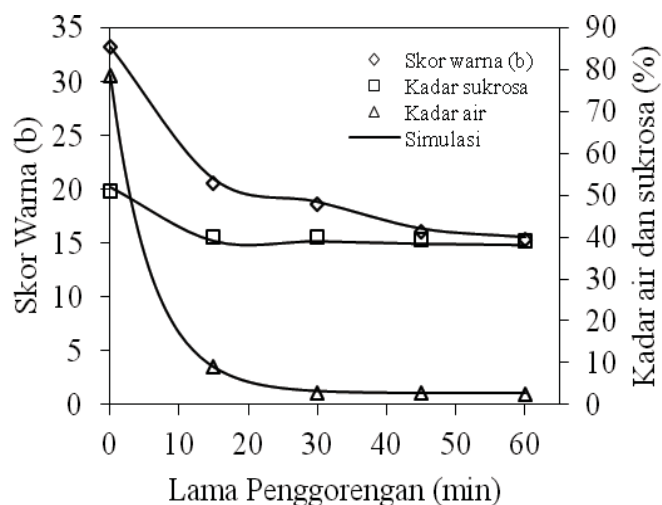
Gambar 9. Perubahan warna (b), penurunan kadar air dan kadar sukrosa padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dengan tekanan vakum 13 kPa

Berdasarkan Gambar 9 nampak warna b terus mengalami penurunan selama penguapan air bebas belum konstan atau pada saat kadar air dalam padatan masih di atas

15 %, namun beberapa lama warna b cenderung menjadi konstan setelah penguapan air bebas mulai konstan pada saat kadar air di bawah 15 %. Pola yang sama nampak terjadi pada titik penurunan kadar sukrosa yang mempengaruhi penurunan warna b dalam padatan. Dimulai dari awal penggorengan warna b terus mengalami penurunan selama penurunan kadar sukrosa belum konstan pada saat kadar sukrosa masih di atas 40 %, namun beberapa lama warna b cenderung konstan ketika penurunan kadar sukrosa dalam padatan juga sudah konstan pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %.

Hasil perhitungan perubahan warna b, penguapan air dan penurunan kadar sukrosa dalam padatan selama penggorengan berdasarkan persamaan (6) diselesaikan dengan cara *multiple regression* menggunakan program komputer disajikan pada Gambar 10. Dari gambar nampak hasil perhitungan perubahan warna b, penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa mengikuti atau hampir sama dengan data hasil pengamatan. Dengan demikian model matematik perubahan warna b padatan nangka disebabkan oleh penguapan air bebas dan penurunan kadar sukrosa selama proses penggorengan vakum dijabarkan dalam persamaan berikut.

$$W_b = 0,46C_a^{0,13}C_{sk}^{0,95} \tag{9}$$

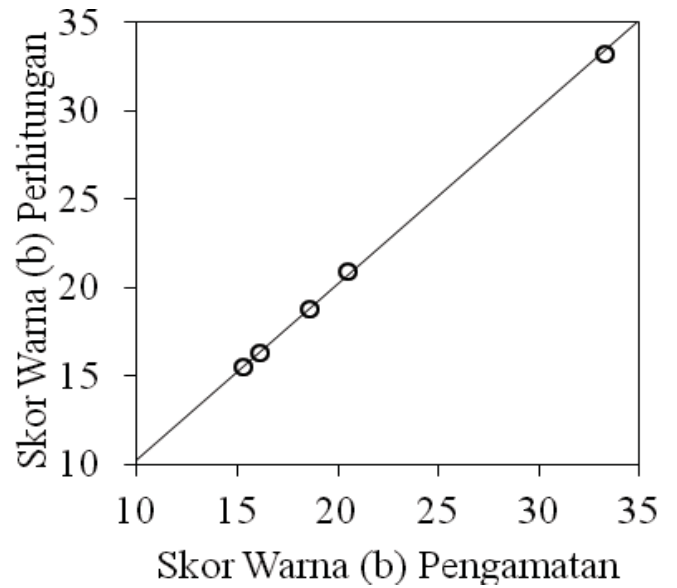


Gambar 10. Perhitungan warna (b), penurunan kadar sukrosa dan kadar air padatan nangka selama penggorengan pada suhu minyak 100 °C dengan tekanan vakum 90 kPa

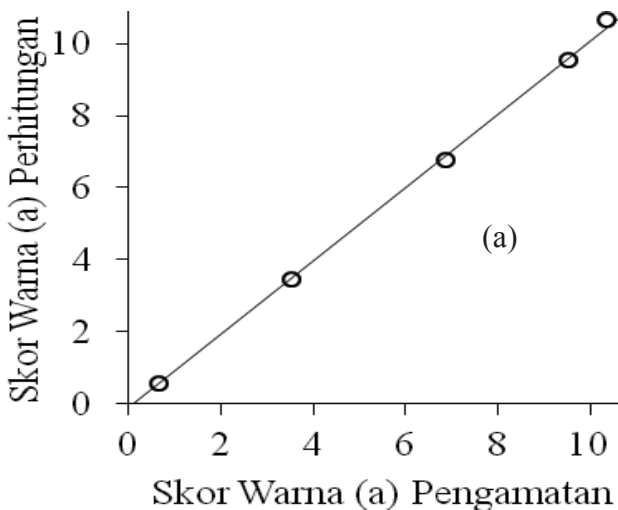
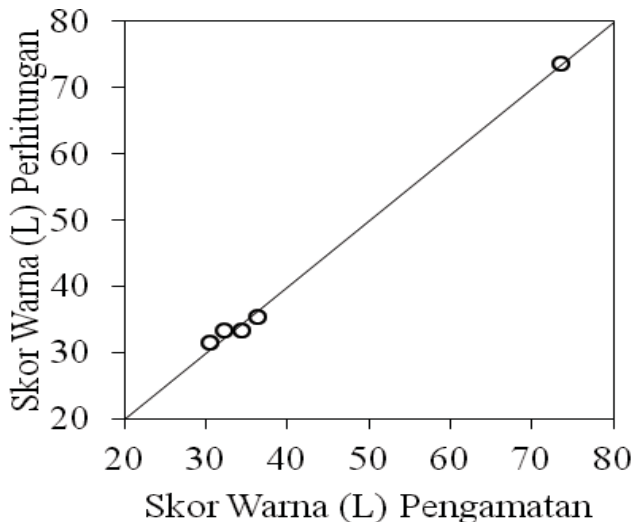
Hasil analisis statistik menunjukkan secara signifikan penurunan kadar air dan kadar sukrosa berpengaruh terhadap perubahan warna b padatan ( $p < 0,01$ ), baik secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Penurunan kadar air berkontribusi 57,6 % terhadap perubahan warna b, sedangkan penurunan kadar sukrosa berkontribusi 65,3 % terhadap perubahan warna b dan secara bersama-sama penurunan kadar air dan kadar sukrosa berkontribusi 67,4 % terhadap

perubahan warna b padatan. Sedangkan penurunan kadar gula reduksi dan  $\beta$ -karoten tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan warna b (hasil penelitian perubahan gula reduksi dan  $\beta$ -karoten tidak ditampilkan dalam penelitian ini).

Keandalan model kemudian divalidasi secara grafik menggunakan skater plot dengan cara membandingkan antara data hasil pengamatan dengan hasil perhitungan seperti disajikan pada Gambar 11a, 11b dan 11c. Dari hasil perhitungan menggunakan koefisien determinasi didapat nilai  $R^2$  0.99. Hal ini menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  lebih besar dari 0,75, sehingga model yang diuji dapat dinyatakan valid (Edwards, 1976). Dengan demikian model yang dikembangkan dapat digunakan untuk memprediksi perubahan warna (L, a dan b) keripik buah selama dalam penggorengan tekanan vakum.



Gambar 11. (a). Hubungan warna (L) pengamatan dengan perhitungan; (b). Hubungan warna (a) pengamatan dengan perhitungan; (c). Hubungan warna (b) pengamatan dengan perhitungan padatan selama penggorengan vakum pada suhu 100°C dan tekanan 13 kPa.



**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian diambil kesimpulan bahwa suhu dan tekanan vakum mempengaruhi perubahan warna (L, a, b), penurunan kadar air dan penurunan kadar sukrosa padatan selama penggorengan. Perubahan warna (L, a dan b) dipengaruhi oleh penguapan air bebas sesuai dengan kandungan air dan penurunan kadar sukrosa yang ada dalam padatan. Bilamana penguapan air bebas dalam padatan belum konstan sebelum kadar air mencapai 15 % warna L, a dan b terus mengalami perubahan, namun ketika penguapan air bebas mulai konstan atau di bawah 15 % warna L, a dan b juga sudah cenderung konstan. Begitu pula dengan penurunan kadar sukrosa, perubahan nilai L, a dan b terus berubah sebelum penurunan kadar sukrosa konstan atau pada saat kadar sukrosa di atas 40 %, beberapa lama warna L, a dan b tidak berubah setelah penurunan kadar sukrosa konstan atau pada saat kadar sukrosa di bawah 40 %. Secara empirik model matematik perubahan warna (L, a dan b) sebagai fungsi penguapan air dan penurunan kadar sukrosa yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi perubahan warna (L, a dan b) keripik buah selama dalam penggorengan vakum.

**DAFTAR SIMBOL**

a	Konstante
C	Konsentrasi (kg/m <sup>3</sup> total)
W	Perubahan warna
x, y	Bilangan eksponen
<i>Subscripts</i>	
a	Air di dalam padatan
a	Nilai a menunjukkan warna kromatik antara hijau sampai merah. Nilai a positif berkisar antara 0 sampai +100 menunjukkan intensitas warna merah dan nilai a negatif antara 0 sampai -80 menyatakan intensitas warna hijau
b	Nilai b menunjukkan warna kromatik antara biru sampai kuning. Nilai b positif antara 0 sampai +70 menyatakan intensitas warna kuning dan nilai b negatif dari 0 sampai -70 menunjukkan intensitas warna biru
L	Nilai L ( <i>Light</i> ) menunjukkan warna antara hitam sampai putih yang memiliki kisaran 0 (hitam) sampai 100 (putih)
sk	Sukrosa di dalam padatan

**DAFTAR PUSTAKA**

- AOAC. (1995). *Official Methods Analysis of the Associations of official Analytical Chemists*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Atteba, P. dan Mittal, G.S. (1994). Modeling the deep-fat frying of beef meatballs. *International Journal of Food Science and Technology* **29**: 429-440.
- Dincer, I. dan Yildiz, M. (1996). Modeling of thermal and moisture diffusion in cylindrically shaped sausages during frying. *Journal of Food Engineering* **28**: 25-43.
- Edwards, A.L., (1976). *An Introduction to Linear Regression on Correlation for India*. National Seed Corporation. New Delhi.
- Garayo, J. dan Moriera, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering* **55**: 181-191.
- Ketaren, S. (1986). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Penerbit UI-Press. Jakarta.
- Lee, S.Y., Yoo, S.S., Lee, M.J., Kwon, I.B. dan Pyun, Y.R. (2001). Optimization of nib roasting in cocoa bean processing with lotte-better taste and color process. *Food Science and Biotechnology* **10**: 286-293.
- Moreira, R.G., Palau J.E. dan Sun, X. (1995). Deep-fat frying of tortilla chips: an engineering approach. *Food Technology* **49**: 146-150.
- Rice, P. dan Gamble, M.H. (1989). Modeling moisture loss during potato slice frying. *Int. Journal of Food Science and Technology* **24**: 183
- Rodrigues, Alline, C.C., Cunha, Rosiane, L., Hubinger, Miriam, D. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering* **59**: 129-135.
- Saloko, S. dan Iskandar, L. (2009). Pembuatan Gula Semut Aren Menggunakan Teknik Penguapan Hampa. *Seminar Nasional dan Gelar Teknologi PERTETA*. AI. 81-89.
- Shyu, S., Hau, L. dan Hwang, L. S. (1998). Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *Journal of American Oil Chemical Society* **75**: 1393-1398.
- Soekarto, T. S. (1990). *Dasar-dasar Pengawasan dan Sstandarisasi Mutu Pangan*. Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.
- Wibowo, C., Dwiyanti, H. dan Hariyanti, P. (2006). Peningkatan kualitas keripik kentang varietas granola dengan metode pengolahan sederhana. *Jurnal Akta Agrosia* **9**: 102-109.