

## PENGARUH SUHU DAN TEKANAN VAKUM TERHADAP PENGUAPAN AIR, PERUBAHAN VOLUME DAN RASIO DENSITAS KERIPIK BUAH SELAMA DALAM PENGGORENGAN VAKUM

### The Influence of Temperature and Vacuum Pressure on Water Vaporization, Volume Changes and Density Ratio of Fruit Chips During Vacuum Frying

Jamaluddin<sup>(1)</sup>, Suardy<sup>(1)</sup>, Siswantor<sup>(2)</sup>, dan Suriana Laga<sup>(3)</sup>

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

<sup>2)</sup> Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman

<sup>3)</sup> Fakultas Pertanian Universitas 45 Makassar

Email:mamal\_ptm@yahoo.co.id

#### RINGKASAN

Selama proses penggorengan padatan (buah) pada kondisi hampa udara terjadi perpindahan panas dan massa secara simultan. Perpindahan panas dari minyak panas ke permukaan padatan kemudian merambat ke dalam, sehingga kandungan air keluar ke permukaan menyebabkan perubahan volume dan rasio densitas pada padatan yang digoreng. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penguapan air terhadap perubahan volume dan rasio densitas padatan selama proses penggorengan pada kondisi hampa udara. Sampel penelitian adalah buah nangka yang digoreng pada suhu 90 dan 100°C dengan lama penggorengan 15 – 60 menit pada tekanan hampa udara 10 dan 15 kPa (tekanan absolut). Seluruh air di dalam padatan dianggap sebagai air bebas yang menyebabkan terjadinya penyusutan dan pemekaran serta pengecilan dan pembesaran pori dalam padatan jika dihilangkan. Parameter yang diamati adalah penguapan air perubahan volume dan perubahan rasio densitas. Hasil penelitian menunjukkan suhu dan tekanan vakum berpengaruh terhadap penguapan air, perubahan volume dan rasion densitas padatan. Laju perubahan volume dan rasio densitas dipengaruhi oleh laju penguapan air. Apabila penguapan air belum konstan terjadi penyusutan dan pengecilan pori, setelah penguapan air bebas sudah konstan mulai terjadi pemekaran dan pembesaran pori sampai akhir penggorengan.

Kata Kunci : Suhu, tekanan vakum, kadar air, volume dan porositas

#### ABSTRACT

*During vacuum frying process of product (fruit), simultaneous heat and mass transfers occur. Heat transfer from hot oil to product surface, and into product causes water to evaporate. This makes changes of volume and density ratio of fried products. This research aims to investigate the influence of water vaporization on volume and density ratio changes of product during vacuum frying process. The samples are jack fruits fried at temperature of 90 and 100°C with frying duration of 15–16 minutes at vacuum pressure of 10 and 15 kPa (absolute pressure). All water in products is assumed to be free water causing shrinkage and puffing, and also decreasing and increasing of product pores, if the water is removed. The observed parameters are*

*water vaporization of volume and density ratio change. The result showed that temperature and vacuum pressure influenced water vaporization, volume change, and density ratio of product. The rate of volume and density ratio changes were affected by rate of water vaporization. If the water vaporization was not stable yet, decreasing and increasing of pores occurred. After being stable, puffing and pore increasing started to occur until the end of frying.*

*Keywords: temperature, vacuum pressure, water content, volume and porosity*

## PENDAHULUAN

Penggorengan hampa (*vacuum frying*) didefinisikan sebagai proses penggorengan yang dilakukan dengan tekanan di bawah tekanan atmosfer, umumnya di bawah 50 Torr (6,65 kPa) disebabkan karena adanya penurunan tekanan titik didih minyak maupun dalam bahan (Garayo dan Moriera, 2002). Penggorengan hampa memiliki beberapa kelebihan antara lain dapat mengurangi kadar minyak dalam produk, dapat mempertahankan warna dan cita rasa khas produk karena penggunaan suhu rendah dan kadar oksigen yang rendah selama proses, dan memiliki pengaruh negatif yang lebih sedikit terhadap kualitas minyak (Shyu *et. al.*, 1998). Penggorengan makanan dapat merubah struktur pori dari produk dengan fenomena pengerutan atau pengembangan (Kawas dan Moriera, 2000; Lujan *et. al.*, 1996). Perubahan struktural tersebut mempengaruhi difusivitas gas dan cairan dalam bahan (Xiong *et. al.*, 1991). Berbagai pendekatan telah diusulkan untuk mempelajari perubahan struktur selama pengeringan. Crapiste *et. al.*, (1988) mempelajari pengeringan kentang dan apel dengan memperhitungkan pengerutan bahan dan memasukkan variabel (*term*) kecepatan pada persamaan transfer air total dengan menganggap sebagai pengeringan kuasi isothermal. Achanta *et. al.*, (1995) mempelajari pengerutan gel makanan menggunakan gel gluten pati dengan memodifikasi Hukum Darcy's untuk memperhitungkan deformasi fiskoelastis.

Uraian di atas menggambarkan bahwa perubahan yang terjadi selama penggorengan masih sulit untuk dimodelkan

karena banyaknya faktor yang saling berhubungan dan harus diperhitungkan, sehingga perlu diidentifikasi perubahan struktural selama penggorengan agar diperoleh pemahaman lebih baik mengenai perubahan mutu yang terjadi. Porositas produk yang terbentuk selama penggorengan memainkan peranan penting dalam penyerapan minyak selanjutnya jika kerak mulai terbentuk pada permukaan produk misalnya akan terdapat tekanan yang cukup tinggi kemudian produk menjadi mengembang. Penelusuran pustaka memperlihatkan model penggorengan yang telah dikembangkan selama ini belum memperlihatkan hubungan antara bahan mentah dan kondisi penggorengan terhadap perubahan volume, misalnya pengerutan, pengembangan dan perubahan porositas pada produk. Oleh karena itu diperlukan penelitian lanjutan untuk mempelajari fenomena pembentukan kerak, pengerutan, pengembangan dan selanjutnya membuat model perubahan volume produk selama penggorengan.

Model matematika dengan kompleksitas beragam telah dikembangkan. Model tersebut berkaitan dengan penggorengan produk individual dengan asumsi sifat fisik yang konstan, sejumlah besar model telah didasarkan pada difusi sederhana, perpindahan panas dan massa menggunakan berbagai pendekatan yang melibatkan atau mengabaikan penguapan (Ateba dan Mittal, 1994; Dincer dan Yildiz, 1996; Moriera *et. al.*, 1995; Rice dan Gamble, 1989). Namun demikian, model penggorengan yang telah dikembangkan sejauh ini tidak memperlihatkan hubungan kombinasi antara bahan baku dan kondisi penggorengan dengan peru-

bahan struktural (pengembangan ketebalan dan penyusutan), bahkan model tersebut tidak mencakup transport fasa minyak pada produk yang digoreng, padahal banyak perubahan yang tidak diinginkan terjadi dalam makanan selama penggorengan, dimana bisa diperkecil dan proses bisa dikendalikan, apabila mutu produk dapat diperkirakan secara akurat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan tekanan vakum terhadap perubahan volume dan penguapan air di dalam padatan selama proses penggorengan pada kondisi hampa udara.

## METODE PENELITIAN

### Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah penggoreng vakum (*vacuum fryer*) dilengkapi dengan data logger sistem komputer yang dibuat secara khusus untuk skala laboratorium dan dirancang sesuai dengan kebutuhan penelitian, alat untuk analisa kadar air, gelas ukur dan timbangan. Semua dilakukan sebelum dan sesudah sampel digoreng.

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam 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 setempat dan berumur 12–24 jam setelah dipanen. Diasumsikan konsentrasi bahan dianggap homogen di seluruh padatan termasuk permukaan padatan, sedangkan bahan pendukung penelitian adalah minyak goreng dan bahan-bahan kimia untuk analisis kimia.

### Pelaksanaan Penelitian

Sampel buah nangka digoreng pada variasi suhu 90 sampai 100°C dengan waktu penggorengan 15 sampai 60 menit pada tekanan hampa udara 10 sampai 15 kPa (tekanan absolut).

### Pengamatan suhu

Selama proses penggorengan vakum diamati perubahan suhu minyak di permukaan dan di titik tengah sampel dengan termokopel tipe K dilengkapi pembacaan dan data logger yang mempunyai akurasi  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### Analisis kadar air

Kadar air sampel sebelum dan sesudah penggorengan dianalisis menggunakan metode oven vakum (AOAC, 1970), ukuran sampel 10 g dibuat sebanyak 3 sampel. Analisa dilakukan dengan tiga kali pengulangan untuk setiap satu kali proses dan semua proses penelitian dilakukan sebanyak tiga kali.

### Pengukuran perubahan volume

Perubahan volume sampel diukur dengan menggunakan metode 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 perubahan rasio densitas

Rasio perubahan densitas sampel diukur dengan menggunakan metode 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 data

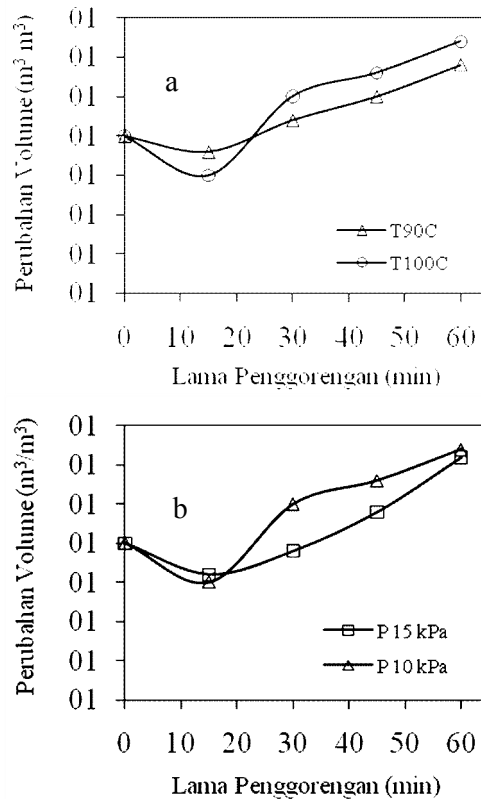
Data penelitian dianalisis secara statistik menggunakan program *excel*. Analisis statistik digunakan adalah analisis korelasi produk moment untuk mencari hubungan antara data hasil pengamatan dengan hasil simulasi model. Data yang dikorelasikan adalah penurunan kadar air, perubahan volume dan rasio densitas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Perubahan volume padatan selama penggorengan pada kondisi hampa udara**

Selama penggorengan, padatan mengalami penyusutan pada arah panjang dan lebar, namun dalam penelitian ini yang diamati hanya pada arah lebar bahan, dan pengembangan pada arah ketebalan. Kebanyakan penyusutan terjadi selama 15 menit penggorengan dan kebanyakan pengembangan terjadi setelah 15 menit penggorengan, atau pada kandungan air sangat rendah. Perubahan volume padatan nangka pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan hampa udara disajikan pada Gambar 1a dan 1b. Tekanan hampa udara dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 10 kPa dan 100°C.

Berdasarkan Gambar 1a dan 1b nampak perubahan volume berupa penyusutan dan pemekaran dipengaruhi oleh suhu dan tekanan hampa udara. Makin tinggi suhu dan semakin rendah tekanan hampa udara ada kecenderungan padatan mengalami penyusutan dan pemekaran yang cepat atau sebaliknya. Hal tersebut disebabkan karena penggorengan pada suhu tinggi dan tekanan hampa udara lebih rendah, perpindahan panas ke permukaan dan kemudian masuk ke dalam padatan lebih cepat dibanding pada suhu rendah dan tekanan hampa udara lebih tinggi, sehingga air di permukaan dan di dalam padatan lebih cepat keluar menyebabkan padatan menjadi menyusut dan beberapa lama menjadi mekar.



Gambar 1. Perubahan volume padatan selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan 10 kPa dan (b) variasi tekanan vakum pada suhu minyak 100°C

Penyusutan terus berlangsung sebelum penguapan air bebas belum 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. Pengembangan terjadi pada saat kerak mulai terbentuk dan peristiwa pembentukan kerak ini sangat mengurangi laju perpindahan panas yang dapat menyebabkan peningkatan tekanan di dalam padatan. Peningkatan tekanan tersebut mengakibatkan pengembangan pori, yang dapat menghasilkan produk akhir yang renyah. Ketika faktor pengembangan tidak diperhitungkan, tekanan akan lebih meningkat lagi secara berlebihan sehingga cara penyelesaian-

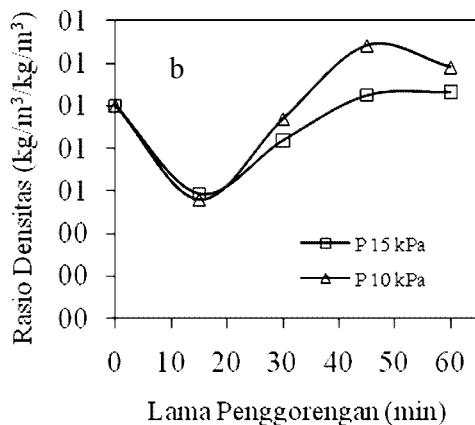
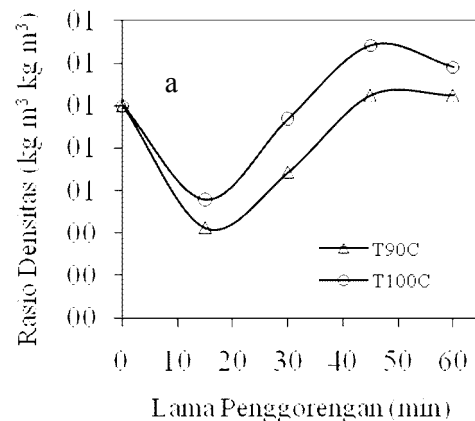
annya biasanya menjadi menyimpang (Yamsaengsung dan Moreira, 2002a).

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 dan Moreira (2002a) yang menjelaskan bahwa perubahan volume bahan selama penggorengan disebabkan karena hilangnya air terikat dalam bahan. Pada awal penggorengan mula-mula air bebas di permukaan keluar dan beberapa lama air bebas dalam padatan juga keluar mengakibatkan padatan menjadi menyusut. Setelah semua air bebas keluar terjadi pengerasan di permukaan sehingga sebagian air bebas terjebak di dalam padatan. Karena air menerima panas, sehingga menjadi uap (ekspansi) akhirnya padatan menjadi mengembang.

Selama penggorengan, padatan menyusut sekitar 1,2 - 1,7% pada temperatur 90 -100°C. Penggorengan pada suhu minyak lebih tinggi mengakibatkan penyusutan lebih besar pada masa penggorengan yang sama. Suhu minyak lebih tinggi mengakibatkan ukuran penyebaran uap lebih tinggi pada padatan dan suhu padatan juga lebih tinggi. 1,5% penyusutan terjadi dalam setengah dari total waktu penggorengan untuk semua kondisi penggorengan. Setelah semua air bebas keluar menguap dan kandungan air turun, selanjutnya bahan akan mulai mengembang disebabkan adanya tekanan gas di dalam bahan. Penggembangan didefinisikan sebagai penambahan ketebalan padatan yang disebabkan oleh pembentukan gelembung udara pada permukaan. Wilayah kerak akan menimbulkan hambatan yang tinggi terhadap difusi gas yang oleh karenanya akan menyebabkan timbulnya tekanan serta pembentukan kantong gas.

**Perubahan rasio densitas padatan selama penggorengan pada kondisi hampa udara**

Perubahan rasio densitas padatan angka selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan hampa udara disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Tekanan hampa udara dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 10 kPa dan 100°C. Dari gambar nampak perubahan rasio densitas padatan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan hampa udara. Makin tinggi suhu dan rendah tekanan hampa udara, semakin cepat perubahan rasio densitas mengalami penurunan atau sebaliknya.



Gambar 2. Perubahan rasio densitas padatan selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan 10 kPa dan (b) variasi tekanan pada suhu minyak 100°C

Pada awalnya padatan mengalami penurunan rasio densitas, namun kemudian beberapa lama terjadi peningkatan

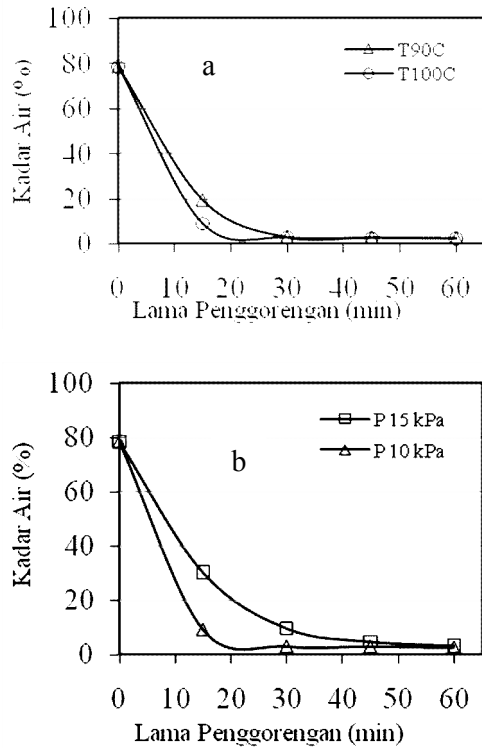
rasio densitas. Titik laju penurunan dan peningkatan rasio densitas nampak terjadi pada menit ke 15. Titik perubahan tersebut tampak dipengaruhi oleh suhu dan tekanan hampa udara. Di samping itu penurunan dan peningkatan rasio densitas nampak dipengaruhi oleh penguapan air bebas dalam padatan. Penurunan rasio densitas nampak 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% perubahan rasio densitas padatan mulai menjadi meningkat sampai akhir penggorengan.

Keluarnya secara perlahan-lahan sebagian air bebas menyebabkan rongga menjadi mengecil dan secara bersamaan terbentuk lapisan keras di 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 dan 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.

#### **Penguapan air dalam padatan selama penggorengan pada kondisi hampa udara**

Kadar air padatan nangka selama penggorengan pada berbagai variasi suhu minyak dan tekanan hampa udara disajikan pada Gambar 3a dan 3b. Tekanan hampa udara dan suhu selama penggorengan dijaga tetap pada 10 kPa dan

100°C. Berdasarkan gambar nampak laju penguapan air bebas selama penggorengan dipengaruhi oleh suhu dan tekanan hampa udara. Makin tinggi suhu dan semakin rendah tekanan hampa udara ada kecenderungan laju penguapan air bebas semakin cepat atau sebaliknya. Hal ini disebabkan karena titik didih air dan lama penguapan air dipengaruhi oleh tekanan hampa udara. 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 di 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. Pada awal penggorengan penguapan air bebas dari dalam padatan nampak mendekati konstan sebelum kadar air mencapai 15%, beberapa lama kemudian melambat dan menjadi konstan setelah kadar air di bawah 15%.

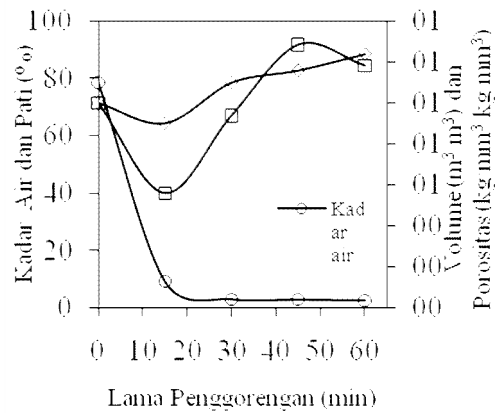


Gambar 3. Kadar air padatan selama penggorengan (a) variasi suhu minyak pada tekanan 10 kPa dan (b) variasi tekanan pada suhu minyak 100°C

**Penggabungan perubahan volume, rasio perubahan densitas dan penguapan air dalam padatan selama penggorengan pada kondisi hampa udara**

Perubahan volume dan rasio densitas nampak ada keterkaitan dengan penurunan kadar air dalam padatan. Dengan demikian penggabungan laju perubahan volume dan laju perubahan rasio densitas disebabkan oleh penguapan air bebas akan dapat memperlihatkan keterkaitan ketiga proses tersebut. Hasil penggabungan laju perubahan volume, laju perubahan rasio densitas dan penurunan kadar air dalam padatan selama penggorengan pada suhu 100°C dengan tekanan hampa udara 10 kPa disajikan pada Gambar 4. Titik perubahan volume dan rasio densitas, dimana padatan mulai menyusut dan porinya mengecil dimulai dari awal penggorengan sampai penguapan air bebas belum konstan saat kadar air di

atas 15%, namun beberapa lama setelah penguapan air bebas konstan 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 dan 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 gas dalam totilla chip.



Gambar 4. Perubahan volume dan rasio densitas serta penurunan kadar air padatan selama penggorengan pada suhu minyak 100°C dan tekanan hampa udara 10 kPa.

Perubahan volume padatan dimulai dari volume awal kemudian berubah menjadi menyusut dengan cepat, setelah beberapa lama volume padatan menjadi mekar kembali. Penyusutan diduga disebabkan karena 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. Pada saat kadar air masih di atas 15% penyusutan terus berlangsung dan padatan tidak mengalami pemekaran. Pemekaran mulai terjadi ketika kadar air di bawah 15% pada saat tekanan dalam padatan sudah mendekati tekanan di per-

mukaan, panas menyebabkan pengerasan di permukaan secara perlahan, sehingga sebagian air akan terjebak di dalam padatan. Uap air yang terjebak dalam padatan tidak ke luar lagi dan menjadi bertekanan serta membentuk kantong gas, sehingga menyebabkan padatan menjadi mengembang dan akhirnya menjadi mekar. Demikian pula halnya dengan perubahan rasio densitas nampak disebabkan karena penguapnya air bebas dari dalam padatan. Titik penurunan dan peningkatan perubahan rasio 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. Akan tetapi setelah kadar air berada di bawah 15% nampak pembesaran pori mulai terjadi sampai akhir penggorengan.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa suhu dan tekanan vakum berpengaruh terhadap penguapan air, perubahan volume dan porositas dalam padatan selama penggorengan pada kondisi hampa udara. Laju perubahan volume dan rasio densitas dipengaruhi oleh laju penguapan air dari dalam padatan. 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.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achant, S, M.R. Okos, J.H. Cushman dan D.P. Kessler. 1995. Moisture Transport In Shrinking Gels During Saturated Drying. *Journal of Colloid and Interface Science* **169**, pp. 58–68.
- AOAC. 1970. *Official Methods Analysis of The Associations of Official Analytical Chemists*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Asensio, M. C. 1999. *Transport Phenomena During Drying of Deformable, Hygroscopic Porous Media: Fundamentals and Applications*. Ph.D. Dissertation, Texas A&M University, College Station, TX.
- Ateba, 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.
- Crapiste, G.H., S. Whitaker dan E. Rotstein. 1988. Drying of Cellular Material-I. A mass Theory. *Chemical Engineering Science* **43** 11, pp. 2919–2928.
- Dincer, I., dan M. Yildiz. 1996. Modeling of Thermal and Moisture Diffusions in Cylindrically Shaped Sausages During Frying. *Journal of Food Engineering* **28**, pp. 35–43.
- Garayo, J, dan R. G. Moriera. 2002. Vacuum Frying of Potato Chips. *Journal of Food Engineering* **55**, pp. 181–191.
- Kawas, M. L. dan R. G. Moreira. 2000. Characterization of Product Quality Attributes of Tortilla Chips During the Frying Process. *Journal of Food Engineering* **47**, pp. 97–107.
- Kawas, M. L. 2002. *Characterization of Product Quality Attributes of Tortilla Chips During the Frying Process*. M.S. thesis, Texas A&M University, College Station, TX.
- Lujan, Acosta dan R. G. Moreira. 1996. F.J. Lujan-Acosta and R.G. Moreira. Relationship Between Tortilla Chips Microstructure and Oil Reduction. *Cereal Chemistry Journal* **74**, pp. 216–223.
- Moreira, R.G. Moreira, 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**, pp. 183-187.
- Shyu, S., Hau, L. dan L. S. Hwang. 1998. Effect of Vacuum Frying on The Oxidative Stability of Oils. *Journal of American Oil Chemical Society*, **75**. 1393-1398
- Taiwo, K. A., dan O. D., Baik. 2006. Effects of Pre-Treatments on The Shrinkage and Textural Properties of Fried Sweet Potatoes. *LWT* 40 (2007) 661-668.
- Whitaker, S. 1977. Simultaneous Heat, Mass and Momentum Transfer in Porous Media: A Theory of Drying. *Advances in Heat Transfer* **13**, pp. 119-203.
- X. Xiong, G. Narsimhan dan M. R. Okos. 1991. Effect of Composition and Pore Structure on Binding Energy and Effective Diffusivity of Moisture in Porous Food. *Journal of Food Engineering* **15**, pp. 187-208.
- Yamsaengsung, dan R. G. 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.
- Yamsaengsung, dan R. G. Moriera. 2002b. *Modeling The Transport Phenomena and Structural Changes During Deep Fat Frying*. Part II: Model Solution & Validation. *Journal of Food Engineering* **53**, pp. 11-25.