

Studi Karakteristik Kerupuk: Pengaruh Komposisi dan Proses Pengolahan

Novriaman Pakpahan^{1*}, Nelinda¹

¹Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Teuku Umar,
Alue Peunyareng, Meureubo, Aceh Barat 23681, Indonesia

*Email: novriaman@utu.ac.id

ABSTRAK

Kerupuk adalah sejenis makanan ringan yang sangat populer di Indonesia. Produk ini memiliki densitas rendah, berporos dan bertekstur renyah. Kerupuk telah dikembangkan dengan berbagai komposisi bahan dan teknik pengolahan yang berbeda. Ulasan ilmiah ini bertujuan untuk mempelajari keterkaitan komposisi bahan dan proses pengolahan terhadap karakteristik kerupuk berdasarkan hasil studi penelitian yang telah ada. Studi terkait pengembangan dan kerenyahan kerupuk sebagai indikator mutu kerupuk juga dijelaskan dalam ulasan ini. Pengaruh komposisi dan proses pengolahan terhadap pengembangan berhubungan dengan sifat viskoelastis polimer dan kuantifikasi tekanan uap air. Jenis bahan berpati, pemasakan adonan, pendinginan gel pati, sumber protein, garam dan air berpengaruh terhadap sifat viskoelastis polimer. Selanjutnya, *puffing*, air dan soda kue berpengaruh terhadap tekanan uap air yang dihasilkan. Tekanan uap air terhadap matriks polimer dan kemampuan polimer bertahan terhadap tekanan tersebut membentuk kesetimbangan yang menentukan ukuran pori, ketebalan dinding pori dan besarnya volume pengembangan kerupuk. Sensasi kerenyahan kerupuk terjadi akibat adanya kejadian retakan dan bunyi pada matriks gelas saat digigit. Tingkat kerenyahan tinggi pada kerupuk yang memiliki pengembangan tinggi, jumlah pori banyak, dan dinding pori tipis.

Kata kunci: Kerenyahan; pengembangan; kerupuk; komposisi; tekstur

ABSTRACT

Cracker "Kerupuk" is a popular snack food product in Indonesia. It is bulk density, porous and crispy. This product developed with various composition and different processing. This review aimed to study the interrelation of composition and processing on cracker properties. In addition, expansion of crackers and definition of crispness as cracker quality was reviewed in this paper. Influence of ingredient and processing on expansion related to viscoelastic properties of polymer and quantification of vapour pressure. Kind of starchy material, cooking, cooling, protein sources, salt, and water influenced on viscoelastic properties. Further, puffing, water, and baking soda influenced on quantity of vapour pressure. Amount of both vapour pressure and viscoelastic of polymer achieve a equilibrium that determined thickness of porous wall, size of porous, and expansion volume of crackers. Crispness was formed by fracturing of matrix polymer in glass phase and sound that was produced. The cracker that has high expansion, many porous, and low thickness of porous had high crispness.

Keywords: Crispness; expansion; fish cracker; ingredient; texture

PENDAHULUAN

Kerupuk merupakan salah satu produk ekstrusi yang mengalami pertambahan volume, membentuk produk yang porous, berdensitas rendah setelah mengalami pemanasan suhu tinggi. Produk ini sangat dikenal di negara-negara Asia Tenggara seperti Indonesia, Malaysia, dan Thailand (Taewee, 2011). Kerupuk biasa disajikan sebagai pendamping makanan utama dan ada pula yang mengkonsumsinya sebagai makanan selingan. Hal yang disukai dari produk ini adalah memiliki tekstur yang renyah dan menimbulkan sensasi akustik saat digigit. Sebagian konsumen menganggap karakteristik tersebut dapat meningkatkan selera makan.

Berbagai jenis kerupuk banyak dikembangkan dan telah dipasarkan secara komersil. Kerupuk tersebut dinamakan berdasarkan komposisi bahan seperti kerupuk ikan, kerupuk cumi, kerupuk udang, dan kerupuk tapioka (Cheow *et al.*, 2004; Chang dan Chen 2013; Nguyen *et al.*, 2013; Pakpahan *et al.*, 2017; Jumiati *et al.*, 2017). Adapula kerupuk yang dinamakan berdasarkan teknik pengolahannya seperti kerupuk pasir (Dewandari *et al.*, 2014; Ilmi *et al.*, 2017). Namun, secara harfiah kerupuk didefinisikan sebagai produk yang dibuat dengan atau tanpa dicampur adonan tepung dan bumbu-bumbu serta bahan pangan lain yang sesuai, berbentuk pipih atau bentuk lainnya, dikeringkan untuk digoreng, dipanggang, disangrai atau proses lain yang sesuai (BPOM, 2006).

Komposisi bahan dalam pembuatan kerupuk terdiri dari bahan utama dan bahan tambahan. Bahan utama berfungsi sebagai pembentuk adonan dan pembentuk gel. Bahan utama yang biasa digunakan adalah bahan berpati tinggi seperti tepung tapioka, tepung gandum, pati sagu, tepung beras dan bahan berpati lainnya (Cheow *et al.*, 2004, Tondang *et al.*, 2008; Saeleaw dan Schleining 2010). Bahan tambahan seperti garam, soda kue dan rempah-rempah biasa dicampurkan untuk meningkatkan mutu dan citarasa (Nguyen *et al.*, 2014). Adapula yang menambahkan ikan, udang dan daging sebagai sumber protein (Huda *et al.*, 2009; Chang dan Chen 2013; Wang *et al.*, 2013; Kaewmanee *et al.*, 2015).

Pengolahan kerupuk dilakukan beberapa tahap proses. Proses pengolahan kerupuk dimulai dari pembuatan adonan dari bahan-bahan yang digunakan. Adonan yang telah tercampur rata dimasak hingga tergelatinisasi dan diperoleh gell adonan. Pemasakan adonan dapat dilakukan dengan merebus, mengukus ataupun menggunakan ekstruder (Taewee, 2011). Gel adonan kemudian didinginkan, diiris dan dikeringkan. Pengerinan menyebabkan gel adonan memiliki tekstur yang keras dan mudah patah. Gel adonan yang telah kering tersebut biasa disebut sebagai kerupuk mentah. Selanjutnya, kerupuk mentah dipanaskan dengan suhu tinggi untuk proses pengembangan.

Proses ini dapat dilakukan dengan pemanasan dengan minyak, pemanasan dengan pasir atau pemanasan dengan gelombang mikro (Tondang *et al.*, 2008; Taewee, 2011; Nguyen *et al.*, 2013). Setelah proses pemanasan, kerupuk mentah mengalami pertambahan volume, membentuk struktur berporos, penurunan densitas dan menghasilkan produk yang renyah.

Hasil studi menyebutkan bahwa komposisi seperti jenis bahan berpati, air, sumber protein, garam dan soda kue memberikan pengaruh terhadap daya mengembang dan kerenyahan kerupuk (Cheow dan Yu, 1999; Cheow *et al.*, 2004; Tondang *et al.*, 2008; Saeleaw dan Schleining 2010; Nguyen *et al.*, 2013, Chang dan Chen 2013). Selanjutnya, proses pengolahan seperti pencampuran adonan, pemasakan adonan, pendinginan adonan dan *puffing* juga memberi pengaruh terhadap pengembangan dan kerenyahan kerupuk (Cheow *et al.*, 2004; Tondang *et al.*, 2008; Saeleaw dan Schleining 2010; Nguyen *et al.*, 2013, Chang dan Chen 2013). Menurut van der Sman dan Broeze (2013), komposisi dan proses pengolahan memiliki keterkaitan dengan pembentukan struktur produk ekstrusi (kerupuk dan snack) yang menentukan tingkat kerenyahan produk akhir. Keterkaitan tersebut berhubungan dengan pengaruhnya terhadap viskoelastis polimer dan tekanan uap air selama tahap *puffing*. Tulisan ini mengulas hasil-hasil penelitian tentang keterkaitan komposisi bahan pembuatan kerupuk dan proses pengolahan terhadap pengembangan dan kerenyahan kerupuk. Ulasan ini juga mengulas tentang kerenyahan, dan pengembangan kerupuk yang menjadi karakteristik utama mutu kerupuk. Tulisan ini menjadi informasi penting bagi peneliti untuk penelitian lebih lanjut terkait produk kerupuk dan bagi pelaku industri untuk memproduksi kerupuk yang bermutu baik.

KARAKTERISTIK MUTU KERUPUK

Pengembangan Kerupuk

Faktor pertama yang dipertimbangkan oleh konsumen untuk menilai bahwa kerupuk bermutu baik adalah penampakan volume pengembangan kerupuk. Kerupuk yang mengembang dipresepsikan oleh konsumen memiliki tekstur yang renyah. Saeleaw dan Schleining (2011) dan Cheow *et al.*, (2004) menjelaskan bahwa terdapat korelasi antara pengembangan dan kerenyahan kerupuk. Pengembangan kerupuk yang tinggi menghasilkan kerupuk yang renyah.

Daya mengembang kerupuk dapat diukur dengan metode pengembangan linier, pengembangan volume dan densitas kamba (Saeleaw dan Schleining, 2010; Pakpahan *et al.*, 2017). Pengembangan linier diukur dengan menghitung perubahan ukuran kerupuk goreng terhadap kerupuk mentahnya (Saeleaw dan

Schleining, 2010). Pengembangan volume diukur dengan menghitung perubahan volume kerupuk goreng terhadap kerupuk mentahnya (Pakpahan *et al.*, 2017). Densitas kamba (g/cm^3) diukur dengan menghitung perbandingan massa (g) terhadap volume kamba kerupuk goreng (cm^3).

Pengembangan kerupuk terjadi karena fenomena termodinamika kerupuk selama proses *puffing*. Saat tahap *puffing* terjadi pembentukan tekanan uap air yang mendorong matriks polimer gel kerupuk. Kesetimbangan antara tekanan uap air dan viskoelastisitas polimer tersebut menentukan pembentukan struktur dan pengembangan kerupuk. Besarnya tekanan uap air dan nilai viskoelastis dari polimer gel dipengaruhi oleh komposisi dan proses pengolahan kerupuk (van der Sman dan Broeze, 2013). Pengaruh dari masing-masing variabel tersebut dibahas pada bab selanjutnya.

Kerenyahan

Kerupuk dikenal sebagai makanan ringan yang memberikan sensasi renyah saat dimakan. Pemahaman tentang definisi, penyebab dan kuantifikasi kerenyahan merupakan sebuah penjelasan yang kompleks, tetapi banyak kemajuan yang telah diajukan untuk mengenal fisik, struktural dan persepsi kerenyahan. Periode 1980-an dimunculkan sebuah penjelasan bahwa persepsi kerenyahan terjadi akibat bunyi yang dihasilkan ketika matriks pangan retak (Vickers dan Wasserman 1979). Selanjutnya, penjelasan tersebut berkembang bahwa persepsi kerenyahan terjadi pada matriks pangan fase gelas (Dogan dan Kokini, 2007; Mosquera *et al.*, 2011). Fase gelas bahan pangan terjadi ketika bahan pangan berada di bawah suhu transisi gelas (soekarto dan adawiyah 2012).

Saat ini pemahaman kerenyahan masih terus berkembang khususnya tentang kuantifikasi kerenyahan. Dogan dan Kokini (2007) menemukan

bahwa intensitas kerenyahan dapat ditentukan dari banyaknya puncak kurva deformasi pada instrumen analisis tekstur. Semakin banyak puncak yang terekam oleh instrumen maka semakin banyak retakan yang terjadi pada matriks bahan pangan. Selanjutnya, Salvador *et al.*, (2009), Saeleaw dan Schleining, (2011) dan Taniwaki dan Kohyama, (2012) mengemukakan bahwa jumlah puncak frekuensi bunyi dapat dijadikan evaluasi persepsi kerenyahan. Pola analisis tersebut memiliki kesamaan dengan analisis tekstur. Selain itu, tingkat kerenyahan juga dapat dilihat dari pendekatan nilai *fracturability* (gaya yang dibutuhkan untuk menciptakan retakan pada matriks pangan), dan kekerasan bahan pangan (Chang dan Chen, 2013). Dengan demikian, sifat mekanis kerenyahan dapat dikarakteristikan oleh rendahnya gaya yang diberi untuk menciptakan retakan serta tingginya kejadian retakan dan bunyi. Indikator yang digunakan beberapa penelitian sebagai evaluasi kerenyahan dapat dilihat pada Tabel 1.

Sifat mekanis kerenyahan dipengaruhi oleh beberapa parameter struktural seperti diameter pori, ketebalan dan kekerasan dinding pori, sebaran pori, volume pengembangan dan densitas kerupuk. Dogan dan Kokini, (2007) menemukan bahwa densitas memiliki korelasi terhadap jumlah puncak analisis tekstur. Peningkatan densitas menyebabkan kerapatan bahan meningkat sehingga nilai kekerasan meningkat dan jumlah retakan yang terjadi menurun. Selanjutnya, diameter pori tidak memiliki korelasi terhadap kerenyahan. Akan tetapi, rasio diameter dan ketebalan pori mempengaruhi intensitas kerenyahan. Wanget *al.*, (2013) mengemukakan bahwa pengembangan yang lebih besar menurunkan ketebalan dinding pori sehingga kerenyahan menjadi meningkat. Primo-Martin *et al.*, (2008) melaporkan bahwa *roasted rusk rolls* yang memiliki pori lebih menyebar memungkinkan terjadinya retakan lebih banyak.

Tabel 1. Instrumen analisis dan indikator evaluasi kerenyahan

Instrumen	Indikator	Referensi
texture analyzer (TA-XT Plus) + AED acoustic envelope detector	jumlah puncak kurva tekstur dan puncak emisi bunyi	Saeleaw dan Schleining 2010, 2011, Salvador <i>et al</i> 2009, Taniwaki dan Kohyama 2012
TA.XT2i Texture analyzer	jumlah puncak kurva tekstur	Dogan Kokini 2007
Texture analyzer (EZtest-500N)	Kekerasan	Chang dan Chen 2013
Texture Analyzer (TA.XTi2)	Fracturability	Jiamritayamet <i>al.</i> , 2015

Selain parameter struktural, kerenyahan juga dipengaruhi oleh air bahan. Perannya sebagai *plasticizer* memberikan perubahan sifat mekanis dan berpengaruh terhadap tingkat kerenyahan. Katz dan Labuza (1981) telah melaporkan bahwa terjadi penurunan intensitas kerenyahan akibat peningkatan a_w . Hubungan a_w dengan intensitas kerenyahan ditunjukkan pada Gambar 1. Pola

hubungan tersebut menunjukkan adanya penurunan tajam tingkat kerenyahan pada a_w tertentu dan menjadi indikator a_w kritis. Selanjutnya, a_w kritis bahan pangan berbeda-beda yaitu *popcorn* (0,49), *potatto chip* (0,51), *puffed corn curl* (0,36) dan kraker asin (0,39). Ikasari *et al.*, (2017) mengamati bahwa kerupuk ikan yang renyah memiliki a_w tidak lebih dari 0,376. Penurunan tingkat kerenyahan

akibat peningkatan air bahan berhubungan dengan pergeseran suhu transisi gelas (T_g) (suhu perubahan dari fase gelas ke fase karet atau sebaliknya) menjadi lebih rendah (Soekarto dan Adawiyah, 2012). Fase gelas terjadi di bawah suhu transisi gelas, sedang di atas suhu tersebut polimer bahan pangan melunak atau berada dalam fase karet. Van der Sman dan Meinders (2011) melaporkan bahwa transisi gelas produk ekstruksi memiliki pola hubungan yang unik terhadap a_w . Pola tersebut menggambarkan bahwa semakin tinggi air bahan maka fase gelas tercapai pada suhu yang lebih rendah. Perdomo *et al.*, (2009) dan Mosquera *et al.*, (2011) juga menemukan hal yang sama pada tapioka dan borojo.

KOMPOSISI KERUPUK

Bahan Berpati

Ada beberapa bahan berpati yang telah dicobakan untuk membuat kerupuk seperti tepung tapioka, tepung sagu, tepung terigu, tepung beras dan lainnya. Penggunaan tepung tapioka sebagai bahan baku pembuatan kerupuk diketahui memberikan pengembangan yang lebih baik dibandingkan dengan pati sagu, beras, dan gandum. Selanjutnya, penambahan pati lainnya ke dalam tepung tapioka menurunkan pengembangan kerupuk (Tondang *et al.*, 2008, Saeleaw dan Schleining 2010). Beberapa bahan berpati lainnya seperti tepung sungking kuning dan tepung pesang hijau juga telah dicobakan sebagai bahan baku kerupuk. Obasi dan Chukwuma, (2015) telah mengeksplorasi potensi singkong kuning sebagai bahan baku pembuatan kerupuk. Jenis bahan berpati ini memberikan penyediaan pigmen karotenoid yang berfungsi sebagai zat nutrisi dan pewarna. Rasa, kerenyahan dan penerimaan dari produk ini tidak berbeda dengan kerupuk yang terbuat dari pati singkong. Selanjutnya, Wang *et al.*, (2012) telah melakukan percobaan penggunaan tepung pisang hijau sebagai bahan pengganti tepung tapioka dalam pembuatan kerupuk. Studinya melaporkan bahwa tepung pisang hijau berpotensi meningkatkan nilai nutrisi kerupuk. Akan tetapi penambahan tepung pisang hijau dapat diterima oleh panelis tidak lebih 40 g dari 100 g tepung tapioka berdasarkan analisis sensori. Noorakmar, (2012) melaporkan bahwa penambahan tepung ubi jalar oranye sebagai sumber karoten mempengaruhi karakteristik kerupuk. Penambahan tepung ubi jalar oranye menyebabkan warna agak coklat, tekstur lebih keras, pengembangan lebih kecil, bulk density lebih besar dan absorpsi minyak menurun. Indeks serapan air menurun dan indeks kelarutan air meningkat dengan penambahan tepung ubi jalar oranye. Pengamatan mikrostruktur menunjukkan bahwa penambahan tepung ubi jalar menghasilkan kerupuk dengan jumlah pori yang lebih kecil dan dinding pori yang tebal.

Beberapa karakteristik patiseperti fraksi amilosa-amilopektin, fraksi amilosa-lipid dan ukuran granula pati diketahui menentukan karakteristik kerupuk (Tondang *et al.*, 2008, Saeleaw dan Schleining 2011; Noorakmar, 2012; Noranizan *et al.*, 2010). Pati yang memiliki kadar amilopektin yang tinggi dan ukuran granula pati besar memiliki *swelling power* yang tinggi. *Swelling power* menunjukkan banyaknya air yang dapat diperangkap oleh granula pati selama proses gelatinisasi. Ini diasumsikan bahwa pati tersebut menyediakan banyak titik nukleasi (titik tumbuh) pengembangan kerupuk (Cheow *et al.*, 2004). Pati yang memiliki amilosa tinggi cenderung mempromosikan retrogradasi, menghasilkan gel yang lebih kaku, sehingga menolak pengembangan. Pengamatan tekstur gel pati singkong yang memiliki kadar amilosa lebih rendah dari pati sagu menunjukkan gel pati yang lebih lunak. Pencampuran kedua pati teramati bahwa fraksi tepung tapioka meningkatkan pengembangan kerupuk dan peningkatan fraksi pati sagu menyebabkan pengembangan kerupuk menurun. Sun dan Yoo (2015) menemukan hal yang sama bahwa fraksi pati tapioka yang lebih tinggi menghasilkan gel yang lebih lunak dan lebih stabil terhadap sineresis dalam gel campuran pati tapioka dan pati beras. Selanjutnya, campuran beras waxy dan beras *non waxy* menunjukkan bahwa fraksi beras *non waxy* meningkatkan terjadinya retrogradasi. Jiamjariyatam *et al.*, (2015) menambahkan bahwa selain berperan dalam retrogradasi, fraksi amilosa pati juga berpengaruh terhadap tipe kristalin dan kristalinitas relatif. Amorfis gel pati ditemukan pada gel pati yang memiliki kadar amilosa 0,12%. Polimorfis B dan V dan endotermis DSC ditemukan pada gel pati berkadar amilosa di atas 4 %. Selanjutnya, kristalinitas relatif, kekerasan gel dan entalpi retrogradasi meningkat dengan meningkatnya kadar amilosa. Fraksi amilosa-lipid pada pati menyebabkan penyerapan air dan ukuran akhir granula menurun selama proses gelatinisasi (Cheow *et al.*, 2004). Hal tersebut menunjukkan bahwa fraksi amilosa-lipid menyebabkan *swelling power* granula pati rendah dan titik nukleasi pengembangan kerupuk kecil. Noranizan *et al.*, (2010) melaporkan bahwa pemanasan pati gandum pada suhu 120 °C memiliki profil gelatinisasi yang mirip dengan pati singkong dan sagu yang dipanaskan pada suhu 100°C. Fraksi lebih besar kompleks amilosa-lipid pada gandum mencegah pembengkakan granula pati pada suhu sekitar 100 °C, tapi kompleks ini hancur pada suhu lebih tinggi sehingga granula membengkak, dan terjadi *leaching* amilosa dari pecahnya granula.

Air

Pengaruh air terhadap pengembangan dan struktur kerupuk dikaitkan peranannya sebagai pemberi tekanan pada struktur gel pati dan pemlastis (Amon dan Denson 1984). Peranan air

sebagai pemberi tekanan berhubungan dengan keseimbangan termodinamika dan perpindahan uap air. Hal tersebut memunculkan kuantifikasi volume, tekanan dan perpindahan uap air dalam pengembangan dan pembentukan struktur (Amon dan Denson 1984). Peranan air sebagai pemlastis berhubungan dengan perubahan suhu transisi gelas. Perdomo *et al.*, (2009) melaporkan bahwa pengukuran suhu transisi gelas tepung tapioka menggunakan *differential scanning calorimetry* (DSC) dan *dynamic mechanical thermal analysis* (DMTA) di berbagai kadar air (2-35%, basis kering) diketahui memiliki tiga efek yang berbeda. Kadar air tepung tapioka sekitar 11%, air bersifat anti-plastisasi. Efek plastisasi diperoleh untuk kadar air yang lebih tinggi dalam dua pola yang berbeda yaitu, 11-23%, penurunan eksponensial T_g dan penurunan tajam nilai T_g diperoleh pada kadar air lebih besar dari 23%. Efek plastisasi tersebut mengubah sifat viskoelastis polimer pati sehingga mempengaruhi kemampuan menahan uap air dan pembentukan gelembung udara (van der Sman dan Broeze, 2013).

Tekanan yang dihasilkan dan sifat viskoelastis polimer berbeda pada berbagai kadar air. Kerupuk berkadar air tinggi membutuhkan energi yang besar sehingga proses penguapan terjadi lebih lambat dan menghasilkan tekanan uap air yang kecil sehingga pengembangan kerupuk lebih rendah (van der Sman dan Broeze, 2013; Nguyen *et al.*, 2013) Di sisi lain, kerupuk berkadar air sangat rendah memiliki air yang terikat kuat. Penguapan air jenis ini membutuhkan energi yang besar dan jumlah air teruap juga lebih sedikit. Dengan kata lain, jumlah perpindahan air tidak memberikan gaya fisik yang kuat untuk mendorong struktur kerupuk sehingga pengembangannya rendah (Nguyen *et al.*, 2013). Selanjutnya, pengaruh plastisasi air yang mengubah sifat viskoelastis gel pati juga mempengaruhi tekanan uap air. Kerupuk yang memiliki kadar air tinggi memiliki suhu transisi gelas yang tinggi sehingga bersifat karet pada suhu kamar. Saat proses pemanasan dilakukan tingkat viskoelastis gel pati rendah sehingga tidak dapat menahan uap air dan terjadi kegagalan uap air membentuk gelembung udara (van der Sman dan Broeze 2013). Oleh sebab itu, pengembangan kerupuk yang terbaik terjadi pada kadar air yang sesuai. Berdasarkan data penelitian yang didapat oleh Pakpahan *et al.*, (2017), rentang kadar air kerupuk mentah tapioka yang memiliki daya mengembang dan tingkat kerenyahan yang tinggi adalah 6-11 %. Kerupuk mentah yang memiliki kadar air lebih rendah atau lebih tinggi dari rentang kadar air tersebut memiliki daya mengembang dan tingkat kerenyahan yang rendah.

Sumber Protein

Sumber protein bukan merupakan bahan utama yang harus dipenuhi dalam pembuatan

kerupuk. Akan tetapi, penambahan sumber protein meningkatkan nilai nutrisi dan memberikan citarasa khas produk kerupuk. Sumber protein yang biasa ditambahkan yaitu daging ikan, cumi ataupun udang segar dan adapula yang menambakkannya dalam bentuk tepung dan konsentrat (Huda *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2013; Chang dan Chen, 2013). Penambahan dalam bentuk konsentrat dapat dilakukan dalam bentuk tepung surimi. Surimi merupakan konsentrat protein myofibril yang diekstraksi dari ikan dengan proses pencucian (Huda *et al.*, 2009).

Penambahan sumber protein dalam adonan kerupuk perlu memperhatikan karakteristik bahan. Kaewmanee *et al.*, (2015) melaporkan bahwa jenis ikan yang berbeda mempengaruhi kekerasan dan pengembangan kerupuk. Selanjutnya, sifat viskositas gel kerupuk mentah bervariasi pada penggunaan jenis ikan yang berbeda. Penelitian tersebut menggunakan ikan Tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*), ikan Layang, (*Decapterus maruads*), ikan Sardin (*Sardinella gibbosa*), ikan Layur (*Trichiurus lepturus*), ikan Swanggi (*Priacanthus tayenus*) sebagai sumber protein. Studi tersebut menunjukkan bahwa tipe ikan yang berlemak memberikan sifat viskositas kerupuk mentah yang lebih rendah, serta menurunkan volume pengembangan dan kerenyahan kerupuk goreng. Hal ini sesuai dengan yang ditemukan oleh Huda *et al.*, (2009). laporannya menyebutkan bahwa interaksi pati dan lemak membentuk ikatan kompleks yang menurunkan swelling power pati sehingga pengembangan kerupuk menurun. Selanjutnya, Wang *et al.*, (2013) secara khusus mengamati karakteristik gel pati, gel ikan dan gel pati-ikan setelah dilakukan pemanasan gelombang mikro. Gel ikan memiliki *bulk density* yang lebih rendah daripada gel pati. Campuran kedua gel tersebut memberikan *bulk density* lebih besar dari gel protein dan lebih rendah dari gel pati. Hal tersebut menunjukkan bahwa gel ikan sebagai sumber protein memberikan penurunan daya mengembang pada gel pati.

Garam

Penambahan garam dalam adonan kerupuk bertujuan memberikan cita rasa dan efek awet pada produk akhir. Jumlah garam yang ditambahkan biasanya sekitar 2 hingga 3%. Makanan yang diberikan garam kurang dari 0,3% menghasilkan rasa yang hambar dan tidak disukai. Penambahan yang berlebih menyebabkan rasa yang sangat asin dan warna lebih gelap. Penambahan garam juga memberikan pengaruh lain terhadap karakteristik kerupuk. Itu berkaitan dengan interaksi garam dengan bahan lain seperti protein dan pati. Cheow dan Yu (1999) melaporkan bahwa penambahan garam menyebabkan peningkatan kelarutan protein sehingga gel protein menjadi lebih terdispersi dalam adonan sehingga kerupuk mengembang lebih merata. Selanjutnya, keberadaan garam dalam

adonan kerupuk menyebabkan suhu gelatinisasi pati menjadi lebih tinggi. Peningkatan suhu gelatinisasi menunjukkan ada peningkatan kemampuan gel pati mengikat air, sehingga jumlah air yang dapat digunakan dalam proses pengembangan lebih banyak. Hal tersebut menyebabkan terjadi peningkatan pengembangan. Maisont dan Narkrugsa (2010) melaporkan bahwa hal yang sama untuk produk *puffed rice*. Beras yang direndam larutan garam 2% menghasilkan pengembangan yang lebih tinggi dari pada beras yang direndam dalam air.

Penambahan garam juga diketahui menggeser nilai kadar air optimum pengembangan produk mirip kerupuk yaitu *starchy snack*. Kadar air optimum *starchy snack* yang diberi garam lebih rendah daripada kadar air optimum *starchy snack* tanpa garam (van der Sman dan Broeze 2014). Pergeseran kadar air optimum pengembangan berhubungan dengan pengaruh garam terhadap *boiling line* dan *critical isoviscosity line* melalui perubahan transisi gelas pati. Farahnky *et al.*, (2009) mengamati adanya perubahan T_g pati singkong dan pati kentang akibat penambahan garam. Lapornya menyebutkan bahwa T_g pati singkong pada kelembaban relatif 11% tanpa garam sebesar 166°C dan penambahan garam 6% menyebabkan penurunan T_g menjadi 136°C.

Soda Kue

Soda kue ditambahkan dalam adonan kerupuk bertujuan untuk membantu proses pengembangan kerupuk. Nguyen *et al.*, (2014) melaporkan bahwa penambahan soda kue memberikan pengembangan lebih cepat pada pemanasan kerupuk dengan gelombang mikro. Semakin banyak soda kue yang ditambahkan maka semakin tinggi pengembangan kerupuk. Akan tetapi, penambahan soda kue dengan konsentrasi tinggi memberikan aroma dan rasa yang tidak disukai oleh panelis. Konsentrasi penambahan soda kue yang baik berkisar 0,85% hingga 6,5%. Karakteristik kerupuk yang nyata terlihat akibat penambahan soda kue yaitu kerupuk menjadi lebih mengembang dan memiliki dinding pori yang lebih tipis.

Peningkatan pengembangan kerupuk akibat penambahan soda kue berkaitan dengan gas CO₂ yang dihasilkan oleh soda kue. Gas CO₂ meningkatkan tekanan dalam matriks kerupuk saat proses pemanasan suhu tinggi. Semakin banyak soda kue yang ditambahkan maka semakin tinggi gas CO₂ dan tekanan udara yang dihasilkan. Peningkatan tekanan ini merenggangkan dinding pori sehinggajadi pengurangan ketebalan dinding sel, memperbesar ukuran dan jumlah pori sehingga kerenyahan kerupuk meningkat (Nguyen *et al.*, 2014).

PROSES PENGOLAHAN KERUPUK

Pencampuran Adonan

Adonan kerupuk dibuat dengan mencampurkan komposisi bahan menjadi satu. Beberapa jenis kerupuk memiliki cara yang berbeda dalam pembuatan adonan. Kerupuk sagu, kerupuk pasir dan kerupuk udang menggunakan bubur biang pada tahap awal, sedangkan adonan kerupuk ikan, dan kerupuk bawang dibuat tanpa menggunakan bubur biang. Khusus kerupuk yang menggunakan sumber protein, pembuatan adonan dilakukan dengan mencampurkan garam dan bumbu lainnya dengan sumber protein terlebih dahulu sebelum dicampur dengan tepung untuk membentuk adonan. Cheow dan Yu (1999) menyatakan bahwa penambahan garam setelah campuran ikan dan tepung menyebabkan terjadi agregasi protein. Hal ini mempengaruhi pengembangan kerupuk menjadi lebih rendah.

Pencampuran bahan pati dan protein dalam adonan kerupuk sangat penting karena itu mempengaruhi pengembangan dan struktur kerupuk. Wang *et al.*, (2013) telah mengamati karakteristik campuran gel pati dan ikan. Itu menyimpulkan bahwa campuran gel pati dan ikan yang kurang homogen menyebabkan pengembangan yang tidak merata. Hal ini dikaitkan dengan keterikatan air dan kondisi matriks yang berbeda pada berbagai titik akibat adonan tidak homogen. Itu menyebabkan perbedaan pengembangan pada berbagai tempat.

Pemasakan Adonan

Pemasakan adonan kerupuk bertujuan untuk menggelatinisasi pati sehingga adonan membentuk gel. Selama pemasakan penting untuk memastikan bahwa proses gelatinisasi terjadi dengan baik. Secara prinsip, proses gelatinisasi dipengaruhi dua faktor yaitu kecukupan panas dan kecukupan air. Panas berfungsi sebagai energi untuk membuka struktur pati dengan memutus ikatan hidrogen amilosa dan amilopektin. Ketika ikatan hidrogen tersebut terputus maka air bermigrasi ke dalam struktur pati dengan mudah. Selanjutnya, air berfungsi memberikan penambahan volume ke dalam granula pati sehingga pati dapat mengalami pembengkakan dan *leaching*.

Derajat gelatinisasi merupakan ukuran proses gelatinisasi adonan selama proses pemasakan. Derajat gelatinisasi 100% menunjukkan bahwa pati mengalami gelatinisasi secara keseluruhan, dan derajat gelatinisasi 0% berarti pati tidak mengalami gelatinisasi. Derajat gelatinisasi dapat diukur menggunakan instrumen differential scanning calorimetry (DSC) dengan mengukur rasio entalpi gelatinisasi gel kerupuk terhadap entalpi pati alami (Tondang *et al.*, 2008).

Peningkatan derajat gelatinisasi pati memberikan peningkatan volume pengembangan

kerupuk dan penurunan densitas kerupuk hingga derajat gelatinisasi 65%. Akan tetapi, pengembangan volume tidak mengalami peningkatan pada derajat gelatinisasi yang lebih tinggi (Tondang *et al.*, 2008). Selanjutnya, Kraus *et al.*, (2014) melaporkan hal yang sama dan menambahkan bahwa jumlah pori meningkat secara signifikan dengan meningkatnya derajat gelatinisasi di atas 64,2% dan memiliki pengaruh terhadap distribusi ukuran pori. Pengaruh derajat gelatinisasi terhadap struktur kerupuk memiliki keterkaitan dengan sifat viskoelastis gel pati dan kristalin pati. Derajat gelatinisasi rendah didominasi oleh kristalin pati dan tidak membentuk film yang cukup untuk proses pengembangan. Selanjutnya, derajat gelatinisasi tinggi membentuk film viskoelastis rendah yang tidak mampu membentuk gelembung udara karena ketidakmampuan mencegah uap air keluar. Pada derajat gelatinisasi menengah, film yang terbentuk memiliki viskoelastis yang tinggi karena belum mengalami degradasi pati dan granula pati tidak tergelatinisasi yang berperan sebagai filler. Granula pati tersebut memerangkap air sehingga tersedianya uap air yang berperan sebagai pemberi tekanan (Tondang *et al.*, 2008). Selanjutnya, hal tersebut dijelaskan bahwa jumlah ketersediaan air yang besar pada granula pati menyediakan titik nukleasi yang lebih banyak (Kraus *et al.*, 2014).

Proses pemasakan adonan dapat dilakukan dengan cara perebusan, pengukusan dan ekstrusi. Masing-masing metode memiliki mekanisme yang berbeda dalam mengelatinisasi adonan. Metode perebusan pada prinsipnya memberikan gelatinisasi yang penuh karena pati dalam adonan dapat menyerap air secara langsung. Ini membantu memperpendek waktu pemasakan adonan. Akan tetapi, metode ini menyebabkan pati lebih mudah mengalami fragmentasi dan leaching amilosa yang tinggi. Metode pengukusan juga mengelatinisasi pati, akan tetapi gelatinisasi bisa saja tidak terjadi secara penuh. Hal ini disebabkan ketidakcukupan air atau ketidakcukupan panas selama proses pengukusan (Tondang *et al.*, 2008). Metode pengukusan memberikan penetrasi panas yang lebih lambat dan keterbatasan ketersediaan air pada adonan dibandingkan metode perebusan. Metode ekstrusi merupakan teknik yang sedang berkembang. Teknik ini mengelatinisasi adonan dalam alat ekstruder. Noorakmar *et al.*, (2012) menggunakan teknik ekstrusi dengan cara mencampur adonan pati-ikan ke dalam ekstruder single screw. Suhu bagian kompresi dan ujung ditetapkan 80 °C dan 90°C dengan kecepatan screw dijaga sekitar 115-125 rpm. Diameter Die-nozzle yaitu 6 mm. Adonan yang keluar dari ekstruder dipotong dan kemudian diiris dalam bentuk piringan dengan ketebalan 1 mm.

Perbedaan lama pemasakan dan komposisi adonan memiliki pengaruh terhadap derajat gelatinisasi. Kerupuk dengan formulasi berbeda yaitu campuran tepung tapioka dan pati sagu

memiliki derajat gelatinisasi paling kecil 80% jika dikukus selama 60-120 menit. Matriks bahan memiliki peranan besar dalam proses transfer panas dan pembengkakan pati yang mempengaruhi proses gelatinisasi. Pati yang memiliki suhu gelatinisasi yang tinggi membutuhkan waktu pemasakan yang lebih lama atau suhu yang lebih tinggi. Pati sagu diketahui memiliki suhu gelatinisasi yang lebih tinggi dibanding pati singkong. Kemudian, peningkatan suhu dan lama pengukusan meningkatkan derajat gelatinisasi (Tondang *et al.*, 2008).

Hal lainnya yang penting diperhatikan dalam pemasakan adonan adalah sifat fisikokimia gel pati yang terbentuk setelah pemasakan. Adonan yang dimasak pada suhu yang lebih tinggi atau lebih lama menghasilkan indeks kelarutan air lebih besar, indeks serapan air lebih rendah dan leaching amilosa yang lebih banyak (Cheow *et al.*, 2004; Tondang *et al.*, 2008; Noorakmar *et al.*, 2012; Jiamritayam 2015). Indeks kelarutan air, dan indeks serapan air serta kekuatan gel merupakan sifat fisikokimia yang menunjukkan adanya degradasi pati. Semakin tingginya indeks kelarutan air, atau menurunnya indeks serapan air menunjukkan banyaknya pati yang terdegradasi. Adanya degradasi pati menyebabkan viskoelastis menurun dan menyebabkan menurunnya kemampuan menahan uap air sehingga terjadi kegagalan uap air membentuk rongga udara saat proses pemanasan (Tondang *et al.*, 2008; Kyaw *et al.*, 1999; Noorakmar *et al.*, 2012). Pembengkakan dan leaching pati menunjukkan besarnya serapan air serta banyaknya amilosa dan amilopektin yang keluar dari granula pati. Pati yang mengalami pembengkakan maksimal memiliki ketersediaan air tinggi pada granula untuk memberi tekanan pada matriks polimer gel. Hal tersebut memberikan pengembangan kerupuk yang tinggi. Pati yang mengalami leaching amilosa tinggi membentuk gel pati yang kaku. Hal tersebut menghambat keluarnya perpindahan air sehingga pembentukan gelembung pori tidak terbentuk, sedangkan leaching amilopektin tinggi menyebabkan viskoelastis rendah sehingga gel pati lebih lunak air sangat mudah keluar dari matriks polimer. Pengembangan kerupuk terjadi dengan baik saat rasio leached amylase dan leached amylopectin berada pada kisaran 0,25 hingga 0,5. (Kyaw *et al.*, 2001; Cheow *et al.*, 2004; Noranizan *et al.*, 2010).

Pendinginan Gel Adonan

Proses pemasakan adonan membentuk gel lunak yang sulit untuk diiris. Oleh sebab itu perlu dilakukan proses pendinginan gel untuk mendapatkan tekstur yang lebih keras dan lebih mudah diiris. Pendinginan dilakukan dengan menyimpan gel adonan dalam lemari pendingin pada suhu 4-5°C selama 12 jam (Pakpahan *et al.*, 2017). Perubahan tekstur gel dari lunak menjadi keras selama proses pendinginan terjadi akibat

proses retrogradasi (penyusunan kembali struktur polimer pati). Amilosa membentuk ikatan heliks ganda dan kumpulan heliks kemudian amilopektin rantai pendek mengalami kristalisasi lambat. Lama perubahan tekstur gel tersebut dipengaruhi oleh kristalisasi dari molekul amilopektin (Jiamjariyatam *et al.*, 2015).

Tingkat retrogradasi pati dapat dilihat dari perubahan tekstur gel menjadi keras, pengamatan instrument DSC atau instrumen X-ray diffraction. Tingkat retrogradasi pati berdasarkan perubahan tekstur dapat dilihat melalui perubahannya menjadi keras. Semakin besar perubahan tekstur gel dari lunak menjadi keras maka retrogradasi semakin besar. Tingkat retrogradasi dari pengamatan instrument DSC dapat dilihat dari besarnya energi entalpi endotermis DSC selama proses pendinginan (Liu *et al.*, 2010). Pengamatan tersebut terlihat terjadinya pelepasan energi panas yang menunjukkan adanya ikatan hidrogen antar molekul. Selanjutnya, tingkat retrogradasi dari pengamatan X-ray diffraction dapat dilihat dari tingkat kristalinitas gel. Jika tingkat kristalinitas gel tinggi maka tingkat retrogradasi tinggi (Ji *et al.*, 2010).

Jiamjariyatam *et al.*, (2015) melaporkan bahwa kristalinitas relative, entalpi retrogradasi dan kekerasan gel meningkat dengan peningkatan waktu pendinginan. Akan tetapi, laju pendinginan tidak berefek ke kristalinitas relatif tetapi meningkatkan entalpi retrogradasi dan kekerasan gel. Waktu pendinginan lebih lama menghasilkan kekerasan, *fractuability*, dan bulk density lebih tinggi serta pengembangan dan kadar minyak lebih rendah. Kekerasan, *fractuability*, kerenyahan dan *bulk density* berkorelasi dengan kristalinitas relatif gel pati.

Puffing

Puffing merupakan proses pemanasan kerupuk mentah yang bertujuan untuk menguapkan air secara cepat dan menciptakan tekanan yang mendorong matriks polimer sehingga terjadi pengembangan. Selama proses tersebut, uap air mengalami tiga kondisi. Pertama, uap air mengalami kegagalan membentuk gelembung, jika tekanan uap air tidak mampu mendorong matriks polimer pati. Kedua, tekanan uap air yang sangat besar secara cepat keluar dari matriks polimer sehingga gelembung tidak terbentuk dengan baik. Kedua, tekanan uap air membentuk kestabilan gelembung jika tekanan uap air sama besarnya dengan elastisitas polimer dan selama proses tersebut fase gelas terjadi. Uap air tersebut selanjutnya memecahkan sebagian lapisan polimer dalam fase gelas sehingga uap air dapat keluar (van der Sman dan Broeze 2013).

Saat ini teknik pemanasan yang telah digunakan untuk mengembangkan kerupuk yaitu, pemanasan dengan minyak, pasir, dan gelombang mikro. Teknik pemanasan tersebut memiliki perbedaan pada media dan mekanisme pemanasan. Karena perbedaan tersebut, kerupuk

yang dihasilkan memiliki karakteristik yang berbeda. Teknik pemanasan dengan minyak memiliki mekanisme memindahkan panas dari sumber panas ke bahan melalui media minyak. Dalam hal ini, kerupuk mendapatkan transfer panas dari luar lingkungan dan kemudian panas menguapkan air yang ada dalam kerupuk. Selama proses tersebut, tekanan uap air terbentuk mendorong polimer pati membentuk pori-pori dan uap air keluar dari bahan. Ruang udara atau pori yang terbentuk diisi oleh minyak. Oleh sebab itu, teknik pemanasan ini menghasilkan kerupuk berminyak Saeleaw dan Schleining (2011). Teknik pemanasan yang kedua yaitu penggunaan pasir sebagai media pemanas. Secara prinsip, mekanisme pemanasan yang digunakan sama dengan pemanasan menggunakan minyak. Akan tetapi, produk yang dihasilkan tidak berminyak. Penggunaan metode ini cukup potensial untuk mendapatkan produk yang sehat dan lebih awet (Dewandari *et al.*, 2014; Ilmi *et al.*, 2017). Akan tetapi, penggunaan pasir sebagai media panas menyisakan butiran pasir pada produk kerupuk. Teknik pemanasan selanjutnya yaitu penggunaan gelombang mikro merupakan metode yang baru berkembang. Mekanisme pemanasan menggunakan gelombang mikro berbeda dengan teknik pemanasan yang disebutkan sebelumnya. Teknik ini menciptakan pemanasan yang sumber panasnya langsung dari air yang ada dalam kerupuk. Gelombang mikro menyebabkan air dalam kerupuk mengalami pergerakan yang sangat cepat sehingga menciptakan energi panas dan peningkatan suhu. Peningkatan suhu tersebut menguapkan air dan membentuk tekanan uap air (Wang *et al.*, 2013; Nguyen *et al.*, 2013).

Faktor yang penting diperhatikan dalam pemanasan adalah lama dan suhu proses. Saeleaw dan Schleining, (2011) melaporkan suhu dan lama penggorengan berpengaruh terhadap pengembangan kerupuk, bulk density, kandungan air dan penyerapan minyak. Penelitian ini menggunakan variasi suhu 140, 150, dan 160°C serta variasi waktu selama 5, 10 dan 15 detik. Serapan minyak kerupuk meningkat mengikuti waktu penggorengan, akan tetapi menurun dengan peningkatan suhu penggorengan (Saeleaw dan Schleining, 2011; Moneerote 2009). Saeleaw dan Schleining, (2011) melaporkan bahwa hasil terbaik penggorengan yaitu suhu 160°C selama 10 detik. Beberapa studi mengaplikasikan proses penggorengan dengan kondisi yang berbeda. Huda *et al.*, (2009) menggunakan suhu penggorengan 180-200°C selama 1 menit, sedangkan Tondang *et al.*, (2008) menggunakan kondisi penggorengan pada suhu 190°C selama 30 detik. Hal tersebut kemungkinan karena komposisi bahan dan proses pengolahan yang berbeda. Selanjutnya, penggunaan pasir sebagai media pemanas merupakan material yang cukup mudah dan dapat dipakai berulang menjadi keunggulan dalam hal biaya. Hingga saat ini belum ada data tentang

penggunaan teknik ini untuk pemanasan kerupuk. Kemungkinan memiliki karakteristik berbeda karena sifat fisik media yang berbeda. Pasir memiliki sifat fisik berupa padatan sedangkan minyak memiliki sifat fisik berupa cairan. Oleh sebab itu, banyak kajian yang dapat diteliti terkait penggunaan metode ini. Wang *et al.*, 2013 dan Nguyen *et al.*, 2013 menggunakan metode pemanasan gelombang mikro untuk proses pengembangan kerupuk. Metode ini memungkinkan menghasilkan kerupuk yang memiliki kadar lemak rendah. Selanjutnya, Penggunaan metode ini menyediakan produk yang lebih awet dan lebih sehat. Akan tetapi, pemanasan gelombang mikro menghasilkan temperatur sangat tinggi untuk menghasilkan tekanan yang menyebabkan terjadinya reaksi kimia yang sensitive pada waktu perlakuan yang lama dan memberikan efek yang tidak diinginkan terhadap penampakan produk akhir. Maisont dan Narkrugsa, (2010) melaporkan bahwa penggunaan gelombang mikro dengan jumlah watt 800 watt menghasilkan warna *puffed rice* lebih gelap. Nguyen *et al.*, (2013) menyebutkan bahwa penambahan minyak dapat menghambat laju pemanasan akibat pemanasan gelombang mikro. Hal tersebut baik untuk mencegah terjadi pemanasan dengan suhu yang terlalu tinggi. Studinya menyebutkan kadar air 21,5% basis basah dan penambahan minyak 15% merupakan kondisi optimum pemanasan kerupuk dengan gelombang mikro.

Perlakuan Lainnya

Beberapa penelitian mengkaji pemanasan dan pendinginan berulang selama proses pembuatan kerupuk. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai lebih dari produk tersebut. Pemasakan dan pendinginan berulang diaplikasikan untuk meningkatkan pati resiten kerupuk, sehingga menyediakan kerupuk prebiotik. Nor *et al.*, (2014) melaporkan proses pemasakan dan pendinginan berulang mampu meningkatkan kadar pati resisten kerupuk. Jumlah pati resisten yang terbentuk akibat proses ini ditentukan oleh bahan baku yang digunakan. Pati sagu diketahui menghasilkan pati resisten yang lebih tinggi dibanding pati singkong dan gandum. Meskipun proses pemasakan dan pendinginan berulang mampu meningkatkan pati resisten, tetapi itu menyebabkan pengembangan kerupuk menurun, warna kerupuk menjadi lebih gelap dan kerenyahan berkurang.

KESIMPULAN

Pengaruh komposisi dan proses pengolahan terhadap pengembangan berhubungan dengan perubahan sifat viskoelastis polimer dan pembentukan tekanan uap air dalam matriks polimer. Jenis bahan berpati, proses pemasakan, pendinginan gel pati, sumber protein, garam dan air berpengaruh terhadap sifat viskoelastis polimer.

Selanjutnya, *puffing*, kadar air dan unsur bahan lain seperti soda kue berpengaruh terhadap tekanan uap air yang dihasilkan. Tekanan uap air terhadap matriks polimer dan kemampuan polimer bertahan terhadap tekanan tersebut membentuk kesetimbangan yang menentukan ukuran pori, ketebalan dinding pori dan besarnya volume pengembangan kerupuk. Sensasi kerenyahan kerupuk terjadi akibat adanya kejadian retakan dan bunyi pada matriks gelas saat digigit. Tingkat kerenyahan tinggi pada kerupuk yang memiliki pengembangan tinggi, jumlah pori banyak, dan dinding pori tipis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amon M, Denson CD. (1984). A study of the dynamics of foam growth: analysis of the growth of closely spaced spherical bubbles. *Polymer Engineering and Science* 24 (13):1026–1034.
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. (2006). Kategori Pangan. Surat Keputusan Nomor HK.00.05.52.4040. Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia.
- Chang H, Chen H. (2013). Association between textural profiles and surface electromyographic (sEMG) behaviors of microwavable cassava cuttlefish crackers with various expansion ratios. *Food Research International*. 153:334-341.
- Cheow CS, Yu YS. (1999). Effect of fish protein content, salt, sugar and monosodium glutamate on the gelatinization of starch in fish-starch mixtures. *Journal of Food Processing and Preservation*. 21:161-177.
- Cheow CS, Kyaw ZY, Howell NK, dan Dzulkifly MH. (2004). Relationship between physicochemical properties of starches and expansion of fish cracker 'keropok'. *Journal of Food Quality*. 27(1):1–12.
- Dewardari D, Basito, dan Anam C. (2014). Kajian penggunaan tepung ubi jalar ungu (*ipomoea batatas l.*) terhadap karakteristik sensoris dan fisikokimia pada pembuatan kerupuk. *Jurnal Teknosains Pangan* 3(1): 35-52
- Dogan H, Kokkini JL. (2007). Psychophysical markers for crispness and influence of phase behavior and structure. *Jurnal of Texture Studies*. 38:324-354.
- Farahnaky A, Farhat IA, Mitchell JR, dan Hill SE. (2009). The effect of sodium chloride on the glass transition of potato and cassava starches at low moisture contents. *Food Hydrocolloids* 23(6): 1483–1487.
- Huda N, Bonil, dan Noryati I. (2009). The effect of different ratios of dory fish to tapioca flour on the linear expansion, oil absorption, colour and hardness of fishcrackers. *International Food Research Journal*. 16:159-165.

- Ikasari D, Suryaningrum TD, Arti IM, dan Supriyadi. (2017). Pendugaan umur simpan kerupuk ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) panggang dalam kemasan plastik metalik dan polipropilen. *JPB Kelautan dan Perikanan* 12 (1): 55-70.
- Ji Y, Zhu K, Zhou H, dan Qian H. (2010). Study of the retrogradation behaviour of rice cake using rapid visco analyser, Fourier transform infrared spectroscopy and X-ray analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 871–876.
- Jiamjariyatam R, Kongpensook V, dan Pradipasena P. (2015). Effect of amylase content, cooling rate and aging time on properties and characteristic of rice starch gel and puffed products. *Journal of Cereal Science*. 61: 16-25.
- Jumiati J, Ratnasari D, dan Sudianto A. (2017). Pengaruh penggunaan ekstrak kunyit (*Curcuma domestica*) terhadap mutu kerupuk cumi (*Ioligo sp.*). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* 11(1):55-61
- Ilmi IMB, Arini FA, Sofianita NI, dan Firgicinia F. (2017). Kerupuk pasir ikan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) sebagai camilan sehat pencegah hiperkolesterol. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 6(3):105-108
- Kaewmanee T, Karrila TT, dan Benjagul S. (2015). Effect of fish species on the characteristic of fish cracker. *International Food Research Journal*. 22(5):2078-2087.
- Katz, E. E. Labuza. (1981). Effect of Water Activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food product. *Journal Food Science*. 46 (2): 403-409
- Kraus S, Enke N, Gaukel V, dan Schuchmann HP. (2014). Influence of degree of gelatinization on expansion of extruded, starch-based pellets during microwave vacuum processing. *Journal of Food Process Engineering*. 37: 220-228.
- Kyaw ZY, Cheow CS, dan Yu SY, Dzulkifly, M.H. (2001). The effect of pressure cooking on the microstructure and expansion of fish cracker (keropok). *Journal of Food Quality*. 24: 181-194.
- Liu H, Yu L, Tong Z, dan Chen L. (2010). Retrogradation of waxy cornstarch studied by DSC. *Starch/Stärke* 62: 524–529.
- Maisont S, Narkruga W. (2010). Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 44 (2): 251-261.
- Maneerote J, Noomhorm A, and Takhar PS. (2009). Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physico-chemical properties of deep fried rice crackers. *LWT - Food Science and Technology*. 42 : 805–812
- Mosquera LH, Moraga G, de Cordoba PF, dan Martinez-Navarrete N. (2011). Water content-water activity-glass transition temperature relationship of spray-dried borojo as related to change in color and mechanical properties. *Food Biophys* 6: 397-406. DOI: 10.1007/s11483-011-9215-2.
- Nguyen TT, Le TQ, dan Songsermpong S. (2013). Shrimp cassava cracker puffed by microwave technique: effect of moisture and oil content on some physical characteristics. *Kasetsart Journal Natural Science*. 47 : 434 – 446
- Nguyen TT, Le TQ, Songsermpong S, Le TT, dan Truong KTP. (2014). Effects of baking power concentrations on the texture and sensory evaluation of shrimp cassava cracker-contained oil puffed by microwave technique. *The 16th Food Innovation Asia Conference 2014, 12 -13 June 2014, BITEC Bangna, Bangkok, Thailand*.
- Noorakmar AW, Cheow CS, Norizzah, AR, Mohd-Zahid A, dan Ruzaina, I. (2012). Effect of orange sweet potato (*Ipomoea batatas*) flour on the physical properties of fried extruded fish crackers. *International Food Research Journal*. 19:657-664.
- Nor MZM, Talib RA, Noranizan MA, Chin N. L, dan Hashim K.. (2014). Increasing Resistant Starch Content in Fish Crackers Through Repetitive Cooking-Chilling Cycles. *International Journal of Food Properties*. 17:966–977
- Noranizan, M.A, Dzulkifly, M. H. dan Russly, A. R. (2010). Effect of heat treatment on the physico-chemical properties of starch from different botanical sources. *International Food Research Journal*. 17: 127-135
- Obasi NE, Chukwuma CS. (2015). Quality evaluation of cassava crackers made from yellow root cassava (*Manihot esculenta*). *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*. 9(5- 1): 93-101
- Perdomo J, Cova A, Sandoval AJ, García L, Laredo E, Müller AJ. (2009). Glass transition temperatures and water sorption isotherms of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*. 76 : 305–313
- Pakpahan N, Kusnandar F, dan Syamsir E. (2017). Perilaku Isoterm sorpsi air dan perubahan fisik kerupuk tapioka pada suhu penyimpanan yang berbeda. *J. Teknol dan Industri Pangan* 28(2): 91-101. DOI: 10.606/jtip.2017.28.2.91
- Primo-Martin C, Castro-Prada EM, Meinders MJB, Vereijken PFG, van Vliet. (2008). Effect of structure of the crispness of toasted rusk roll. *Food Res Int* 41: 480-486. DOI: 10.1016/j.foodres.2008.02.004.
- Saeleaw M, Schleining G. (2010). Effect of blending cassava starch, rice, waxy rice and wheat flour on physico-chemical properties of flour mixtures and mechanical and sound emission

- properties of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*. 100(1): 12-24.
- Saeleaw M, Schleining G. (2011). Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. *Journal of Food Engineering*. 103: 229–236.
- Salvador A, Varela P, Sanz T, dan Fiszman SM. (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT – Food Science and Technology* 42 (3): 763–767
- Soekarto ST, Adawiyah DR. (2012). Keterkaitan berbagai konsep interaksi air dalam produk pangan. Ulasan ilmiah. *J Teknol Industri Pangan* 23: 107-116
- Sun D, Yoo B. (2015). Effect tapioca starch addition on rheological, thermal and gelling properties of rice starch. *LWT-Food Science and Technology*, 64 : 205-211.
- Taewee TK. (2011). Cracker “keropok”: A review on factors influencing expansion. *Int Food Res J* 18: 855-866
- Tongdang T, Meenun M, dan Chainui J. (2008). Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava cracker (Keropok). *Starch/Stärke*, 60(10):568-576.
- Taniwaki M, Kohyama K. (2012). Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer. *J of Food Engineering*. 112(4): 268-273.
- van der Sman RGM, Meinders MBJ. (2011). Prediction of the state diagram of starch water mixtures using the Flory-Huggins Free Volume theory. *Soft Matter* 7 (2), 429–442
- van der Sman RGM, Broeze J. (2013). Structuring of indirectly expanded snacks based on potato ingredients: review. *Journal Of Food Engineering* 114: 413-425.
- van der Sman RGM, Broeze J. (2014). Effects of salt on the expansion of starchy snacks: a multiscale analysis. *Food and Function Paper*. 5(12):3076-82
- Vickers ZM, Wasserman SS. (1979). Sensory qualities of food sounds based on individual perceptions. *Journal of Texture Studies* 10: 319–332.
- Wang Y, Zhang M, dan Mujumdar AS. (2012). Influence of green banana flour substitution for cassava starch on the nutrition, color, texture and sensory quality in two types of snacks. *LWT-Food Science and Technology*, 47(1):175-182. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.12.011.
- Wang Y, Zhang M, dan Mujumdar AS. (2013). Effect of cassava starch gel, fish gel and mixed gels and thermal treatment on structure development and various quality parameters in microwave vacuum-dried gel slices. *Food Hydrocolloids*, 3: 26-37.