

MIKROENKAPSULASI *d*-LIMONEN UNTUK PERISAAN PRODUK EKSTRUSI

Sri Yuliani^a, Peter J. Torley^b dan Bhesh Bhandari^b

^aBalai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian Bogor

^bFood Sciences and Technology, The University of Queensland, Australia

ABSTRACT

The objectives of this research are to determine the effect of microencapsulation on d-limonene retention in starch extrudates and the effect of incorporating encapsulated d-limonene on extruder operation and extrudate properties. Two set of extrusion experiments were carried out in a twin screw extruder (16 mm diameter screw; 40:1 L/D ratio) using corn starch as a food matrix. In one set of experiments, d-limonene was encapsulated in β -cyclodextrin. In the other experiments, d-limonene was encapsulated with sodium caseinate. Using a Central Composite Design, three variables were studied: level of encapsulated d-limonene in the feed material, extruder screw speeds and barrel temperatures. Another set of experiment with unencapsulated d-limonene was also performed. Measured parameters included extruder operation parameters (torque and die melt pressure), extrudate properties (expansion ratio and hardness) and d-limonene retention. All variables contributed significantly to the d-limonene retention and extrudate properties. β -Cyclodextrin capsules gave higher d-limonene retention (average of 92.2%) than the sodium caseinate capsules (67.5%). A higher expansion ratio was observed from the extrudates containing sodium caseinate capsules than those with β -cyclodextrin (average of 1.87 and 1.38, respectively). Extrudates containing β -cyclodextrin capsules had a lower hardness (average of 1.14 N/mm²) than those with sodium caseinate capsules (average 2.34 N/mm²). Without encapsulation, retention of d-limonene was the lowest (average of 8.0%), extrudate hardness was the highest (average of 3.38 N/mm²) but expansion ratio was the highest (average of 2.1).

Keywords : *flavour, microencapsulation, extrusion, d-limonene, β -cyclodextrin, sodium caseinate, expansion, texture*

PENDAHULUAN

Penambahan bahan perisa (*flavour*) masih merupakan masalah dalam industri makanan ringan produk ekstrusi (*extruded snack food*). Hal ini disebabkan oleh ketidakstabilan sebagian besar perisa, terutama pada pengolahan yang melibatkan suhu, geseran (*shearing*) dan tekanan tinggi seperti ekstrusi. Perisa yang ditambahkan sebelum proses ekstrusi dapat mengalami kehilangan hingga 90% karena penguapan (*flash distillation*) pada lubang cetakan ekstruder (*die*) (Maga, 1989; Nair *et al.*, 1994; Riha and Ho, 1996; Camire, 2000). Selain itu, bahan perisa yang ditambahkan sebelum proses juga dapat terdegradasi akibat panas atau bereaksi dengan bahan lain selama ekstrusi sehingga mengurangi intensitas perisaannya. Untuk menghindari permasalahan tersebut, bahan perisa ditambahkan pada produk setelah proses ekstrusi. Pada teknik ini, bahan perisa ditambahkan pada permukaan produk yang telah disemprot dengan minyak atau lemak sebagai perekat. Dengan cara ini kehilangan bahan perisa akibat penguapan dan kerusakan selama ekstrusi dapat dihindari. Namun demikian, adanya penambahan minyak dan lemak sebagai perekat mengakibatkan peningkatan kandungan lemak dan bobot produk (Maga, 1989). Perisa yang ditambah-

kan dengan cara ini juga tidak terdistribusi secara merata pada permukaan produk. Selain itu, perisa dapat teroksidasi karena ditambahkan pada permukaan produk. Permasalahan-permasalahan tersebut mendorong upaya pencarian alternatif perisaan produk ekstrusi.

Mikroenkapsulasi merupakan teknologi yang menawarkan solusi bagi permasalahan perisaan produk ekstrusi. Mikroenkapsulasi didefinisikan sebagai teknologi pembungkusan suatu bahan dalam bahan lainnya dalam ukuran yang sangat kecil (0.2-500 μ m) (Sparks, 1981; King, 1995). Dengan mikroenkapsulasi, perisa dapat terlindung dari pengaruh lingkungan yang tidak diinginkan seperti suhu, geseran dan tekanan yang tinggi selama ekstrusi. Keuntungan lain yang merupakan keunggulan mikroenkapsulasi adalah bahan aktif yang dikapsulkan (*active ingredient, core* atau *payload*) dapat dikeluarkan dari dalam kapsul secara terkendali (*controlled release*) dalam kondisi dan laju tertentu sesuai dengan keinginan.

Tantangan aplikasi teknologi mikroenkapsulasi terletak pada pemilihan bahan pengkapsul dan teknik mikroenkapsulasi yang tepat sehingga kapsul dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Untuk aplikasi ekstrusi, bahan pengkapsul harus bersifat tahan panas dan tidak larut dalam air sehingga kapsul

dapat berfungsi sebagai pelindung perisa selama ekstrusi berlangsung. β -Cyclodextrin (β -CD) merupakan salah satu bahan pengkapsul yang memenuhi kriteria tersebut. Senyawa ini tersusun dari tujuh unit glukopiranososa yang terangkai dalam bentuk cincin. Molekulnya berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dalam 0.58 nm dan diameter luar 0.78 nm. Bagian dalam molekulnya bersifat hidrofobik dan bagian luarnya bersifat hidrofilik. Perisa yang pada umumnya bersifat hidrofobik, melalui teknik enkapsulasi inklusi molekuler, akan terinklusi di dalam molekul β -CD. Senyawa ini dilaporkan dapat bertahan pada pemanasan hingga 200°C tanpa menyebabkan lepasnya bahan aktif yang terinklusi di dalamnya (Lindner et al., 1981; Pagington, 1986; Reineccius and Risch, 1986; Szente and Szejtli, 1986). Namun demikian, penggunaan β -CD untuk produk pangan masih bersifat terbatas karena adanya isu toksisitas senyawa ini, walaupun Jepang dan negara-negara di Eropa telah mengizinkan pemakaian β -CD untuk produk pangan (Qi and Hedges, 1995). Amerika Serikat, melalui FDA, baru mengizinkan pemakaian senyawa ini dalam jumlah yang terbatas (2%) (Szente and Szejtli, 2004). Isu tersebut merupakan tantangan bagi ditemukannya bahan pengkapsul lain yang aman digunakan dalam produk pangan.

Natrium kaseinat (Na-Kas), senyawaan protein susu, merupakan bahan pengkapsul yang potensial sebagai alternatif penggunaan β -CD. Senyawa ini dilaporkan mempunyai stabilitas panas yang cukup baik (~140°C), bersifat tidak larut dalam air dan aman untuk digunakan sebagai produk pangan (Varnam and Sutherland, 1994; Singh, 1995). Penggunaan senyawa ini sebagai pengkapsul bahan perisa, melalui teknik pengendapan protein sedang dikembangkan oleh para peneliti di Jurusan Teknologi Pangan, The University of Queensland, Australia (Tan, 1997; Begum et al., 2005).

Keberadaan kapsul dalam campuran bahan umpan dapat mempengaruhi reologi lelehan pati di dalam ekstruder, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kinerja ekstruder dan karakteristik produk. Gugus-gugus hidrofilik protein, salah satu bahan pengkapsul, seperti -OH, -NH₂, -COOH dan -SH dapat berinteraksi dengan amilopektin membentuk jaringan massa yang kontinyu (Goel et al., 1999; Fernandez-Gutierrez et al., 2004). Adanya sejumlah *d*-limonen yang terlepas dari dalam kapsul selama ekstrusi berlangsung juga dapat berinteraksi dengan pati melalui reaksi inklusi kompleksasi (Osman-Ismail and Solms, 1973; Solms et al., 1973; Godshall and Solms, 1992; Conde-Petit and Escher, 1995; Nuessli et al., 1997; Escher et al., 2000). Interaksi-interaksi tersebut dapat berkontribusi pada perubahan reologi lelehan bahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh mikroenkapsulasi pada retensi *d*-limonen dalam produk ekstrusi dan pengaruh penambahan *d*-limonen terenkapsulasi pada perubahan kinerja ekstruder dan karakteristik produk ekstrusi pati. Dua teknik mikroenkapsulasi akan dicobakan dan dianalisis pengaruhnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi permasalahan perisaan produk-produk ekstrusi.

BAHAN DAN METODA

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan berupa pati jagung sebagai bahan dasar produk ekstrusi, β -CD dan Na-Kas sebagai bahan pengkapsul, *d*-limonen sebagai model perisa, pelarut diklorometan untuk ekstraksi *d*-limonen dari produk, serta bahan-bahan pembantu lain dan bahan untuk analisis.

Ekstruder yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstruder ulir ganda (*twin screw extruder*) Prism KX 16 dengan diameter ulir 16 mm dan nisbah panjang:diameter (*L/D ratio*) 40:1. Peralatan mikroenkapsulasi berupa pengaduk berlengan Z (*Z-arm mixer*), *planetary mixer*, emulsifikator *Silverson*, pengering semprot (*spray dryer*), pengering unggun terfluidakan (*fluidised bed dryer*) dan beberapa alat gelas. Alat-alat yang digunakan untuk analisis berupa jangka sorong digital, *texture analyzer TA-XT2*, *Simultaneous Distillation-extraction Apparatus*, jaket pemanas, *GC-MS* dan alat-alat bantu lain.

Metoda

Mikroenkapsulasi

Teknik Inklusi Molekuler dengan β -CD

Metoda yang digunakan diadopsi dari Bhandari et al. (1999). 1000 g β -CD dicampur dengan 700 g akuades hingga terbentuk pasta, lalu ditambahkan 120.8 g *d*-limonen hingga tercampur merata. Pasta campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam pengaduk berlengan Z dan diuli (*kneaded*) selama 30 menit pada kecepatan pengadukan minimum. Adonan yang dihasilkan berupa pasta semipadat yang kemudian diencerkan dengan 9000 g akuades untuk membentuk suspensi dengan kadar padatan ~18%. Selanjutnya suspensi dikeringkan dengan pengering semprot pada suhu *inlet* 160°C dan *outlet* 60°C.

Teknik Pengendapan Protein dengan Na-Kas

Metoda yang dikembangkan diadopsi dari Begum *et al.* (2005). 2000 g Na-Kas dicampur dengan 1800 ml akuades bersuhu sekitar 60°C menggunakan emulsifikator *Silverson* pada kecepatan pengadukan 8500 rpm. Setelah campuran didinginkan, 30 g *d*-limonen diemulsifikasikan ke dalamnya. Emulsifikasi dihentikan ketika butiran *d*-limonen mencapai ukuran sekitar 2 µm (diperiksa dengan mikroskop). Emulsi yang terbentuk kemudian dipindahkan ke dalam pengaduk planetary KitchenAid, dan larutan asam sitrat 5% ditambahkan ke dalamnya tetes demi tetes hingga terjadi pengendapan (pH sekitar 4.3-4.6). Endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades hingga pH kembali netral. Endapan selanjutnya dihamparkan di atas kertas serap selama 30 menit untuk mengurangi kandungan airnya sebelum dilakukan pengeringan. Pengeringan dilakukan menggunakan pengering unggun terfluidakan pada laju alir udara terendah (0.446 m³/detik) dan suhu 35°C selama 2 jam. Endapan kering selanjutnya digiling hingga terbentuk bubuk (lolos saringan 500 µm) menggunakan hammer mill dan kembali dikeringkan pada kondisi pengeringan yang sama selama 15 menit.

Ekstrusi

Persiapan Bahan Umpan

Pati jagung dicampur dengan kapsul β-CD (0, 1.01, 2.5, 3.99 dan 5%) atau kapsul Na-Kas (0, 1.01, 2.5, 3.99, 5%) atau *d*-limonen tak terenkapsulasi (0, 0.07, 0.25, 0.43 dan 0.5%) menggunakan pengaduk *Hobart planetary mixer* pada kecepatan pengadukan terendah (putaran dalam 82 rpm dan putaran luar 36 rpm).

Percobaan Ekstrusi

Campuran bahan diumpangkan ke dalam ekstruder dengan laju 15-16 g/menit, lalu diekstrusi pada lima taraf suhu ekstruder 133, 140, 150, 160 dan 167°C untuk percobaan dengan kapsul β-CD; 125, 129, 135, 141 and 145°C untuk percobaan dengan kapsul Na-Kas; dan 125, 128, 135, 142, 145°C untuk percobaan dengan *d*-limonen tak terenkapsulasi. Ekstrusi dilakukan pada lima taraf kecepatan putar ulir (158, 175, 200, 225 dan 242 rpm untuk β-CD; 145, 151, 160, 169 dan 175 rpm untuk Na-Kas; dan pada satu kecepatan ulir (160 rpm) untuk percobaan dengan *d*-limonen tak terenkapsulasi. Akuades diinjeksikan ke dalam ekstruder melalui sebuah lubang yang terletak pada jarak 150 mm dari lubang umpan pada laju 5 g/menit. Torsi motor, kecepatan ulir, laju umpan, suhu ekstruder

dan tekanan lelehan dipantau dengan program *software Prismdde*.

Pengambilan sampel dilakukan pada kondisi tunak, yaitu pada saat tekanan dan torsi ekstruder tidak berfluktuasi dengan waktu. Sampel untuk ekstraksi *d*-limonen dikemas dalam kantong plastik lalu disimpan di dalam lemari pendingin (-20°C), sedangkan sampel untuk analisis nisbah ekspansi dan kekerasan dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 60°C selama 24 jam, lalu disimpan pada suhu ruang.

Analisis Produk

Ekstraksi dan Analisis *d*-Limonen

d-Limonen diekstrak dari produk ekstrusi dengan metoda ekstraksi-distilasi simultan (*simultaneous distillation-extraction [SDE]*) yang dimodifikasi dari Likens dan Nickerson (1964). Produk ekstrusi (70 g) didistilasi dengan akuades (700 ml), dan secara simultan uap distilasi diekstrak dengan uap diklorometan (100 ml) selama 3 jam dalam serangkaian peralatan SDE. Ekstrak yang diperoleh selanjutnya dipekatkan dengan evaporatur vakum, lalu pelarut yang tersisa diuapkan di bawah aliran gas nitrogen. Ekstrak yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan GC/MS. Untuk setiap perlakuan dilakukan ekstraksi sebanyak lima kali.

Nisbah Ekspansi Produk

Ekspansi radial ditetapkan dengan mengukur diameter produk menggunakan jangka sorong digital. Nisbah ekspansi dihitung sebagai diameter produk dibagi dengan diameter lubang cetakan ekstruder (2 mm). Pengukuran dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap perlakuan.

Kekerasan Produk

Tekstur produk dinyatakan dengan kekerasan bahan yang diukur dengan uji lengkung tiga titik (*three-point bend test*) menggunakan *texture analyser* (TA-XT2). Sampel sepanjang 50 mm diletakkan di atas penyangga sampel lalu dipecahkan dengan sebilah pisau tumpul yang digerakkan secara otomatis dengan kecepatan awal 5.0 mm/detik. Kekerasan produk dihitung dengan cara membagi gaya maksimum yang diperlukan untuk memecahkan sampel dengan luas penampang lintang sampel (N/mm²). Pengukuran dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap perlakuan.

Rancangan Percobaan

Percobaan ini terdiri atas tiga peubah proses (suhu ekstrusi, kecepatan putar ulir dan persentasi

penambahan kapsul) dengan 5 taraf pada masing-masing peubahnya. Rancangan percobaan yang digunakan berupa *central composite design* (Gardiner and Gettinby, 1998). Dengan rancangan ini, unit percobaan berjumlah 20 buah, 6 diantaranya merupakan ulangan pada titik tengah percobaan. Respon peubah yang diukur berupa kinerja ekstruder (tekanan dan torsi), retensi *d*-limonen serta karakteristik fisik produk (nisbah ekspansi dan kekerasan). Untuk memudahkan pembahasan, hasil disajikan dalam bentuk kurva fungsi penambahan kapsul yang diprediksi pada titik tengah ketiga percobaan, yaitu pada suhu 139°C dan kecepatan putar ulir ekstruder 167 rpm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

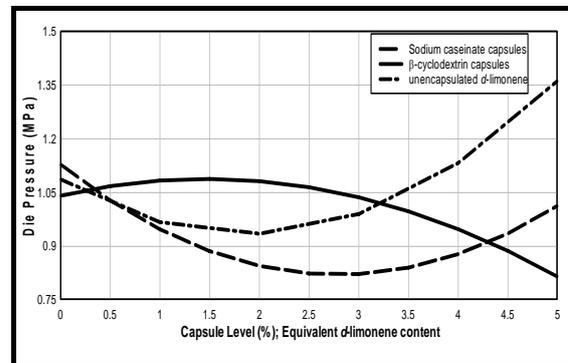
Kinerja Ekstruder

Respon ekstruder (torsi motor dan tekanan ekstruder) terhadap perubahan kondisi operasi merupakan parameter penting yang dapat menunjukkan sifat-sifat lelehan bahan di dalam ekstruder, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi karakteristik produk.

Kapsul β -CD memberikan trend maksima pada tekanan ekstruder, sedangkan kapsul Na-Kas menunjukkan trend minima (Gambar 1). Peningkatan penambahan kapsul β -CD dari 0 hingga 1.5% meningkatkan tekanan, sedangkan peningkatan lebih lanjut menurunkan tekanan. Sebaliknya, pada penambahan kapsul Na-Kas, peningkatan penambahan kapsul dari 0 sampai 2.5% menurunkan tekanan, sedangkan penambahan kapsul hingga 5% meningkatkan tekanan. Perbedaan kinerja ekstruder tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan karakteristik bahan pengkapsul, yang menyebabkan perbedaan reologi lelehan bahan di dalam ekstruder. Keberadaan β -CD, suatu senyawa yang relatif stabil pada suhu tinggi, berkontribusi pada peningkatan tekanan ekstruder pada penambahan kapsul dari 0-1.5%. Penurunan tekanan pada penambahan lebih lanjut kapsul β -CD diduga akibat adanya efek pelumasan oleh *d*-limonene yang terlepas dari dalam kapsul. Penurunan tekanan pada peningkatan penambahan kapsul Na-Kas dari 0 sampai 2.5% dapat disebabkan oleh efek pelumasan oleh *d*-limonen yang terlepas dari dalam kapsul, sedangkan peningkatan tekanan pada penambahan kapsul lebih lanjut dapat disebabkan oleh interaksi antara protein yang berasal dari kapsul dengan amilopektin dari pati yang membentuk jaringan massa yang kontinyu (Goel et al., 1999; Fernandez-Gutierrez et al., 2004). Hal serupa juga ditemukan pada torsi motor ekstruder (gambar tidak ditampilkan).

Tanpa enkapsulasi, *d*-limonen memberikan trend tekanan yang menyerupai kapsul Na-Kas.

Efek pelumasan yang diduga terjadi pada penambahan *d*-limonen dari 0 hingga 2.5% berkontribusi pada penurunan tekanan, sedangkan efek interaksi antara *d*-limonen dan amilopektin, yang diduga terjadi pada penambahan *d*-limonen dari 2.5 hingga 5%, memberikan kontribusi pada peningkatan tekanan.

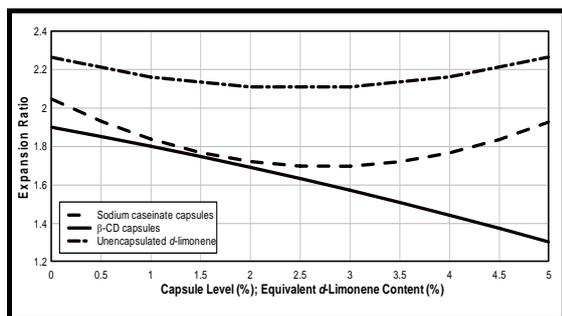


Gambar 1. Tekanan ekstruder yang diprediksi pada suhu ekstrusi 139°C dan kecepatan putar ulir 167 rpm.

Nisbah Ekspansi dan Kekerasan Produk

Keberadaan kapsul mengurangi nisbah ekspansi produk (Gambar 2). Pada penambahan *d*-limonen tak terenkapsulasi, produk mempunyai nisbah ekspansi tertinggi (rata-rata 2.1). Penambahan kapsul Na-Kas atau β -CD memberikan nisbah ekspansi yang lebih rendah (rata-rata masing-masing 1.87 dan 1.38). Nisbah ekspansi produk menurun secara kontinyu dengan peningkatan penambahan kapsul β -CD. Penambahan kapsul Na-Kas dari 0 hingga 5% memberikan trend minima pada nisbah ekspansi produk. Produk dengan penambahan *d*-limonen tak terenkapsulasi mempunyai nisbah ekspansi tertinggi dan menyerupai trend yang dimiliki oleh produk dengan kapsul Na-Kas.

Efek pelumasan oleh *d*-limonen diduga berkontribusi pada penurunan nisbah ekspansi. Efek pelumasan, yang dapat menurunkan viskositas lelehan, cenderung menurunkan nisbah ekspansi produk. Rendahnya viskositas lelehan bahan, walaupun mempermudah pertumbuhan gelembung untuk ekspansi, dapat menurunkan ekspansi akhir produk. Pada viskositas lelehan bahan yang rendah, dinding gelembung yang terbentuk terlalu tipis untuk menahan tekanan uap air di dalamnya (Kokini et al., 1992; Campanella et al., 2002; Vergnes et al., 2003). Akibatnya, dinding gelembung dapat terpecah dan menurunkan nisbah ekspansi produk. Sebaliknya, pada lelehan bahan dengan viskositas yang lebih tinggi, walaupun sulit bagi pertumbuhan gelembung, dinding gelembungnya cukup tebal untuk dapat menahan tekanan uap air di dalamnya sehingga meningkatkan nisbah ekspansi produk.

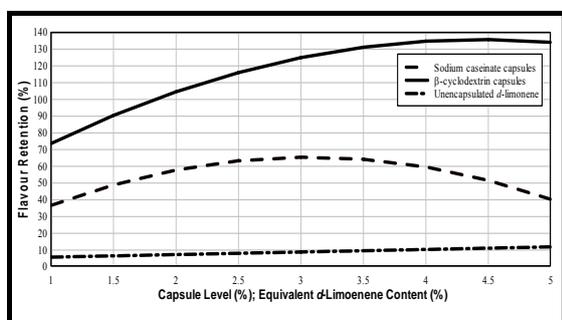


Gambar 2. Nisbah ekspansi produk yang diprediksi pada suhu ekstrusi 139°C dan kecepatan putar ulir 167 rpm.

Kapsul β -CD dan Na-Kas menunjukkan trend kekerasan produk yang sama (Gambar tidak ditampilkan). Penambahan kapsul cenderung menurunkan kekerasan produk, dengan penurunan kekerasan terbesar oleh β -CD (rata-rata kekerasan produk berturut-turut 3.4, 2.3 dan 1.1 N/mm² untuk produk dengan penambahan *d*-limonen tak terenkapsulasi, kapsul Na-Kas dan β -CD). Hal ini menunjukkan, bahwa keberadaan kapsul dapat menurunkan kekerasan produk. Dengan kata lain, penambahan kapsul dapat memperbaiki tekstur produk makanan ringan.

Retensi *d*-Limonen

Kapsul β -CD memberikan retensi *d*-limonen lebih tinggi daripada kapsul Na-Kas (masing-masing rata-rata 92.2% dan 67.5%), sedangkan *d*-limonen yang tak terenkapsulasi mempunyai retensi yang jauh lebih rendah (8.0%). Kapsul β -CD dan Na-Kas memiliki trend retensi *d*-limonen yang serupa. Kapsul Na-Kas memberikan retensi flavor maksimum pada taraf penambahan 3%, sedangkan kapsul β -CD cenderung mencapai retensi maksimum pada taraf penambahan sekitar 4.5%. Tanpa enkapsulasi, peningkatan penambahan *d*-limonen cenderung meningkatkan retensinya. Trend retensi *d*-limonen disajikan pada Gambar 3.

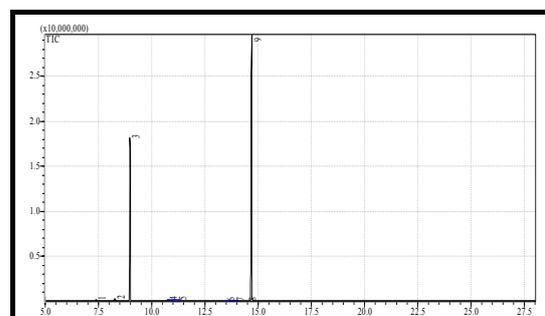


Gambar 3. Retensi *d*-limonen yang diprediksi pada suhu ekstrusi 139°C dan kecepatan putar ulir 167 rpm.

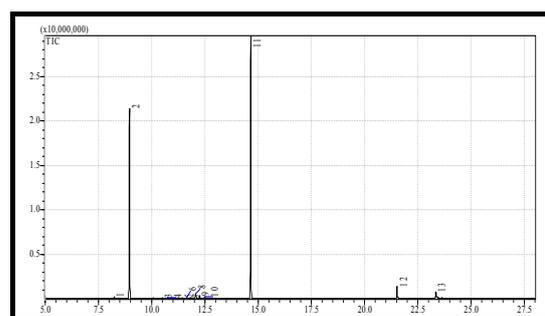
Tingginya retensi *d*-limonen pada penambahan kapsul β -CD sudah diduga sebelumnya β -CD mempunyai kestabilan panas yang sangat baik. Na-Kas, melalui teknik pengendapan protein, memberikan retensi *d*-limonen yang sedang. Hal ini menunjukkan, bahwa teknik mikroenkapsulasi pengendapan protein merupakan alternatif pengganti enkapsulasi inklusi molekuler dengan β -CD yang potensial untuk dikembangkan.

Profil *d*-Limonen

Profil *d*-limonen segar yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 4. Dua buah puncak yang dominan dalam kromatogram adalah *d*-limonen (puncak no. 3) dan standar internal tetradekana (puncak no. 9). Dengan mengabaikan luas area internal standar, tampak bahwa puncak *d*-limonen memiliki luas area 96.2% dari luas area total.



Gambar 4. Kromatogram *d*-limonen segar

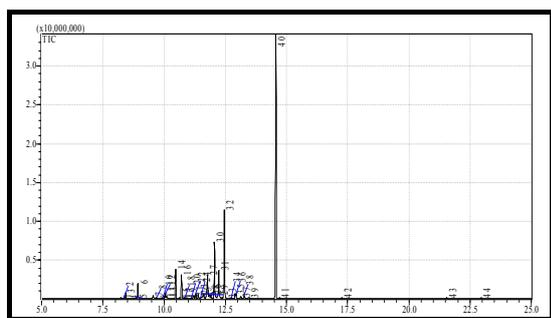


Gambar 5. Kromatogram *d*-limonen yang diekstrak dari produk dengan penambahan 5% kapsul Na-Kas

Proses ekstrusi tampaknya mengubah profil *d*-limonen yang ditambahkan. Pada kromatogram *d*-limonen yang diekstrak dari produk ekstrusi, baik dengan penambahan kapsul β -CD maupun Na-Kas, tampak adanya senyawa-senyawa lain yang tidak terdapat pada kromatogram *d*-limonen segar (Gambar 5). Senyawa-senyawa yang dapat teriden-

tifikasi adalah karveol dan karvon (puncak 9 dan 10), yang dikenal sebagai produk kerusakan oksidatif panas *d*-limonen (McGraw et al., 1999; Matura et al., 2002). Walaupun dalam jumlah yang kecil (sekitar 1%), hal ini menunjukkan, bahwa *d*-limonen yang terlepas dari dalam kapsul akan mengalami kerusakan selama ekstrusi berlangsung.

Hasil menarik diperoleh dari ekstrusi dengan *d*-limonen tak terenkapsulasi (Gambar 6). Kromatogram menunjukkan, bahwa senyawa karveol dan karvon (puncak 30 dan 32) terdapat dalam jumlah yang lebih banyak (berturut-turut 16.9 dan 24.2%) daripada *d*-limonen yang hanya 3.8%. Selain itu ditemukan pula beberapa puncak lain yang belum dapat diidentifikasi dan diduga berupa beberapa alkohol dan keton, yang juga merupakan senyawa hasil degradasi *d*-limonen. Hasil ini menunjukkan, bahwa tanpa mikroenkapsulasi, *d*-limonen yang ditambahkan sebelum proses ekstrusi selain akan mengalami kehilangan dalam jumlah yang besar, juga akan mengalami kerusakan panas.



Gambar 6. Kromatogram *d*-limonen yang diekstraksi dari produk dengan penambahan *d*-limonen tak terenkapsulasi

KESIMPULAN

Mikroenkapsulasi dapat memperbaiki retensi *d*-limonen dalam produk ekstrusi dan melindunginya dari kerusakan oksidatif panas selama proses ekstrusi. Keberadaan kapsul dalam campuran bahan dapat merubah karakteristik produk yang dapat memberikan keuntungan dan kerugian. Kedua jenis kapsul (β -CD dan Na-Kas) memberikan pengaruh yang berbeda pada karakteristik produk, yang berhubungan dengan sifat-sifat bahan pengkapsul.

Kapsul β -CD memberikan retensi *d*-limonen yang lebih tinggi (92.2%) serta ekspansi dan tingkat kekerasan produk yang lebih rendah dari pada kapsul Na-Kas. Penambahan kapsul β -CD dalam taraf yang tinggi memberikan retensi *d*-limonen yang tinggi serta kekerasan produk yang rendah, yang merupakan dua hal yang dikehendaki dalam produksi makanan ringan. Namun demikian,

peningkatan taraf penambahan kapsul β -CD juga diikuti oleh penurunan nisbah ekspansi produk, yang merupakan hal yang tidak dikehendaki.

Kapsul Na-Kas, dengan retensi *d*-limonen yang sedang (67.5%), dapat menjadi alternatif pengganti kapsul β -CD. Penambahan kapsul Na-Kas dalam taraf menengah memberikan retensi *d*-limonen maksimum dan tingkat kekerasan produk terendah, yang merupakan dua hal yang dikehendaki. Akan tetapi, penambahan kapsul Na-Kas dalam taraf menengah juga akan menyebabkan turunnya nisbah ekspansi produk, yang merupakan hal yang tidak dikehendaki. Untuk mendapatkan produk ekstrusi dengan retensi *d*-limonen yang tinggi dengan karakteristik produk yang dikehendaki, diperlukan penelitian optimasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Begum, S., B. D'Arcy and B. Bhandari (2005). "Microencapsulation of lemon oil by precipitation method to produce water insoluble capsules." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (submitted).
- Bhandari, B. R., B. R. D'Arcy and I. Padukka (1999). "Encapsulation of lemon oil by paste method using B-cyclodextrin: Encapsulation efficiency and profile of oil volatiles." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **47**: 5194-5197.
- Camire, M. E. (2000). Chemical and nutritional changes in food during extrusion. *Extruders in Food Application*. M. N. Riaz. Pennsylvania, Technomic Publishing Co., Inc.: 127-148.
- Campanella, O. H., P. X. Li, K. A. Ross and M. R. Okos (2002). The role of rheology in extrusion. *Engineering and Food for The 21st Century*. J. Welti-Chanes, G. V. Barbosa-Canovas and J. M. Aguilera. Florida, CRC Press: 393-413.
- Conde-Petit, B. and F. Escher (1995). "Complexation induced changes of rheological properties of starch systems at different moisture levels." *Journal of Rheology* **39**(6): 1497-1518.
- Escher, F., J. Nuessli and B. Conde-Petit (2000). Interactions of flavor compounds with starch in food processing. *Flavour Release*. D. D. Roberts and A. J. Taylor. Washington, DC., ACS Symposium Series 763: 231-245.
- Fernandez-Gutierrez, J. A., E. S. Martin-Martinez, F. Martinez-Bustos and A. Cruz-Orea (2004). "Physicochemical properties of casein-starch interaction obtained by extrusion process." *Starch/Starke* **56**: 190-198.

- Gardiner, W. P. and G. Gettinby (1998). Experimental Design Techniques in Statistical Practice: A Practical Software-Based Approach. Sussex, Harwood Pub.
- Godshall, M. A. and J. Solms (1992). "Flavor and sweetener interactions with starch." Food Technology: 140-145.
- Goel, P. K., R. S. Singhal and P. R. Kulkarni (1999). "Studies on interactions of corn starch with casein and casein hydrolysates." Food Chemistry **64**: 383-389.
- King, A. H. (1995). Encapsulation in food ingredients: A review of available technology, focusing on hydrocolloids. Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients. S. J. Risch and G. A. Reineccius. Washington, DC, ACS Symposium Series 590: 26-41.
- Kokini, J. L., C. N. Chang and L. S. Lai (1992). The role of rheological properties on extrudate expansion. Food Extrusion Science and Technology. J. Kokini, C.-T. Ho and M. V. Karwe. New York, Marcel Dekker, Inc.: 631-652.
- Likens, S. T. and G. B. Nickerson (1964). "Detection of certain hop constituents in brewing products." American Society of Brewing Chemists **22**: 5-13.
- Lindner, K., L. Szente and J. Szejtli (1981). "Food flavouring with b-cyclodextrin-complex flavour substances." Acta Alimentaria **10**(3): 175-186.
- Maga, J. A. (1989). Flavour formation and retention during extrusion. Extrusion Cooking. C. Mercier, P. Linko and J. M. Harper. Minnesota, American Association of Cereal Chemists, Inc.: 387-398.
- Matura, M., A. Goosens, O. Bordalo, B. Garcia-Bravo, K. Magnusson, K. Wrangsjö and A.-T. Karlberg (2002). "Oxidized citrus oil (R-limonene): A frequent skin sensitizer in Europe." Journal of The American Academy of Dermatology **47**(5): 709-714.
- McGraw, G. W., R. W. Hemingway, L. L. Ingram, C. S. Canady and W. B. McGraw (1999). "Thermal degradation of terpenes: camphene, delta(3)-carene, limonene, and alpha-terpinene." Environmental Science & Technology **33**: 4029-4033.
- Nair, M., Z. Shi, M. V. Karwe, C.-T. Ho and H. Daun (1994). Collection and characterisation of volatile compounds released at die during twin screw extrusion of corn flour. Thermally Generated Flavours: Maillard, Microwave and Extrusion Process. T. H. Parliment, M. J. Morello and R. J. McGorin. Washington, DC, ACS Symposium Series. **543**: 334-347.
- Nuessli, J., B. Sigg, B. Conde-Petit and F. Escher (1997). "Characterization of amylose-flavour complexes by DSC and X-ray diffraction." Food Hydrocolloids **11**(1): 27-34.
- Osman-Ismail, F. and J. Solms (1973). "The formation of inclusion compounds of starches with flavour substances." Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie **6**(4): 147-150.
- Pagington, J. S. (1986). b-Cyclodextrin and its uses in the flavour industry. Developments in Food Flavours. G. G. Birch and M. G. Lindley. London, Elsevier Applied Science: 131-150.
- Qi, Z. H. and A. R. Hedges (1995). Use of cyclodextrins for flavours. Flavour Technology: Physical Chemistry, Modification, and Process. C.-T. Ho, C. Tan and C. Tong. Washington, DC, ACS Symposium Series 610: 231-243.
- Reineccius, G. A. and S. J. Risch (1986). "Encapsulation of artificial flavours by b-cyclodextrin." Perfumer & Flavorist **11**: 2-6.
- Riha, W. E. and C.-T. Ho (1996). "Formation of flavors during extrusion cooking." Food Review International **12**(3): 351-373.
- Singh, H. (1995). Heat-induced changes in casein, including interactions with whey proteins. Heat-induced Changes in Milk. P. F. Fox. Brussels, International Dairy Federation: 86-104.
- Solms, J., F. Osman-Ismail and M. Beyeler (1973). "The interaction of volatiles with food components." Canadian Institute of Food Science and Technology **6**: A10-A16.
- Sparks, R. E. (1981). Microencapsulation. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemistry and Technology. M. Grayson and E. David. New York, John Wiley & Sons. **15**: 470.
- Szente, L. and J. Szejtli (1986). "Molecular encapsulation of natural and synthetic coffee flavour with b-cyclodextrin." Journal of Food Science **51**(4): 1024-1027.
- Szente, L. and J. Szejtli (2004). "Cyclodextrin as food ingredients." Trends in Food Science & Technology **15**: 137-142.
- Tan, C. W. (1997). Flavour encapsulation via precipitation technique. Faculty of Applied Science. Gatton, Gatton College, The University of Queensland.
- Varnam, A. H. and J. P. Sutherland (1994). Milk and Milk Products. London, Chapman & Hall.
- Vergnes, B., G. Della Valle and P. Colonna (2003). Rheological properties of biopolymers and applications to cereal processing. Characterization of Cereals and Flours. G. Kaletunc and K. J. Breslauer. New York, Marcel Dekker, Inc.: 209-265.