

PRODUKSI KONSENTRAT KAROTENOID DARI FRAKSI CAIR MINYAK SAWIT MENGGUNAKAN METODE KROMATOGRAFI KOLOM ADSORPSI

Nur Wulandari¹⁾

ABSTRACT

PRODUCTION OF CAROTENOIDS CONCENTRATE FROM LIQUID FRACTION OF PALM OIL USING ADSORPTION COLUMN CHROMATOGRAPHY METHOD

This research was aimed to obtain an optimum conditions for production of liquid fraction of crude palm oil (CPO) containing high concentration of carotenoids, as well as to get the optimum condition on production of carotenoids concentrate, by using adsorption column chromatography method at laboratory scale. Adsorbents used were rice hull ash and silica gel. In order to get high amount of carotenoids on liquid fraction of palm oil, the palm oil was treated with *n*-hexane and was mixed by using shaker. Based on recovery and total carotenoids parameters contained in the liquid fraction, the optimum condition to get high total carotenoids on liquid fraction was shown when employing 50% hexane, mixing at 200 rpm for 10 minutes, and decanting for 3 days at ambient temperatures. The palm oil liquid fraction contained 275 ppm carotenoids with 81.0% recovery. The next step was the separation of carotenoids from other components of palm oil by using adsorption column chromatography method with rice hull ash and silica gel as adsorbents. The optimum condition on separation were found by using ratio of rice hull ash:silica gel 30:10, which produced total carotenoids of 317.2 μg and recovery of carotenoids of 41.7%. The final concentration in carotenoids concentrate was 1865.9 ppm, 4 times higher than the initial concentration in CPO.

Key words: carotenoids, palm oil, adsorption column chromatography

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memperoleh kondisi optimum proses produksi fraksi cair minyak sawit yang berwarna merah dengan kadar karotenoid yang tinggi, serta untuk memperoleh kondisi optimum proses produksi konsentrat karotenoid menggunakan metode kromatografi kolom adsorpsi pada skala laboratorium menggunakan penjerap campuran abu sekam padi dan silika gel. Untuk mempermudah karotenoid terbawa dalam fraksi cairnya, minyak sawit kasar (CPO) diberi perlakuan penambahan *n*-heksana dengan pengadukan menggunakan *shaker*. Berdasarkan pemulihan dan total karotenoid yang terdapat dalam fraksi cair, perlakuan optimum pembuatan fraksi cair adalah dengan penambahan *n*-heksana 50%, dengan laju pengadukan 200 rpm selama 10 menit, dan waktu pemisahan fraksi cair selama 3 hari pada suhu kamar. Fraksi cair minyak sawit tersebut mengandung karotenoid sebanyak

275 ppm dengan persen pemulihan 81,0%. Selanjutnya karotenoid dipisahkan dari komponen minyak sawit lainnya dengan menggunakan kromatografi kolom adsorpsi yang menggunakan penjerap campuran abu sekam padi dan silika gel. Pemisahan terbaik dicapai pada nisbah abu sekam padi : silika gel 30 : 10 yang mampu menghasilkan total karotenoid 317,2 μg dan pemulihan karotenoid 41,7%. Konsentrasi produk konsentrat karotenoid yang diperoleh adalah 1865,9 ppm dengan tingkat pematangan karotenoid 4 kali dibandingkan kadar pada CPO awal.

Kata kunci: karotenoid, minyak sawit, kromatografi kolom adsorpsi

PENDAHULUAN

Minyak sawit merupakan komoditas pertanian andalan Indonesia. Produksi minyak sawit Indonesia terus meningkat dengan laju sekitar 6% per tahun (Oil World, 2002). Pengembangan industri kelapa sawit di Indonesia hingga saat ini masih didominasi

¹⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, dan peneliti SEAFast Center IPB. Kampus IPB Darmaga, PO BOX 220 Bogor 16002. E-mail: wulandari_safardan@yahoo.com

oleh produk primer berupa minyak sawit kasar (*crude palm oil*, CPO) dan minyak inti sawit, serta produk antara berupa *refined bleached deodorized* (RBD) *palm oil*, dan stearin. Untuk memperkuat industri kelapa awit Indonesia, perlu dilakukan pengembangan produk-produk hilir minyak sawit agar dapat diperoleh nilai tambah yang tinggi.

Salah satu keunggulan minyak sawit dibandingkan minyak jenis lainnya adalah keunggulan nutrisinya. CPO memiliki kandungan karoten (provitamin A) dengan kisaran 500-700 ppm dengan lebih dari 80% dalam bentuk α -, β -, γ -karoten (Choo *et al.* 1989). Kandungan karoten pada minyak sawit dapat dieksploitasi untuk produk minyak kaya karoten atau konsentrat karoten. Produk karoten banyak digunakan pada produk pangan sebagai sumber vitamin A maupun sebagai zat warna. Di Indonesia produk ini masih merupakan produk impor dengan harga yang relatif mahal. Produk karoten yang digunakan umumnya merupakan senyawa sintetik, bukan senyawa alami seperti halnya yang terdapat pada minyak sawit.

Beberapa peneliti telah melakukan upaya untuk mendapatkan karotenoid dari minyak sawit. Metode ekstraksi karotenoid yang telah dikembangkan antara lain metode penyabunan, adsorpsi, urea, dan distilasi molekuler (Choo *et al.* 1989). Salah satu metode penjumlahan karotenoid yang cukup potensial, teknologinya sederhana, dan peralatannya relatif murah adalah teknik kromatografi kolom adsorpsi (KKA). Hasanah (2006) telah melakukan upaya produksi konsentrat karotenoid dari CPO dengan KKA menggunakan penjerap abu sekam padi dan silika gel, dan berhasil memperoleh tingkat pemekatan 15 kali, konsentrasi konsentrat karotenoid 7538 $\mu\text{g/g}$ dengan persen pemulihan 48,4 %.

Dalam proses produksi minyak goreng, fraksi olein (fraksi cair) terlebih dahulu mengalami tahap pemurnian berupa netralisasi, pemucatan (*bleaching*), dan deodorisasi. Pada tahap pemurnian tersebut, komponen karotenoid mengalami kerusakan terutama karena proses itu berlangsung pada suhu tinggi. Di lain pihak, karotenoid merupakan komponen nutrisi dalam minyak sawit yang bernilai tinggi. Untuk itu diperlukan upaya pemisahan komponen karotenoid dari minyak sawit dengan teknik tertentu yang tidak

banyak mengubah sifat fisiko kimia minyak sawit asalnya.

Pada penelitian Hasanah (2006) terdapat kendala pada tahap elusi sampel pada kolom akibat terdapatnya fraksi stearin pada minyak sawit kasar yang menghambat laju elusi. Untuk mengatasi hal tersebut telah dilakukan upaya untuk memisahkan lemak yang mengendap dengan melakukan ekstraksi karotenoid dengan isopropanol. Pada penelitian ini, pemisahan fraksi stearin yang menghambat elusi dilakukan dengan teknik fraksinasi berdasarkan titik beku lemak. Fraksi cair akan terpisah dari fraksi padat tanpa mengalami reaksi dengan pelarut organik (hanya dengan perlakuan suhu, laju, dan waktu pengadukan) dan diharapkan karotenoid akan terikut sebanyak-banyaknya pada fraksi cairnya.

Tujuan penelitian ini adalah memperoleh kondisi optimum proses produksi fraksi cair minyak sawit yang berwarna merah dengan kadar karotenoid yang tinggi. Tujuan lain adalah menentukan metode serta kondisi optimum proses produksi konsentrat karotenoid menggunakan metode KKA pada skala laboratorium menggunakan campuran abu sekam padi dan silika gel sebagai penjerap.

METODE

Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPO yang diperoleh dari PT Asian Agri Jakarta. Penjerap yang digunakan adalah abu sekam padi dan silika gel, dengan eluen *n*-heksana.

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah kolom kromatografi kaca berdiameter 2 cm dan tinggi 30 cm dilengkapi dengan *dropping reservoir*, yang dibuat oleh CV Bricha Jaya Bogor. Alat analisis yang digunakan ialah spektrofotometer UV-Vis merk Spectronic 20 D+, tipe berkas tunggal.

Persiapan Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Bahan baku minyak sawit kasar dianalisis kadar karotenoidnya dengan modifikasi metode Parker (1992) tanpa proses saponifikasi, menggunakan spektrofotometer pada λ 460 nm, menghasilkan kadar karotenoid 451,2 ppm.

Bahan pendukung yang diperlukan dalam penelitian ini berupa abu sekam padi. Abu sekam padi diabukan secara khusus menggunakan tanur pengabuan pada suhu 800°C. Proses pengabuan tersebut menghasilkan abu sekam padi yang berwarna abu-abu dengan kadar silikat 95,4% yang diukur dengan metode Slamet *et al.* (1990).

Optimasi Produksi Fraksi Cair Minyak Sawit Berkarotenoid Tinggi

CPO yang diproses menjadi minyak sawit merah kasar tidak mengalami pemurnian terlebih dahulu agar karotenoid yang terkandungnya tidak terdegradasi. Pembentukan minyak sawit merah kasar yang merupakan fraksi cair minyak sawit hanya dilakukan secara fisik melalui proses fraksinasi pada suhu rendah.

Tahap fraksinasi semula menggunakan perlakuan penerapan beberapa suhu fraksinasi (5, 15, 25, 35, dan 45°C) dan laju pengadukan (60 dan 600 rpm), serta waktu pengadukan (1 dan 5 menit). Akan tetapi tahap fraksinasi tersebut terkendala karena perlakuan pada suhu rendah menyebabkan minyak sawit membeku dan tidak terbentuk fraksi cair yang berwarna merah. Oleh karena itu dilakukan modifikasi metode fraksinasi dengan bantuan penambahan *n*-heksana pada konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, dan 60% terhadap CPO. Fraksinasi dilakukan pada suhu kamar, dan dilakukan optimasi laju pengadukan (100 dan 200 rpm) selama 10 menit. Optimasi ini dilakukan untuk memperoleh fraksi cair minyak sawit yang berwarna merah dengan kandungan karotenoid yang tertinggi. Kadar karotenoid diukur dengan metode Parker (1992) yang dimodifikasi. Setiap perlakuan terdiri atas dua ulangan.

Optimasi Proses Produksi Konsentrat Karotenoid

Karotenoid dari fraksi cair minyak sawit berkarotenoid tinggi dipisahkan berdasarkan hasil penelitian Hasanah (2006). Kolom kaca diisi dengan penjerap yang telah diaktifkan (dipanaskan dalam oven pada suhu 120°C selama 4 jam) dan dicampur dengan *n*-heksana yang digunakan sebagai eluen. Nisbah abu sekam padi:silika gel yang diterapkan

adalah 35:5, 30:10, 25:15, dan 20:20 (b/b). Fraksi cair minyak sawit yang telah dilarutkan dalam eluen dimasukkan ke dalam kolom, dibiarkan terserap dalam penjerap, kemudian dielusi dengan eluen *n*-heksana. Jumlah fraksi cair yang dilewatkan dioptimasi dengan perlakuan 1, 2, 3, dan 4 g. Konsentrasi karotenoid dari setiap fraksi yang ditampung ditentukan menggunakan metode Parker (1992) yang dimodifikasi. Untuk menghitung persen pemulihan karotenoid selama proses KKA, jumlah total karotenoid yang terdapat di dalam setiap fraksi dibagi dengan total karotenoid pada CPO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi konsentrat karotenoid dari fraksi cair minyak sawit dilakukan melalui dua tahap optimasi, yaitu (1) optimasi produksi fraksi cair minyak sawit berkarotenoid tinggi, dan (2) optimasi produksi konsentrat karotenoid dari minyak sawit merah kasar dengan kromatografi kolom adsorpsi.

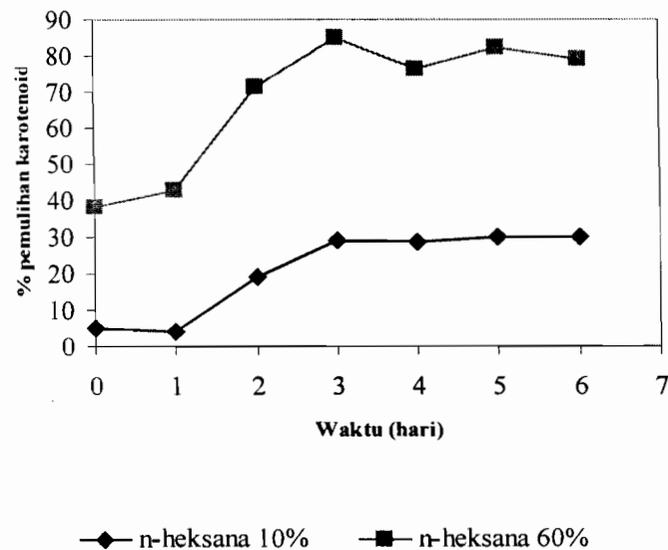
Produksi Optimum Fraksi Cair Minyak Sawit Berkarotenoid Tinggi

Produksi fraksi cair minyak sawit merah berkarotenoid tinggi dioptimasi dengan proses fraksinasi alami pada beberapa suhu (5, 15, 25, 35, dan 45°C). Karotenoid terbawa di dalam fraksi cair atau fraksi olein. Secara umum, semakin lama waktu penyimpanan maka jumlah fraksi cair yang diperoleh semakin banyak dan akhirnya konstan.

Suhu fraksinasi yang berbeda ternyata menghasilkan profil pemisahan fraksi yang berbeda pula. Pada suhu 5 dan 15°C, tidak terjadi pemisahan fraksi cair karena seluruh sampel dalam keadaan memadat, sedangkan pada suhu 25, 35, dan 45°C diperoleh fraksi cair dalam jumlah yang sangat sedikit sehingga menyulitkan proses pemisahan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan modifikasi proses fraksinasi dengan menggunakan pelarut *n*-heksana untuk memudahkan pemisahan fraksi padat dengan fraksi cairnya. Fraksi padat dan fraksi cair lebih mudah terpisah, dan karotenoid terbawa ke dalam fraksi cairnya, yang selanjutnya digunakan sebagai bahan baku konsentrat karotenoid.

Jumlah *n*-heksana ditentukan pada kisaran 10–60% dari total campuran *n*-heksana:CPO. Dilakukan percobaan penentuan waktu fraksinasi untuk mengetahui waktu fraksinasi yang dapat menghasilkan jumlah fraksi dan persen pemulihan karotenoid sebanyak-banyaknya. Proses fraksinasi dilakukan pada suhu kamar karena penggunaan suhu tinggi tidak berpengaruh nyata pada fraksi cair yang dihasilkan. Sebelum fraksinasi, dilakukan pengadukan antara *n*-heksana dengan CPO dengan laju pengadukan 100 rpm selama 10 menit.

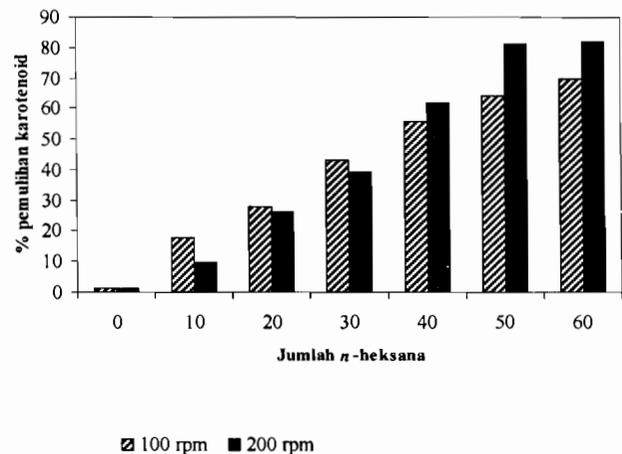
Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa selama fraksinasi, karotenoid yang terbawa pada fraksi cair pada awalnya akan terus meningkatkan persen pemulihan karotenoidnya dan selanjutnya jumlahnya relatif konstan setelah 72 jam (3 hari). Hal ini berlaku untuk penambahan *n*-heksana sebanyak 10% maupun 60%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa waktu fraksinasi yang optimum adalah selama 3 hari karena jumlah fraksi cair yang dihasilkan dan persen pemulihan karotenoid yang terbawa dalam fraksi cair telah konstan.



Gambar 1 Persen perolehan karotenoid dengan penambahan *n*-heksana 10% dan 60%, laju pengadukan 100 rpm, t 10 menit, pada suhu ruang

Setelah diketahui waktu optimum untuk proses fraksinasi, diteliti pengaruh konsentrasi *n*-heksana yang ditambahkan, yaitu 10, 20, 30, 40, 50, dan 60%

n-heksana serta pengaruh laju pengadukan pada persen karotenoid yang terdapat pada fraksi cair. Laju pengadukan yang diterapkan adalah 100 dan 200 rpm. Dari hasil pengujian ini (Gambar 2) dapat diketahui bahwa laju pengadukan 200 rpm menghasilkan persen pemulihan karotenoid yang lebih tinggi pada konsentrasi *n*-heksana yang semakin tinggi. Berdasarkan hal ini disimpulkan bahwa proses akan lebih optimum pada laju pengadukan 200 rpm.



Gambar 2 Persen pemulihan karotenoid pada berbagai perlakuan penambahan *n*-heksana dan laju pengadukan selama 10 menit, pada suhu ruang

Pada perlakuan pengadukan dengan laju 200 rpm, tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi *n*-heksana, semakin meningkat persen pemulihan karotenoid dan cenderung konstan pada konsentrasi *n*-heksana 50% dan 60%. Berdasarkan hasil uji statistik ANOVA pada perlakuan pengadukan 200 rpm, diketahui bahwa antara perlakuan penambahan *n*-heksana 50% dan 60% tidak berbeda nyata.

Berdasarkan optimasi produksi fraksi cair berkarotenoid tinggi, dapat ditentukan kondisi optimum waktu fraksinasi 72 jam, laju pengadukan 200 rpm, waktu pengadukan 10 menit, dengan jumlah *n*-heksana yang ditambahkan 50% (nisbah *n*-heksana terhadap CPO = 1 : 1). Dari perlakuan optimum tersebut diperoleh persen pemulihan karotenoid sebesar 81,0% dan konsentrasi karotenoid 274,95 ppm.

Hasil optimasi tahap pertama ini selanjutnya digunakan untuk optimasi pembuatan konsentrat karotenoid dengan metode KKA dengan penjerap abu

sekam padi dan silika gel. Fraksi cair CPO berkarotenid tinggi diproduksi dengan skala yang sama seperti yang dilakukan pada tahap optimasi pertama.

Produksi Optimum Konsentrat Karotenoid

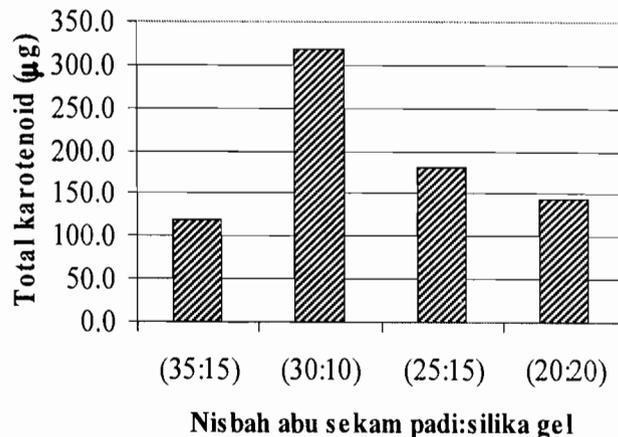
Konsentrat karotenoid diproduksi dengan metode KKA. Kolom diisi dengan memasukkan campuran penjerap dalam bentuk lumpur (*slurry*) dan partikel dibiarkan mengendap. Untuk menyeragamkan kepadatan di dalam kolom, pengisian kolom dikerjakan dengan seragam, yaitu pada laju elusi menjadi konstan dengan kecepatan linear eluen 0,5 ml/menit.

Untuk mendapatkan konsentrat karotenoid dengan konsentrasi dan persen pemulihan yang tinggi, dicobakan perlakuan nisbah abu sekam padi: silika gel (b/b), serta jumlah ekstrak yang dilewatkan pada kolom kromatografi. Nisbah abu sekam padi: silika gel yang menghasilkan konsentrat karotenoid dengan kandungan karotenoid dan persen pemulihan yang tinggi diseleksi melalui penerapan tingkatan nisbah, yaitu 35:5; 30:10; 25:15; dan 20:20 (b/b).

Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa total karotenoid yang dilewatkan selama proses elusi pada nisbah abu sekam padi terhadap silika gel 30:10 mampu menghasilkan total karotenoid terbesar, yaitu sebesar 317,2 μg , yang pada akhirnya mampu menghasilkan produk konsentrat karotenoid dengan konsentrasi tertinggi. Sementara itu, pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa persen pemulihan karotenoid tertinggi diperoleh dengan menggunakan penjerap abu sekam padi:silika gel dengan nisbah 30:10, yaitu 41,7%.

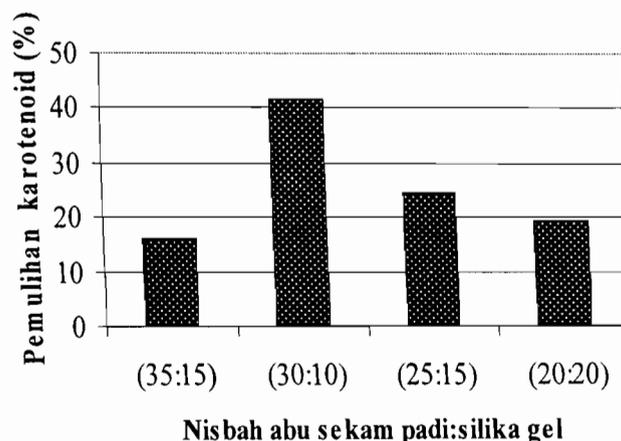
Dengan melakukan pemekatan menggunakan gas N_2 terhadap eluat yang berwarna kuning, diperoleh bobot konsentrat 0,17 g. Jadi, konsentrasi produk konsentrat karotenoid yang diperoleh adalah 1865,9 ppm. Dengan konsentrasi awal karotenoid pada minyak sawit kasar sebesar 451,23 ppm, berarti proses fraksinasi dan kromatografi yang dilakukan hanya mampu memekatkan karotenoid dari CPO awal sebanyak $1865,9/451,23 = 4$ kali. Bila dibandingkan dengan konsentrasi fraksi cair sebelum dimasukkan ke dalam kolom, tingkat pemekatan yang diperoleh adalah sebesar $1865,9/274,95 = 6,8$ kali.

Mekanisme interaksi yang terjadi pada pemekatan karotenoid diduga adalah adsorpsi secara fisika,



Gambar 3 Total karotenoid yang diperoleh pada pemisahan dengan KKA pada berbagai nisbah abu sekam padi dan silika gel dengan jumlah fraksi cair 2 g

yaitu tipe adsorpsi dengan cara adsorbat menempel pada permukaan melalui interaksi antar-molekul yang lemah. Ciri-ciri adsorpsi fisika adalah terjadi pada suhu rendah, selalu di bawah suhu kritis dari adsorbat, jenis interaksi adalah interaksi antarmolekul (gaya van der Waals dan gaya elektrostatis antara molekul teradsorpsi dan atom yang menyusun permukaan penjerap), entalpinya rendah, adsorpsi dapat terjadi dalam banyak lapisan (*multilayers*) dan energi aktivasi rendah (<http://en.wikipedia.org/wiki/adsorption>).



Gambar 4 Persen pemulihan karotenoid yang diperoleh pada pemisahan dengan KKA pada berbagai nisbah abu sekam padi dan silika gel dengan jumlah fraksi cair 2 g

Tingkat pemekatan karotenoid yang dihasilkan penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan hasil penelitian lain. Baharin *et al.* (1998) berhasil memisahkan karotenoid dari CPO menggunakan adsorben polimer sintetik (Diaion HP-20) dan mendapatkan konsentrasi 100.000 ppm atau pemekatan sekitar 160 kali. Latip *et al.* (2001) juga berhasil memisahkan karotenoid dari CPO menggunakan adsorben sintetik HP-20 resin dengan konsentrasi karotenoid 20.000 ppm atau pemekatan sebesar 33 kali. Sementara itu, Hasanah (2006) telah menggunakan metode KKA dengan penjerap abu sekam padi dan silika gel pada CPO dan memperoleh tingkat pemekatan 15 kali, konsentrasi konsentrat karotenoid 7538 µg/g, dengan persen pemulihan karotenoid sebesar 48,4 %.

Bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan menggunakan metode pemekatan yang berbeda, tingkat pemekatan yang diperoleh pada penelitian ini juga lebih rendah. Penelitian Muchtadi (1992) yang melakukan pemekatan karotenoid dari CPO menggunakan metode saponifikasi menghasilkan tingkat pemekatan sebesar 22 kali, dan dengan kombinasi saponifikasi dan transesterifikasi diperoleh tingkat pemekatan sebesar 24 kali. Sulaswatty (1998) yang memekatkan karotenoid dari CPO menggunakan metode fluida CO₂ superkritik memperoleh tingkat pemekatan 39 kali dari konsentrasi karoten awal (dari 328 ppm menjadi 12876 ppm).

Walaupun tingkat pemekatan yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian lain yang menggunakan metode berbeda, secara umum hasil penelitian dapat memberi gambaran bahwa metode KKA dengan campuran abu sekam padi dan silika gel mempunyai potensi yang cukup baik untuk memisahkan karotenoid. Selain itu potensi abu sekam padi juga cukup besar untuk digunakan sebagai adsorben pada pemisahan karotenoid karena bahan bakunya murah dan mudah didapat dan aplikasinya mudah sehingga dapat meningkatkan nilai dari abu sekam padi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Fraksi cair minyak sawit berkarotenoid tinggi diperoleh pada kondisi optimum waktu fraksinasi 72

jam, laju pengadukan 200 rpm, waktu pengadukan 10 menit, dengan jumlah *n*-heksana yang ditambahkan 50% (nisbah *n*-heksana terhadap CPO 1:1). Dari perlakuan optimum tersebut diperoleh persen pemulihan karotenoid dari CPO sebesar 81,0% dan konsentrasi karotenoid 274,95 ppm.

Tahap pemekatan fraksi cair minyak sawit dengan menggunakan nisbah abu sekam padi terhadap silika gel 30:10 mampu menghasilkan total karotenoid sebesar 317,2 µg dan persen pemulihan karotenoid sebesar 41,7%. Konsentrasi produk konsentrat karotenoid yang diperoleh adalah sebesar 1865,9 ppm. Dengan konsentrasi awal karotenoid pada minyak sawit kasar sebesar 451,23 ppm, proses fraksinasi dan kromatografi yang dilakukan mampu memekatkan karotenoid dari CPO awal sebanyak 4 kali.

Saran

Tingkat pemekatan yang dihasilkan dari seluruh tahap proses fraksinasi dan kromatografi masih dapat ditingkatkan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan pemulihan fraksi cair minyak sawit melalui penggunaan suhu fraksinasi yang lebih rendah. Perlu juga dilakukan tingkat pengulangan fraksinasi dan optimasi waktu pengadukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Program Penelitian Dosen Muda IPB yang telah mendanai penelitian ini, SEAFast Center IPB yang telah membantu menyediakan sarana yang mendukung penelitian ini, serta kepada saudari Dian S Kuswardhani dan H Hernawati yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2006. Adsorption. <http://en.wikipedia.org/wiki/adsorption>. [9 Januari 2007].
- Baharin BS, Rahman KA, Karim MIA, Oyaizu T, Tanaka K. 1998. Separation of palm carotene from crude palm oil by adsorption chromatography with a synthetic polymer adsorbent. *J Am Oil Chem Soc* 75:399-404.

- Choo YM, Yap SC, Ong ASH, Ooi CK, Gog SH. 1989. Palm Oil Carotenoid: Chemistry and Technology. Proceedings of International Palm Oli Conference. Kuala Lumpur, 5-9 September 1989. Kuala Lumpur: PORIM
- Hasanah U. 2006. Proses Produksi Konsentrat Karotenoid dari Minyak Sawit Kasar dengan Metode Kolom Kromatografi Adsorpsi [tesis]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Muchtadi T R. 1992. Karakterisasi Komponen Intrinsik Utama Buah Sawit (*Elaeis guineensis, Jacq.*) dalam Rangka Optimalisasi Proses Ekstraksi Minyak dan Pemanfaatan Provitamin A [disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana IPB.
- Oil World, 2002. Word Supply, Demand, and Price Forecasts for Oilseeds, Oils and Meals. *Mielke GmbH* 44(45):350-539.
- Parker L. 1992. Extraction of Carotenoid from Palm Oil. New York: Cornell University.
- Slamet DS, Mahfud MK, Muhilal, Fardiaz D, Simarmata JP. 1990. *Pedoman Analisis Zat Gizi*. Jakarta: Departemen Kesehatan, Direktorat Bina Gizi Masyarakat dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Gizi.
- Sulaswatty A. 1998. Karakteristik Pemekatan Karotenoid Minyak Sawit dengan Teknik Fluida CO₂ Superkritik [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana IPB.