

Kajian Produksi Terpadu Karoten, Vitamin E & Biodiesel dari Minyak Sawit Mentah

Donald Siahaan dan Maslan Lamria

Karoten, tokoferol, dan tokotrienol adalah senyawa-senyawa minor berkadar ratusan ppm di dalam minyak sawit mentah (Crude Palm Oil, CPO) yang tidak diperlukan dalam unjuk kerja biodiesel sebagai bahan bakar dan, dalam keadaan murni, malah memiliki nilai ekonomis jauh lebih tinggi dari biodiesel sawit. Salah satu bidang penggunaan yang penting dari bahan-bahan tersebut adalah kesehatan, misalnya sebagai anti-kanker. Seandainya karoten maupun vitamin E sawit (tokoferol dan tokotrienol) dapat dipisahkan pada proses produksi biodiesel dari CPO, maka selain biodiesel akan diperoleh dua produk tambahan yang berharga tinggi, sehingga produk biodieselnnya sendiri dapat diberi harga yang lebih bersaing di pasar. Penjumlahan karoten dan vitamin E dapat memaksimalkan keuntungan dalam produksi biodiesel sawit.

Kajian ini bertujuan untuk menyusun rangkaian proses penjumlahan karoten dan vitamin E yang terintegrasi dalam produksi biodiesel sawit berdasarkan perkembangan tahapan-tahapan proses yang dilaporkan dalam literatur, sehingga dapat menjadi masukan bagi upaya pengembangan proses selanjutnya.

Karoten dan vitamin E akan dijumpai dari ester metil (biodiesel) sawit mentah hasil reaksi antara CPO dan metanol. Rangkaian proses penjumlahan karoten dan vitamin E yang ditampilkan dalam bentuk diagram blok terdiri dari proses-proses utama distilasi, saponifikasi, ekstraksi, kristalisasi, dan penukaran ion.

Kata kunci: Biodiesel sawit; Karoten; Vitamin E; Tokoferol; Tokotrienol; Penjumlahan



PENDAHULUAN

Minyak sawit adalah minyak nabati yang bervolume produksi dan pemasaran terbesar ke-2 di dunia. Karena pohon sawit dewasa ini dikenal sebagai tumbuhan paling produktif di dalam menghasilkan

minyak, maka ekstensifikasi dan intensifikasi perkebunan sawit terus dilakukan di berbagai negara, termasuk Indonesia yang kini merupakan produsen terbesar ke-2 di dunia. Berdasar

kecenderungan upaya-upaya ekstensifikasi dan intensifikasi tersebut, diperkirakan bahwa dalam dekade mendatang (a). minyak sawit akan menjadi minyak nabati bervolume produksi dan pemasaran terbesar di dunia, menggeser minyak kedelai, dan (b). Indonesia akan menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia, menggeser Malaysia.

Sebagai calon produsen terbesar dari komoditi dunia yang juga terbesar di kelasnya, Indonesia tentunya harus memanfaatkan keunggulan tersebut untuk mendapatkan nilai tambah sebesar-besarnya melalui diversifikasi pasar produk turunan minyak sawit, baik produk pangan maupun non pangan. Biodiesel adalah salah satu produk turunan non pangan yang diperkirakan akan memiliki volume pasar amat besar. Akan tetapi, harga minyak sawit mentah (CPO, *Crude Palm Oil*) biasanya relatif tinggi karena minyak ini merupakan komoditi penting sektor pangan, sehingga biodiesel sawit hanya akan memiliki harga yang mampu bersaing di pasar biodiesel jika pada proses produksinya dapat dihasilkan komoditi lain yang bernilai tambah tinggi.

CPO mengandung beberapa senyawa minor berharga yang tidak diperlukan dalam unjuk kerja biodiesel sawit. Senyawa-senyawa minor tersebut di antaranya adalah karoten, tokoferol, dan tokotrienol. Kadarnya di dalam minyak

sawit relatif tinggi dibanding sumber-sumber lain, sekalipun hanya ratusan ppm. Karoten merupakan provitamin A, sedangkan tokoferol dan tokotrienol merupakan dua kelompok senyawa homolog satu sama lain yang merupakan vitamin E.

Karoten serta tokoferol dan tokotrienol adalah senyawa-senyawa yang bernilai ekonomis jauh lebih tinggi dari biodiesel. Bahan-bahan tersebut sangat penting dalam dunia kesehatan karena misalnya bersifat anti-kanker.

Seandainya karoten maupun tokoferol dan tokotrienol dapat dipisahkan pada proses produksi biodiesel dari CPO, maka selain biodiesel akan diperoleh dua produk tambahan yang berharga tinggi, sehingga produk biodieselnnya sendiri mungkin dapat diberi harga yang bisa bersaing di pasar. Oleh karena ini, pengembangan teknologi penjumlahan (*recovery*) karoten serta tokoferol dan tokotrienol merupakan upaya yang sangat patut dilakukan untuk memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dalam produksi biodiesel sawit.

Harga karoten mencapai USD 400.000 / MT, sedangkan harga vitamin E sawit (campuran tokoferol dan tokotrienol) mencapai USD 1.600.000 / MT 11).

KAJIAN INFORMASI PUSTAKA

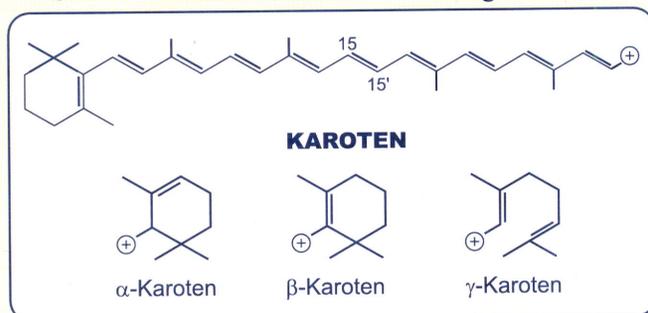
a. Komponen-komponen Minor Berharga di dalam Minyak Sawit Mentah

Minyak sawit mentah (CPO) mengandung kira-kira 1% komponen-komponen minor seperti karoten, tokoferol, sterol, tripteren, fosfolipid, glikolipid, terpen dan hidrokarbon alifatik (2). Karoten, tokoferol, dan tokotrienol terdapat pada konsentrasi ratusan ppm di dalam CPO.

b. Karoten

Karoten di dalam minyak sawit terutama terdiri atas β - dan α -karoten, dengan β -karoten sebagai komponen yang mendominasi. Karoten merupakan kelompok senyawa dengan rumus molekul $C_{40}H_{56}$. Karena memiliki rantai karbon yang panjang, karoten akan mengendap pada temperatur rendah.

Struktur molekul karoten adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Struktur molekul karoten

Karoten merupakan senyawa *polyunsaturated*, sehingga mudah bereaksi membentuk senyawa lain. Karoten dapat terdegradasi oleh panas, cahaya, dan oksigen. Karoten terdegradasi dengan cepat mulai pada temperatur 60°C .

Titik leleh β -karoten dan α -karoten secara berturut-turut adalah 183°C dan 187.50°C .

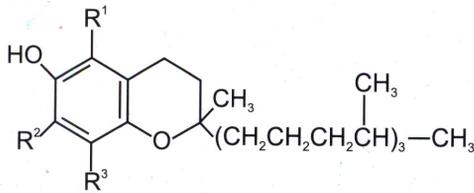
Deretan pelarut berdasarkan tingkat kemampuan (mulai dari yang paling tinggi) melarutkan karoten adalah sebagai berikut:

Eter minyak bumi (pentana, heptana,

heksana) > CCl_4 > trikloroetilen > benzena > metilen diklorida > kloroform > eter > etil asetat > aseton > n-propil alkohol > etanol > metanol > air

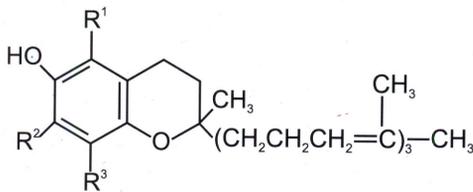
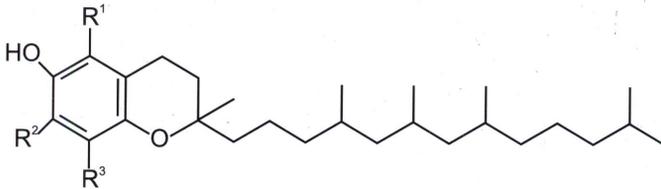
Kadar karoten di dalam CPO adalah 500 - 800 ppm. Kegunaan karoten antara lain adalah:

- sebagai provitamin A
- mencegah pembentukan tumor
- sebagai pewarna kuning untuk makanan
- sebagai bahan aditif di industri farmasi dan kosmetika.



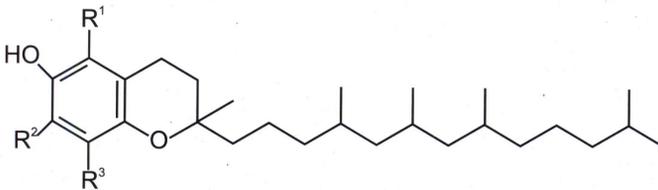
TOKOFEROL

atau



TOKOTRIENOL

atau



	R ¹	R ²	R ³
α-Tokoferol dan α-Tokotrienol	CH ₃	CH ₃	CH ₃
β-Tokoferol dan β-Tokotrienol	CH ₃	H	CH ₃
γ-Tokoferol dan γ-Tokotrienol	H	CH ₃	CH ₃
δ-Tokoferol dan δ-Tokotrienol	H	H	CH ₃

Gambar 2. Struktur molekul tokoferol dan tokotrienol

Tabel 1. Sifat fisik tokoferol

	α -tokoferol	β -tokoferol	γ -tokoferol	δ -tokoferol
Formula	$C_{29}H_{50}O_2$	$C_{28}H_{48}O_2$	$C_{28}H_{48}O_2$	$C_{27}H_{46}O_2$
Berat molekul	430.69	416.66	416.66	402.62
Titik didih ($^{\circ}C$, 0.1 atm)	210 – 220	200 - 210	200 - 210	-

Sifat-sifat umum dari tokoferol dan tokotrienol adalah sebagai berikut:

- Sangat larut di minyak, lemak, aseton, alkohol, kloroform, eter, dan pelarut lemak lainnya.
- Sangat stabil terhadap panas dan alkali.
- Teroksidasi dengan lambat oleh oksigen di atmosfer, dengan cepat oleh garam ferri dan perak. Jika terkena cahaya, lambat laun warnanya menjadi lebih gelap.

CPO mengandung 600-1000 ppm vitamin E dengan komposisi sekitar 75% tokotrienol dan 25 % tokoferol.

Kegunaan tokoferol dan tokotrienol di antaranya adalah:

- memiliki aktivitas anti-oksidan
- meningkatkan kemampuan reproduksi

(banyak digunakan untuk ternak)

- aditif pada produk pangan dan farmasi
- suplemen kesehatan

Salah satu komponen utama tokoferol dan tokotrienol di dalam minyak sawit adalah γ -Tokotrienol yang telah ditemukan juga memiliki manfaat (3):

- bersifat anti-kanker
- dapat meredakan tumor
- menurunkan kandungan kolesterol di dalam darah.

Minyak sawit merupakan sumber utama tokotrienol dibandingkan dengan minyak lainnya.

Kadar tokoferol dan tokotrienol di berbagai grade minyak sawit disajikan pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Kadar tokoferol dan tokotrienol di dalam berbagai grade minyak sawit (2)

	Kadar tokoferol & tokotrienol (ppm)
<i>Crude Palm Oil (CPO)</i>	600 – 1000
<i>Crude Palm Olein</i>	800 – 1000
<i>Crude Palm Stearin</i>	250 – 350
<i>Palm Fatty Acid Distillate</i>	150 – 8500
<i>RBD Palm Oil</i>	356 – 630
<i>RBD Palm Olein</i>	468 – 673
<i>Palm Kernel Oil</i>	80 - 100

Penjumptan Karoten dan Vitamin E Sawit

Pada proses pembuatan biodiesel, hampir seluruh karoten dan vitamin E yang semula berada di dalam CPO akan berada di dalam biodiesel sawit yang dihasilkan.

Proses-proses utama yang dapat terlibat dalam penjumptan karoten dan vitamin E dari biodiesel sawit adalah sebagai berikut:

- Distilasi
- Ekstraksi
- Saponifikasi
- Adsorpsi
- Penukaran Ion
- Kristalisasi

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam upaya penjumptan karoten, tokoferol, dan tokotrienol dari biodiesel sawit yang melibatkan proses-proses tersebut. Beberapa hasil penelitian yang dikaji adalah sebagai berikut:

Proses dari Tan dkk (6)

Dalam penelitiannya, Tan dkk melakukan proses penjumptan karoten dan vitamin E dari biodiesel sawit secara terintegrasi. Tan belum menghasilkan karoten maupun vitamin E yang mendekati murni, tapi hanya konsentrat.

Proses-proses yang dilangsungkan dalam penelitian Tan dkk adalah sebagai berikut:

1. Solvolytic micellization

Pada tahap ini, biodiesel sawit dikontakkan dengan metanol dan air sehingga dihasilkan dua lapisan. Lapisan bawah (*caro-rich*) adalah lapisan biodiesel yang volumenya telah menciut namun masih mengandung hampir seluruh karoten yang berada dalam biodiesel mula-mula.

Lapisan atas (*ester-rich*) merupakan lapisan yang mengandung sebagian besar biodiesel mula-mula serta tokoferol dan tokotrienol yang terdapat di dalamnya.

Solvolytic micellization dilakukan beberapa tahap terhadap *caro-rich* hingga didapatkan konsentrat dengan kandungan karoten hingga 100.000 ppm. Rasio volume metanol terhadap biodiesel dan *caro-rich* adalah 3 : 10. Sedangkan jumlah air yang digunakan adalah di bawah 5 % v air / v metanol.

2. Distilasi/rotavaporasi

Rotavaporasi dilakukan terhadap *ester-rich* untuk menghasilkan konsentrasi tokoferol & tokotrienol yang diinginkan (sekitar 1%) sebelum diumpankan ke kolom adsorpsi.

Kondisi rotavaporasi yang dilangsungkan adalah sebagai berikut:

Temperatur : 25 - 65°C.

Tekanan : 1 - 10 mmHg

Distilat yang dihasilkan merupakan biodiesel yang telah kehilangan hampir

seluruh karoten dan vitamin E mula-mulanya. Distilat ini dapat langsung dipakai sebagai bahan bakar mesin diesel.

3.a) Saponifikasi

Saponifikasi dilakukan dengan cara mereaksikan lapisan bawah hasil tahap terakhir *solvolytic micellization* dengan KOH metanolik (17 % KOH). Selanjutnya dilakukan ekstraksi terhadap campuran reaksi dengan menggunakan heksana. Lalu dilakukan evaporasi terhadap lapisan ekstrak pada temperatur 30°C dan tekanan 25 mmHg hingga dihasilkan konsentrat karoten dengan konsentrasi 18.6 %.

3.b) Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan terhadap hasil *solvolytic micellization*, masing-masing yaitu:

- *caro-rich* : untuk penjumlahan karoten
- *ester-rich* yang telah disingkirkan pelarutnya juga sebagian besar ester metilnya : untuk penjumlahan tokoferol dan tokotrienol

Berikut ini adalah tabel rangkuman kondisi dalam proses adsorpsi yang dilakukan Tan dkk :

Tabel 3. Rangkuman kondisi dalam proses adsorpsi yang dilakukan Tan dkk

	Kolom penjumlahan karoten	Kolom penjumlahan tokoferol & tokotrienol
Umpan	0.5 g caro-rich - 5600 ppm karoten	10 mL ester-rich - 1.1 % tokoferol & tokotrienol
Adsorben	Alumina	Alumina
Eluent biodiesel	Heksana (8 x 50 mL)	Heksana (4.65 mL)
Eluent karoten	Heksana + isopropanol (9:1 v/v) (50 mL)	-
Eluent tokoferol dan tokotrienol	-	Metanol (10 mL)
Temperatur	Kamar	Kamar
Hasil rotavaporasi eluent	Konsentrat karoten 18 %	Konsentrat tokoferol & tokotrienol 56.4 %

Proses dari Top dkk (7)

Dalam penelitiannya, Top dkk melakukan penjumlahan tokoferol dan tokotrienol dari biodiesel PFAD (*Palm Fatty Acid Distillate*) melalui proses penukaran ion.

Tahapan-tahapan proses yang dilakukan oleh Top dkk adalah sebagai berikut:

1. Distilasi PFAD pada temperatur 150 - 250°C dan tekanan di bawah 10 mmHg.

2. Mereaksikan PFAD residu dengan metanol untuk menghasilkan biodiesel PFAD.
3. Distilasi biodiesel PFAD yang dihasilkan pada tekanan di bawah 10 mmHg dan temperatur 100 - 200°C untuk semakin memekatkan tokoferol dan tokotrienol pada fraksi residu.
4. Mendinginkan residu untuk mengkristalkan komponen yang memiliki titik leleh lebih tinggi dari

- tokoferol dan tokotrienol, lalu menyaringnya.
5. Mengumpulkan filtrat ke kolom penukar ion.
 6. Evaporasi eluent pada temperatur 50-130°C dan tekanan vakum untuk menghasilkan vitamin E 70 %.
 7. Mencuci produk tahap sebelumnya dengan air, lalu mengeringkannya
 8. Mengumpulkan hasilnya ke kolom distilasi molekuler pada temperatur 140 - 220°C dan tekanan di bawah

0.05 mmHg untuk menghasilkan vitamin E dengan konsentrasi minimal 95%, dengan perolehan 70 %.

9. Deodorisasi tokoferol dan tokotrienol dengan kukus pada tekanan 2 mmHg.

Berikut ini adalah tabel rangkuman kondisi proses penukaran ion yang dilakukan Top dkk :

Tabel 4. Rangkuman kondisi proses penukaran ion yang dilakukan Top dkk

Resin	Anionik
Purging solvent	Etanol 95 %
Detaching agent	Larutan asam 10 %
Eluent tokoferol dan tokotrienol	Etanol 99 %
Temperatur	Kamar
Hasil evaporasi eluent	Konsentrat tokoferol dan tokotrienol 78 – 85 %

Proses dari Khachik 10)

Dalam penelitiannya, Khachik dkk melakukan purifikasi dan kristalisasi karoten.

Konsentrasi karoten di dalam umpan yang digunakan oleh Khachik dkk bermacam-macam, yaitu 2 %, 20% dan 30%.

Umpan yang mengandung 2% karoten merupakan hasil *solvolytic micellization* secara bertahap. Konsentrat 2% karoten tersebut kemudian dipekatkan menjadi

konsentrat 20% karoten melalui proses distilasi molekuler. Sedangkan umpan yang mengandung 30% karoten merupakan hasil pencampuran antara minyak nabati dengan hasil kromatografi terhadap konsentrat 20 % karoten yang menghasilkan karoten dengan kemurnian 95%.

Tahapan-tahapan proses yang dilangsungkan oleh Khachick dkk adalah sebagai berikut:

Umpan dengan konsentrasi karoten 2%

1. Saponifikasi

Umpan mula-mula dilarutkan di dalam pelarut organik (mis. tetrahidrofur, TBME, dll), lalu direaksikan dengan zat penyabun (KOH atau NaOH) di dalam alkohol dengan konsentrasi 10%.

2. Ekstraksi

Campuran hasil reaksi saponifikasi dikontakkan dengan pelarut organik (mis. heksana, pentana, TBME, dll).

Lapisan organik (bagian atas) dicuci dua kali menggunakan air yang mengandung metanol atau etanol hingga pH-nya 7. Lapisan bawah yang terbentuk dibuang. Lapisan organik tadi kemudian dikeringkan dengan natrium sulfat dan dievaporasi hingga benar-benar kering dan menghasilkan minyak merah tua.

3. Kristalisasi

Minyak merah tua tersebut kemudian dicampur dengan alkohol untuk menyingkirkan pengotor-pengotor hingga dihasilkan kristal karoten dengan kemurnian 49-55%. Padatan ini kemudian dilarutkan dengan sesedikit mungkin pelarut organik (mis. aseton, tetrahidrofur, dll) dan ditambahi sejumlah alkohol (metanol, etanol, atau 2-propanol) sampai larutan berkabut. Campuran tersebut didinginkan pada temperatur 15°C atau lebih rendah untuk

menghasilkan karoten dengan kemurnian 76-80%. Kristalisasi tahap kedua akan menghasilkan karoten dengan kemurnian minimal 95%.

Umpan dengan konsentrasi karoten 20% hingga 30%

Proses kristalisasi dapat langsung dilakukan terhadap umpan dengan konsentrasi 20 hingga 30% (tidak perlu melewati reaksi saponifikasi). Kristal karoten yang dihasilkan memiliki kemurnian 68-83%. Kristalisasi tahap kedua akan menghasilkan karoten dengan kemurnian minimal 95%.

Hasil proses kristalisasi dipengaruhi oleh:

- konsentrasi karoten di dalam umpan
- jenis dan komposisi pelarut kristalisasi
- temperatur kristalisasi

3. Proses Terpadu yang Diusulkan

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, berikut ini adalah proses-proses yang dipilih untuk menjumpat karoten dan vitamin E dari biodiesel sawit.

Untuk menghasilkan umpan proses penjumlahan, proses *solvolytic micellization* lebih dipilih daripada distilasi karena:

- *Solvolytic micellization* akan menghasilkan dua lapisan yang masing-masing memiliki perbedaan komponen minor utama yang akan

dijumpat (karoten dan vitamin E), sedangkan distilasi hanya menyingkirkan komponen ester metil dan menghasilkan konsentrat yang mengandung semua komponen minor yang akan dijumpat.

- *Solvolytic micellization* dapat dilakukan dengan efektif pada kondisi kamar, sedangkan distilasi ester metil (biodiesel sawit awal) pada temperatur yang aman untuk karoten ($< 60^{\circ}\text{C}$) akan memerlukan tekanan yang sangat vakum. Perlu diperhatikan bahwa jumlah ester metil sawit awal mencapai ribuan kali jumlah komponen minor yang hendak dipisahkan.
- Pelarut *solvolytic micellization*, yaitu metanol yang mengandung air $< 5\%$ dapat didaur-ulang dengan mudah.

Untuk penjumlahan karoten, proses saponifikasi maupun distilasi molekuler dapat dicoba untuk memisahkan hasil *solvolytic micellization*, karena:

- saponifikasi dapat dilakukan dengan efektif pada kondisi kamar dan memerlukan bahan yang relatif murah serta peralatan yang sederhana.
- jumlah ester metil yang harus didistilasi relatif sedikit. Hasil *solvolytic micellization* telah berkadar karoten 2 - 10 % dan target yang hendak dicapai adalah kadar 20 % karoten.

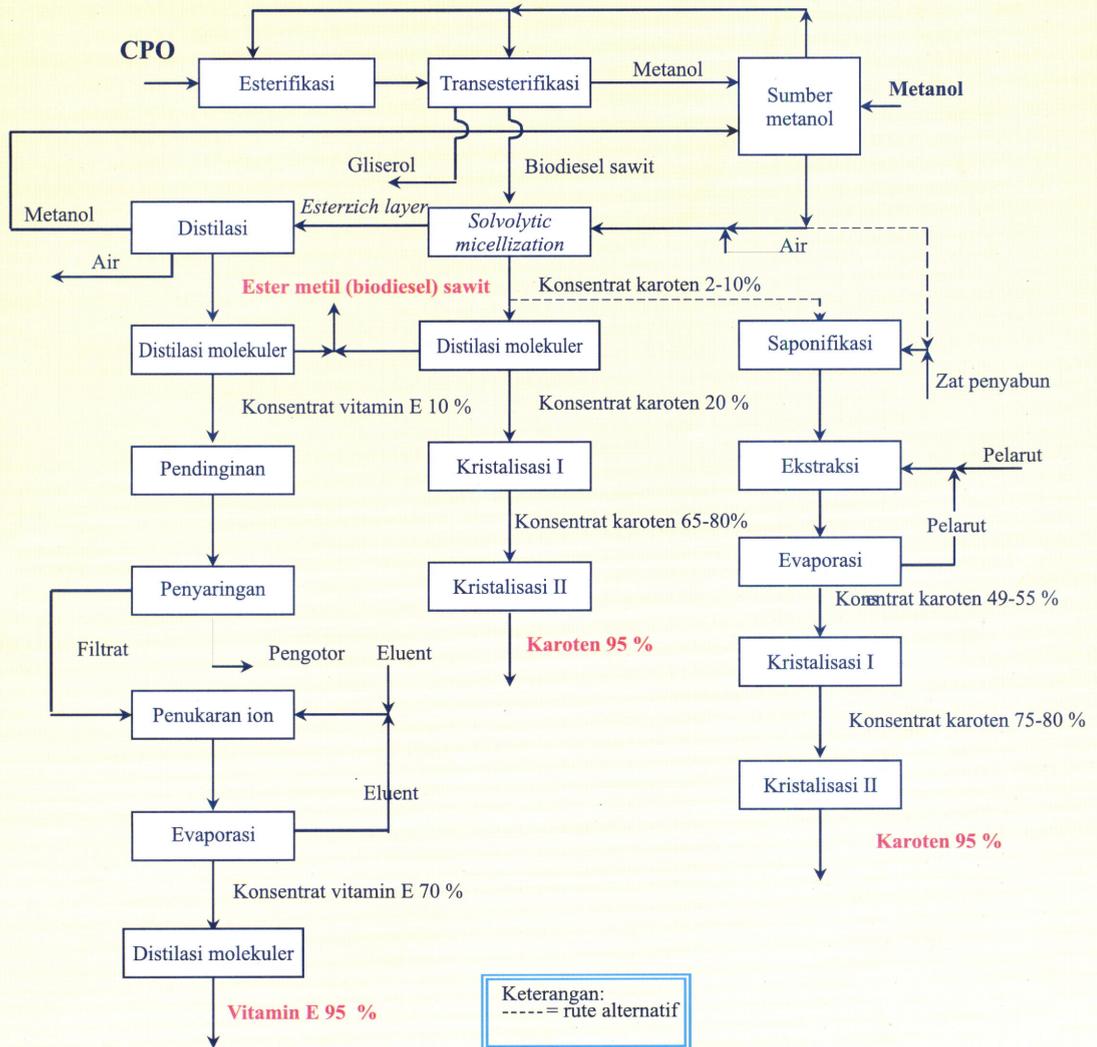
Kemudian proses kristalisasi lebih dipilih daripada adsorpsi karena:

- proses adsorpsi memerlukan banyak sekali eluent yang bersifat volatil, beracun, dan mahal (Tabel 3).

Untuk penjumlahan vitamin E, proses penukaran ion lebih dipilih daripada proses adsorpsi karena:

- proses penukaran ion telah terbukti dapat menghasilkan produk akhir vitamin E dengan kemurnian 95 %, sedangkan adsorpsi hanya menghasilkan konsentrat vitamin E 56,4 % (Tabel 3).

Dengan demikian, berdasarkan tahapan-tahapan proses yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, dapat disusun suatu kombinasi berupa rangkaian proses yang diharapkan akan lebih efektif dan efisien untuk diterapkan dalam upaya penjumlahan karoten dan vitamin E secara terpadu untuk memaksimalkan keuntungan dalam produksi biodiesel sawit. Secara garis besar, rangkaian proses tersebut dalam bentuk diagram blok adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram blok proses produksi terpadu karoten, vitamin E, dan biodiesel dari CPO secara garis besar

Pada Gambar 3 dapat dilihat tahapan-tahapan proses, aliran-aliran bahan, dan spesifikasi-spesifikasi utama aliran dalam proses terpadu produksi karoten, vitamin E, dan biodiesel dari CPO. Produk-produk akhir yang dihasilkan berupa kristal karoten dengan kemurnian minimal 95%,

vitamin E dengan kemurnian minimal 95%, dan bahan bakar biodiesel siap pakai.

Pada Gambar 3 tampak bahwa dalam proses terpadu tersebut, penggunaan metanol juga dapat diefisienkan melalui daur ulang terpadu. Metanol digunakan terutama untuk *solvolytic micellization*

dan direaksikan dalam jumlah berlebih dengan CPO menjadi biodiesel sawit.

Pembuatan biodiesel sawit berbasis PFAD dapat meningkatkan potensi perolehan keuntungan karena kadar tokoferol dan tokotrienol di dalam PFAD jauh lebih tinggi daripada di dalam CPO (Tabel 2).

Proses-proses yang telah diuraikan ini perlu diuji secara eksperimental dan

dioptimisasi pada setiap bagiannya untuk mendukung upaya realisasi dan komersialisasinya di Indonesia. Dengan demikian, peluang penggunaan biodiesel sawit sebagai bahan bakar akan semakin terbuka lebar dan keuntungan yang diperoleh dalam produksi biodiesel sawit dapat dimaksimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. D.C. Woollard, "Tocopherols: properties and Determination", Elsevier Science Ltd, 2003
2. S.H. Goh, Y.M. Choo, dan S.H. Ong, "Minor Constituents of Palm Oil", J. Am. Chem. Oil Soc. Vol 62 no 2, Feb 1985
3. <http://www.integratedhealth.com>
4. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 6th Ed, Vol 38, Wiley VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2003
5. "The Handbook of Solvents", Van Nostrand Limited, 1953
6. Barrie Tan, Mohammed H. Saleh, "Integrated Process for Recovery of Carotenoids and Tocotrienols from Oil", U.S. Patent no. 5,157,132, 20 Okt 1992
7. A.G.M. Top, L.W. Leong, A.S.H. Ong, T. Kawada, H. Watanabe, dan N. Tsuchiya, "Production of High Concentration Tocopherols and Tocotrienols from Palm Oil By-Products", US Patent no. 5190618, 2 Mar 1993
8. Edgar S. Lower, "Methyl esters of the fatty acids: Part 1", La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse Vol LXVII Agosto 1990, hal 397 - 406
9. Edgar S. Lower, "Methyl esters of the fatty acids: Part 2", La Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse Vol LXVII Ottobre 1990, hal 493 500
10. Frederick Khachik, "Process for Purification and Crystallization of Palm Oil Carotenoids", International Application Published under The Patent Cooperation Treaty (PCT) no. WO0204415, 17 Jan 2002
11. Yusof Basiron, "Research and Development Projects for Commercialisation from MPOB", Malaysian Palm Oil Board, 2004