

## PEMBUATAN EPOKSI METIL ESTER DARI ASAM LEMAK SAWIT DESTILAT MENGGUNAKAN ENZIM LIPASE SEBAGAI BIOKATALIS

Tjahjono Herawan, Azhar. R. Tarigan<sup>1)</sup>, Setiaty Pandia<sup>1)</sup>, dan Renita Manurung<sup>1)</sup>

**Abstrak** Senyawa epoksi merupakan produk kimia yang banyak digunakan sebagai bahan pelentur (*plasticizer*), stabiliser dan *coating* pada resin polimer, serta dapat juga digunakan sebagai pelumas. Senyawa epoksi dapat disintesis dari minyak atau lemak yang mempunyai asam lemak dengan ikatan rangkap dua atau lebih, seperti minyak sawit, asam lemak sawit destilat atau turunannya. Metil ester dari asam lemak sawit destilat diepoksidasi secara enzimatis menggunakan enzim lipase sebagai biokatalis pada konsentrasi, suhu dan waktu tertentu. Enzim lipase dari berbagai sumber seperti *Thermomyces lanuginosus* (Lipozyme<sup>®</sup>TL IM), *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) dan *Carica papaya* digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan nilai konversi relatif oksiran oksigen, dari tiga sumber enzim yang digunakan hanya enzim lipase dari *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) yang mampu mengepoksidasi metil ester asam lemak sawit destilat. Nilai oksiran oksigen maksimum yang diperoleh sebesar 2,43% (konversi 78,79%) pada konsentrasi Novozym<sup>®</sup>435 sebesar 5%, suhu 40°C dan waktu reaksi 42 jam.

**Kata kunci** : asam lemak sawit destilat, epoksi, lipase, metil ester, oksiran oksigen.

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Tjahjono Herawan (✉)  
Pusat Penelitian Kelapa Sawit  
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan, Indonesia  
Email: tjherawan@yahoo.com

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Almamater, Kampus USU, Medan

**Abstract** Epoxy is a chemical compound that mostly used as plasticizer, stabilizers and coatings on polymer resins, and can also be used as lubricant or grease. Epoxy compounds can be synthesized from oils or fats having fatty acids with two or more double bonds, such as palm oil, palm fatty acid distillate or its derivatives. Methyl ester from palm fatty acid distillate had been enzymatically epoxydized using lipase enzymes as biocatalyst in the certain catalyst concentration, temperature and reaction time. The enzyme lipase from various sources such as *Thermomyces lanuginosus* (Lipozyme<sup>®</sup>TL IM), *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) and *Carica papaya* were used in this study. Based on the relative conversion value of oxirane oxygen, only lipase from *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) indicated its capability to epoxidize methyl ester of palm fatty acid destilate. Maximum oxirane oxygen value obtained by 2.43% (78.79% conversion) at a concentration of the Novozym<sup>®</sup>435 by 5%, temperature of 40°C and reaction time of 42 hours.

**Keywords**: epoxy, lipase, methyl ester, oxirane oxygen, palm fatty acid destilate.

### PENDAHULUAN

Senyawa epoksi merupakan produk kimia yang dapat digunakan sebagai pelentur (*plasticizer*), stabiliser, *coating* pada resin polimer, dan adhesif (Holser, 2008). Senyawa epoksi juga dapat digunakan sebagai surfaktan dan agen anti korosif, aditif pada minyak pelumas, pelumas suhu tinggi dan bahan baku pestisida (Wu et al., 2000; Adhvaryu et al., 2002).

Secara alami senyawa epoksi dihasilkan oleh tumbuhan *Vernonia galamensis*, *Rivea ornata* dan *Euphorbia lagascae*. Tumbuhan-tumbuhan tersebut menghasilkan minyak yang mengandung asam Vernolat yang memiliki gugus epoksi pada rantai karbonnya (Ayorinde *et al.*, 1990; Hosamani *et al.*, 2000; Metzger *et al.*, 2006; Bhardwaj *et al.*, 2007). Selain itu, senyawa epoksi juga dapat disintesis dari minyak nabati yang mempunyai kandungan asam lemak tidak jenuh seperti minyak kedelai (Holse, 2008), *linseed oil* (Cartera. *et al.*, 2008), minyak *canola* (Mungroo *et al.*, 2008), *rapeseed oil* (Milchert *et al.*, 2009), minyak biji kapas (Dinda *et al.*, 2008), minyak biji karet (Okieimen *et al.*, 2002), minyak jarak (Goud *et al.*, 2007) dan minyak sawit (Tanaka *et al.*, 2008). Minyak sawit misalnya, mengandung asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*) yang hampir seimbang. Kandungan asam lemak jenuh minyak sawit terutama asam palmitat sekitar 32-47%, sedangkan kandungan asam lemak tidak jenuh terutama asam oleat berkisar 40-52% (Corley *et al.*, 1962).

Proses epoksidasi baik dari minyak nabati maupun turunannya terus dikembangkan. Namun pada umumnya proses epoksidasi dilakukan dengan menggunakan katalis kimia asam kuat sebagai oksidator seperti asam sulfat, asam parasetat, *ion exchange resin* dan sebagainya (Bjorkling *et al.*, 1990; Goud *et al.*, 2006a, 2006b; Mungroo *et al.*, 2008). Selain masalah penggunaan energi yang cukup besar, penggunaan katalis kimia memiliki kelemahan yaitu selain dihasilkan produk epoksi juga akan dihasilkan produk samping sebagai hasil degradasi oksiran seperti asam dihidroksi dan estolida (Ruesch. gen Klaas *et al.*, 1999). Oleh sebab itu belakangan ini dikembangkan kembali proses epoksidasi enzimatis untuk menghasilkan epoksi dari asam lemak dan minyak nabati dengan menggunakan biokatalisator. Biokatalisator yang digunakan dapat berupa enzim lipase bebas maupun yang telah diimobilisasi. Enzim lipase yang digunakan harus memiliki kemampuan untuk beraktifitas pada satu jenis substrat tertentu (*spesificity*) yang mengandung asam lemak tertentu (Ruesch. gen Klaas *et al.*, 1999; Vlcek *et al.*, 2006). Reaksi katalisis (umumnya) dilakukan dengan lipase terimobilis dan berlangsung pada kondisi yang

moderat ringan; oleh karena proses epoksidasi sangat sensitif terhadap asam, maka asam dikonversikan menjadi asam peroksi (perasam). Bjorkling *et al.* (1990) telah melakukan epoksidasi-Prileshajev *in situ* pada olefin sederhana dengan asam peroksi, yang dilakukan dengan cara ini. Reaksi katalitik menyertakan ikatan rangkap C=C dalam asam lemak tidak jenuh dan ester-esternya telah menjadi kajian selama beberapa tahun. Hal ini juga termasuk oksidasi C=C dengan asam parasetat, hidrogen peroksida dan donor oksigen tunggal lainnya.

Penggunaan reaksi enzimatis pada asam lemak dan minyak nabati memiliki beberapa keuntungan yaitu (i) kondisi reaksi sedang, yaitu campuran reaksi pada pH netral, (ii) ramah lingkungan (*Green Chemistry*), (iii) efisiensi katalis tinggi, (iv) pembentukan hidroperoksida stabil secara langsung dari asam lemak, yaitu tidak memerlukan penambahan asam asetat.

Asam lemak sawit destilat (ALSD) yang merupakan produk samping pabrik rafinasi minyak sawit belum banyak dimanfaatkan untuk pembuatan produk oleokimia, khususnya senyawa epoksi. ALSD sebagaimana minyak sawit mengandung asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan senyawa epoksi. Tulisan ini menyampaikan hasil penelitian mengenai pembuatan epoksi metil ester dari ALSD dengan menggunakan enzim lipase sebagai biokatalis. Kajian yang dilakukan meliputi pengaruh jenis, sumber dan konsentrasi biokatalis seperti *Thermomyces lanuginosus*, *Candida antarctica*, dan *Carica papaya*, suhu dan waktu reaksi terhadap konversi relatif oksiran oksigen.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan baku yang digunakan adalah metil ester asam lemak sawit destilat (Me-ALSD) yang disuplai oleh Laboratorium Oleokimia PPKS. Enzim yang digunakan sebagai katalis adalah enzim lipase dari *Thermomyces lanuginosus* (Lipozyme®TL IM), *Candida antarctica* (Novozym®435) yang masing-masing dibeli dari Novozymes A/S, Denmark dan *Carica papaya* yang

disuplai oleh PP Kimia LIPI, Serpong. Bahan kimia yang digunakan antara lain  $H_2O_2$  (30%) teknis, pelarut n-Heksan (p.a) dan beberapa bahan kimia untuk analisis. Penelitian dilakukan di Laboratorium Oleokimia, Kelompok Peneliti Pengolahan Hasil dan Mutu, Pusat Penelitian Kelapa Sawit.

#### Metode

Sebanyak 50 gr metil ester asam lemak sawit destilat (Me-ALSD) dilarutkan dalam 50 ml n-Heksan dan ditambahkan sejumlah 3, 5, 7, atau 9% enzim lipase (Novozym<sup>®</sup>435, Lipozyme<sup>®</sup>TL IM atau *Carica papaya*). Campuran dipanaskan pada media pemanas pada suhu 30, 40, 50, atau 60°C sambil diaduk dengan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 15 menit. Selanjutnya sebanyak 25 ml hidrogen peroksida ( $H_2O_2$  30%) ditambahkan tetes demi tetes, kemudian kembali campuran dipanaskan dan diaduk selama 68 jam. Pada akhir reaksi, enzim lipase dipisahkan dari campuran reaksi dengan cara penyaringan menggunakan kertas saring. Selanjutnya campuran dicuci dengan air untuk memisahkan  $H_2O_2$  sisa dan dijerap dengan penambahan sodium sulfat ( $Na_2SO_4$ ). Produk dipisahkan dari heksan dengan cara penguapan menggunakan *rotary evaporator*. Sampel dianalisis kandungan oksiran oksigen dan beberapa parameter lainnya dengan metode standar.

#### Analisis

Contoh dianalisis dengan menggunakan metode standar. Parameter yang dianalisis yaitu kandungan oksiran oksigen (AOCS Cd 9-57, (1989)), bilangan hidroksi (AOCS Cd- 13-60 (1989)), bilangan iod (AOCS Cd 1-25, (1989)) dan bilangan asam (Porim Test Methods, 1995). Sementara itu, analisis komposisi metil ester dan asam lemak bahan baku maupun produk dilakukan dengan menggunakan gas kromatografi (Shimadzu GC 148 dengan detektor FID, jenis kolom DB-1HT: 15 m x 0,25 mm ID, tebal film 0,1  $\mu$ m, *carrier gas*: Helium, *flushing gas*: Nitrogen, suhu oven 50°C, suhu injektor 400°C dan suhu detektor 400°C). Kehadiran gugus epoksi dikonfirmasi dengan analisis spektrum infra merah (FTIR).

Konversi relatif oksiran oksigen dihitung berdasarkan perbandingan kandungan oksiran

oksigen produk hasil percobaan dengan oksiran oksigen teoritis, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Konversi relatif oksiran oksigen} = (OO_{np}/OO_t) \times 100$$

dimana  $OO_{np}$  adalah kandungan oksiran oksigen produk hasil percobaan dan  $OO_t$  adalah kandungan oksiran oksigen teoritis yang dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$OO_t = \{(IV_o/2A_i)/100 + (IV_o/2A_i)A_o\} \times A_o \times 100$$

dimana  $IV_o$  adalah bilangan iod bahan baku,  $A_i$  (126,9) dan  $A_o$  (16,0) masing-masing adalah berat molekul iod dan oksigen.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Bahan Baku Me-ALSD

Bahan baku Me-ALSD yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kandungan metil miristat ( $C_{14:0}$ ) 1,15%, metil palmitat ( $C_{16:0}$ ) 51,76%, metil stearat ( $C_{18:0}$ ) 3,81%, metil oleat ( $C_{18:1}$ ) 36,10%, metil linoleat ( $C_{18:2}$ ) 6,98% dan metil linolenat ( $C_{18:3}$ ) 0,21% (Gambar 5a). Berdasarkan komposisi asam lemak pembentuk metil ester tersebut, kandungan Me-ALSD tidak jenuh mencapai 43%. Ikatan rangkap pada Me-ALSD tidak jenuh inilah yang kemudian akan bereaksi dengan oksigen membentuk gugus epoksida. Karakteristik lain dari Me-ALSD yang digunakan dalam penelitian ini adalah bilangan oksiran oksigen 0,01%, bilangan hidroksi 0,66 mgKOH/g, bilangan asam 5,89 mgKOH/g, dan bilangan iod 50,65 mg- $I_2$ /g. Secara teoritis oksiran oksigen dalam produk maksimum akan mencapai 3,09%.

### Seleksi Biokatalis untuk Epoksidasi Metil Ester ALSD

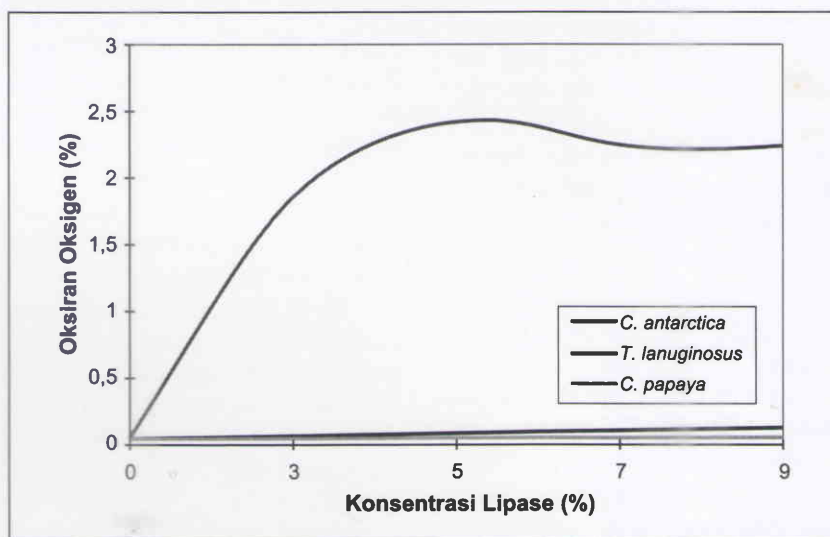
Seleksi biokatalis dilakukan untuk mengetahui efektifitasnya dalam suatu reaksi epoksidasi. Meskipun secara umum enzim yang digunakan adalah lipase yang mampu bekerja pada substrat asam lemak dan minyak, namun tidak semua jenis lipase mampu mengepoksidasi metil ester. Lipase dari berbagai sumber yaitu *Thermomyces lanuginosus*

(Lipozyme<sup>®</sup>TL IM), *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) dan *Carica papaya* dalam bentuk terimobilisasi diseleksi dalam penelitian ini.

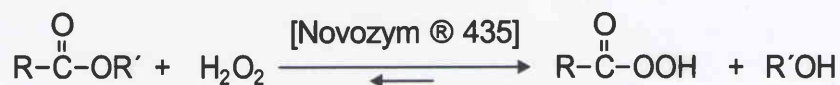
Dari ketiga jenis sumber lipase yang digunakan, Novozym<sup>®</sup>435 menunjukkan aktifitas untuk mengepoksidasi Me-ALSD yang jauh lebih tinggi dibandingkan kedua jenis lipase yang lain. Seperti terlihat pada Gambar 1, penggunaan Novozym<sup>®</sup>435 hingga 5% (b/b ester) meningkatkan nilai oksiran oksigen hingga 2,43% (konversi 78,79%) dalam waktu 24 jam. Sementara dengan menggunakan Lipozyme<sup>®</sup>TL IM dan *Carica papaya* masing-masing hanya mencapai 0,07% (konversi 2,17%) dan 0,03% (konversi 0,88%). Namun demikian, pemberian jumlah Novozym<sup>®</sup>435 lebih dari 5% akan menurunkan bilangan oksiran oksigen, sementara dengan menggunakan lipase dari sumber yang lain oksiran oksigen masih meningkat meskipun nilainya sangat rendah. Hal ini disebabkan enansiomer metil ester

lebih sesuai dengan bagian aktif (*active site*) lipase *Candida antarctica* (Haoude *et al.*, 2004).

Hasil ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ruesch gen. Klaas *et al.* (1999) yang menyatakan bahwa *Candida antarctica* selain dapat digunakan untuk reaksi antara asam lemak dengan hidrogen peroksida untuk membentuk asam lemak peroksida, juga dapat digunakan untuk reaksi antara ester karboksilat dengan hidrogen peroksida untuk membentuk asam perkarboksilat, sesuai dengan mekanisme reaksi pada Gambar 2. Asam perkarboksilat ini yang kemudian akan bereaksi dengan ikatan rangkap pada ester untuk selanjutnya membentuk senyawa ester epoksida. *Candida antarctica* juga tidak kehilangan reaktivitasnya pada konsentrasi hidrogen peroksida hingga 30% (Ruesch gen. Klaas *et al.*, 1999). Berdasarkan hasil di atas sejumlah 5% (b/b) Novozym<sup>®</sup>435 digunakan sebagai biokatalis pada reaksi epoksidasi selanjutnya.



Gambar 1. Pengaruh jenis dan konsentrasi lipase; *Thermomyces lanuginosus* (Lipozyme<sup>®</sup>TL IM), *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) dan *Carica papaya* terhadap perubahan bilangan oksiran oksigen pada suhu dan waktu reaksi masing-masing 40°C dan 24 jam.



Gambar 2. Mekanisme reaksi ester karboksilat dengan hidrogenperoksida.

### Pengaruh Suhu

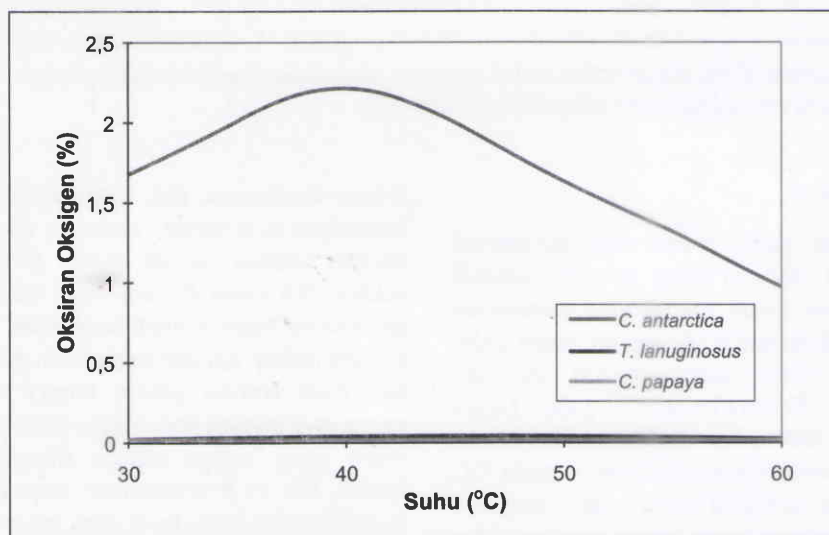
Suhu operasi merupakan hal yang sangat penting dalam suatu reaksi kimia. Demikian halnya dengan suatu reaksi yang melibatkan enzim sebagai katalis. Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi aktivitas enzim. Secara umum, laju reaksi meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Namun demikian, pada saat suhu meningkat, mobilitas protein pada enzim meningkat sementara interaksi ikatan hidrofobik menurun. Umumnya diatas suhu 45°C aktivitas katalisis enzim cenderung menurun (Athawale *et al.*, 2003).

Pengaruh suhu terhadap aktivitas enzim dalam reaksi epoksidasi dilakukan pada suhu antara 30°C hingga 60°C. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, bilangan oksiran oksigen tertinggi dicapai oleh lipase dari *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435). Pada suhu 30°C bilangan oksiran oksigen mencapai 1,67% (konversi 54,11%). Perolehan produk epoksi meningkat pada saat suhu dinaikkan hingga mencapai 40°C (oksiran oksigen 2,43%, konversi 78,79%). Namun pada saat suhu ditingkatkan hingga mencapai 50°C bahkan 60°C, nilai oksiran oksigen mengalami penurunan hingga berturut-turut 1,63% (konversi 52,71%) dan 0,97% (konversi 32,45%). Penurunan perolehan epoksi ini terutama disebabkan oleh berkurangnya aktivitas Novozym<sup>®</sup>435

pada suhu diatas suhu ambiennya. Demikian halnya yang terjadi pada reaksi epoksidasi dengan menggunakan enzim *Thermomyces lanuginosus* (Lipozyme<sup>®</sup>TL IM). Dengan menggunakan Lipozyme<sup>®</sup>TL IM, pada suhu 30°C oksiran oksigen hanya mencapai 0,02% (konversi 0,76%), pada suhu 40°C meningkat menjadi 0,07% (konversi 2,17%), dan pada suhu 50°C dan 60°C oksiran oksigen turun menjadi 0,02% (konversi 0,76 - 0,91%). Hal yang sama terjadi pada saat lipase dari *Carica papaya* digunakan sebagai biokatalis. Bahkan penurunan aktivitas enzim terjadi pada saat suhu dinaikkan menjadi 40°C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa suhu optimum untuk epoksidasi Me-ALSD menggunakan hidrogen peroksida dengan kehadiran enzim, khususnya Novozym<sup>®</sup>435 adalah 40°C. Nilai ini digunakan sebagai nilai *center point* dalam penelitian selanjutnya.

### Pengaruh Waktu Reaksi

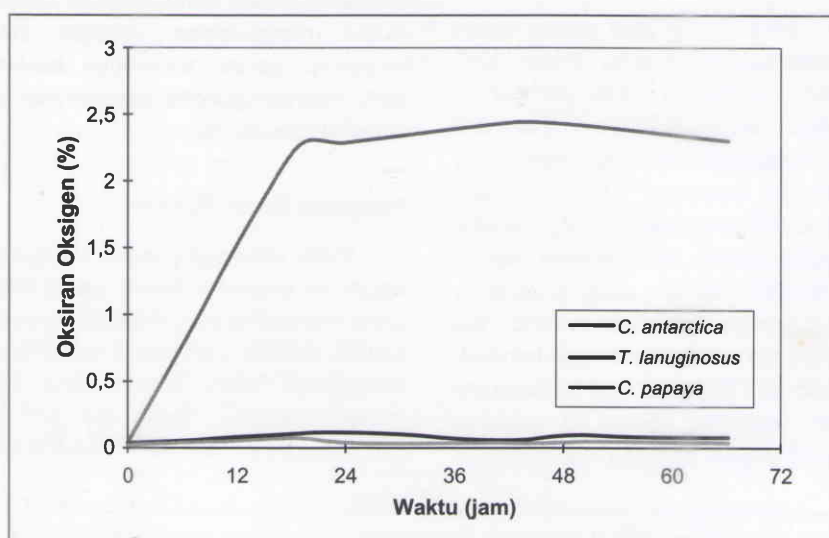
Pada umumnya, reaksi yang melibatkan katalis enzim berlangsung dalam waktu reaksi yang cukup untuk merombak atau mensintesa suatu substrat pada kondisi tertentu. Penentuan waktu reaksi adalah untuk mengetahui waktu terbaik yang dibutuhkan dalam reaksi epoksidasi. Reaksi dilakukan pada suhu 40°C dan konsentrasi ketiga biokatalis 5% (b/b). Reaksi



Gambar 3. Pengaruh suhu reaksi terhadap perubahan bilangan oksiran oksigen pada konsentrasi lipase 5% (b/b) dan waktu 24 jam.

berlangsung selama 66 jam dengan pengambilan contoh pada selang waktu tertentu. Dengan menggunakan *Candida antarctica* (Novozym®435) sebagai biokatalis, peningkatan oksiran oksigen yang tajam terjadi pada 18 jam pertama. Oksiran oksigen meningkat dari 0,01% menjadi 2,20% (konversi 71,2%). Oksiran oksigen meningkat hingga 2,43% (konversi 78,79%) pada saat reaksi dilanjutkan hingga 24 jam dan terlihat stabil pada saat reaksi mencapai 48 jam. Oksiran oksigen sedikit menurun menjadi 2,30% (konversi 74,16%) pada saat reaksi dilanjutkan hingga 66 jam. Pada tahap awal, reaksi antara metil ester

dengan hidrogen peroksida dengan kehadiran enzim membentuk asam perkarboksilat (Gambar 4) yang kemudian bereaksi dengan ikatan rangkap (C=C) pada ester membentuk gugus/cincin epoksida (C-O-C). Reaksi ini berjalan dengan cepat sebelum mencapai kesetimbangannya. Dalam kondisi asam pada umumnya gugus epoksi kurang stabil. Oleh sebab itu pada saat reaksi dilanjutkan hingga 66 jam, terjadi penurunan bilangan oksiran oksigen, karena terjadi degradasi gugus epoksi menjadi ikatan tunggal (C-C), di samping itu terjadi juga hidrolisis gugus ester (COOCH<sub>3</sub>) menjadi asam lemak (COOH).



Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi terhadap perubahan bilangan oksiran oksigen pada konsentrasi lipase 5% (w/w) dan suhu 40°C.

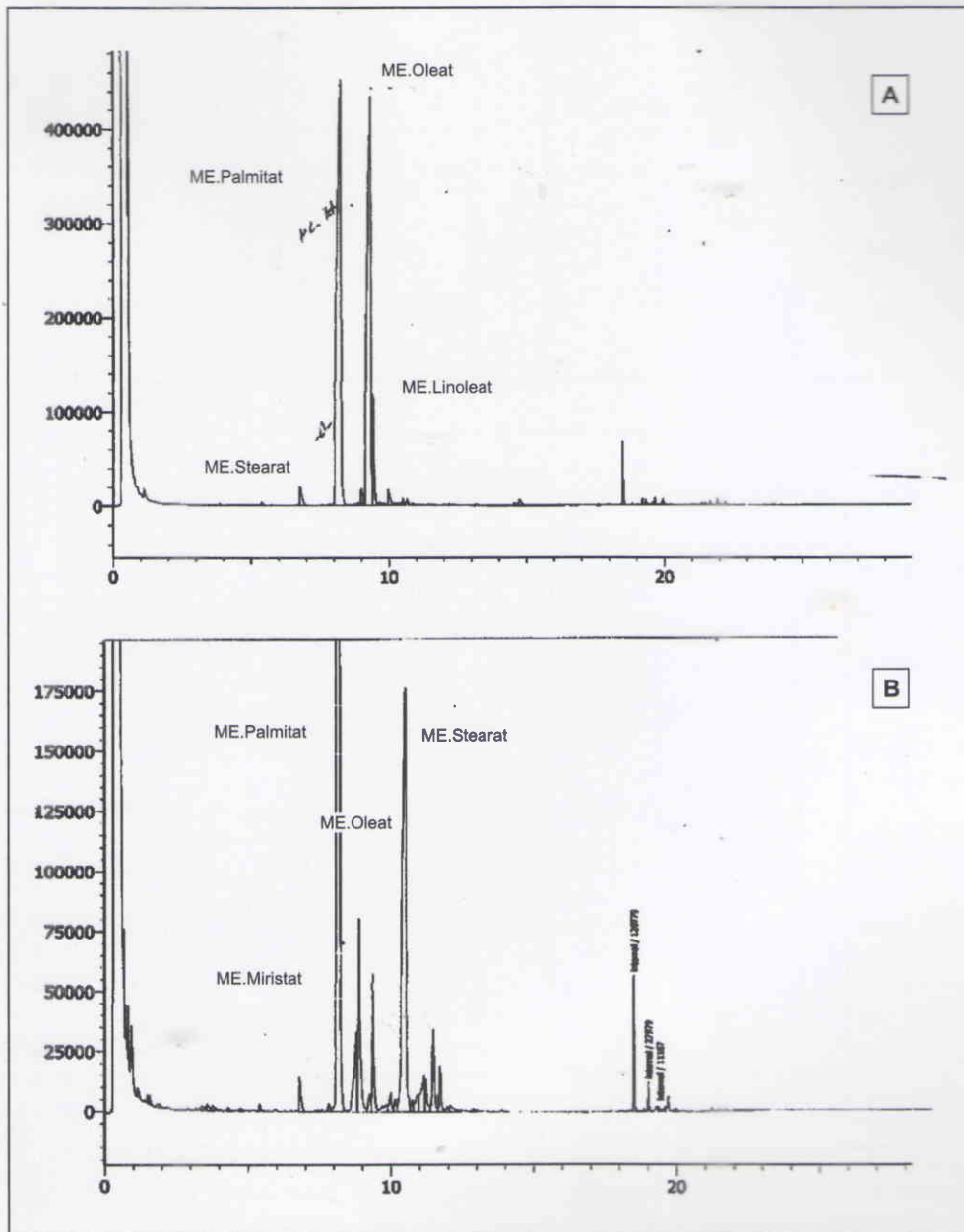
### Identifikasi Produk

Selama proses reaksi, produk hasil epoksidasi metil ester diikuti dengan cara analisis sampel menggunakan titrasi untuk mengetahui perubahan bilangan oksiran oksigennya. Selain itu, pada akhir reaksi, produk juga diidentifikasi dengan menggunakan kromatografi gas (*Gas Chromatography – GC*) untuk mengetahui kehadiran gugus epoksida. Dengan menggunakan metoda GC ini dapat diketahui senyawa metil ester, senyawa epoksi, gliserida maupun asam lemak yang mungkin dihasilkan. Gambar 5 menunjukkan kromatogram bahan baku (A) dan produk yang dihasilkan dari

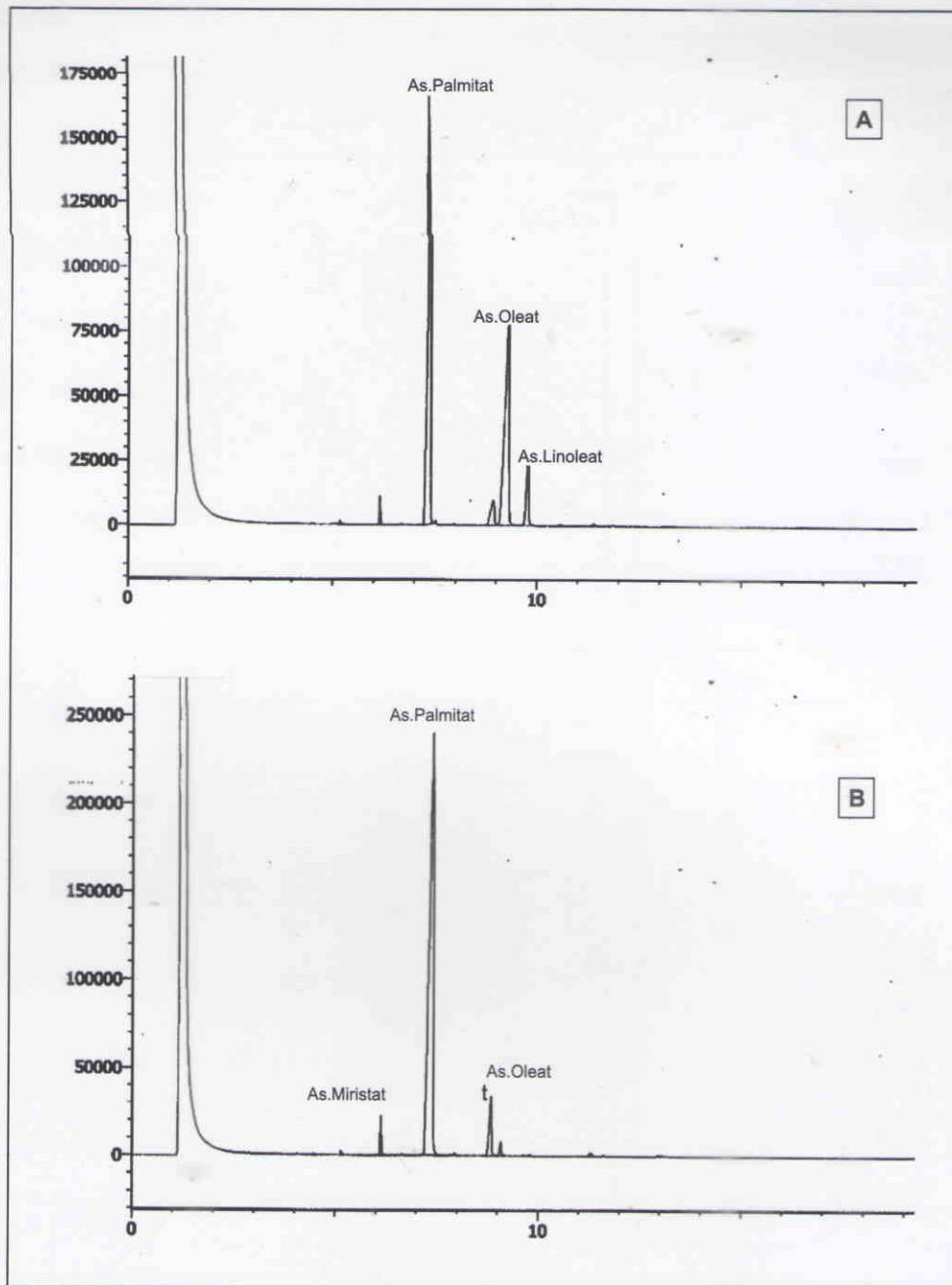
proses epoksidasi (B). Sebagaimana terlihat pada kromatogram tersebut, senyawa epoksi ditunjukkan dengan adanya puncak (*peak*) pada waktu tinggal sekitar 10,5 menit. Puncak yang sama tidak terdapat pada bahan baku. Kehadiran puncak senyawa epoksi ini juga diiringi dengan penurunan puncak metil oleat dan metil linoleat (waktu tinggal 9,5 menit) dan munculnya puncak pada waktu retensi 8,5 menit dan 9 menit yang diduga adalah puncak-puncak asam lemak. Hal ini menunjukkan terjadinya pemutusan ikatan rangkap pada metil ester tak jenuh. Hal ini juga dikonfirmasi dengan analisis komposisi asam lemak dengan menggunakan metode GC (Gambar 6) yang

menunjukkan penurunan puncak asam lemak oleat dan linoleat (B) dibandingkan dengan bahan baku. Produk epoksi metil ester juga dikonfirmasi dengan

analisis FTIR (Gambar 7), yang menunjukkan timbulnya gugus fungsi C-O-C (epoksi) pada bilangan gelombang  $1.247\text{ cm}^{-1}$  dan  $843\text{ cm}^{-1}$ .

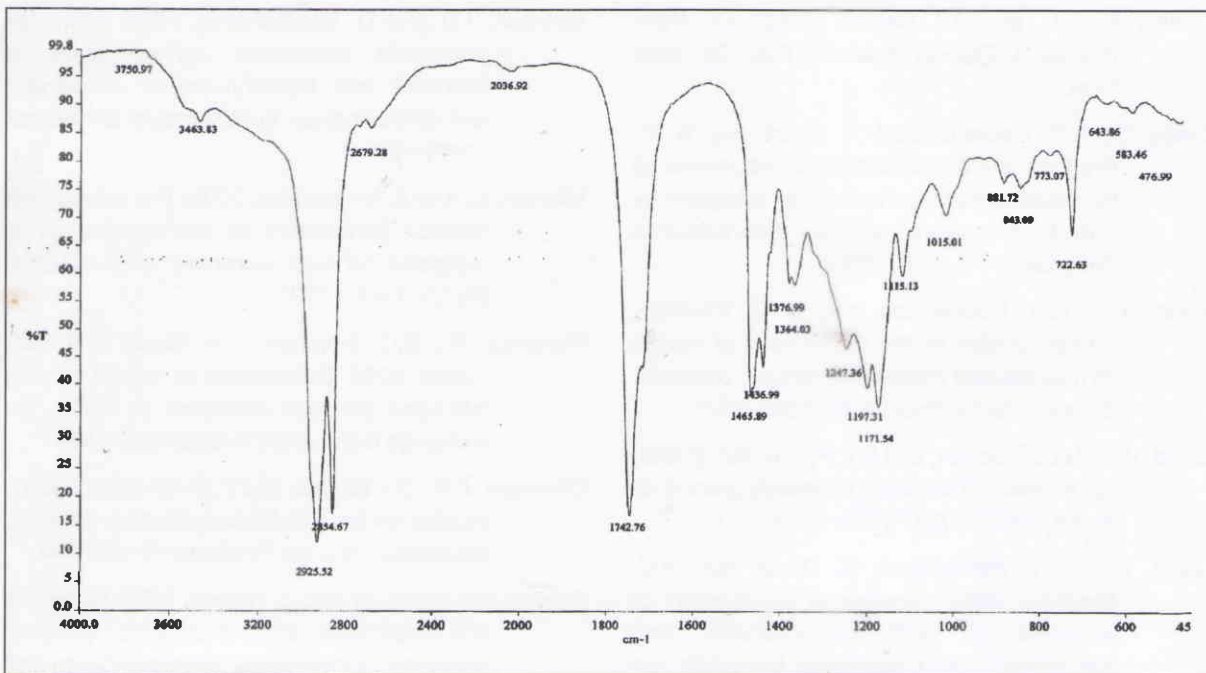


Gambar 5. Komposisi ester (berdasarkan GC), A) metil ester asam lemak sawit destilat (Me-ALSD); dan B) Epoksi metil ester.



Gambar 6. Komposisi asam lemak (berdasarkan GC), A) asam lemak metil ester ALSD; dan B) senyawa epoksi metil ester.





Gambar 7. Hasil Analisis FTIR Epoksi metil ester.

## KESIMPULAN

Meskipun secara umum enzim yang digunakan adalah lipase yang mampu bekerja pada substrat asam lemak dan minyak, namun tidak semua jenis lipase mampu mengepoksidasi metil ester. Dari ketiga jenis sumber lipase yang digunakan, lipase dari *Candida antarctica* (Novozym<sup>®</sup>435) menunjukkan aktifitas untuk mengepoksidasi Me-ALSD yang jauh lebih tinggi dibandingkan kedua jenis lipase yang lain. Laju epoksidasi metil ester sangat dipengaruhi konsentrasi enzim, suhu dan waktu reaksi. Nilai oksiran oksigen maksimum yang diperoleh sebesar 2,43% (konversi 78,79%) pada konsentrasi Novozym<sup>®</sup>435 sebesar 5%, suhu 40°C dan waktu reaksi 42 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

Adhvaryu, A. and S.Z. Erhan. 2002. Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants. *Industrial Crops and Products* 15: 247–254.

Athawale, V., N. Manjrekar, and M. Athawale. 2003. Effect of reaction parameter on synthesis of citronellyl methacrylate by lipase-catalyzed transesterification. *Biotechnol. Prog.* 19: 298-302.

Ayorinde, F.O., B.D. Butler, and M.T. Clayton. 1990. *Vernonia galamensis*: A rich source of epoxy acid. *JAOCS* 67 (11): 844-845.

Bhardwaj, H.L, A.A. Hamama, and D.A Dierig. 2007. Fatty acids in vernonia produced in the mid-atlantic region of the united states. *JAOCS* 84(4): 393 - 397.

Bjorkling, F., S.E. Godtfredsen, and O.Kirk. 1990. Lipase-mediated formation of peroxy-carboxylic acids used in catalytic epoxidation of alkenes. *J. Chem. Soc., Chem Commun.*:1301-1303.

Cartera, D.T., N. Stansfield, R.J. Mantle, C.M. France, and P.A. Smith. 2008. An investigation of epoxidised linseed oil as an alternative to PVC in flooring applications. *Industrial Crops and Products* 28: 309–319.

- Corley, R.V.H., and J.J Hardon. 1962. Oil Palm Research. Elsevier Scientific. Pub. Co., New York.
- Dinda, S., A.V. Patwardhan, V.V. Goud, and N. C. Pradhan. 2008. Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids. *Bioresource Technology* 99: 3737–3744.
- Goud, V.V., A.V. Patwardhan, and N. C. Pradhan. 2006a. Studies on the epoxidation of mahua oil (*madhumica indica*) by hydrogen peroxide. *Bioresource Technology* 97: 1365–1371.
- Goud, V.V., N.C. Pradhan, and A.V Patwardan. 2006b. Epoxidation of karanja (*pongamia glabra*) oil by  $\text{H}_2\text{O}_2$ . *JAOCS* 83(7): 635 – 640.
- Goud, V.V., A.V. Patwardhan, S. Dinda, and N.C. Pradhan. 2007. Kinetics of epoxidation of jatropha oil with peroxyacetic and peroxyformic acid catalysed by acidic ion exchange resin. *Chemical Engineering Science* 62(15): 4065–4076
- Holser, R. A. 2008. Transesterification of epoxidized soybean oil to prepare epoxy methyl esters. *Industrial Crops and Products* 27: 130–132
- Hosamani, K.M. and R. M. Sattigeri. 2000. Industrial utilization of *rivera ornata* seed oil: a moderate source of vernolic acid. *Industrial Crops and Products* 12: 93–96
- Houde, A., A. Kademi, and D. Leblanc. 2004. Lipases and their industrial application. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 118: 155 – 270.
- Metzger, J.O and U. Bomscheuer. 2006. Lipids as renewable resources: current state of chemical and biotechnological conversion and diversification. *Appl Microbiol Biotechnol* 71: 13 – 22
- Milchert, E. And A. Smagowicz. 2009. The influence of reaction parameters on the epoxidation of rapeseed oil with peracetic acid. *JAOCS* 86(12): 1227 – 1233.
- Mungroo, R., N.C. Pradhan, V.V Goud, and A.K. Dalain. 2008. Epoxidation of canola oil with hydrogen peroxide catalyzed by acidic ion exchange resin. *JAOCS* 85(9): 887 – 896.
- Okieimen, F.E., O.I. Bakare, and C.O. Okieimen. 2001. Studies on the epoxidation of rubber seed oil. *Industrial Crops and Products* 15: 139–144.
- Ruesch gen. Klaas, M. and S. Warwel. 1999. Complete and partial epoxidation of plant oils by lipase-catalyzed perhydrolysis. *Industrial Crops and Products* 9: 125–132.
- Tanaka, R., S. Hirose, and H. Hatakeyama. 2008. Preparation and characterization of polyurethane foams using a palm oil-based polyol. *Bioresource Technology* 99: 3810–3816
- Vlcek, T. and Z.S Petrovic. 2006. Optimization of chemoenzymatic epoxidation of soybean oil. *JAOCS* 83(3): 247 – 252.
- Wu, X., X. Zhanga, S. Yang, H. Chena, and D. Wang. 2000. The study of epoxidized rapeseed oil used as a potential biodegradable lubricant. *JAOCS* 77(5): 561–563