Optimasi pada Epoksidasi Asam Oleat sebagai Bahan Baku dalam Sintesis Asam 9,10-Dihidroksi Stearat (DHSA)

Optimization of Oleic Acid Epoxidation as Raw Material in Synthesis of 9.10-Dihydroxy Stearate (DHSA)

Maisaroh dan Indra Budi Susetyo

Pusat Teknologi Agroindustri, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
LAPTIAB, Gedung 611-612, Kawasan Puspiptek-Serpong, Telp.: (021)7560758 Ex. 7423

maisaroh@bppt.go.id

Riwayat Naskah:

Diterima 02, 2018
Direvisi 06, 2018
Disetujui 07, 2018

ABSTRAK: Sintesis asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA) dari asam oleat terepoksidasi merupakan salah satu upaya yang akan meningkatkan penggunaan, diversifikasi, dan nilai tambah minyak kelapa sawit. Berbagai variasi proses dilakukan pada optimasi epoksidasi asam oleat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter-parameter yang berpengaruh dalam epoksidasi asam oleat melalui rute asam performat (PFA). Selanjutnya, produk dianalisis menggunakan beberapa metode pengujian. Epoksidasi asam oleat dengan asam performat yang dibentuk secara in-situ dilakukan pada perbandingan mol asam oleat : asam formiat (HCOOH) : hidrogen peroksida (H₂O₂), 1:1:6. Suhu reaksi 65°C, waktu reaksi 75 menit dengan pengadukan menghasilkan epoksi asam oleat dengan nilai bilangan oksiran (OOC) 4,617% dan hasil epoksi relatif 88,9%. Epoksi asam oleat sebagai produk antara ini akan digunakan untuk tahapan selanjutnya (reaksi hidroksilasi) dalam sintesis DHSA.

Kata kunci: *scaling up*, DHSA, hidroksilasi, rute PFA, epoksidasi

ABSTRACT: The synthesis of 9,10-dihydroxy stearate acid (DHSA) of epoxidized oleic acid is one of the methods that will increase the use, diversification, and value added of palm oil. The wide variety of processes carried out on the optimization epoxidation of oleic acid. In this study experiments were conducted to determine the parameters that influence the epoxidation of oleic acid through the route performic acid (PFA). Furthermore, the products were analyzed using multiple testing methods. Epoxidation of oleic acid formed in-situ was performed at a mole ratio of oleic acid : formic acid (HCOOH) : hydrogen peroxide (H₂O₂), 1:1:6. The reaction temperature 65°C, reaction time of 75 minutes with stirring produced epoxy oleic acid with oxirane numerical values (OOC) 4.617% and a yield of 88.9% relative epoxy. Epoxy oleic acid as an intermediate product is to be used for the next stage (hydroxylation reaction) in the synthesis of DHSA.

Keywords: Scaling up, DHSA, hydroxylation, PFA route, epoxidation

1. Pendahuluan

Asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA) dengan rumus molekul C₁₈H₃₆O₄ merupakan senyawa hidroksil asam lemak yang memiliki sifat yang unik untuk berbagai aplikasi antara lain sebagai *emulsifier* antara fasa minyak/lilin gel dan air dalam formulasi kosmetik. DHSA memiliki berat molekul 316,476 g/mol, merupakan asam lemak rantai panjang yang mengandung dua gugus hidroksil di dalam struktur molekulnya (Koay *et al.* 2006). Struktur unik DHSA yang memiliki gugus fungsi hidroksi (-OH) dan gugus fungsi karboksil (-COOH), diterjemahkan ke dalam sifat-sifat yang menarik

seperti polaritas yang baik, berperilaku seperti asam lemak rantai panjang dan dapat dengan mudah mengikat senyawa polar (Aldrin *et al.* 2005).

Saat ini, DHSA telah sukses dihasilkan dari asam oleat berbasis kelapa sawit, melalui epoksidasi dengan asam performat (rute PFA) atau asam perasetat (rute PAA) diikuti oleh hidrolisis epoksida menggunakan katalis asam sulfat (Koay *et al.* 2009). Peningkatan proses untuk produksi hidroksil asam lemak berbasis kelapa sawit (DHSA) telah dipatenkan oleh Ahmad *et al.* 2009. Menurut Ahmad *et al.* 2009, asam oleat teroksidasi oleh asam performat yang dibentuk secara in situ,

dengan adanya hidrogen peroksida dan sejumlah katalis asam sulfat pekat menghasilkan lebih dari 98% dihidroksi atau polihidroksi asam lemak melalui hidrolisisnya. Khadijah, 2014, membuat DHSAs dari epoksidasi asam oleat melalui rute PFA menggunakan katalis asam sulfat dilanjutkan hidrolisis menggunakan air panas dan katalis alumina. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam oleat. Asam oleat adalah salah satu asam lemak yang merupakan produk industri oleokimia dasar terpenting dengan jumlah produksi tertinggi. Bahan ini dapat disintesis menjadi berbagai produk turunan, karena sebenarnya hampir semua produk oleokimia dasar dan hilir dapat diproduksi dari asam lemak. Bahan ini merupakan bahan dasar dalam industri oleokimia.

Metode yang sering digunakan untuk mensintesis epoksida adalah reaksi dari suatu alkena dengan suatu asam peroksi organik, baik dalam bentuk langsung asam peroksi maupun yang dibentuk in-situ dengan mereaksikan asam karboksilat (biasanya asam asetat) sebagai pembawa oksigen dengan hidrogen sebagai donor oksigen (Campanella *et al.* 2005). Epoksidasi juga dapat didefinisikan sebagai reaksi pembentukan gugus oksiran dengan cara oksidasi ikatan rangkap menggunakan oksidasi peroksi asam asetat dan katalis (Sinaga, 2007).

Pada dasarnya ada 4 teknologi yang dikenal untuk menghasilkan epoksida dari olefin (Turco, 2012):

- Epoksidasi dengan asam perkarboksilat (reaksi *Prileschajew*), asam perkarboksilat dibentuk in-situ oleh reaksi asam karboksilat dan hidrogen peroksida, dikatalisasi oleh asam atau enzim (Klass, 1999; Rios *et al.* 2005);
- Epoksidasi dengan katalis peroksida organik dan anorganik (Sharpless, *et al.* 1983);
- Epoksidasi dengan halohydrines (Guenter *et al.* 2003);
- Epoksidasi dengan molekular oksigen (Guenter *et al.* 2003).

Reaksi pembentukan asam performat merupakan reaksi eksotermis yang *reversible*. Reaksi utama yang melibatkan pembentukan cincin epoksi adalah reaksi tanpa katalis:

Konsentrasi hidrogen peroksida dan asam format yang berlebih dapat bereaksi dengan epoksi asam oleat dan menjadi penyebab reaksi samping yang tidak diinginkan. Reaksi samping yang mungkin terjadi selama proses epoksidasi dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Reaksi samping pembukaan cincin epoksi (Petrovic *et al.*, 2002)

Metode sintesis epoksidasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Epoksidasi In-Situ, menggunakan pereaksi asam format dan hidrogen peroksida. Pemilihan asam format sebagai peracid di dalam penelitian ini, karena asam format lebih reaktif dibandingkan dengan asam asetat, karena kereaktifannya itulah yang memicu pembukaan cincin oksiran lebih cepat dibandingkan dengan asam asetat (Salimon & Derawi, 2010) yang akan membantu proses hidroksilasi. Asam format lebih disukai dari pada asam asetat sebagai pembawa oksigen karena reaktifitas tinggi, tidak diperlukan katalis dalam pembentukan asam performat (Scala dan Wool, 2002).

2. Bahan dan Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan optimasi reaksi epoksidasi yang akan digunakan sebagai bahan baku reaksi hidroksilasi untuk *scaling up* proses sintesis asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA).

2.1. Bahan

Asam oleat teknis dengan kemurnian 77% diperoleh dari PT. Cisadane Raya Chemicals, asam format dari PT. Brataco, larutan hidrogen peroksida 50 b/b% dari PT. Peroksida Indonesia Pratama. Sedangkan bahan kimia yang lainnya untuk keperluan analisis diperoleh dari Merck.

2.2. Alat Percobaan

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor sintesis epoksidasi berkapasitas 3000 mL yang dilengkapi pendingin balik dan pengaduk. Pemisahan produk menggunakan sentrifuse "Centurion Scientific, Benchtop Centrifuges Seial No. 213778-2". Analisa bilangan Iodine dan bilangan Oksiran melalui metode titrasi menggunakan buret eppendorf Top Buret H".

2.3. Cara Pengolahan Data (Analisis)

Analisis bilangan iodine (iodine value/IV) menggunakan standar AOCS Official Method Cd 1d - 92.

Perhitungan Bilangan Iodin (IV g I₂/100 g sampel):

$$\text{Bilangan Iod} = \frac{(V_0 - V_s) \times 12,69 \times N_{Na_2S_2O_3}}{\text{berat sampel, g}} \quad (3)$$

Di mana V₀ adalah mL volume Na₂S₂O₃ titran untuk blangko (tanpa sampel), V_s adalah mL volume Na₂S₂O₃ titran untuk sampel, N Na₂S₂O₃ adalah konsentrasi Na₂S₂O₃ yang digunakan 0,1 N.

Data-data hasil percobaan epoksidasi yang berupa bilangan iod bahan baku asam oleat dan

produk epoksi asam oleat selanjutnya diolah menjadi nilai konversi epoksidasi.

Penentuan konversi (X) reaksi pada senyawa ikatan rangkap adalah ekuivalen dengan bilangan iod (IV), (Priya *et al.*, 2013), seperti persamaan berikut ini:

$$X (\%) = \left[\frac{(IV_0 - IV)}{IV_0} \right] \times 100 \quad (4)$$

dengan:

IV₀ = bilangan iod mula-mula (bahan baku asam oleat)

IV = bilangan iod produk epoksi

Bilangan iodine digunakan untuk menghitung bilangan oksiran teoritis (*the theoretical oxirane oxygen content* (OOC_t).

Perhitungan bilangan oksiran teoritis, OOC_t:

$$OOC_t = \left[\frac{(IV_0/2A_i)}{100 + (IV_0/2A_i)A_0} \right] A_0 \times 100 \quad (5)$$

Dengan A₁ (126,9045) dan A₀ (16,0000) adalah berat atom iodine dan berat atom oksigen. IV₀ adalah bilangan iodine dari sampel mula-mula.

Analisis bilangan oksiran hasil percobaan (oxirane oxygen content/OOC_e) menggunakan AOCS Official Method Cd 9-57.

Perhitungan Bilangan Oksiran (OOC_e):

$$\text{Bilangan Oksiran} = \frac{V_s \times 1,6 \times N_{HBr}}{\text{beratsampel, g}} \quad (6)$$

OOC_e adalah nilai oksiran yang diperoleh dari hasil percobaan, V_s adalah volume HBr titran untuk sampel, N HBr adalah konsentrasi HBr yang digunakan 0,1 N.

Bilangan oksiran digunakan untuk menghitung persen relatif konversi menjadi oksiran yaitu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Oks} = \frac{OOC_e}{OOC_t} \times 100 \quad (7)$$

$$\text{Degradasi Oksiran} = 100 - \% \text{ Oksiran} \quad (8)$$

Hasil perhitungan degradasi oksiran menunjukkan banyaknya cincin oksiran yang terbuka, semakin kecil oksiran yang terbentuk maka semakin kecil % oksiran sehingga degradasi semakin besar (Campanella dan Baltan'as, 2005). Epoksidasi dengan nilai degradasi oksiran yang besar (bilangan iodine rendah) menunjukkan bahwa pada epoksi tersebut telah mengalami pembukaan cincin oksiran.

Hasil epoksi relatif, % (Y) dihitung berdasarkan perbandingan bilangan oksiran maksimal yang dicapai pada eksperimen terhadap bilangan oksiran teoritis.

$$Y = \frac{OOC_{maks}^e}{OOC_t} \times 100 \quad (9)$$

2.4. Prosedur Kerja

Epoksidasi asam oleat menggunakan asam performat yang dibentuk secara in-situ dengan reaktan asam oleat, asam formiat dan hidrogen peroksida, variasi komposisi mol reaktan dilakukan dalam basis 1 mol asam oleat. Pada *scaling up* penelitian ini dilakukan variasi perbandingan mol reaktan, suhu reaksi, dan waktu reaksi serta pengaruh penambahan pelarut polar.

3. Hasil dan Pembahasan

Berbagai variasi besaran mol H_2O_2 (1, 3, 4, 5, 6, dan 10 mol) serta variasi mol asam formiat (1 dan 2 mol) dipelajari untuk membentuk Epoksi Asam Oleat sebagai bahan intermediet dalam memproduksi DHSAs. Data hasil percobaan epoksidasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Peningkatan suhu menunjukkan efek menguntungkan pada pembentukan asam perasetat. Hal ini mengakibatkan tidak hanya ditampilkan dalam lebih epoksidasi cepat, tetapi juga di tingkat yang lebih tinggi dari hidrolisis (pembelahan oxirane) dari produk. Reaksi epoksidasi pada suhu yang lebih rendah memberikan tingkat epoksidasi lebih rendah namun menyebabkan pembukaan cincin yang lebih rendah.

Waktu yang diperlukan untuk pencapaian nilai OOC maksimum pada temperatur yang berbeda (65 dan 70°C) ditunjukkan pada Gambar 2. Reaksi pada suhu yang lebih rendah (65°C) menunjukkan tren nilai OOC lebih tinggi sejak pada awal reaksi dibandingkan suhu 70°C. Hasil ini menunjukkan bahwa tingkat optimal dari epoksidasi dapat dicapai pada suhu reaksi rendah (65°C) di mana degradasi epoksida akan minimal.

Tabel 1. Nilai-nilai variabel reaksi dan maksimum oksiran epoksi percobaan epoksidasi yang dicapai pada epoksidasi asam oleat kapasitas reaktor 3000 mL

Run	Mol Rasio AO:AF:HP	Pelarut ^a	T (°C)	t (min)	IV ^b	X ^c	OOC _{max} ^e	Y ^d (%)
1	1 : 1 : 1	Tidak	65	15	17,77	79,55	2,97	49,56
2	1 : 1 : 3	Tidak	65	45	5,59	93,56	3,95	76,09
3	1 : 1 : 3	Tidak	70	30	9,87	88,64	3,76	72,39
4	1 : 1 : 4	Tidak	65	15	15,25	82,46	4,19	80,64
5	1 : 1 : 4	Ya	65	75	20,02	76,97	2,85	54,83
6	1 : 1 : 5	Tidak	65	30	9,61	88,94	4,02	77,40
7	1 : 1 : 6	Tidak	65	75	5,27	93,93	4,62	88,90
8	1 : 1 : 6	Ya	65	75	12,26	85,89	3,91	75,28
9	1 : 1 : 10	Tidak	65	60	8,14	90,63	3,61	69,43
10	1 : 1 : 10	Ya	65	30	19,32	77,77	0,12	2,18
11	1 : 2 : 6	Tidak	65	30	3,32	96,18	2,22	42,78
12	1 : 2 : 6	Tidak	65	75	1,04	98,80	1,56	30,07
13	1 : 2 : 6	Ya	65	15	5,36	93,83	4,37	84,12

^aPelarut yang ditambahkan pada Run 5, 8, 10 dan 13 adalah Heksana

^bIV (iodine value), bilangan iod. IV₀ = 86,9 dengan OOC_t = 5,19%.

^cKonversi ikatan rangkap, X.

^dyield epoksi, Y.

Gambar 2. Pengaruh temperatur reaksi terhadap bilangan oksiran pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan dengan perbandingan mol asam oleat : asam format : hidrogen peroksida, 1:1:3; dan variasi temperatur reaksi 65°C dan 70°C.

Gambar 3. Pengaruh konsentrasi H₂O₂ terhadap bilangan oksiran pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan dengan variasi mol hidrogen peroksida pada temperatur reaksi 65°C.

Berbagai rasio mol asam oleat : asam format : hydrogen peroksida (1 : 1 : 1, 1 : 1 : 3, 1 : 1 : 4, 1 : 1 : 5, 1 : 1 : 6, dan 1 : 1 : 10) dipelajari untuk membentuk epoksi asam oleat. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai OOC meningkat karena konsentrasi H₂O₂ meningkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio mol 1:1:6 memberi nilai OOC 4,617% dengan konversi ikatan rangkap 93,93% dan yield epoksidasi 88,9%. Nilai OOC yang

diamati untuk rasio mol 1:1:1; 1:1:3; dan 1:1:4 mengalami penurunan dibandingkan dengan rasio mol 1:1:5; 1:1:6; dan 1:1:10. Stabilitas cincin oksiran untuk penggunaan mol H₂O₂ sebesar 1, 3, dan 4 mol adalah sangat rendah. Nilai maksimal OOC yang dapat dicapai terjadi pada rasio mol 1:1:6 pada waktu reaksi 75 menit dan suhu reaksi 65°C. Proses epoksidasi adalah eksotermik dan asam peroksi konsentrasi tinggi harus dihindari.

Pengaruh konsentrasi H_2O_2 terhadap nilai iodium dari epoksi asam oleat telah ditunjukkan pada Gambar 4, yaitu nilai iodium mencapai hampir 0 untuk rasio mol 1:1:5 dan 1:1:6. Hal ini mungkin disebabkan konversi penuh ikatan rangkap untuk cincin oksiran yang telah terjadi. Laju reaksi meningkat karena konsentrasi hidrogen peroksida

dalam sistem meningkat. Namun, stabilitas cincin oksiran sangat rendah untuk konsentrasi tinggi H_2O_2 seperti pada rasio mol 1:1:10. Stabilitas cincin oksiran untuk kondisi reaksi ini buruk. Untuk konsentrasi H_2O_2 yang lebih tinggi pada suhu yang sama, konversi relatif terhadap oksiran menurun lebih cepat (Goud *et al.*, 2006).

Gambar 4. Pengaruh konsentrasi H_2O_2 terhadap bilangan iodium pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan dengan variasi mol hidrogen peroksida pada temperatur reaksi 65°C.

Gambar 5. Pengaruh konsentrasi hcooh terhadap bilangan oksiran pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan dengan variasi perbandingan mol asam format pada temperatur reaksi 65°C.

Gambar 6. Pengaruh konsentrasi HCOOH terhadap bilangan iodin pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan dengan variasi perbandingan mol asam oleat : asam format : hidrogen peroksida dan temperatur reaksi 65°C.

Asam format bertindak sebagai katalis dalam pembentukan cincin oksiran dan sebagai reaktan dalam hidrolisis cincin oksiran. Untuk mencapai nilai OOC makmal, jumlah asam yang optimal harus digunakan, di mana keduanya akan mempengaruhi jumlah asam performat yang diproduksi. Asam format bertindak sebagai katalis dalam pembentukan cincin oksirana dan sebagai reaktan dalam hidrolisis cincin oksirana. Untuk mencapai nilai OOC maksimum, jumlah asam optimum harus digunakan di mana keduanya akan mempengaruhi jumlah asam performat yang dihasilkan.

Gambar 5 menunjukkan tingkat epoksidasi menurun karena konsentrasi HCOOH dalam sistem meningkat. Nilai OOC maksimum (4,617%) dari epoksi asam oleat diperoleh pada 75 menit untuk reaksi menggunakan perbandingan mol 1:1:6, dengan konversi ikatan rangkap 93,93% dan hasil epoksidasi 88,9%. Untuk rasio mol 1:2:6, nilai OOC diperoleh menurun dengan cepat setelah 30 menit reaksi. Gambar 6 menunjukkan pengaruh konsentrasi asam format terhadap bilangan iodin, tercapai bilangan iodin terendah pada penambahan asam format 2 kali mol asam oleat.

4. Hasil dan Pembahasan

Produk epoksi yang dihasilkan pada penelitian ini akan digunakan sebagai bahan baku (*intermediate* produk) dalam pembuatan asam 9,10-dihidroksi stearat (DHSA), maka epoksidasi optimal yang dipilih adalah yang memiliki nilai OOC tinggi, yield oksiran tinggi dan konversi ikatan rangkap tinggi. Epoksi optimal dengan OOC tinggi dan yield oksiran tinggi diperoleh pada reaksi epoksidasi asam oleat yang dilakukan pada suhu reaksi 65°C dan waktu reaksi 75 menit dengan

perbandingan mol rasio asam oleat : asam format : hidrogen peroksida yaitu 1 : 1 : 6, sedangkan epoksi optimal berdasarkan dengan konversi ikatan rangkap dicapai maksimum pada perbandingan mol rasio 1 : 2 : 6 yaitu 98,8%.

Daftar Pustaka

- Ahmad, S., Hoong, S., Sattar, N., Yusof, Y.M., Hassan, H.A., and Awang, R.,(2009), *Palm-based hydroxy fatty acid*, United States Patent No. US 7560578 B2. (Jul. 14, 2009).
- Aldrin, A.H.Z., Ismail, R., and Ahmad, S., (2005), *Safety Evaluation for Dermal and Ocular Irritation of Palm Dihydroxystearic Acid as a Cosmetics Ingredient*, Journal of Oil Palm Research vol. 17 December 2005, pp. 160-167.
- AOCS Official Method Cd 1d-92, (2011), *Iodine Value of Fats and Oils Cyclohexane-Acetic Acid Method*.
- AOCS Official Method Cd 9-57, (2011), *Oxirane Oxygen*. Oxirane Oxygen. AOCS Official Method Cd 9-57, (2011).
- Awang, R., Ahmad, S., Kang, Y.B.,and Ismail, R., (2001), *Characterization of dihydroxystearic acid from palm oleic acid*, Journal of the American Oil Chemists' Society, 78, pp. 1249-1252.
- Campanella A, M.A. Baltan'as, (2005), *Degradation of the oxirane ring of epoxidized vegetable oils with hydrogen peroxide using an ion exchange resin*, Catal, Today 107-108, 208-214.
- Goud V V, Patwardhan A V and Pradhan N C, (2006), *Epoxidation of Karanja (Pongamia glabra) oil by H₂O₂*, Journal of the American Oil Chemists Society, July 2006, Volume 83, pp 635-640.
- Guenther S, Rieth R, and Rowbottom KT. 2003, sixth ed. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, vol. 12 Wiley-VCH.
- Ismail, Z., (2006), Private Communication. Advanced Oleochemical Technology Division, Malaysian Palm Oil Board, Lot 9 & 11, Jalan P/14, Seksyen 10, 43650 Bandar Baru Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia.
- Jumat Salimon and Darfizzi Derawi, (2010), *Optimizing on Epoxidation of Palm Olein by Using Performic Acid*, E-journal of Chemisty 2010, 7(4), 1440-1448.
- Klaas, MR and Warwel S, (1999), *Complete and partial epoxidation of plant oils by lipase-catalysed perhydrolysis*, Ind. Crops Prod. 9 (2):125-132.

- Koay, G. F. L., Abdullah, L. C., Yunus, R., Choong, S. Y. T., Siwayanan, P. & Salmiah, A, (2006), *Crystallization of dihydroxystearic acid (DHSA) produced from commercial grade palm oil based crude oleic acid employing isopropyl alcohol as solvent*, International Journal of Engineering and Technology, 3, 115–124.
- Koay, G.F.L., Guan, C.T., Zainal-Abidin, S., Ahmad, S. and Choong, T.S.Y., (2009), *Habit and morphology study on the palm-based 9,10-dihydroxystearic acid (DHSA) crystals*, Materials Chemistry and Physics, 114, pp. 14–17.
- Okieimen F E, Bakare O I and Okieimen C O, Ind Crops Prod., 2002, 15, 139-144.
- Priya Deshpande, Sujay Mahajan, Ravindra Kulkarni, Pramod, (2013), *Synthesis and Characterization of Chemically Modified Epoxidized Mustard Oil for Biolubricant Properties*, International Journal of applied Engineering Research; ISSN 0973-4562.
- Rigano, L.M., (2003), *Use and advantages of palm oil derivatives in decorative cosmetics*, In: Proceedings of the PIPOC 2003 International Palm Oil Congress (Oleochemical), 7-14. Malaysian Palm Oil Board, Malaysia.
- Rios LA, Weckes P, Schuster H, and Hoelderich WF, (2005), *Mesoporous and amorphous Ti-silicas on the epoxidation of vegetables oils*. J. Catal. 232:19–26.
- Rosnah, I., Zahariah, I., Salmiah, A., Roila, A. and Rigano, L M., (2004), *Dihydroxystearic acid, a new palm oil derivative and its esters: properties and application in decorative cosmetics*, Poster presentation at 23rd IFSCC Congress 2004, Orlando, USA.
- Scala JL, Wool RP, (2002), *The effect of fatty acid composition on the acrylation kinetics of epoxidized triacylglycerols*, J Am Oil Chem Soc 79(1):59–63.
- Sharpless KB, Woodard SS, and Finn MG, (1983), *On the mechanism of titanium-tartrate catalyzed asymmetric epoxidation*, Pure Appl. Chem. 55:1823–1836.
- Sinaga, (2007), *Pengaruh katalis H₂SO₄ pada reaksi epoksidasi metil ester PFA (Palm Fatty Acid Distillate)*, Jurnal Teknologi Proses, 6 (1), pp. 70-74.
- Siti Khadijah Jamaludin, Noorfazlida Mohamed, Mohd Jumain Jalil, Ahmad Rafizan Mohamad Daud, (2014), *Formation of Dihydroxystearic Acid from Hydrolysis of Palm Kernel Oil Based Epoxidized Oleic Acid*, Journal of Applied Science and Agriculture, 9(11) Special 2014, 86-92.
- Turco, R. (2012). *Industrial Catalytic Processes Intensification Through the Use of Microreactors*. PhD Thesis in Chemical Sciences 24th cycle, University of Naples Federico II. Departement of Chemistry, 21-30.