

PERKEMBANGAN RISET DAN PENGGUNAAN MINYAK NABATI TEREPOKSIDASI SEBAGAI BAHAN PEMLASTIS KARET DAN PLASTIK

Research and Application of Epoxidised Vegetable Oil as Rubber and Plastic Plasticizer

Norma A. Kinasih dan Adi Cifriadi

Pusat Penelitian Karet, Jl. Salak No.1 Bogor 16151, email: bptk@puslitkaret.co.id

Diterima tgl 18 Desember 2012/Disetujui tgl 11 Maret 2013

Abstrak

Penggunaan bahan pemlastis dalam pembuatan barang jadi karet dan plastik digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas polimer dan pendispersian bahan pengisi di dalam matrik. Terdapat beberapa jenis bahan pemlastis yang digunakan dalam pembuatan produk karet dan plastik antara lain adalah: bahan pemlastis golongan parafinik, aromatik, naftenik, ftalat, dll. Pemlastis golongan ftalat yang banyak digunakan pada karet NBR dan plastik PVC saat ini mulai dibatasi karena dapat mengakibatkan efek karsiogenik dan mencemari lingkungan, sehingga penelitian tentang bahan pemlastis untuk substitusi bahan pemlastis golongan ftalat telah banyak dilakukan. Minyak nabati terepoksidasi merupakan salah satu bahan yang berpeluang untuk mensubtitusi bahan pemlastis golongan ftalat. Sintesis minyak nabati terepoksidasi dilakukan melalui reaksi epoksidasi minyak nabati yang salah satu sintesisnya menggunakan asam perkarboksilat. Dalam reaksi ini, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil diantaranya: jumlah dan jenis katalis, jumlah dan jenis pereaksi, jenis minyak nabati, waktu, suhu, dan kecepatan pengadukan selama berlangsungnya reaksi. Nilai bilangan iod dan oksiran merupakan pengujian yang digunakan untuk mengamati derajat konversi pembentukan minyak nabati terepoksidasi. Tulisan ini memaparkan reaksi pembentukan minyak nabati terepoksidasi, aplikasi penggunaannya, dan peluang pengembangan industri minyak nabati terepoksidasi.

Kata kunci: pemlastis, minyak nabati, karet, plastik

Abstract

The utilizing of plasticizer on rubber and plastic products processing is to increase flexibility of polymer and filler dispersion in matrix. There are several types of rubber and plastic plasticizers such as: plasticer group of paraffinic, aromatic, naphthenic, phtalat, etc. Plasticer group of phtalat are widely used on NBR rubber and PVC plastic products manufacturing. But nowadays, this application has decreased because of its carsinogenic effect on human body and contamination on environment. Many research on finding substitution of phatalat plasticer have been developed. One of the material which have chance to substitute it is epoxidized vegetable oil. The synthesis of the epoxidized vegetable oil held by percarboksilat acid reaction. There are many factors to control this reaction such as; amount and kind of catalyst, amount and kind of reagent, kind of vegetable oil, time, temperature and speed of mixing. The conversion of epoxidized vegetable oil figuration measured by iod and oxirane number method. In this paper will described about reaction, application, and industrial opportunity of epoxidized vegetable oil.

Keywords: plasticizer, vegetable oil, rubber, plastic

Pendahuluan

Pemlastis merupakan bahan *additive* yang luas digunakan dalam industri, karet dan plastik. Bahan ini bersifat tidak mudah menguap dan memiliki berat molekul yang ringan. Kegunaan utama pemlastis adalah untuk meningkatkan fleksibilitas dan mempermudah pemrosesan polimer dengan menurunkan Tg (*glass transition temperature*) serta meningkatkan pendispersian bahan pengisi di dalam matrik. Pemlastis biasanya digunakan sebanyak 5-15 phr (*part per hundred rubber*).

Jenis pemlastis untuk karet NBR dan plastik PVC yang umum digunakan adalah kelompok ftalat yang berbahan dasar minyak bumi. Sekitar 80% kebutuhan dunia menggunakan dioktil ftalat (DOP), diisononil ftalat (DINP) dan diisodecyl ftalat (DIDP) (Karaukoph dan Godwin, 2005). Pemlastis plastik PVC yang umumnya digunakan untuk industri makanan antara lain dietilheksil adipat (DEHA), dietilheksil ftalat (DEHP), dan jenis polimerik (Sheftel, 2000).

Penggunaan pemlastis jenis ftalat ini dinilai berbahaya karena dapat bermigrasi ke lingkungan (Yu Q, 2005 dalam Greco *et al.*, 2010). Beberapa studi melaporkan bahwa ditemukannya senyawa ftalat yang bermigrasi ke udara (Atlas dan Giam, 1981), permukaan air (Michael *et al.*, 1984), sampah rumah tangga (Hartmann dan Ahring, 2002), beberapa sampel makanan, susu ibu menyusui, debu dan tekstil (Bruns dan Pfordt, 2000). Pelepasan ftalat menyebabkan melimpahnya polutan tersebut ke lingkungan. Selain itu dapat mengganggu kesehatan seperti menyebabkan cacat pada janin, kanker, dan terganggunya sistem reproduksi (James *et al.*, 1975 dan Awang 1995 dalam Saefurohman, 2008). EPA's Toxic Release Inventory menggolongkan ftalat sebagai senyawa toksik. Bahkan mulai tahun 2006, Uni Eropa telah mengeluarkan larangan penggunaan jenis ester ftalat (Tullo, 2005).

Salah satu alternatif pengganti pemlastis ftalat adalah pemlastis berbahan dasar minyak nabati terepoksidasi. Beberapa studi melaporkan bahwa minyak nabati terepoksidasi mampu digunakan sebagai pemlastis dalam karet NBR (Riyanti, 1992) dan PVC baik sebagai pemlastis dan penstabil tambahan (*secondary plasticizer and stabilizer*) ataupun pemlastis utama (*primary plasticizer*) (Gall dan Greenspan, 1958; Gan *et al.*, 1994; dan Karmalam *et al.*, 2009). Selain itu penggunaan pemlastis berbahan dasar minyak nabati memiliki keunggulan yaitu berbahan dasar terbarukan dan bersifat alami sehingga aman untuk lingkungan dan kesehatan.

Mekanisme Reaksi Epoksidasi dengan Asam Perkarboksilat

Epoksidasi merupakan reaksi antara asam peroksi organik dan senyawa yang berikatan rangkap (termasuk asam lemak tak jenuh dalam minyak nabati) untuk membentuk senyawa oksiran (epoksida). Menurut Rios (2003), pada dasarnya terdapat 4 metode epoksidasi yaitu dengan asam perkarboksilat, dengan peroksida organik dan anorganik, dengan halohidrin, dan dengan molekul oksigen.

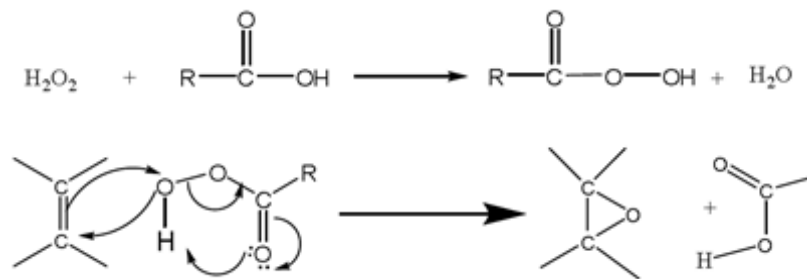
Epoksidasi minyak nabati dengan asam perkarboksilat pada skala industri umumnya dilakukan dengan menggunakan asam peroksiasetat dan asam peroksiformat. Asam peroksi ini umumnya digunakan pada reaksi *in situ* dengan kondisi reaksi tertentu. Keuntungan menggunakan teknik *in situ* antara lain mengurangi pemakaian H_2O_2 dan menghemat biaya (Swern, 1982). Reaksi epoksidasi dapat berlangsung dengan baik dengan menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) yang berlebih (Gall dan Greenspan, 2003). Pada mulanya, reaksi epoksidasi berlangsung dengan pembentukan asam peroksiasetat atau asam peroksiformat melalui reaksi antara hidrogen peroksida dan asam asetat atau asam format. Kemudian asam peroksiasetat atau asam peroksiformat berfungsi sebagai donor atom oksigen pada ikatan rangkap dalam minyak atau metil ester (Campanella dan Baltanas, 2005) untuk membentuk cincin oksiran. Mekanisme reaksi epoksidasi menggunakan asam perkarboksilat disajikan pada Gambar 1.

Selama berlangsungnya reaksi epoksidasi akan terbentuk beberapa reaksi samping yang menghasilkan: air, asam format/asam asetat yang berlebih, hidrogen peroksida yang berlebih, dan minyak nabati yang tidak bereaksi. Reaksi samping yang dihasilkan dari reaksi epoksidasi (Gambar 2) dapat menyebabkan pembukaan cincin oksiran (Petrovic *et al.*, 2001). Gamage *et al.* (2009) menyatakan bahwa penyebab terbukanya cincin oksiran tersebut bersifat asam sehingga harus dihilangkan dari reaksi. Netralisasi

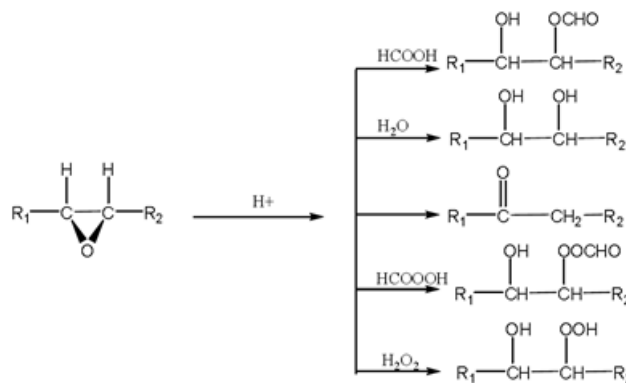
dapat dilakukan dengan pencucian bertahap menggunakan larutan jenuh sodium karbonat (50oC), air hangat (50°C), dan magnesium sulfat anhidrat (Pérez, *et al.*, 2009).

Keberhasilan reaksi epoksidasi dievaluasi melalui perhitungan bilangan iodin dan oksiran. Bilangan iodin merupakan ukuran ketidak jenuhan atau banyaknya ikatan rangkap pada asam lemak. Sementara itu, nilai oksiran merupakan ukuran banyaknya jumlah gugus oksiran (epoksi) yang terbentuk. Kedua nilai ini saling berkebalikan, semakin rendah nilai iod yang dihasilkan maka semakin tinggi nilai oksiran yang terbentuk. Evaluasi iodin

dan oksiran dapat dilakukan menggunakan uji FTIR. Penurunan nilai iod ditemukan pada panjang gelombang sekitar 3007, sedangkan keberadaan cincin oksiran ditemukan pada panjang gelombang sekitar 823 (Pérez, *et al.*, 2009). Optimasi keberhasilan reaksi ditentukan oleh beberapa kondisi proses seperti jumlah dan jenis katalis, jumlah dan jenis pereaksi, jenis minyak nabati, waktu, suhu, dan kondisi pengadukan selama berlangsungnya reaksi. Beberapa kondisi optimum reaksi pada pembentukan minyak nabati terepoksidasi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Mekanisme reaksi epoksidasi dengan asam perkarboksilat (Kwart dan Hoffman, 1966 dalam Tarigan, 2009)



Gambar 2. Reaksi samping pada reaksi epoksidasi (Gamage *et al.*, 2009)

Aplikasi Penggunaan Minyak Nabati Terepoksidasi pada Karet dan PVC

Plasticizer merupakan bahan yang dapat mengurangi gaya intermolekul dalam rantai polimer, meningkatkan fleksibilitas dan elongasi serta mempermudah proses pengolahan karet. Terdapat dua tipe *plasticizer* yaitu *plasticizer* yang bekerja secara kimiawi (*chemical active type*) biasa disebut *peptizer*.

Pelunakan terjadi akibat pemutusan rantai molekul karet sehingga rantai molekul menjadi lebih pendek dan karet menjadi lemas seperti plastik. Tipe yang kedua bekerja secara fisika biasa disebut *softener* atau bahan pelunak, mengakibatkan *slidding effect*, dan pelumasan intramolekul. Dalam pembuatan barang jadi PVC, minyak nabati digunakan sebagai bahan pelunak.

Tabel 1. Kondisi optimum reaksi epoksidasi minyak nabati

Rujukan	Jenis minyak nabati	Jenis pereaksi	Jenis katalis	Kondisi optimum reaksi	Hasil reaksi epoksidasi
Wahid, A.A. (2007)	Jarak pagar (<i>J. curcas</i>)	a.asetat glacial (AA), toluene, H ₂ O ₂ (HP)	Bentonit	T=70 ⁰ C, t=36 jam, konsentrasi katalis 3%	Oksiran=2,37%, Iod=29,64 (gI/100 g)
Diana, W. (2007)	Jarak pagar (<i>J. curcas</i>)	a.asetat glacial, toluene, H ₂ O ₂	Zeolit	T=70 ⁰ C, t=36 jam, konsentrasi katalis 3%	Oksiran=1,33% Iod=59,86 (gI/100 g)
Pérez <i>et al.</i> (2009)	Canola	a.asetat glacial, H ₂ O ₂	Amberlite IR-120	T=60 ⁰ C, t=5 jam, perbandingan molar AA:C=C=0,5:1 dan HP:C=C=2:1	Oksiran=6,5%, Iod=0,8 (g I/100 g)
Mayer <i>et al.</i> (2008)	Jarak pagar dan kedelai	a.format, H ₂ O ₂	-	T=70 ⁰ C, t=5 jam, perbandingan C=C: H ₂ O ₂ =1:1,7	Oksiran EJO=4,75%, Oksiran ESO=6,13%.
Suharto, J. (2007)	Jarak pagar (<i>J. curcas</i>)	a.asetat glacial, toluene, H ₂ O ₂	Amberlite IR-120	T=70 ⁰ C, t=12 jam, konsentrasi katalis 3%	Oksiran=3,61%, Iod=17,46 (gI/100 g).
Haryati dan Siswanto. (1991)	Sawit	a.asetat glacial, n-heksan, H ₂ O ₂	Amberlite IR-120	T=70-75 ⁰ C, t=14 jam, konsentrasi n-heksan 20%	Oksiran=1,99%
Saefurohman (2008)	Jarak pagar (<i>J. curcas</i>)	a.asetat glacial, toluene, H ₂ O ₂	Amberlite R-120	T=70 ⁰ C, t=12 jam, konsentrasi katalis 4%	Oksiran=4,2%, Iod=7,12 (gI/100 g)
Gamage <i>et al.</i> (2009)	Minyak dari buah mee (MM), buah neem (MN), dan biji karet (BK)	a.format (AF), H ₂ O ₂	-	T=60 ⁰ C, t=3 jam, perbandingan mol C=C:AF:HP= 2:1:4	Iod MM=14,7%, epoksidasi MM=75%, Iod MN=9,2%, epoksidasi MN=85%, Iod BK=19%, epoksidasi MN=84%.

Kompatibilitas dan sifat permanen merupakan kunci yang dipertimbangkan dalam pemilihan *plasticizer*. Epoksidasi minyak CPO menunjukkan kompatibilitas yang baik dalam karet sebagai processing aid (Ahmad *et al.*, 1987). Gall dan Greenspan (1953) menambahkan bahwa epoksidasi ester menunjukkan kompatibilitas yang baik pula dengan PVC, nitroselulosa, etilselulosa, polistiren dan metil metakrilat. Kompatibilitas dengan PVC dapat diperbaiki bila kandungan

oksiran dalam senyawa epoksi ditingkatkan. Besarnya nilai penurunan iod dapat pula meningkatkan waktu penggunaan *plasticizer* pada matriks polimer. Karmalam *et al.* (2009) menyatakan bahwa penurunan nilai iod minyak kedelai teroksidasi dari 13 ke 3 dapat meningkatkan tiga kali waktu penggunaan *plasticizer* pada matriks PVC, penurunan nilai iod lebih dari nilai tersebut (sekitar 1), dapat menggandakan waktu penggunaannya. Beberapa studi menerangkan

bahwa pemlastis minyak nabati terepoksidasi memiliki kompatibilitas yang baik pada PVC, baik sebagai pemlastis dan penstabil tambahan (*secondary plasticizer and stabilizer*) ataupun pemlastis utama (*primary plasticizer*) (Gall dan

Greenspan, 1958; Riyanti, 1992; Gan *et al.*, 1994; dan Karmalam *et al.*, 2009). Beberapa contoh penggunaan minyak nabati terepoksidasi dan aplikasinya pada karet NBR dan plastik PVC disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aplikasi minyak nabati terepoksi pada karet NBR dan plastik PVC

Rujukan	Jenis minyak epoksidasi	Aplikasi minyak nabati terepoksidasi	Hasil aplikasi minyak nabati terepoksidasi
Riyanti, (1992)	<i>Crude palm oil</i>	NBR-PVC	Secara umum minyak epoksi (3,5% oksiran) sebanyak 5 phr memberikan hasil analisis fisika terbaik pada barang jadi baik sebelum (^a) dan setelah pengusangan (^b) dengan waktu vulkanisasi = 33,7 menit; kekerasan ^a = 83,5 shore A, kekerasan ^b = 84,5 shore A; tegangan putus ^a = 23,6 N/mm ² , tegangan putus ^b = 23,4 N/mm ² ; perpanjangan putus ^a = 420%, perpanjangan putus ^b = 185%; modulus ^a = 8,5 N/mm ² modulus ^b = 15,2 N/mm ² ; pengembangan volume = 0,15% dan tahan terhadap ozon (kondisi uji = 24 jam, paparan ozon = 25pphm, suhu = 50°C)
Karmalam <i>et al.</i> (2009)	<i>Soyabean oil</i>	PVC	Minyak kedelai epoksidasi mampu sebagai pelunak utama dalam aplikasi PVC. Hal ini dibuktikan dari hasil analisa <i>Yellow index</i> yang menurun setelah pengusangan 100°C selama 72 jam sebesar 5 dan hasil analisa UV-Vis spectra yang menunjukkan penurunan pada panjang gelombang 400 nm setelah pengusangan. Hasil ini mengindikasikan bahwa banyak <i>squance</i> polyene yang terbentuk pada interaksi PVC dan ESBO. Interaksi yang terjadi ini dikuatkan oleh hasil data analisis MALDI dan <i>ion chromatography</i> sebesar 5,3% (wt%) ESBO telah bereaksi dengan HCl, diasumsikan hanya 1 klorin yang bereaksi dengan masing-masing molekul ESBO.
Fore <i>et al.</i> (1958)	<i>Jajoba oil</i>	PVC	Minyak jajoba epoksidasi (EJO) hanya mampu digunakan sebagai pelunak sekunder dalam aplikasi PVC. Hasil ini diperoleh dari hasil pengujian fisika yang menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan penggunaan DOP (di-2-ethylhexyl phthalate) atau TCP (tricesyl phosphate) secara tunggal/pelunak utama. Formulasi 5 phr EJO + 30 phr DOP menghasilkan tegangan putus = 2.980 psi; modulus 100% = 1.620 psi; perpanjangan putus = 320%; titik rapuh = -35°C; % <i>volatility loss</i> = 0,90. Sedangkan formulasi DOP 35 phr menghasilkan tegangan putus = 3.040 psi; modulus 100% = 1.590 psi; perpanjangan putus = 340%; titik rapuh = -33°C; % <i>volatility loss</i> = 0,90.
Gan <i>et al.</i> (1994)	Turunan stearin dan olein minyak sawit	PVC	Penggunaan kombinasi turunan stearin minyak sawit (butil ester/BuE, Decil ester/De dan Dodecil ester/Dode) dan DOP sebagai pelunak sekunder PVC menunjukkan hasil analisis fisika yang fluktuatif. Hasil optimum dicapai Do:DOP = 40:20 phr dengan nilai tegangan putus = 1,2 kg/mm ² dan perpanjangan putus = 240%. Penggunaan minyak epoksidasi turunan olein minyak sawit sebagai pelunak utama pada PVC menunjukkan hasil epoksi metil ester (EpME) dan epoksi etyl ester (EpEt) menghasilkan plastik yang lebih lunak, lebih rendah tegangan putus dan lebih tinggi perpanjangan putus dibandingkan dengan DOP. Sedangkan epoksi butil ester (EpBu) dan epoksi benzyl ester (EpBz) menghasilkan plastik yang lebih keras, lebih rendah tegangan putus dan lebih tinggi perpanjangan putus dibandingkan dengan DOP. Hasil optimum diperoleh EpBz yang memiliki hasil analisis fisika terbaik dan nilai volatilitas terendah dibandingkan DOP.

nabati nasional untuk merambah industri pemlastis. Beberapa faktor pendukung antara lain; ketersediaan sumber daya alam minyak nabati yang dimiliki, belum berkembangnya industri deversifikasi minyak nabati terepoksidasi di dalam negeri dan ketersediaan iptek (ilmu pengetahuan dan teknologi) dalam bidang epoksidasi minyak nabati. Potensi sumber daya minyak nabati dalam negeri yang dapat digunakan adalah minyak jarak dan minyak kelapa sawit, mengingat tingginya kandungan asam lemak tidak jenuh minyak. Kandungan asam lemak tidak jenuh minyak sawit dan jarak terutama adalah asam oleat sebanyak 40-52% (Corley dan Hardon, 1976) dan 34,3-45,8% (Gubitz *et al.*, 1999).

Proses produksi minyak nabati dengan cara epoksidasi merupakan cara modifikasi minyak nabati yang relatif sederhana (Gan *et al.*, 1994). Beberapa studi mengenai optimasi proses produksi minyak sawit dan jarak pagar melalui proses epoksidasi telah dilakukan dengan kondisi reaksi (suhu, waktu, pereaksi, kecepatan pengadukan, dan katalis) tertentu (Gan *et al.*, 1994; Sinaga, 2005; Wahid, 2007; Diana, 2007; Saefurohman, 2008; Meyer *et al.*, 2008; Purwanto *et al.*, 2011). Hasil penelitian Gamage *et al.*, (2009) menambahkan bahwa produksi beberapa jenis minyak nabati epoksidasi dalam skala besar (*scale up*) dapat dilakukan dengan tanpa menurunkan kualitas nilai oksiran minyak epoksidasi yang dihasilkannya. Penjabaran mengenai potensi pendukung tersebut memungkinkan berkembangnya industri minyak nabati epoksidasi nasional.

Kesimpulan

Reaksi epoksidasi merupakan reaksi pembentukan rantai oksiran dari ikatan tak jenuh minyak nabati dan asam peroksiformat. Keberhasilan reaksi ini ditunjukkan oleh nilai iod dan oksirannya, yang nilainya saling berkebalikan. Minyak nabati hasil reaksi epoksidasi dapat digunakan pada PVC sebagai pemlastis dan penstabil tambahan ataupun pemlastis utama. Kompatibilitas minyak nabati terepoksidasi pada PVC, ketersediannya peluang pasar dan beberapa

faktor pendukung yang dimiliki industri minyak nabati nasional memungkinkan industri pemlastis ini berkembang di tanah air.

Daftar Pustaka

- Ahmad, S., Y. C. Leong, I. Mohamed, and E. L. Ong. 1987. Potential application of epoxidized palm oil in plastic and rubber industries. Palm Oil Conferences, Conferences II: Technology 29 June – 1 July 1987
- Atlas, E. and C. S. Giam, 1981. Global transport of organic pollutants: ambient concentrations in the remote marine atmosphere. *J. Science*, 211(4478), 163–165
- Bruns, W. E. and J. Pfordt, 2000. Determination of phthalic acid esters in foodstuffs, mother's milk, dust, and textiles (research article). *Umweltwissenschaften Schadstoff-Forschung*, 12(3), 125–130
- Campanella, A. and M. A. Baltanas. 2005. Degradation of the oxirane ring of epoxidized vegetable oils in liquid-liquid system: II. Reactivity with solvated acetic and paracetic acid. *Latin Am App Res.* 35, 211-216
- Corley, R. V. H. and J. J. Hardon. 1976. Oil palm research. Elsevier Scientific Pub. New York, United States America
- Cotton, F. H. 1962. Factice as an aid to productivity in the rubber industry. National College Rubber Technology
- Diana, W. 2007. Optimasi reaksi epoksidasi metil ester jarak pagar dengan katalis zeolit sebagai pemlastis alternatif. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Fore S. P., F. C. Magne, and W. G. Bickford. 1958. Epoxidized jojoba oil as stabilizer for vinyl chloride containing plastics. *J. of The American Oil Chemists' Society*, 35: 469-472
- Gamage, P. K., M. O'Brien, and L. Karunanayake. 2009. Epoxidation of some vegetable oils and their hydrolysed products with peroxyformic acid-optimised to industrial scale. *J. Nat Sci. Foundation Srilanka*, 37(4), 229-240

- Gan, L. H., K. S. Ooi, S. H. Goh, L. M. Gan, and Y. C. Leong, 1995. Epoxidized esters of palm olein as plasticizers for poly(vinyl chloride). *Eur. Polym J*, 31 (8), 719-724
- Gall, R. J. and F. P. Greenspan. 1953. Epoxy compound from unsaturated fatty acid ester. *Industrial and Engineering Chemistry*, 47 (1), 147-148
- Gall, R. J. and F. P. Greenspan. 1958. Vinyl epoxy plasticizers. *Industrial and Engineering Chemistry*, 50 (6), 865-867
- Gall, R. J. and F. P. Greenspan. 2003. Epoxy fatty acid plasticizer. *Industrial and Engineering Chemistry*, 45, 2722-2726
- Greco, A., D. Brunetti, G. Renna, G. Mele, and A. Maffezzoli. 2010. Plasticizer for poly (vinyl chloride) from cardanol as a renewable resource material. *Polymer Degradation and Stability*, 95, 2169-2174
- Gubitz, G. M., M. Mittelbach, and M. Trabi. 1999. Exploitation of tropical seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresour Tech*, 67, 73-82
- Haryanti, T. dan O. Siswantoro, 1991. Pembuatan minyak sawit epoksi. *Menara Perkebunan*, 59(4), 124-128
- Hartmann, H. and B. K. Ahring. 2002. Phthalic acid esters found in municipal organic waste: enhanced anaerobic degradation under hyper-thermophilic conditions. Preprint of Proc. of the Third International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Wastes, Munich.
- Hill, K. 2000. Fats and oils as oleochemical raw materials. *Pure Appl Chem*, 72, 1255-1254
- Hoffman, W. 1967. Vulcanization and vulcanizing agents. *Mc Laren and Sons Ltd, London*.
- Klaas, M. R. and S. Warwel, 1999. Complete and partial epoxidation of plant oils by lipase-catalysed perhydrolysis. *Ind Crops Prod*, 9, 125-132
- Karmalam, P., T. Hjertberg, A. Jansson, and R. Dahl. 2009. Thermal stability of poly (vinyl chloride) with epoxidised soybean oil as primary plasticizer. *Polymer Degradation and Stability*, 94, 2275-2281
- Karaukoph, L. G. and A. Goodwin. 2005. Plasticizers in. In Charles, E.W., C.A. Daniels, J.W. Summer. *PVC Handbook*. Carl Hansen Verlag, Munich.
- Mayer, P., N. Techaphattana, S. Manundawe, S. Sangkeaw, W. Junlakan, and C. Tongurai. 2008. Epoxidation of soybean oil and jatropha oil. *J. Sc. Tech*, 13, 1-5
- Michael, P. R., W. J. Adams, A. E. Werner, and O. Hicks. 1984. Surveillance of phthalate esters in surface waters and sediments in the US. *Environ Toxicol Chem*, 3(3), 377-389
- Mondragon, F. A., R. Iranpour, and B. K. Ahring. 2003. Toxicity of di-(2-ethylhexyl) phthalate on the anaerobic digestion of water sludge. *Water Research*, 37, 1260-1269
- Petrovic, Z. S., A. Zlatanovic, C. C. Lava, and F. S. Sinadinovic, 2002. Epoxidation of soybean oil in toluene with peroxyacetic and peroxyformic acid-kinetics and side reaction. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 104, 293-299
- Pérez J. D. E. P., D. M. Haagenson, S. W. Priyor, C. A. Ulven, and D. P. Wiensenborn, 2009. Production and characterization of epoxidized canola oil. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 52 (4), 1289-1297
- Priyde, E. and J. Rothfus. 1999. Industrial and nonfood uses of vegetable oils. *McGraw Hill, New York*.
- Purwanto, E., E. Savitri, dan C. A. Sivananda, 2011. Optimasi suhu dan konsentrasi asam asetat pada reaksi epoksidasi metal ester minyak sawit. *J. Teknik Kimia*, 5 (2), 769-773
- Riyanti, N. 1992. Minyak epoksi dari CPO sebagai processing aid pada pembuatan barang jadi karet nitril-butadiena-PVC. Skripsi. Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Rios, L. A. 2003. Heterogeneously catalyzed reaction with vegetable oils: epoxidation and nucleophilic epoxide ring opening with alcohol. Dissertation. The Institute of Chemical Technology and Heterogeneous Catalysis. RWTH Aachen University, Germany
- Saefurohman, A. 2008. Epoksida minyak jarak pagar sebagai pemlastis film polivinil klorida. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor

- Sheftel, V. O. 2000. Harmful substances in plastics. In *Indirect Food Additives and Polymers -Migration and Toxicology*. CRC Press LLC, Florida.
- Sinaga, M. S. 2005. Epoksidasi minyak sawit dengan proses in situ. *Jurnal Teknologi Proses*, 4(2), 34-39
- Suharto, J. 2007. Kinetika dan optimasi reaksi epoksidasi metil ester jarak pagar dengan katalis emberlit IR-120. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor
- Swern, D. 1982. *Bailey's industrial oil and fats product*. John and Wiley Sons, New York.
- Tarigan, A. R. 2009. Pembuatan senyawa epoksi dari metil ester lemak sawit destilat secara enzimatis. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara, Medan
- Tullo, H. A. 2005. Cutting out phatalates polyvinyl chloride applications haven't been flexible enough to accept alternatives to phatalate esthers. *Chem and Eng News*, 83, 29-31
- Wahid, A. A. 2007. Optimasi reaksi epoksidasi metal ester jarak pagar dengan katalis bentonit. Skripsi. Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor, Bogor