

## KAJIAN PEMBUATAN BAHAN PELUNAK KARET BERBASIS HAYATI DARI MINYAK JARAK MELALUI REAKSI HIDROGENASI

*Study of Bio Based Plasticizer Preparation from Castrol Oil through Hydrogenation Reaction*

Santi Puspitasari dan Adi Cifriadi

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

Diterima tgl 28 Desember 2011 / Disetujui tgl 30 Maret 2012

### Abstrak

Bahan bantu olah digunakan secara luas oleh industri barang jadi karet. Salah satu kelompok bahan bantu olah adalah bahan pelunak. Saat ini, bahan pelunak utamanya disintesis dari bahan baku yang bersumber pada minyak bumi misalnya minyak parafinik. Minyak jarak berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan pelunak karet berbasis hayati menggantikan bahan pelunak sintetik. Dalam tulisan ini diuraikan potensi bahan pelunak karet berbasis hayati yang dibuat melalui reaksi hidrogenasi minyak jarak. Reaksi hidrogenasi minyak jarak dengan senyawa *diimide* akan mengadisi ikatan rangkap C=C dalam minyak tersebut. Senyawa *diimid* dihasilkan melalui reaksi oksidasi hidrasin hidrat oleh hidrogen peroksida menggunakan katalis logam. Pada reaksi transfer hidrogenasi terbentuk hasil samping berupa gas N<sub>2</sub> dan air. Air harus dipisahkan agar diperoleh minyak terhidrogenasi yang murni. Mutu minyak jarak terhidrogenasi yang tinggi diperoleh dari hasil reaksi transfer hidrogenasi yang optimal. Mutu minyak jarak terhidrogenasi diklasifikasikan terutama berdasarkan bilangan iod minyak tersebut. Minyak terhidrogenasi tipe I mempersyaratkan bilangan iod sebesar 0-5 sedangkan tipe II sebesar 55-80. Minyak jarak terhidrogenasi memiliki rantai molekul lurus yang menyerupai minyak parafinik sehingga cocok digunakan untuk jenis karet sintetik seperti EPDM dan IIR

Kata kunci: bahan pelunak, reaksi hidrogenasi, minyak jarak, karet

### Abstract

*Rubber processing aids are widely used by rubber goods industries. Plasticizer is one type of rubber processing aids. Nowadays, rubber processing aids are mainly synthesized from petroleum based resources, such as paraffinic oil. Castrol oil can be a potential source of raw material for preparing bio based plasticizer replacing synthetic plasticizer. This paper describes the potency of bio based rubber plasticizer produced from hydrogenation reaction of castrol oil. Hydrogenization reaction of castrol oil with diimide substances will lead to addition reaction of C=C double bond. Diimide compound were produced from oxydation reaction of hydrazine hydrate by hydrogen peroxide with metal cathalyst. On hydrogenation transfer reaction, side products, N<sub>2</sub> gas and water, were produced. Water must be extracted from hydrogenated oil in order to purify hydrogenated oil. High quality hydrogenated castrol oil could be produced from optimum hydrogenation transfer reaction. The grade of hydrogenated castrol oil could be clasified according to its iodine number of oil. Type I hydrogenated oil must has iodine number of 0 - 5, while type II is of 55 - 80. Hydrogenated castrol oil has straight molecule chain like paraffinic oil which is suitable for synthetic rubber such as EPDM, IIR, and BR.*

*Key words: plasticizer, hydrogenization reaction, castrol oil, rubber*

### Pendahuluan

Bahan bantu olah karet telah digunakan secara luas dalam industri barang jadi karet. Bahan bantu olah (*rubber processing aid*) salah satunya berfungsi mempermudah pencampuran bahan kimia terutama bahan pengisi dengan karet saat pembuatan kompon karet. Bahan bantu olah dapat diklasifikasikan

menjadi *homogenizing agent*, *peptizer*, *tackifiers*, *dispersing agent* dan *plasticizer* (bahan pelunak) (Gupta, 1998). Bahan pelunak karet umumnya berupa minyak mineral (*mineral oils*) sehingga dapat disebut pula dengan istilah *rubber processing oil* (RPO). Sebagian besar bahan pelunak yang berupa minyak mineral diproduksi dari hasil pengolahan minyak bumi (*petroleum based*). Bahan pelunak dari hasil pengolahan minyak bumi terdiri atas minyak parafinik, naftenik, dan aromatik. Contoh bahan pelunak yang komponen utamanya terdiri atas senyawa aromatik adalah Minarex. Minarex (Pertamina Extract) dibuat melalui proses ekstraksi *Lube Oil Complex* di Pertamina Unit Pengolahan IV Cilacap. Pertamina juga memproduksi bahan pelunak golongan parafinik dengan merek dagang Paraffine 60. Bahan pelunak karet juga dapat diklasifikasikan menjadi golongan ester sintetik turunan *phthalate anhydride* misalnya *dioctylphthalate*, *diisononyl phthalate*, *di-2-ethylhexyl phthalate*, dan *diisodecyl phthalate*.

Ketersediaan sumber deposit minyak bumi yang semakin menipis dan kondisi politik dunia dapat berpengaruh terhadap jaminan pasokan minyak bumi sebagai bahan baku bahan pelunak karet. Salah satu dampak buruk yang mungkin terjadi adalah produksi dan distribusi minyak bumi ke produsen bahan pelunak sintetik menjadi tidak lancar. Kelemahan lain dari bahan pelunak sintetik umumnya memiliki sifat toksik yang tinggi. Oleh karena itu perlu dicari sumber alternatif bahan baku bahan pelunak yang ramah lingkungan dan termasuk dalam sumber daya yang dapat diperbaharui.

Minyak jarak berpotensi sebagai sumber bahan baku alternatif untuk bahan pelunak berbasis hayati menggantikan bahan pelunak sintetik berbasis petroleum atau ester. Minyak jarak yang termasuk minyak nabati pada dasarnya bersifat sebagai *physical softener* yaitu bahan yang dapat meningkatkan plastisitas kompon sehingga memudahkan proses pencampuran (McMillan, 1959). Namun pencampuran minyak jarak secara langsung ke dalam karet hanya akan menghasilkan sistem

pencampuran yang kurang efektif. Ketidakefektifan pencampuran disebabkan oleh molekul karet dengan minyak jarak yang saling tidak sesuai (*incompatible*). Untuk meningkatkan kesesuaian dalam matriks karet maka minyak jarak harus dimodifikasi secara kimiawi.

Modifikasi kimiawi minyak jarak dapat melalui beberapa macam cara antara lain epoksidasi, esterifikasi, asetilasi, dan hidrogenasi. Modifikasi minyak jarak secara epoksidasi merupakan metode paling umum diterapkan dalam pembuatan bahan pelunak berbasis hayati. Inovasi terbaru dalam pengembangan produk bahan pelunak berbasis hayati telah dilakukan oleh Danisco, suatu produsen bahan kimia karet yang beroperasi di Denmark. Danisco telah memasarkan bahan pelunak berbasis hayati yang disintesis melalui reaksi asetilasi minyak jarak terhidrogenasi (*acetyled monoglyceride from hydrogenated castor oil*). Mengacu pada produk Danisco dan tingginya tingkat impor bahan pelunak maka membuka peluang dilakukannya penelitian tentang pembuatan bahan pelunak berbasis hayati dari minyak jarak di dalam negeri. Dalam tulisan ini akan dicoba mengungkapkan potensi bahan pelunak berbasis hayati yang dibuat melalui reaksi hidrogenasi minyak jarak. Pohon jarak untuk produksi minyak dikhususkan pada spesies jarak kepyar (*Ricinus communis* atau *Castor Oil*).

### **Reaksi Hidrogenasi Minyak Jarak dengan Senyawa Diimide**

Reaksi hidrogenasi merupakan reaksi adisi oleh hidrogen dari molekul organik yang mengandung ikatan rangkap seperti senyawa hidrokarbon golongan alkena dan asam lemak tak jenuh dalam minyak/lemak. Pada reaksi hidrogenasi minyak jarak, ikatan rangkap pada atom C=C suatu rantai molekul trigliserida akan diadisi oleh hidrogen sehingga membentuk ikatan jenuh. Reaksi hidrogenasi konvensional dijalankan dengan mereaksikan suatu senyawa menggunakan gas hidrogen. Reaksi hidrogenasi dengan gas hidrogen berlangsung pada kondisi suhu dan tekanan

tinggi agar dapat berjalan optimal. Laju reaksi hidrogenasi dipercepat dengan kinerja katalis yang berasal dari logam (Cu, Ni).

Reaksi hidrogenasi pada prinsipnya dapat dijalankan menggunakan senyawa selain gas hidrogen. Reaksi hidrogenasi yang menggunakan senyawa alternatif sebagai pengganti gas hidrogen (senyawa donor hidrogen) disebut reaksi transfer hidrogenasi (Naglic, *et al.*, 1998). Salah satu contoh donor hidrogen yang banyak digunakan misalnya senyawa *diimide*. Reaksi hidrogenasi transfer dengan senyawa *diimide* dianggap lebih ekonomis dibandingkan reaksi hidrogenasi konvensional menggunakan gas hidrogen. Hal ini disebabkan karena reaksi tidak perlu dijalankan pada suhu dan tekanan tinggi dan tidak perlu penambahan pelarut yang relatif mahal (Lin, *et al.*, 2003). Senyawa *diimide* (*diazene* atau *diimine*),  $\text{NH}_2$  sudah sejak lama digunakan sebagai *active intermediate* terutama pada oksidasi hidrasin (Emeleus dan Sharpe, 1979). *Diimide* dapat secara selektif menghidrogenasi ikatan rangkap simetris  $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{N}=\text{N}$ , dan  $\text{O}=\text{O}$  tetapi sulit untuk ikatan yang lebih polar seperti  $\text{S}=\text{O}$ ,  $\text{C}=\text{O}$ , dan  $\text{S}-\text{C}-\text{S}$  (Lin, 2005).

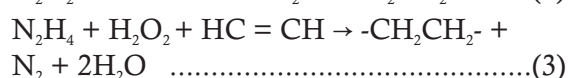
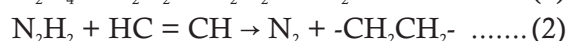
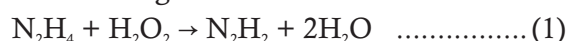
Smit, *et al.*, (2008) melaporkan bahwa *diimide* bersifat reaktif namun sangat tidak stabil sehingga digunakan secara *in-situ* dalam reaksi atau sintesis suatu senyawa kimia. Metode dalam membangkitkan senyawa *diimide* secara *in-situ* antara lain :

- Oksidasi hidrasin hidrat dengan  $\text{H}_2\text{O}_2$  atau  $\text{O}_2$  dengan penambahan katalis Cu (I) (Kraft, *et al.*, 2011)
- Reaksi antara hidrosilamin dengan ester asam asetat (metil atau etil asetat) (Gangadhar, *et al.*, 1989)
- Dekarboksilasi *azodicarboxylic acid* misalnya dipotassium azodicarboxylate berkatalis asam (Kraft, *et al.*, 2011)
- Eliminasi *sulfonylhydrazides* (*hydroxylamine-O-sulfonic acid*, *benzene sulfonyl hydrazine*) menggunakan basa (NaOH, KOH) pada kondisi panas (Pasto dan Taylor, 2004)

Sesuai dengan metode pertama, reaksi redoks antara hidrasin dengan oksidan digunakan untuk memproduksi *diimide* pada fasa cair. Hidrogen peroksida umumnya digunakan sebagai oksidan dalam reaksi hidrogenasi dengan *diimide* (Erlenmeyer, *et al.*, 1968 dalam Lin, *et al.*, 2003). Metode pertama yaitu oksidasi hidrasin hidrat dengan hidrogen peroksida dianggap sebagai metode yang paling mudah dengan memperhatikan beberapa pertimbangan yaitu bahan murah dan relatif mudah diperoleh, tidak memerlukan pelarut mahal, dapat dijalankan pada tekanan atmosferis dan suhu rendah (dibawah  $100^\circ\text{C}$ ) karena titik didih hidrasin hidrat dan peroksida yang mendekati  $100^\circ\text{C}$ .

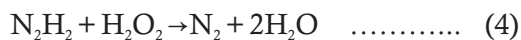
Laju reaksi hidrogenasi dengan *diimide* secara signifikan dipengaruhi oleh suhu, katalis, dan pH. Ion tembaga seringkali dianggap sebagai katalis yang sesuai untuk reaksi tersebut (Parker dan Ruthenburg, 1995 dalam Lin, *et al.*, 2003). Katalis tembaga yang digunakan dapat berasal dari Cu (II) asetat, Cu (II) sulfat, dan Cu (II) perklorat. Menurut Lin, *et al.* (2003), reaksi juga secara signifikan dipengaruhi oleh pH. Pada  $\text{pH} < 8$ , reaksi berjalan lambat, saat  $\text{pH} > 8$  laju reaksi naik dengan cepat, dan pada  $\text{pH} = 10$ , laju reaksi mencapai maksimum. Pada suhu  $25^\circ\text{C}$  reaksi berjalan sangat lambat, dan seiring kenaikan suhu maka akan terjadi kenaikan laju reaksi. Hasil percobaan oleh Puspitasari, *et al* (2012), menyatakan bahwa suhu reaksi berpengaruh dominan terhadap reaksi hidrogenasi minyak jarak dibandingkan dengan waktu reaksi. Kenaikan suhu reaksi, memberikan karakteristik yang berbeda terhadap jalannya reaksi seperti timbul gas, kenaikan suhu reaksi, perubahan warna dan fasa pada minyak jarak yang dihidrogenasi oleh senyawa *diimide*.

Berdasarkan hasil penelitian Lim dan Zhong (1989), reaksi hidrogenasi ikatan rangkap atom karbon-karbon dengan senyawa *diimide* mengikuti mekanisme berikut:

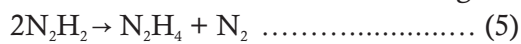


Mekanisme reaksi hidrogenasi ikatan rangkap C=C dengan senyawa *diimide* terjadi dalam dua tahap yaitu pembentukan *diimide* dari hasil reaksi antara hidrasin hidrat dan hidrogen peroksida, selanjutnya diikuti oleh reaksi antara *diimide* dengan ikatan rangkap C=C membentuk senyawa terhidrogenasi. Dari stokiometri reaksi (3) dapat diketahui bahwa 1 mol hidrasin hidrat dan 1 mol hidrogen peroksida akan bereaksi dengan 1 mol ikatan rangkap (dalam molekul asam lemak tak jenuh) menghasilkan 1 mol minyak jarak terhidrogenasi, 1 mol gas N<sub>2</sub> dan 2 mol air. Kereaktifan dan ketidak-stabilan senyawa *diimide* sangat memungkinkan terbentuknya reaksi samping. Dua reaksi samping yang mungkin terjadi meliputi :

1. Reaksi lanjut antara *diimide* dengan hidrogen peroksida membentuk nitrogen dan air



2. Reaksi antara dua molekul *diimide* membentuk hidrasin hidrat dan nitrogen



Minyak jarak terhidrogenasi menjadi bersifat lebih kental bahkan untuk tingkat hidrogenasi yang sangat tinggi minyak dapat memadat, disebabkan oleh perubahan struktur kimia dalam rantai molekul asam lemak yang terkandung dalam minyak. Ikatan rangkap C=C terputus akibat diadisi oleh hidrogen menjadi ikatan tunggal. Ikatan tunggal C-C inilah yang membuat minyak menjadi kental bahkan padat pada suhu ruang dan memiliki titik leleh yang tinggi.

Pada akhir reaksi akan terbentuk dua atau tiga fasa yaitu: fasa teratas berupa sisa minyak jarak yang tidak bereaksi, fasa tengah berupa minyak terhidrogenasi, fasa terbawah berupa air. Air merupakan produk samping dari reaksi hidrogenasi selain gas N<sub>2</sub> (berdasarkan Persamaan Reaksi 3 dan 4). Untuk mendapatkan produk berupa minyak terhidrogenasi yang murni maka perlu dilakukan pemurnaan dengan cara memisahkan minyak terhidrogenasi dari pengotornya terutama air karena gas N<sub>2</sub> akan terbuang ke udara dengan sendirinya sesaat

setelah reaksi selesai. Pemisahan air dengan minyak terhidrogenasi skala laboratorium dapat dilakukan dengan cara dekantasi menggunakan corong pemisah dan ekstraksi dengan senyawa Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk menyerap sisa air yang terikat dalam minyak terhidrogenasi.

### Mutu Minyak Jarak Terhidrogenasi

Reaksi hidrogenasi minyak jarak yang berjalan optimal akan menghasilkan minyak jarak terhidrogenasi sebagai bahan pelunak karet bermutu tinggi. Minyak terhidrogenasi bermutu tinggi dapat berfungsi dengan maksimal sebagai bahan pelunak dalam pembuatan kompon karet. Tingkatan mutu minyak jarak terhidrogenasi dinilai berdasarkan sifat kimia dan fisika sedangkan keunggulan minyak jarak terhidrogenasi ditinjau dari kinerjanya saat ditambahkan pada pembuatan kompon karet. Sifat kimia untuk menentukan mutu minyak jarak terhidrogenasi antara lain bilangan iod, bilangan asam, bilangan penyabunan, dan kadar abu. Warna, berat jenis, dan viskositas kinematik termasuk dalam penggolongan mutu minyak jarak terhidrogenasi berdasarkan sifat fisik.

Ash dan Ash (2007) mengategorikan minyak jarak terhidrogenasi menjadi dua tingkatan mutu. Minyak jarak terhidrogenasi tipe I memiliki tingkatan mutu yang lebih baik dibandingkan minyak jarak terhidrogenasi tipe II. Spesifikasi minyak jarak terhidrogenasi tipe I meliputi bilangan asam maksimal 4, bilangan iod sebesar 0-5, dan bilangan penyabunan 175-205. Pada minyak jarak terhidrogenasi tipe II, spesifikasi mutu terdiri atas bilangan asam maksimal 4, bilangan iod 55-80, dan bilangan penyabunan mencapai 185-200. Secara fisik minyak jarak terhidrogenasi dapat berupa cairan kental berwarna kuning jernih atau padatan berwarna putih.

Bilangan iod merupakan parameter utama dalam mengklasifikasikan mutu minyak jarak terhidrogenasi. Bilangan iod dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan derajat hidrogenasi karena bilangan iod menunjukkan jumlah ikatan rangkap dalam minyak jarak.

Minyak jarak terhidrogenasi akan mengalami penurunan ikatan rangkap (bilangan iod semakin kecil). Minyak jarak terhidrogenasi bermutu tinggi selalu disertai dengan derajat hidrogenasi yang tinggi pula. Derajat hidrogenasi dalam minyak jarak terhidrogenasi diperhitungkan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Derajat hidrogenasi} = 1 - \frac{(\text{konsentrasi C} = \text{C}) \text{ awal}}{(\text{konsentrasi C} = \text{C}) \text{ akhir}}$$

#### Aplikasi Minyak Jarak Terhidrogenasi

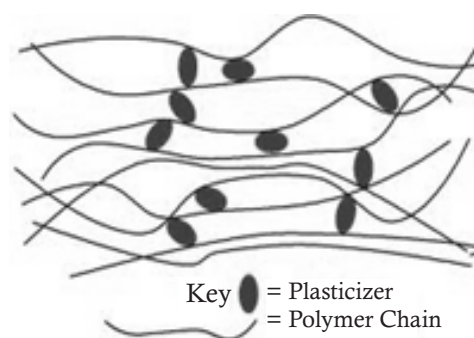
Minyak jarak terhidrogenasi dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain bahan pelunak untuk karet dan plastik, pelumas, pelapis, bahan pembantu dalam kosmetik dan perekat, produksi lilin, *crayon* (pewarna), kapasitor listrik, karet, pelumas, dan malam. Minyak jarak terhidrogenasi juga berpotensi sebagai pengganti *rolling oil* komersial (Rivai, 2001). Warna minyak jarak terhidrogenasi yang terang menyebabkan minyak tersebut dapat diaplikasikan dalam pembuatan barang jadi karet berwarna, tidak terbatas pada barang jadi karet berwarna gelap.

Rantai molekul minyak terhidrogenasi merupakan molekul rantai lurus. Molekul rantai lurus juga ditemui pada bahan pelunak golongan parafinik. Bahan pelunak golongan parafinik cocok digunakan untuk jenis karet EPDM dan IIR. Tingkat kecocokan pada bahan pelunak parafinik terlihat pada ikatan H-C. Kompatibilitas minyak jarak terhidrogenasi dengan molekul karet tersebut dapat terlihat dari waktu pengkomponan yang singkat, konsumsi energi pengkomponan yang rendah, dan viskositas Mooney kompon yang mengalami penurunan serta homogenitas kompon karet yang baik. Homogenitas kompon yang baik dicirikan dengan bahan pelunak akan tetap di dalam kompon meskipun kompon disimpan dalam suhu rendah.

Kinerja minyak jarak terhidrogenasi sebagai bahan pelunak dalam pembuatan kompon karet ditinjau dari segi karakteristik vulkanisasi kompon karet dapat menyebabkan

tegangan torsi kompon semakin rendah. Hal ini disebabkan karena rantai molekul karet yang telah terputus menjadi rantai molekul yang lebih pendek.

Menurut Hamed, bahan pelunak jenis *physical plasticizer* seperti minyak jarak terhidrogenasi dapat bekerja dengan cara memutus rantai molekul karet, mengurangi ikatan, dan menurunkan gesekan internal (*internal friction*) antar molekul karet. Bahan pelunak juga dapat meningkatkan fleksibilitas polimer. Bahan pelunak akan berada diantara rantai polimer dan menjaga agar rantai polimer tersebut saling terpisah sehingga mengurangi interaksi antar rantai polimer (France, 2011). Ilustrasi interaksi bahan pelunak dengan elastomer disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme kerja bahan pelunak dalam suatu polimer

#### Komparasi Kinerja antar Jenis Bahan Bantu Olah Kompon Karet

Bahan pelunak karet berbasis hayati yang termasuk dalam golongan besar bahan bantu olah karet memiliki keaneka-ragaman jenis yang cukup luas. Selain bahan pelunak karet berbasis hayati yang bersumber dari minyak nabati, dikenal pula bahan pelunak karet yang dibuat dari produk tumbuhan cemara (*resin*) (Alfa, 2007).

Minyak nabati selain sebagai bahan baku pembuatan minyak terhidrogenasi juga dapat dimanfaatkan untuk pembuatan faktis coklat. Faktis coklat adalah produk hasil reaksi polimerisasi antara minyak nabati dengan sulfur (Whelan, 1994). Faktis coklat berfungsi

sebagai bahan bantu olah kompon karet (Simpson, 2002) terutama untuk mengurangi kekerasan vulkanisat karet (Hepburn, 1997). Faktis coklat lebih spesifik digunakan pada pembuatan barang jadi karet yang diproduksi secara ekstruksi (Chandrasekaran, 2010) karena faktis coklat memiliki keunggulan dalam mempertahankan kestabilan dimensi barang jadi karet (Simpson, 2002). Selain itu, faktis coklat mampu menyerap kelebihan jumlah bahan pelunak cair (minyak mineral) saat pembuatan kompon karet dalam mesin giling (Erhan dan Kleiman, 1993).

Faktis coklat dengan minyak jarak terhidrogenasi memiliki kesamaan fungsi saat pembuatan kompon karet yaitu menyebabkan karet menjadi plastis sehingga mudah bercampur dengan bahan kimianya terutama bahan pengisi jenis arang hitam. Beberapa fungsi faktis coklat tidak ditemukan dalam bahan pelunak karet yang bersifat cair seperti minyak jarak terhidrogenasi. Fungsi tersebut antara lain kemampuan dalam mempertahankan dimensi barang jadi karet. Oleh karena itu, penggunaan bahan pelunak lebih umum dibandingkan faktis coklat yang terbatas pada produk ekstrusi (*extruded articles*). Bahan pelunak digunakan hampir di seluruh formulasi kompon karet. Dalam pembuatan kompon karet, bahan pelunak ditambahkan pada saat jumlah bahan pengisi arang hitam tersisa sebesar 1/3 dari total arang hitam sesuai formulasi untuk menghasilkan dispersi arang hitam yang merata didalam matriks kompon karet.

### Kesimpulan

Minyak jarak berpotensi digunakan sebagai bahan baku pembuatan bahan pelunak karet berbasis hayati (*bio-based rubber plasticizer*) melalui reaksi transfer hidrogenasi menggunakan senyawa *diimide*. Senyawa *diimide* dapat dihasilkan secara *in-situ* melalui reaksi oksidasi antara hidrasin hidrat dengan hidrogen peroksida. Mutu minyak jarak terhidrogenasi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bilangan iod dan derajat hidrogenasi. Sifat minyak jarak terhidrogenasi menyerupai bahan pelunak golongan minyak parafinik yang cocok digunakan untuk jenis karet EPDM dan IIR.

### Daftar Pustaka

- Alfa, A. A. 2007. Pedoman kursus barang jadi karet. Balai Penelitian Teknologi Karet, Bogor.
- Ash, M. and I. Ash. 2007. Handbook of fillers, extender, and diluents. Synapse Information Resources Inc, New York.
- Chandrasekaran, V. C. 2010. Rubber as a construction material for corrosion protection: a comprehensive guide for process equipment designers. Scrivener Publishing LLC, Canada.
- Emeleus, H. J. and A. G. Sharpe. 1979. Advance in inorganic chemistry and radiochemistry. Academic Press Inc, New York.
- Erhan, S. M. and R. Kleiman. 1993. Factice from oil mixture. JAOCS 70(3): 309-311.
- Erlenmeyer, H., C. Flierl, and H. Sigel, 1968, On the kinetic and mechanism of the reaction of hydrogen peroxide with hydrazine or hydroxylamine catalyzed by Cu<sup>2+</sup> 2-2-Bipyridil Complex. *J. Am. Chem. Soc.* 91 (5): 1065 – 1071.
- France, C. 2011. Polymer bahan pelunak. [www.gcsescience.com](http://www.gcsescience.com). Didownload 14 Mei 2012.
- Gangadhar, A., T. C. Rao, R. Subbarao, and G. Lakshminarayana. 1989. Hydrogenation of unsaturated fatty acid methyl esters with diimide from hydro-xilamine-ethyl acetate. *J A O C S* 66 (10): 1507 - 1508 . [www.spingerlink.com](http://www.spingerlink.com). Didownload 18 Oktober 2011, DOI: 10.1007/BF02661982.
- Gupta, B. R., 1998, Rubber processing on two roll mill. Allied Publisher Limited, India.
- Hamed, G. R. 2012 Materials and compounds. [www.gupta-verlag.de](http://www.gupta-verlag.de). Didownload 25 April 2012.
- Hepburn, C. 1997. Rubber compounding ingredients: need, theory, and innovation Part II Volume 9 Number 1. Rapra Technology Ltd, United Kingdom.
- Kraft, V., G. Kretzschmar, and K. Rossen. 2011. Process for the production of atermisinin intermediate. US Patent 0230669 A1 published on 22 September 2011, United States.

- Lim, P. K. and Y. Zhong. 1989. The copper catalyzed redox reaction between aqueous hydrogen peroxide and hydrazine. Reaction Mechanism, Model Analysis, and Comparison of Model and Experimental Result.
- Lin, X., Q. Pan, and G. L. Rempel. 2003. Cupric ion catalyzed diimide production from the reaction between hydrazine and hydrogen peroxide. *J. Applied Catalysis A General* 263 : 27 - 32 , [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) DOI : 10.1016/j.apcata.2003.11.035.
- Lin, X. 2005. Hydrogenation of unsaturated polymers in latex form. Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- McMillan, F. M. 1959. Rubber bahan pelunak, softener, and extenders. Morton, M. (Ed). Introduction to Rubber Technology. Reinhold Publishing Co, New York.
- Naglic, M., A. Smidounik, and T. Kolini. 1998. Kinetic of catalytic transfer hydrogenation of some vegetable oils, *JAACS* 75: 629-633.
- Parker, D. K. and D. M. Rithenburg. 1995. The goodyear tire and rubber company, US Patent 5424.356.
- Pasto, D. J. and R. T. Taylor. 2004. Reduction with diimide, organic reactions. John Wiley and Sons, [www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com). Didownload 19 Oktober 2011, DOI : 10.1002/0471264180.or040.02.
- Puspitasari, S., A. Cifriadi, dan Y. Syamsu. 2012. Pembuatan bahan pelunak kompon karet melalui reaksi transfer hidrogenasi minyak jarak castor. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Lingkungan, Yogyakarta.
- Rivai, M. 2001, Kajian proses hidrogenasi minyak sawit pada berbagai tingkat kemurnian dalam rangka menghasilkan pelumas dasar untuk rolling oil. Skripsi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Simpson, R. B. 2002. Rubber basics. Rapra Technology Ltd, UK.
- Smit, C., M. W. Fraaije., and A. J. Minnaard, 2008. Reduction of carbon-carbon double bonds using organocatalytically generated diimide. *J. Org. Chem* 73(23): 9482 - 9485.
- Whelan, T. 1994. Polymer technology dictionary. Chapman and Hall, London.