

PENGARUH KONDISI REAKSI TERHADAP KARAKTERISTIK KETAHANAN KARET ALAM EPOKSI DALAM N-PENTANA

Norma Arisanti Kinasih dan M. Irfan Fathurrohman

¹*Pusat Penelitian Karet
Jl. Salak No. 1 Bogor, 16151
E-mail: norma.kinasih88@gmail.com*

Diterima: 4 Januari 2016

Diperbaiki: 29 Februari 2016

Disetujui: 31 Maret 2016

ABSTRAK

PENGARUH KONDISI REAKSI TERHADAP KARAKTERISTIK KETAHANAN KARET ALAM EPOKSI DALAM N-PENTANA. Salah satu kelemahan Karet Alam (KA) adalah tidak tahan terhadap oli dan pelarut-pelarut non polar. Metode untuk meningkatkan ketahanan terhadap oli dan pelarut non polar adalah melalui epoksidasi karet alam, untuk menghasilkan Karet Alam Epoksi (KAE). KAE dibuat dengan mereaksikan ikatan rangkap karbon-karbon dengan asam performat secara *insitu* untuk menghasilkan grup epoksi. Tujuan dari studi ini adalah menginvestigasi pengaruh suhu reaksi dan konsentrasi pereaksi terhadap karakteristik KAE. KAE dibuat melalui reaksi dalam fasa lateks (lateks protein rendah-LPR) dengan asam format (90 %v/v) dan hidrogen peroksida (50 %v/v). Rasio mol antara unit isopren dengan asam format dan hidrogen peroksida yang digunakan adalah 1: 0,3: 0,5-1. Reaksi berlangsung pada variasi suhu (60 °C, 65 °C dan 70 °C) selama 1-6 jam. Hasil analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)* menunjukkan bahwa peningkatan grup epoksi terjadi seiring peningkatan mol hidrogen peroksida, suhu dan waktu reaksi. Ketahanan KAE terhadap n-pentana meningkat seiring dengan peningkatan kandungan grup epoksinya.

Kata kunci: Karet alam epoksi, Epoksidasi, Grup epoksi, Ketahanan n-pentana

ABSTRACT

THE EFFECT OF REACTION CONDITION TO THE RESISTANCE PROPERTIES OF EPOXIDIZED NATURAL RUBBER IN N-PENTANE. One of the natural rubber deficiency is not resistance in oil and non-polar solvent. The method to improve the resistance properties in oil and non polar solvent through an epoxidation process, which produced Epoxidized Natural Rubber (ENR). ENR was prepared by reacting a part of carbon-carbon double bonds with performic acid in *insitu* process to produce epoxy groups. The aim of this study is to investigate the effect of temperature reaction and reagent concentration to ENR characteristic. ENR was prepared by reacting in latex stage (Deproteinized Natural Rubber-DPNR) with formic acid (90 v/v%) and hydrogen peroxide (50 v/v%). Mole ratios of carbon double bonds to formic acid and hydrogen peroxide (C=C:CH₃COOH:H₂O₂) were used respectively; 1: 0.3: 0.5-1. The reaction held at various temperature (60, 65 and 70°C) during 1 to 6 hours. Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) analysis showed that an increase of epoxy group in ENR as the mol hydrogen peroxide, temperature and time reaction rises. In addition, the ENR characteristic of oil n-pentane resistance was increase in line with increment of epoxy group content.

Keywords: Epoxidized natural rubber, Epoxidation, Epoxy group, n-Pentane resistance

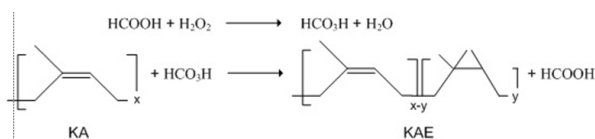
PENDAHULUAN

Karet alam (KA) merupakan getah pohon karet (*Hevea brasiliensis*), yang tersusun dari cis-1,4 poliisopren. KA merupakan polimer poliisopren yang sangat elastis, memiliki keunggulan sifat mekanik seperti;

kuat tarik, ketahanan sobek, dan modulus [1]. Namun, KA juga memiliki kelemahan sifat mekanik yaitu tidak tahan terhadap; bahan-bahan kimia, oli dan pelarut non-polar, oksigen, ozon, sinar matahari, dan sinar UV [2]

Peningkatan sifat mekanik KA terhadap oli dan pelarut non polar dapat dilakukan dengan modifikasi secara kimia, melalui reaksi epoksidasi [3,4].

Reaksi epoksidasi adalah reaksi antara ikatan rangkap karbon-karbon dengan asam untuk membentuk grup epoksi dan ikatan tunggal (Gambar 1), yang dapat digunakan untuk modifikasi kimia [5]. Terdapat dua metode reaksi epoksidasi yaitu (1) dengan penambahan asam perasetat ke dalam KA dan (2) dengan pembentukan asam performat secara *insitu*. Reaksi epoksidasi umumnya dilakukan pada fasa lateks. Bahan baku reaksi dapat menggunakan lateks pekat atau Lateks alam Protein Rendah (LPR). Beberapa penelitian melaporkan bahwa reaksi epoksidasi pada KA menggunakan lateks pekat, namun hanya sedikit yang menggunakan LPR [6]. LPR memiliki lapisan protein dan kadar gel yang lebih rendah dibandingkan lateks pekat, sehingga pada suhu dan waktu reaksi yang sama akan menghasilkan kadar epoksi yang lebih tinggi dibanding lateks pekat.



Gambar 1. Reaksi epoksidasi

Reaksi epoksidasi menghasilkan karet alam epoksidasi (KAE), yang memiliki sifat tahan terhadap oli dan pelarut non-polar [2], adhesi dan damping yang baik dan permiasi gas yang rendah [3,4]. KAE memiliki sifat yang sama dengan karet butil dan akrilonitril butadiena [7,8]. Selain itu, adanya matriks yang tidak berikatan dalam KA dan KAE membuat keduanya bersifat ramah lingkungan [9]. Keunggulan sifat mekanik KAE tersebut diharapkan mampu mensubsitisi karet sintetis yang memiliki ketahanan yang baik terhadap oli dan pelarut non-polar seperti; *Nitrile Butadiene Rubber (NBR)*, yang umumnya digunakan pada selang minyak bumi dan selang gas LPG. Ketahanan KAE terhadap pelarut dapat ditentukan dengan mempelajari pengaruh pengembangan karet terhadap beberapa pelarut. Beberapa studi mempelajari ketahanan KA dan KAE terhadap oli mesin, oli kendaraan bermotor, isooktan dan toluene[2,9,10]. Namun, hanya sedikit studi yang mempelajari ketahanan KAE terhadap gas LPG. Menurut SNI 7655:2010, LPG dapat digantikan dengan n-pentana. Ketahanan KAE terhadap n-pentana dapat dipelajari dengan merendam KAE dalam n-pentana, hingga mencapai kondisi kesetimbangan.

Ketahanan KAE terhadap oli dan pelarut non-polar ditentukan oleh besarnya pembentukan grup epoksi [7]. Pembentukan grup epoksi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya bahan baku yang digunakan dan kondisi reaksi (jumlah peraksi, suhu dan waktu reaksi). Pada penelitian ini KAE dibuat melalui reaksi epoksidasi fasa lateks menggunakan bahan baku LPR. Penelitian bertujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi

reaksi terhadap karakteristik KAE yang dibuat dari LPR. Karakteristik KAE yang diamati meliputi % epoksidasi yang terbentuk dan ketahanan KAE terhadap n-pentana. Kandungan % epoksidasi dianalisa secara kualitatif (dan kuantitatif (perhitungan spektrum *FT-IR*).

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

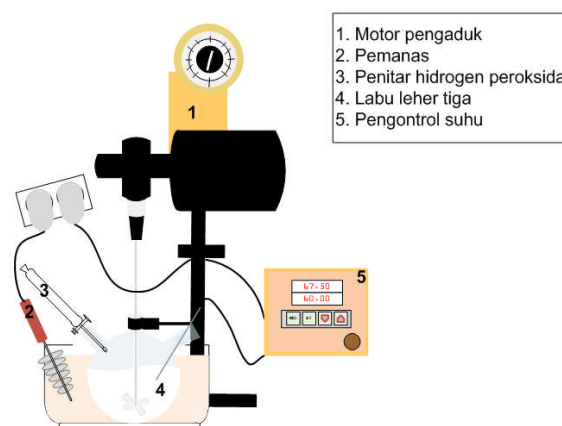
Bahan baku pembuatan KAE yaitu LAD dibuat dari lateks klon campuran dari kebun percobaan Ciomas. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk reaksi epoksidasi antara lain; asam format 90%, hidrogen peroksida 50%, *white oil* dan amoniak (20%) berspesifikasi teknis. Bahan kimia untuk penganalisa n-pentana (Merck KGaA) dan sodium tio sulfat (Merck KGaA) berspesifikasi *pure analysis*.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain; labu leher tiga, motor pengaduk, pengontrol suhu, penitar, pipet, gelas ukur, pemanas, *hot plate (Scilogex)*, pengaduk magnet, neraca analitik, *spectroscopy FT-IR* (Thermo Scientific™ Nicolet™ iS™5) dan mesin penggiling karet (*crepper*).

Cara Kerja

Reaksi Epoksidasi

Reaksi epoksidasi dilakukan dengan pembentukan asam performat secara *in situ* pada reaktor sederhana (Gambar 2). LPR direaksikan dengan asam format 90% (0,3 mol/ mol isopren unit) dan hidrogen peroksida 50% (0,4, 0,5, 0,75 dan 0,1 mol/ mol isoprene unit) pada suhu reaksi 60 °C, 65 °C dan 70 °C selama 6 jam reaksi.



Gambar 2. Reaktor reaksi epoksidasi.

Pada tahap awal reaksi, ditambahkan asam format 0,30 mol/mol unit isoprena unit ke dalam lateks LPR dengan kadar karet kering 20%. Campuran LPR dan asam format dipanaskan hingga mencapai suhu yang diinginkan, kemudian sedikit demi sedikit hidrogen peroksida ditambahkan hingga habis.

Selama penambahan hidrogen peroksida, suhu reaksi dijaga konstan menggunakan pengendali suhu untuk menyeragamkan suhu selama pengadukan. Waktu reaksi mulai dihitung sesaat setelah hidrogen peroksida habis menetes. Reaksi dilakukan selama enam jam dan dilakukan sampling setiap satu jam sebanyak 10 mL. Hasil sampling digumpalkan dengan aseton, digiling, dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 70 °C hingga kering.

Reaksi epoksidasi yang menghasilkan % epoksidasi KAE 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% selanjutnya diperbesar skala reaksinya. Perbesaran skala reaksi dilakukan dengan mereaksikan 600 mL LPR pada masing-masing kondisi reaksi. Reaksi epoksidasi pada masing-masing % epoksi tersebut diulang sebanyak tiga kali reaksi. KAE yang dihasilkan pada tiap reaksi dinetralkan menggunakan amoniak 20% dan ditambahkan sodium tio sulfat untuk menghilangkan reaksi samping reaksi epoksidasi. KAE selanjutnya digumpalkan dengan sistem pemanasan pada suhu 100°C. KAE yang telah menggumpal selanjutnya digiling, dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 70°C hingga kering.

Perhitungan Kandungan Epoksidasi KAE

Sampel KAE yang telah kering dianalisis kadar epoksidanya menggunakan FT-IR. Analisa secara kualitatif dilakukan dengan membaca hasil analisa FT-IR, sedangkan analisis secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung tinggi spektrum hasil analisis FT-IR [11] pada panjang gelombang:

- 870cm⁻¹ (pembentukan cincin epoksidasi) = A₈₇₀
- 3460 cm⁻¹ (terdapat cincin epoksida terbuka sebagai hasil samping karena radikal) = A₃₄₆₀
- 835 cm⁻¹ (olefin yang tidak berubah menjadi cincin epoksida) = A₈₃₅

Nilai A₈₇₀ dan A₈₃₅ dideteksi pada *baseline* antara 950,734 cm⁻¹ dan 779,101 cm⁻¹. Nilai A₃₄₆₀ dideteksi pada *baseline* antara 3801,008 cm⁻¹ dan 3062,405 cm⁻¹. Nilai A₁₃₇₅ dideteksi antara 1394,281 cm⁻¹ dan 1342,213 cm⁻¹. Nilai koreksi absorbans dapat diperoleh melalui Persamaan (1) dan Persamaan (2).

$$A_{870}Corr = A_{870} - (0,14 \times A_{gas}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A_{460}Corr = A_{3460} - (0,019 \times A_{1375}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Berdasarkan nilai absorpsi, didapatkan tiga produk yaitu, *epoxide* (E), *olefin* (O), dan *ring open* (R). Kadar epoksida dapat ditentukan berdasarkan Persamaan (3) hingga Persamaan (5):

$$E = \frac{100 \times K_1 \times A_{970corr}}{A_{gas} + K_1 \times A_{870corr} + A_{3460corr}} \times mol \% \quad \dots (3)$$

$$O = \frac{E \times A_{870}}{K_1 \times A_{870corr}} \times mol \% \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R = \frac{K_2 \times O \times A_{3460corr}}{A_{835}} \times mol \% \quad \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

$$K_1 = 0,77$$

$$K_2 = 0,34$$

Pengujian Ketahanan KAE dalam N-Pentana

Sampel pengujian ketahanan KAE terhadap n-pentana antara lain; KAE dengan % epoksi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, yang secara berturut turut diberi simbol KAE 10, KAE 20, KAE 30, KAE 40 dan KAE 50. Sampel karet mentah KAE berbentuk silinder dengan diameter ± 1 cm dan ketebalan ± 0,3 cm dipotong dari lembaran karet mentah KAE. Tiap-tiap sampel ditimbang secara akurat menggunakan timbangan digital sebelum perendaman dan diukur densitas serta ketebalannya.. Sampel direndam pada pelarut pada suhu 27 ± 2 °C. Tiap-tiap sampel ditimbang pada interval waktu tertentu setelah sampel ditiriskan pada kertas tisu. Tiap sampel direndam dan ditimbang hingga mencapai kondisi kesetimbangan. Persentase molar serapan n-pentana per gram karet mentah KAE dihitung menggunakan Persamaan (6) [12].

$$Q_t = \frac{(M_t - M_0)}{\text{Berat molekul } n - \text{pentana } B_0} \times 100 \quad \dots\dots (6)$$

Dimana:

M_t = Massa serapan n-pentana di karet mentah KAE pada waktu tertentu (t)

M₀ = Massa awal karet mentah KAE.

Fenomena pengembangan terjadi ketika pelarut terserap secara cepat ke dalam permukaan karet, yang diikuti oleh difusi pelarut ke dalam karet. Koefisien difusi pelarut dihitung menggunakan hukum kedua difusi Fickian's [12]

$$Q_t = \pi \left(\frac{h\theta}{4Q_v} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

h = Ketebalan karet mentah KAE.

q = Slope yang terbentuk pada persamaan linier awal plot data Q_t terhadap t^{1/2}.

Q_v = Kesetimbangan mol yang diserap.

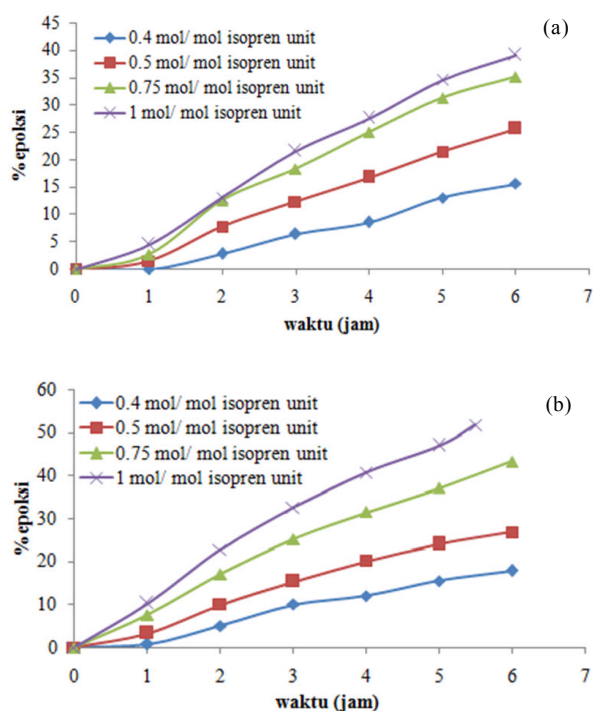
HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi Epoksidasi

Pada penelitian ini reaksi epoksidasi antara asam performat dengan LAD secara *in situ* pada suhu 60 °C, 65 °C dan 70 °C selama 6 jam. Pengujian % epoksi secara kuantitatif menunjukkan bahwa % epoksidasi dipengaruhi oleh jumlah pereaksi, suhu, dan waktu reaksi.

Pengaruh Jumlah Pereaksi dan Waktu Reaksi

Pengujian kuantitatif KAE menunjukkan bahwa % epoksi KAE meningkat seiring penambahan jumlah pereaksi dan kenaikan suhu reaksi. Hasil pengamatan reaksi pada suhu 60 °C dan 65 °C selama 6 jam menunjukkan bahwa penambahan hidrogen peroksida pada reaksi epoksidasi meningkatkan terbentuknya gugus epoksi (Gambar 3(a) dan 3(b)). Ruksakulpiwat *et al* [13] melaporkan bahwa % epoksidasi KA meningkat seiring penambahan jumlah hidrogen peroksida. Hidrogen peroksida merupakan zat pengoksidasi yang kuat dan merupakan reagen yang dapat mengkonversi alkena (C=C) menjadi epoksida [14]. Oleh karena itu, semakin besar konsentrasi hidrogen peroksida, kadar epoksi yang dihasilkan juga semakin besar. Lamanya waktu reaksi turut meningkatkan % epoksi KAE. Seiring dengan bertambahnya waktu reaksi maka kesempatan molekul-molekul zat pereaksi untuk saling bertumbukan semakin luas, sehingga diperoleh konversi grup epoksi yang semakin meningkat.

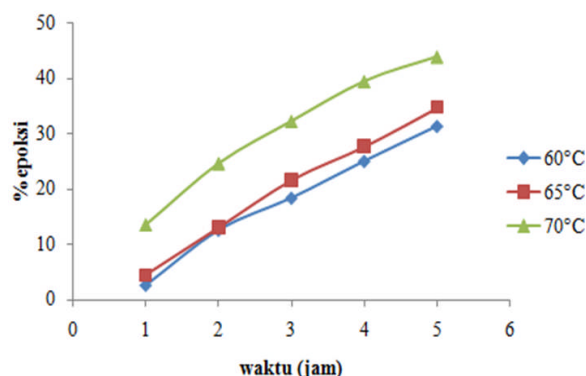


Gambar 3. Nilai % epoksi dengan berbagai konsentrasi hidrogen peroksida pada suhu (a) 60 °C dan (b) 65 °C

Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi

Studi mengenai pengaruh suhu dan waktu pengamatan dilakukan pada reaksi epoksidasi dengan penambahan bahan pereaksi asam format sebesar 0,3 mol/ mol isopren unit dan hidrogen peroksida sebesar 0,75 mol/ mol isoprene unit pada suhu 60 °C, 65 °C dan 70 °C selama 5 jam reaksi. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa % epoksidasi meningkat seiring kenaikan suhu dan waktu reaksi (Gambar 4). Suhu yang

semakin meningkat menyebabkan tenaga kinetik yang dimiliki oleh molekul-molekul zat pereaksi semakin besar sehingga semakin banyak tumbukan antar molekul yang berlanjut dengan reaksi.



Gambar 4. Nilai % epoksi pada berbagai suhu reaksi

Reaksi epoksidasi pada suhu 60 °C, 65 °C dan 70 °C pada penelitian ini dapat menghasilkan KAE dengan kandungan % epoksidasi sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yang secara berturut turut diberi simbol KAE 10, KAE 20, KAE 30, KAE 40 dan KAE 50. Kondisi reaksi pembentukan dan hasil analisis secara kuantitatif KAE tersebut disajikan pada Tabel 1. Data yang disajikan merupakan nilai tiga ulangan pada masing-masing reaksi pembentukan KAE. Nilai R yang negatif menunjukkan tidak terjadinya pembukaan cincin oksiran.

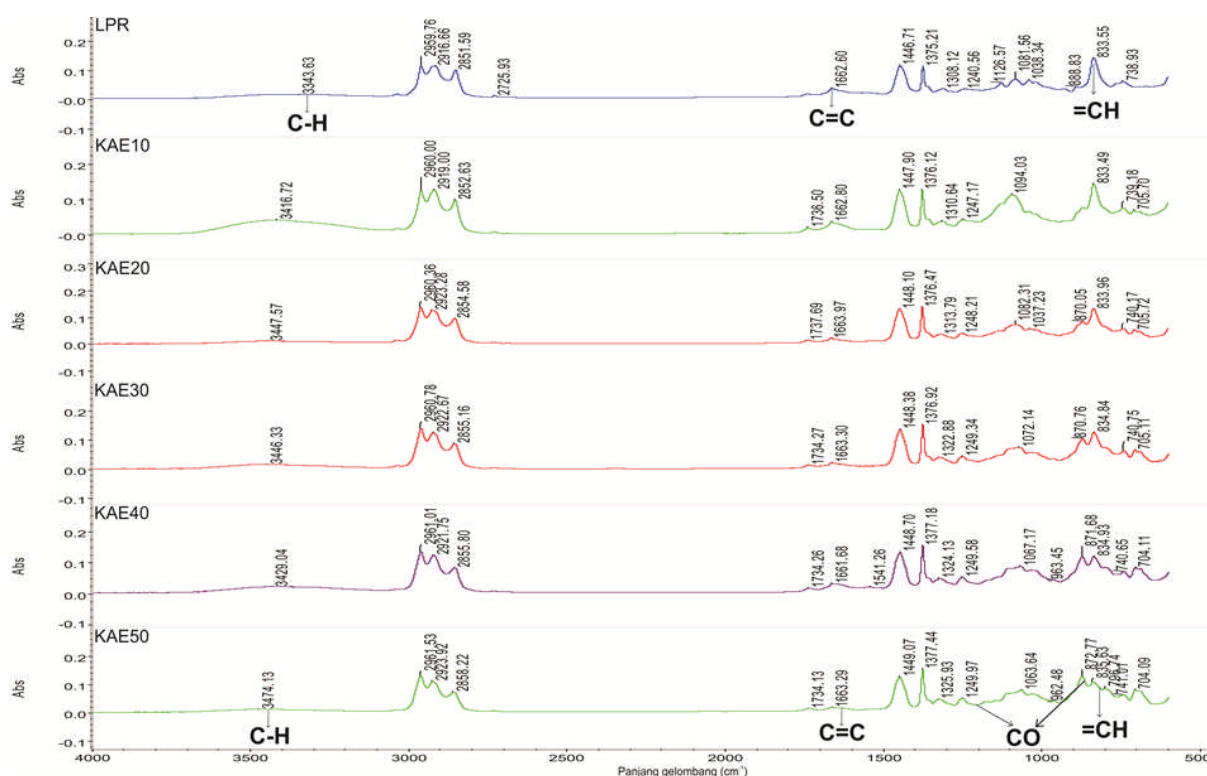
Pergerakan molekul karet setelah reaksi kimia perlu diketahui melalui analisa *FT-IR* [15] ataupun *HNMR* [16]. Pergerakan molekul KAE (Gambar 5) tampak pada perubahan spektrum infra merah KAE yang memiliki karakteristik penyerapan pada panjang gelombang 870 cm^{-1} dan 1251 cm^{-1} untuk serapan regangan C-O gugus epoksi [7,17]. Pada spektrum infra merah KAE tampak bahwa terdapat penurunan serapan regangan C=C gugus isopren KA pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} dan serapan regangan C-H gugus alkana pada panjang gelombang 3000 cm^{-1} [7]. Hasil analisis kualitatif menunjukkan bahwa semakin tinggi % epoksi KAE maka semakin kecil serapan regangan C=C gugus isoprena KA pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} dan semakin besar serapan regangan C-O gugus epoksi penyerapan pada panjang gelombang 870 cm^{-1} dan 1251 cm^{-1} .

Pengaruh % Epoksi Terhadap Ketahanan Karet Epoksi dalam N-Pentana

Pada suatu karet, ketahanannya tampak pada seberapa banyak karet tersebut terlarut pada larutan, yang ditandai dari mengembangnya vulkanisat dalam larutan [18-20]. Ismail *et al.* [21,22] menjelaskan lebih lanjut bahwa tahan terhadap larutan merupakan suatu bentuk perlawanan karet untuk tidak mengembang di dalam larutan tersebut. Maka, semakin sedikit volume pengembangannya, semakin tahan terhadap n-pentana.

Tabel 1. Karakteristik KAE 10, KAE 20, KAE 30, KAE 40 dan KAE 50

Sampel	Kondisi reaksi			Produk reaksi epoksidasi		
	Konsentrasi asam format : hidrogen peroksida	Suhu (°C)	Waktu (jam)	E	O	R
KAE 10	0,3 : 0,4	60	6	13,12	28,71	1,21
				13,37	28,84	1,62
				11,06	25,89	2,09
KAE 20	0,3 : 0,5	60	6	19,19	36,57	-1,05
				19,38	36,37	0,28
				22,52	40,27	-0,63
KAE 30	0,3 : 0,75	60	6	33,70	53,02	0,20
				35,97	55,86	-1,12
				33,91	53,33	-0,27
KAE 40	0,3 : 0,75	65	6	43,21	64,30	-1,83
				41,53	61,95	1,39
				42,93	63,88	-1,10
KAE 50	0,3 : 1	65	5,5	51,92	74,03	1,52
				51,84	74,21	-1,50
				53,39	75,81	0,55

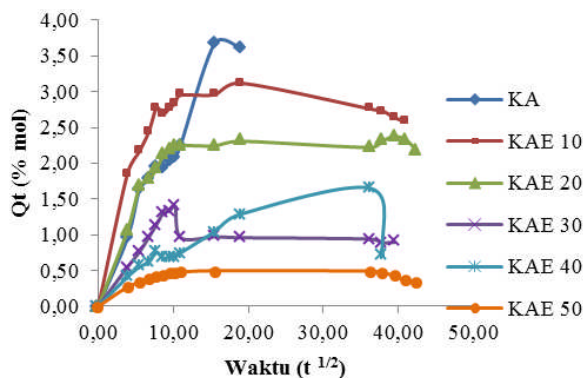


Gambar 5. Spektrum infra merah KA dan KAE.

Ketahanan KAE dalam n-pentana ditunjukkan dari nilai persentase molar serapan n-pentana (Q_t) dan koefisien difusi pelarut (D) yang disajikan pada Gambar 6 dan Tabel 2. Pada Gambar 6 diketahui bahwa Q_t meningkat seiring peningkatan waktu pengujian hingga tercapainya titik jenuh atau kesetimbangan. Titik jenuh dicapai saat larutan tidak dapat terserap masuk ke karet, kemudian karet cenderung mengembang/swelling. Hasil ini menunjukkan bahwa seiring waktu penyerapan n-pentana ke dalam permukaan karet semakin meningkat. Namun, ketika Q_t mencapai titik jenuh, maka Q_t akan cenderung mengalami penurunan. Hal ini dimungkinkan

adanya senyawa KA atau KAE yang terlarut dalam pelarut n-pentana.

Hasil pengujian Q_t dan D menunjukkan bahwa nilai Q_t dan D KAE lebih kecil dibandingkan KA. Hasil ini menunjukkan bahwa KAE memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap n-pentana dibandingkan KA. Ketahanan KAE terhadap n-pentana meningkat seiring kandungan gugus epoksidasi nya, yang ditandai dengan penurunan nilai Q_t dan Q_∞ pada KAE 50. Nilai D pada KAE menurun seiring kenaikan kandungan epoksinya. KAE 50 memiliki nilai Q_t , Q_∞ dan D terendah, hasil ini menunjukkan bahwa jumlah



Gambar 6. Persentase molar serapan n-pentana per gram karet mentah KA dan KAE.

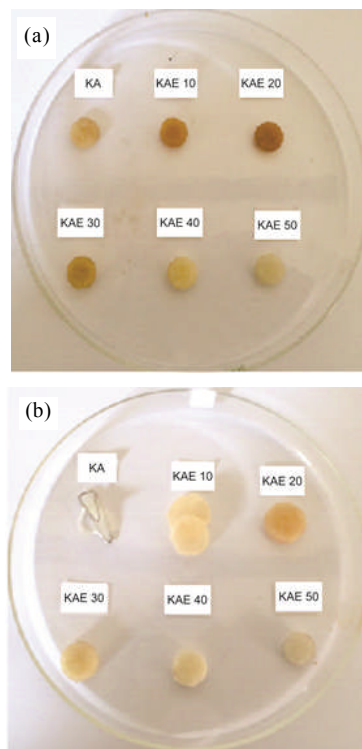
Tabel 2. Kesetimbangan mol yang diserap dan koefisien difusi KA dan KAE.

Sampel	Kesetimbangan mol yang diserap (Q_s) (%)	Koefisien difusi (D) (cm^2/menit)
KA	3,6736	$1,0066 \times 10^{-4}$
KAE 10	2,8358	$1,9723 \times 10^{-5}$
KAE 20	2,2366	$1,9211 \times 10^{-5}$
KAE 30	1,3347	$2,0554 \times 10^{-5}$
KAE 40	1,6489	$1,7845 \times 10^{-5}$
KAE 50	0,4699	$1,7328 \times 10^{-5}$

penyerapan n-pentana pada KAE 50 sedikit dan berlangsung lambat.

Gambar 7 menyajikan penampakan visual KA dan KAE setelah direndam dalam pelarut n-pentana selama 24 jam. Pada gambar terlihat bahwa sampel KA tidak tahan terhadap pelarut n-pentana, ditandai dengan terlarutnya sebagian sampel KA pada pelarut n-pentana. Hasil analisis *H-NMR* [23] menyatakan bahwa karet yang telah direndam dalam suatu pelarut mengalami kerusakan struktur molekulnya, sehingga secara fisik tampak sebagian karet terlarut dalam n-pentana. Sedangkan penampakan visual KAE 50 setelah perendaman 24 jam pada n-pentana relatif tidak berbeda dengan penampakan visualnya sebelum perendaman. Hal ini menunjukkan bahwa KAE 50 memiliki ketahanan yang baik di pelarut n-pentana.

Kondisi reaksi (jumlah pereaksi, suhu dan waktu reaksi) mempengaruhi kandungan gugus epoksi pada KAE. Seiring dengan jumlah penambahan hidrogen peroksida, kenaikan suhu dan lama waktu reaksi meningkatkan kandungan gugus epoksi KAE. Hasil analisa kuantitatif menunjukkan bahwa seiring peningkatan kandungan gugus epoksi KAE maka semakin kecil serapan regangan C=C gugus isoprene karet alam pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} dan semakin besar serapan regangan C-O gugus epoksi penyerapan pada panjang gelombang 870 cm^{-1} dan 1251 cm^{-1} . Ketahanan KAE terhadap pelarut n-pentana meningkat seiring kenaikan kandungan gugus epoksi di KAE, ditandai dengan paling rendahnya nilai Q_t dan Q_∞ . KAE 50 serta penampakan visual KAE 50 yang relatif tidak berbeda dengan



Gambar 7. Penampakan visual KA dan KAE (a). sebelum dan (b). setelah pengujian ketahanan dalam pelarut n-pentana.

penampakan visualnya sebelum perendaman dalam pelarut n-pentana.

KESIMPULAN

Kondisi reaksi (jumlah pereaksi, suhu dan waktu reaksi) mempengaruhi kandungan gugus epoksi pada KAE. Seiring dengan jumlah penambahan hidrogen peroksida, kenaikan suhu dan lama waktu reaksi meningkatkan kandungan gugus epoksi KAE. Hasil analisa kuantitatif menunjukkan bahwa seiring peningkatan kandungan gugus epoksi KAE maka semakin kecil serapan regangan C=C gugus isoprena karet alam pada panjang gelombang 1600 cm^{-1} dan semakin besar serapan regangan C-O gugus epoksi penyerapan pada panjang gelombang 870 cm^{-1} dan 1251 cm^{-1} . Ketahanan KAE terhadap pelarut n-pentana meningkat seiring kenaikan kandungan gugus epoksi di KAE, ditandai dengan paling rendahnya nilai Q_t dan Q_∞ . KAE 50 serta penampakan visual KAE 50 yang relatif tidak berbeda dengan penampakan visualnya sebelum perendaman dalam pelarut n-pentana.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kemenristek Dikti atas bantuan dana Sinas 2015 sehingga dapat terlaksananya penelitian ini. Penulis turut menghaturkan ucapan terimakasih kepada Pusat Penelitian Karet khususnya kepada Dr. Dadi Maspanger

atas bimbingannya dalam penyusunan naskah publikasi. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada teknisi penelitian (Yati Nurhayati, S.Si dan Woro Andriani, S.Si) dan teknisi laboratorium pengujian fisika dan pabrik percobaan (Anwar Tavip, Muchtar, dan Jaenal, ST) atas masukan dan bantuannya dalam penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. H. Zhang, Y. Li, J. Shou, Z. Zhang, G. Zhao, Y. Liu. "Effect of Curing Temperature on Properties of Semi-Efficient Vulcanized Natural Rubber". *Journal of Elastomers & Plastics*, vol. 48, no. 4, pp. 331-339, Jun. 2015.
- [2]. Y.R.S. Yahya, A.R. Azura, Z. Ahmad. "Effect of Curing Systems on Thermal Degradation Behaviour of Natural Rubber (SMR CV 60)". *Journal of Physical Science*, vol. 22, no. 2, pp. 1-14, Jul. 2011.
- [3]. W. Pongdong, C. Nakason, C. Kummerlöwe, N. Venneman. "Influence of Filler from a Renewable Resource and Silane Coupling Agent on the Properties of Epoxidized Natural Rubber Vulcanizates". *Journal of Chemistry*, vol. 2015, pp. 1-15, Feb. 2015.
- [4]. H. Handayani, M.I. Fathurrohman, I. Kuncoro. "Karakteristik Sifat Fisik dan Ketahanan terhadap Minyak dari Karet Alam Epoksi". *Jurnal Penelitian Karet*, vol. 29, no.1, hal.49-62, Jul. 2011.
- [5]. S.Y. Lee, S.N. Gan, A. Hassan, K. Terakawa, T. Hattori, N. Ichikawa, D.H. Choong. "Reactions Between Epoxidized Natural Rubber and Palm Oil-Based Alkyds at Ambient Temperature". *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 120, pp.1503-1509, Nov. 2011.
- [6]. S.K. Tan, S. Ahmad, C.H. Chia, A. Mamun, H.P. Heim. "A Comparison Study Of Liquid Natural Rubber (LNR) and Liquid Epoxidized Natural Rubber (LENR) as The Toughening Agent for Epoxy". *American Journal of Materials Science*, vol. 3, no. 3, pp. 55-61, May 2013.
- [7]. I. M. Alwaana, A. Hassanb, M. Jawaide. "Effect of Natural Rubber/Epoxidized Natural Rubber (90/10) on Mechanical and Thermal Properties of Linear Low Density Polyethylene". *Journal Polymer Mater*, vol. 30, no. 1, pp. 117-130, Mar. 2013.
- [8]. C.H. Chan, S.F. Sulaiman, H.W. Kammer, L.H. Sim, M.K. Harun. "Thermal Properties of Epoxidized Natural Rubber-Based Polymer Blends". *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 120, pp. 1774-1781, Dec. 2011.
- [9]. C. He, Y. Wang, Y. Luo, L. Kong, Z. Peng. "Thermal Degradation Kinetics and Mechanism of Epoxidized Natural Rubber". *Journal Polymer Engineering*, vol. 33, no. 4, pp. 331-335, Jun. 2013.
- [10]. G.N. Onyeagoro. "Effect Of Zinc Oxide Level and Blend Ratio on Vulcanizate Properties of Blend of Natural Rubber and Acrylonitrilebutadiene Rubber in The Presence of Epoxidized Natural Rubber". *Academic Research International*, vol. 3, no. 1, pp. 499-509, July 2012.
- [11]. S. Chakraborty, S.K. Ameta, S. Dasgupta, R. Mukhopadhyay, H.S. Singhanian. "Quantitative Application of FT-IR in Rubber". *Rubber World*, vol. 241, no. 4, pp.33-38, Oct. 2010.
- [12]. H.C. Obasi, O. Ognobe, I.O. Igwe. "Diffusion Characteristics of Toluene Into Natural Rubber/Linear Low Density Polyethylene Blends". *International Journal of Polymer Science*, pp.1-6, Des. 2009.
- [13]. C. Ruksakulpiwat, S. Nuasaen S, C. Poonsawat, P. Khansawai. "Synthesis and Modification of Epoxidized Natural Rubber from Natural Rubber Latex". *Advanced Materials Research*, vol. 47-50 pp. 734-737, Jul. 2008.
- [14]. M. Irfan. "Reaksi α -Pinema dengan Hidrogen Peroksida-Asetonitril dalam Suasana Asam". *Skripsi*, Universitas Negeri Semarang, 2006.
- [15]. A.A. Rohadi, A.R. Rahmat, M.M. Kamal. "Effect of Epoxidation Level in Silica Filled Epoxidized Natural Rubber Compound on Cure, Rheological, Mechanical and Dynamic Properties". *Applied Mechanics and Materials*, vol. 554, pp. 71-75, Jun. 2014.
- [16]. T. Gao, H. Huang, P. Lic, K. Xud, M. Huange. "Study on Network of Epoxidized Natural Rubber with Different Epoxidation Degree: Measured by $^1\text{H-NMR}$ ". *Advanced Materials Research*, vol. 602-604, pp. 700-703, Mar. 2013.
- [17]. I. Khan, B.T. Poh. "Effect of Molecular Weight and Testing Rate on Peel and Shear Strength of Epoxidized Natural Rubber (ENR 50)-Based Adhesives". *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 120, pp. 2641-2647, Dec. 2011.
- [18]. M. Narathichat, C. KummerlÖwe, N. Vennemann, K. Sahakaro, C. Nakason. "Influence of Epoxide Level and Reactive Blending on Properties of Epoxidized Natural Rubber and Nylon-12 Blends". *Advances in Polymer Technology*, vol. 31, no. 2, pp. 118-129, Oct. 2011.
- [19]. M.M. Hassan, R.O. Aly, A.H. El-Ghandour, H.A. Abdelnaby. "Effect of Gamma Irradiation on Some Properties of Reclaimed Rubber/Nitrile-Butadiene Rubber Blend and Its Swelling in Motor and Brake Oils". *Journal of Elastomers & Plastics*, vol. 45, no. 1, pp. 77-94, Jan.2013.
- [20]. S.H. Ho, S.A. Ghani, P.L. Teh. "Effect of Isophthalic Acid-Maleic Anhydride (IAMA) as a Compatibilizer on Tensile Properties and Swelling Behavior of Ethylene Vinyl Acetate (EVA)/ Natural Rubber (NR)/ Potash Feldspar Composites". *Applied Mechanics and Materials*, vol. 679, pp. 76-80, Oct. 2014.

- [21]. H. Ismail, R.B.A. Majid, R.M. Taib. "Effects of dynamic vulcanization on Tensile, Morphological, and Swelling Properties of Poly (Vinyl Chloride) (PVC)/Epoxidized Natural Rubber (ENR)/(Kenaf Core Powder) Composites". *Journal of Vinyl & Additive Technology*, pp. 1-7, Jul. 2014
- [22]. S. Ismail, Z.A.A. Ishak, Hamid. "Effect of Blend Ratio on Cure Characteristics, Tensile Properties, Thermal and Swelling Properties of Mica-Filled (Ethylene-Propylene-Diene Monomer)/(Recycled Ethylene-Propylene-Diene Monomer) (EPDM/R-EPDM) Blends". *Journal of Vinyl & Additive Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 1-6, Mar. 2015
- [23]. L. Imbernon, E.K. Oikonomou, S. Norvez, L. Leibler. "Chemically Crosslinked yet Reprocessable Epoxidized Natural Rubber via Thermo-Activated Disulfide Rearrangements". *Polymer Chemistry*, vol. 6, pp. 4271-4278, Apr. 2015.