

Ketahanan n-pentana dan sifat mekanis vulkanisat karet perapat dari campuran karet alam/akrilonitril-butadiena dengan kompatibiliser

N-pentane resistance and mechanical properties of rubber seal vulcanizate from natural rubber/acrilonitrile-butadiene rubber blend with compatibilizer

Norma Arisanti Kinasih*, M. Irfan Fathurrohman

Pusat Penelitian Karet, Jalan Salak No. 1 Bogor 16151, Indonesia
*Penulis korespondensi. Telp.: +62 251 8319817; Fax.: +62 251 8324047
E-mail: norma.kinasih88@gmail.com

Diterima: 8 April 2016 Direvisi: 8 September 2016 Disetujui: 9 September 2016

ABSTRACT

The improvement of the compatibility of natural rubber (NR)/acrilonitrile-butadiene rubber (NBR) blend on rubber seal vulcanizate has been done by the addition of chloroprene rubber (CR) or epoxidized natural rubber (ENR) as compatibilizer. Rubber seal compound was made of NR and NBR blend (BN) with CR (BCR), and ENR with epoxy content of 10% (BENR10), 20% (BENR20), 30% (BENR30), 40% (BENR40), and 50% (BENR50). The composition in each formula was homogenized, with comparison of NR:NBR at 40:60, and NR:compatibilizer:NBR at 40:5:55. That compounds were vulcanized with efficient system at 150°C. The addition of CR-compatibilizer improved the curing characteristic, compression set, and n-pentane resistance of BN vulcanizate. Meanwhile, the addition of KAE-compatibilizer improved the elasticity of BN vulcanizate. BENR elasticity and n-pentane resistance increased in line with the increasing level of epoxy content of ENR.

Keywords: rubber seal, compatibilizer, n-pentane resistance, mechanical properties.

ABSTRAK

Peningkatan kompatibilitas pencampuran karet alam (KA) dan akrilonitril-butadiena (NBR) pada vulkanisat karet perapat dilakukan dengan menambahkan kompatibiliser karet kloroprena (CR) atau karet alam epoksidasi (KAE). Kompon karet perapat dibuat dari campuran KA dan NBR (BN) dengan kompatibiliser CR (BCR) dan KAE dengan kandungan epoksi 10% (BKAE10), 20% (BKAE20), 30% (BKAE30), 40% (BKAE40), dan 50% (BKAE50). Komposisi pada masing-masing formula diseragamkan dengan perbandingan KA:NBR sebesar 40:60 dan KA:kompatibiliser:NBR sebesar 40:5:55. Kompon divulkanisasi dengan sistem efisien pada suhu 150°C. Penambahan kompatibiliser CR memperbaiki karakteristik pematangan, pampatan tetap, dan ketahanan n-pentana vulkanisat KA/NBR (BN). Sedangkan penambahan kompatibiliser KAE memperbaiki sifat elastis vulkanisat. Keelastisan dan ketahanan n-pentana BKAE meningkat seiring kandungan epoksi KAE.

Kata kunci: karet perapat, kompatibiliser, ketahanan n-pentana, sifat mekanis.

PENDAHULUAN

Karet perapat (*rubber seal*) pada tabung gas *liquified petroleum gas* (LPG) dipasang untuk mencegah terjadinya kebocoran gas pada waktu pengisian atau penggunaan tabung LPG serta memperkuat kedudukan regulator. Pada pembuatan produk karet perapat, bahan baku karet yang di-

gunakan harus tahan terhadap gas LPG. Pada SNI karet perapat (SNI 7655:2010), ketahanan karet terhadap gas LPG didekati melalui pengujian ketahanan karet terhadap pelarut non polar n-pentana. Salah satu alternatif bahan baku pembuatan karet perapat adalah karet akrilonitril butadiena (NBR). NBR memiliki ketahanan yang baik terhadap oli

dan pelarut-pelarut non polar n-pentana (Wang *et al.*, 2014; Choi & Ha, 2009), dimana ketahanannya meningkat seiring kandungan akrilonitrilnya (Sommer, 2009).

Selain itu, bahan baku karet perapat juga harus memenuhi persyaratan sifat mekanis karet perapat, terutama pampatan tetap, perpanjangan putus, dan kekerasan. Karet NBR memiliki sifat mekanis yang rendah, sehingga diperlukan pencampuran (*blending*) antara karet NBR dengan karet yang memiliki sifat mekanis yang baik. Karet alam (KA) merupakan polimer bio-sintesis alami yang mempunyai sifat mekanis dan dinamis yang baik serta mempunyai karakteristik proses yang baik (Ismail *et al.*, 2001; Sahakaro *et al.*, 2009). Namun, KA memiliki ketahanan kimia yang rendah (Yahya *et al.*, 2011). Pencampuran antara KA dan NBR diharapkan dapat menggabungkan dua sifat dasar karet sehingga dapat saling melengkapi. Pencampuran dua karet tersebut, diharapkan dapat mensubsitusi kebutuhan impor karet sintetis NBR sehingga dapat menekan biaya produksi karet perapat.

Pencampuran kedua jenis karet harus mempertimbangkan kompatibilitas karet tersebut, yang dapat didekati dengan parameter kelarutan masing-masing karet. Parameter kelarutan KA 16,9 MPa^{1/2}, sedangkan NBR bergantung pada kandungan akrilonitrilnya. NBR dengan kandungan akrilonitril 18%, 25%, 30%, dan 39% memiliki parameter kelarutan 18, 19, 20, dan 21 MPa^{1/2} (Brandrup *et al.*, 1998). Perbedaan parameter kelarutan antar polimer $>0,5 \text{ (cal cm}^{-3}\text{)}^{1/2} = 10^3 \text{ (Jm}^{-3}\text{)}^{1/2} = 1 \text{ MPa}^{1/2}$ menunjukkan bahwa kedua polimer tidak kompatibel (Corish, 1967). Oleh karena itu untuk meningkatkan kompatibilitas campuran KA dan NBR diperlukan kompatibiliser (Kongsin & Lewan, 1998; Thomas *et al.*, 2012). Selain itu, penambahan kompatibiliser juga dapat meningkatkan sifat mekanis (Wu *et al.*, 2006; Prakashan *et al.*, 2007), *intermixing* (Yu *et al.*, 2007), ketahanan termal (Vallim *et al.*, 2009) dan ketahanan terhadap larutan (Ismail *et al.*, 2015) campuran karet tersebut.

Karet yang dipilih sebagai kompatibiliser adalah karet yang memiliki parameter kelarutan di antara KA dan NBR, seperti karet kloroprena (CR) dan karet alam epoksi (KAE). Parameter kelarutan CR sebesar 18,5 MPa^{1/2} (Brandrup *et al.*, 1998). CR memiliki struktur yang mirip dengan KA, namun lebih polar dikarenakan kandungan klorin (Thomas *et al.*, 2013). Selain itu ada struk-

tur dipole dalam unit berulang, memungkinkan CR berinteraksi dengan unit berulang akrilonitril di NBR (Thomas *et al.*, 2012). KAE merupakan KA yang dimodifikasi secara kimia melalui reaksi epoksidasi. KAE memiliki sifat tahan terhadap oli dan pelarut non-polar (Klattanavith, 1988; Gelling, 1991; Palaty & Joseph, 2001; Tanrattanakul *et al.*, 2003), permiasi gas yang rendah, adhesi dan damping yang baik (Gelling, 1991; Ismail *et al.*, 2001). KAE memiliki kadar epoksi yang bervariasi sehingga menghasilkan karet dengan parameter kelarutan yang berbeda. KAE 26% mol memiliki parameter kelarutan sebesar 17,4 MPa^{1/2} dan KAE 48% mol memiliki parameter kelarutan sebesar 18,2 MPa^{1/2} (Gelling, 1991).

Penambahan kompatibiliser dalam pencampuran KA dan NBR telah dilakukan, beberapa kompatibiliser yang ditambahkan antara lain *methyl methacrylate grafted rubber* (seperti *Heveaplus* MG30), *ungrafted natural rubber/poly-methyl methacrylate* (PMMA) (de Silva & Lewan, 1998a) dan CR (Kongsin & Lewan, 1998; Thomas *et al.*, 2012). Penggunaan KAE sebagai kompatibiliser juga telah dilakukan pada campuran KA/NBR (Onyeagoro, 2012) dan KA/etilena vinil asetat (EVA) (Yong *et al.*, 2007), komposit NBR-*nanoclay* (Rajasekar *et al.*, 2009) dan nanokomposit KA-*organoclay* (Teh *et al.*, 2004). Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser dapat meningkatkan sifat mekanis dan ketahanan minyak campuran KA/NBR serta mempercepat waktu pemasakan vulkanisat (Thomas *et al.*, 2012) dan komposit (Rajasekar *et al.*, 2009), namun belum ada informasi mengenai ketahanan campuran tersebut di dalam n-pentana. Selain itu, belum pernah juga dilakukan kajian mengenai penggunaan KAE sebagai kompatibiliser dengan beberapa tingkat kandungan epoksinya pada campuran KA/NBR. Maka pada penelitian ini akan dikaji mengenai pengaruh penambahan kompatibiliser KAE dan CR terhadap ketahanan n-pentana dan sifat mekanis campuran KA/NBR.

BAHAN DAN METODE

Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan untuk pembuatan kompon terdiri dari KA jenis SIR 20 dari PTPN 8, NBR (Krynac 3345) dengan kandungan akrilonitril 33% dan viskositas Mooney 45 ML1+4 (100°C) dari Lanxess, KAE dengan kandungan epoksidasi sebesar 10%, 20%, 30%, 40%, dan

50% telah diperoleh dari penelitian sebelumnya (Kinasih & Fathurrohman, 2015a), CR, antiozonan, antireversi dan homogenizer berasal dari Rhein Chemie, *carbon black* N-770 dari Cabot, antioksidan, pelunak, ZnO, asam stearat, belerang dan bahan pencepat seperti: CBS, TMTD, dan DTDM berasal dari suplier lokal dan n-pentana dari Merck.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *open mill*, *moving die rheometer* (MDR 2000), *hardness tester*, *tensometer* (Loyd 2000R), pemotong *dumbbell* tipe 2, *ozone aging tester*, erlenmeyer, penjepit, timbangan, kertas saring dan oven.

Metode Penelitian

Pembuatan vulkanisat

Kompon karet perapat dibuat dari campuran KA dan NBR tanpa kompatibiliser (BN) dan penambahan kompatibiliser CR (BCR) dan KAE (BKAE) dengan kandungan epoksi 10% (BKAE10), 20% (BKAE20), 30% (BKAE30), 40% (BKAE40), dan 50% (BKAE50). Komposisi pada masing-masing formula diseragamkan dengan perbandingan KA:NBR sebesar 40:60 dan penambahan kompatibiliser sebesar KA:kompatibiliser:NBR sebesar 40:5:55. Formulasi ketujuh kompon karet perapat tersebut disajikan pada Tabel 1.

Bahan-bahan penyusun masing-masing for-

mula tersebut dicampur dengan sistem *master batch* menggunakan mesin giling terbuka pada suhu $65 \pm 5^\circ\text{C}$. Metode penggilingan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh de Silva and Lewan (1998b). Kompon karet yang telah digiling selanjutnya disimpan pada suhu ruang minimal selama 16 jam sebelum divulkanisasi. Sebelum divulkanisasi, waktu kematangan optimum vulkanisat ditentukan berdasarkan hasil pengujian menggunakan *Moving Die Rheometer* (MDR). Kompon selanjutnya divulkanisasi menggunakan *compression molding* pada suhu 160°C dan tekanan 100 kg/cm^2 selama waktu kematangan optimum.

Karakterisasi pematangan

Karakterisasi pematangan kompon diuji pada suhu 160°C . Penentuan suhu vulkanisasi didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan yang menyatakan bahwa NBR dengan kandungan akrilonitril yang tinggi maka harus divulkanisasi pada suhu yang tinggi (Kinasih *et al.*, 2015b). Hasil rheometer tersebut menyajikan karakteristik pematangan pada masing-masing kompon yang meliputi; torsi maksimum (S_{\max}) dan minimum (S_{\min}), delta torsi ($S_{\max}-S_{\min}$), waktu optimum vulkanisasi (t_{90}) dan indeks kecepatan reaksi (*cure rate index*/CRI). CRI dihitung berdasarkan perbedaan t_{90} dan waktu *scorch* vulkanisasi (t_{s2}) dengan persamaan (1) berikut (Chonkaew *et al.*, 2011).

$$\text{CRI} = \frac{100}{t_{c_{90}} - t_{s_2}} \quad (1)$$

Tabel 1. Desain kompon karet perapat dari campuran KA dan NBR dengan kompatibiliser KAE dan CR

Bahan	Part per hundred rubber (phr)						
	BN	BCR	BKAE10	BKAE20	BKAE30	BKAE40	BKAE50
KA	40	40	40	40	40	40	40
NBR3345	60	55	55	55	55	55	55
CR	-	5	-	-	-	-	-
KAE	-	-	5	5	5	5	5
N774	50	50	50	50	50	50	50
Antiozonan	2	2	2	2	2	2	2
Antioksidan	1	1	1	1	1	1	1
Pelunak	5	5	5	5	5	5	5
ZnO	5	5	5	5	5	5	5
Asam Stearat	1	1	1	1	1	1	1
CBS	1	1	1	1	1	1	1
TMTD	2	2	2	2	2	2	2
DTDM	1	1	1	1	1	1	1
Belerang	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Antireversi	1	1	1	1	1	1	1

Pengujian sifat mekanis dan pengusangan vulkanisat

Pengujian sifat mekanis vulkanisat karet perapat sesuai dengan SNI 7655:2010. Sifat mekanis vulkanisat yang diukur antara lain kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus dan pampatan tetap. Pengujian kekerasan vulkanisat sesuai dengan ISO 7619-1, dengan sampel uji berupa tiga lapis lembaran persegi (15x15 cm) setebal 2 mm. Pengujian kuat tarik dan perpanjangan putus sesuai dengan ISO 37, dengan sampel uji berbentuk *dumbbell* tipe 2. Pengujian pampatan tetap dilakukan pada suhu ruang dan suhu $-5\pm 2^\circ\text{C}$ sesuai dengan ISO 815-1 dan 2, dengan sampel uji berbentuk silinder berdiameter 12 mm dan tebal 6,3 mm. Pengusangan dilakukan pada suhu $70\pm 2^\circ\text{C}$ selama 7 hari, sesuai dengan ISO 188. Pengamatan meliputi perubahan kekerasan, kuat tarik dan perpanjangan putus setelah pengusangan.

Pengujian ketahanan n-pentana vulkanisat

Pengujian ketahanan vulkanisat karet terhadap n-pentana sesuai dengan ISO 1817. Pengujian tersebut mengamati perubahan volume setelah perendaman dalam n-pentana selama 7 hari pada suhu ruang dan dikeringkan pada suhu $70\pm 2^\circ\text{C}$ selama 4 hari. Koefisien serapan dan persentase molar serapan n-pentana per gram vulkanisat campuran KA/NBR dengan kompatibiliser CR atau KAE dihitung menggunakan persamaan (2) berikut (Obasi *et al.*, 2009).

$$S = \frac{M_\infty}{M_0} \quad (2)$$

S adalah koefisien serapan vulkanisat campuran KA/NBR dengan dan tanpa kompatibiliser CR atau KAE, M_∞ adalah massa serapan n-pentana di vulkanisat campuran KA/NBR dengan dan tanpa kompatibiliser CR atau KAE pada kondisi ekuilibrium, dan M_0 adalah massa awal vulkanisat campuran KA/NBR dengan dan tanpa kompatibiliser CR atau KAE.

Persentase molar serapan n-pentana per gram vulkanisat campuran KA/NBR dengan dan tanpa kompatibiliser CR atau KAE (Q_t) dihitung dengan persamaan (3) berikut:

$$Q_t = \frac{M_t - M_0}{\text{Berat molekul n-pentana} / M_0} \times 100\% \quad (3)$$

M_t adalah massa serapan n-pentana di vulkanisat campuran KA/NBR dengan dan tanpa kompatibiliser CR atau KAE pada waktu tertentu (t).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Pematangan

Karakteristik pematangan campuran KA/NBR menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser CR mampu meningkatkan jumlah ikatan silang, sedangkan penambahan kompatibiliser KAE cenderung menurunkan jumlah ikatan silang pada campuran karet, yang tampak pada nilai torsi maksimum dan delta torsinya. Gonzalez *et al.* (2005) menyatakan bahwa nilai torsi maksimum dan delta torsi menunjukkan ikatan silang yang terbentuk dari sebuah kompon. Hal ini dikarenakan CR memiliki struktur yang mirip dengan KA, namun lebih polar (Thomas *et al.*, 2013). Sedangkan reaksi epoksidasi pada KAE mengubah ikatan rangkap menjadi ikatan oksiran, dimana dengan berkurangnya jumlah ikatan rangkap tersebut menurunkan kemungkinan KAE berikatan silang dengan bahan pemvulkanisasi. Teh *et al.* (2004) menjelaskan bahwa gugus epoksi kemungkinan berikatan silang dengan gugus amina pengikat (ZnO dan asam stearat). Sedangkan torsi minimum menunjukkan viskositas vulkanisat karet (Marković, 2013). Hasil pengujian menunjukkan bahwa viskositas campuran KA/NBR tanpa dan dengan penambahan kompatibiliser CR dan KAE relatif sama.

Hasil pengamatan waktu optimum (t_{90}), *scorch* (t_{s2}) dan indeks kecepatan reaksi (CRI) vulkanisasi vulkanisat karet perapat menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah ikatan silangnya maka semakin cepat waktu vulkanisasi berlangsung. Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser CR mempercepat waktu vulkanisasi, sedangkan penambahan kompatibiliser KAE memperlambat waktu vulkanisasi. Jumlah kandungan epoksi turut mempercepat waktu vulkanisasi. Kompon karet perapat dengan kompatibiliser KAE menunjukkan bahwa BKAE 50 memiliki waktu tersingkat dibandingkan kompon BKAE yang lain.

Sifat Mekanis dan Pengusangan Vulkanisat

Penambahan kompatibiliser pada campuran KA/NBR dimaksudkan untuk meningkatkan kompatibilisasi antara kedua jenis karet tersebut. Penambahan kompatibiliser yang sesuai dalam suatu campuran dapat meningkatkan pencampuran antar karet tersebut, dimana dapat terlihat dari sifat fisis-mekanis vulkanisat (Setua & Gupta, 2007). Gambar 1 menyajikan hasil pengujian sifat mekanis vulkanisat karet perapat, meliputi kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan

Tabel 2. Karakterisasi pematangan kompon karet perapat dari campuran KA dan NBR dengan kompatibiliser KAE dan CR.

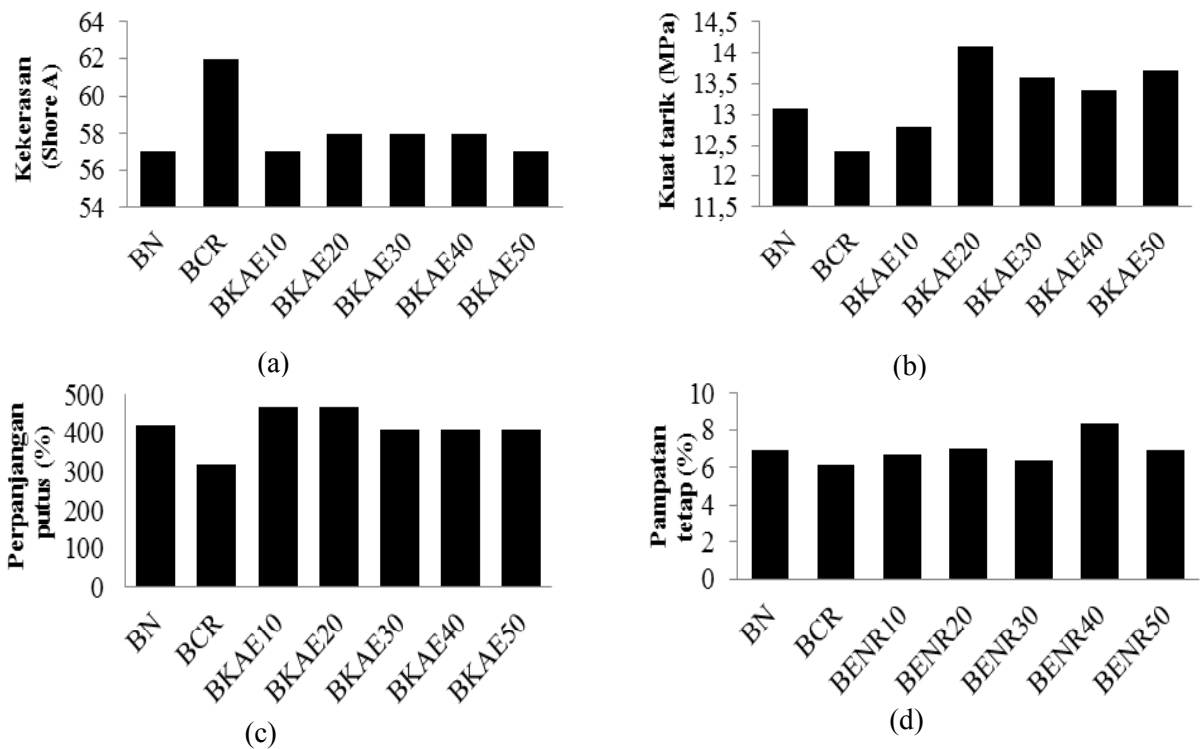
Karakteristik pematangan	BN	BCR	BKAE10	BKAE20	BKAE30	BKAE40	BKAE50
S_{max} (kg-cm)	13,47	13,6	10,9	11,6	11,8	11,3	10,7
S_{min} (kg-cm)	0,56	0,6	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6
$S_{max}-S_{min}$ (kg-cm)	12,91	13,0	10,4	10,9	11,0	10,7	10,1
t_{90} (menit)	4,13	4,08	4,33	4,14	4,0	4,14	4,07
t_{s2} (menit)	1,55	1,53	2,02	1,57	1,57	2,01	2
CRI	38,8	39,2	43,3	38,9	39,8	46,9	48,3

pampatan tetap. Kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, dan pampatan tetap suatu vulkanisat sangat berhubungan dengan jumlah ikatan silang yang terbentuk. Semakin banyak jumlah ikatan silang yang terbentuk, maka semakin besar nilai kekerasan dan semakin kecil perpanjangan putus, kuat tarik dan pampatan tetapnya.

Vulkanisat karet perapat dengan penambahan kompatibiliser CR menghasilkan ikatan silang yang lebih banyak dibandingkan vulkanisat karet perapat tanpa kompatibiliser dan dengan penambahan kompatibiliser KAE. CR memiliki struktur yang mirip dengan KA, namun lebih polar dikarenakan kandungan klorin (Thomas *et al.*, 2013). Sehingga vulkanisat karet perapat dengan kom-

patibiliser CR lebih keras dibandingkan dengan kompatibiliser KAE. Kekerasan vulkanisat karet perapat dengan kompatibiliser KAE menurun seiring kandungan epoksinya. Tanrattanakul *et al.* (2003) menyatakan bahwa kekerasan vulkanisat KAE semakin menurun seiring kandungan epoksinya, maka vulkanisat karet perapat dengan kompatibiliser KAE 50% menunjukkan keelastisan yang paling baik dibandingkan vulkanisat lainnya. Nilai kekerasan vulkanisat karet perapat tanpa dan dengan kompatibiliser CR atau KAE mampu memenuhi syarat mutu kekerasan vulkanisat karet perapat yang terdapat di dalam SNI 7655:2010 yaitu sebesar 60 ± 5 Shore A.

Penambahan kompatibiliser CR cenderung



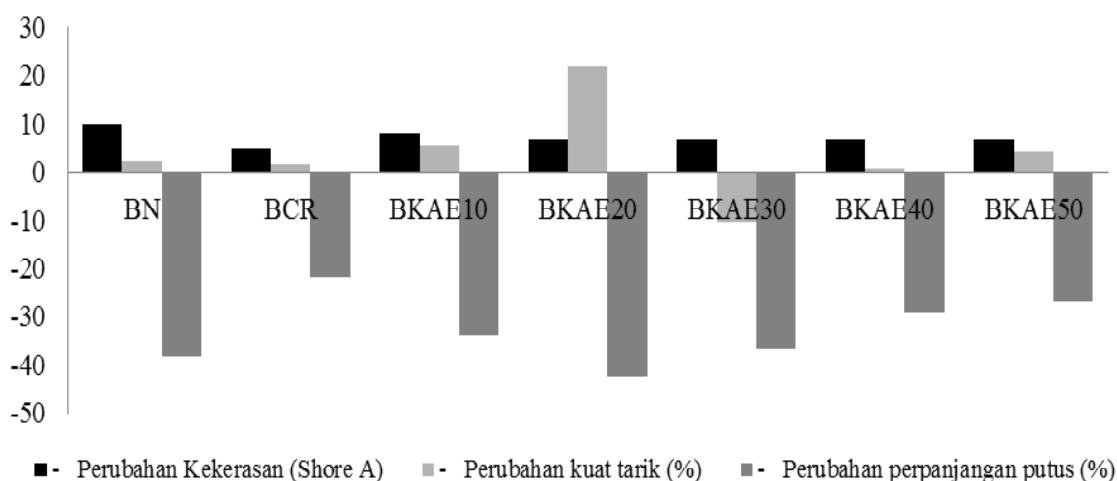
Gambar 1. (a) kekerasan (b) kuat tarik (c) perpanjangan putus (d) pampatan tetap vulkanisat karet perapat.

menurunkan kuat tarik dan perpanjangan putus vulkanisat karet perapat KA/NBR. Sedangkan penambahan kompatibiliser KAE meningkatkan nilai kuat tarik dan perpanjangan putus vulkanisat karet perapat KA/NBR (BN). Onyeagoro (2012) menyatakan bahwa penambahan KAE 33% mampu meningkatkan kuat tarik dan perpanjangan putus campuran KA/NBR. Besarnya nilai kuat tarik dan perpanjangan putus BKAE menunjukkan bahwa vulkanisat tersebut elastis. Keelastisan vulkanisat BKAE dimungkinkan dari bahan baku kompatibiliser KAE yang berupa KA, sehingga memiliki sifat mekanis yang baik dibanding karet sintesis CR. Namun, berdasarkan persyaratan mutu karet perapat yang terdapat di dalam SNI 7655:2010, nilai kuat tarik dan perpanjangan putus vulkanisat BCR dan BKAE lebih besar dari standarnya yaitu sebesar 10 MPa untuk kuat tarik dan 300% untuk perpanjangan putusnya. Besarnya nilai tersebut kemungkinan akibat KA yang diregangkan mengalami kristalisasi sehingga kuat tariknya menjadi besar (Tosaka, 2007).

Pampatan tetap merupakan salah satu parameter penting dalam karet perapat, semakin kecil pampatan tetap maka semakin baik vulkanisat tersebut digunakan untuk karet perapat. Nilai pampatan tetap campuran KA/NBR tanpa dan dengan kompatibiliser CR atau KAE relatif sama, berkisar antara 6 hingga 7 persen. Penambahan kompatibiliser CR mampu menurunkan pampatan tetap vulkanisat, sedangkan penambahan kompatibiliser KAE cenderung meningkatkannya. Keenam kompon karet perapat tersebut divulkanisasi

dengan sistem vulkanisasi yang sama yaitu efisien (EV), sehingga menghasilkan nilai yang relatif sama. Kinasih dan Fathurrohman (2015c) menyatakan bahwa sistem vulkanisasi EV menghasilkan sifat mekanis KA untuk karet perapat yang lebih baik dibandingkan sistem vulkanisasi semi-efisien (SEV) dan donor sulfur, sehingga nilai keenam vulkanisat tersebut sesuai dengan syarat mutu yang terdapat di dalam SNI 7655:2010, yaitu 10%.

Perubahan sifat mekanis vulkanisat karet perapat setelah pengusangan pada suhu $70\pm 2^\circ\text{C}$ selama 7 hari disajikan pada Gambar 2. Perubahan sifat mekanis vulkanisat BCR relatif lebih kecil dibandingkan vulkanisat BN dan BKAE. Penambahan kompatibiliser KAE cenderung lebih menaikkan perubahan kuat tarik dan menurunkan perubahan kekerasan dan perpanjangan putus vulkanisat karet perapat dibanding dengan vulkanisat tanpa kompatibiliser (BN). Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser CR mampu meningkatkan ketahanan vulkanisat terhadap panas, sedangkan penambahan kompatibiliser KAE cenderung hanya meningkatkan beberapa sifat mekanis vulkanisat terhadap panas. Penambahan kompatibiliser CR, yang merupakan karet sintesis memungkinkan vulkanisat BCR memiliki kandungan KA total yang lebih kecil dibandingkan BKAE dengan kompatibiliser KAE yang berbahan dasar KA. KA memiliki ikatan tidak jenuh yang banyak sehingga mudah terdegradasi karena adanya panas dan oksidasi (Phinyocheep & Boonjairik, 2006). Varughese and Tripathy



Gambar 2. Perubahan sifat mekanik vulkanisat karet perapat setelah pengusangan pada suhu $70\pm 2^\circ\text{C}$ selama 7 hari.

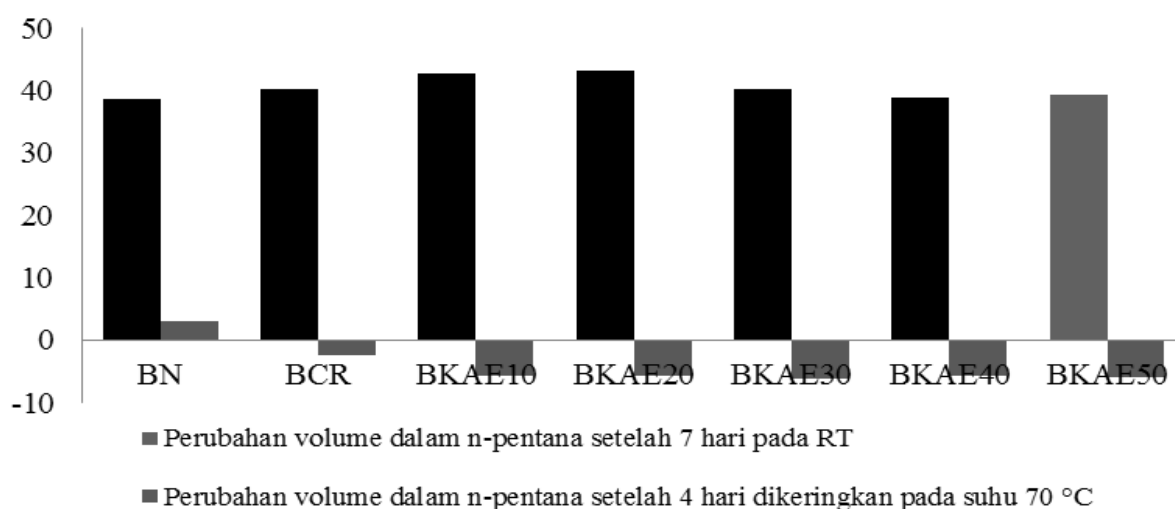
(1992) menambahkan bahwa KAE tidak tahan terhadap pengusangan. Perubahan sifat mekanis vulkanisat BKAE menurun seiring menurunnya kandungan epoksi pada kompatibilisernya. Hasil penelitian Tanrattanakul *et al.* (2003) menunjukkan bahwa vulkanisat KAE 50% memiliki perubahan kuat tarik dan perpanjangan putus yang lebih baik dibandingkan vulkanisat KAE 25% setelah pengusangan pada suhu 70°C selama 7 hari.

Ketahanan n-pentana Vulkanisat

Hasil pengujian ketahanan vulkanisat karet perapat terhadap n-pentana disajikan pada Gambar 3. Pada suatu vulkanisat campuran karet, ketahanannya tampak pada seberapa banyak vulkanisat campuran tersebut terlarut pada larutan, yang ditandai dari mengembangnya vulkanisat dalam larutan (Lawandy *et al.*, 1993; Ramesan *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006). Van Duin and Dickland (2007) menjelaskan lebih lanjut bahwa tahan terhadap larutan merupakan suatu bentuk perlawanan vulkanisat untuk tidak mengembang di dalam larutan tersebut. Ketahanan ditentukan dari usaha vulkanisat untuk menahan agar tidak larut dalam bobot molekular terendah larutan dan dorongan elastis yang dapat meningkatkan penyerapan larutan. Maka, semakin sedikit volume pengembangannya, semakin tahan vulkanisat terhadap n-pentana. Perubahan volume ketujuh vulkanisat dalam n-pentana setelah 7 hari pada suhu ruang menunjukkan hasil yang tidak memenuhi syarat mutu vulkanisat karet perapat, yaitu sebesar 35. Sedangkan perubahan volume vulkanisat dalam n-pentana dan setelah 4 hari dikeringkan

pada suhu 70°C dapat memenuhi syarat mutu vulkanisat karet perapat, yaitu sebesar -12.

Perubahan volume vulkanisat dalam n-pentana selama 7 hari pada suhu ruang menunjukkan bahwa vulkanisat BCR atau BKAE sedikit lebih tinggi dibandingkan BN. Vulkanisat BCR memiliki ketahanan n-pentana yang lebih kecil dibandingkan BENR10 dan BENR20, namun lebih besar dibanding BENR30 hingga BENR50. Pada umumnya, semakin banyak jumlah ikatan silang yang terbentuk maka semakin tahan vulkanisat terhadap larutan (Acharya *et al.*, 2008; Manoj *et al.*, 2011; Ismail *et al.*, 2014). Namun pada penelitian ini, jumlah ikatan silang tidak terlalu mempengaruhi ketahanan campuran terhadap n-pentana. Tren yang sama juga ditunjukkan dari hasil penelitian Xie *et al.* (2012). Ketahanan vulkanisat pada campuran ini lebih dipengaruhi oleh parameter kelarutan masing-masing jenis kompatibilisernya. Semakin dekat nilai parameter kelarutan kompatibiliser dengan pelarut n-pentana sebesar 14,40 MPa^{1/2} (Brandrup *et al.*, 1998), maka semakin mudah kompatibiliser tersebut mengembang dalam larutan n-pentana. Kompatibiliser CR memiliki parameter kelarutan CR sebesar 18,5 MPa^{1/2} (Brandrup *et al.*, 1998), sedangkan KAE memiliki kadar parameter kelarutan yang berbeda tergantung kandungan epoksinya. KAE 0% mol memiliki parameter kelarutan sebesar 16,7 MPa^{1/2}, KAE 26% mol memiliki parameter kelarutan sebesar 17,4 MPa^{1/2} dan KAE 48 % mol memiliki parameter kelarutan sebesar 18,2 MPa^{1/2} (Gelling, 1991). Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa parameter kelarutan CR lebih besar dibandingkan

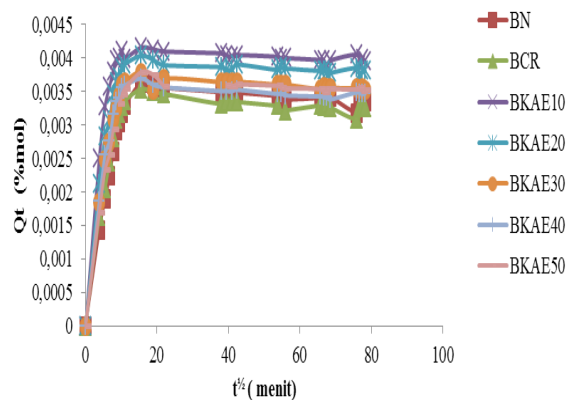


Gambar 3. Perubahan volume vulkanisat karet perapat dalam n-pentana.

KAE 0% mol dan hampir setara dengan KAE 48%, maka hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai pengembangan volume BCR dan BKAE50 hampir sama.

KAE memiliki grup epoksi disepanjang ikatan rangkap rantai polimer KA, sehingga memiliki ketahanan minyak, permeabilitas gas, *wet grip* dan damping yang baik (Varghese *et al.*, 1995). Hasil pengamatan Noriman *et al.* (2010) melalui FTIR menunjukkan bahwa gugus oksiran pada KAE-50 kompatibel dengan NBR, oleh karena itu ikatan silang antara KA-KAE-NBR terdispersi dengan baik sehingga dapat meminimalisir masuknya n-pentana dalam campuran. Ketahanan vulkanisat BKAE terhadap n-pentana meningkat seiring kandungan epoksinya. Semakin besar kandungan epoksinya maka kepolarannya semakin besar pula (Tanrattanakul *et al.*, 2003; Teh *et al.*, 2004). Hasil pengujian tersebut didukung pula dari persentase molar serapan n-pentana per gram vulkanisat campuran KA/NBR tanpa dan dengan kompatibiliser CR atau KAE pada Gambar 4.

Pada grafik tampak bahwa pola laju penyerapan menunjukkan kenaikan saat awal, kemudian konstan dan akhirnya mengalami penurunan. Laju penyerapan yang naik menunjukkan bahwa n-pentana masuk ke dalam vulkanisat, yang ditandai dari mengembangnya vulkanisat dalam larutan. Kemudian penyerapan n-pentana mengalami kesetimbangan antara konsentrasi n-pentana yang terdapat di dalam dan di luar vulkanisat, sehingga n-pentana tidak lagi mampu terserap masuk di dalam vulkanisat karet. Selanjutnya setelah mengalami kesetimbangan, kurva serapan n-pentana akhirnya mengalami penurunan, hal ini menunjukkan adanya komponen vulkanisat yang terekstrak keluar dari vulkanisat karet. Pada masing-masing vulkanisat menunjukkan slope (kemiringan) yang



Gambar 4. Persentase molar serapan n-pentana per gram vulkanisat karet perapat.

sama, data ini menunjukkan bahwa laju penyerapan n-pentana pada masing-masing vulkanisat relatif sama. Namun, pada saat kesetimbangan, molar serapan n-pentana (Q_t) pada BN dan BCR lebih kecil dibandingkan BKAE. Q_t BKAE menurun seiring kandungan epoksi karetnya. Q_t BKAE40 memiliki nilai yang relatif sama dengan BN, namun lebih tinggi dibandingkan BCR. Data tersebut seiring dengan nilai kesetimbangan mol yang diserap (Q_∞) masing-masing vulkanisat pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser tidak mempengaruhi ketahanan vulkanisat BN. Penambahan kompatibiliser CR memiliki nilai serapan yang hampir sama dengan BN dan kesetimbangan mol yang diserap lebih rendah dibanding CR. Sedangkan penambahan kompatibiliser KAE cenderung memiliki serapan yang lebih tinggi dibandingkan BN. Ketahanan vulkanisat KAE terhadap n-pentana meningkat seiring kandungan epoksinya, yang ditandai dari

Tabel 3. Kesetimbangan mol yang diserap dan persentase molar serapan n-pentana per gram vulkanisat karet perapat.

Kompon	Serapan (S) (%)	Kesetimbangan mol yang diserap (Q_∞) (%)
BN	1,2377	0,0036
BCR	1,2428	0,0033
BKAE10	1,2883	0,0041
BKAE20	1,2822	0,0039
BKAE30	1,2631	0,0036
BKAE40	1,2591	0,0036
BKAE50	1,2554	0,0035

menurunnya nilai kesetimbangan mol yang diserap. Dimana nilai Q_{∞} BKAE30 hingga BKAE50 hampir sama dengan BN, namun lebih tinggi dibanding BCR Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kompatibiliser KAE 30 hingga KAE 50 mampu mempertahankan ketahanan vulkanisat KA/NBR terhadap n-pentana.

KESIMPULAN

Penambahan kompatibiliser pada karakterisasi pematangan campuran KA/NBR menunjukkan bahwa kompatibiliser CR mampu meningkatkan jumlah ikatan silang yang terbentuk dan mempercepat waktu reaksi, sedangkan penambahan kompatibiliser KAE menunjukkan hasil sebaliknya. Penambahan kompatibiliser turut mempengaruhi sifat mekanis campuran KA/NBR, dimana masing-masing kompatibiliser menunjukkan pengaruh yang berbeda-beda pada masing-masing sifat mekanis vulkanisat karet perapat. Penambahan kompatibiliser CR cenderung berperan aktif memperbaiki sifat pampatan tetap dan ketahanan terhadap panas. Sedangkan penambahan kompatibiliser KAE memperbaiki elastisitas campuran yang ditandai dengan nilai kekerasan yang semakin menurun dan meningkatnya kuat tarik dan perpanjangan putus vulkanisat. Perbaikan sifat tersebut meningkat seiring kandungan epoksi pada KAE. Vulkanisat campuran KA/NBR dengan penambahan kompatibiliser CR menunjukkan penyerapan volume dan perubahan volume yang relatif sama jika dibandingkan dengan vulkanisat tanpa kompatibiliser (BN). Sedangkan vulkanisat dengan penambahan kompatibiliser KAE menyerap n-pentana sedikit lebih banyak dibandingkan dengan BN. Perubahan volume BKAE menurun seiring kandungan epoksi pada KAE.

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 PUSTAKA

- Acharya, H., Kuila, T., Srivastava, S. K., & Bhowmick, A. K. (2008). Effect of layered silicate on EPDM/EVA blend nanocomposite: Dynamic mechanical, thermal, and swelling properties. *Polymer Composites*, 29(4), 443-450, <http://dx.doi.org/10.1002/pc.20433>
- Brandrup, J., Immergut, E. H., & Grulke, E. A. (1998). *Polymer Handbook*. New York, USA: Wiley.
- Choi, S., & Ha, S. (2009). Influence of the swelling temperature and acrylonitrile content of NBR on the water swelling behaviors of silica-filled NBR vulcanizates. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15, 167-170, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2008.09.016>
- Chonkaew, W., Mingvanish, W., Kunglian, U., Rochanawipart, N., & Brostow, W. (2011). Vulcanization characteristics and dynamic mechanical behavior of natural rubber reinforced with silane modified silica. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10, 1-7, <http://dx.doi.org/10.1166/jnn.2011.3563>
- Corish, P. J. (1967). Fundamental studies of rubber blends. *Rubber Chemical Technology*, 41, 324-340, <http://dx.doi.org/10.5254/1.3539049>
- de Silva, K. G., & Lewan, M. (1998a). Improving the morphology and properties of NR/NBR blends with NR/PMMA graft copolymers. In Tinker, A.J. & Jones, K.P (Eds.), *Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for Blending with Speciality Polymers* (1st ed., pp. 68-78). Chapman & Hall, London: Springer Science+Business Media Dordrecht.
- de Silva, K. G., & Lewan, M. (1998b). Improving phase morphology and properties of NR/NBR blends with compatibilizers. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 81, 38-50
- Gelling, I. R. (1991). Epoxidized natural rubber. *Journal of Natural Rubber Research*, 6(3), 184-205.
- Gonzalez, L., Rodriguez, A., Del Campo, A., & Marcos-Fernandez, A. (2002). Crosslink reaction of natural rubber with thiuram sulphur donors in the presence of a thiuram monosulfide. *Journal of Applied Polymer Science*, 85, 491-499, <http://dx.doi.org/10.1002/app.10438>
- Ismail, H., Ahmad, Z., & Mohd, I. Z. A. (2001). Comparison of cetyltrimethyl ammonium maleate and sulphenamide as an accelerator in carbon black filled natural rubber compounds. *Polymer Testing*, 20, 607-614, [http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9418\(00\)00082-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9418(00)00082-9)
- Ismail, H., Ishak, S., & Hamid, Z. A. A. (2015). Effect of blend ratio on cure characteristics, tensile properties, thermal and swelling properties of mica-filled (ethylene-propylene-diene monomer)/ (recycledethylene-propylene-diene monomer)

- (EPDM/R-EPDM) blends. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 21(1), 1-6, <http://dx.doi.org/10.1002/vnl.21369>
- Ismail, H., Rohani, & Taib, R. M. (2014). Effects of dynamic vulcanization on tensile, morphological, and swelling properties of poly (vinyl chloride) (PVC)/epoxidized naturalrubber (ENR)/(kenaf core powder) composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, 1-7, <http://dx.doi.org/10.1002/vnl.21401>
- Kinasih, N. A., & Fathurrohman, M. I. (2015a). Pengaruh kondisi reaksi terhadap karakteristik ketahanan n-pentana pada karet alam epoksi. Manuscript submitted for publication.
- Kinasih, N. A., Fathurrohman, M. I., & Suparto, D. (2015b). Pengaruh suhu vulkanisasi terhadap sifat mekanis vulkanisat karet alam dan karet akrilonitril-butadiena. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 31(2), 65-74, <http://dx.doi.org/10.20543/mkkip.v31i2.504>
- Kinasih, N. A., & Fathurrohman, M. I. (2015c). Effect of curing systems on mechanical properties and n-pentane resistance of carbon black filled natural rubber vulcanizates. Manuscript submitted for publication.
- Klattanavith, N. (1988). Study of the oil-resistance of natural rubber. *Journal of National Research Council of Thailand*, 20(2), 1-7.
- Kongsin, K., & Lewan, M. (1998). Improving the morphology and properties of NR/NBR blends with polychloroprene as the compatibilizing agent. In Tinker, A.J. & Jones, K.P (Eds.), *Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for Blending with Speciality Polymers* (1st ed., pp. 80-93). Chapman & Hall, London: Springer Science Business Media Dordrecht.
- Lawandy, S. N., Botros, S. H. & Mounir, A. (1993). Effect of vulcanizing agent concentration on the swelling behavior of chloroprene rubber under compression strain. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 32(3), 223-235, <http://dx.doi.org/10.1080/03602559308019229>
- Manoj, K. C., Kumari, P., & Unnikrishnan, G. (2011). Cure characteristics, swelling behaviors, and mechanical properties of carbon black filler reinforced EPDM/NBR blend system. *Journal of Applied Polymer Science*, 120, 2654–2662, <http://dx.doi.org/10.1002/app.33476>
- Marković, G., Marinović-Cincović, M., Jovanović, V., Samaržija-Jovanović, S., & Budinski-Simendić. (2013). NR/CSM/biogenic silica rubber blend composites. *Composites Part B: Engineering*, 55, 368-373, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.06.045>
- Mathew, S., Brahmakumar, M., & Abraham, T. E. (2006). Microstructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal, and swelling properties of starch–chitosan blend films. *Biopolymers*, 82, 176–187, <http://dx.doi.org/10.1002/bip.20480>
- Noriman, N. Z., Ismail, H. & Rashid, A. A. (2010). Characterization of styrene butadiene rubber/ recycled acrylonitrile-butadiene rubber (SBR/ NBRr) blends: The effects of epoxidized natural rubber (ENR-50) as a compatibilizer. *Polymer Testing*, 29, 200–208, <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymeresting.2009.11.002>
- Obasi, H. C., Ognobe, O. & Igwe, I. O. (2009). Diffusion characteristics of toluene into natural rubber/ linear low density polyethylene blends. *International Journal of Polymer Science*, 1-6, <http://dx.doi.org/10.1155/2009/140682>
- Onyeagoro, G. N. (2012). Effect of zinc oxide level and blend ratio on vulcanizate properties of blend of natural rubber and acrylonitrile-butadiene rubber in the presence of epoxidized natural rubber. *Academic Research International*, 3(1), 499-509.
- Palaty, S. & Joseph, R. (2001). Studies on xanthate-zinc diethyl dithiocarbamate accelerator combination in natural rubber. *Plastics Rubber and Composites*, 30, 270-274, <http://dx.doi.org/10.1179/146580101101541697>
- Phinyocheep, P., & Boonjairik, K. (2006). Investigation on hydrogenation and epoxidation of natural rubber in latex stage. *Proceedings of International Rubber Conference*. Lyon, France.
- Prakashan, K., Gupta, A. K., & Maiti, S. N. (2007). Effect of compatibilizer on micromechanical deformations and morphology of dispersionin PP/PDMS blend. *Journal of Applied Polymer Science*, 105, 2858–2867, <http://dx.doi.org/10.1002/app.26510>
- Rajasekar, R., Pal, K., Heinric, G., Das, A., & Das, C.K. (2009). Development of nitrile butadiene rubber–nanoclay composites with epoxidized natural rubber as compatibilizer. *Materials and Design*, 30, 3839–3845, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2009.03.014>
- Ramesan, M. T., Alex, R., & Khanh, N. V. (2005). Studies on the cure and mechanical properties of blends of natural rubber with dichlorocarbene modified styrene–butadiene rubber and chloroprene rubber. *Reactive & Functional Polymers*, 62, 41–50, <http://dx.doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2004.08.002>
- Sahakaro, K., Pongpaibon, C., & Nakason, C. (2009). Improved mechanical properties of NR/EPDM blends by controlling the migration of curative and filler via reactive processing technique. *Journal of Applied Polymer Science*, 111, 2035-2043, <http://dx.doi.org/10.1002/app.29193>
- Setua, D. K. & Gupta, Y. N. (2007). On the use of micro thermal analysis to characterize compatibility of nitrile rubber blends. *Thermochimica Acta*,

- 462, 32–37,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2007.06.004>
- Sommer, J. G. (2009). *Engineered Rubber Products: Introduction to Design, Manufacture and Testing*. Munchen, Jerman: Carl Hanser Verlag,
<http://dx.doi.org/10.3139/9783446433441>
- Tanrattanakul, V., Wattanathai, B., Tiangjunya, A., Muhamud, P. (2003). In situ epoxidized natural rubber: improved oil resistance of natural rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 261–269,
<http://dx.doi.org/10.1002/app.12706>
- Teh, P. L., Ishak, Z. A. M., Hashim, S. Karger-Kocsis, J., & Ishiaku, U.S. (2004). Effects of epoxidized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber-organo clay nanocomposites. *European Polymer Journal*, 40, 2513–2521, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2004.06.025>
- Thomas, S. P., Mathew, E. J. & Marykutty, C.V. (2012). Nano modified fillers in chloroprene-rubber compatibilized natural rubber/acrylonitrile–butadiene rubber blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 4259–4267,
<http://dx.doi.org/10.1002/app.35406>
- Thomas, S. P., Thomas, S, Marykutty, C. V, & Mathew, E. J. (2013). Evaluation of effect of various nano-fillers on technological properties of NBR/NR blend vulcanized using BIAT-CBS. *Journal of Polymer*, 2013, 1–10,
<http://dx.doi.org/10.1155/2013/798232>
- Tosaka, M. (2007). Strain-induced crystallization of crosslinked natural rubber as revealed by X-ray diffraction using synchrotron radiation. *Polymer Journal*, 39(12), 1207–1220,
<http://dx.doi.org/10.1295/polymj.PJ2007059>
- Vallim, M. R., Araujo, J. R., Spinace, M. A. S., & De Paoli, M. A. (2009). Polyamide-6/high-density polyethylene blend using recycled high-density polyethylene as compatibilizer: Morphology, mechanical properties, and thermal stability. *Polymer Engineering and Science*, 49(10), 2005–2014,
<http://dx.doi.org/10.1002/pen.21439>
- Van Duin, M., & Dikland, H. (2007). A chemical modification approach for improving the oil resistance of ethylene propylene copolymer. *Polymer Degradation and Stability*, 92, 2287–2293, <http://dx.doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2007.04.018>
- Varghese, H., Bhagawan, S. S., Rao, S. S., & Thomas, S. (1995). Morphology, mechanical and viscoelastic behaviour of blends of nitrile rubber and ethylene-vinyl acetate copolymer. *European Polymer Journal*, 31(10), 957–967,
[http://dx.doi.org/10.1016/0014-3057\(95\)00056-9](http://dx.doi.org/10.1016/0014-3057(95)00056-9)
- Varughese, S., & Tripathy, D. K. (1992). Dynamic mechanical properties of epoxidised natural rubber vulcanisates: Effect of curing system and ageing. *Polymer Degradation and Stability*, 38, 7–14,
[http://dx.doi.org/10.1016/0141-3910\(92\)90016-X](http://dx.doi.org/10.1016/0141-3910(92)90016-X)
- Wang, H., Lu, X., & Wang, S. (2014). The swelling properties of nitrile rubber with different acrylonitrile contents in cyclohexane medium research. *Advanced Materials Research*, 936, 942–1947,
<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.936.1942>
- Wu, Y., Yang, Y., Li, B., & Han, Y. (2006). Reactive blending of modified polypropylene and polyamide 12: Effects of compatibilizer content on crystallization and blend morphology. *Journal of Applied Polymer Science*, 100, 3187–3192,
<http://dx.doi.org/10.1002/app.23572>
- Xie, L., Jiang, M., Dong, X., Bai, X., Tong, J., & Zhou, J. (2012). Controlled mechanical and swelling properties of poly (vinyl alcohol)/sodium alginate blend hydrogels prepared by freeze–thaw followed by Ca²⁺ crosslinking. *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 823–831,
<http://dx.doi.org/10.1002/app.35083>
- Yahya, R. Y. S, Azura, A. R. & Ahmad, Z. (2011). Effect of curing systems on thermal degradation behaviour of natural rubber (SMR CV 60). *Journal of Physical Science*, 22(2), 1–14.
- Yong, M. K., Ismail, H., & Ariff, Z. M. (2007). The effect of epoxidized natural rubber (ENR-50) or polyethylene acrylic acid (PEA) as compatibilizer on properties of ethylene vinyl acetate (EVA)/natural rubber (SMR L) blends. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 46, 1001–1009,
<http://dx.doi.org/10.1080/03602550701519480>
- Yu, L., Dean, K., Yuan, Q., Chen, L., & Zhang, X. (2007). Effect of compatibilizer distribution on the blends of starch/biodegradable polyesters. *Journal of Applied Polymer Science*, 103, 812–818,
<http://dx.doi.org/10.1002/app.25184>

