

# PEMANFAATAN LIMBAH KOPOLIMER ETHYLENE VINYL ACETATE UNTUK KOMPOSIT KARET (UTILIZATION OF ETHYLENE-VINYL ACETATE COPOLYMER WASTE FOR RUBBER COMPOSITES)

Dwi Wahini Nurhajati <sup>1)</sup>

## ABSTRACT

*A new composite of natural rubber blend with ethylene vinyl acetate (EVA) waste obtained from footwear industry has been made. EVA waste from footwear industry is crosslinked materials which is able to be used as a filler in composite rubber. Potency of EVA waste in the form of powder from the footwear industry in Indonesia is more than 50 kg/day, while in the form of solid is about 75,000 ton/year and it hasn't yet utilized. The aim of this research is to study influence of EVA waste on the physical properties of natural rubber composite filled with EVA waste. Natural rubber, EVA waste, and additives were mixed by a two-roll mills machine. The amounts of EVA waste were varied from 0 to 100 phr with range of 20 phr. The results of physical properties test showed that the maximum addition of EVA waste, which performed highest tensile strength, and tear resistance was found for 60 phr, and which contributed to an increase in higher elongation at break, hardness, 50% permanent set, and density was found for 100 phr. The addition of EVA waste resulted in a reduction of the abrasion resistance. All of the resulted composites there were no crack detected on the flex cracking test at 150 kcs.*

*Keywords: Composites, natural rubber, EVA waste, physical properties*

## ABSTRAK

Telah dibuat komposit baru dari campuran karet alam dengan limbah kopolimer ethylene vinyl acetate (EVA) yang berasal dari industri alas kaki. Limbah EVA dari industri alas kaki merupakan bahan yang telah terikat silang yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi (filler) untuk komposit karet. Di Indonesia limbah EVA yang dihasilkan dalam bentuk serbuk lebih dari 50 kg/hari, sedangkan yang berbentuk padat sekitar 75.000 ton/tahun dan belum dimanfaatkan secara optimal padahal limbah EVA dapat digunakan sebagai bahan pengisi untuk komposit karet. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh jumlah limbah EVA terhadap sifat fisis komposit karet alam-limbah EVA. Karet alam limbah EVA dan bahan aditif dicampur dalam mesin two-roll mills. Jumlah limbah EVA, divariasi dari 0 sampai 100 phr dengan kisaran kenaikan 20 phr. Hasil uji sifat fisis komposit menunjukkan bahwa penambahan limbah EVA sampai dengan 60 phr menaikkan sifat tegangan putus, dan ketahanan sobek, penambahan sampai dengan 100 phr menaikkan perpanjangan putus, kekerasan, perpanjangan tetap 50%, dan bobot jenis. Penambahan limbah EVA pada pembuatan komposit karet alam ini menyebabkan ketahanan kikis komposit turun. Semua komposit campuran karet alam dan limbah EVA hasil percobaan tidak retak ketika dibengkok sampai 150 kcs.

Kata kunci: komposit, karet alam, limbah EVA, sifat fisis.

## PENDAHULUAN

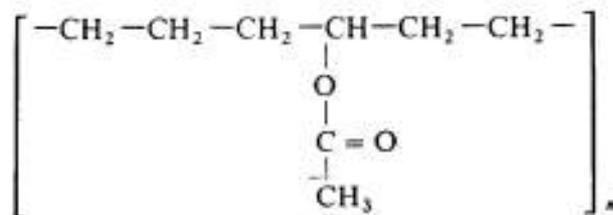
Limbah kopolimer ethylene vinyl acetate (EVA) banyak dihasilkan di industri alas kaki, karena saat ini sol sepatu berbahan baku sol ethylene vinyl acetate sedang digemari terutama untuk sepatu casual dan sepatu sandal. Berdasarkan informasi dari 3 (tiga) industri alas kaki di daerah Surabaya, Yogyakarta dan Jawa Barat yang menggunakan sol EVA ternyata total jumlah limbah sol EVA yang berupa serbuk sebanyak lebih dari 50 kg/hari dan yang berbentuk padat sekitar 750 ton/tahun, dan limbah ini belum dimanfaatkan secara optimal.

Limbah EVA yang termasuk crosslinked material

apabila hanya dibuang dan ditimbun dalam tanah tidak dapat terdegradasi oleh mikrobia, oleh karena itu dapat mengganggu kelestarian lingkungan hidup. Untuk mengatasi permasalahan tersebut tentu diperlukan upaya pemanfaatan kembali limbah EVA menjadi suatu bahan yang bermanfaat seperti dibuat komposit karet dengan campuran karet alam.

Menurut Whelan dan Lee (1985), resin EVA dibuat dari monomer ethylene dan vinyl acetate melalui polimerisasi bulk kontinu dengan kandungan vinyl acetate 2-40 % dan berat molekul rata-rata 10.000-40.000, dan struktur resin EVA seperti disajikan pada Gambar 1.

<sup>1)</sup>Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik, Yogyakarta



Gambar 1. Struktur EVA

Warrington (1999) menjelaskan bahwa sol EVA dapat dibuat dari Evatane 538 (ICI) dengan kandungan vinylacetate 18%.

Menurut Oliveira dkk (2004) limbah EVA dari industri alas kaki yang merupakan bahan yang telah terikat silang (crosslinked material) tetapi dapat didaur ulang.

Moreira dan Soares (2002) dari Institut Makromolekul Universitas Federal Rio de Janeiro Brasil telah melakukan penelitian tentang campuran limbah EVA dari industri alaskaki dengan karet nitril pada berbagai komposisi dengan penambahan EVA mencapai 90 phr, dan dilaporkan juga bahwa limbah EVA mempunyai pengaruh penguatan terhadap matrik karet nitril. Oliveira, et al (2004) telah meneliti karakteristik sifat reologi dan dinamik dari karet alam yang dicampur dengan limbah EVA. Disamping itu Reef Eco Sandal dari India (Anonim, 2007) telah berhasil membuat sandal dari limbah EVA.

Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh penambahan limbah EVA terhadap sifat fisis komposit karet alam-limbah EVA. Adapun sasaran yang hendak dicapai adalah produk komposit karet yang mempunyai nilai tambah seperti sol sepatu, sol sandal, karpet, barang teknik karet, dan sebagainya.

Pemanfaatan limbah EVA diharapkan memberikan dampak langsung dalam mengatasi limbah EVA, membuka kesempatan kerja, menciptakan wirausaha baru dan meningkatkan nilai ekonomi limbah EVA.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan Penelitian

Bahan penelitian adalah karet alam ribbed smoke sheets (RSS) yang diperoleh dari industri sol sepatu, dan limbah EVA yang berbentuk serbuk hitam lolos saringan 60 mesh yang diperoleh dari industri sepatu di Surabaya, carbon black sebagai reinforcing filler, parafinic oil sebagai bahan pelunak, parafin wax, titan dioksida sebagai white pigmen, ZnO dan asam stearat sebagai bahan pengikat, pilflex IP sebagai anti degradan, Pilnox TDQ sebagai anti oksidan, dan akselerator yang terdiri dari 2-mercapto benzo thiazole (MBT), mercapto benzo thiazole disulfide (MBTS) dan tetramethyl-thiuram disulfide (TMT);

prevulcanization inhibitor (Pilgard PVI), dispersator FL, dan belerang sebagai bahan vulkanisasi.

### Alat Penelitian

Alat penelitian terdiri atas two roll-mills (hasil rekayasa dengan kapasitas 2 kg), hydraulic press (Toyoseiki, A-652200500), alat uji sifat fisis seperti: tensile strength tester (Kao Tieh, Model KT 7010A, seri 70287, kapasitas 500 kg), hardness tester (Durometer A, Toyoseiki), densimeter (Mirage, EW-20050, seri N0520154), alat uji ketahanan kikis Graselli (Wallace seri No. C79038/3), dan permanent strain tester (merk Ogawa Seiki).

### Cara penelitian

#### 1. Pembuatan komposit karet dan vulkanisatnya

Komposit karet dibuat dari karet RSS 100 phr (phr = per hundred rubber), dan ditambah limbah EVA berturut-turut 20, 40, 60, 80, dan 100 phr dan dibuat kontrol yaitu tanpa ditambah limbah EVA. Bahan-bahan lain ditambahkan secara tetap seperti parafinic oil 10 phr, ZnO 5 phr, asam stearat 3 phr, carbon black 20 phr, titan dioksida 10 phr, parafin wax 1 phr, Pilnox TDQ 1 phr, Dispergator FL 1 phr, Pilflex IP-13 1 phr, MBT 1,2 phr, MBTS 0,8 phr, TMT 0,2 phr, Sulfur 2 phr.

Pencampuran antara karet RSS, limbah EVA, dan bahan-bahan tambahan dilakukan di dalam mesin two roll-mills pada suhu  $\pm 60^\circ\text{C}$  selama 30 menit. Komposit yang dihasilkan dibuat vulkanisat berbentuk lembaran atau slab ukuran 15 cm x 15 cm dengan menggunakan mesin hydraulic press pada suhu  $150^\circ\text{C}$ , tekanan  $150 \text{ kg/cm}^2$  dengan waktu  $\pm 10$  menit. Vulkanisat bentuk slab selanjutnya diuji sifat fisisnya menurut SNI. 12-0778-1989 tentang sol karet cetak.

#### 2. Uji Sifat Fisis Vulkanisat

Uji sifat fisis vulkanisat komposit karet mengacu SNI.12-0778 -1989 tentang sol karet cetak meliputi tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan, ketahanan retak lentur (flexing) 150 kcs, ketahanan kikis, ketahanan sobek, perpanjangan tetap 50%, dan bobot jenis.

#### 3. Pengumpulan Data dan Analisis

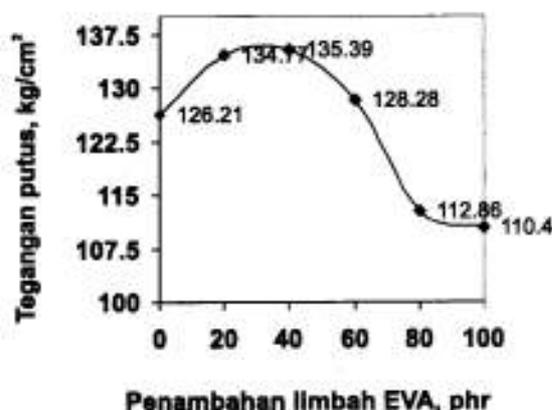
Seluruh data hasil uji sifat fisis masing-masing jenis uji untuk 3 kali ulangan dikumpulkan selanjutnya dihitung rata-ratanya, kemudian dibuat grafik hubungan antara jumlah limbah EVA versus sifat fisik. Data yang diperoleh dianalisis dengan statistik dengan tingkat kepercayaan 95% dan dilanjutkan dengan uji Tukey Highly Significant Difference (TukeyHSD) 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji komposit campuran karet alam dengan berbagai jumlah limbah EVA meliputi tegangan putus, perpanjangan putus, kekerasan, ketahanan kikis, ketahanan sobek, perpanjangan tetap 50%, bobot jenis, dan retak lentur (flexing) 150 kcs. disajikan pada Gambar 2 - Gambar 8 dan Tabel 1.

Gambar 2 menunjukkan bahwa limbah EVA sampai 60 phr ternyata mampu menaikkan sifat tegangan putus komposit, hal ini diduga terjadi interaksi secara intensif dan sempurna antara permukaan butiran serbuk EVA dengan molekul karet alam.

Penambahan limbah EVA lebih 60 phr terbukti sifat tegangan putusnya turun secara nyata ( $p \leq 0,05$ ) dari  $128,28 \text{ kg/cm}^2$  menjadi  $112,86 \text{ kg/cm}^2$ . Hal ini berarti makin banyak limbah EVA yang ditambahkan telah menjadi bagian extra-network material yaitu bahan yang tidak menjadi bagian dari jaringan vulkanisat komposit karet, namun sebatas sebagai pengisi rongga antara molekul karet. Vulkanisat komposit campuran karet alam dan EVA pada saat dikenai beban saat uji dilakukan, maka pada beban terberat menyebabkan molekul EVA putus lebih dulu dibanding molekul karet dan mengakibatkan sifat tegangan putus turun. Hasil analisis sidik ragam perlakuan penambahan limbah EVA terhadap uji tegangan putus menunjukkan beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Tegangan putus tertinggi  $135,39 \text{ kg/cm}^2$  dijumpai pada komposit campuran karet alam yang ditambah limbah EVA 40 phr.

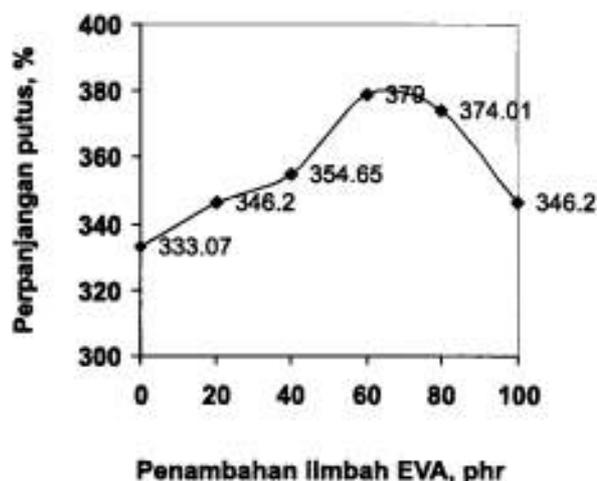


Gambar 2. Sifat tegangan putus komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak, berarti seluruh komposit hasil penelitian masuk kategori sol karet cetak klas B yang mensyaratkan sifat tegangan putus minimal  $100 \text{ kg/cm}^2$ . Apabila komposit ini diaplikasikan untuk karpet karet dengan

syarat tegangan putus minimal  $490 \text{ N/cm}^2$ , maka semua komposit hasil penelitian dapat memenuhi syarat yang ditetapkan oleh SNI 12-1000-1989 tentang karpet karet.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa sifat perpanjangan putus komposit karet naik mencapai 379,0% pada penambahan limbah EVA 60 phr. Ini berarti terjadi interaksi antara permukaan butiran serbuk EVA dengan rantai molekul karet menyebabkan elastisitas komposit bertambah. Penambahan limbah EVA sampai 80 phr terbukti perpanjangan putusnya turun. Hal ini kemungkinan diakibatkan oleh terbatasnya gerak molekul karet karena keberadaan limbah EVA dalam rongga kosong antar molekul karet membentuk extra-network material (Krishna Surya Bhuana dan J. Thomas, 1994). Hasil analisis sidik ragam perlakuan jumlah limbah EVA terhadap uji perpanjangan putus menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ).

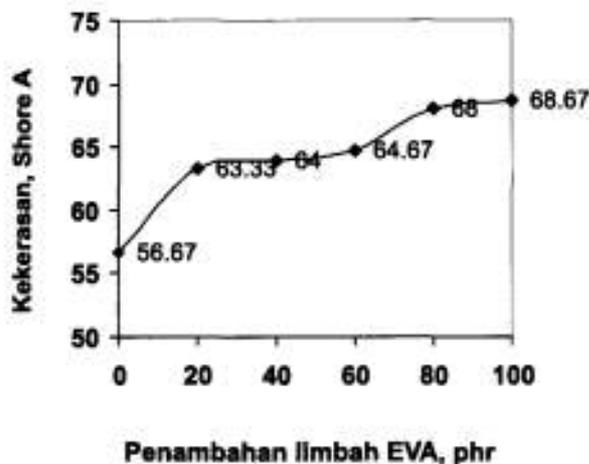


Gambar 3. Sifat perpanjangan putus komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak, maka semua komposit hasil percobaan masuk kategori sol karet cetak klas A dengan syarat sifat perpanjangan putus minimal 250%. Apabila komposit ini diaplikasikan untuk karpet karet dengan syarat perpanjangan putus minimal 60%, maka semua komposit hasil percobaan memenuhi syarat yang ditetapkan dalam SNI 12-1000-1989 tentang karpet karet,

Gambar 4 memperlihatkan bahwa semakin banyak serbuk EVA yang ditambahkan kekerasan semakin tinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa limbah EVA berfungsi sebagai bahan pengisi seperti yang dikemukakan oleh Herminiwati (2005) yang

menyatakan bahwa makin besar jumlah bahan pengisi yang ditambahkan ke dalam kompon karet maka kekerasan makin tinggi. Kekerasan tertinggi adalah 68,67 Shore A yang dihasilkan oleh komposit campuran karet alam dengan penambahan limbah EVA 100 phr. Hasil analisa sidik ragam perlakuan jumlah limbah EVA terhadap uji kekerasan menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak, maka semua komposit memiliki mutu sol karet cetak klas A dengan syarat kekerasan 70-80 Shore A. Apabila diaplikasikan untuk karpet karet dengan syarat kekerasan 70-80 Shore A maka semua komposit hasil percobaan masih kurang keras namun hal ini kemungkinan dapat dicapai dengan cara mengurangi jumlah parafinic oil pada formulasinya.

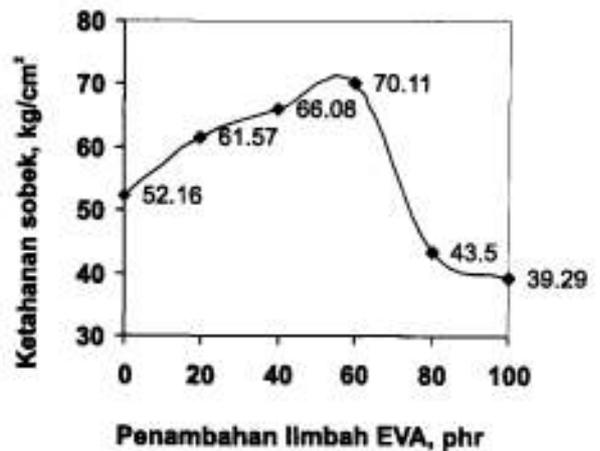


Gambar 4. Kekerasan putus komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Gambar 5 terlihat bahwa ketahanan sobek komposit karet dengan penambahan limbah EVA sampai 60 phr secara nyata naik. Hal ini kemungkinan terjadi interaksi antara permukaan butiran serbuk EVA dengan rantai molekul karet alam. Krishna Surya Bhuana dan J.Thomas (1994), menyatakan bahwa bentuk interaksi antara bahan penyusun komposit dapat merupakan interfacial bonding antara permukaan pengisi dengan rantai molekul karet atau terjadi immobilised rubber yaitu ketidakbebasan rantai molekul karet untuk bergerak karena pengaruh gaya gesek permukaan pengisi, dan terbentuknya ikatan silang sekunder.

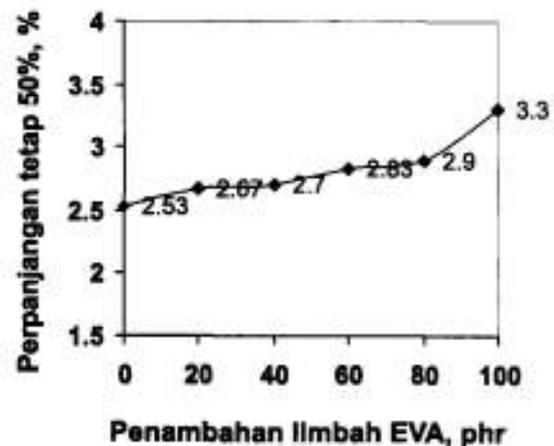
Hasil analisis sidik ragam perlakuan penambahan limbah EVA terhadap uji ketahanan sobek menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Ketahanan

sobek tertinggi sebesar 70,11 kg/cm<sup>2</sup>, dijumpai pada komposit dengan penambahan limbah EVA 60 phr.



Gambar 5. Ketahanan sobek komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 sol karet cetak, maka komposit dengan penambahan limbah EVA sampai 60 phr memiliki mutu sol karet cetak klas A dengan syarat ketahanan sobek minimal 60 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan yang ditambah limbah EVA sekitar 80 phr memenuhi mutu klas B, dan yang ditambah limbah EVA 100 phr memenuhi mutu klas C. SNI 12-1000-1989 tentang karpet karet tidak mensyaratkan sifat ketahanan sobek.



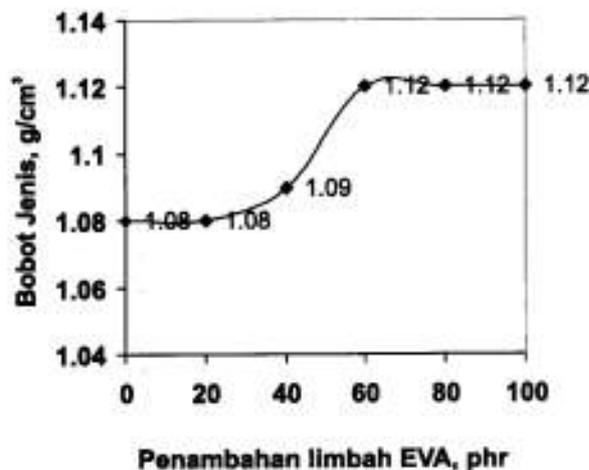
Gambar 6. Perpanjangan tetap 50% komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Gambar 6 memperlihatkan penambahan limbah EVA menyebabkan nilai perpanjangan tetap 50% naik secara signifikan.

Perpanjangan tetap 50% komposit campuran karet alam dan limbah EVA adalah besarnya perubahan panjang

dari vulkanisat karet apabila ditarik pada perpanjangan 50% selama 24 jam. Makin kecil nilai perpanjangan tetap makin baik, karena perubahan bentuk permanen makin kecil. Vulkanisat karet apabila ditarik dan setelah beberapa saat dilepaskan lagi tidak akan kembali ke bentuk semula. Ketidaktampuan vulkanisat karet untuk kembali ke bentuk semula dikarenakan terjadinya perubahan bentuk permanen akibat perubahan struktur karet pada waktu ditarik. Hasil analisis sidik ragam perlakuan jumlah limbah EVA terhadap uji perpanjangan tetap 50% menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Komposit yang nilai perpanjangan tetap 50% tertinggi (3,3%) adalah komposit dengan jumlah limbah EVA 100 phr.

Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak, maka semua komposit hasil penelitian memiliki mutu sol karet cetak klas A dengan syarat perpanjangan tetap 50% maksimal 4%.



Gambar 7. Bobot jenis komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

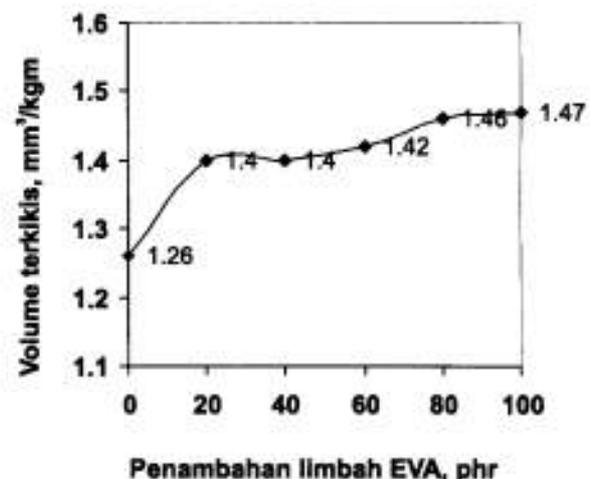
Gambar 7 memperlihatkan bahwa penambahan limbah EVA mulai 40 phr sedikit naik bobot jenisnya. Hal ini kemungkinan karena limbah EVA merupakan bahan yang padat sehingga penambahan serbuk EVA ada korelasi terhadap kenaikan bobot jenis. Hasil analisa sidik ragam perlakuan jumlah limbah EVA terhadap uji bobot jenis menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Komposit karet dengan penambahan limbah EVA 80 phr ternyata memiliki bobot jenis paling tinggi yaitu 1,12 g/cm<sup>3</sup>.

Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989: Sol Karet cetak, maka semua komposit hasil penelitian memiliki mutu sol karet cetak klas A dengan syarat bobot jenis maksimal 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

Pengaruh penambahan jumlah limbah EVA terhadap sifat ketahanan kikis komposit karet disajikan pada Gambar 8. Ketahanan kikis diukur berdasarkan besarnya volume terkikis per satuan usaha ( $\text{mm}^3/\text{kgm}$ ). Makin kecil volume terkikis per satuan usaha berarti ketahanan kikisnya makin baik.

Gambar 8 memperlihatkan bahwa penambahan limbah EVA sedikit menaikkan volume komposit yang terkikis. Hal ini kemungkinan karena ikat silang antara molekul karet dengan belerang semakin rendah karena adanya ikatan molekul karet dengan permukaan limbah EVA.

Hasil analisis sidik ragam perlakuan jumlah limbah EVA terhadap uji ketahanan kikis menunjukkan ada beda nyata ( $p \leq 0,05$ ). Volume kompon yang terkikis paling banyak adalah 1,54  $\text{mm}^3/\text{kgm}$  dan yang dihasilkan oleh komposit dengan kandungan limbah EVA 100 phr. Apabila komposit ini diaplikasikan untuk sol sepatu maka menurut SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak, maka komposit dengan penambahan limbah EVA sampai dengan 40 phr memiliki mutu sol karet cetak klas B dengan syarat ketahanan kikis maksimal 1,4  $\text{mm}^3/\text{kgm}$  dan penambahan limbah EVA diatas 40 phr memiliki mutu sol karet cetak klas C dengan syarat ketahanan kikis maksimal 2,5  $\text{mm}^3/\text{kgm}$ .



Gambar 8. Ketahanan kikis komposit campuran karet alam dengan berbagai penambahan limbah EVA

Ketahanan retak lentur komposit campuran karet alam dan limbah EVA disajikan pada Tabel 1. Ketahanan retak lentur merupakan salah satu persyaratan yang penting karena menunjukkan ketahanan vulkanisat komposit campuran karet alam dan limbah EVA terhadap pembengkokan yang berulang-ulang.

Tabel 1. Ketahanan retak lentur komposit campuran karet alam dan limbah EVA

Penambahan limbah EVA, phr	Ketahanan retak lentur pada 150.000 putaran
0	Tidak retak
20	Tidak retak
10	Tidak retak
60	Tidak retak
80	Tidak retak
100	Tidak retak

Semua komposit campuran karet alam dan limbah EVA hasil percobaan tidak ada tanda-tanda mengalami keretakan setelah dilakukan bengkokkan sebanyak 150.000 putaran. Ini berarti semua komposit tersebut memenuhi persyaratan mutu ketahanan retak lentur seperti dipersyaratkan oleh SNI.12-0778-1989 tentang sol karet cetak.

### KESIMPULAN

Limbah EVA dapat dimanfaatkan untuk membuat komposit campuran karet alam dan limbah EVA. Penambahan limbah EVA sampai 60 phr menaikkan sifat tegangan putus, dan ketahanan sobek, sedangkan penambahan limbah EVA sampai 100 phr menaikkan perpanjangan putus, kekerasan, perpanjangan tetap 50%, dan bobot jenis, namun ketahanan kikisnya turun. Semua komposit hasil penelitian tidak retak ketika dibengkok sampai 150 kcs.

Ditinjau dari sifat perpanjangan putus dan ketahanan kikis maka komposit terbaik adalah komposit dengan jumlah limbah EVA 40 phr.

Aplikasi komposit dengan penambahan limbah EVA 40 phr menjadi sol sepatu menunjukkan kenampakan

yang baik yaitu tidak cacat dan atau rusak, dan memenuhi mutu klas B dengan ditunjukkan oleh tegangan putus= 135,39 kg/cm<sup>2</sup>, perpanjangan putus 354,65%, kekerasan 60 Shore A, ketahanan sobek 66,08 kg/cm<sup>2</sup>, perpanjangan tetap 50% 2,7%, bobot jenis 1,09 g/cm<sup>3</sup>, ketahanan kikis 1,42 mm<sup>3</sup>/kg.m, dan tidak retak pada uji ketahanan retak lentur 150 kcs.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2007, Reef Eco Sandal, <http://www.gotoreviews.com/archives/clothing/reef-eco-sandal-by-lifestyledesign/>, down load April 2007.
- Herminiwati dan Dwi Wahini Nurhajati, (2005). *Pemanfaatan Arang Aktif Sekam Padi untuk Bahan Pengisi Keset Karet*, Majalah Kulit, Karet dan Plastik, 21 (1):22-28.
- Krishna Surya Bhuana dan Thomas, J., 1994. *Sifat Fisik dan Pengujian Vulkanisat*, Makalah Kursus Teknologi Barang Jadi Karet, Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.
- Moreira, V.X, and Soares, B.G., 2002. *Polym.polym.compos*, 10(5): 381-389.
- Oliveira, M.G., Virgolino, M.H., Gomes, A.C.O., Soares, B.G., and Moreira, V.X., 2004, *Polimeros* 14 (5)
- SNI 12-0778-1989-A: Sol Karet Cetak, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 12-1000-1989: Karpes Karet, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Warrington, N., 1999, *Footwear Open Tech Unit, Module 31, Rubber*, Leincester South Field College Library.
- Whelan, A., and Lee, K.S., (1985), "Development in Rubber Technology" Vol.3., Applied Science Publishers Ltd., London, p.107.