

## TEKNOLOGI PENGOLAHAN LIMBAH VULKANISAT KARET MENGUNAKAN REAKTAN DEVULKANISASI DAN KARET ALAM

Ramadhan, Arief., N. Rahman, dan Agus Alam

Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor

### ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya konsumsi karet alam dan sintetik di dalam negeri, industri barang jadi karet menjadi industri yang diminati oleh para investor untuk dikembangkan. Limbah vulkanisat merupakan masalah yang dapat menghambat perkembangan industri barang jadi karet Indonesia di masa depan terkait dengan permasalahan lingkungan. Dengan adanya ketentuan ISO 14000 bagi suatu industri, limbah industri harus diolah sedemikian rupa sehingga tidak mencemari lingkungan. Pembuangan limbah karet pada *landfill* akan mengalami masalah dalam keterbatasan lahan *landfill* di masa datang. Limbah vulkanisat dari industri karet umumnya berupa sisa hasil potongan produk, *over flow* yang keluar dari cetakan, kompon ter Vulkanisasi dini, dan produk yang tidak memenuhi spesifikasi mutu. Vulkanisat karet sulit didegradasi oleh alam ataupun didaur ulang dengan teknologi daur ulang sederhana, dikarenakan adanya jaringan tiga dimensi ikatan silang dalam struktur molekul penyusun vulkanisat sehingga sifatnya menjadi termoset. Walaupun vulkanisasi adalah proses yang *irreversible*, akan tetapi telah ditemukan metode devulkanisasi yang memungkinkan limbah karet dapat direformulasi atau devulkanisasi langsung untuk membuat produk baru. Percobaan telah dilakukan dengan mengamati pengaruh dari pengecilan ukuran limbah vulkanisat, serta penambahan jenis elastomer dan reaktan devulkanisasi pada limbah vulkanisat terhadap proses devulkanisasi yang dilakukan pada mesin giling terbuka 2 rol. Karakterisasi sifat fisik dari hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah vulkanisat dapat diolah dan dimanfaatkan untuk membuat barang jadi karet lain yang persyaratan spesifikasinya tidak terlalu ketat. Nilai kekerasan dan ketahanan kikis dari berbagai olahan limbah vulkanisat yang devulkanisasi ini berturut-turut adalah 75-81 Shore A dan 108-188.2 mm<sup>3</sup>. Sifat fisik ini sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh penutup lantai karet yang tidak membutuhkan spesifikasi tinggi pada kuat tarik dan perpanjangan putus, tetapi membutuhkan kekerasan dan ketahanan kikis yang baik. Karet alam yang digunakan dapat membentuk lembaran dari limbah vulkanisat yang terdevulkanisasi sehingga memudahkan pada proses vulkanisasi ulang dalam membuat produk baru.

**Kata kunci :** karet alam, limbah vulkanisat, devulkanisasi.

### ABSTRACT

Along with the increasing of natural and synthetic rubber consumption in domestic, investors enthuse to develop rubbergoods industry. Vulcanizate waste represent the problem which can pursue the rubbergoods industry of Indonesia in the future related with the environmental problem. With the existence of rule ISO 14000 for industry, industrial waste have to be processed in such a manner so that not contaminate the environment. Disposal of rubber waste at landfill will experience problem of landfill place limitation in the future. Vulcanizate waste from rubber industry yielded from the rest of cutting in inspection step of the product, over flow from mould, early vulcanization coumpound (scorching), and off-grade product. Rubber vulcanizate difficult to degraded by environment or recycled by simple recycle technology, because the existence of three dimension crosslinking network in molecular structure which make vulcanizate, so the properties of rubber turn into termoset. Although vulcanization is irreversible process, but with devulcanization method, rubber wastes enabled to reformulated or revulcanized to make the new product. This experiment have been done to see the effect of minimizing size measure of vulcanizate waste, and also the addition of elastomer type and devulcanization reactant at vulcanizate waste to devulcanization process in 2-roll open mill. Characterization of physical properties from research result indicate that vulcanizate waste is changeable and can be used to make another rubbergoods which its specification not too tight. Hardness and abrasion resistance

from various vulcanizate waste which devulcanized successively is 75-81 Shore A and 108-188.2 mm<sup>3</sup>. This physical properties as according to specification required by rubber flooring which do not require high specification at tensile strength and elongation but require good hardness and abrasion resistance. The used of natural rubber can form sheet from devulcanized waste so that revulcanization process in making new product is easier.

**Keywords :** natural rubber, vulcanizate waste, devulcanization.

## PENDAHULUAN

Industri barang jadi karet merupakan salah satu pelaku yang memiliki peranan penting dalam bidang perkaretan Indonesia. Seiring dengan meningkatnya konsumsi karet dalam negeri, industri barang jadi karet menjadi industri yang diminati oleh para investor untuk dikembangkan. Pertumbuhan rata-rata konsumsi karet alam sejak tahun 1993 sampai tahun 2002 rata-rata mengalami peningkatan sebesar 3,9%, sedangkan pertumbuhan rata-rata konsumsi karet sintetik berkembang lebih lambat yaitu 2,2% pada periode yang sama. Pertumbuhan total konsumsi karet alam dan karet sintetik adalah 2,3% pada periode tersebut, yaitu dari 219.000 ton menjadi 253.000 ton (Honggokusumo, 2004).

Sementara itu menurut Budiman (2004), kebutuhan untuk karet alam dan karet sintetis di dunia secara kasar akan meningkat sebanyak dua kali lipat pada 30 tahun ke depan. Pada tahun 2000 kebutuhan akan elastomer berkisar sejumlah 18 juta ton, sedangkan pada tahun 2035 diyakini akan meningkat hingga 36 juta ton dengan perbandingan jumlah karet sintetik terhadap karet alam sebanyak 60 : 40. Jumlah kebutuhan yang besar ini tentunya akan diikuti dengan peningkatan jumlah produk berbahan baku elastomer, antara lain ban kendaraan, komponen kendaraan, selang, pipa, alas kaki, karpet, bola olahraga, rol, *belts*, sarung tangan, dan lain-lain. Hal ini mencirikan besarnya peluang ekspor yang dapat diambil oleh industri barang jadi karet di Indonesia, sehingga pertumbuhan jumlah industri barang jadi yang berbahan baku elastomer dapat terus meningkat.

Seperti yang layaknya dialami oleh industri lain, industri barang jadi karet memiliki masalah dalam hal penanganan limbah yang dihasilkannya. Limbah vulkanisat dari suatu industri karet dihasilkan setiap harinya dalam jumlah yang banyak, sebagian besar merupakan sisa hasil potongan dalam tahap inspeksi produk. Selain itu, produk yang keluar dari cetakan biasanya masih memiliki *over flow* yang menjadi limbah. Setiap produk dari industri sangat mensyaratkan keseragaman mutu. Oleh karena itu, ketidaksesuaian suatu produk dengan standar mutu akan menyebabkannya tidak terpakai dan menjadi limbah. Selain itu kompon ter vulkanisasi dini juga dapat menyumbang limbah yang tidak sedikit. Semua faktor inilah yang menjadikan semakin meningkatnya limbah vulkanisat yang dihasilkan oleh suatu industri karet, sebagai contoh dari hasil survey, salah satu industri barang jadi karet di Jawa Timur menghasilkan 0,9 – 1 ton limbah vulkanisat per hari. Keberadaannya perlu ditangani segera tanpa merusak lingkungan.

Seiring dengan isu lingkungan yang berkembang di dunia, suatu industri diharuskan untuk memperhatikan aspek lingkungan dalam setiap proses produksinya. Hal ini meliputi penggunaan bahan yang ramah lingkungan dalam produksi, serta penanganan sisa hasil produksi yang menjadi limbah. Untuk menilainya diberlakukanlah suatu sistem sertifikasi ISO 14000 bagi suatu industri, termasuk industri karet, yang dapat menambah citra perusahaan dan kepercayaan dari konsumen maupun mitra bisnisnya. Salah satu parameternya adalah dengan mempertanyakan penanganan limbah yang tidak terpakai tersebut. Dalam suatu hirarki penanganan limbah industri terdapat lima (5) hal yang dapat

dilakukan, yaitu pengurangan bahan baku (*source reduction*), penggunaan kembali tanpa diolah terlebih dahulu (*reuse*), penggunaan kembali dengan pengolahan terlebih dahulu (*recovery*), pembuangan (*disposal*), dan konsep produksi bersih (*clean production*).

Dalam penanganan limbahnya, sebagian besar industri barang jadi karet di Indonesia masih menggunakan cara disposal (pembuangan) ke instalasi penanganan limbah dengan kompensasi biaya yang harus ditanggungnya. Sebagai contoh, dengan memakai cara ini, sebuah industri rol karet di Kerawang harus mengeluarkan biaya \$1000 / minggu. Penanganan limbah dengan cara disposal akan mengalami masalah di masa yang akan datang dengan semakin berkurangnya lahan untuk disposal, seperti yang saat ini dialami oleh USA yang memiliki limbah ban pada lahan disposal sebanyak 2 miliar ban, dan meningkat sejumlah 275 juta ban setiap tahunnya (Jana dan Das, 2005). Kesulitan mencari lahan disposal akan meningkatkan harga lahan disposal sehingga merugikan industri barang jadi karet (Fesus dan Eggleton, 1991). Konsep produksi bersih juga belum dapat digunakan sepenuhnya, terkait dengan masalah teknologi proses.

Kesulitan penanganan limbah di industri barang jadi karet dikarenakan sifat limbahnya yang merupakan bentuk vulkanisat. Vulkanisat karet adalah suatu material yang sulit untuk dikonversi secara biasa, dikarenakan adanya ikatan silang tiga dimensi dalam struktur molekul penyusun vulkanisat serta keberadaan bahan-bahan spesifik seperti bahan pengisi dan anti degradasi dalam kompon (Long, 1985). Sifat vulkanisat yang termoset ini menyulitkan vulkanisat untuk didegradasi secara langsung oleh alam atau perlakuan daur ulang sederhana seperti pemanasan (*melting*) yang dapat dilakukan oleh industri plastik (Fukumori dan Matsushita, 2002).

Usaha untuk mendaur ulang (*recycle*) limbah vulkanisat sudah banyak dilakukan untuk mengatasi masalah ini. Teknik mendaur ulang yang umum dilakukan melibatkan pemutusan mekanis ikatan fisik, misalnya pengecilan ukuran atau pemutusan ikatan karbon-karbon dalam molekul karet oleh bahan kimia (asam, basa, merkaptan, dan sebagainya) menghasilkan karet reklaim. Teknik yang lain adalah berupa devulkanisasi yang merupakan proses pemutusan ikatan sulfur, dengan konsep ini dapat mengembalikan arah proses vulkanisasi menghasilkan karet dengan banyak sifat yang sama dengan kompon aslinya. Hal yang kontras terjadi pada reklaim kimia, dimana ikatan karbon-karbon diputuskan menghasilkan rantai-rantai lebih pendek pada jaringan polimer. Hasilnya adalah terjadinya penurunan sifat fisik pada karet reklaim (Klingensmith, 1991). Karet reklaim pun masih sangat kurang dimanfaatkan kembali untuk industri karet.

Devulkanisasi adalah proses pemecahan secara total ataupun sebagian terhadap ikatan poli, di, dan monosulfida yang terbentuk pada proses vulkanisasi, disini terjadi proses pemecahan ikatan S-C dan S-S dalam elastomer, dikarenakan ikatan tersebut lebih lemah daripada ikatan C-C di rantai utama. Melalui proses devulkanisasi dimungkinkan limbah karet dapat direformulasi atau direvulkanisasi langsung untuk membuat produk baru (Warner, 1994; Kohler dan O'Neill, 1997).

Berdasarkan mekanisme pemutusan ikatan S-S dan atau S-C pada jaringan vulkanisat karet, maka telah diadakan berbagai penelitian di luar negeri, yang metodenya dapat dikelompokkan berdasarkan proses devulkanisasinya, yaitu metode kimiawi, mekanik, ultrasonik, mikrowave, biologi dan lain-lain. Setiap proses ini memiliki keunggulan dan kelemahan prosesnya masing-masing. Salah satu metode devulkanisasi adalah dengan menggunakan bahan kimia berupa produk reaktan devulkanisasi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui pengaruh dari pengecilan ukuran, penambahan reaktan devulkanisasi dan jenis elastomer terhadap proses devulkanisasi. Selain itu untuk mengetahui sifat fisik dari limbah yang telah terdevulkanisasi jika dibandingkan dengan produk awalnya yang sejenis atau produk lain sehingga dapat memperkirakan pemanfaatan limbah tersebut dalam pembuatan suatu barang jadi dari karet yang lain.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bubutan produk *rice huller (scrap)*, reaktan devulkanisasi, elastomer karet alam (RSS I), dan elastomer SBR. Alat-alat yang digunakan adalah *2-roll mill* besar dan *2-roll mill* baku milik BPTK Bogor, ayakan 30-40 mesh, timbangan, gunting, alat vulkanisasi tekan (*compression moulding*), dan alat-alat bantu lainnya.

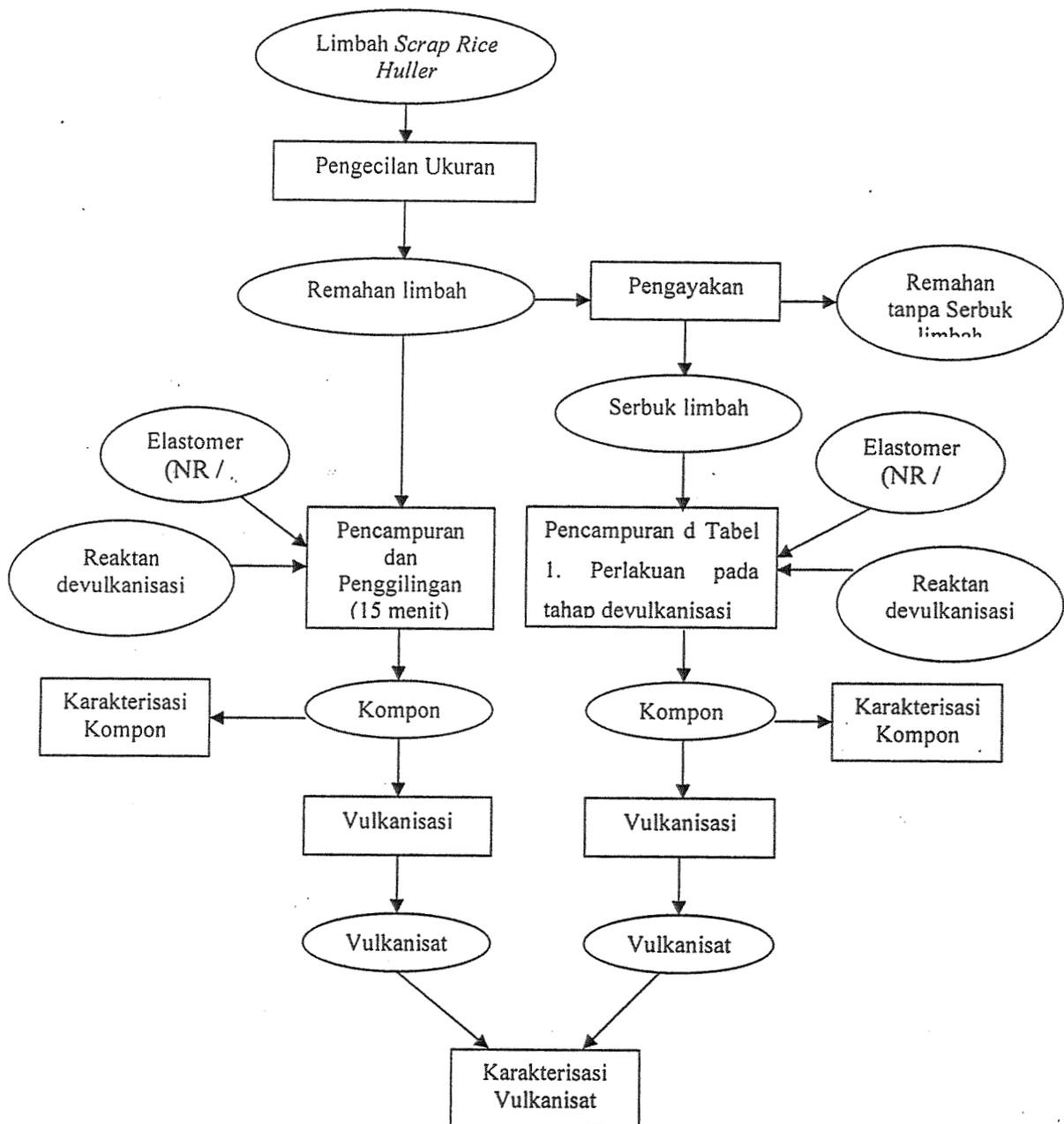
### Metode

Penelitian ini dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah proses pengecilan ukuran limbah dengan menggunakan gunting dan *2-roll mill* besar hingga berbentuk remahan vulkanisat yang bervariasi ukurannya, kemudian sebagian diayak pada ayakan 30-40 mesh menjadi serbuk vulkanisat berukuran 30-40 mesh. Tahapan yang kedua adalah proses devulkanisasi dengan mencampur 100 phr remahan atau serbuk vulkanisat dengan reaktan devulkanisasi dan elastomer NR atau SBR di *2-roll mill* baku selama 15 menit, kemudian kompon yang dihasilkan divulkanisasi pada suhu 150 °C selama waktu tertentu. Proses devulkanisasi diberikan 6 perlakuan yang dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan pada tahap devulkanisasi

	A1 (phr)	A2 (phr)	A3 (phr)	B1 (phr)	B2 (phr)	B3 (phr)
Remahan limbah vulkanisat karet	100	100	100			
Serbuk limbah vulkanisat karet				100	100	100
Elastomer SBR	10	10		10	10	
Elastomer NR			10			10
Reaktan devulkanisasi	4	6	6	4	6	6

Karakteristik limbah karet terdevulkanisasi dilakukan dengan melakukan karakteristik vulkanisasi pada kompon dan beberapa uji fisik pada vulkanisat, yang meliputi kekerasan, kuat tarik, perpanjangan putus, kekuatan sobek, dan ketahanan kikis. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian devulkanisasi limbah vulkanisat karet

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengecilan ukuran yang dilakukan oleh alat *2-roll mill* besar milik BPTK Bogor mengecilkan ukuran *scrap* dari *rice huller* menjadi bentuk remahan vulkanisat yang mengandung beberapa bagian serbuk vulkanisat di dalamnya yang dapat terlihat secara visual dan mudah dipisahkan dengan pengayakan biasa karena sifatnya yang tidak lengket. Proses pengecilan ukuran pada alat *roll mill* ini dipermudah dengan terlebih dahulu memotong – motong *scrap* dari *rice huller* yang ukurannya sangat panjang

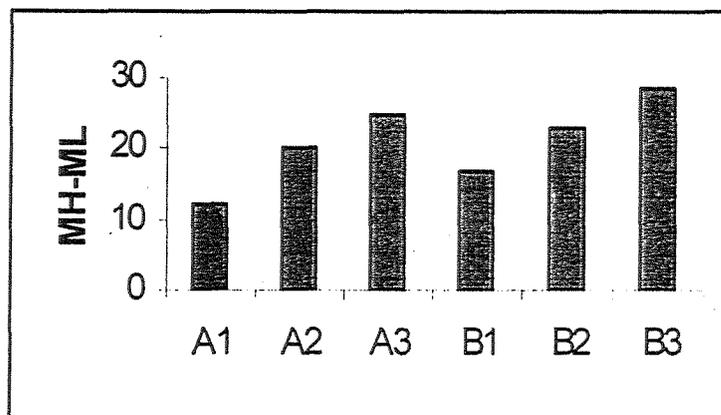
menjadi lebih pendek, dengan pengguntingan sebelum dimasukkan ke dalam *roll mill* yang di-*set* pada jarak antar rol seminimal mungkin. Proses pemasukkan limbah ke dalam *mill* dilakukan berulang kali untuk mendapatkan hasil remahan dan serbuk. Dalam waktu sekitar 30-45 menit, diperoleh hasil berupa remahan dan serbuk vulkanisat. Sifat limbah *rice huller* yang tidak melengket pada rol semakin memudahkan proses pengecilan ukuran ini.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini ternyata telah berhasil membuat vulkanisat baru (revulkanisat) dari limbah tak terpakai. Fenomena revulkanisasi ini dapat diduga sejak awal dari hasil rheometer pada kompon campuran elastomer dengan limbah terdevulkanisasi. Menurut Honggokusumo (1997), berlangsungnya proses vulkanisasi ditandai dengan meningkatnya modulus torsi pada rheometer, dimana selisih nilai MH dan ML menunjukkan rapat ikatan silang yang terbentuk. Semakin besar selisih nilai MH dan ML maka semakin banyak pula ikatan silang yang terbentuk.

Data nilai MH dan ML kompon limbah terdevulkanisasi didapatkan dari hasil rheometer yang diperlihatkan pada Tabel 2. Selisih nilai MH dan ML kemudian dihitung berdasarkan data tersebut untuk memperkirakan rapat ikatan silang baru yang terbentuk dari proses revulkanisasi limbah terdevulkanisasi.

Tabel 2. Karakterisasi kompon limbah karet terdevulkanisasi dengan rheometer

Karakteristik Vulkanisasi (Suhu 150 °C)	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Modulus Torsi Maksimum (MH), kg-cm	102.2	99.8	62.4	112.0	120.0	70.0
Modulus Torsi Minimum (ML), kg-cm	89.8	79.0	37.6	95.0	97.0	41.6
Modulus Torsi Optimum (M <sub>90</sub> ), kg-cm	100.9	97.72	59.92	110.3	117.7	67.16
Waktu Vulkanisasi Optimum, menit	9.0	7.75	9.0	22.0	29.0	8.75
Waktu <i>Scorch</i> , menit	2.25	2.25	2.25	1.63	1.75	1.75
Indeks Laju Vulkanisasi, poin/menit	14.81	18.18	14.81	4.91	3.67	14.29
<b>MH – ML</b>	<b>12.4</b>	<b>20.2</b>	<b>24.8</b>	<b>17</b>	<b>23</b>	<b>28.4</b>



A1 = Remahan, Reaktan Devulkanisasi 4 phr, SBR  
 A2 = Remahan, Reaktan Devulkanisasi 6 phr, SBR  
 A3 = Remahan, Reaktan Devulkanisasi 6 phr, NR  
 B1 = Serbuk, Reaktan Devulkanisasi 4 phr, SBR  
 B2 = Serbuk, Reaktan Devulkanisasi 6 phr, SBR  
 B3 = Serbuk, Reaktan Devulkanisasi 6 phr, NR

Gambar 2. Rapat ikatan silang baru limbah terdevulkanisasi berdasarkan nilai MH-ML

Dari Gambar 2 diperlihatkan bahwa limbah terdevulkanisasi yang berukuran lebih kecil memperlihatkan nilai MH-ML yang lebih besar, sehingga proses pengecilan ukuran limbah memiliki pengaruh dalam keberhasilan proses devulkanisasi. Proses pengecilan ukuran ini sangat penting untuk memperluas permukaan proses (Blow dan Hepburn, 1982). Konversi kimiawi, panas, mekanis, ataupun biologi pada proses devulkanisasi memerlukan ukuran partikel yang kecil sehingga akan menciptakan luas permukaan yang memungkinkan untuk dipakai oleh bahan pendevulkanisasi pada reaksi devulkanisasi (Cal Recovery, 2004).

Keefektifan proses devulkanisasi dipengaruhi juga oleh jumlah reaktan devulkanisasi yang digunakan dalam percobaan, dimana sampel yang menggunakan reaktan sebanyak 6 phr memiliki rapat ikatan silang yang lebih banyak daripada sampel yang hanya menggunakan 4 phr reaktan. Akan tetapi penggunaan yang berlebihan akan berpengaruh kepada harga akhir produk devulkanisasi dikarenakan harga reaktan devulkanisasi yang relatif mahal. Reaktan yang diujicobakan pada penelitian ini berbentuk kompon padat yang diperkirakan terdiri atas peptizer, pencepat donor sulfur, bahan kimia pemutus ikatan dan elastomer khusus.

Produk *rice huller* yang dipakai dalam percobaan menggunakan elastomer SBR sebagai bahan utamanya, sehingga dalam limbah vulkanisatnya pun terdapat SBR dalam jumlah yang banyak. Akan tetapi didapatkan data bahwa penggunaan karet alam (NR) dalam formula kompon limbah terdevulkanisasi menghasilkan jumlah kerapatan ikatan silang baru yang lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan SBR sebagai elastomer aslinya. Hal ini diperkirakan karena jumlah ikatan rangkap dalam struktur molekul karet alam lebih banyak dibandingkan dengan karet sintetik.

Menurut Honggokusumo (1997), mekanisme vulkanisasi belerang dimulai ketika belerang yang mempunyai struktur molekul melingkar ( $S_8$ ) mengalami pemutusan lingkaran  $S_8$  akibat panas dan tekanan serta pengaruh pencepat dan penggiat sehingga membentuk kompleks pengaktifan belerang. Rantai belerang oligomer yang reaktif akan segera menyerang posisi atom C alilik (memiliki ikatan rangkap) pada molekul karet dan membentuk ikatan silang. Semakin banyak ikatan rangkap dari suatu elastomer maka semakin banyak ikatan silang baru yang terbentuk, sehingga nilai MH-ML karet alam menjadi lebih tinggi daripada karet SBR pada perlakuan dan jumlah bahan yang sama pada vulkanisasi atau devulkanisasi. Keunggulan lain dari pemakaian karet alam dalam kompon terdevulkanisasi diperlihatkan pada pengamatan visual kompon limbah terdevulkanisasi yang diperlihatkan pada Tabel 3.

Kompon limbah terdevulkanisasi yang menggunakan karet alam berbentuk lembaran, terutama yang menggunakan serbuk limbah. Hal ini menguntungkan dalam dunia industri, dalam hal pengiriman, penyimpanan, dan penyiapan vulkanisasi kompon sebelum dijadikan produk barang jadi karet. Kompon yang berbentuk remahan atau serbuk dapat menurunkan rendemen akibat kehilangan selama pra dan proses produksi. Kemampuan karet alam dalam membentuk lembaran dikarenakan sifatnya yang tacky, sehingga mampu melekatkan serbuk atau remahan limbah vulkanisat sebelum dan selama proses devulkanisasi terjadi.

Dari karakteristik visual pun telah menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kompon dengan vulkanisat, dimana telah terjadi perubahan sifat dari bentuk lunak, lengket, dan termoplastik menjadi kuat/keras, termoset yang stabil terhadap suhu dan terjadi peningkatan sifat elastis (Long, 1985). Hal ini mencirikan proses devulkanisasi telah berhasil terjadi pada limbah karet terdevulkanisasi.

Tabel 3. Karakterisasi visual dan tekstur kompon serta vulkanisat limbah karet terdevulkanisasi.

Kode	Kompon		Vulkanisat	
	Warna	Tekstur	Warna	Tekstur
A1	Coklat muda	Remahan, tidak melembar	Coklat, sedikit bercak kelabu	Lembaran kurang homogen, permukaan kasar / kesat
A2	Coklat muda	Remahan, tidak melembar	Coklat diselimuti kelabu	Lembaran agak homogen, permukaan kasar / kesat
A3	Coklat muda	Remahan yang dapat menyatu (tacky)	Coklat diselimuti kelabu	Lembaran agak homogen, permukaan kasar / kesat
B1	Coklat gelap	Kumpulan butiran kecil yang menyatu tidak sempurna (mudah terurai)	Hitam	Lembaran homogen dan keras, permukaan halus
B2	Coklat gelap	Lembaran yang mudah terurai	Hitam agak pucat	Lembaran homogen dan keras, permukaan halus
B3	Hitam	Lembaran tacky	Hitam pekat	Lembaran homogen dan keras, permukaan halus

Jika dibandingkan antara revulkanisat yang berasal dari remahan limbah vulkanisat dengan serbuk limbah vulkanisat terdapat perbedaan warna dan tekstur yang mencolok. Tekstur revulkanisat remahan limbah adalah kasar dan berpola serta berwarna senada dengan warna limbah (coklat). Produk revulkanisat yang kesat ini cocok digunakan di *outdoor* sebagai paving block atau penutup jalanan yang licin. Sedangkan tekstur revulkanisat serbuk limbah adalah halus dan warna yang homogen (hitam) sehingga cocok digunakan sebagai penutup lantai *indoor*, hiasan dinding atau interior lain.

Cara yang paling tepat untuk memperkirakan pemanfaatan sebuah vulkanisat sebagai suatu produk barang jadi karet adalah dengan melakukan uji sifat fisik pada vulkanisat karet. Oleh karena itu dilakukan beberapa uji sifat fisik penting pada revulkanisat limbah karet untuk memperkirakan pemanfaatan limbah tersebut sebagai produk lain sesuai spesifikasi yang dipersyaratkan.

Tabel 4. Karakterisasi vulkanisat limbah karet terdevulkanisasi melalui uji sifat fisik

Sifat fisik	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Kekerasan, Shore-A	76	77	75	81	81	81
Kuat Tarik, N/mm <sup>2</sup>	3.7	4.6	2.1	6.5	9.3	5.8
Perpanjangan Putus, %	100	110	60	140	170	130
Kekuatan Sobek, kN/m	22.6	25.4	12.4	25.9	28.7	17.3
Kikis DIN, mm <sup>3</sup>	112	108.0	188.2	155.7	137.7	179.5

Dari hasil uji sifat fisik pada Tabel 4, dapat dibandingkan sifat fisik dari masing-masing perlakuan. Secara matematis terdapat perbedaan nilai yang nyata antara sampel yang menggunakan SBR dengan karet alam sebagai elastomer dalam kompon terdevulkanisasi. Vulkanisat yang menggunakan SBR memiliki sifat fisik yang lebih baik daripada yang menggunakan karet alam. Hal ini mengindikasikan pengaruh dari efek kompatibilitas dalam kompon, terkait dengan kesesuaian bahan kimia penyusun atau kepolaran antar elastomer campuran (Honggokusumo, 1997). Sampel A1, A2, B1 dan B2 menggunakan elastomer SBR yang sama dengan bahan utama pembuat *rice huller*, sedangkan sampel A3 dan B3 menggunakan karet alam. SBR yang memiliki struktur molekul yang relatif sama dengan limbah *rice huller* akan lebih kompatibel untuk bercampur selama pemrosesan dibandingkan dengan karet alam berbeda struktur molekulnya dengan limbah *rice huller*. Sifat fisik yang berbeda antara sampel yang menggunakan remahan limbah (A1, A2, A3) dengan serbuk limbah (B1, B2, B3) membuktikan, bahwa proses devulkanisasi lebih efektif pada serbuk limbah karena permukaan yang lebih luas pada serbuk limbah mengakibatkan reaksi terjadi lebih efektif. Sifat yang sedikit berbeda adalah pada ketahanan kikis, dimana ketahanan kikis remahan limbah relatif lebih baik daripada serbuk limbah.

Perbedaan sifat fisik secara umum antara sampel serbuk limbah dan remahan limbah dapat dijelaskan melalui teori bahan pengisi. Menurut Long (1985), sifat penguatan dari suatu bahan pengisi dipengaruhi oleh ukuran partikel dan struktur partikel dari bahan pengisi. Derajat penguatan meningkat dengan berkurangnya ukuran partikel. Kompon yang mengandung bahan pengisi dengan ukuran partikel yang kecil menghasilkan kuat tarik dan kekerasan yang tinggi. Kompon B1, B2, dan B3 mengandung serbuk limbah *rice huller* yang lebih kecil ukuran partikelnya jika dibandingkan kompon A1, A2 dan A3 yang mengandung remahan limbah *rice huller*.

Pada penambahan yang normal, bahan pengisi penguat memberikan vulkanisat yang lebih keras, meningkatkan kuat tarik, kekuatan sobek dan ketahanan kikis. Akan tetapi terdapat jumlah optimum penambahan, yang jika terlalu banyak penambahan akan mengurangi ketahanan kikis (Blow dan Hepburn, 1982). Sifat inilah yang memungkinkan nilai ketahanan kikis yang kurang baik pada serbuk limbah. Serbuk yang terkandung dalam kompon adalah merupakan bagian yang terbanyak dari kompon, sehingga fenomena di atas dimungkinkan untuk dapat terjadi. Cara yang dapat digunakan adalah dengan menaikkan perbandingan antara elastomer asli dengan serbuk limbah (menambah jumlah elastomer asli dan atau mengurangi jumlah serbuk).

Tabel 5. Perbandingan sifat fisik limbah vulkanisat dengan vulkanisat *rice huller*

Sifat Fisik	RH	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Kekerasan, Shore-A	92	76	77	75	81	81	81
Kuat Tarik, N/mm <sup>2</sup>	15.8	3.7	4.6	2.1	6.5	9.3	5.8
Perpanjangan Putus, %	200	100	110	60	140	170	130
Kekuatan Sobek, kN/m	51.4	22.6	25.4	12.4	25.9	28.7	17.3
Kikis DIN, mm <sup>3</sup>	112.7	112	108.0	188.2	155.7	137.7	179.5

Perbandingan sifat fisik limbah vulkanisat terdevulkanisasi dengan vulkanisat produk asli dapat dilihat pada Tabel 5. Hal ini dilakukan untuk mengetahui peluang pemakaian kembali (*re-use*) limbah ini dalam pembuatan produk *rice huller*.

Berdasarkan penggunaannya, faktor kritis sifat fisik yang harus dimiliki oleh suatu produk *rice huller* adalah kekerasan dan ketahanan kikis. Kekerasan yang tinggi diperlukan untuk memperkuat penekanan pada penghancuran kulit gabah padi, sedangkan ketahanan kikis menentukan usia pakai dari produk *rice huller* tersebut setelah dipakai berulang kali tanpa mengalami kerusakan pada alur *rice huller*. Dari sifat fisik yang telah dibandingkan ini terlihat kelemahan limbah vulkanisat terdevulkanisasi dari sifat kekerasannya dan ketahanan kikisnya. Limbah vulkanisat ini perlu penanganan dan penelitian lanjut agar dapat meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan kikis. Cara yang mungkin ditempuh adalah dengan menambahkan beberapa bahan pemvulkanisat atau bahan pengisi penguat.

Untuk penggunaan lain dari limbah vulkanisat terdevulkanisasi ini adalah dengan menggunakannya untuk membuat barang jadi karet lainnya yang persyaratannya spesifikasinya tidak terlalu ketat, disesuaikan dengan sifat fisik dari limbah vulkanisat terdevulkanisasi ini. Contohnya adalah dalam pembuatan lantai karet (ubin) yang tidak membutuhkan spesifikasi tinggi pada kuat tarik dan perpanjangan putus, tetapi membutuhkan kekerasan dan ketahanan kikis yang cukup baik seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6. Lantai karet memiliki keuntungan yang mampu menyerap suara, dapat dicuci, dan ketahanan terhadap hak sepatu yang tajam. Contoh lain yang dapat diaplikasikan adalah sebagai karpet.

Tabel 6. Perbandingan sifat fisik limbah vulkanisat dengan produk bjk berspesifikasi rendah

Sifat fisik	Ubin Karet							
	Strukto 1	Bayer	A1	A2	A2	B1	B2	B3
Kekerasan, Shore-A	90	86	76	77	75	81	81	81
Kuat Tarik, N/mm <sup>2</sup>	8.1	7.2	3.7	4.6	2.1	6.5	9.3	5.8
Perpanjangan Putus, %	120	65	100	110	60	140	170	130
Kekuatan Sobek, kN/m	-	-	22.6	25.4	12.4	25.9	28.7	17.3
Kikis DIN, mm <sup>3</sup>	332	-	112	108.0	188.2	155.7	137.7	179.5

## KESIMPULAN

Limbah vulkanisat dari *rice huller* telah dapat terdevulkanisasi oleh reaktan pendevulkanisasi yang dipakai pada penelitian ini, walaupun sebagian besar sifat fisiknya telah mengalami penurunan jika dibandingkan dengan produk *rice huller*. Revulkanisat limbah tersebut dapat dikembangkan sebagai bahan baku pembuatan barang jadi karet yang spesifikasinya tidak terlalu tinggi. Keunggulan metode ini adalah campuran dari elastomer dengan vulkanisat limbah telah menghasilkan vulkanisat baru tanpa penambahan bahan pemvulkanisasi apapun juga. Penggunaan elastomer karet alam dalam kompon limbah terdevulkanisasi memberikan keuntungan sebagai bahan pemberi sifat *tacky* dalam kompon devulkanisasi, sehingga kompon dapat berbentuk lembaran yang menguntungkan dalam dunia industri. Penggunaan karet alam juga dimaksudkan untuk meningkatkan penggunaan karet alam sebagai komoditi unggulan Indonesia dalam pembuatan barang jadi karet padat.

Penelitian mengenai hal ini memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan, baik melakukan proses pengecilan ukuran yang tepat dan efektif, modifikasi resep perlakuan dengan kombinasi pemakaian elastomer dalam kompon, menggunakan bahan pendevulkanisasi yang lain, atau mengkonversi limbah ini menjadi barang jadi karet lain yang berspesifikasi sesuai, dengan demikian limbah yang dihasilkan oleh suatu industri

tidak lagi menjadi beban, akan tetapi menjadi sumber pemasukan baru bagi industri tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Blow, C. M. dan C. Hepburn. 1982. *Rubber Technology and Manufacture*. Second Edition. Butterworth Scientific, Norwich.
- Budiman, AFS. 2004. *The Global NR Industry : Current Development and Future Prospects*. Makalah dalam International Rubber Conference 2004, Jakarta, 13-15 Desember 2004.
- Cal Recovery. 2004. *Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies*. California Inc.
- Fesus, E. M. dan R. W. Eggleton. 1991. *Recycling Rubber Product Sensibility*. Rubber World, March 1991.
- Fukumori, K dan M. Matsushita. 2002. *Material Recycling Technology of Crosslinked Rubber Waste*. R&D Reviews of Toyota CRDL Vol 38 No.1.
- Honggokusumo, S. 2004., "The Indonesian Rubber Industry and Its Industry : Present Status and Future Outlook, makalah dalam International Rubber conference, Thailand.
- Honggokusumo, S. 1997. *Kursus Teknologi Barang Jadi Karet*. BPTK Bogor, Bogor.
- Jana, G. K dan C. K. Das. 2005. *Recycling Natural Rubber Vulcanizates through Mechanochemical Devulcanization*. Macromolecular Research Vol .13 No. 1:30-38.
- Klingensmith, B. 1991. *Recycling, Production, and Use of Reprocessed Rubbers*. Rubber World. March, 1991.
- Kohler, R. 1997. *New Technology for the Devulcanization of Sulfur-cured Scrap Elastomers*. Rubber World, May 1997.
- Long, H. 1985. *Basic Compounding and Processing of Rubber*. Rubber Division, Ohio.
- Warner, W. C. 1994. *Methods of Devulcanization*. Rubber Chem and Tech. Rubber Reviews ed. Vol 67 No. 3:559-564.