

## **PENGGUNAAN PINE TAR OIL SEBAGAI BAHAN PELUNAK PADA PEMBUATAN KOMPON CUSHION GUM UNTUK BAN VULKANISIR**

*The Use of Pine Tar Oil as a Softener in the Manufacture of Cushion Gum Compound for Retread Tire*

<sup>1</sup>Santi PUSPITASARI, <sup>1</sup>Adi CIFRIADI, <sup>1</sup>Arief RAMADHAN, dan <sup>2</sup>Mochamad CHALID

<sup>1</sup>Balai Penelitian Teknologi Karet, Pusat Penelitian Karet  
Jalan Salak Nomor 1 Bogor 16128 Jawa Barat Indonesia  
Email: [puspitasari.santi@puslitkaret.co.id](mailto:puspitasari.santi@puslitkaret.co.id)

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,  
Kampus UI Depok 1424 Jawa Barat Indonesia

Diterima : 23 Agustus 2020 / Disetujui : 16 September 2020

### **Abstract**

*The retread tire industry dominates the local market segment as 25% of the total amount of domestically natural rubber consumption. Retread tire can extend tire life service followed with competitive price to new tire has strongly attracted for users mainly comes from public transportation and logistics industries. One factor that determines retread tire quality is the selection of cushion gum as an adhesive between the new tread with the old worm casing tire. The researchers studied the effect of bio rubber processing oil (plasticizer) pine tar oil dosage and increased production capacity on the quality of cushion gum. The dosage of pine tar oil was arranged at 5 phr for laboratory scale as 1 kg compound/batch, and 10 phr for semi pilot scale as 10 kg compound/batch. Characterization result of the rubber cushion gum compound and strip vulcanizate showed that the increase of the dosage of pine tar oil in the compound formulation and cushion gum production capacity could improve the quality of the cushion gum especially elongation at breaks however, it slightly decreased the processing ability of the cushion gum rubber compound.*

*Keywords : adhesive; cushion gum; natural rubber; pine tar oil; retread tire; softener*

### **Abstrak**

Industri ban vulkanisir menguasai pangsa pasar lokal sebesar 25% dari total konsumsi karet alam domestik. Ban vulkanisir yang dapat memperpanjang umur pakai ban dengan menawarkan tingkat harga lebih rendah dibanding ban baru telah menjadi daya tarik bagi pengguna ban vulkanisir yang utamanya berasal dari industri transportasi umum dan logistik. Salah satu faktor penentu kualitas ban vulkanisir adalah pemilihan *cushion gum* sebagai perekat antara telapak ban baru dengan bagian kesing ban lama. Riset ini mempelajari pengaruh dosis bahan pelunak alami *pine tar oil* dan peningkatan kapasitas produksi terhadap mutu *cushion gum*. Dosis *pine tar oil* diatur sebesar 5 phr untuk pembuatan *cushion gum* skala laboratorium pada kapasitas 1 kg kompon/*batch*, dan 10 phr untuk *cushion gum* yang dibuat pada skala semi pilot kapasitas 10 kg kompon/*batch*. Hasil pengujian kompon dan vulkanisat lembaran karet *cushion gum* menunjukkan bahwa peningkatan dosis *pine tar oil* dalam formulasi kompon dan kapasitas produksi *cushion gum* dapat memperbaiki mutu lembaran karet *cushion gum* khususnya sifat perpanjangan putus namun menurunkan kemampuan proses kompon karet *cushion gum* tersebut.

Kata kunci : ban vulkanisir; *cushion gum*; karet alam; pelunak; perekat; *pine tar oil*

## PENDAHULUAN

Sektor industri hilir karet di Indonesia sangat didominasi oleh industri ban kendaraan bermotor. Kajian yang dilakukan oleh Dewan Karet Indonesia pada tahun 2018 menyatakan bahwa industri ban baru dan ban vulkanisir menempati posisi pertama dan kedua sebagai industri dengan serapan karet alam tertinggi di dalam negeri. Rata-rata serapan karet alam oleh industri ban baru dan ban vulkanisir lokal pada periode 2011 hingga 2017 mencapai 44% dan 25% dari total konsumsi domestik karet alam (Dekarindo, 2019). Data tersebut selaras dengan serapan konsumsi karet alam global oleh industri ban yang mencapai 65% dari total produksi karet dunia. Prospek kinerja industri ban tidak dapat dipisahkan dari industri otomotif. Dengan demikian pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor akibat bertumbuhnya mobilitas orang maupun barang dipercaya akan diikuti dengan peningkatan permintaan produksi ban baru maupun ban vulkanisir.

Mutu dari produk ban vulkanisir sangat bergantung pada kualitas komponen penyusun ban vulkanisir tersebut. Satu unit ban vulkanisir utamanya tersusun atas ban lama (*casing*), *cushion gum*, dan telapak ban yang baru (*tread*) (Subulan et al., 2015). *Cushion gum* merupakan lembaran tipis kompon karet yang lunak dan lengket untuk digunakan sebagai perekat antara telapak ban baru dengan kesing ban lama dalam proses produksi ban vulkanisir terutama dengan teknik vulkanisir dingin (Gent & Walter, 2005; Bakhsandeh & Soltanilinegad, 2000). *Cushion gum* dapat digolongkan menjadi *pressure sensitive adhesive* oleh karena itu apabila digunakan *cushion gum* berkualitas rendah dapat mengakibatkan telapak ban terlepas dari bagian *sidewall casing* ban lama sehingga membahayakan jiwa dan keselamatan pengguna ban tersebut.

Kasus telapak ban vulkanisir yang terlepas dari *casing* ban akibat penggunaan *cushion gum* berkualitas rendah sudah sangat sering dijumpai di jalan raya maupun jalan tol terutama oleh kendaraan pengangkut bermuatan besar seperti bus

dan truk. *Cushion gum* komersial eksisting umumnya memiliki daya rekat yang rendah, ditunjukkan oleh nilai parameter kuat rekat sebesar 1,77 kN/m (Puspitasari et al., 2020). Permasalahan utama ini belum dapat diatasi bahkan oleh industri ban vulkanisir berskala besar dan dikhawatirkan dapat mengurangi kepercayaan konsumen serta menurunkan nilai jual produk ban vulkanisir. Bagaimanapun juga pengguna ban vulkanisir harus diberikan jaminan keamanan dan kenyamanan saat berkendara. *Cushion gum* berkualitas unggul didukung dengan sifat mekanik diantaranya kuat tarik, kuat sobek, kekerasan, dan kuat rekat yang lebih baik dibanding *cushion gum* eksisting.

Basak et al. (2012) dan Han et al. (2018) menyatakan bahwa bahan kimia kompon karet yang berperan penting dalam menentukan mutu *cushion gum* adalah resin *tackifier* dan *plasticizer rubber processing oil* (RPO). Oleh karena itu, penggunaan RPO yang tepat jenis dan dosisnya dinilai dapat meningkatkan sifat fisika dan mekanik produk karet terutama sifat tarik dan kekerasan. Lebih lanjut, secara khusus penggunaan *pine tar oil* yang bersifat lengket (*tacky-sticky*) dipercaya turut dapat meningkatkan kuat rekat produk *cushion gum*. Adanya kandungan gugus fenol dalam rantai molekul *pine tar oil* dapat berfungsi sebagai alternatif bio-adesif (Kozowyk et al., 2017). Selain itu, *pine tar oil* merupakan bahan kimia karet yang dapat diperbaharui serta lebih ramah lingkungan.

Penggunaan *pine tar oil* sebagai alternatif *bio based RPO* dalam pembuatan kompon *cushion gum* untuk menggantikan RPO sintetik berbasis minyak bumi (minyak aromatik) telah dijumpai di beberapa industri vulkanisir ban eksisting. Namun demikian, kompon *cushion gum* tersebut diformulasikan hanya menggunakan satu jenis *reinforcing filler* yaitu *carbon black*. Sementara itu, kombinasi antara *bio based RPO* dengan *hybrid filler* yang terdiri atas *pine tar oil* dengan *carbon black* dan sodium lignosulfonat dalam pembuatan kompon karet belum dikaji dalam penelitian di dalam maupun luar negeri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

pengaruh dosis penambahan *pine tar oil* sebagai bio RPO dan kapasitas produksi kompon mutu *cushion gum* yang diformulasikan dengan menerapkan *hybrid filler* campuran *carbon black* dan sodium lignosulfat, terutama yang memiliki sifat kekuatan rekatan yang baik sehingga dapat meminimalkan cacat mutu ban vulkanisir akibat terlepasnya telapak ban baru dari kesing ban lama.

## BAHAN DAN METODE

### Formulasi Bahan Kimia Kompon

Karet alam tipe *Technically Specified Rubber (TSR) grade Standar Indonesian Rubber (SIR) 20* yang disediakan oleh Kopkar INIRO Bogor digunakan sebagai *base elastomer* dalam pembuatan *cushion gum*. Selanjutnya bahan kimia kompon karet sebagai aditif yang diaplikasikan dalam pembuatan *cushion gum* meliputi ZnO, asam stearat, 1,2-dihidro-2,2,4-trimetilquinolin (TMQ), *N*-(1,3-dimetilbutil)-*N'*-fenil-*p*-fenilena diamin (6PPD), *paraffin wax*, lignin dalam

bentuk sodium lignosulfonat, karbon hitam CB N330, *coumarone resin*, *N*-sikloheksil-2-benzotiazol sulfenamida (CBS), dan sulfur seluruhnya diperoleh dari PT. Multi Citra Chemindo Nusa. *Pine tar oil* produksi PT Organik Inti Indonesia (OII) dimanfaatkan sebagai bio RPO dalam riset ini. Tabel 1 merangkum susunan formulasi kompon karet *cushion gum*. Dosis *pine tar oil* ditetapkan sebesar 5 bsk dan 10 bsk dengan pertimbangan bahwa pada dosis tersebut *pine tar oil* memiliki performa yang optimal dalam memberikan pengaruh yang baik terhadap sifat kuat tarik dan kuat rekat kompon *cushion gum*.

### Pembuatan Kompon

Dalam pelaksanaan riset ini, prosedur eksperimen pembuatan *cushion gum* menggunakan mesin giling terbuka (*two rolled open mill*) mengacu pada ASTM D 3182-16 (*Standard Practice for Rubber*). Proses pembuatan kompon karet *cushion gum*, diawali dengan tahapan mastikasi karet SIR 20 hingga karet menjadi lunak dan plastis. Mastikasi menyebabkan terjadinya

Tabel 1. Rancangan formulasi bahan kimia kompon karet *cushion gum*  
Table 1. Formulation design of *cushion gum rubber compound*

No	Bahan Material	Dosis Bagian seratus karet (bsk) Dosage Per hundred rubber (phr)	
		RF A	RF B
		1	SIR 20
2	ZnO	5	5
3	Asam stearat	2	2
4	TMQ	2	2
5	6 PPD	2	2
6	Paraffin wax	3,5	3,5
7	Sodium lignosulfonat	10	10
8	CB N330	50	50
9	CBS	1,6	1,6
10	Sulfur	2,2	2,2
11	Coumarone resin	5	5
12	Pine Tar Oil	5	10
Jumlah		188,3	193,3

pemutusan rantai molekul karet secara fisik, yang ditandai dengan penurunan viskositas karet. Pada karet yang lunak maka pencampuran bahan kimia kompon karet ke dalam matriks karet menjadi lebih mudah. Penambahan bahan kimia kompon karet mengikuti urutan berikut *coumarone resin*, ZnO, asam stearat, CB N330, *pine tar oil*, dan *lignin*, *TMQ*, *6PPD*, *paraffin wax*. CBS dan sulfur ditambahkan pada urutan terakhir. Saat seluruh bahan kimia kompon karet telah selesai ditambahkan, kemudian komposit karet *cushion gum* yang terbentuk dihomogenkan (*remilling* dan *blending*). Tahapan pencampuran secara terperinci disajikan pada Tabel 2. Kompon karet *cushion gum* yang telah diperoleh kemudian ditutup dengan lembaran plastik transparan dan didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam agar bahan kimia karet dapat mencapai fase *conditioning* dalam matriks karet, stabil dan tidak terjadi eksese reaksi lanjutan. Kompon karet *cushion gum* RF A dibuat pada skala laboratorium kapasitas 1 kg kompon/*batch*, sedangkan *cushion gum* RF B dibuat pada skala semi pilot kapasitas 10 kg kompon/*batch*.

### Pengujian Karakteristik Vulkanisasi dan Mutu Vulkanisat *Cushion Gum*

Kompon karet *cushion gum* yang telah diperam selama sekitar 24 jam lalu dicuplik sebanyak sekitar 50 gram sebagai sampel uji karakteristik vulkanisasi

menggunakan Moving Die Rheometer (Alpha 2000R) pada suhu 150°C. Waktu vulkanisasi optimal yang diperoleh dari hasil analisis karakteristik vulkanisasi digunakan sebagai dasar dalam menentukan kondisi pencetakan kompon *cushion gum* menjadi vulkanisat potongan sampel uji dalam mesin cetak hidrolik. Parameter uji sifat mekanik vulkanisat *cushion gum* meliputi kekerasan diukur dengan alat Frank Durometer Hardness Tester skala Shore A dengan metode ISO 48-4, kuat tarik, perpanjangan putus, dan modulus 300% diuji dengan alat MTS UTM metode ISO 37 Tipe 2, ketahanan sobek dengan ISO 34, dan kuat rekat menggunakan alat UTM Instron dengan metode ISO 813, sedangkan *specific gravity* diuji dengan metode ISO 2781.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Karakteristik Vulkanisasi

Uji karakteristik vulkanisasi menggambarkan reaksi vulkanisasi dari kompon *cushion gum*. Dari uji karakteristik vulkanisasi akan diperoleh informasi mengenai modulus torsi maksimal, modulus torsi minimal, selisih modulus torsi, waktu vulkanisasi optimal, dan waktu pra vulkanisasi. Setiap parameter karakteristik vulkanisasi memiliki sifat unik, dimana modulus torsi maksimal menggambarkan fleksibilitas kompon karet, modulus torsi

Tabel 2. Tahapan pencampuran bahan kompon dalam mesin giling terbuka  
Table 2. *Mixing of rubber compound material in open mill*

No	Urutan pencampuran <i>Compounding stage</i>	Waktu pencampuran (menit) <i>Compounding time (minute)</i>	
		RF A	RF B
1	Mastikasi karet SIR 20	3	5
2	Pencampuran SIR 20 + <i>coumarone resin</i>	1	3
3	Penambahan ZnO dan asam stearat	1	3
4	Penambahan $\frac{3}{4}$ CB dan <i>pine tar oil</i>	2	5
5	Pencampuran $\frac{1}{4}$ CB, TMQ, 6PPD, <i>paraffin wax</i>	2	3
6	Penambahan CBS dan sulfur	1	3
7	Homogenisasi	3	4

minimal menunjukkan kemampuan proses kompon karet yang berkaitan dengan viskositas kompon karet, selisih modulus torsi mengindikasikan besarnya derajat ikatan silang, waktu vulkanisasi optimal menandakan waktu yang diperlukan untuk mencapai 90% dari torsi maksimal, sedangkan waktu pra vulkanisasi adalah waktu yang diperlukan sebelum mulai terjadinya reaksi vulkanisasi (Mohamad et al., 2008; Ngamsurat et al., 2011).

Hasil analisis karakteristik vulkanisasi kompon *cushion gum* disajikan pada Tabel 3. Secara umum tampak bahwa *cushion gum* yang dibuat dengan memodifikasi RF A menjadi RF B dengan menambahkan dosis *pine tar oil* dari 5 phr menjadi 10 phr maka tampak adanya peningkatan nilai indikator karakteristik vulkanisasi kompon karet *cushion gum* yang diperkirakan turut dipengaruhi oleh naiknya kapasitas produksi menjadi 10 kg kompon karet/*batch*. Bobot kompon yang lebih besar menyebabkan pengolahan kompon karet dalam mesin giling terbuka menjadi lebih sulit yang diindikasikan dengan naiknya nilai modulus torsi minimal (ML). Reincke et al. (2009) menyatakan bahwa peningkatan jumlah bahan pelunak (RPO) umumnya akan diikuti dengan penurunan viskositas karet yang menyebabkan kemampuan proses karet menjadi meningkat. Namun pada kasus tertentu, misalnya jumlah bahan pengisi yang jauh lebih banyak pada pembuatan kompon skala semi pilot maka kemampuan pemrosesan kompon karet tidak dapat

terkompensasi dengan naiknya bobot bahan pelunak. Dalam jumlah yang besar, interaksi antara karet dan bahan pengisi menjadi lebih kuat, sehingga mengakibatkan menurunnya pengaruh pelunakan dari *pine tar oil* (Fu et al., 2020). Lebih lanjut, komposisi bahan pengisi yang besar dalam kompon *cushion gum* RF B juga mengakibatkan bertambahnya tingkat kerapatan kompon sehingga menaikkan nilai modulus torsi maksimal (MH) kompon tersebut.

Peningkatan dosis bahan pelunak *pine tar oil* dan kapasitas produksi juga dapat menaikkan nilai selisih modulus torsi (MH-ML) pada kompon karet *cushion gum*. Dengan nilai selisih modulus torsi (MH - ML) yang lebih tinggi sebesar 11,45 dNm pada kompon karet *cushion gum* RF B, maka diprediksi kompon karet *cushion gum* RF B tersebut akan memiliki sifat fisik dan mekanik yang lebih baik daripada kompon karet *cushion gum* RF A. Besarnya derajat ikatan silang komposit karet berkorelasi positif dengan sifat mekaniknya. Derajat ikatan silang pada komposit karet didefinisikan sebagai jumlah atom sulfur yang terikat di antara dua atom karbon dalam rantai molekul karet alam. (Kim et al., 2020; Xu et al., 2020; Hiranobe et al., 2021). Sementara itu, waktu pra vulkanisasi (ts2) dan vulkanisasi optimal (t90) yang lebih panjang pada kompon karet *cushion gum* RF B akan memberikan keamanan pemrosesan yang lebih baik dibandingkan pada kompon karet *cushion gum* RF A, meskipun dengan waktu vulkanisasi optimal (t90) yang lebih

Tabel 3. Karakteristik vulkanisasi kompon karet *cushion gum*  
Table3. Curing characteristic of cushion gum rubber compound

	Karakteristik pemasakan <i>Curing characteristic</i>	RF A	RF B
1	Modulus torsi maksimal, MH (dNm)	10,28	12,96
2	Modulus torsi minimal, ML (dNm)	0,81	1,51
3	Selisih modulus torsi, MH - ML (dNm)	9,47	11,45
4	Waktu vulkanisasi opt, t90 (min:detik)	5:02	7:89
5	Waktu pravulkanisasi, ts2 (min:detik)	2:16	3:88

panjang tentu akan berdampak pada konsumsi energi yang lebih tinggi. Adanya kandungan senyawa fenol dalam komposisi *pine tar oil* dapat menghambat berlangsungnya reaksi vulkanisasi antar molekul karet yang dijembatani oleh sulfur. Senyawa fenol dikenal sebagai salah satu antioksidan kuat yang berfungsi sebagai *radical scavenger* dalam reaksi vulkanisasi rantai molekul poliisoprena karet alam (Lu et al., 2020).

#### Hasil Uji Mutu Vulkanisat *Cushion Gum*

Molekul bahan pelunak bekerja dengan cara melakukan penetrasi diantara molekul karet sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan susunan rantai dan interaksi antara makromolekul karet alam (poliisoprena). Oleh karena itu, bahan pelunak juga berperan penting dalam menentukan sifat mekanik produk karet tidak hanya dalam hal pemrosesnya karena turut memengaruhi mobilitas rantai molekul karet alam yang telah saling berikatan silang. Adanya molekul bahan pelunak, akan menurunkan energi yang diperlukan untuk pergerakan molekul karet. Pergerakan ikatan silang antara molekul karet merupakan fungsi dari derajat ikatan silang (Zhao et al., 2011; Zhao et al., 2018). Seperti telah disebutkan sebelumnya, bahwa derajat ikatan silang menentukan karakteristik mekanik produk karet. Tabel 4 merangkum hasil pengujian sifat mekanik vulkanisat lembaran karet *cushion gum*.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4 terlihat bahwa penambahan dosis *pine tar oil* dan kapasitas produksi menyebabkan peningkatan kekerasan vulkanisat lembaran karet *cushion gum* dari 53 Shore A menjadi 56 Shore A. Secara teoritis, korelasi antara dosis bahan pelunak dengan kekerasan vulkanisat karet terjadi secara negatif yang berarti bahwa penambahan dosis bahan pelunak seharusnya diikuti oleh penurunan tingkat kekerasan vulkanisat karet. Namun hasil dari riset ini tampak bahwa penambahan dosis bahan pelunak *pine tar oil* yang diiringi dengan peningkatan kapasitas produksi kompon justru mengakibatkan vulkanisat karet *cushion gum* menjadi semakin keras. Dalam kasus ini, massa (Kg) bahan pengisi CB N330 yang jauh lebih banyak pada RF B dibandingkan bobot bahan pengisi dalam RF A menjadi lebih dominan dalam menentukan tingkat kekerasan vulkanisat karet *cushion gum* daripada jumlah *pine tar oil* yang ditambahkan dalam formulasi kompon karet *cushion gum* meskipun dosis *pine tar oil* telah ditingkatkan dalam formulasi RF B. Pengaruh ini dimungkinkan karena adanya perbedaan kapasitas mesin giling terbuka yang mengakibatkan perbedaan dari efek mastikasi karet dan kemampuan dispersi bahan pengisi terutama *carbon black*. Bahan pengisi penguat (*reinforcing filler*) merupakan material yang keras, sehingga semakin besar jumlahnya maka komposit karet akan semakin keras (Xie et al., 2019).

Tabel 4. Sifat mekanik vulkanisat karet *cushion gum*  
Table 4. Mechanical properties of *cushion gum rubber vulcanizate*

Karakteristik pemasakan <i>Curing characteristic</i>		RF A	RF B
1	Kekerasan (Shore A)	53	56
2	Kuat tarik (N/mm <sup>2</sup> )	20,60	20,35
3	Perpanjangan putus (%)	350	520
4	Modulus 300% (N/mm <sup>2</sup> )	16,60	8,97
5	Kuat sobek (kN/m)	79,5	79,9
6	<i>Specific gravity</i> (g/cm <sup>3</sup> )	1,101	1,110
7	Kuat rekat (kN/m)	4,49	2,66

Selanjutnya ditinjau dari sifat tarik vulkanisat karet *cushion gum* yang terdiri atas parameter kuat tarik, perpanjangan putus, dan modulus 300% terlihat bahwa pada vulkanisat karet *cushion gum* RF B memiliki kuat tarik dan modulus 300% yang lebih rendah namun perpanjangan putus yang lebih tinggi daripada vulkanisat karet *cushion gum* RF A. Ren et al. (2015) menyatakan bahwa bahan pelunak berpengaruh besar terhadap pergerakan rantai molekul karet. Dengan demikian, orientasi dan kristalisasi rantai molekul karet juga dipengaruhi oleh performa dari bahan pelunak. Lebih lanjut, bahan pelunak akan mengurangi kemampuan *strain induced crystallization* dari jaringan rantai karet alam ketika diregangkan sehingga menurunkan nilai kuat tarik dan modulus 300%. Sebaliknya keberadaan bahan pelunak yang semakin banyak dalam komposisi komposit karet yang bekerja dengan memberikan pelumasan bagi pergerakan rantai molekul karet mengakibatkan naiknya perpanjangan putus dari vulkanisat karet tersebut. Mengacu pada keterkaitan antara derajat ikatan silang dengan sifat tarik, vulkanisat lembaran karet *cushion gum* RF B meskipun memiliki susunan jaringan antar molekul yang lebih rapat (nilai MH-ML tinggi) namun pergerakan rantai molekul karetnya ketika diregangkan tidak terlalu kaku akibat adanya pengaruh pelumasan dari bahan pelunak alami *pine tar oil* sehingga kuat tarik dan modulus 300% lebih rendah namun perpanjangan putus meningkat.

Kuat sobek dan *specific gravity* vulkanisat lembaran karet *cushion gum* RF B sedikit meningkat dibandingkan pada vulkanisat lembaran karet *cushion gum* RF A seperti ditampilkan pada Tabel 3. Sifat kuat sobek dan *specific gravity* merupakan sifat mekanik komposit karet yang menjadi fungsi dari jumlah dan jenis bahan pengisi (Mostafa et al., 2010). Poh et al. (2002) menyatakan bahwa kuat sobek meningkat sebanding dengan penambahan dosis bahan pengisi dalam komposit karet, karena terjalannya interaksi antara molekul karet dengan bahan pengisi yang semakin signifikan. Temuan Poh et al. (2002) ini turut menjelaskan peningkatan nilai kuat tarik vulkanisat lembaran karet *cushion gum* RF B

dalam riset. Bahan pengisi penguat utamanya jenis *carbon black* selain material yang bersifat keras juga berat, sehingga penambahannya dalam jumlah yang banyak akan menambah kerapatan massa (*specific gravity*) dan bobot dari vulkanisat karet.

Peningkatan dosis bahan pelunak alami *pine tar oil* pada skala kapasitas produksi yang sama seharusnya dapat meningkatkan kekuatan rekat vulkanisat lembaran karet *cushion gum*, dikarenakan secara alamiah, bahan pelunak alami *pine tar oil* bersifat lengket (*tacky and sticky materials*) sehingga penambahannya dalam dosis tinggi dalam susunan formulasi kompon karet *cushion gum* dengan sendirinya akan memperbaiki kekuatan rekat dari vulkanisat lembaran karet *cushion gum* tersebut. Hasil penelitian Kozowyk et al. (2020) mendefinisikan *pine tar* sebagai bahan perekat alami yang potensial (*promosing natural adhesive*). Namun sebagaimana disajikan pada Tabel 3, peningkatan dosis bahan pelunak alami *pine tar oil* yang diiringi dengan penambahan kapasitas produksi justru tampak terjadinya penurunan kuat rekat vulkanisat lembaran karet *cushion gum* dari 4,49 kN/m menjadi 2,66 kN/m. Penurunan kuat rekat *cushion gum* RF B diprediksi karena kandungan material bahan pelunak alami *pine tar oil* banyak yang terserap oleh bahan pengisi CB N330 sehingga pengaruh perekatannya berkurang. Penyerapan *pine tar oil* oleh *carbon black* mengakibatkan terbentuknya ikatan hidrogen antara gugus -OH dan -COOH yang terdapat di permukaan *carbon black* dengan gugus -OH pada senyawa fenol yang terkandung dalam *pine tar oil* (Mohapatra & Nando, 2015). Kemampuan *carbon black* dalam menyerap minyak bergantung pada struktur molekul *carbon black* tersebut (ISO, 2012).

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil eksperimen dan analisis adalah bahwa penambahan dosis bahan pelunak alami *pine tar oil* dalam susunan formulasi kompon karet *cushion gum* dari 5 phr menjadi 10 phr diketahui dapat memperbaiki mutu lembaran karet *cushion*

*gum* terutama pada sifat perpanjangan putus yang menjadi 520%. Meskipun demikian, kompon karet yang dibuat dengan penambahan dosis *pine tar oil* sebesar 10 phr pada skala semi pilot berkapasitas 10 kg kompon/*batch* tersebut cenderung memerlukan waktu vulkanisasi yang lebih panjang akibat adanya kandungan senyawa fenol dalam *pine tar oil* yang berfungsi sebagai *radical scavenger* pada reaksi vulkanisasi rantai molekul karet (poliisoprena). Pada variasi kapasitas produksi, meskipun *pine tar oil* ditambahkan pada dosis yang lebih besar pada skala semi pilot (RF B) dibandingkan dengan skala laboratorium (RF A) namun pengaruh bahan pengisi terutama CBN330 lebih dominan dalam menentukan nilai kekerasan (naik 3 poin Shore A), kuat sobek sebesar 79,9 kN/m, dan *specific gravity* sebesar 1,110 g/cm<sup>3</sup>, serta kompon karet *cushion gum* RF B yang menjadi lebih sulit diproses ditunjukkan dengan tinggi modulus torsi minimal sebesar 1,51 dNm. Dominasi CB N 330 juga tampak pada sifat kuat rekat RF B yang menurun akibat terserapnya *pine tar oil* oleh CBN 330.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan tinggi disampaikan kepada Kementerian Ristek/BRIN atas bantuan dana riset melalui program Insentif Sistem Inovasi Nasional Insinas TA 2021 (Kontrak Nomor 22/INS/PPK/E4/2021). Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada para Tenaga Teknisi Penelitian dan Analisis Laboratorium Pengujian Fisika dan Teknisi Pabrik Percobaan Pusat Penelitian Karet atas kontribusi selama pelaksanaan kegiatan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bakhshandeh, G.R., & Soltanlinegad, M.A. (2000). Studies on the adhesion of cushion gum to carcass in retreaded tyre. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 13(4), 217-225.
- Basak, G.C., Bandyopadhyay, A., & Bhowmick, A.K. (2012). The role of tackifiers on the auto-adhesion behavior of EPDM rubber. *Journal of Materials Science*, 47, 3166-3176.
- [Dekarindo] Dewan Karet Indonesia. (2019). *Data Industri Karet 2018*. Jakarta, Indonesia: Dekarindo.
- Fu, Q., Tan, J., Wang, F., & Zhu, X. (2020). Study on the synthesis of castor oil-based plasticizer and the properties of plasticized nitrile rubber. *Polymers*, 12, 2584.
- Gent, A.N., & Walter, J.D. (2005). *The pneumatic tire*. Washington DC, US: The National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation.
- Han, K., Li, M., Xu, H., & Xiao, J. (2018). Study on hot vulcanized adhesive for rubber and metal bonding. *AIP Conference Proceedings*, 1995, 020008.
- Hiranobe, C.T., Ribeiro, G.D., Torres, G.B., dos Reis, E.A.P., Cabrera, F.C., Job, A.E., Paim, L.L., & dos Santos, R.J. (2021). Cross-linked density determination of natural rubber compounds by different analytical techniques. *Material Research*, 24(suppl. 1), e20210041.
- International Standard Organization. (2012). *Determination of oil absorption number. ISO 4656:2012*. Geneva, Swiss: ISO.
- Kim, D.Y., Park, J.W., Lee, D.Y., & Seo, K.H. (2020). Correlation between the crosslink characteristics and mechanical properties of natural rubber compound via accelerators and reinforcement. *Polymers*, 12, 14p.



- Kozowyk, P.R.B., van Gijn, A.L., & Langejans, G.H.J. (2020). Understanding preservation and identification biases of ancient adhesive through experimentation. *Archaeological and Anthropological Science*, 12, 209.
- Kozowyk, P.R.B., Poullis, J.A., Langejans, G. (2017). Laboratory strength testing of pine wood and birch bark adhesives: A first study of the material properties of pitch. *Journal of Archaeological Science: Report*, 13, 49-59.
- Lu, L., Luo, K., Yang, W., Zhang, S., Wang, W., Xu, H., & Wu, S. (2020). Insight into the anti-aging mechanisms of natural phenolic antioxidants in natural rubber composites using a screening strategy based on molecular simulation. *RSC Advances*, 10, 21318.
- Mohamad, N., Muchtar, A., Ghazali, M.J., Mohd, D.H., & Azhari, C.H. (2008). The effect of filler on epoxidized natural rubber-alumina nanoparticles composites. *European Journal of Scientific Research*, 24(4), 538-547.
- Mohapatra, S., & Nando, G.B. (2015). Analysis of carbon black – reinforced cardanol – modified natural rubber compounds. *Rubber Chemistry and Technology*, 88(2), 289-309.
- Mostafa, A., Abouel-Kasem, A., Bayoumi, M.R., & El-Sebaie, M.G. (2010). Rubber-filler interactions and its effect in rheological and mechanical properties of filled compounds. *Journal of Testing and Evaluation*, 38(3), 101942.
- Ngamsurat, S., Boonkerd, K., Leela-adisorn, U., & Potiyaraj, P. (2011). Curing characteristic of natural rubber filled with gypsum. *Energy Procedia*, 9, 452-458.
- Poh, B., Ismail, H., & Tan, K.S. (2002). Effect of filler loading on tensile and tear properties of SMR L/ENR 25 and SMR L/SBR blends cured via a semi-efficient vulcanization system. *Polymer Testing*, 21(7):801-806. doi: 10.1016/S0142-9418(02)00014-4.
- Puspitasari, S., Cifriadi, A., Ramadhan, A., & Chalid, M. (2020). Pengembangan desain formulasi kompon karet alam untuk cushion gum perekat pada ban vulkanisir. Laporan Penelitian. Bogor, Jawa Barat: Balai Penelitian Teknologi Karet
- Reincke, K., Grellmann, W., & Friedel, J. (2009). Influence of process oil on the mechanical properties of elastomer. *Testing and Measuring*, 506 – 514.
- Ren, Y., Zhao, S., Yao, Q., Li, Q., Zhang, X., & Zhang, L. (2015). Effects of plasticizer on the strain-induced crystallization and mechanical properties of natural rubber and synthetic polyisoprene. *RSC Advances*, 2015(5), 11317-11324.
- Subulan, K., Tasan, A.S., & Baykasoglu, A. (2015). Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. *Applied Mathematical Modelling*, 39(9), 2661-2702.
- Xie, T., Wang, F., Xie, C., Lei, S., Yu, S., Liu, J., & Huang, D. (2019). Mechanical properties of natural rubber filled with foundry waste derived fillers. *Materials*, 12, 1863.
- Xu, H., Fan, T., Wu, W., Huang, D., Wang, D., Wang, Z., & Zhang L. (2020). Plasticization effect of bio-based plasticizers from soybean oil for tire tread rubber. *Polymers*, 12, 623.

- Zhao, F., Bi, W., & Zhao, S. (2011). Influence of crosslink density on mechanical properties of natural rubber vulcanizates. *Journal of Macromolecular Science. Part B: Physic*, 50, 1460-1469.
- Zhao, S., Shao, X., Liu, X., Jiang, L., Zhao, Z., Xie, S., Li, L., & Xin, Z. (2018). Lubrication and plasticization behavior of large-size micro-spherical structured SiO<sub>2</sub> for natural rubber. *RSC Advances*, 8, 31783.