

PENGARUH *FILLER* BENTONIT TERMODIFIKASI TERHADAP PERILAKU SIFAT MEKANIK EBONIT KARET ALAM

Effect of Modified Bentonite Filler on the Behavior of Mechanical Properties of Natural Rubber Ebonite

Asron Ferdian Falaah^{1,2}, Mochamad Chalid¹, dan Mohamad Irfan Fathurrohman²

¹Departemen Teknik Metalurgi dan Material - Universitas Indonesia, Depok 16424 Jawa Barat

²Unit Riset Bogor Getas- Pusat Penelitian Karet, Jalan Salak Nomor 1 Bogor 16128 Jawa Barat
Email : asron1985@gmail.com

Diterima 4 April 2022 / Direvisi 20 Mei 2022 / Disetujui 10 Juni 2022

Abstrak

Karet ebonit mempunyai keunggulan karena sifat mekanik yang tinggi, kaku, dan keras namun cenderung mudah getas. Penambahan filler clay yang mengandung bentonit dinilai dapat mengurangi sifat getas karet ebonit. Studi ini mencoba membuat karet ebonit berbasis karet alam dengan variasi bentonit sebagai filler 0, 2, 4, 6, 8, 10 phr yang dicampur sebagai masterbatch karet alam yang menggunakan surfaktan kationik, dengan karet alam jenis RSS 1, belerang 30 phr dan bahan aditif lain dengan waktu 90 menit dan suhu vulkanisasi 160°C. Uji sifat rheologi menunjukkan semakin bertambahnya masterbatch yang mengandung bentonit dan surfaktan kationik ditambahkan akan memberikan pelunakan pada komposit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan kenaikan dengan bertambahnya bentonit yang digunakan. Pengujian kuat tarik komposit b4 (4 phr bentonit) menghasilkan nilai tertinggi 41,3 N/mm² dan modulus young 362,77 N/mm². Hasil uji SEM menunjukkan permukaan lebih halus pada b4 dengan terbentuk agregat yang sangat kecil dibanding dengan b10 yang cenderung lebih besar ukuran agregat. komposit b4 mengindikasikan filler terdistribusi baik karena ukuran agregat kecil sehingga memberikan pengaruh terhadap kekuatan mekanik lebih tinggi dibanding dengan komposit b10 dengan agregat besar

yang cenderung terjadi aglomerasi sehingga filler tidak terdistribusi dengan baik.

Kata kunci: karet alam, ebonit, bentonit, bahan pengisi, sifat mekanik

Abstract

Ebonite rubber has advantages because of its high mechanical properties, rigidity, and hardness but tends to be brittle. The addition of filler clay containing bentonite is considered to reduce the brittle nature of ebonite rubber. This study makes natural rubber-based ebonite rubber with bentonite variations as filler 0, 2, 4, 6, 8, 10 phr mixed as natural rubber masterbatch containing cationic surfactants, with natural rubber type RSS 1, sulfur 30 phr and other additives with a vulcanization time of 90 minutes and a vulcanization temperature of 160°C. The rheological properties test showed that the addition of the masterbatch containing cationic surfactant was added to the softening of the vulcanizate. The results of the hardness test show an increase with the addition of the bentonite used. The tensile strength test of vulcanized b4 (4 phr bentonite) resulted in the highest value of 41.3 N/mm² and Young's modulus of 362.77 N/mm². The results of the SEM test show that the surface is smoother in b4 with very small aggregates formed compared to b10 which tends to have larger aggregate sizes. The SEM test results show a rough surface on b4 compared to smooth b10, indicating that the filler is good distributed thus resulting in higher mechanical

strength compared to the smooth surface formed by the agglomeration of the filler. Composite b4 indicates that the filler is well distributed because the size of the aggregate is small so that it has a higher effect on mechanical strength compared to composite b10 with large aggregates which tend to agglomerate because the filler is not well distributed.

Keywords: natural rubber, ebonite, bentonite, filler, mechanical properties

Pendahuluan

Karet alam merupakan material yang mempunyai sifat unggul dibanding material elastomer lain yaitu berupa sifat tahan terhadap air, daya lenting tinggi, sifat mekanik yang baik dan mampu mengalami *strain induced crystallization* yaitu suatu kondisi dimana ketika karet mengalami kristalisasi yang diinduksi dengan adanya regangan (Hernandez *et al.*, 2012). Sifat lain karet alam yang dapat menjadi nilai tambah adalah sifat kekerasannya. Karet alam dapat dimodifikasi dengan menambahkan bahan pemvulkanisasi dalam jumlah besar sehingga mempunyai kekuatan mekanik tinggi, kekerasan yang tinggi, kuat (*rigid*), dan ringan yang dikenal dengan karet ebonit.

Karet ebonit dibuat dengan bahan pemvulkanisasi belerang (sulfur) dalam jumlah banyak mencapai 30-40% dengan proses vulkanisasi yang cukup lama (Malomo *et al.*, 2019). Akibat jumlah belerang yang banyak maka terbentuk ikatan silang yang banyak sehingga mengakibatkan rantai polimer sulit untuk bergerak bebas dikarenakan setiap ruang kosong (*free volume*) menjadi lebih kecil. Hal ini mengakibatkan rantai polimer yang sulit bergerak sehingga menjadi keras, kaku atau kurang fleksibel. Semakin keras karet ebonit, akan cenderung lebih mudah getas dan ketangguhan berkurang.

Modifikasi lain untuk meningkatkan kekuatan mekanik karet alam juga dapat

dilakukan dengan menambahkan bahan pengisi atau *filler*. *Filler* dalam suatu matriks polimer berperan penting dalam memberikan pengaruh terhadap peningkatan kekuatan material salah satunya adalah modulus Young yang merupakan ketahanan material untuk mengalami perubahan bentuk pada saat material tersebut diberikan suatu gaya, sehingga peran *filler* menjadi sangat signifikan dengan peningkatan sifat mekanik polimer. Penggabungan antara matrik polimer dengan *filler* terjadi secara alami membentuk suatu jaringan (*filler network*). Dalam *filler network* terjadi interaksi antar permukaan karet dan *filler*, selanjutnya terjadi penguatan yang disebabkan pembentukan struktur kompleks *filler* yang aktif (Ivanoska-Dacicj *et al.*, 2017).

Penambahan *filler* juga dinilai merupakan cara untuk mengurangi sifat getas karet karena *filler* dapat memberikan aksi pelumasan pada rantai sehingga mengurangi kekakuan yang mengakibatkan mudah mengalami getas (Al-Maamori *et al.*, 2018). Semakin banyak *filler* yang ditambahkan juga akan menghasilkan fenomena nilai kekerasan dan kuat tarik cenderung menurun karena terjadi aglomerasi partikel *filler* pada matrik karet (Winya & Pittayaprasertkul, 2015). *Filler* yang umum digunakan untuk barang jadi karet adalah silika, carbon black (Sengloyluan *et al.*, 2014) dan dari bahan *clay* seperti motmorillonit dan halloysite (Pan *et al.*, 2013).

Bentonit merupakan material yang banyak terkandung dalam *clay* yang saat ini banyak diteliti dan dimanfaatkan sebagai *filler* material salah satunya karet. Selain sebagai *filler* bentonit juga mempunyai keunggulan yaitu sifat tahan terhadap panas dan api, Adanya lempung (*clay*) yang ditambahkan pada matrik karet dinilai juga mampu meningkatkan sifat ketahanan api (Gatos & Karger-Kocsis, 2010).

Bentonit tidak dapat langsung digunakan sebagai *filler* pada karet karena bentonit merupakan material yang hidrofilik sedangkan karet bersifat hidrofobik sehingga akan menyebabkan terjadinya aglomerasi bentonit

pada matrik karet. Modifikasi bentonit sangat diperlukan untuk meningkatkan interaksi bentonit dengan karet. Penelitian ini melakukan modifikasi dengan cara pertukaran kation menggunakan surfaktan kationik dan pengecilan ukuran dengan tujuan untuk memperbesar interaksi antara bentonit dengan karet.

Mekanisme pertukaran kation terjadi karena kation anorganik dalam galeri digantikan dengan kation organik. Beberapa metode pertukaran kation telah dilakukan salah satunya adalah menggunakan surfaktan organik. Jenis surfaktan ini yang biasa digunakan untuk memodifikasi bentonit adalah kation primer, sekunder, tersier dan kuarternier alkilammonium atau kation alkilphosponium. Reaksi pertukaran kation menghasilkan susunan ion alkilammonium dalam galeri yang berbeda, bergantung dari kapasitas tukar kation atau konsentrasi surfaktan (Apinon *et al.*, 2008) dan panjang rantai organik yang digunakan (Jankovič *et al.*, 2011).

Penelitian ini menggunakan bentonit yang dimodifikasi untuk selanjutnya digunakan sebagai *filler* ke dalam matrik karet alam untuk kemudian diproses menjadi karet ebonit berbasis karet alam. Tujuan studi ini untuk mempelajari pengaruh penambahan bentonit termodifikasi terhadap perilaku fisik dan mekanik dari ebonit berbasis karet alam.

Bahan dan Metode

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan kimia pada tingkatan mutu teknis. Bahan kimia yang digunakan terdiri dari bahan untuk pembuatan masterbatch karet alam-bentonit dan kompon karet ebonit. Bahan untuk pembuatan masterbatch karet alam-bentonit adalah lateks pekat karet alam dengan kadar karet kering (KKK) 60-65% yang diperoleh dari PT Bumi Rambang Kramajaya di Palembang, bentonit yang diperoleh dari Sud-Chemie (Germany), *dihydrogenated tallowethyl hydroxyethylmonium*

methosulfate (Tetranyl® AT-7590) sebagai surfaktan kationik dan *poly(oxyethylene lauryl ether)* (Emulgen 147) sebagai surfaktan nonionik yang diperoleh dari PT KAO Indonesia. Metanol sebagai bahan penggumpal karet yang diperoleh dari CV New Green Indotama di Indonesia

Bahan untuk pembuatan kompon karet ebonit adalah karet alam jenis RSS 1 (*ribbed smoke sheet*) yang diperoleh dari PT Tjibodas di Bogor, zinc oxide (ZnO) dan asam stearate (Aflux 52) dari Lanxess Company sebagai activator, *N-cyclohexyl-2-benzothiazyl-3-sulfenamide* (CBS) yang diperoleh dari Shandong Co (China) sebagai bahan pencepat dan bahan pemvulkanisasi berupa belerang (sulfur SP-325) produksi oleh Miwon Commercial Co Ltd yang disuplai oleh PT Multi Citra di Indonesia.

Metode Pembuatan Masterbatch Karet Alam – Bentonit

Tahap pertama adalah preparasi pembuatan masterbatch karet alam-bentonit. Pembuatan masterbatch dilakukan mengacu pada proses pembuatan dengan bahan dalam fasa cair yaitu lateks pekat yang dicampur dengan bentonit (Fathurrohman *et al.*, 2020). Komposisi masterbatch yang dibuat terdiri dari lateks pekat 100 phr (*part per hundred rubber*) KKK 40%, bentonit 15 phr konsentrasi 3%, surfaktan kationik 1 phr konsentrasi 5% dan surfaktan nonionik 3 phr konsentrasi 10%.

Proses pertama adalah bahan baku lateks pekat dari KKK 60-65% diencerkan menjadi KKK sekitar 40% dan selanjutnya ditambahkan surfaktan nonionik (Emulgen 147). Jenis anionik surfaktan berfungsi untuk menstabilkan lateks. Surfaktan nonionik merupakan surfaktan yang memiliki group hidrofilik yang tidak bermuatan sehingga dapat berinteraksi dengan berbagai jenis surfaktan lainnya. Mekanisme proses menstabilkan lateks dengan surfaktan nonionik adalah melalui proses stabilisasi steric dimana terjadi proses kelebihan tekanan osmotik pada daerah interaksi antara dua



a) Dispersi bentonit 3%



b) Lembaran karet masterbatch karet alam-bentonit

Gambar 3. Pembuatan *masterbatch* karet alam – bentonit

(Gambar 3a). Proses dispersi dilanjutkan dengan alat homogenizer dengan pengadukan cepat menggunakan putaran 2500 rpm selama 15 menit untuk memperoleh dispersi bentonit dengan ukuran lebih kecil. Setelah diperoleh dispersi bentonit (3%) proses selanjutnya adalah pencampuran dispersi bentonit dengan lateks yang mengandung surfaktan kationik dengan pengadukan selama 30 menit pada kecepatan pengadukan 600 rpm. Campuran selanjutnya digumpalkan dengan menggunakan metanol dan hasil gumpalan kemudian digiling dengan mesin *creeper* sehingga dihasilkan bentuk lembaran (Gambar 3b). Hasil gilingan kemudian

dikeringkan pada suhu 60°C selama 72 jam di dalam oven hingga diperoleh karet kering atau masterbatch karet alam – bentonit.

Pembuatan Karet Ebonit

Pembuatan karet ebonit dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap pembuatan kompon dan vulkanisasi. Proses pembuatan kompon dilakukan menggunakan mesin giling terbuka (*open mill*). Pembuatan kompon dimulai dengan pencampuran karet dengan bahan kimia dalam mesin giling terbuka skala laboratorium berkapasitas 1000 g/batch (merek Berstorf). Susunan bahan kompon divariasikan berdasarkan jumlah *filler* bentonit

Tabel 1. Formula kompon karet ebonit berbasis karet alam

No	Bahan	* Komposisi (phr)					
		b0	b2	b4	b6	b8	b10
1	Karet alam RSS 1	100	88,67	77,33	66,00	54,67	43,33
2	Masterbatch karet alam - bentonit	-	13,87	27,73	41,60	55,47	69,33
3	ZnO	5	5	5	5	5	5
4	Asam stearat	2	2	2	2	2	2
5	CBS	2	2	2	2	2	2
6	Belerang	30	30	30	30	30	30

* Seluruh komposisi dalam tabel adalah dalam satuan phr (*Part per Hundred Rubber*) atau bagian per seratus karet.

Tabel 2. Tahap proses pencampuran menggunakan mesin giling terbuka.

No	Proses	Waktu (menit)
1	Mastikasi karet alam RSS 1	3
2	Masterbatch karet alam-bentonit	1
3	ZnO	2
4	asam stearat	2
5	CBS	2
6	belerang	1
7	<i>Remiling</i>	1
8	<i>Reblending</i>	1

yang ditambahkan yaitu 0, 2, 4, 6, 8 dan 10 phr. Susunan kompon disajikan pada Tabel 1 dalam satuan *parts per hundred rubber* (phr) atau bagian per seratus karet. Satuan phr umum digunakan pada pembuatan kompon karet dimana pada setiap penimbangan dikonversi ke dalam berat bagian komponen penyusunnya (Hendrawan & Purboputro, 2015).

Pemakaian bahan dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 1. Bahan pada Tabel 1 kemudian diproses di dalam mesin giling terbuka dua roll dengan urutan masuk bahan seperti yang disajikan pada Tabel 2. Karet alam RSS 1 dimastikasi terlebih dahulu dengan tujuan untuk menurunkan viskositasnya sehingga lebih mudah bercampur dengan bahan kimia. Karet alam RSS 1 yang telah dimastikasi menjadi lebih lunak ditandai



Gambar 4. Proses pembuatan kompon ebonit

dengan wujudnya yang menjadi plastis. Selanjutnya masterbatch karet alam – bentonit ditambahkan setelah proses mastikasi RSS1. Bahan kimia kompon karet selanjutnya ditambahkan dengan urutan ZnO, asam stearat, CBS dan terakhir belerang. Setelah seluruh bahan kimia kompon karet selesai

ditambahkan, maka karet terus digiling dan dihomogenkan (*remilling and blending*) hingga diperoleh lembaran kompon (Gambar 4).

Lembaran kompon karet kemudian didiamkan selama 24 jam dengan tujuan agar dispersi bahan lebih merata. Setelah didiamkan selama 24 jam sampel kemudian

divulkanisasi untuk menjadi komposit pada suhu 160°C dengan menggunakan mesin tekan tipe *compression moulding* merek KMC. Proses vulkanisasi dilakukan selama 90 menit. Sampel selanjutnya diuji di Laboratorium Fisika Unit Riset Bogor-Getas Pusat Penelitian Karet untuk pengujian kuat tarik (*tensile strength*), dan kekerasan shore D

Pengujian Karakteristik Rheologi

Pengujian karakteristik vulkanisasi atau sifat rheologi yang dilakukan sesuai prosedur uji pada ASTM D 2084-17 pada suhu 160°C menggunakan Rheometer tipe MDR (*Moving Die Rheometer*) merek Alpha 2000. Pada pengujian ini diperoleh waktu vulkanisasi optimal (t_{90}), torsi maksimum (M_H), torsi minimum (M_L), torsi optimum (M_H, M_L), waktu mulai vulkanisasi t_{S2} (*scorch time*).

Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian sifat fisik dan mekanik meliputi parameter kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan Shore D dengan range pengukuran 0 – 100 HD, resolusi 0,5 HD, akurasi 1% dan ukuran diameter indenter 0,1 mm. Pengukuran kekerasan dilakukan pada suhu ruang 29°C.

Pengujian Berat Jenis (*Density*)

Pengujian berat jenis dilakukan dengan menimbang contoh di udara dan menimbang kembali contoh dalam air. Prinsipnya adalah berat contoh uji di dalam air akan lebih kecil dari berat contoh di udara karena ada tekanan ke atas yang besarnya sama dengan berat air yang dipindahkan, apabila berat jenis air 1 g/ml, maka berat air yang dipindahkan sama dengan volume contoh uji. Pengujian ini mengacu pada standar ASTM D.297:2015.

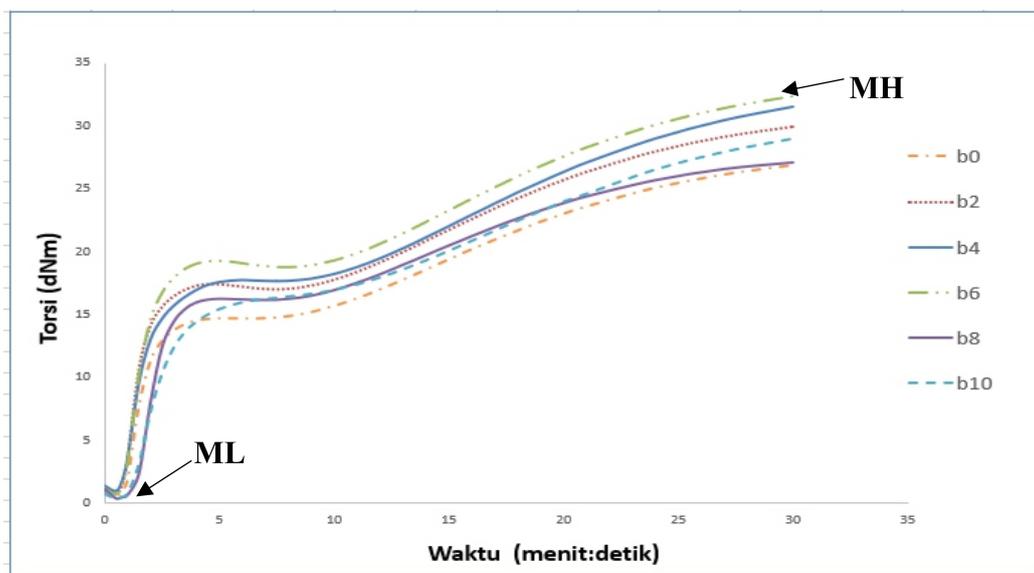
Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*).

Pengujian kuat tarik dilakukan menggunakan mesin uji UTM (*Universal Testing Machine*) merek MTS . Pengujian dilakukan dengan kecepatan tarik 10 mm/s. Model dari penjepit sampel uji tarik adalah dengan menggunakan model silinder.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Rheologi

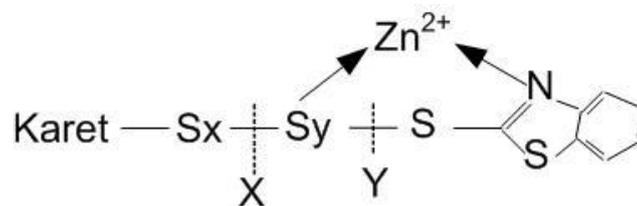
Hasil uji dengan menggunakan rheometer diperoleh kurva hubungan antara waktu vulkanisasi (min: sec) dan besarnya torsi dalam (dNm) (Gambar 5) dan hasil parameter rheologi disajikan dalam Tabel 3. Nilai M_H menunjukkan bahwa komposit menjadi lebih



Gambar 5. Kurva rheologi hubungan torsi vs waktu vulkanisasi

Tabel 3. Hasil uji rheologi

Komposit	Parameter Rheologi				
	M_H (dNM)	M_L (dNM)	$M_H - M_L$ (dNM)	TC 90 (Menit: detik)	Waktu <i>scorch</i> (Menit: detik)
b0	26,91	0,64	26,27	22 :12	1,06
b2	29,99	0,74	29,25	22:08	0,56
b4	31,46	0,84	30,62	23:04	0,57
b6	32,38	0,64	31,74	22:23	0,57
b8	27,14	0,42	26,72	21:02	1:31
b10	28,99	0,31	28,68	23:16	1:24



Sumber : Ismail *et al.*, (2001)

Gambar 6. Komplek koordinasi Zn^{2+} dengan belerang (S) dan gugus ammonium (NR_4^+)

kuat dan elastis, semakin besar nilai M_H maka semakin elastis komposit tersebut. Sementara nilai M_L berkaitan dengan sifat mudah terjadi pelunakan ketika komposit diberikan gaya tekan dan geser, semakin rendah nilai M_L maka semakin mudah komposit tersebut dibentuk.

Nilai M_H - M_L menunjukkan besarnya ikatan silang antara molekul karet dengan belerang yang terbentuk saat terjadinya reaksi vulkanisasi. Waktu vulkanisasi optimal menggambarkan waktu yang diperlukan oleh agar kompon karet untuk mencapai 90% tervulkanisasi (Ngamsurat *et al.*, 2011).

Pada gambar terlihat bahwa torsi yang besar dicapai oleh komposit b6. Berdasarkan kurva terlihat bahwa pencapaian torsi tertinggi (M_H) dicapai oleh komposit dengan *filler* bentonit 6 phr. Pada komposit b0, b2, b4 nilai torsi minimum (M_L) cenderung meningkat, akan tetapi semakin banyak jumlah *filler* yang mengandung surfaktan kationik (Tetranyl) yang ditambahkan maka akan menurunkan nilai M_L semakin menurun seperti pada komposit b6, b8 dan b10. Penurunan ini dikarenakan surfaktan kationik memberikan efek pelunakan (*plasticizing*) (Galimberti *et al.*, 2017; Sookyung *et al.*, 2014).

Nilai TS2 terlihat kecenderungan menurun dimana komposit semakin cepat ter Vulkanisasi dari b0, b2, b4, b6, hal ini dikarenakan terjadi efek percepatan pada awal vulkanisasi dimana surfaktan kationik yang berada dalam *filler* akan menjadi ligan untuk membentuk kompleks koordinasi dengan Zn^{2+} (Gambar 6) yang mempercepat ikatan silang dan meningkatkan derajat ikatan silang (Das *et al.*, 2011; Carretero-González *et al.*, 2008; Ismail *et al.*, 2001).

Sifat Fisik Kekerasan dan Berat Jenis

Pengukuran kekerasan merupakan indikasi bahwa reaksi vulkanisasi terbentuk. Pengukuran kekerasan juga digambarkan sebagai ketahanan material terhadap gaya atau beban yang diberikan terhadapnya. Pada material karet nilai kekerasan dipengaruhi oleh adanya ikatan silang dan *filler* (Hidayat *et al.*, 2019). Pada material karet alam sebelum terjadi vulkanisasi pada matrik mempunyai ruang kosong (*free volume*) yang besar, namun pada saat terjadi reaksi vulkanisasi terbentuk ikatan silang (*crosslink*) antara matrik karet dengan belerang yang mengakibatkan *free volume* menjadi lebih kecil.

Pada percobaan ini jumlah belerang sebagai bahan pemvulkanisasi yang digunakan sebesar 30 phr, sehingga dengan jumlah belerang yang banyak tersebut maka akan semakin banyak jumlah ikatan silang yang terbentuk. Apabila jumlah ikatan silang yang terbentuk cukup banyak maka akan

mengakibatkan pergerakan rantai molekul karet menjadi tidak bebas karena karena *free volume* menjadi lebih kecil yang mengakibatkan karet menjadi kaku (Thiranan, 2007). Hasil pengujian kekerasan seperti yang disajikan pada Tabel 4 memberikan penjelasan bahwa selain ikatan silang terdapat peran *filler*. *Filler* yang digunakan berupa bentonit yang bersifat menguatkan (*reinforcement*). Bentonit merupakan bahan yang bersifat hidrofilik sehingga tidak mudah bergabung dengan matrik karet yang bersifat hidrofobik, sehingga apabila bercampur akan terjadi aglomerasi bentonit pada matrik karet. Penggunaan bentonit sebagai pengisi pada matrik karet perlu dilakukan perlakuan awal sehingga bentonit mempunyai luas area besar yang mudah berinteraksi dengan matrik karet sehingga sifat fisik karet meningkat (Pajarito *et al.*, 2017). Perlakuan awal dalam preparasi bentonit adalah dengan proses tukar kation dengan cara menukar kation anorganik pada bentonit kemudian ditukar dengan kation organik yang terdapat pada surfaktan organik yaitu Tetranyl® AT-7590. Kation organik dapat masuk ke dalam galeri bentonit dalam bentuk susunan *monolayer*, *bilayer*, *pseudo-trilayer* (*monolayer paraffin*) dan struktur parafin yang mana pada galeri ditandai dengan peningkatan basal spasi. Peningkatan basal spasi pada bentonit akan mempermudah molekul karet masuk ke dalam galeri sehingga membentuk nanostruktur komposit (Das *et al.*, 2011). Proses memperbesar luas area bentonit

Tabel 4. Hasil uji kekerasan dan berat jenis

Komposit	Pengujian	
	Kekerasan (Shore D)	Berat Jenis (g/cm ³)
b0	72,5	1,133
b2	75	1,152
b4	78,5	1,168
b6	79,5	1,177
b8	80	1,147
b10	80,5	1,166

dilakukan dengan pengecilan ukuran dengan menggunakan alat homogenizer sehingga meningkatkan luas area kontak bentonit dengan karet.

Pada komposit nilai kekerasan semakin naik dengan semakin bertambahnya *filler* bentonit yang ditambahkan. Nilai kekerasan pada komposit sangat dominan dipengaruhi oleh jumlah *filler* yang ditambahkan dibanding dengan jumlah belerang sebagai bahan pemvulkanisasi yang menyebabkan terbentuknya ikatan silang karena jumlah yang ditambahkan adalah sama 30 phr.

Kenaikan nilai kekerasan dari komposit b0 – b4 terjadi kenaikan tiga shore D dimana peran *filler* dalam matrik karet sangat besar, namun pada komposit b6 - b10 terlihat kenaikan kekerasan hanya berkisar satu shore D.

Penggunaan bentonit yang sudah melalui proses modifikasi dapat meningkatkan sifat kekuatan dan kekakuan material, namun apabila penambahan bentonit berlebih (>5 Phr) akan mengakibatkan sifat mekanik menjadi turun karena terjadi aglomerasi partikel *filler* pada matrik pada konsentrasi *filler* tinggi (George *et al.*, 2016).

Hasil uji berat jenis komposit tidak menunjukkan tidak ada perbedaan yang cukup jauh antar komposit meskipun jumlah *filler* yang ditambahkan semakin banyak namun jumlahnya masih lebih sedikit dibanding dengan karet. Dengan demikian berat jenis tidak terlalu dipengaruhi oleh penambahan *filler* namun lebih dominan pada karet.

Sifat Mekanik

Pengujian kekuatan tarik mewakili ketahanan material terhadap gaya yang bekerja secara dinamis dimana material akan terjadi deformasi dari elastis menuju deformasi plastis hingga material mengalami patah atau putus. Pada hasil uji kekuatan tarik dapat diperoleh beberapa informasi mengenai besarnya tenaga tarik hingga material patah atau putus (*tensile strength*/TS), perpanjangan putus (*elongation at break*/EB), maupun nilai modulus young. Hasil pengujian kekuatan tarik dan perpanjangan putus disajikan pada Tabel 5.

Nilai kuat tarik pada Tabel 5 berbanding terbalik dengan nilai perpanjangan putus. Karet ebonit merupakan karet keras dan kaku sehingga lebih cenderung getas atau mudah patah. Sifat getas disebabkan karena *free volume* sangat kecil mengakibatkan rantai molekul karet tidak leluasa bergerak oleh banyaknya ikatan silang yang terbentuk. Akibatnya ikatan silang akan saling berkaitan mengakibatkan karet berada pada fase glass (*glassy*). Pada fase *glassy* ini karet cenderung lebih kaku sehingga kekuatan material meningkat akan tetapi nilai regangan menurun karena karet cenderung lebih getas. Jumlah ikatan silang yang banyak juga mengakibatkan tingkat kerapatan rantai tinggi akibatnya pada saat pembebanan tarik energi yang diterima dari luar cukup besar sehingga mengakibatkan deformasi plastis yang mengakibatkan patah (Hyon *et al.*, 2018).

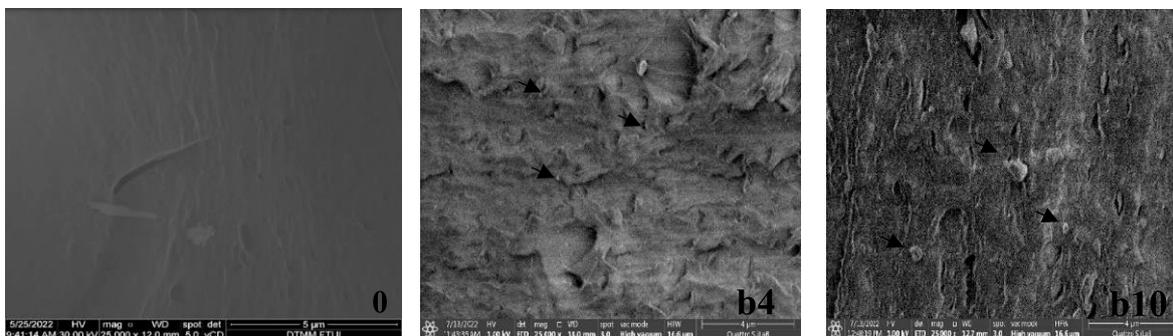
Tabel 5. Hasil uji kuat tarik

Komposit	Pengujian		
	Kuat tarik (N/mm ²)	Perpanjangan putus (%)	E (N/mm ²)
b0	9,4	0,030	150,3
b2	20,2	0,267	210,47
b4	41,3	0,151	362,77
b6	30,5	0,176	214,87
b8	29,9	1,163	181,07
b10	27,9	2,740	63,533

Komposit b0 nilai kuat tariknya paling rendah $9,4 \text{ N/mm}^2$ dikarenakan komposit tidak mengandung *filler* sehingga kekuatan mekanik rendah, sedangkan yang mengandung *filler* nilai kuat tarik semakin naik hingga komposit b4. *Filler* memberikan kekuatan pada matrik karet karena adanya interaksi antara *filler* dengan matrik karet yang dapat menghasilkan nilai kuat tarik meningkat (Fathurrohman *et al.*, 2020), namun apabila *filler* jumlahnya berlebih akan mengakibatkan terjadi aglomerasi atau terkumpul pada satu titik dan cenderung tidak merata, sehingga pengaruh penguatan dari *filler* kepada matrik cenderung berkurang. Terlihat pada b6 – b10 nilai nilai kuat tarik semakin menurun seiring dengan bertambahnya jumlah *filler* yang ditambahkan. Hasil penelitian ini sejalan dengan George *et al.* (2016) bahwa penambahan *filler* lebih dari 5 phr mengakibatkan sifat mekanik komposit mengalami penurunan nilai kuat tarik, sehingga jumlah *filler* bentonit yang mampu menghasilkan nilai kuat tarik tinggi adalah 2 – 4 phr. Hasil penelitian yang dilakukan Pajtášová *et al.* (2017) menunjukkan hasil yang sama dimana pada *filler* nanobentonit yang ditambahkan lebih dari 5 phr akan mengakibatkan nilai kuat tarik menurun dan nilai perpanjangan putus yang naik sehingga sejalan dengan hasil penelitian ini yang disajikan pada Tabel 5 dimana nilai perpanjangan putus naik pada *filler* lebih dari 4 phr pada komposit b6, b8 dan b10.

Pengujian kuat tarik diperoleh nilai modulus kekakuan atau modulus young. Nilai modulus Young yang menunjukkan kekakuan dari material dan merupakan perbandingan dari tegangan dan regangan. Nilai kekakuan b0 – b4 cenderung mengalami kenaikan dan mulai menurun pada b6 – b10. Nilai kekakuan komposit sebanding dengan besarnya nilai kuat tarik, sehingga semakin kaku komposit maka tenaga tarik yang dibutuhkan hingga putus menjadi sangat besar. Nilai perpanjangan putus dalam persen (%) berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik karena semakin kaku material cenderung lebih getas sehingga nilai perpangangan putus sangat kecil.

Hasil penampakan morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) terlihat pada komposit b0, b4 dan b10 terlihat perbedaan cukup jelas. Analisa SEM dilakukan dengan menggunakan sampel patahan setelah melalui uji tarik. Sampel dianalisa pada permukaan patahan dengan perbesaran 25000x. Pada Gambar 7 disajikan permukaan ketiga sampel b0, b4 dan b10. Pada Gambar 7 terlihat perbedaan permukaan dimana pada sampel b0 yang terlihat lebih halus tidak terjadi void dikarenakan tidak ada *filler* yang ditambahkan. Komposit b4 terlihat tampilan tidak rata pada permukaan yang cenderung lebih kasar dibanding b0. Permukaan kasar mengindikasikan bahwa sampel memberikan tahanan ketika ditarik sehingga terjadi void pada permukaan



Gambar 7. Uji SEM pada komposit karet alam ebonit perbesaran 25000x

patahan, hal ini dikarenakan peran *filler* yang telah interaksi dengan karet sehingga meningkatkan kekerasan dan kekakuan material.

Komposit b10 terlihat lebih halus dibanding permukaan b4 setelah diberikan gaya tarik. Permukaan yang lebih halus mengindikasikan bahwa sampel tidak memberikan tahanan yang cukup ketika dikenai gaya tarik. Hasil SEM komposit b10 terlihat pola yang lebih besar dibanding b4 hal ini dapat diprediksi terjadi aglomerasi *filler*. Aglomerasi yang terjadi mengakibatkan penurunan interaksi antara *filler* dan karet sehingga material cenderung lebih mudah mengalami kerusakan ketika dikenai gaya tarik dan cenderung menurunkan sifat mekanik material tersebut (Fathurrohman, 2013).

Kesimpulan

Bentonit dapat digunakan sebagai *filler* pada karet ebonit berbasis karet alam dengan perlakuan awal melalui pertukaran ion dengan surfaktan kationik dan pengecilan ukuran dengan alat homogenizer untuk mempermudah bentonit bergabung dengan matrik karet. Penambahan *filler* sangat efektif dalam meningkatkan sifat fisik dan mekanik karet ebonit, meskipun terdapat batasan yang ditambahkan dimana sifat fisik dan mekanik mengalami penurunan karena aglomerasi *filler*. Komposit b4 memberikan hasil paling tinggi pada uji sifat mekanik kuat tarik, modulus young, sedangkan nilai kekerasan tidak berbeda jauh dengan komposit b6 - b10. Peningkatan sifat mekanik berupa kuat tarik diperoleh peningkatan pada komposit b2 dan b4. Nilai kuat tarik menurun dari b6, b8 dan b10. Penurunan ini karena terjadi proses aglomerasi lebih dominan yang mengakibatkan *filler* tidak berinteraksi baik dengan matrik karet.

Daftar Pustaka

- Al-Maamori, M. H., & Hamza, A. H. (2018). Effect of sulfur and Nano- carbon black on the mechanical properties of hard rubber. *Journal of University of Babylon, Engineering Sciences*, 26(2), 127-134.
- Apinon, N., Supachai, S., Aukkaravittayapun, S., & Jantrawan, P. (2008). The effect of surfactant concentration on the interlayer structure of organoclay. *Chiang Mai Journal Science*, 35(1), 199-205.
- Agnihotri, P., & Lad, V. N. (2020). Magnetic nanofluid : synthesis and characterization. *Chemical Papers*, 74, 3089-3100.
- Carretero-González, J. Valentín, J. L., Arroyo, M., Saalwächter, K., & Lopez-Manchado, M. A. (2008). Natural rubber/clay nanocomposites: Influence of poly(ethylene glycol) on the silicate dispersion and local chain order of rubber network. *European Polymer Journal*, 44(11), 3493-3500.
- Das, A., Stöckelhuber, K. W., Jurk, R., Jehnichen, D., & Heinrich, G. (2011). A general approach to rubber-montmorillonite nanocomposites: Intercalation of stearic acid. *Applied Clay Science*, 51(1-2), 117-125.
- Fathurrohman, M. I. (2013). Pengaruh asam stearat dan organoclay tereksansi terhadap sifat dan morfologi nanokomposit karet alam/organoclay terkespandi. (Magister Tesis). Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Fathurrohman, M. I., Rugmai, S., Hayemasae, N., & Sahakaro, K. (2019). Dispersion and properties of natural rubber - montmorillonite nanocomposites fabricated by novel in situ organomodified and latex compounding method. *Polymer Engineering and Science*, 59(9), 1-10.
- Fathurrohman, M. I., Rugmai, S., Hayemasae, N., & Sahakaro, K. (2020). Better balance of silica-reinforced natural rubber tire tread compound properties by use of montmorillonite with optimum surface modifier content. *Rubber Chemistry and Technology*, 93(3), 548-566.

- Galimberti, M., Cipolletti, V., Cioppa S., Lostritto A., & Conzatti, L. (2017). Reduction of filler networking in silica based elastomeric nanocomposites with exfoliated organo-montmorillonite. *Applied Clay Science*, 135, 168–175.
- Gatos, K. G, & Karger-Kocsis, J. (2010). Rubber / Clay Nanocomposites: Preparation, Properties and Applications. In Thomas, S & Stephen, R. (Ed.) *Rubber Nanocomposites: Preparation, Properties and Applications* (pp. 170-195), Singapore: John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.
- George, S. C , Rajan, R., Aprem, A. S., Thomas, S. & Kim, S. (2016). The Fabrication and Properties of Natural Rubber-Clay Nanocomposites. *Polymer Testing*, 51, 165-73.
- Hendrawan, M. A., & Purboputro, P. I. (2015, November 14 -). *Studi karakteristik sifat mekanik kompon karet dengan variasi komposisi sulfur dan carbon black sebagai bahan dasar ban luar*. Paper presented at the Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT), Yogyakarta.
- Hernandez, M., Ezguerra, T.A., & López-Manchado, M. A. (2012). Effects of orientation on the segmental dynamics of natural rubber. *Materials Science Forum*, 714, 57-61
- Hidayat, A. S., Arti, D. K., Wisojodharmo, L. A., Harahap, M. E., & Susanto, H. (2019). Effect of peptizer in mastication process of natural rubber / butadiene rubber blending: Rheological and mechanical properties. *International Journal of Engineering & Scientific Research*, 7(7), 16-22.
- Hyon, J., Lawal, O., Fried, O., Thevamaran, R., Yazdi, S., Zhou, M., Veysset, D., Kooi., S. E., Jiao, Y., Hsiao, M. S., Streit, J., Vaia, R. A., Thomas, E. L. (2018). Extreme energy absorption in glassy polymer thin films by supersonic micro-projectile impact. *Materialstoday*, 21(8), 817–824.
- Ismail, H., Ahmad, Z., & Mohd Ishak, Z. A. (2001). Effects of a quaternary ammonium salt on the properties of carbon-black-filled natural rubber compounds. *Polymers International*, 50(5), 612–618.
- Ivanoska-Dacikj, A., Bogoeva-Gacava, G., Valić, S., Wießner, S., & Heinrich, G. (2017). Benefits of hybrid nano-filler networking between organically modified Montmorillonite and carbon nanotubes in natural rubber: Experiments and theoretical interpretations. *Applied Clay Science*, 136, 192-198.
- Malomo, D., Edeh, O. E., Okolo, P., Ibeh, F. C., & Adewuyi, S. O. (2019). Preparation and properties of nr based ebonite rubber suitable for use as engineering material. *Evolution in Polymer Technology Journal*, 2(1), 1-5.
- Ngamsurat, S., Boonkerd, K., Leela-adisorn, U., & Potiyaraj, P. (2011). Curing characteristic of natural rubber filled with gypsum. *Energy Procedia*, 9, 452-458.
- Pajarito, B. B. , Mangacat, W. F. F., Tigue, M. R. M., & Tipton, M. T. (2017). Moisture diffusion in natural rubber/bentonite nanocomposites: effect of clay filler treatments. *Defect and Diffusion Forum*, 379, 124-32.
- Pan, Q., Wang, B., Chen, Z., and Zhao, J. (2013). Reinforcement and antioxidant effects of antioxidant functionalized silica in styrene-butadiene rubber. *Materials & Design*, 50, 558-565.
- Pajtášová, M., Mičicová, Z., Ondrušová, D., Pecušová, B., Feriancová, A., Ranik, L., & Domčeková, S. (2017). Study of properties of fillers based on natural bentonite and their effect on the rubber compounds. *Procedia Engineering*. 177, 470–474.
- Sengloyluan, K., Sahakaro, K., Wilma Dierkes, K., & Jacques Noordermeer, W. M. (2014). Silica-reinforced tire tread compounds compatibilized by using epoxidized natural rubber. *European Polymer Journal*, 51, 69-79.

- Singh, M., & Mei, E.L.H. (2013). Surfactant and their use in latex technology. *MRB Rubber Technology Developments*, 13(2), 33 – 36.
- Sookyung, U., Thajjaroen, W. & Nakason, C. (2014). Influence of modifying organoclay on the properties of natural rubber/organoclay nanocomposites. *Journal of Composite Materials*, 48(16), 1959–1970.
- Thiranan, T. (2007). Utilization of various filler for rubber mat development. *Master Thesis*. Kasetsart University, Thailand.
- Winya, N, & Pittayaprasertkul, N. (2015). SiO₂ Reinforcement of Mechanical Properties for Ebonite from Natural Rubber. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(3), 169-172.