

MODIFIKASI KARET ALAM SEBAGAI PEREDAM BENTURAN PAVING BLOCK ASPAL KARET

NATURAL RUBBER MODIFICATION FOR UPPER LAYER OF RUBBERIZED ASPHALT PAVING BLOCK AS SHOCK ABSORBER

Nasruddin

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang
Jl. Perindustrian II No. 12 Sukarami Km. 9 Palembang 30152
e-mail : nas.bppi@gmail.com

Diterima: 5 Juli 2017; Direvisi: 5 Juli 2017 - 21 Nopember 2017; Disetujui: 22 Desember 2017

Abstrak

Telah dilakukan modifikasi karet alam, karet sintesis *styrene butadiene rubber (SBR)* dengan bahan pengisi, dan bahan pelunak dari minyak sayur menjadi karet peredam benturan untuk lapisan atas *paving block* aspal berkaret. Riset didesain dengan memvariasikan bahan pengisi silika *Si-69*, abu terbang dan minyak sawit. Penelitian ini terdiri dari lima formula (A, B, C, D, dan E) dengan memvariasikan silika (48,5; 50,75; 53,00; 55,25; dan 57,50), abu terbang batubara (4,75; 7,00; 9,25; 11,50; dan 13,75) phr, dan minyak sayur dari minyak sawit (6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; dan 9) phr. Karet alam yang digunakan berasal dari karet rakyat yang ditambahkan SBR dengan rasio campuran untuk masing-masing formula dikondisikan 82,50 : 17,50. Bahan kimia sebagai bahan proses yang digunakan untuk kelima formula dikondisikan. Sifat mekanik karet peredam benturan untuk lapisan atas *paving block* aspal berkaret diuji dengan hasil terbaik pada formula D dengan nilai *specific gravity* 1,78 g/cm³, kekerasan 81 *shore A*, ketahanan kikis 52,85 mm³, pampatan tetap 25% defl, 70°C, 22h dengan hasil 21,40%, tegangan putus 195,69 N/m³, dan ketahanan ozon untuk semua formula tidak terjadi keretakan.

Kata kunci: abu terbang, karet alam, karet peredam benturan, minyak sayur, silika

Abstract

The research of rubber compounding modification for upper layer of rubberized asphalt paving block as shock absorber using natural rubber, styrene butadiene rubber (SBR) as synthetic rubber, fly ash as filler and also vegetable oil as plasticizer has been conducted. The research design was varying the filler Si-69, fly ash and palm oil. The five formulas A, B, C, D, and E designed by varying the amount of Si-69 (48.5; 50.75; 53.00; 55.25; and 57.50) phr; coal fly ash (4.75, 7.00, 9.25, 11.50 and 13.75) phr; and vegetable oil from palm oil (6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, and 9) phr, while the NR:SBR was 82.50: 17.50 phr for each formula. Based on the testing results, the formula D has the best physic-mechanical properties among others. It has specific gravity 1.78 g/cm³; hardness 81 ShoreA; abrasion resistance 52,85 mm³; compression set, 25% defl, 70°C, 22h: 21,40%; tensile strength 195,69 N/ m³; ozone resistance showed no crack.

Keywords: fly ash, natural rubber, rubber impact damper, vegetable oil, silica

PENDAHULUAN

Karet peredam benturan (KPB) atau lebih dikenal dengan nama *rubber fender* dibuat dari karet alam, karet sintesis dengan berbagai bahan kimia. KPB berfungsi sebagai alat pelindung jika terjadinya benturan dengan benda lain. KPB telah digunakan antara lain sebagai *bumper* gudang, bumper dermaga, pada pintu mobil, pada sisi kapal laut, dan pada berbagai benda keras yang sering mengalami benturan fisik. KPB harus mempunyai elastisitas yang tinggi, mampu meningkatkan *absorpsi shock*, mampu menyerap energi

kinetik yang tinggi, dan tahan terhadap cuaca ekstrim. Zikra *et al.* (2016) telah mendesain *fender* untuk pelabuhan dengan hasil maksimum tidak melebihi pampatan tetap 30% dengan struktur tidak mengalami deformasi. Zala dan Motwani (2015) telah menelaah desain *fender* untuk ketahanan terhadap benturan. Jean dan Kian-Hua, (2015) telah melakukan simulasi *fender* dengan hasil menunjukkan energi yang diserap oleh *fender* jauh lebih tinggi dari apa yang dihitung dengan metode desain. Bradshaw *et al.* (2006) telah menemukan model dinamik *fender* untuk mengurangi

perkiraan kekuatan pada tumpukan sekitar 25% dibandingkan dengan metode energi kinetik.

KPB pada penelitian ini digunakan sebagai alat pengaman untuk menahan benturan permukaan *paving block* aspal karet dengan benda lain. Modifikasi karet alam untuk berbagai jenis penahan benturan telah banyak dikembangkan terutama menggunakan karbon aktif, dan bahan pelunak dari turunan minyak bumi. KPB pada penelitian ini dimodifikasi dari karet alam, karet sintesis SBR dengan bahan pengisi dari biomassa, dan bahan pelunak dari minyak nabati. Modifikasi karet alam dilakukan dengan merubah sifat karet dengan berbagai bahan kimia, bahan pengisi seperti silika yang menghasilkan karet yang kompetibel (Sarkawi *et al.*, 2016). Bahan pengisi penguat yang ditambahkan pada KPB berupa silika, bahan pengisi penambah volume abu terbang batubara (*fly ash*), dan bahan proses lainnya. Bahan pelunak yang digunakan berasal dari minyak nabati (*vegetable oil*) turunan dari minyak sawit.

Pengembangan minyak nabati sebagai bahan pelunak untuk pembuatan pada berbagai jenis kompon karet telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Menurut Samarth dan Mahanwar (2015), pengembangan minyak nabati berbasis trigliserida untuk polimer komposit seperti cat, pelapis, perekat, dan nanokomposit lainnya dikembangkan karena dapat diperbaharui, *biodegradable*, ekonomis dengan aspek lingkungan yang sangat baik. Botros *et al.* (1987) menjelaskan penambahan minyak nabati dari jenis minyak biji jerami, minyak kedelai, minyak biji remis, minyak jarak pada komposit NR dan SBR dapat meningkatkan kuat tarik, dan *modulus* 100%, ketahanan panas, kekuatan tarik setelah pengusangan, dapat meningkatkan ketahanan ozon pada *vulcanizate* karet.

Menurut Chandrasekara *et al.* (2011) *epoxidized palm oil* (EPO), dan *epoxidized sunflower oil* (ESFO) sebagai bahan pelunak lebih baik dari minyak aromatik berbasis minyak bumi. Penggunaan minyak nabati

sebagai *peptizer* untuk menurunkan viskositas karet agar mudah menerima *ingredient* sehingga bahan yang ditambahkan dapat terdispersi dengan merata pada seluruh matriks polimer. Nandan (2000) menjelaskan, bahan pelunak dari minyak nabati dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik vulkanisat karet.

Bahan pengisi penguat untuk kompon karet bertujuan memperbaiki sifat mekanik vulkanisat karet terutama tingkat kekerasan, elastisitas, pemampatan tetap, dan abrasi. Bahan pengisi penguat yang digunakan umumnya berupa karbon aktif dan silika. Karbon aktif sebagai bahan pengisi penguat untuk KPB pada penelitian ini dikembangkan dari tempurung kelapa. Egwaikhide *et al.*, (2013) telah mengembangkan karbon aktif dari sekam kelapa sawit yang dapat meningkatkan sifat mekanik vulkanisat. Karbon aktif disamping sebagai bahan penguat, pada penelitian ini bersama titanium oksida berfungsi sebagai pembentuk warna abu-abu KPB. Rasio karbon aktif dan titanium oksida pada pembuatan KPB dikondisikan, sementara untuk silika, abu terbang, dan minyak nabati pada penelitian ini rasionya divariasikan.

Bahan pengisi penguat berupa silika untuk meningkatkan sifat mekanik KPB dikembangkan dari pasir kuarsa. Ahmed *et al.* (2015) telah mempelajari pengaruh penambahan nano silika pada campuran NR dan SBR pada berbagai rasio dengan hasil kekuatan tarik, modulus elastis, kekerasan, abrasi, dan ketahanan sobek sangat baik, sementara pada kenaikan rasio nanosilika dalam matriks karet sifat mekaniknya terjadi penurunan. Menurut Ulfah *et al.* (2015) pembuatan *vulcanizate* karet dengan rasio CB/Si dapat meningkatkan ketahanan abrasi, tegangan tarik pada perpanjangan 300%, dan kekerasan.

Al-Hatomy *et al.* (2015) menyatakan, kombinasi karbon dan silika sebagai bahan pengisi aktif dapat meningkatkan ketahanan abrasi yang lebih baik. Menurut Wang dan Chen (2013) penambahan silika 10 phr

dapat meningkatkan kekuatan tarik, sebaliknya kelebihan silika dapat menurunkan kekuatan tarik, selain itu penambahan sulfur 60 phr dapat meningkatkan kekerasan 70 sampai 100 Shore D. Menurut Bazgir *et al.* (2004) penambahan silika pada rasio 50 phr dapat meningkatkan kekuatan tarik antar molekul, meningkatkan sifat mekanik seperti modulus, dan perpanjangan putus. Yatsuyanagi *et al.* (2002) telah melakukan penelitian campuran NR dan SBR dengan bahan pengisi silika dengan hasil dapat meningkatkan sifat mekanik *vucanizate*. Chandran *et al.* (2016), menyatakan penambahan silika 20 phr, dan *recycled rubber powder* hingga 40 phr dapat meningkatkan kekerasan, dan kekuatan sobek.

Fly ash dari abu terbang batubara merupakan material sisa pembakaran batubara pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengisi penambah volume. *Fly ash* berwarna abu-abu dengan berat jenis $2,17 \text{ g/cm}^3$, kerapatan massa $1,26 \text{ g/cm}^3$, kandungan air 2%, SiO_2 30-60%, Al_2O_3 11-19%, Fe_2O_3 4-11%, MgO 5-6%, CaO 2-45%, bentuk partikel bulat, dan tidak beraturan (Ahmad dan Mahanwar, 2010: Gummedi *et al.*, 2012: Manjang *et al.*, 2015:). *Fly ash* mengandung silika dan CaO cukup tinggi dengan bantuan *coupling agent* mempunyai kemampuan untuk meningkatkan sifat mekanik KPB terutama tingkat kekerasan. Raja *et al.* (2013) melakukan penelitian pengaruh ukuran *fly ash* sebagai bahan pengisi komposit matriks polimer, *fly ash* 300 nm dapat meningkatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari ukuran bahan pengisi lainnya hal ini disebabkan gaya adhesi antar permukaan matriks dengan *filler* lebih kuat. Ozsoy *et al.* (2015), telah melakukan penelitian pengaruh mikro-*filler*, dan nano-*filler* pada sifat mekanik komposit efoksi dengan mikro *filler* Al_2O_3 , TiO_2 , dan *fly ash* dengan rasio 10 wt% sampai 30% berat, pengisi nano dari Al_2O_3 , TiO_2 dan tanah liat 2,5 wt% sampai 10% dengan hasil kekuatan tarik, kekuatan lentur, dan perpanjangan putus menurun, sedangkan modulus tarik,

dan modulus lentur meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan mikro dan nano-*filler*.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian KPB untuk lapisan permukaan *paving block* aspal berkaret menggunakan karet alam, karet sintesis, *carbon black* dari tempurung kelapa, abu terbang batubara dengan bahan pelunak *vegetable oil* dari turunan minyak sawit. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sifat mekanik KPB sebagai pengaman benturan permukaan *paving block* aspal berkaret dengan bahan seperti di uraikan di atas. Sifat mekanik KPB yang dihasilkan diuji dengan parameter yang meliputi: *specific gravity* dengan metoda uji ASTM D 624; *hardness Shore A* (ASTM D 2240); *abrassion resistance* (DIN), mm^3 (ASTM D 5963); *compression set*, 25% defl, 70°C , 22h (ASTM D 395); *tensile strength*, ASTM D 412, dan *ozon resistance*, 50 pphm, 20% strain, 24 h, 40°C (SNI 7655-2010).

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini terdiri dari karet alam (NR), *styrene-butadiene rubber* (SBR), TiO_2 , *carbon black* (CB), *zinc oxyde* (ZnO), asam stearat, silika (SiO_2), *fly ash* (FA) dari abu terbang batubara, *vegetable oil* (VO) dari turunan minyak sawit, *coupling agent* (PEG-4000), MBTS, PBN, dan sulfur.

Alat yang digunakan terdiri dari, neraca analitis, *two-roll mill*, alat cetak, thermometer IR, dan peralatan lainnya yang berkaitan dengan kegiatan penelitian.

Prosedur Penelitian

Prosedur Pembuatan Kompon dan Pencetakan

Bahan ditimbang dengan neraca analitis sesuai dengan formula yang telah ditentukan (Tabel 1). NR dimastikasi dengan alat *two-roll mill* selama 2 menit untuk menjadi plastis, sambil terus digiling ditambahkan SBR sampai campuran menjadi homogen. Setelah campuran homogen tambahkan ZnO sambil terus digiling, sedikit demi sedikit

tambahkan asam stearat. Proses selanjutnya sambil terus digiling tambahkan titanium dioksida sampai campuran berwarna putih, tambahkan CB sampai seluruh campuran terbentuk warna abu-abu, lalu tambahkan bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, *coupling agent*, tambahkan juga sedikit demi sedikit VO sebagai bahan pelunak, bahan pencepat, dan antidegradan. Setelah seluruh bahan proses terdistribusi secara merata selanjutnya tambahkan sulfur sambil terus digiling sampai homogen. Proses mastikasi dan vulkanisasi berlangsung selama 37 menit. Kompon KPB selanjutnya dilakukan pencetakan pada temperatur 165°C selama 14 menit. Penelitian dilakukan dengan tiga kali ulangan dengan rerata hasil uji seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Formula KPB

Bahan	Formula				
	A	B	C	D	E
NR	82,50	82,50	82,50	82,50	82,50
SBR	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
TiO ₂	3,42	3,42	3,42	3,42	3,42
CB	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
ZnO	4,84	4,84	4,84	4,84	4,84
As Stearat	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
Silika	48,50	50,75	53,00	55,25	57,50
<i>Fly Ash</i>	4,75	7,00	9,25	11,50	13,75
VO	6,50	7,00	9,25	11,50	13,75
PEG-4000	4,25	4,25	4,25	4,25	4,25
MBTS	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
PBN	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Sulfur	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75

HASIL DAN PEMBAHASAN

KPB dari hasil penelitian seperti pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Karet peredam benturan untuk lapisan atas *paving block* aspal berkaret

Hasil pengujian KPB untuk *paving block* aspal berkaret pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian KPB

Parameter	Hasil Pengujian				
	A	B	C	D	E
<i>Specific Gravity</i> g/cm ³	1,47	1,58	1,73	1,78	1,86
Hardness, Shore A	71	74	76	81	78
<i>Abrasion Resistance</i> (DIN), mm ³	68,60	64,83	58,39	52,85	57,02
Compression Set, 25% defl, 70°C, 22h	31,69	28,71	24,08	21,40	23,16
Tensile Strength, N/m ²	125,37	142,87	169,15	195,69	182,42
Ozon Resistance, 50 pphm, 20% strain, 24 h, 40°C	No Crack	No Crack	No Crack	No Crack	No Crack

Massa Jenis

Hasil pengujian KPB untuk parameter massa jenis (*specific gravity*) dari kelima formula menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan. Perbedaan yang ada disebabkan oleh perbedaan rasio bahan yang ditambahkan, perbedaan *specific gravity* dari masing-masing bahan yang digunakan, dan penyebaran bahan keseluruhan bagian matriks polimer. Karet alam dengan rasio 82,50 phr untuk masing-masing formula berpengaruh terhadap nilai *specific gravity*. Karet alam sebagai gambaran yang dikeluarkan oleh Hocson Rubber Trading mempunyai *specific gravity* (s.g.) 0.92 g/cm³ (AL-Nesrawy *et al.*, 2014; Chuan and Keong, 2016).

Rasio silika yang ditambahkan (Tabel 1) sebagai bahan pengisi penguat mempunyai kontribusi terhadap perbedaan nilai *specific gravity* (Tabel 2) KPB. Hasil pengujian *specific gravity* untuk formula D menunjukkan nilai tertinggi (1,78 g/cm³), sementara untuk formula A nilai *specific gravity* terendah (1,47 g/cm³) dari formula yang lainnya. Hasil pengujian nilai *specific gravity* jika dilihat dari rasio formula

menunjukkan bahwa pengaruh kenaikan rasio bahan pengisi, dan bahan pelunak berpengaruh terhadap perbedaan nilai *specific gravity*. Menurut Alkadasi *et al.* (2004) silika dengan kemurnian 95% mempunyai berat molekul 639,06, *specific gravity* 1,07 g/cm³, *flash point* 91°C, *boiling point* 250°C, *specific gravity* 1,0850 g/cm³, dan *viscosity* 11-12 cp, dan pH 7-9. Selain itu *fly ash* sebagai bahan pengisi penambah volume sesuai dengan rasio yang ditambahkan memberikan sumbangan yang signifikan terhadap nilai *specific gravity*. Ivanova *et al.* (2011) menjelaskan, *fly ash* dengan nilai pH 7,8-9,1; karbon organik 3,17-3,85, konduktivitas listrik 0,14 mmhos/cm, dan *specific gravity* 1,96-2,37 g/cm³. *Specific gravity* silika, *fly ash* dan bahan lainnya dengan variasi berat yang ditambahkan untuk masing-masing formula (Tabel 1) mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap perbedaan *specific gravity* KPB.

Silika dan *fly ash* sebagai bahan pengisi penguat dan bahan pengisi penambah volume jika tidak terdistribusi secara sempurna pada saat proses vulkanisasi berlangsung kedalam masing-masing bagian campuran matrix karet alam dengan SBR berdampak pada terjadinya perbedaan *specific gravity*, dan kepadatan *crosslink* untuk masing-masing formula. Menurut Pangdong *et al.* (2015) secara umum, kepadatan *crosslink* merupakan jumlah keterkaitan antara molekul karet per satuan volume dengan vulkanisat. Silika dan *fly ash* sebagai bahan pengisi karet bertindak sebagai tambahan situs *crosslinking* multifungsi yang berinteraksi secara fisik dan/atau kimiawi dengan molekul karet. Menurut Pangdong *et al.* (2015) penambahan silika dapat meningkatkan kerapatan silang, terutama pada konsentrasi antara 20 dan 30 phr. Kerapatan silang yang terbentuk berdampak pada perbedaan nilai *specific gravity*.

Penyebaran bahan proses keseluruhan bagian matriks polimer berkaitan dengan kontribusi, dan sifat fisika kimia dari bahan pelunak yang digunakan untuk meregangkan

molekul-molekul campuran karet alam dengan karet sintesis. Bahan pelunak yang digunakan berupa minyak sayur (*vegetable oil*) turunan dari minyak sawit mempunyai peranan untuk meregangkan molekul-molekul karet agar bahan yang ditambahkan dapat tersisipkan secara homogen kedalam matriks polimer. Koushki *et al.* (2015) menyampaikan dari hasil penelitiannya, minyak sawit mengandung asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh, antioksidan dalam jumlah tinggi, β -karoten, vitamin E, asam palmitat, asam oleat, dan asam linoleat. Kandungan asam lemak dan antioksidan dari *vegetable oil* yang digunakan berpengaruh terhadap *specific gravity*, dan sifat mekanik KPB yang dihasilkan (Tabel 2). Menurut Kenechi *et al.* (2015) *specific gravity* minyak sawit yang sampelnya diambil dari empat tempat dengan kisaran antara 0.768 – 0,903 g/cm³. Kandungan asam lemak, antioksidan, dan *specific gravity* mempunyai kontribusi terhadap sifat mekanik KPB terutama *hardness*, *abrasion resistance*, *compression set*, *tensile strength*, dan *ozon resistance*. Hasil pengujian *specific gravity* dari lima formula dengan nilai antara 1,47-1,86 g/cm³ berbanding lurus dengan kenaikan rasio bahan pengisi dan kenaikan rasio bahan pelunak.

Kekerasan

Kekerasan (*hardness*) didefinisikan sebagai resistensi permukaan benda terhadap gesekan atau benturan pada kondisi tertentu (Al-Maamori *et al.*, 2014). Hasil pengujian *hardness* untuk kelima formula mempunyai perbedaan yang signifikan. Perbedaan nilai *hardness* disebabkan oleh adanya perbedaan rasio bahan pengisi dan bahan pelunak (Tabel 1). Nilai *hardness* dari kelima formula berdasarkan hasil pengujian antara 71-81 Shore A (Tabel 2). Rasio silika yang ditambahkan pada masing-masing formula berpengaruh terhadap perbedaan *hardness* KPB. Menurut Thomasa *et al.* (2016) pengaruh penambahan silika dengan rasio (5, 10, 15, dan 20) phr dapat meningkatkan nilai kekerasan.

Hasil penelitian ini menunjukkan terjadi kenaikan nilai *hardness* untuk formula A sampai formula D berbanding lurus dengan kenaikan rasio penambahan bahan pengisi (silika dan *fly ash*). Hasil pengujian untuk formula E terlihat adanya penurunan nilai *hardness*, penurunan yang terjadi karena kemungkinan terjadi kelebihan penambahan bahan pelunak yang menyebabkan terjadi kerusakan pada sifat mekanik vulkanisat yang dihasilkan. Bahan pelunak yang tidak sebanding dengan rasio campuran karet alam, karet sintesis, bahan pengisi dan bahan lainnya menyebabkan ikatan antar molekul vulkanisat yang terbentuk tidak elastis atau terjadi ruang yang tidak padat.

Silika, *fly ash* bersama dengan minyak nabati sebagai bahan pelunak, saling berinteraksi dengan campuran molekul-molekul (karet alam, karet sintesis, ZnO, asam stearat, MBTS, antidegradan, dan sulfur) pada saat proses vulkanisasi membentuk *vulcanizate* KPB dengan kekuatan ikatan antar molekul sesuai dengan rasio bahan yang ditambahkan. Bahan yang ditambahkan dengan rasio yang optimum akan membentuk ikatan antar molekul yang kuat. Hal ini disebabkan ikatan antar molekul yang terjadi saling melengkapi, dimana tidak ada bagian molekul yang tidak terjadi ikatan. Ikatan antar molekul yang kuat dengan membentuk jaringan tiga dimensi berbanding lurus dengan tingkat kekerasan. Menurut Methew (2015) silika yang disisipkan kedalam molekul-molekul karet dapat meningkatkan sifat mekanik vulkanisat seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan berat jenis. Kekuatan ikatan antar molekul yang terbentuk berdampak pada sifat mekanik vulkanisat KPB seperti *hardness*, *abrasion resistance*, *compression set*, *tensile strength* termasuk serangan ozon. Menurut Ugbaja *et al.* (2016) kekerasan *vucanizates* dipengaruhi oleh penambahan filler yang terdistribusi dengan sempurna kedalam molekul-molekul karet.

Filler sebagai pengisi penguat yang terdistribusi kedalam matrix polimer, memperkuat struktur ikatan antar molekul..

Menurut Salehi *et al.* (2014) peningkatan nilai kekerasan ditentukan juga oleh luas permukaan bahan pengisi penguat, dan rasio karet yang ditambahkan. Bahan pengisi penguat berupa silika yang ditambahkan dengan ukuran partikel 200 mesh yang mempunyai kemampuan untuk berinteraksi dengan matriks polimer, dan bahan lainnya membentuk ikatan yang kuat dan kokoh. Nilai kekerasan yang tertinggi dari semua perlakuan didapatkan dari formula D, dimana pada formula D rasio silika/*fly ash* 55,25/11,50 phr. Sementara untuk formula E terjadi penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan formula D. Hal ini disebabkan karena kelebihan penambahan bahan pelunak menyebabkan terjadinya peregangan ikatan antar molekul yang berdampak pada nilai abrasi (Tabel 2).

Peranan *activator*, dan *accelerator* bersama dengan bahan pemvulkanisasi pada kondisi operasi yang optimum dengan rasio bahan sesuai dengan kebutuhan reaksi dengan tidak berlebihan atau kurang membentuk ikatan antar molekul yang kokoh dengan menghasilkan kekerasan sesuai dengan yang diinginkan. Menurut Christina *at al.* (2014) peningkatan nilai kekerasan disebabkan oleh adanya interaksi asam stearat sebagai *co-activator*, MBTS sebagai *accelerator*, dan sulfur sebagai *curative agent* dengan rasio yang optimum pada saat proses vulkanisasi berlangsung yang diikuti dengan terbentuknya ikatan silang rantai karbon yang lebih kuat dalam waktu yang cepat. Ikatan karbon yang terbentuk selain ditentukan oleh *activator*, MBTS, *accelerator*, dan sulfur ditentukan juga oleh *oil softener*, dan rasio bahan yang ditambahkan sehingga didapatkan reaksi silang yang masing-masing molekulnya saling berinteraksi terbentuk dengan sempurna yang menghasilkan sifat mekanik vulkanisat sesuai dengan yang diinginkan. *Vegetable oil* sebagai bahan pelunak dari turunan minyak sawit pada saat ditambahkan pada proses vulkanisasi meregangkan ikatan molekul-molekul karet alam dan karet sintesis dimana pada waktu yang bersamaan

bahan proses yang ditambahkan dapat tersisipkan dengan sempurna pada molekul-molekul karet alam, dan karet sintesis.

Ketahanan Abrasi

Ketahanan abrasi (*Abrasion Resistance*) disebabkan oleh terbentuknya ikatan silang yang terjadi pada saat proses vulkanisasi berlangsung. Ikatan silang yang terbentuk karena terjadi interaksi antara molekul-molekul rantai polimer dengan bahan pengisi, dan bahan lainnya yang membentuk ikatan silang yang menghasilkan jaringan tiga dimensi yang saling mengikat. Rasio bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, dan rasio bahan pelunak sangat menentukan ketahanan terhadap abrasi, elastisitas, pemampatan tetap, *specific gravity*, dan sifat mekanik lainnya.

Ketahanan abrasi berkaitan dengan kerapatan ikatan antar molekul yang membentuk KPB yang dicerminkan oleh nilai *specific gravity*. Nilai *specific gravity* yang tinggi berbanding lurus dengan ketahanan abrasi, dimana daya ikat antar molekul semakin kuat yang mempunyai kemampuan untuk menahan kehilangan pada bagian permukaan KPB jika bersentuhan atau terjadi gesekan dengan benda lain.

Hasil pengujian abrasi terhadap kelima formula KPB dari data yang ada (Tabel 2) menunjukkan terjadi perbedaan yang signifikan. Perbedaan yang terjadi terutama disebabkan oleh rasio bahan pengisi penguat yang membentuk ikatan silang antar molekul-molekul campuran karet dengan kekuatan dari kesempurnaan reaksi *crosslinking*. Kekuatan ikatan silang yang terbentuk dapat mempertahankan molekul-molekul vulcanizate KPB dari gesekan benda lain. Nilai abrasi dari semua formula antara 52,85 - 68,60 mm³ (Tabel 2), sementara tingkat abrasi tertinggi (68,60 mm³) didapat dari formula A, dan nilai abrasi terendah dari semua perlakuan didapat dari formula D. Nilai abrasi menggambarkan kehilangan bagian permukaan akibat terjadi gesekan dengan benda lain. Ketahanan abrasi berkaitan dengan kesempurnaan, dan

kecepatan reaksi yang membentuk vulkanisat.

Kecepatan, dan kesempurnaan reaksi yang terjadi tidak terlepas dari peranan *activator*, *co-activator*, dan *accelerator*. Menurut Onyeagoro (2012) pengaruh *zinc oxide* bertindak sebagai bahan penggiat yang mempercepat kinerja *accelerator* pada rasio 5,0 phr pada campuran kompon berdampak pada ketahanan abrasi. Menurut Chistina *et al.*, (2014) sifat morfologi, dan sifat mekanik vulkanisat dapat meningkat sebanding dengan rasio bahan penggiat, *accelerator*, dan sulfur yang ditambahkan. Rasio bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume, bahan pelunak dan bahan proses lainnya yang optimum dengan bantuan bahan pencepat akan menyebabkan terjadinya reaksi pembentukan vulkanisat. Kecepatan reaksi pembentukan vulkanisat berpengaruh terhadap ikatan antar molekul, pembentukan jaringan tiga dimensi yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketahanan terhadap abrasi dan sifat mekanik *vulcanizate*.

Pemampatan Tetap

Hasil pengujian pemampatan tetap (*compression set*) terhadap kelima sampel dari lima formula vulkanisat KPB mempunyai perbedaan yang cukup signifikan (Tabel 2). Nilai *compression set* dari semua perlakuan antara 21,40 - 31,69%, sementara untuk nilai *compression set* terendah (21,40%) didapat dari formula D. Nilai *compression set* menggambarkan ketahanan terhadap tekanan yang menyebabkan terjadinya pemampatan terhadap benda yang mengalami tekanan. Pemampatan yang terjadi berkaitan dengan kekuatan ikatan antar molekul yang membentuk jaringan tiga dimensi ketika menerima pembebanan. Selain itu elastisitas campuran karet alam dan karet sintesis dengan perbedaan rasio bahan yang ditambahkan pada saat proses vulkanisasi berlangsung berpengaruh terhadap tingkat pemampatan vulkanisat yang terbentuk.

Perbedaan *compression set* dipengaruhi oleh rasio bahan terutama bahan pengisi penguat, bahan pengisi penambah volume dan bahan pelunak. Menurut Onyeagoro (2012), perbedaan rasio bahan aditif berdampak pada terjadi korelasi pada bagian dalam produk yang membatasi pergerakan rantai molekul karet dengan terjadinya peningkatan ketahanan *compression set*. Elastisitas KPB yang terbentuk oleh karet alam dengan karet sintesis beserta bahan pengisi dipengaruhi oleh rasio bahan yang ditambahkan (Tabel 1). Bahan pengisi yang ditambahkan dan terdistribusi kedalam bagian matriks polimer membatasi pergerakan rantai molekul campuran karet alam, dan karet sintesis pada saat terjadi pemampatan yang pada akhirnya berdampak pada *compression set*.

Compression set berkaitan dengan elastisitas karet dan kecepatan interaksi antara polimer dengan bahan pengisi. Menurut Igwe dan Ejim (2011) peningkatan kekuatan tarik dari *vulcanizate* dipengaruhi oleh kecepatan interaksi polimer dan bahan pengisi. Kekuatan tarik berkaitan dengan *compression set* yang ditandai dengan terjadinya peregangan ikatan antar molekul-molekul pada saat vulkanisat ditarik maupun terjadi pemampatan ikatan antar molekul pada saat vulkanisat mengalami tekanan. Silika dan *fly ash* yang terdistribusi kedalam ikatan rantai karbon dengan membentuk struktur jaringan tiga dimensi memperkuat tekanan yang diberikan padanya dengan menghasilkan *compression set* yang baik. Menurut Peng *et al.* (2007), karet alam/silika *nanocomposite* dapat dikembangkan dengan menggabungkan teknik tunggal dengan hasil nanopartikel silika terdistribusi secara homogen di seluruh matriks NR yang mempunyai ketahanan thermal dengan sifat mekanik yang baik.

Tegangan Putus

Efek penambahan bahan pengisi dan bahan pelunak terhadap lima sampel dari lima formula untuk parameter tegangan putus (*tensile strength*) menunjukkan adanya

perbedaan yang cukup signifikan (Tabel 2). Hasil pengujian menunjukkan nilai *tensile strength* dari semua perlakuan antara 125,37-195,69 N/m². *Tensile strength* menggambarkan ketahanan terhadap kekuatan tarik yang berlawanan arah yang menyebabkan terjadi peregangan ikatan antar molekul yang membentuk *vulcanizate* pada saat dilakukan penarikan. Ketahanan terhadap kekuatan tarik dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antar molekul yang membentuk *vulcanizate* yang berkaitan dengan rasio bahan yang digunakan.

Perbedaan nilai *tensile strength* dari hasil penelitian ini diperkirakan karena pengaruh dari penggunaan *filler* silika, *fly ash* dengan bantuan *coupling agent*, dan *vegetable oil* yang berpengaruh terhadap elastisitas *vucanizate*. *Fly ash* dengan kandungan silika bersama dengan silika dengan bantuan *coupling agent* dapat terdistribusi kedalam masing-masing bagian matrix polimer. Menurut Dasgupta *et al.* (2013) senyawa *fly ash* dengan rasio 60 phr dapat menahan daya tarik hingga 50%. Selain itu, *vegetable oil* yang ditambahkan pada saat vulkanisasi di *open mill* dapat melunakkan molekul-molekul karet hingga seluruh bahan proses yang ada dapat terdistribusi kedalam masing-masing bagian matriks polimer yang menghasilkan kerapatan ikatan silang (*crosslink*) lebih kuat. Dengan adanya *coupling agent*, maka *fly ash* bersama dengan silika yang digunakan pada penelitian ini menjadi lebih aktif sehingga dapat meningkatkan *tensile strength vucanizate*, dan sifat mekanik lainnya.

Ketahanan Ozon

Barang jadi karet sama seperti bahan polimer yang lainnya mudah mengalami degradasi akibat serangan oksigen dan ozon yang mengakibatkan sifat fisiknya mengalami penurunan. Serangan oksigen dan ozon dapat dilindungi dengan antidegradan yang pada pembuatan *vucanizate* KPB ini digunakan PBN. Menurut Singh *et al.* (2015), antidegradan bertujuan untuk melindungi serangan oksigen dan

ozon yang dapat merubah struktur jaringan saat bereaksi dengan elastomer. Kerusakan akibat ozon disebabkan oleh terbentuknya radikal bebas peroksida yang menyebabkan terbentuknya reaksi *sci-sion* pada molekul karet (Abad *et al.*, 2002). Hasil pengujian ketahanan ozon pada kondisi 50 pphm, 20% strain pada temperatur 40°C selama 24 jam sesuai prosedur SNI 7655-2010 untuk kelima sampel dari lima formula terlihat bahwa, tidak ada bagian permukaan dari seluruh sampel yang mengalami keretakan, bercak pada bagian permukaan, atau ada bagian yang mengalami cacat fisik selama pengujian berlangsung.

Phenyl beta naphthylamine (PBN) yang digunakan sebagai anti ozon mempunyai kemampuan melindungi *vulcanizate* dari serangan ozon. Menurut Ahmed *et al.* (2012) kinerja antioksidan sebagai zat penstabil dari jenis 6PPD, IPPD, dan PBN mempunyai kemampuan untuk melindungi *vulcanizate* dari serangan ozon. Perlindungan *vulcanizate* selain *phenyl beta naphthylamine*, dilindungi juga oleh *vegetable oil*. *Phenyl beta naphthylamine* bersama dengan *vegetable oil* terjadi interaksi dengan molekul-molekul NR-SBR pada setiap bagian untuk melindungi *vulcanizate* dari serangan radikal bebas.

KESIMPULAN

Modifikasi karet alam, karet sintesis dari jenis *styrene-butadiene rubber* dengan bahan pengisi penguat Si-69, bahan pengisi penambah volume dari *fly ash* dari abu terbang batubara dengan bahan pelunak minyak sayur turunan dari minyak sawit menjadi karet peredam benturan untuk lapisan atas *paving block* aspal berkarat menghasilkan sifat mekanik yang berbeda dari lima formula. Hasil pengujian sifat mekanik karet peredam benturan untuk lapisan atas *paving block* aspal berkarat untuk formula D, *specific gravity* 1,78 g/cm³, *hardness shore A* 81, abrasi *resistance* 52,85 mm³, *compression set*, 25% defl, 70°C, 22h dengan hasil 21,40%, *tensile strength* 195,69 N/m³, dengan ketahanan

ozon untuk semua formula tidak terjadi keretakan. Kelemahan penelitian ini belum dilakukan pembandingan sebagai standar acuan untuk menentukan formula yang terbaik, sehingga perlu dilakukan penelitian dengan mencari pembandingan untuk produk yang sejenis atau dengan cara membandingkannya dengan *rubber fender*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, serta teman-teman teknisi litkayasa yang telah membantu terlaksananya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, L.V., L.S. Relve, C.T. Aranilla, A.K. Aliganga, C.M.S. Diego, A.M.D. Rosa. (2002). Natural Antioxidants for Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. *Polymer Degradation and Stability* 76 (2002) 275–279.
- Ahmed, F.S., M. Shafy, A.A.A. El-Megeed, and E.M. Hegazi. (2012). The effect of γ -irradiation on Acrylonitrile–Butadiene Rubber NBR Seal Materials With Different Antioxidants. *Materials and Design*, 36 : 823-828.
- Ahmed, J.K., M.H. Al-Maamori, and H.M. Ali. (2015). Effect of Nano Silica on the Mechanical properties of Styrene-butadiene rubber (SBR) composite. *International Journal of Materials Science and Applications* 2015; 4(2-1): 15-20.
- Ahmad, I, dan P.A. Mahanwar, (2010), Mechanical Properties of Fly Ash Filled High Density Polyethylene. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 9(3): 183-198.
- Al-Hartomy, O.A., A.A. Al-Ghamdi, S.F. Al-Said, N. Dishovsky, M. Mihaylov, and P. Malinova. (2015). Comparative Study of The Dynamic Properties of Natural Rubber Based Composites, Containing Carbon-Silica Dual Phase Fillers Obtained By Different Methods. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 50(5): 567-576.
- Alkadasi, N.A.N., D.G. Hundiwale, and U.R. Kapadi. (2004). Studies on The Effect of Silane Coupling Agent (2.0 per cent) on The

- Mechanical Properties of Flyash Filled Polybutadiene Rubber. *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol 63, July 2004, pp 603-609.
- AL-Nesrawy, S.H., M. Al-Maamori, A.S.Hassani, and H.I. Jaafar (2014). Effect of mixture of Reclaimed tire and Carbon Black Percent on the Mechanical properties of SBR/NR blends. *International Journal of Advanced Research*, 2(3): 234-243.
- Al-Maamori, M., S. Al-Nesrawy., and A. Hasaani. (2014). Aging Effect on Hardness of SBR/NR/BR, SBR/NR Composites by using Industrial Scraps as a Filler. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(17): 579-584.
- Bazgir, S., A.A. Katbab, dan H. Nazockdast. (2004). Silica-Reinforced Dynamically Vulcanized Ethylene-Propylene-Diene Monomer/Polypropylene Thermoplastic Elastomers: Morphology, Rheology, and Dynamic Mechanical Properties. *J Appl Polym Sci* 92: 2000-2007.
- Botros, S.H., F.F. El-Mohsen, and E.A. Meinecke. (1987). Effect of Brown Vulcanized Vegetable Oil on Ozone Resistance, Aging, and Flow Properties of Rubber Compounds. *Rubber Chemistry and Technology*. March 1987, Vol. 60, No. 1, pp. 159-175.
- Bradshaw, A.S., C.D.P. Baxter., G. Tsiatas., A. Marinucci., J. Ressler., and R. Morgan. (2006). Simple Dynamic Model for *Fender Pile Analysis and Design*. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X(2006)132:5(419).
- Chandrasekara, G., M.K. Mahanama, D.G. Edirisinghe, and L. Karunanayake. (2011). Epoxidized Vegetable Oils as Processing Aids and Activators in Carbon-Black Filled Natural Rubber Compounds. *J. Natn. Sci. Foundation Sri Lanka* 39 (3): 243-250.
- Chandran, V., T.M. RAJ, and T. Lakshmanan. (2016). Effect of Recycled Rubber Particles and Silica on Tensile and Tear Properties of Natural Rubber Composites. *Materials Science (Medžiagotyra)*. 22(2): 256-261.
- Christina, M., Bahrudin, dan Z. Helwani. (2014). Pengaruh Kadar Asam Stearat, Mercapto Dibenzothiazyl Disulfide (MBTS), dan Sulfur Terhadap Sifat, dan Morfologi Thermoset Rubber dengan Filler Carbon Black-Abu Terbang Sawit. *JOM FTEKNIK*. 1(2); 1-11.
- Chuan S.T., and L.C. Keong. (2016). Effects of Calcined Clay/Characteristics and Mechanical Properties Compound. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(14): 152-161.
- Dasgupta, M., S. Kar, S.D. Gupta, R. Mukhopadhyay, and A. Bandyopadhyay. (2013). Effect of Fly Ash as Filler in Rubber-A Comprehensive Study of the Vulcanisate Properties of StyreneButadiene Rubber Compounds. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 29(3): 151-167.
- Egwaikhide, A.P., Okieimen, F.E, and U. Lawal. (2013). Rheological and Mechanical Properties of Natural Rubber Compounds Filled with Carbonized Palm Kernel Husk and Carbon Black (N330). *Science Journal of Chemistry*. 1(5): 50-55.
- Gummadi J., G.V. Kumar, and G. Rajesh. (2012). Evaluation of Flexural Properties of Fly Ash Filled Polypropylene Composites. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 2(4): 2584-2590.
- Igwe, I.O, dan A.A Ejim. (2011). Studies on Mechanical and End-Use Properties of Natural Rubber Filled with Snail Shell Powder. *Materials Sciences and Application*. 2: 802-810
- Ivanova, T.S., Z. Panov, K. Blazev, and V.V. Paneva. (2011). Investigation of Fly Ash Heavy Metals Content and Physico Chemical Properties from Thermal Power Plant, Republic of Macedonia. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, 3(12): 8219-8225.
- Jean, E., and W. Jian-hua. (2015). Analysis of Angular Side Berthing Against a Rubber Cone *Fender*. *J. Shanghai Jiaotong Univ*, 20(5): 571-583.
- Kenechi N.O., A. Felix, C. Linus, and A. Kayode. (2015). Analysis on the Physicochemical Properties of Palm Oil Within Isialangwa Local Government Area of Abia State, Nigeria. *International Journal of Bioorganic Chemistry*. 2(3): 159-162.
- Koushki, M., M. Nahidi, and F. Cheraghali. (2015). Physico-chemical Properties, Fatty Acid Profile and Nutrition in Palm Oil. *Journal of Paramedical Sciences (JPS)*, 6(3): 117-134
- Manjang, S., R.P. Putera, Y.S. Akil, and I. Kitta. (2015). Electrical and Mechanical Properties of Fly Ash Filled Silicone Rubber for High

- Voltage Insulator. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10(17): 7320-7327.
- Nandan, V. (2000). *Studies on the Use of Drying Oils as Ingredients in the Vulcanization of Elastomers* (Thesis). Cochin University of Science and Technology, India.
- Onyeagoro, G.N. (2012). *Effect Of Zinc Oxide Level And Blend Ratio on Vulcanizate Properties of Blend of Natural Rubber And Acrylonitrilebutadiene Rubber In The Presence Of Epoxidized Natural Rubber*. *Journals, savap* 3(1): 499-509.
- Ozsoy, I., Demirko, A. Mimaroglu, H. Unal, dan Z. Demir. (2015). *The Influence of Micro-and Nano-Filler Content on the Mechanical Properties of Epoxy Composites*. *Journal of Mechanical Engineering*. 61(10): 601-609.
- Peng, Z., L.X. Kong, S.D. Li, Y. Chen, and M.F. Huang. (2007). *Self-Assembled Natural Rubber/Silica Nanocomposites: Its Preparation and Characterization*. *Composites Science and Technology*, 67(15-16): 3130-3139.
- Pongdong, W., C. Nakason, C. Kummerlöwe, dan N. Vennemann. (2015). *Influence of Filler from a Renewable Resource and Silane Coupling Agent on the Properties of Epoxidized Natural Rubber Vulcanizates*. *Journal of Chemistry*, 2015, pp 1-15.
- Raja. R.S., K. Manisekar, and V. Manikandan. (2013). *Effect of Fly Ash Filler Size on Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites*. *International Journal of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering (IJMMME)*. 1(1): 34-38.
- Salehi, M.H., T. Khalkhali and A. Davoodi. (2014). *Synergistic Effect of Silica with Carbon Nanotubes, Nanoclays and Whiskers on Physical and Mechanical Properties of Elastomeric Compounds Based on NBR*. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, 2014, 1(2): 85-88.
- Samarth, N.B., dan P.A. Mahanwar. (2015). *Modified Vegetable Oil Based Additives as a Future Polymeric Material-Review*. *Open Journal of Organic Polymer Materials*, 2015, 5, 1-22 Published Online January 2015 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/ojopm> <http://dx.doi.org/10.4236/ojopm.2015.51001>. Diakses tanggal 5 Desember 2016.
- Sarkawi, S.S., A.K.C. Aziz, R.A.Rahim, R.A Ghani, and A.N. Kamaruddin. (2016). *Properties of Epoxidized Natural Rubber Tread Compound: The Hybrid Reinforcing Effect of Silica and Silane System*. *Polymers & Polymer Composites*, 24(9): 775-782.
- Singh, G., A. Mahajan, and M. Kumar. (2015). *A Review Paper on Vulcanization of Rubber And It's Properties*. *Global Journal of Engineering Science and Researches*. 2(8): 1-4.
- Thomasa, O., V.N. N. Namboothiria, R.J.O. Thomasa, V.N. N. Namboothiria, and R. Joseph. (2016). *Feasibility of Silica Loaded NBR as Lining Material for Impactive Gripper*. *Procedia Technology* 25 (2016) 900 – 907.
- Ugbaja, M.I., K.I. Ejiogu, and J.D. Dashe. (2016). *The Impact of the Bark of Camel's Foot (Piliostigmathonningii) on the Physico-Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizate*. *Journal of Energy, Environmental & Chemical Engineering* 2016; 1(1): 19-23
- Ulfah, I.M., R. Fidyarningsih, S. Rahayu, D.A. Fitriani, D.A. Saputra, D.A. Winarto, and L.A. Wisojodharmo. (2015). *Influence of Carbon Black and Silica Filler on the Rheological and Mechanical Properties of Natural Rubber Compound*. *Procedia Chemistry* 16: 258-264.
- Wang, J, and D. Chen. (2013). *Mechanical Properties of Natural Rubber Nanocomposites Filled with Thermally Treated Attapulgit*. *Journal of Nanomaterials*, Volume 2013, Article ID 496584, 11 pages
- Yatsuyanagi, F., N. Suzuki, M. Ito, and H. Kaidou. (2002). *Effects of Surface Chemistry of Silica Particles on the Mechanical Properties of Silica Filled Styrene-Butadiene Rubber Systems*. *Polymer Journal*, Vol. 34, No. 5, pp 332-339.
- Zala, M.S., and K.J. Motwani. (2015). *A Review on Design Analysis and Optimization of Parallel Motion Fender*. *International Journal for Scientific Research & Development*. 2(11): 105-107.
- Zikra, M., K. Sambodho, T. A. Manan., and Y. Mulyadi. (2016). *Design And Modeling Fender System For Condensate And Sulphuric Acid Jetty At Senoro Field, Central Sulawesi*. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11(2): 896-900.