

KARAKTERISTIK PEMATANGAN DAN SIFAT MEKANIK KARET BANTALAN KAKI SEPEDA MOTOR DENGAN BAHAN PENGISI PASIR KUARSA

CURING CHARACTERISTICS AND MECHANICAL PROPERTIES OF MOTORCYCLE RUBBER STEP USING QUARTZ SAND AS FILLERS

Rahmaniar¹, Indri Hermiyati², Abu Hasan³, Sukma Surya Kusumah⁴ dan Nasruddin¹

¹Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, ²Politeknik ATK Yogyakarta, ³Politeknik Negeri, Sriwijaya, Indonesia, ⁴Pusat Penelitian Biomaterial LIPI
e-mail : rahmaniar_eeen@yahoo.co.id

Diterima: 05 Maret 2020; Direvisi: 06 Juni 2020 - 08 Juni 2020; Disetujui: 17 Juni 2020

Abstrak

Penelitian tentang karakteristik pematangan dan sifat mekanik karet alam dengan pengisi pasir kuarsa untuk bantalan kaki sepeda motor telah dilakukan. Parameter mekanik bantalan kaki sepeda motor mengacu pada SNI 06-7032-2004. Pasir kuarsa sebagai pengisi dengan ukuran butir 100 mesh, untuk setiap perlakuan dengan perbandingan 60 phr, 65 phr, 70 phr dan 75 phr. Aktivator, koaktivator, pelunak, dan belerang dikondisikan. Hasil pengujian pematangan kompon untuk formula P₁ dengan rasio pasir kuarsa 50 phr sebagai formula terbaik menghasilkan $S_{max} = 4,62$ kg/cm, $S_{min} = 0,14$ kg/cm, $\Delta S = 4,48$ kg/cm, $t_{90} = 5,28$ min dan $ts_2 = 4,04$ min. Hasil pengujian sifat mekanik nilai kekerasan yaitu 57 Shore A, tegangan putus yaitu 188 kg/cm² dan perpanjangan putus yaitu 560%. Hasilnya menunjukkan bahwa karet vulkanisir untuk *rubber step* sepeda motor sesuai dengan SNI 06-7032-2004.

Kata kunci : bahan pengisi, kompon karet, karet bantalan kaki sepeda motor, silika, pematangan

Abstract

Research on the curing characteristics and Mechanical Properties of natural rubber with quartz sand fillers for of Motorcycle Rubber Step has been carried out. Mechanical parameters of motorcycle rubber step refer to SNI 06-7032-2004. Quartz sand as filler with grain size of 100 mesh, for each treatment with a ratio of 60 phr, 65 phr, 70 phr and 75 phr. Quartz sand as a filler for each treatment with a ratio of 60 phr, 65 phr, 70 phr and 75 phr. Activator, coactivator, softener and sulfur are conditioned. The result of compound curing test for formula P₁ with quartz sand ratio of 50 phr as the best formula produces $S_{max} = 4.62$ kg/cm, $S_{min} = 0.14$ kg/cm, $\Delta S = 4.48$ kg/cm, $t_{90} = 5.28$ minutes and $ts_2 = 4.04$ min. The test results of mechanical properties for hardness of 57 shore A, elongation at break 188 kg/cm² and elongation at break of 560%. The results show that vulcanized rubber meets the requirements for motorcycle rubber step according to SNI 06-7032-2004.

Keywords : fillers, rubber compound, motorcycle rubber step, silica, curing

PENDAHULUAN

Pasir kuarsa di Indonesia termasuk bahan tambang golongan C yang banyak digunakan untuk berbagai kebutuhan. Pasir kuarsa (SiO₂) secara alami mengandung senyawa pengotor seperti besi, kalsium, alkali, magnesium, senyawa organik (Hadi *et al.*, 2010). Pasir kuarsa secara umum berwarna abu-abu, berukuran halus, dengan bentuk tidak beraturan dengan kandungan SiO₂: 97,13% (Rahmaniar, 2015) dan

kandungan SiO₂ berdasarkan hasil Analisa XRF setelah pemurnian 99,89% (Ukhtiyani *et al.*, 2017).

Kandungan silika yang terdapat pada pasir kuarsa menyebabkan bahan ini banyak dipilih sebagai salah satu bahan pengisi untuk industri kompon karet. Bahan pengisi pada umumnya terdiri dari bahan pengisi aktif dan tidak aktif. Bahan pengisi aktif digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik, sedangkan bahan pengisi tidak aktif digunakan untuk menambah volume dan

mengurangi biaya produksi. Menurut Zafarmehrabian, *et al* (2012) Bahan pengisi aktif biasanya dipengaruhi oleh ukuran partikel, struktur, luas permukaan, dan kimia permukaan.

Pasir kuarsa dengan kandungan utama silika yang dominan sebagai bahan penyusunnya, merupakan salah satu bahan pengisi aktif yang banyak digunakan untuk berbagai jenis pembuatan barang jadi karet. Silika mempunyai keunggulan tidak beracun, biokompatibel, mempunyai kepadatan tinggi dengan kelompok silanol pada bagian permukaannya (Zhong *et al.*, 2015).

Penentuan bahan pengisi pada pembuatan kompon karet merupakan bagian yang paling penting dalam upaya untuk meningkatkan sifat mekanik karet sesuai dengan produk yang diinginkan (Frohlich *et al.*, 2005). *Filler* berpengaruh terhadap sifat mekanik vulkanisat yang dihasilkan (Ku *et al.*, 2011). Vulkanisat karet yang dihasilkan tanpa menggunakan bahan pengisi maka sifat mekaniknya seperti kekerasan, dan berat jenis rendah. Namun demikian, penentuan jenis bahan pengisi dan rasionya tergantung dari jenis dan persyaratan produk yang akan digunakan.

Penggunaan bahan pengisi terutama silika dan karbon hitam (*carbon black*) telah banyak digunakan oleh para peneliti dan industri. *Carbon black* sebagai bahan pengisi penguat banyak digunakan untuk produk seperti ban mobil, karet fender dermaga dan barang jadi karet yang berwarna hitam. Qian *et al.*, (2019) melakukan penelitian komposit NR dan BR dengan bahan pengisi silika dan *carbon black*. Hasil penelitiannya menunjukkan, silika dan *carbon black* dapat meningkatkan ikatan antar molekul komposit secara efektif dan meningkatkan sifat mekanik komposit NR/BR. Bach *et al.*, (2019) melakukan penelitian peningkatan stabilitas mekanik dan termal campuran NR/SBR menggunakan nanosilica untuk meningkatkan sifat mekanik dan stabilitas termal karet yang terikat. Thongsang and Sombatsompop, (2005) menggunakan pengisi silika dari *fly ash*

dalam senyawa NR dengan memvariasikan kopoling Si₆₉, hasilnya dapat mempercepat waktu *scorch* dan *cure times*.

Silika banyak digunakan untuk produk yang mengutamakan warna selain warna hitam. Silika pada pembuatan kompon karet digunakan untuk meningkatkan kekerasan, tegangan tarik dan kekuatan sobek (Peng *et al.*, 2009). Silika sebagai bahan pengisi dari beberapa penelitian mempunyai kemampuan untuk menahan beban pada suhu tinggi dari 1710 °C hingga 1730 °C dengan menyebabkan terjadinya perbedaan volume ketika dilakukan pemanasan pada suhu rendah, selain itu mempunyai kesetabilan ketika terjadi kenaikan suhu secara mendadak dari 600 °C hingga 1700 °C (Rachman *et al.*, 2012). Silika dapat terdispersi dengan baik dalam matriks karet (Liu *et al.*, 2007; Yang *et al.*, 2014).

Berdasarkan dari beberapa uraian yang telah disampaikan di atas, pasir kuarsa sebagai alternatif untuk filler pembuatan kompon karet, hal ini dikarenakan mengandung SiO₂: 99,9% (Darwis *et al.*, 2017). Parameter yang berpengaruh terhadap kualitas produk bantalan kaki sepeda motor mengacu pada SNI 06-7032-2004, meliputi parameter pematangan kompon, kekerasan, tegangan putus dan perpanjangan putus dari setiap jumlah pasir kuarsa yang digunakan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Penelitian ini yang dilakukan ini dengan menggunakan bahan bahan karet alam (SIR-20), pasir kuarsa lolos mesh 100 (100 mesh), karbon hitam jenis N 330, 6PPD sebagai bahan antioksidan, *zinc oxide* (ZnO) sebagai bahan activator, asam stearat sebagai bahan Co-activator, *N-Cyclohexyl-2-benzothiazylsulfenamide* (CBS), *tetrametiltiuram disulfida* (TMTD) dan sulfur.

Peralatan

Penelitian ini menggunakan peralatan terdiri dari penggilingan terbuka (*open mill*), neraca digital kapasitas maksimum 1000 g dua digit, neraca *metler type* p120 kapasitas maksimum 1200 gram dua digit, timbangan kapasitas 15 kg, alat potong, pres hidrolik panas, alat cetak vulkanisat untuk sampel pengujian dan peralatan lain yang mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian.

Metode Penelitian

Desain Formula

Penelitian ini dirancang untuk 4 (empat) percobaan dengan menggunakan bahan pengisi (*filler*) yaitu pasir kuarsa ukuran 100 mesh. Rasio dari masing-masing pasir kuarsa dan bahan lainnya yang terdapat di Tabel 1.

Tabel 1. Formula dari karet bantalan sepeda motor

Bahan	Perlakuan			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
SIR 20	100	100	100	100
Pasir kuarsa	60	65	70	75
N.330	5	5	5	5
6.PPD	1	1	1	1
ZnO	5	5	5	5
Asam stearat	1	1	1	1
CBS	1,3	1,3	1,3	1,3
TMTD	0,2	0,2	0,2	0,2
Sulfur	2,5	2,5	2,5	2,5

Tahapan Kegiatan

a. Persiapan *Filler*

Filler dalam hal ini pasir kuarsa terlebih dahulu dibersihkan dari benda asing dengan cara dilakukan pencucian menggunakan air sampai bersih. Proses berikutnya dilakukan penjemuran pada udara terbuka hingga kadar air 3%. Setelah kadar air mencapai 3% selanjutnya dikeringkan dalam open pada suhu 110 °C hingga kadar air maksimum 0,5%. Tahap berikutnya pasir kuarsa yang telah kering (kadar air maksimum 0,5%) dilakukan pengecilan ukuran dengan cara digiling menggunakan *crusher*. Hasil gilingan selanjutnya dilakukan pengayakan dengan menggunakan ayakan 100

mesh. Bagian pasir kuarsa yang lolos ayakan ukuran 100 mesh untuk membuat produk *rubber step* sepeda motor.

b. Proses Vulkanisat Karet

1. Seluruh bahan yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini dari setiap formula dilakukan penimbangan sesuai dengan desain rasio bahan yang terdapat pada Tabel 1. Berat bahan yang digunakan untuk seluruh pelakuan dinyatakan dalam ukuran phr.

2. Tahapan Pembuatan Kompon

Karet alam sesuai dengan berat (Tabel 1) masing-masing dilakukan mastikasi dengan cara penggilingan menggunakan alat giling *open mill* sampai plastis (± 7 menit). Setelah karet menjadi plastis selanjutnya ditambahkan pasir kuarsa bersama dengan karbon hitam N.330 sampai semuanya menjadi homogen dengan karet. Selama dilakukan penggilingan dilakukan juga pemotongan pada setiap sisi kiri dan kanan karet pada *roll mill* untuk mempercepat homogenitas karbon hitam dan pasir kuarsa kedalam matriks karet. Pemotongan kompon selama penggilingan dilakukan setiap 1 sampai 2 menit untuk mempercepat homogenitas. Setelah semua karbon hitam dan pasir kuarsa homogen di dalam karet selanjutnya ditambahkan ZnO, asam stearat secara bersamaan hingga semuanya homogen dan bercampur di dalam karet. Berikutnya secara bersama-sama juga ditambahkan 6.PPD, CBS dan TMTD, sambil terus digiling dan dilakukan juga pemotongan pada setiap sisi karet. Setelah semua bahan proses homogen dalam matriks karet, berikutnya tambahkan sulfur hingga semuanya menyatu dalam matriks karet. Pada tahapan ini menghasilkan kompon karet sebagai bahan untuk dicetak menggunakan alat cetak. Pada proses pencetakan terjadi peristiwa vulkanisasi dengan membentuk jaringan tiga dimensi

yang disebabkan oleh belerang yang menghasilkan vulkanisat karet.

c. Pengujian Vulkanisat

Vulkanisat karet yang dihasilkan dilakukan pengujian dengan parameter untuk bantalan kaki sepeda motor sesuai persyaratan SNI 06-7032-2004.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian karakteristik untuk pematangan kompon dari 4 (empat) perlakuan diperlihatkan pada Tabel 2. Hasil pengujian sifat mekanik vulkanisat untuk parameter kekerasan pada Gambar 1, tegangan putus pada Gambar 2, dan perpanjangan putus pada Gambar 3.

Tabel 2. Hasil Tes Rheometer

Rheometer	Perlakuan			
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S _{max} (kg/cm)	4,62	4,79	4,96	4,99
S _{min} (kg/cm)	0,14	0,15	0,16	0,17
ΔS (kg/cm)	4,48	4,64	4,80	4,82
t ₉₀ (min, sec)	5,28	5,35	5,36	5,38
ts ₂ (min, sec)	4,04	4,05	4,07	4,09

Karakteristik Vulkanisasi Kompon

Pengujian torsi maksimum (S_{max}) pada penelitian ini dilakukan untuk melihat perubahan nilai viskositas maksimum dari setiap perlakuan dan sifat *stiffness* vulkanisat yang telah mengalami proses vulkanisasi. Selain itu densitas ikatan silang (*crosslink density*) yang terjadi dapat dilihat dari hasil pengujian torsi maksimum (Markovic *et al.*, 2009). Nilai torsi maksimum dengan semakin besar penambahan pasir kuarsa dari 60 phr hingga 75 phr (Tabel 1) dapat meningkatkan torsi maksimum (Tabel 2).

Pasir kuarsa mengandung silika yang memiliki gugus hidroksil dibagian permukannya, sehingga membentuk ikatan hidrogen intermolecular dan menghasilkan agregat yang kokoh (Ulfah *et al.*, 2015). Data pengujian menunjukkan, torsi minimum (S_{min}) untuk viskositas dari masing-masing contoh uji ada bagian yang belum matang (Tabaei *et al.*, 2015). Peningkatan S_{min} pada

Tabel 2 berbanding lurus dengan peningkatan rasio pasir kuarsa (Tabel 1). Hal ini menunjukkan pengaruh peningkatan jumlah pasir kuarsa yang ditambahkan berpengaruh terhadap peningkatan viscositas kompon karet. Pada proses awal vulkanisasi ikatan silang yang membentuk vulkanisat dari kompon karet belum terjadi. peningkatan jumlah pasir kuarsa menghambat mobilitas deformasi rantai molekul karet yang membentuk nilai torsi minimum. Nilai torsi minimum dapat menggambarkan telah terjadi peningkatan luas permukaan spesifik bahan pengisi pada kompon (Li *et al.*, 2008). Dengan demikian rantai karet sebagian besar mobilitasnya terhambat. Peristiwa ini berpengaruh terhadap efek *reinforcement* kompon karet.

Derajat ikatan silang yang terbentuk selama peristiwa vulkanisasi dapat digambarkan oleh delta torsi (ΔS) (Markovic *et al.*, 2010). Pasir kuarsa yang ditambahkan sebagai pengisi pada pembuatan kompon karet selama penggilingan ditujukan untuk menaikkan nilai delta torsi (ΔS). Bahan pengisi pasir kuarsa yang ditambahkan pada kompon karet dengan ukuran 100 mesh, untuk meningkatkan nilai derajat ikatan silang vulkanisat yang terbentuk. Silika sebagai bahan pengisi aktif dapat meningkatkan kepadatan ikatan silang (Ahmed *et al.*, 2013).

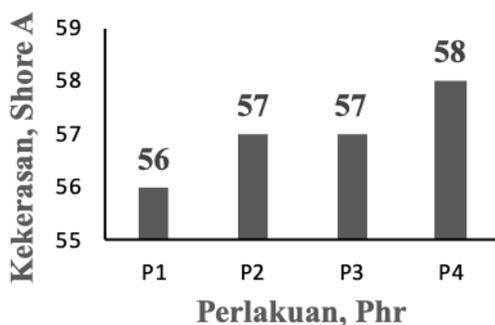
Pematangan optimum (t₉₀) adalah waktu yang menyatakan peristiwa terjadinya pematangan kompon menjadi vulkanisat karet. Hasil pengujian menunjukkan, untuk perlakuan 60 phr dari penelitian ini merupakan waktu pemasakan paling singkat, jika dibandingkan perlakuan 65 phr, 70 phr, dan 75 phr. Perlakuan P₁ pada penelitian ini adalah perlakuan yang paling optimal pembuatan kompon karet bantalan kaki sepeda motor. Waktu *scorch* (ts₂) dinyatakan sebagai waktu sebelum terjadinya proses vulkanisasi. Pasir kuarsa yang ditambahkan pada kompon karet saat penggilingan 60 phr s.d 75 phr dari hasil pengamatan terjadi peningkatan waktu *scorch*. Data hasil pengujian untuk waktu *scorch* dari

seluruh perlakuan nilainya hampir mempunyai kesamaan. Hal ini menunjukkan, semua perlakuan nilainya mendekati kesamaan sehingga nilainya tidak berpengaruh nyata antar perlakuan terhadap waktu scorch. Waktu scorch dan waktu pematangan optimal menginterpretasikan kinetika vulkanisasi (Tabaei *et al.*, 2015).

Kekerasan

Hasil pengujian parameter untuk kekerasan ditunjukkan sebagai ukuran yang dapat melihat resistensi bahan yang berpengaruh terhadap deformasi plastis lokal dari masing-masing perlakuan (P_1 s.d P_4). Perbedaan nilai kekerasan vulkanisat yang terjadi pada Gambar 1 dapat disebabkan oleh adanya perbedaan berat bahan pengisi (pasir kuarsa) yang digunakan.

Hasil pengujian untuk kekerasan yang tertinggi dari semua perlakuan (P_1 s.d P_4) yaitu dari perlakuan P_4 dengan nilai 58 Shore A, untuk kekerasan terendah dengan nilai 56 Shore A diperoleh dari perlakuan P_1 (Gambar 1). Jumlah pasir kuarsa sebagai *filler* yang ditambahkan (Table 1) memberikan nilai kekerasan yang berbeda secara signifikan untuk perlakuan P_1 dengan P_4 . Penambahan jumlah pasir kuarsa yang digunakan dari perlakuan P_1 dengan P_4 dapat meningkatkan nilai kekerasan dari 56 - 58 Shore A.



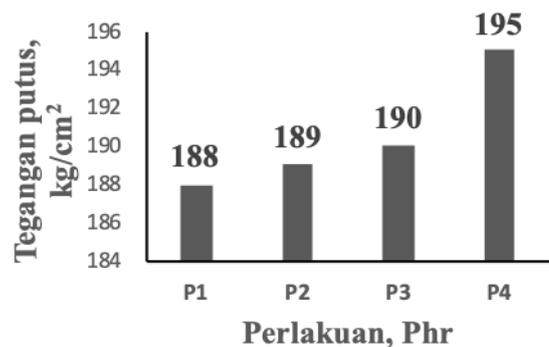
Gambar 1. Kekerasan *rubber step* sepeda motor.

Pada rasio pasir kuarsa P_2 dan P_3 nilai kekerasannya sama yaitu 57 Shore A. Menurut (Ahmed *et al.*, 2013;

Foad *et al.*, 2016) penambahan silika dapat meningkatkan nilai kekerasan. Pasir kuarsa hampir disemua negara memiliki sudut ikatan yang seragam dan panjang (Ripan *et al.*, 2018). Menurut Rattansom *et al.*, (2009) silika sebagai bahan pengisi pada pembuatan kompon karet rasionya dua kali dari rasio karbon hitam yang digunakan. Hasil pengujian kekerasan vulkanisat untuk semua perlakuan sesuai dengan SNI 06-7032-2004 (60 ± 5 Shore A).

Tegangan Putus

Nilai tegangan putus dari data pengujian untuk 4 (empat) sampel vulkanisat pada Gambar 2 terjadi peningkatan yang cukup signifikan untuk perlakuan P_1 dengan P_4 . Pada perlakuan P_1 nilai tegangan putus 188 kg/cm^2 , untuk perlakuan P_4 merupakan nilai tertinggi dari semua perlakuan yaitu 195 kg/cm^2 . Sementara untuk perlakuan P_1 s.d P_3 dari data pengujian kenaikan nilai tegangan putus tidak signifikan atau terjadi secara bertahap. Peningkatan nilai tegangan putus yang terjadi berbanding lurus dengan peningkatan rasio pasir kuarsa yang ditambahkan (Gambar 2).



Gambar 2. Tegangan putus *rubber step* sepeda motor

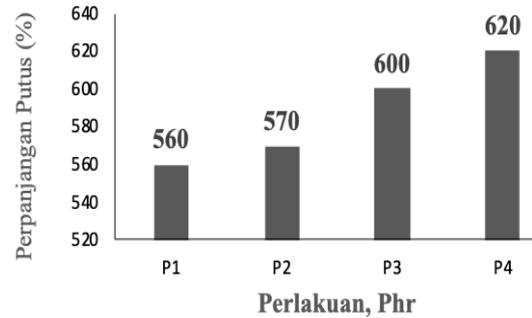
Dengan bertambahnya jumlah pasir kuarsa pada pembuatan kompon karet nilai tegangan putus cenderung lebih tinggi atau nilainya mengalami kenaikan. Perbedaan rasio pasir kuarsa yang ditambahkan dari masing-masing perlakuan terlihat hasilnya berpengaruh terhadap perbedaan nilai tegangan putus

dari vulkanisat yang dihasilkan. Pasir silika dengan proses benefisi dengan metode kimia dapat meningkatkan kualitas SiO_2 hingga mencapai kemurnian tinggi yaitu 98,77% (Suratman dan Handayani, S, 2014). Silika yang terkandung dalam pasir kuarsa dapat meningkatkan ikatan antar matrik karet, sehingga menghasilkan nilai kekuatan tarik yang lebih baik (Fragiadakis *et al.*, 2011).

Pasir kuarsa yang ditambahkan sebagai pengisi pada penelitian ini kemungkinan masih ada bahan pengotor yang tidak terlihat secara visual. Senyawa pengotor yang ada pada pasir kuarsa kemungkinan pada saat pencucian masih belum bersih, senyawa pengotor kemungkinan juga terikat pada butiran pasir kuarsa (Pitriani, 2010). Data hasil penelitian interaksi antara vanadium dengan nikel dan pasir kuarsa menunjukkan pada proses pencucian pasir kuarsa dapat menghilangkan pengotornya (Lesbani, 2011). Kandungan silika yang tinggi dari hasil pencucian pasir kuarsa dapat menghasilkan vulkanisat karet dengan sifat mekanik yang lebih baik. Hasil pengujian nilai tegangan putus untuk semua perlakuan masih memenuhi syarat mutu SNI 06-7032-2004 (min 100 kg/cm^2).

Perpanjangan Putus

Pengujian perpanjangan putus dilakukan untuk mempelajari pengaruh perbedaan rasio pasir kuarsa dari masing-masing perlakuan terhadap perbedaan nilai perpanjangan putus. Hasil pengujian perpanjangan putus sama halnya dengan hasil pengujian tegangan putus yang nilainya mempunyai *trend* kenaikan yang sama yaitu mengikuti peningkatan rasio pasir kuarsa yang ditambahkan (Tabel 1 dan Gambar 3).



Gambar 3. Perpanjangan putus *rubber step* sepeda motor.

Nilai perpanjangan putus tertinggi (620%) diperoleh dari perlakuan P₄, untuk nilai perpanjangan putus terendah (560%) dihasilkan dari perlakuan P₁. Data hasil pengujian menunjukkan, semakin besar penambahan bahan pengisi pasir kuarsa (Table 1) dapat meningkatkan nilai perpanjangan putus (Gambar 3). Hal ini dikarenakan adanya pengaruh ukuran partikel pasir kuarsa yang digunakan dengan ukuran 100 mesh, yang menyebabkan dispersi nya ke matrik polimer tidak baik, sehingga berpengaruh pada fluktuasi nilai dari perpanjangan putus dimana menimbulkan efek yang tidak menguatkan, meskipun pasir kursor mengandung senyawa SiO_2 besar. Menurut Darwis *et al*, 2017, Penelitian tentang pemurnian silika pasir kuarsa menggunakan metode pemurnian yang menghasilkan SiO_2 99,9%, jika jumlah dan penyebarannya tidak merata dalam matriks karet nilai perpanjangan putus yang dihasilkan mengalami perbedaan, namun nilai perpanjangan putus vulkanisat untuk semua perlakuan memenuhi syarat mutu SNI 06-7032-2004 (min 350%).

KESIMPULAN

Penelitian perbedaan jumlah pasir kuarsa dari perlakuan (P₁ s.d P₄) pada pembuatan kompon vulkanisat karet bantalan kaki sepeda motor telah dilakukan. Pasir kuarsa yang telah dibersihkan dan dihaluskan melalui proses penggilingan hingga kehalusan 100 mesh pada penelitian dapat dimanfaatkan untuk bahan pengisi *rubber step* sepeda motor. Hasil

pengujian vulkanisat untuk perlakuan P_1 merupakan formula terbaik yang memenuhi syarat mutu SNI 06-7032-2004 untuk *rubber step* sepeda motor. Pasir kuarsa 60 phr (P_1) dengan karakteristik pematangan kompon $S_{max} = 4,62$ kg/cm, $S_{min} = 0,14$ kg/cm, $\Delta S = 4,48$ kg/cm, $t_{90} = 5,28$ min dan $ts_2 = 4,04$ min, hasil uji kekerasan 57 shore A, tegangan putus 188 kg/cm² dan perpanjangan putus 560 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini peneliti menyampaikan terima kasih kepada Pimpinan Baristand Industri Palembang telah memberikan fasilitas untuk riset, *reviewer*, editor pada Jurnal Dinamika Penelitian Industri atas koreksi, saran yang diberikan, Bapak Dr. Nasruddin., S.T., M.Si yang telah memberikan bimbingan dalam penulisan *manuscript*, Bapak Wahyu dan Bapak Aidil atas bantuannya pada kegiatan lapangan dan laboratorium sehingga selesainya riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, K., Shaikh, S.N., Nudrat, Z.R., and Farzana, H. (2013). The Effect of Silica on The Properties of Marble Sludge Filled Hybrid Natural Rubber Composites. *J. King Saud University-Science*. 25(4): 331-339.
- Bach, Q.V., Cuong, M.V., and Huong, T.V. (2019). Effects of Co-Silanized Silica on the Mechanical Properties and Thermal Characteristics of Natural Rubber/Styrene-Butadiene Rubber Blend. *Silicon*, doi.org/10.1007/s12633-019-00281-8.
- Darwis D, Khaeroni, R and Iqbal I. (2017). Natural Science. *Journal of Science and Technology*. 6(2).
- Foaad, S., Hashim., Mohammad, H.A., Farah, J., and Hamood. (2016). Effect of Silica on the Mechanical Properties of Rubber Reclaim Composite. *International Journal of ChemTech Research*. 9(4): 325-333.
- Fragiadakis, D., Bokobza, L., and Pissis, P. (2011). Dynamics Near The Filler Surface in Natural Rubber-Silica nanocomposites. *Polymer*, 52(14): 3175-3182.
- Frochlich, J., W, Niedermeier, and H.D. Luginsland, (2005). The Effect of Filler Filler and Filler Elastomer Interaction on Rubber Reinforcement. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*. 36(4): 449-460.
- Hadi, Suratman., Munasir, T. (2010). Sintesis Silika Berbasis Pasir Alam Bancar Menggunakan Metode Kopersipitasi, 1-5. Retrieved from <http://doi.org/10.12962/j24604682.v7i2.902>.
- Ku, H., Y and Shao., A. (2011). Riview on The Tensile Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. *Composites Part B: Engineering*. 42(4): 856-873.
- Lesbani, A. (2011). Studi Interaksi Vanadium dan Nikel dengan Pasir Kuarsa. *Jurnal Penelitian Sains*. 14(4) (C).
- Li, Z. H., Zhang, J., and Chen, S, J. (2008). Effect of Carbon Blacks with Various Structures on vulcanization and Reinforcement of Filled Ethylene Propylene-Diene Rubber. *Express Polymer Letters*, 2(10): 695-704.
- Liu, H.P.L., Yuanfang, L., Demin, J., and Weiwen, F. (2007). Novel Blocked Mercaptosilane (3-Propionylthio-1-Propyltrimethoxysilane) for Natural Rubber/Silica Composite Reinforcement in Various Curing Systems. *e-Polymers*, 104: 1-9. Retrieved from <doi.org/10.1515/epoly.2008.8.1.1190>.
- Markovic, G., Radovanovic, B., Marinovic-Cincovic, M., and Budinski-Simendic, J. (2009). The Effect of Accelerators on Curing Characteristics and Properties of Natural Rubber/Chlorosulphonated Polyethylene Rubber Blend. *Materials and Manufacturing Processes*. 24(10-11): 1224-1228.
- Markovic, G., Samarzija-Jovanovic, S., Jovanovic, V., and Marinovic-Cincovic, M. (2010). Thermal Stability of CR/CSM Rubber Blends Filled with Nano- and Micro-Silica Particles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 100(3): 881-888.
- Peng, H., Liu, L., Luo, Y., Hong, H., and Jia, D. (2009). Synthesis and characterization of 3-benzothiazolthio-1-propyltriethoxysilane and Its Reinforcement for Styrene-butadiene

- Rubber/Silica Composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 112: 1967-1973. DOI: 10.1002/app.29634.
- Pitriani, P. (2010). *Sintesis dan Aplikasi Kitosan dari Cangkang Rajungan (Portunus pelagicus) sebagai Penyerap Ion Besi (Fe) dan Ion Mangan (Mn) untuk Pemurnian Natrium Silikat*. (Skripsi). Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Qian, M., Weimin, H., Jinfeng, W., Xiaofeng, W., Weiping, L., and Yanchao, Z. (2019). Surface Treatment Effects on the Mechanical Properties of Silica Carbon Black Reinforced Natural Rubber/Butadiene Rubber Composites. *Polymers*. (11): 1763; doi:10.3390/polym11111763.
- Rachman, A., Frank, E., dan Pius, S. (2012). Karakterisasi Pasir Silika Cibadak Sukabumi sebagai Bahan Baku Pembuatan Ramming Mix Silica. *Majalah Metalurgi*. 27(3): 263-272.
- Rahmaniar. (2015). Karakterisasi Kompon Karet dengan Penambahan Ekstrak Kayu Secang, Silika Pasir Kuarsa dan Kalsium Karbonat Kulit Kerang (Disertasi). Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Rattanasom, N., Prasertsri, S., Ruangritnumchai, T. (2009). Comparison of The Mechanical Properties at Similar Hardness Level of Natural Rubber Filled with Various Reinforcing - Fillers. *Journal of Polymer Testing*. 28(1): 8-12. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2008.08.004>.
- Ripan, K., Biswas., Prosenjit, K., Smita, M., Anoop, K. Mukhopadhyay, Jiten, G., and Muraleedharan. K. (2018). Study of Short Range Structure of Amorphous Silica from PDF using Ag Radiation in Laboratory XRD System, RAMAN and NEXAFS. *J. Non-Crystalline Solids*. 488: 1-9. doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.02.037.
- Suratman dan Handayani, S, (2014). Benefisiasi Pasir Silika Sambiroto dengan Pelindian Secara Kimia dan Biologi. *Indonesian Mining Journal*. 17(3): 134-143.
- Tabaei, T. A., Bagheri, R., and Hesami, M. (2015). Comparison of Cure Characteristics and Mechanical Properties of Nano and Micro Silica-Filled CSM Elastomer. *Journal of Applied Polymer Science*. 132(42): 42668(1-11).
- Thongsang, S., and Sombatsompop, N. (2005). Effect of Filler Surface Treatment on Properties of Fly Ash/Nr Blends. *ANTEC*. 3278-3282.
- Ukhtiyani, I, Darwis D Dan Iqbal (2017). Purifikasi dan Karakterisasi Silika (SiO₂) Berbasis Pasir Kuarsa dari Desa Pasir Putih Kecamatan Pamona Selatan Kabupaten Poso. *Journal of Science And Technology*. 6(3): 270-275.
- Ulfah, L, M., Fidyarningsih, R., Rahayu, S., Fitriani, D, A., Saputra, D, A., Winarto, D, A., and Wisojodharmo, L, A. (2015). Influence of Carbon Black and Silica Filler on the Rheological and Mechanical Properties of Natural Rubber Compound. *Procedia Chemistry*. 16. 258-264.
- Yang, S.Y., Liu, L., Jia, Z.X., Fu, W.W., Jia, D.M., and Luo, Y.F. (2014). Study on The Structure-properties Relationship of Natural Rubber/SiO₂ Composites Modified by a Novel Multi-functional rubber agent. *eXPRESS Polymer Letters*. 8(6): 425-435.
- Zafarmehrabian, R, Gangali, S.T, Ghoreishy, M. H. R. and Davallu, M. (2012). The Effects of Silica/Carbon Black Ratio on The Dynamic Properties of The Tread Compounds in Truck Tires. *E-Journal of Chemistry*. 9(3): 1102-1112.
- Zhong, B., Zhixin, J., Yuanfang, L., and Demin, J. (2015). Surface modification of Silica with N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide for Styrene-butadiene Rubber Composites with Dramatically Improved Mechanical Property. *Materials Letters*. 145: 41-43.