PENGARUH KOMPOSISI DAN UKURAN PARTIKEL PASIR KUARSA TERHADAP KARAKTERISTIK VULKANISASI KOMPON, SIFAT KETAHANAN OZON DAN VISUAL KARET

THE EFFECT OF COMPOSITION AND SIZE OF QUARTZ SAND ON VULCANIZATION CHARACTERISTICS OF COMPOUND, OZONE RESISTANCE AND VISUAL OF RUBBER PROPERTIES

Rahmaniar* dan Mili Purbaya

¹Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, Kementerian Perindustrian, Indonesia

²Balai Penelitian Sembawa, Pusat Penelitian Karet

**main contributor and corresponding author*

¹e-mail : rahmaniar_eeen@yahoo.co.id, mp_plazoe2000@yahoo.com

Diterima : 17 Mei 2019; Direvisi : 17 Mei - 25 Juli 2019; Disetujui : 25 Juli 2019

Abstrak

Pasir kuarsa dengan kandungan silikanya dapat menjadi alternatif filler untuk pembuatan barang jadi karet seperti karet perapat pada katup tabung LPG. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi dan ukuran pasir kuarsa terhadap karakteristik vulkanisasi kompon, sifat ketahanan ozon dan uji visual. Komposisi pasir kuarsa terdiri dari 50, 55 dan 60 phr, sedangkan ukuran partikel pasir kuarsa adalah 100 dan 400 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir kuarsa dengan komposisi 50 phr dan ukuran partikel 400 mesh menghasilkan nilai karakteristik vulkanisasi terbaik dengan nilai torsi maksimum (S_{Max}) 3,85 kg/cm, torsi minimum (S_{Min}) 0,02 kg/cm, waktu pematangan optimum (t_{90}) 5,09 menit dan waktu scorch (t_{s2}) 3,52 menit. Pengujian ketahanan ozon kompon karet dilakukan pada 25 ppm, 20% regangan 40 °C selama 48 jam, dimana tidak ditemukan retak pada sampel dan pengujian secara visual juga tidak ditemukan kecacatan pada kompon.

Kata kunci : karakteristik vulkanisasi, ketahanan ozon, kompon karet, pasir kuarsa

Abstract

Quartz sand with silica content can be an alternative filler for producing natural rubber goods such as rubber seals on LPG tube valves. This study aims to determine the effect of composition and size of quartz sand on vulcanization characteristics of compounds, ozone resistance properties and visual test. The composition of quartz sand consisted of 50, 55, and 60 phr, while the particle sizes were 100 and 400 mesh. The results showed that quartz sand with a composition of 50 phr and particle size of 400 mesh produced the best vulcanization characteristics value with maximum torque (S_{max}) at 3.85 kg/cm, minimum torque at 0.02 kg/cm, and optimum cure time at 5.09 minutes and scorch time at 3.52 minutes. Ozone resistance testing were carried out at 25 ppm, 20% strain 40 °C for 48 hours, the results show that no cracks were found in the samples. Besides, the visual test also found no defects in the compounds.

Keywords : vulcanization characteristics, ozone resistance, rubber compound, quartz sand

PENDAHULUAN

Karet alam memerlukan bahan pengisi penguat (*reinforcing filler*) untuk membentuk kekuatan mekanis yang baik pada vulkanisat diantaranya dapat meningkatkan kekerasan kompon (Ciesielski, 1999). Bahan pengisi adalah campuran dari berbagai material (Rihayat, 2007), dimana efek penguatannya ditentukan oleh ukuran partikel, keadaan permukaan, bentuk, kehalusan butiran

dan penyebaran yang merata pada kompon. Jenis dan jumlah bahan pengisi ditentukan terutama oleh karakteristik produk yang diinginkan dan kelenturannya.

Pada umumnya bahan pengisi penguat yang sering dipakai dalam pembuatan kompon karet adalah *Carbon black (CB)*. Sampai saat ini *Carbon Black (CB)* masih merupakan bahan pengisi yang terbaik dan mempunyai peran penting dalam pembuatan kompon. Hampir 20–25% dari Volume karet

menggunakan *Carbon Black* untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik barang karet yang dihasilkan (Arroyo *et al.*, 2003). Kebutuhan *Carbon Black* (CB) untuk industri di dunia makin meningkat, sementara dalam rangka pengembangan industri hilir karet di Indonesia, negara harus mengimpor *carbon black* dalam jumlah yang banyak dengan harga yang terus meningkat setiap tahunnya (Cifriadi dan Kinarsih, 2014; Rivai dan Erhandy, 2013). Namun akhir akhir ini, berdasarkan pertimbangan ekonomis penggunaan *carbon black* mulai secara bertahap dikurangi dan diganti dengan bahan pengisi lain. Upaya ini dilakukan sebagai usaha menekan biaya pengolahan yang makin tinggi akibat makin mahalnya harga bahan kimia yang digunakan untuk pembuatan kompon karet. Bahan pengisi yang bersumber dari bukan turunan minyak bumi dapat menjadi alternatif filler seperti silika, kaolin, *clay* dan *calcium carbonate*.

Penelitian pembuatan kompon dengan bahan pengisi selain *carbon black* telah banyak dikembangkan, seperti penggunaan biomassa sebagai sumber karbon pengganti *carbon black*. Contohnya arang dari bio massa lignin (Setua *et al.*, 2000), carbon dari sekam padi (Sae-Que *et al.*, 2002), abu baggase/ampas tebu (Kanking *et al.*, 2012), dan golongan mineral montmorillonite (Arroyo, 2007). Selain biomassa, bahan pengisi penguat lain yang dapat digunakan sebagai reinforcement filler adalah silika (Alfa, 2005). Beberapa penelitian yang menggunakan silika sebagai bahan pengisi juga sudah banyak dilakukan seperti pemanfaatan pasir kuarsa untuk bahan pengisi nano composite silika karbida untuk pembuatan kompon ban dalam kendaraan bermotor roda dua (Marlina dan Rahmani, 2012), Nano silika dari pasir kuarsa sebagai filler kompon karet air bag (Siswanto *et al.*, 2012), campuran pasir kuarsa dan kulit kerang untuk kompon (Rahmani, 2015), pemanfaatan pasir kuarsa sebagai bahan pengisi karpet karet (Rahmani dan Nuyah, 2016). Tahapan proses pembuatan barang jadi karet dapat dilakukan dengan cara pembuatan

kompon karet, dengan mencampurkan bahan baku karet, bahan-bahan pembantu dan dilakukan proses vulkanisasi (Baron, 1998).

Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini dikaji penggunaan pasir kuarsa sebagai sumber silika untuk pembuatan kompon karet. Pasir kuarsa dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi karena pasir kuarsa secara teoritis mengandung unsur kimia yang dapat menambah kekuatan ikatan yang terjadi pada komponen barang jadi karet. Pasir kuarsa berasal dari bahan galian yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2) dan dapat digunakan sebagai bahan pengisi (Hadi *et al.*, 2010). Pasir kuarsa juga dikenal dengan nama pasir putih merupakan hasil pelapukan batuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan feldspar (kalium, natrium, dan kalsium alumino silikat). Hasil pelapukan kemudian tercuci dan terbawa oleh air atau angin yang terendapkan ditepi-tepi sungai, danau atau laut. Komposisi yang paling banyak terdapat pada pasir kuarsa adalah Silika dioksida (SiO_2) sebanyak 99,08%, oleh sebab itu pasir kuarsa sering disebut dengan Silika dioksida (SiO_2). Pasir kuarsa merupakan komposisi gabungan dari SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , S , P_2O_5 , TiO_2 , Cr_2O_3 , MnO_2 (Sumarno *et al.*, 2015; Sukandarrumidi, 2018). Dengan kandungan silika yang tinggi, pasir kuarsa dapat menjadi alternatif filler yang dapat memperkuat seal (karet perapat) sehingga dapat mengatasi permasalahan kebocoran gas pada tabung gas LPG.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan kompon karet perapat untuk katup tabung LPG dengan menggunakan bahan pengisi pasir kuarsa. Pengaruh penggunaan pasir kuarsa dipelajari dengan memvariasikan komposisi dan ukuran partikel pasir kuarsa terhadap karakteristik vulkanisasi kompon dan uji ketahanan ozon.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompo 4, pasir kuarsa dengan ukuran partikel 100 dan

400 mesh, bahan pewarna titanium dioksida (TiO_2) dan pigmen hijau, 6 PPD (N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine), seng oksida (ZnO), asam stearat, sulfur, TMTD (tetramethylthiuram disulfide), CBS (N-cyclohexyl-2-benzothiazole Sulfenamide).

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *open mill* L 140 cm D18 cm kapasitas 1 kg, neraca analitis, timbangan metler p120 kapasitas 1200 g, *glassware*, timbangan duduk merek Berkel kapasitas 15 kg, *cutting scraf* besar, alat *press*, cetakan *sheet*, gunting dan alat uji laboratorium.

Rancangan Percobaan

Penelitian dirancang dengan menggunakan 2 faktor, yaitu faktor komposisi pasir kuarsa dan ukuran partikel pasir kuarsa. Formula pembuatan kompon karet terdapat pada Tabel 1.

Tahapan Penelitian

- a. Pembuatan pasir kuarsa 100 dan 400 mesh
Pasir kuarsa dihaluskan dengan *crusher*, pasir kuarsa yang sudah hancur kemudian dipisahkan/diayak dengan menggunakan *sieve shaker* kecepatan 65 rpm, lama waktu 20 menit dengan ukuran partikel yang dihasilkan yaitu 100 mesh dan 400 mesh.
- b. Proses pembuatan kompon karet berdasarkan ASTM D3182 (*Standard Practice for Rubber* (Materials, Equipment, and Procedures). Prosedurnya adalah :
 - a. Penimbangan Bahan yang diperlukan untuk masing-masing formulasi kompon ditimbang sesuai perlakuan. Jumlah dari setiap bahan di dalam formulasi kompon dinyatakan dalam phr (berat per seratus karet).
 - b. Mixing (pencampuran) Proses pencampuran dilakukan dalam gilingan terbuka (*open mill*), yang terlebih dahulu dibersihkan sebelum digunakan. Selanjutnya dilakukan proses :

- Mastikasi karet alam selama 1-3 menit.
- Penambahan bahan-bahan kimia sesuai dengan urutan pencampuran bahan
- Proses vulkanisasi dengan pencampuran belerang untuk mencapai kematangan yang diinginkan.
- Kompon dikeluarkan dari open mill dan ditentukan ukuran ketebalan lembaran kompon dengan menyetel jarak roll pada cetakan *sheet*, dikeluarkan dan diletakkan diatas plastik transparan dan kompon dipotong disesuaikan dengan barang jadi yang akan dibuat.

Kompon karet perapat pada katup tabung LPG yang dihasilkan kemudian dilakukan pengujian karakteristik vulkanisasi kompon dan pengujian sifat ketahanan ozon. Pengujian vulkanisasi kompon (*Curing characteristic*) dilakukan dengan alat *Rheometer* 150 °C sesuai dengan ASTM 5289 (*Standard Test Method for Rubber Property-Vulcanization Using Rotorless Cure Meters*). Pengujian ketahanan ozon kompon karet dilakukan pada 25 ppm, 20% regangan 40 °C selama 48 jam dan uji visual.

Tabel 1. Formula kompon karet dengan variabel filler pasir kuarsa

No	Bahan	A	B	C	D	E	F
1.	Pasir kuarsa	50 phr 100 mesh	50 phr 400 mesh	55 phr 100 mesh	55 phr 400 mesh	60 phr 100 mesh	60 phr 400 mesh
2.	Compo 4, phr	100	100	100	100	100	100
3.	TiO ₂ , phr	5	5	5	5	5	5
4.	Pigmen, phr	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
5.	6PPD, phr	1	1	1	1	1	1
6.	ZnO, phr	5	5	5	5	5	5
7.	Asam stearat, phr	1	1	1	1	1	1
8.	CBS, phr	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
9.	TMTD, phr	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
10.	Sulfur, phr	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Vulkanisasi Kompon

Karakteristik vulkanisasi kompon meliputi torsi maksimum ($S_{\max}$), torsi minimum ($S_{\min}$), delta torsi ($\Delta S = (S_{\max} - S_{\min})$), waktu pematangan optimum (t_{90}), waktu scorch (t_{s2}) dan indeks laju pematangan (CRI/*cure rate index*). Nilai torsi ($S_{\max}$, $S_{\min}$, dan ΔS) memberikan gambaran ikatan silang yang terbentuk pada kompon baik secara fisika maupun secara kimia. Sedangkan waktu vukanisasi (t_{90} , t_{s2} dan CRI) memberikan gambaran vulkanisasi secara kinetik (Tabaei *et al.*, 2015).

Torsi minimum ($S_{\min}$) menunjukkan ukuran viskositas dari sampel yang tidak matang (*uncured*) (Tabaei *et al.*, 2015). Nilai torsi minimum sedikit mengalami peningkatan dengan meningkatnya konsentrasi pasir kuarsa dan semakin kecil ukuran partikel pasir kuarsa (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa viskositas sampel mengalami peningkatan dengan penambahan jumlah filler (pasir kuarsa), dimana pada awal proses, ikatan silang pada karet belum terbentuk, sementara itu penambahan filler akan menghalangi mobilitas dan mencegah proses deformasi rantai karet sehingga meningkatkan nilai torsi minimum. Peningkatan nilai torsi minimum juga menunjukkan peningkatan luas permukaan spesifik filler yang terdapat di dalam kompon (Li *et al.*, 2008)

sehingga menghalangi mobilisasi sebagian besar rantai karet, hal ini memberikan efek penguatan (*reinforcement*) kompon.

Torsi maksimum ($S_{\max}$) dapat digunakan untuk mengetahui viskositas maksimum dan *stiffness* dari sampel yang telah mengalami vulkanisasi secara sempurna, nilai ini juga menunjukkan densitas ikatan silang yang terjadi (*crosslink density*) (Markovic *et al.*, 2009). Delta torsi (ΔS) merupakan gambaran derajat ikatan silang (*degree of crosslink*) (Markovic *et al.*, 2010).

Nilai torsi maksimum dan delta torsi menurun dengan semakin kecilnya ukuran partikel pasir kuarsa, sedangkan penambahan jumlah pasir kuarsa dapat meningkatkan nilai torsi maksimum walaupun peningkatan nilainya tidak terlalu optimal. Hal ini dapat terjadi dikarenakan silica yang terkandung di dalam pasir kuarsa memiliki ikatan hidrogen intermolecular yang sangat kuat diantara gugus fungsional hidroksil pada permukaan silica, sehingga membentuk agregat yang sangat kuat (Ulfah *et al.*, 2015), akibatnya derajat ikatan silang yang terbentuk tidak optimal sehingga nilai torsi maksimum maupun delta torsi mengalami penurunan. Hal ini dapat dihindari jika menggunakan coupling

agent seperti silane (Ansarifar and Nijhawan, 2000).

Berdasarkan tabel 2, waktu pematangan optimum (t_{90}) dan waktu scorch (t_{s2}) akan mengalami penurunan dengan penambahan konsentrasi pasir kuarsa dan semakin kecilnya ukuran partikel pasir kuarsa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel pasir kuarsa maka semakin besar luas permukaan reaksi sehingga waktu yang scorch dan waktu pematangan optimum dapat dicapai dengan waktu yang lebih singkat. Perlakuan B memiliki waktu pematangan yang paling singkat jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sehingga perlakuan ini dapat menjadi perlakuan yang optimal dalam pembuatan formulasi karet perapat pada katup tabung LPG.

Tabel 2. Karakteristik vulkanisasi kompon

Sampel kompon	S_{max} (Kg/cm)	S_{min} (Kg/cm)	ΔS (Kg/cm)	t_{90} (min, sec)	t_{s2} (min, sec)
A	5,18	0,02	5,16	6,15	4,27
B	3,85	0,02	3,83	5,09	3,52
C	5,46	0,01	5,35	5,87	3,89
D	3,67	0,05	3,47	5,19	3,65
E	5,8	0,01	5,79	5,23	3,36
F	3,39	0,08	3,31	5,28	4,11

Laju reaksi vulkanisasi dapat dilihat dari indeks laju pematangan (CRI) yang didapat. Gambar 1 menyajikan indeks laju pematangan dari masing-masing perlakuan. Penambahan konsentrasi pasir kuarsa dan semakin kecil ukuran partikel pasir kuarsa ternyata dapat meningkatkan indeks laju vulkanisasi kompon atau dengan kata lain mempercepat laju vulkanisasi. Pasir kuarsa mengandung silica dengan gugus fungsional acidic hydroxyl, siloxane dan silanol, dimana gugus fungsional ini dapat menyerap akselerator (CBS dan TMTD) pada permukaan ikatan hidrogennya sehingga menghambat fungsi akselerator, akibatnya memperlambat laju pematangan kompon (Tabaei *et al.*, 2015).

Gambar 1. Indeks laju vulkanisasi (CRI) dengan beberapa perlakuan

Hal ini dapat terjadi pada ukuran pasir kuarsa yang lebih besar, tetapi pada ukuran pasir kuarsa yang lebih kecil, indeks laju pematangan kompon akan semakin meningkat karena luas permukaan reaksi semakin besar sehingga silica tidak akan menyerap akselerator, akibatnya laju pematangan kompon akan semakin cepat begitu pula dengan pembentukan ikatan silang pada kompon.

Sifat Ketahanan Ozon dan Uji Visual

Salah satu persyaratan mutu vulkanisat karet kompon bahan untuk karet perapat (SNI 7655:2010) adalah uji ketahanan terhadap ozon. Dimana karet perapat yang telah melalui uji ketahanan ozon tidak akan tampak adanya retakan (tanpa pembesaran). Uji ketahanan ozon terhadap kompon dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut ternyata semua perlakuan menghasilkan kompon karet yang tahan terhadap ozon, dimana tidak ditemukannya retakan pada semua sampel yang diuji. Selain itu, uji visual juga menunjukkan bahwa tidak ditemukannya tanda-tanda cacat pada kompon vulkanisat yang diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa semua perlakuan dapat memenuhi standar persyaratan SNI untuk karet perapat.

Sifat ketahanan ozon yang dimiliki oleh kompon disebabkan penggunaan bahan anti degradasi yaitu 6PPD. Silika yang terkandung dalam pasir kuarsa bersifat polar dan dapat menyerap 6PPD dengan optimal sehingga dapat memberi lapisan yang dapat melindungi karet dari

degradasi karena ozon (Ignatz-Hoover *et al*, 2012).

Tabel 3. Uji ketahanan ozon

No	Properties	Perlakuan					
		A	B	C	D	E	F
1.	Ketahanan ozon, 25 pphm, 20% regangan 40°C selama 48 jam.	Tidak tampak ada retakan					
2.	Uji visual	Tidak ada cacat					

KESIMPULAN

Secara umum hasil uji vulkanisat karet kompon dengan bahan pengisi pasir kuarsa diperoleh perlakuan terbaik pada kombinasi perlakuan 50 phr pasir kuarsa dengan ukuran partikel 400 mesh. Karakteristik vulkanisasi untuk perlakuan ini adalah : S.Max : 3,85 kg/cm, S.Min : 0,02 N/mm², S.Max-S.Min : 3,83 kg/cm, Opt. Cure time (t₉₀) : 5,09 menit dan scorch time (t_{s2}) : 3,52 menit. Kompon yang dihasilkan juga memiliki sifat tahan terhadap degradasi ozon dan menghasilkan uji visual tidak ada cacat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Baristand Industri Palembang atas fasilitas pelaksanaan penelitian, kepada tim pelaksana penelitian, para *reviewer* dan editor jurnal atas masukan yang telah diberikan untuk penyempurnaan tulisan ini.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian untuk bahan pengisi untuk pembuatan barang jadi karet dari sumber yang dapat di perbaharui lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansarifar, M. A., and Nijhawan, R. (2000). Effect of Silane on Properties of Silica Filled Natural Rubber Compounds. *Journal of Rubber Research*, 3(3), 169-184.
- Arroyo, M. (2007) Morphology/behavior relationship of nanocomposites based on natural rubber/epoxidized natural

rubber blends. *Composites science and technology*. 67(7):p.1330-1339.

- Arroyo, M., Lopez-Manchado, M., and Herrero, B. (2003). Organo-montmorillonite as a substitute of carbon black in natural rubber compounds. *Polymer*, 44(8), 2447-2453.
- Baron, H. D. (1998). Van Nostrand Company Inc. New York. USA.
- Ciesielski, A. (1999). *An Introduction to Rubber Technology*. Nippon Gomu Kyokaishi (Vol.69). Shawbury, Shrewsbury, Shropshire SY4 4NR, United Kingdom: RAPRA Technology Ltd.
- Cifriadi, A., dan Kinarsih. N.A. (2014). Perkembangan Industri *Nano Filler* Untuk Industri Karet di Indonesia. *Warta Perkaretan*, 33(2), 113-120.
- Hadi, Suratman., Munasir., dan T. (2010). *Sintesis Silika berbasis Pasir Alam Bancar menggunakan Metode Kopresipitasi*, 1-5.
- Ignatz-Hoover, F., Killmeyer, D., and To, B. H. (2012). Aging Characteristics of Carbon Black Filled vs Silica Filled Compound. *KGK Rubberpoint*, 65(5), 43-48.
- Kanking, Niltui, Wimolmala., and Sombatsompop. (2012). Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica of carbon black filled natural rubber compound. *Material and Design*. 41:p74-82.
- 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.
- Marlina, P., dan Rahmianar. (2012). Penggunaan Bahan Pengisi Nanokomposit Silika Karbida pada Pembuatan Kompon Ban dalam Kendaraan Bermotor Roda Dua. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri vol 23 no.2*.
- 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.

- Rahmaniar, Amin Rejo, Gatot Priyanto dan Basuni Hamzah. (2015). Karakterisasi Kompon Karet dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Secang, Pasir Kuarsa dan Kulit Kerang. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. Vol. 25(3), 227-238.
- Rahmaniar dan Nuyah. (2016). Pemanfaatan Pasir Kuarsa sebagai Bahan Pengisi dalam Pembuatan Karpas Karet. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 27(2).
- Rihayat. (2007). Sintesa dan Karakteristik Sifat Mekanik Karet Nano Komposit. *Rekayasa Kimia dan Lingkungan*.
- Rivai, M. M., & Erhandy, D. (2013). Kebijakan Dan Hukum Persaingan Usaha Yang Sehat: Sinergitas Kawasan Asean di Era Globalisasi. *Jurnal Liquidity*, 2(2).
- Sae-Qui, P., C. Rakdee, and P. Thanmathorn (2002), Use of rice husk ash as filler in natural rubber vulcanizates: In comparison with other commercial fillers. *Journal of Applied Polymer Science*, 83(11): p.2485-2493.
- Setua D., Shukla M., Nigam V, Singh H and Mathur, G. (2000). Ligninreinforced rubber composites. *Polymer composites*. 21(6). 988-995.
- Siswanto, Hamzah M, Mahendra A. Fausiah. (2012). Perekayasa nano silika berbahan baku silika lokal sebagai filler kompon karet rubber air bag peluncur kapal dari galangan. *Prosiding Insinas Jakarta*
- Sukandarrumidi. (2018). *Bahan Galian Industri*. Gadjah Mada University Press.
- Sumarno, Novarita, P., Januarty, M., dan Yuniarti, Y. (2015). Pemurnian Pasir Silika dengan Metode Leaching Asam dan Bantuan Sonikasi. *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Tabaei, T, A., Bagheri, R., and Hesami, M. (2015). Comparison of Cure Characteristics and Mechanical Properties of Nano and Micro Silica-Filled CSM Elastomers. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(42), 1-11.
- 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.