

BAHAN PENGISI SUMBER DAYA ALAM LOKAL DALAM PEMBUATAN VULKANISAT SEAL TUTUP RADIATOR

LOCAL NATURAL RESOURCES FILLER IN MAKING OF RADIATOR CAP SEAL VULCANIZED

Hari Adi Prasetya

Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang
Jalan Perindustrian II No. 12 Sukarami KM. 09 Palembang 30152
e-mail : hariadiprasetya@yahoo.co.id

Diterima: 10 September 2017; Direvisi: 27 Oktober 2017; Disetujui: 21 November 2017

Abstrak

Arang aktif cangkang sawit dapat digunakan sebagai bahan pengisi alternatif dalam pembuatan vulkanisat seal tutup radiator. Arang cangkang sawit merupakan limbah proses pengolahan kelapa sawit dan sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arang aktif cangkang sawit terhadap sifat mekanik vulkanisat seal tutup radiator dan mendapatkan konsentrasi terbaik untuk mencegah pengerasan karet seal tutup radiator. Pengaruh konsentrasi arang aktif cangkang sawit (35, 45, 55 dan 65 phr) pada masing-masing konsentrasi terhadap kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus, ketahanan usang (perubahan kekerasan, tegangan putus dan perpanjangan putus) dan ketahanan sobek dievaluasi. Penelitian eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial Faktorial dan setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat terbaik yang memenuhi persyaratan seal tutup radiator komersial menggunakan 45-55 phr arang aktif cangkang sawit. Kisaran konsentrasi tersebut menunjukkan sifat mekanik untuk kekerasan 68-71 Shore A, tegangan putus 131-139 N/mm², 447-450% untuk perpanjangan putus, tanpa perbedaan yang signifikan sebelum dan sesudah pengusangan, dan 40-42 kg/cm untuk ketahanan sobek.

Kata kunci : arang aktif cangkang sawit, bahan pengisi, seal tutup radiator, sifat mekanik, vulkanisat.

Abstract

Activated charcoal palm shell can be used as a filler in the manufacture of vulcanized cap seal radiator. Palm shell charcoal is a waste processing of palm oil and renewable resources. This research aimed to determine the effect of activated charcoal palm shell on the mechanical properties of the vulcanisate radiator cap seal and to obtain the best concentration to prevent the hardening of the radiator cap seal. The effect of activated charcoal palm shell concentrations (35, 45, 55 and 65 phr, respectively) on the hardness, tensile strength, elongation at break, ageing resistance (change of hardness, tensile strength, elongation at break) and tear resistance were evaluated. The experimental research used non Factorial Completely Randomized Design and each treatments was replicated three times. The results showed that the best properties fulfilled the requirements of commercial radiator cap seal was using of 45-55 phr of activated charcoal palm shell. This range showed the mechanical properties of: 68-71 Shore A in hardness, 131-139 N/mm² in tensile strength, 447-450 % for elongation at break, with no significant difference before and after ageing, and 40-42 kg/cm for the tear resistance.

Keywords : activated charcoal palm shell, filler, radiator cap seal, mechanical properties, vulcanized.

PENDAHULUAN

Karet alam adalah bahan utama yang digunakan dalam pembuatan barang jadi karet. Karet alam memiliki kelebihan yaitu

tahan terhadap temperatur yang ekstrim, memiliki ketahanan terhadap bahan-bahan kimia, bersifat tahan air, memiliki ketahanan terhadap sinar ultra violet, tidak mudah terdegradasi sehingga sangat cocok sebagai

bahan dalam pembuatan ban (Bhuvanewary, and Thaehil, 2008) penumpukan panas yang rendah, fleksibilitas yang sangat baik dan ketahanan terhadap dorongan dan sobekan serta dapat diperbaharui. Namun, karet alam tidak bisa digunakan secara sendiri untuk pembuatan barang jadi karet, sehingga pembuatan barang jadi karet memerlukan penambahan bahan aditif agar senyawa karet dapat diproses dan divulkanisir dengan baik untuk memperbaiki sifat kompon karet yang akan dibuat barang jadi karet. Bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan kompon karet meliputi akselerator, aktivator, pengisi, antidegradasi, pelunak dan vulkanisator.

Bahan pengisi merupakan salah satu bahan tambahan yang terpenting dalam pembuatan kompon karet. Bahan pengisi ditambahkan dalam formulasi karet untuk mengoptimalkan karakteristik yang dibutuhkan dalam pembuatan barang jadi karet yang diinginkan. Keuntungan penggunaan bahan pengisi penguat dalam pembuatan vulkanisat karet, meningkatkan sifat fisiko-mekanik yang lebih baik seperti sifat tarik, kekerasan, dan proses pembuatan lebih ekonomis. *Carbon black* merupakan bahan pengisi penguat yang paling banyak digunakan dalam industri karet, berasal dari minyak bumi dan tidak terbarukan. Penelitian mencari alternatif sumber daya alam yang ramah lingkungan semakin meningkat, ketersediaan yang banyak, dan kemudahan modifikasi kimia dan mekanik.

Penggunaan bahan pengisi dari sumber daya alam lokal yaitu cangkang sawit yang merupakan limbah dari industri *crude palm oil* (CPO) dapat digunakan sebagai pengganti *carbon black* dengan terlebih dahulu diproses menjadi arang aktif. Pemanfaatan sumber daya alam yang terbarukan dengan prinsip ekoefisien, yaitu tidak merusak ekosistem dan lebih efisiensi dapat tetap menjamin kelangsungan sumber daya alam tersebut dan akan memberikan manfaat bagi kelangsungan hidup manusia untuk jangka yang lebih panjang.

Penelitian bahan pengisi karet sudah banyak dilakukan, diantaranya penelitian pengaruh bahan pengisi arang aktif tempurung

kelapa dan nano silika sekam padi terhadap kompon karet (Marlina *et al*, 2014), hasil penelitian karakteristik kompon karet, yaitu kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus memenuhi syarat mutu kompon karet komersil. Penelitian ampas tebu terhadap perubahan karakteristik kompon ban dalam kendaraan bermotor (Prasetya, 2012). Hasil penelitian menunjukkan penggunaan bahan pengisi ampas tebu berpengaruh nyata terhadap kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus, ketahanan sobek, pampatan tetap dan ketahanan usang kompon karet. Penelitian pengaruh suhu karbonasi bahan pengisi kulit ubi berpengaruh terhadap sifat fisiko-mekanis dari komposit seperti sifat kuat tarik kompon karet (Stella *et al*, 2011). Penelitian penggunaan abu kernel sawit sebagai bahan pengisi penguat (Egwaikhide *et al*, 2007), hasil penelitian menunjukkan karakteristik kompon karet yang dihasilkan memenuhi standar mutu kompon karet. Penelitian Ansarifer *et al* (2005), melakukan penelitian penggunaan bahan pengisi nano silika amorf, hasil penelitian terjadinya peningkatan kompresi set, tegangan putus dan ketebalan pada penambahan bahan pengisi nanosilika amorf. Penelitian Nasution dan Limbong, (2017), penggunaan arang cangkang sawit sebagai bahan pengisi dalam pembuatan kompon karet, hasil penelitian menghasilkan kuat tarik dan perpanjangan putus yang lebih kuat namun kekerasan yang rendah. Penelitian pemanfaatan arang cangkang sawit sebagai bahan pengisi kompon karet (Nuyah, 2012), perbandingan konsentrasi carbon black dan arang cangkang sawi dalam pembuatan kompon karet menghasilkan kekerasan, tegangan putus dan ketahanan sobek yang baik, berdasarkan karakteristik kompon karet komersil.

Penggunaan arang cangkang sawit dalam memperkuat karet alam yang berfungsi sebagai bahan pengisi pengganti potensial untuk karbon hitam di industri karet, terutama dalam produksi barang jadi karet. Ketersediaan melimpah karena cangkang sawit sebagai limbah hasil pengolahan kelapa sawit. Selain itu, cangkang sawit mengandung selulosa sebesar 45% dan hemiselulosa 26%

yang baik untuk dimanfaatkan sebagai arang aktif (Rasmawan 2009).

Radiator adalah bagian pendingin pada mesin yang bersikulasi saat mesin bekerja. *Seal* radiator merupakan salah satu bentuk diversifikasi produk barang jadi karet yang digunakan pada kendaraan bermotor. Dalam penggunaannya, seal radiator harus memiliki ketahanan terhadap panas dan tekanan. Salah satu kelemahan dari seal radiator adalah terjadinya pengerasan akibat perubahan temperatur, sehingga sifat elastisnya menurun. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya kebocoran pada tutup radiator.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka untuk mengatasi pengerasan seal radiator, pada penelitian ini digunakan arang cangkang sawit sebagai bahan pengisi yang ditambahkan pada saat pembuatan kompon *seal* tutup radiator. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh arang cangkang sawit terhadap sifat mekanik vulkanisat seal tutup radiator dan untuk mendapatkan konsentrasi terbaik penambahan arang aktif cangkang sawit sebagai bahan pengisi untuk mencegah terjadinya pengerasan pada seal radiator.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Bahan - bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Karet SIR 20, SBR (Styrena Butadiena Rubber), arang cangkang sawit, MBTS (Marcapto Benzhoathizole Disulfida), TMTD (Tetra Metil Thiuram Disulfida), ZnO, asam stearat, minyak minarek, TMQ (Trimetyl Quinon).

Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah timbangan metler p1210 kapasitas 1200 g, timbangan duduk merek Berkel kapasitas 15 kg, open mill L 40 cm D18 cm kapasitas 1 kg, *cutting scraf* besar dan alat press.

Metoda Penelitian

Rancangan Percobaan

Desain penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan Rancangan Acak

Lengkap (RAL) non faktorial, dengan perlakuan variasi konsentrasi bahan pengisi arang aktif cangkang sawit, berturut-turut sebesar: 35, 45, 55 dan 65 phr, dan masing-masing perlakuan diulang 3 (tiga) kali.

Tahapan Penelitian :

Pembuatan Bahan Pengisi Arang Aktif Cangkang Sawit (Kurniati, 2008)

Cangkang sawit yang telah dikeringkan dikarbonisasi dalam furnace pada suhu 400 °C selama 0,5 jam. Arang yang terbentuk direndam dalam larutan H₃PO₄ dengan konsentrasi 9% volum, dengan perbandingan 1:15 dalam beaker glass selama 22 jam, disaring. Kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C. Arang aktif dibiarkan dingin, lalu digerus hingga membentuk serbuk, dan diayak dengan ukuran partikel 400 mesh.

Prosedur Pembuatan Kompon Karet

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).

Mixing (pencampuran)

Proses pencampuran dilakukan dalam gilingan terbuka (*open mill*), yang terlebih dahulu dibersihkan sebelum digunakan. Selanjutnya dilakukan proses :

Mastikasi SIR 20 konsentrasi 80 phr selama 1-3 menit, dilanjutkan mastikasi SBR (20 phr) selama 1-3 menit. Pencampuran karet dengan bahan kimia (pembuatan kompon karet/vulkanisasi), yaitu Bahan pengisi arang aktif cangkang sawit (sesuai rancangan percobaan), pelunak minyak minarek (10 phr), ditambahkan, Anti oksidan TMQ (1,5 phr) ditambahkan, dipotong setiap sisi sampai 3 kali selama 2-3 menit, penggiat/aktivator ZnO (5 phr) dan asam stearat (2 phr) ditambahkan, dipotong setiap sisi, satu sampai tiga kali selama 2-3 menit. Bahan pencepat MBTS (0,7 phr) dan TMTD (0,7 phr) ditambahkan, digiling selama 2 – 3 menit. Kemudian vulkanisator sulfur (2,5 phr) ditambahkan dan giling selama 2-3 menit. 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 *seal* tutup radiator yang akan dibuat.

Peubah yang diamati

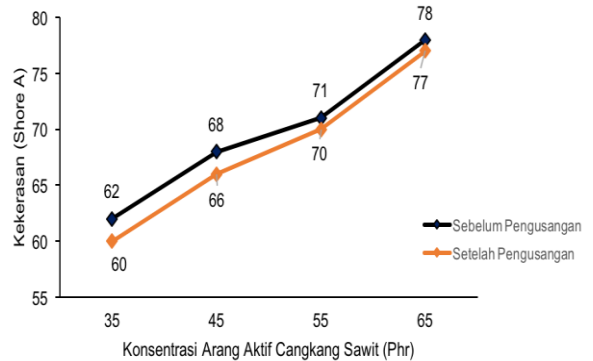
Peubah yang diamati dalam penelitian ini meliputi parameter kekerasan, tegangan putus, ketahanan usang selama 24 jam, suhu 108 °C (perubahan kekerasan, tegangan putus dan perpanjangan putus) dan ketahanan sobek.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanik Vulkanisat Seal Tutup Radiator

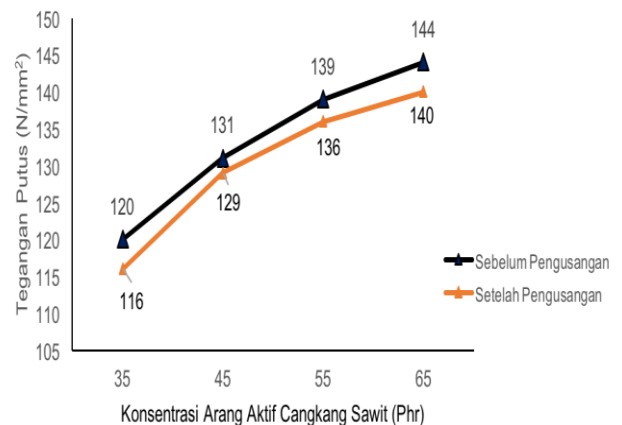
Pengaruh konsentrasi bahan pengisi arang aktif cangkang sawit terhadap kekerasan vulkanisat seal tutup radiator disajikan pada Gambar 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan vulkanisat sebelum dan sesudah pengusangan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi arang aktif cangkang sawit, yang mengindikasikan adanya peningkatan kekakuan komposit dengan penggabungan bahan pengisi arang aktif cangkang sawit ke dalam matriks karet. Selain itu ukuran partikel berpengaruh terhadap kekerasan vulkanisat karet. Hal ini karena ukuran partikel yang semakin kecil memberikan luas permukaan dan penguatan yang lebih besar (Zhang *et al*, 2000). Arang cangkang sawit memungkinkan memiliki aktivitas permukaan yang sangat tinggi, akibat adanya aktivasi arang cangkang sehingga menghasilkan gugus aktif OH, yang memberikan penguatan lebih besar jika dibandingkan dengan arang cangkang sawit tanpa aktivasi. Arang aktif hasil aktivasi memiliki gugus aktif hidroksil (OH) (Kurnia, 2008), sehingga akan terjadi interaksi antara gugus hidroksil pada permukaan arang dengan molekul karet. Dengan demikian, tren yang diamati menunjukkan bahwa aktivitas permukaan dan interaksi matriks-filler polimer adalah faktor penting yang mengendalikan kekerasan. Karet alam membentuk ikatan

adsorptif yang kuat dengan carbon (Ahmad *et al.*, 2004).



Gambar 1. Kekerasan Vulkanisat Seal Radiator

Selain itu, kekerasan meningkat dikarenakan peningkatan ikatan silang pada vulkanisat. Kekerasan vulkanisat yang memenuhi dapat ditingkatkan dengan memperbaiki reaktivitas permukaan dan permukaan pengisi, dispersi pengisi dan interaksi matriks polimer karet dan bahan pengisi (Poh *et al*, 2002). Perlakuan yang memenuhi standar mutu sesuai seal radiator komersil kekerasan 70±5 Shore A, didapat pada perlakuan C2 (Konsentrasi arang aktif cangkang sawit 45 phr) dan C3 (Konsentrasi arang aktif cangkang sawit 55 phr). Pengaruh arang cangkang sawit terhadap tegangan putus vulkanisat seal radiator disajikan pada Gambar 2.

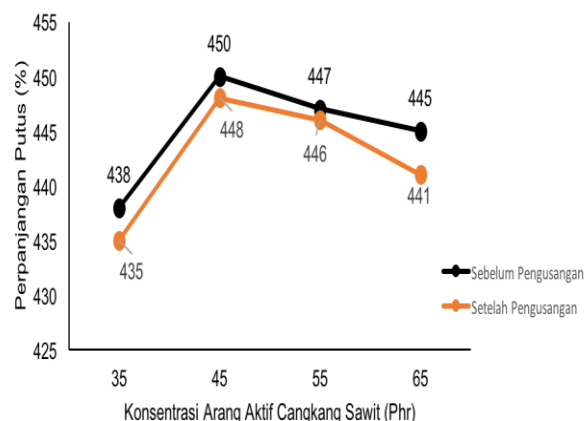


Gambar 2. Tegangan Putus Vulkanisat Seal Radiator

Gambar 2 menunjukkan pengaruh konsentrasi arang aktif cangkang sawit terhadap tegangan putus vulkanisat *seal radiator*. Semakin tinggi konsentrasi arang aktif cangkang sawit semakin besar nilai tegangan putus sebelum dan sesudah pengusangan. Adanya dispersi bahan pengisi arang aktif cangkang sawit dan interaksi bahan pengisi dengan matrik karet yang lebih baik. Selain itu adanya kemampuan bahan pengisi arang aktif cangkang sawit yang mengandung gugus hidroksi (OH) bereaksi dengan gugus aktif pada molekul karet untuk membentuk ikatan silang baru antar molekul yang mempunyai efek antioksidan. Ikatan silang baru mempunyai ketahanan oksidasi yang lebih baik. Secara kimia terbentuk ikatan antara karet dengan gugus fungsional arang aktif (Marlina *et al*, 2014). Efektivitas bahan pengisi dapat diukur dengan kandungan karbonnya. Bahan pengisi dengan kandungan karbon lebih tinggi, memberikan penguatan lebih besar daripada yang memiliki kandungan karbon lebih rendah karena karbon itu sendiri adalah pengisi penguat yang sangat baik (Okieimen dan Imanah, 2003). Selain itu tegangan putus dipengaruhi oleh ukuran partikel pengisi, luas permukaan pengisi dan geometri pengisi (Mishra dan Shimpi, 2005). Perlakuan yang memenuhi standar mutu sesuai seal radiator komersil (tegangan putus minimal 129 N/mm²), didapat pada perlakuan C2 (Konsentrasi arang aktif cangkang sawit 45 phr), C3 (Konsentrasi arang aktif cangkang sawit 55 phr) dan C4 (Konsentrasi arang aktif cangkang sawit 65 phr).

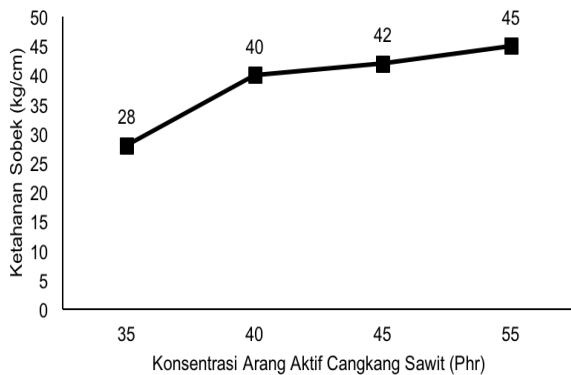
Pengaruh konsentrasi arang aktif cangkang sawit terhadap perpanjangan putus vulkanisat *seal radiator* disajikan pada Gambar 3. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi konsentrasi arang aktif cangkang sawit, semakin menurun nilai perpanjangan putus sebelum dan setelah pengusangan. Secara umum, penggabungan bahan pengisi atau penguat (inert) ke karet alam menghasilkan penurunan perpanjangan putus vulkanisat karet (Jhon dan Samuel, 2010). Tren penurunan perpanjangan putus dengan meningkatnya konsentrasi bahan pengisi arang aktif cangkang sawit disebabkan oleh

peningkatan kekakuan dan kerapuhan, yang menurunkan ketahanan terhadap peregangannya komponen karet. Penurunan perpanjangan putus disebabkan karena terbentuknya ikatan-ikatan antara molekul karet dengan gugus hidroksi pada permukaan arang aktif cangkang sawit. Banyaknya ikatan yang terbentuk akan mengurangi keeluasaan gerak rantai polimer, menyebabkan viskositas komponen meningkat, komponen menjadi kaku, keras dan elastisitasnya turun (Chuayjulit *et al.*, 2004; Phrommedetch dan Pattamaprom, 2010). Perlakuan yang memenuhi standar mutu sesuai *seal radiator* komersil (perpanjangan putus minimal 445%), didapat pada perlakuan C2 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 45 phr) dan C3 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 55 phr).



Gambar 3. Perpanjangan Putus Vulkanisat Seal Radiator

Pengaruh arang aktif cangkang sawit terhadap ketahanan sobek vulkanisat *seal radiator* disajikan pada Gambar 4. Ketahanan sobek berkaitan dengan energi pemutusan. Sifat-sifat tersebut dapat ditingkatkan dengan menambah ikatan silang hingga mencapai tingkat kerapuhan tertentu.



Gambar 4. Ketahanan Sobek Vulkanisat Seal Radiator

Berdasarkan Gambar 4, semakin tinggi konsentrasi arang aktif cangkang sawit, semakin meningkat nilai ketahanan sobek vulkanisat *seal radiator*. Peningkatan interaksi bahan pengisi arang aktif cangkang sawit dengan molekul karet akan meningkatkan ketahanan sobek vulkanisat. Hal ini disebabkan karena gugus aktif hidroksil bahan pengisi yang dapat menyebabkan distribusi yang merata bahan pengisi pada matrik karet. Selain itu, semakin tinggi konsentrasi bahan pengisi maka partikel bahan pengisi akan semakin banyak mengisi ruang antara rantai karet dan meningkatkan ikatan mekanis di antara keduanya, sehingga ketahanan sobek meningkat (Ahmad *et al*, 2014). Ketahanan sobek dipengaruhi oleh luas permukaan bahan pengisi, semakin besar luas permukaan bahan pengisi, ketahanan sobek akan semakin tinggi. Meningkatnya ikatan silang antara senyawa karet dengan bahan pengisi, berpengaruh terhadap peningkatan ketahanan sobek vulkanisat (Ajam *et al*, 2016). Perlakuan yang memenuhi standar mutu sesuai seal radiator komersil (ketahanan sobek minimal 39 kg/cm), didapat pada perlakuan C2 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 45 phr), C3 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 55 phr) dan C4 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 65 phr).

KESIMPULAN

Penggunaan bahan pengisi arang aktif cangkang sawit berpengaruh terhadap sifat

mekanik vulkanisat *seal radiator*, meliputi kekerasan, tegangan putus, perpanjangan putus, ketahanan usang dan ketahanan sobek. Perlakuan terbaik yang memenuhi persyaratan karet *seal radiator* komersil adalah Perlakuan C2 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 45 phr) dan perlakuan C3 (konsentrasi arang aktif cangkang sawit 55 phr). Sifat mekanik vulkanisat seal radiator untuk perlakuan C2, dengan nilai kekerasan 68 Shore A, tegangan putus 131 N/mm², perpanjangan putus 450%, ketahanan usang (kekerasan 66 Shore A, tegangan putus 129 N/mm² dan perpanjangan putus 448%) dan ketahanan sobek 40 kg/cm. Sifat mekanik vulkanisat seal radiator untuk perlakuan C3, dengan nilai kekerasan 71 Shore, tegangan putus 139 N/mm², perpanjangan putus 447%, ketahanan usang (kekerasan 70 Shore A, tegangan putus 136 N/mm² dan perpanjangan putus 446%) dan ketahanan sobek 42 kg/cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Suyatno (Fungsional Litkayasa) dan Ibu Mimi Kurnia Yusya (Fungsional Penguji Mutu Barang) yang telah membantu kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A, Mohd. D.H., and Abdullah. I. (2004). Mechanical properties of filled NR/LLDPE blends, *Iranian Polymer Journal*. 13(3) : 173-178.
- Ahmed, J.K., Mohammed, H., Al-maamori., Mohammed Al, H. (2014). 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.
- Ajam, A.M., Sameer, H.A., and Mohammed A.M. (2016). Effect Of Reclaim Rubber Loading On The Mechanical Properties Of Sbr Composites. *International Journal Chemist Sci*, 14(4) : 2439-2449.
- Ansarifar, A., Shiah, S.F., and Bennett, M. (2005). Optimizing The Chemical Bonding Between Silanized Silica Nanofiller and Natural Rubber and Assessing Its Effects on The Properties of

- The Rubber. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 26(6) : 454-463.
- Bhuvanewary, M.G and Thaehil, E.T. (2008) Blends of Natural Rubber with Unsaturated Polyester Resin. *International Journal of Polymeric Materials*. 57(1-12).
- Chuayjuljit, S., Eiumnoh, S., Potiyaraj, P. (2004). Using Silica from Rice Husk As A Reinforcing Filler In Natural Rubber. *Journal of Sci*. 26 (2): 127-138.
- Egwaikhide, P.A., Akporhonor, E.E., and Okieimen, F.E. (2007). An Investigation on The Potential of Palm Kernel Husk As Fillers In Rubber Reinforcement. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2(1) : 28-32.
- John, O.O., and Samuel, I.A. (2010). Potential of Carbonized Bagasse Filler In Rubber Products. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. 1(2) : 157-160.
- Kurniati. E. (2008). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Arang Aktif. *Jurnal Penelitian Ilmu Teknik*. 8(2) : 96 – 103.
- Marlina, P, Pratama, F, Hamzah, B., dan Pambayun, R. (2014). Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Karakteristik Kompon Karet dengan Bahan Pengisi Arang Aktif Tempurung Kelapa dan Nano Silika Sekam Padi. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. 25 (1) : 41-49.
- Mishra. S and Shimpi. NG. (2005). Mechanical Properties of Flame-Retardant Properties of Styrene-Butadiene Rubber Filled with CaCO₃ As A Filler and Linseed Oil As An Extender, *Journal of Appl Polym Sci*, 98(6) : 2563-2571.
- Nuyah. (2012). Penggunaan Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pengisi Dalam Pembuatan Kompon Selang Karet. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri (Journal of the Dynamics of Industrial Research)*, 23(1) : 53 – 56.
- Okieimen, F.E., and Imanah, J.E. (2003). Characterization of Agricultural Waste Products As Fillers In Natural Rubber Formulation. *Journal of Polym Techno*, 3(1) : 201-207.
- Phrommedetch, S., and Pattamaprom, C. (2010). Compatibility Improvement of Rice Husk and Bagasse Ashes With Natural Rubber By Molten-State Maleation. *Europe Journal of Sci Research*. 43 (3): 411-416.
- Prasetya, H.A. (2012). Pengaruh Ukuran Partikel Arang Ampas Tebu Terhadap Karakteristik Vulkanisasi Kompon Ban Luar Kendaraan Bermotor Roda Dua. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri (Journal of the Dynamics of Industrial Research)*. 23(2) : 12 – 20.
- Poh, B.T., H. Ismail., and K.S. Tan. (2002). Effect of Filler Loading on Tensile and Tear Properties of SMR L/ENR 25 and SMR L/SBR Blends Cured Via A Semi-Efficient Vulcanization System. *Polymer Testing* 21(7), 801–806.
- Stella, U, Lawrence, O.E., Ayo, M.D. (2011). Effect of Carbonization Temperature of Filler on The Tensile Properties of Natural Rubber Compounds Filled with Cassava (*Manihot Esculenta*) Peel Carbon. *The Pacific Journal of Sci and Techno*. 12(1) : 339-343.
- Zainal, A.N dan Limbong, H.P. (2017). Pemanfaatan Serbuk Arang Cangkang Kelapa Sawit sebagai Substitusi Carbon Black Untuk Bahan Pengisi Kompon Karet. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 11(1) : 66 – 75.
- Zhang, L., Wang, V, Sin, Y., and Yu, D. (2000). Morphology and Mechanical Properties of Clay/Styrene-Butadiene Rubber Nanocomposites. *Journal of Applied Polym Sci*. 78(11) : 1873-1878.