

## Morfologi dan Sifat Karet Alam Vulkanisat yang Diperkuat dengan *Filler Hybrid Carbon Black/Abu Sawit*

Bahrudin, Zulfansyah, dan Lili Saktiani

Laboratorium Teknologi Bahan Alam dan Mineral  
Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293  
E-mail: bahrudin@unri.ac.id

### Abstract

Palm based fly ash is a solid waste of palm oil processing industry which contains silica components. These components are typically used to improve the mechanical properties of rubber-based products. This research aim to study the effects of hybrid filler rate and mass ratio of carbon black/fly ash to morphology and properties of rubber vulcanizate. The rubber compounds were prepared using the two-roll mill at rate of hybrid filler was varied from 30 to 50 phr (per hundred rubbers). Mass ratio of carbon black/fly ash was varied 100/0; 70/30; 50/50; 30/70 and 0/100. Other additives include ZnO 5 phr, stearic acid 2 phr, trimethylquinone 1 phr, mercaptodibenzo-thiozylsulfide 0.6 phr, sulfur 3 phr and minarex as plasticizer 2.5 phr. The mixing was conducted at room temperature with the roll speed of 20 rpm. The rubber vulcanizate samples were prepared using hot press at temperature of 150 °C and pressure of 50 kg/cm<sup>2</sup>. The morphological study on cryogenically fractured samples was performed using scanning electron microscopy. The tensile strength and elongation at break were measured by ISO 527-2 type 5A standard. The results indicate that the using of hybrid filler of carbon black/fly ash could improve the morphology and the properties of the rubber vulcanizate significantly. Incorporation of the filler on to the vulcanized ameliorated uniformity of phases distribution and promote good adhesion between phases. At the filler rate of 30 phr and carbon black/fly ash mass ratio of 70/30, the tensile strength was found to be 19.6 MPa with the elongation at break of 1500 % and elastic modulus of 0.75 MPa.

Keywords: *carbon black, filler hybrid, fly ash, natural rubber, vulcanizate*

### 1. Pendahuluan

Karet alam (NR) adalah salah satu jenis polimer alam dan merupakan komoditi alam Indonesia yang berlimpah. Bahan ini biasanya digunakan dalam bentuk karet vulkanisat atau karet termoset (KT), seperti ban, bantalan dan lain-lain. Peningkatan sifat mekanik KT biasanya dilakukan dengan penambahan bahan isian (*filler*), seperti carbon black atau silika komersial. Motivasi utama dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan bahan-bahan limbah padat pabrik kelapa sawit (PKS) sebagai bahan substitusi *filler* komersial yang dapat digunakan dalam industri NR dan mengembangkannya menjadi produk-produk baru yang bernilai ekonomi sekaligus ramah lingkungan. Produk-produk komersial yang dibuat dari karet alam biasanya dalam bentuk karet vulkanisat atau karet termoset (KT). Karet vulkanisat merupakan suatu

bahan baku produk yang berbahan dasar karet dengan penambahan *filler* yang tahan terhadap suhu ekstrim, memiliki ketahanan terhadap bahan-bahan kimia, bersifat tahan air, memiliki ketahanan terhadap sinar UV dan tidak mudah terdegradasi (Graham dan Zang, 2011).

Karet vulkanisat digunakan dalam pembuatan ban, yaitu sekitar 70 % lebih dari karet alam dunia dan hanya sekitar 30% konsumsi karet alam yang digunakan untuk non ban, seperti: sol sepatu, balon, alas kaki, kondom dan lain-lain. Karet vulkanisat sangat cocok digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan ban, oleh karena itu karet vulkanisat berpotensi untuk terus dikembangkan (Chapman, 2007). Penelitian mengenai karet vulkanisat telah banyak dilakukan dengan variabel berbeda-beda seperti dengan memvariasikan kadar asam asetat (Chukwu dkk, 2011) dan jenis akselerator yang digunakan (Susamma dkk, 2002). *Filler* yang digunakan pada penelitian se-

belumnya juga bermacam-macam, seperti dengan menggunakan karet yang telah didaur ulang yang dilakukan oleh Ogunniyi dan Mureyani (2001) dan Kumnuantip dan Sombatsompop (2005), silika komersil yang dilakukan oleh Hildayati dkk (2009) dan Alexander dkk (2007), abu ampas tebu oleh Osarenmwinda dkk (2010), dan abu sekam padi oleh Nasution (2006). Selain itu ada juga yang menggunakan *filler carbon black* dan karet sintesis EPDM seperti yang dilakukan Li dkk (2008). *Filler hybrid carbon black/silika* juga telah digunakan oleh Saowapark (2005) dan Susamma dkk (2002), yang menunjukkan terjadi peningkatan sifat mekanik dari produk karet vulkanisat. Isaac dan Augustina (2011) menggunakan *filler* tidak aktif yaitu *snail shell powder* yang mengandung  $\text{CaCO}_3$ . Namun *filler* tersebut tidak berpengaruh secara signifikan untuk meningkatkan sifat mekanik karet vulkanisat.

Bahan FA merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan pada proses pembakaran cangkang sawit di unit *boiler* di pabrik kelapa sawit (PKS). Bahan ini banyak mengandung unsur silika, yaitu sekitar 50% (Zahrina, 2007). Pemanfaatan FA sebagai *filler* sangat potensial mengingat ketersediaannya yang cukup besar dan berkesinambungan. Seperti di Propinsi Riau-Indonesia, saat ini terdapat sekitar 116 PKS yang menghasilkan sekitar 100.000 ton FA/tahun (PTPN V, 2011). Permasalahan yang masih perlu diselesaikan secara teknologi adalah bagaimana menjadikan bahan FA tersebut kompatibel dengan bahan NR. Hal tersebut perlu dicarikan solusinya sehingga dapat dihasilkan suatu material KT dengan spesifikasi teknis yang dapat diterima secara komersial. Jika hal ini dapat dicapai, akan berdampak sangat positif dalam mengurangi biaya produksi material KT dan sekaligus membantu mengurangi permasalahan limbah FA dari PKS.

Pada penelitian ini digunakan *filler hybrid* dari campuran *carbon black* dan abu sawit. Penggunaan *filler hybrid* ini diharapkan dapat menghasilkan morfologi dan sifat karet vulkanisat yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan masing-masing *filler* tersebut secara konvensional. Hal tersebut dapat dicapai jika masing-masing *filler* tersebut mampu mempertahankan keunggulan dari sifatnya masing-masing (*hybrid*) dalam produk karet vulkanisat.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Bahan

Karet alam yang digunakan adalah jenis SIR-20, diproduksi oleh PT Hervenia Kampar Lestari, Riau. Abu sawit yang digunakan berukuran 200 mesh yang telah dioven pada suhu 110 °C selama 1 jam yang berasal dari pabrik CPO Sarikat Putra Riau, Indonesia. Selain abu sawit, pada penelitian ini juga digunakan *filler carbon black* tipe N330 dengan diameter rata-rata partikel 31 nm yang diproduksi oleh PT Arzeta Chemical Bandung dan silika. Sulfur digunakan sebagai *curative agent*, diproduksi oleh PT. Ganda Mekar, Indonesia. Mercapto-dibenzo thiazole-disulfide (MBTS) digunakan sebagai akselerator, diproduksi Nanjing Chemical Plant, China. *Zinc oxide* digunakan sebagai aktivator, produksi Global

Chemical, Thailand. Asam stearat digunakan sebagai ko-aktivator, produksi PT Sumi Asih Oleochemical Industry, Indonesia. *Trimethylquinone* (TMQ) tipe Flectol TMQ digunakan sebagai *anti degradant*, produksi oleh Flexys, Jerman. *Minarex* digunakan sebagai *plasticizer*, diproduksi oleh PT. Pertamina (persero) Pulogadung.

### 2.2. Alat

Peralatan yang digunakan untuk pembuatan kompon karet yaitu *roll mill* dengan spesifikasi: *control speed Toshiba UF-S9* 400 volt, 3,7 kw; motor Teco 1440 rpm, 5 hp; diameter roll 10 cm dan panjang roll 35 cm. Untuk proses vulkanisasi sekaligus pembentukan slab digunakan *Hot Press* dan *Cold Press* jenis *Gonno Hydraulic Press*, kapasitas 210 kg/cm<sup>2</sup>. Peralatan yang digunakan untuk menguji spesimen meliputi: *Universal Testing Machine*, model UCT-5T produksi Orientec Co. Ltd dengan metode standar berdasarkan ISO 527-2 yang digunakan untuk pengujian sifat mekanik dan *analytical scanning electron microscope* tipe JSM-6360LA, produksi JEOL Jepang untuk pengamatan morfologi

### 2.3. Penyiapan Kompon

Kompon dibuat dengan menggunakan *roll mill* yang dilakukan pada suhu ruang. Kompon karet merupakan campuran yang terdiri dari SIR-20, *filler*, *plasticizer* (*minarex*), ZnO, asam stearat, TMQ, MBTS, dan sulfur. Urutan proses pencampuran yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kadar *filler hybrid* yang digunakan pada penelitian ini 30 dan 50 phr dengan rasio massa *carbon black*/abu sawit 100/0; 70/30; 50/50; 30/70; dan 0/100. Selain itu juga digunakan *filler silica* sebagai pengontrol. Ukuran abu sawit yang digunakan  $\geq 200$  mesh. Pembentukan *slab* dilakukan dengan menggunakan *hot press* pada suhu 150 °C selama  $\pm 10$  menit dengan tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup> dan *cold press* pada suhu ruang selama  $\pm 5$  menit dengan tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 1.** *Schedule* Pencampuran Material untuk Kompon Karet menggunakan *Roll Mill*

Aktivitas	Jumlah (phr)	Waktu pencampuran (menit)
Mastikasi karet	100	15
Penambahan <i>plasticizer</i>	2,5	5
Penambahan <i>filler</i>	30 dan 50	20
Penambahan ZnO	5	15
Penambahan asam stearat	3	5
Penambahan TMQ	1	3
Penambahan MBTS	0,6	2
Penambahan sulfur	3	3
<i>Finishing</i>	-	5

### 2.4. Pengujian Morfologi (SEM)

Sebelum pengujian morfologi dengan menggunakan SEM dilakukan, sampel direndam terlebih dahulu dalam nitrogen cair. Hal ini bertujuan untuk menghindari perubahan bentuk permukaan sampel ketika dipatahkan,

karena bagian yang akan diuji adalah pada permukaan patahan dari sampel. Selanjutnya sampel dilapisi dengan emas untuk menghindari timbulnya muatan elektrostatis pada saat dilakukan pengujian. Hasil pengujian SEM berupa *micrograph* dengan 4 perbesaran, 100, 1000, 2500 dan 5000 kali perbesaran. Hasil SEM ini digunakan untuk mengamati distribusi *filler* dan interaksi *filler* dengan karet.

## 2.5. Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik meliputi: kuat tarik, *elongation at break* dan *modulus elastic*. Penyiapan sampel dilakukan dalam dua tahap, yaitu pembuatan lembaran (*slab*) dan pemotongan lembaran tersebut menjadi spesimen uji. Pembuatan slab menggunakan *hot press* dan *cold press* jenis *Gonno Hydraulic Press*, kapasitas 210 kg/cm<sup>2</sup>. Ukuran spisel yang digunakan adalah 14 x 14 cm dengan ketebalan 1,8 mm. Kondisi operasi pada saat pembuatan *slab* yaitu tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu 150 °C. Selanjutnya merupakan pemotongan *slab* menjadi spesimen uji dengan menggunakan alat potong *dumbbell* sesuai standar ISO 527-2 tipe 5A. Seluruh spesimen yang telah dipotong dibiarkan pada suhu ruang selama 2 x 24 jam sebelum dilakukan uji tarik. Pengujian sifat mekanik ini menggunakan *universal testing machine* berdasarkan ISO 527-2. Spesimen ditarik dengan kecepatan 500 mm/menit.

## 2.6. Pengujian Serapan Air

Sampel dipotong kecil-kecil dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Sampel tersebut ditimbang beratnya terlebih dahulu dan direndam dalam *aquadest* pada suhu kamar dan ditimbang dengan selang waktu 24 jam. Perendaman ini terus dilakukan hingga massa dari sampel tersebut konstan. Berat konstan sesudah perendaman dikurangi dengan berat sebelum perendaman sehingga dengan begitu diketahui kadar serapan airnya (Ismail dkk, 2001). Persentase serapan air ini dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air} = \frac{W_b - W_k}{W_k} \times 100\%$$

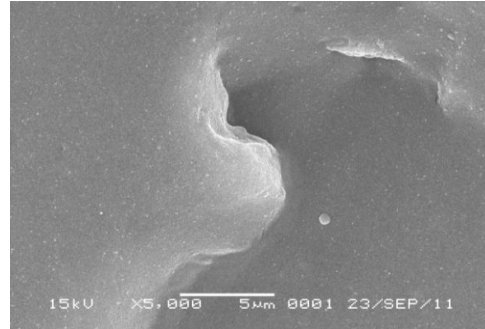
dimana :  $W_k$  = berat sampel kering (gr)

$W_b$  = berat sampel setelah direndam air (gr)

## 3. Hasil dan Pembahasan

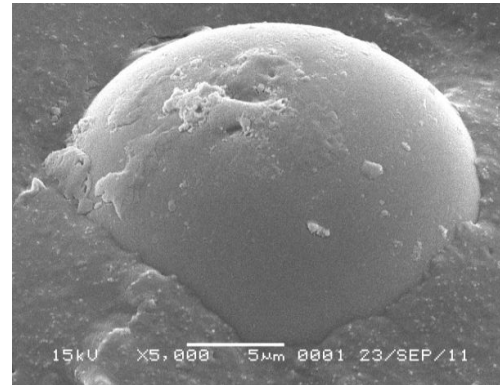
### 3.1. Morfologi

Micrograph SEM karet vulkanisat dengan rasio massa *filler hybrid carbon black/abu sawit* 100/0 dan kadar *filler* 30 phr ditunjukkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat dilihat penyebaran *filler* yang merata pada NR, rongga kosong yang terlihat dari gambar juga lebih sedikit dibanding sampel karet vulkanisat lainnya. Hal ini menyebabkan nilai rata-rata *tensile strength* yang dihasilkan juga baik, yaitu 20,7 MPa. Ukuran partikel *carbon black* yang kecil meningkatkan kemampuan *filler* untuk berinteraksi atau kontak dengan NR



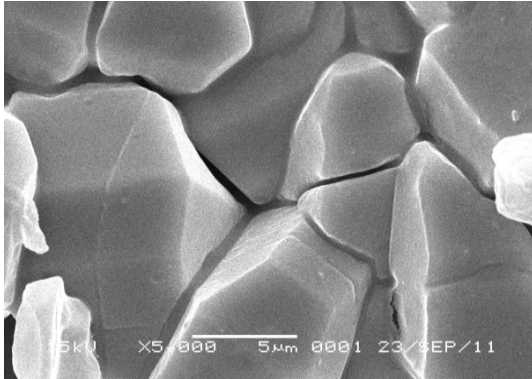
Gambar 1. Micrograph SEM Karet Vulkanisat dengan Rasio Massa Filler Hybrid Carbon Black/Abu Sawit 100/0 dan Kadar Filler 30 phr

Pada karet vulkanisat dengan rasio massa *filler hybrid carbon black/abu sawit* 50/50 dan kadar *filler* 30 phr, penyebaran *filler* cukup merata. Pada Gambar 2 terlihat partikel silika yang berinteraksi atau kontak dengan karet, hanya sedikit terdapat rongga kosong. Hal ini berpengaruh terhadap nilai *tensile strength* karet vulkanisat tersebut, dimana *tensile strength* yang dihasilkan lebih rendah dari karet vulkanisat dengan rasio massa *carbon black/abu sawit* 100/0 yaitu 18,5 MPa.

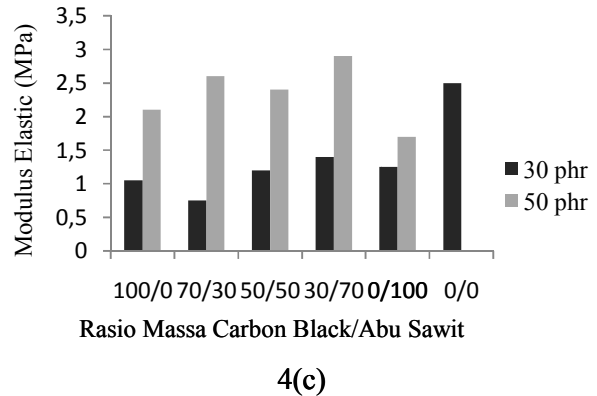


Gambar 2. Micrograph SEM Karet Vulkanisat dengan Rasio Massa Filler Hybrid Carbon Black/Abu Sawit 50/50 dan Kadar Filler 30 phr

Sementara pada karet vulkanisat yang menggunakan silika dengan kadar *filler* 30 phr, *filler* tidak terdistribusi dengan baik. Terjadi aglomerasi *filler* hingga karet vulkanisat terlihat pecah-pecah seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan suhu pada saat mastikasi yang menyebabkan sebagian karet mengalami pra-vulkanisasi sehingga karet mengalami kejenuhan. Ketika silika berinteraksi dengan karet, masih banyak terlihat rongga-rongga kosong yang mengakibatkan nilai *tensile strength* yang diperoleh lebih rendah daripada karet vulkanisat dengan variasi rasio massa *filler* lainnya, yaitu 6,5 MPa.



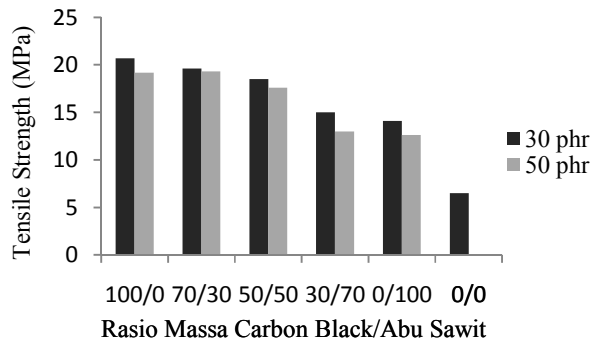
**Gambar 3.** Micrograph SEM Karet Vulkanisat dengan Kadar Silika 30 phr



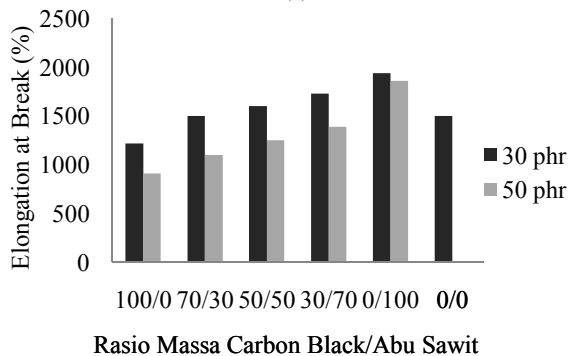
**Gambar 4.** Pengaruh Kadar *Filler* dan Rasio Massa *Filler Hybrid* terhadap Sifat Mekanik Karet Vulkanisat

3.2. Sifat Mekanik

Sifat mekanik karet vulkanisat dengan menggunakan *filler hybrid carbon black/abu sawit* (30 dan 50 phr) ditunjukkan pada Gambar 4(a), 4(b) dan 4(c). Dari Gambar 4(a), 4(b) dan 4(c) dapat dilihat pengaruh rasio *filler hybrid* pada karet vulkanisat terhadap *tensile strength*, *elongation at break* dan *modulus elastic*.



4(a)



4(b)

Sifat *tensile strength* mengalami peningkatan sebanding dengan peningkatan kadar *carbon black* dari *filler* tersebut. Pada kadar *filler hybrid* 30 dan 50 phr, sampel yang memiliki rasio massa *filler hybrid carbon black/abu sawit* 70/30 memiliki *tensile strength* terbesar yaitu 19,6 dan 19,3 MPa, *elongation at break* 1500 dan 1100 % dan *modulus elastic* 0,75 dan 2,6 MPa. Hal ini dikarenakan ukuran partikel dari *carbon black* lebih kecil daripada abu sawit. Ukuran partikel yang kecil ini menyebabkan luas permukaan *carbon black* lebih besar sehingga terjadi kontak atau interaksi yang lebih baik antara *filler hybrid* yang mengandung *carbon black* lebih banyak dengan polimer (Wang dkk, 2001). Begitu juga pada karet vulkanisat dengan kadar *filler hybrid* 50 phr.

Untuk *tensile strength* terendah terdapat pada sampel dengan rasio massa *carbon black/abu sawit* 0/100, yaitu 14,1 dan 12,6 MPa, *elongation at break* 1940 dan 1860 %, dan *modulus elastic* 1,25 dan 1,7 MPa. Namun jika dibandingkan dengan karet vulkanisat yang menggunakan *filler carbon black*, *tensile strength* yang diperoleh pada karet vulkanisat dengan *filler carbon black* ini lebih besar. Hal ini karena ukuran partikel *carbon black* yang lebih kecil dibanding dengan abu sawit. Dan jika dibandingkan dengan karet vulkanisat yang menggunakan *filler silika*, *tensile strength* yang diperoleh pada karet vulkanisat yang menggunakan silika jauh lebih rendah. Selain dikarenakan ukuran partikel yang lebih besar dibanding *carbon black*, silika juga cenderung membentuk aglomerasi karena bersifat polar.

Gugus hidroksil yang dimiliki silika akan berusaha membentuk ikatan hidrogen dengan molekul silika atau material kimia lain yang bersifat polar (Saowapark, 2005). *Tensile strength* karet vulkanisat yang dihasilkan berbanding terbalik dengan *elongation at break* yang diperoleh. *Elongation at break* meningkat sebanding dengan peningkatan kadar abu sawit yang digunakan. *Carbon black* akan meningkatkan *elongation at break* jika ditinjau dari interaksi *filler carbon black* dan polimer yang lebih kuat. Namun struktur dari *carbon black* yang besar dapat meningkatkan viskositas dari karet vulkanisat sehingga kemampuan *carbon black* untuk meningkatkan *elongation at break* menjadi berkurang. Dari sampel karet

vulkanisat yang dihasilkan seluruhnya dapat direkomendasikan sebagai material karet vulkanisat yang baik digunakan sebagai kompon ban dalam kendaraan bermotor (kecuali karet vulkanisat yang menggunakan *filler* silika) karena memiliki rata-rata nilai *tensile strength* yang lebih besar dari 11,8 MPa dan *elongation at break* besar dari 500 % (SNI 06-1542-2006).

Sampel karet vulkanisat dengan *filler hybrid* yang memiliki *modulus elastic* tinggi terdapat pada rasio *carbon black*/abu sawit 30/70 (*filler* total 30 phr) dan silika pada *filler* total 50 phr. *Modulus elastic* karet vulkanisat dipengaruhi oleh kadar *carbon black* yang digunakan. Ukuran yang kecil dari partikel *carbon black* menyebabkan *modulus elastic* meningkat (Saowapark, 2005). Namun pada penelitian ini diperoleh nilai *modulus elastic* yang tidak stabil karena peningkatan *modulus elastic* juga dipengaruhi oleh adanya peningkatan ikatan *crosslink* yang dihasilkan dari proses vulkanisasi dan/atau pengubahan ikatan polisulfida menjadi ikatan mono dan disulfida (Saowapark, 2005).

### 3.3. Uji Serapan Air

Persentase serapan air meningkat sebanding dengan peningkatan kadar abu sawit yang digunakan sebagai *filler*. Abu sawit memiliki kadar silika yang cukup tinggi. Menurut Saowapark, kadar silika yang tinggi cenderung meningkatkan kadar air yang terserap karena silika bersifat *hydropscopic*. Persentase serapan air pada karet vulkanisat lebih besar pada kadar *filler* 50 phr karena massa abu sawit yang digunakan lebih besar. Namun persentase serapan air tersebut sebagian besarnya masih memenuhi standar, yaitu berkisar 0,8 sampai dengan 3 %.

## 4. Kesimpulan

Sifat mekanik dan morfologi yang baik meningkat sebanding dengan peningkatan kadar *carbon black* didalam *filler hybrid* dan kadar *filler hybrid* dengan kadar 30 phr memberikan sifat dan morfologi yang lebih baik dibanding penggunaan *filler* dengan kadar 50 phr. Karet vulkanisat dengan sifat mekanik terbaik diperoleh pada saat rasio massa *filler hybrid carbon black*/abu sawit 70/30 kadar *filler hybrid* 30 phr, dengan *tensile strength* 19,6 MPa, *elongation at break* 1500 % dan *modulus elastic* 0,75 MPa. Karet vulkanisat yang dihasilkan dapat direkomendasikan sebagai bahan kompon ban dalam kendaraan bermotor (SNI 06-1542-2006) dan sebagai kompon sol sepatu (SNI 12-0172-1987).

## Daftar Pustaka

- Alexander, M., P. Kurian, dan E. T. Thachil. 2007. Effectiveness of Cardanol as Plasticizer for Silica-Filled Natural Rubber. *Proquest Science Journals*. 1(23): 43-45.
- Chapman, A. V. 2007. Natural Rubber and NR-based Polymers: Renewable Materials with Unique Properties. Tun Abdul Razak Research Centre. Malaysian Rubber Board

- Chukwu M. N., Madufor I. C., Ayo M. D, dan Ekebafé L. O. 2011. Effect of Stearic Acid Level on the Physical Properties of Natural Rubber Vulcanizate. *The Pacific Journal of Science and Technology*. 1(12): 344-350.
- Graham dan Zhang. 2008. Rubber Products-Thermoset Rubber <http://www.chinamould.com>. Diakses pada 18 Februari 2011.
- Hildayati, Triwikantoro, Heny. F, dan Sudirman. 2009. Sintesis dan Karakteristik Bahan Komposit Karet Alam-Silika. *Seminar Nasional Pascasarjana*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Isaac, O. I dan A. E. Augustina. 2011. Studies on Mechanical and End-Use Properties of Natural Rubber Filled with Snail Shell Powder. *Materials Sciences and Application*. (2): 802-810.
- Ismail, H. Salmah, dan M. Nasir. 2001. Dynamic Vulcanization of Rubberwood-Filled Polypropylene/Natural Rubber Blend. *Polymer Testing*. (20): 819-823.
- Kumnuantip, C dan Sombatsompop N. Effect of Recycled Rubber Content in NR/Carbon Black Vulcanizates Using Microwave Irradiation System. King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT). pp 3211-3215.
- Li Z. H., Zhang J, dan Chen S. J. Vulcanization and Reinforcement of Filled Ethylene-Propylene-Diene Rubber. *eXPRESS Polymer Letters*. 10(2): 695-700.
- Nasution, D.Y. 2006. Pengaruh Ukuran Partikel dan Berat Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Kuat Sobek, Kekerasan dan Ketahanan Abrasi Kompon. *Tugas Akhir*. Universitas Sumatera Utara.
- Ogunniyi, D. I dan Mureyani M, "Properties of Rubber Compounds Containing Powdered Vulcanized Waste. *Iranian Polymer Journal*. 3(10): 143-147.
- Osarenmwinda J. O, dan Abode S. I. Potential of Carbonized Bagasse Filler in Rubber Products. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*. 2(1): 157.
- PT. Perkebunan Nusantara V. 2011. Material Balance Pengolahan Kelapa Sawit. Pekanbaru.
- Saowapark, T. 2005. Reinforcement of Natural Rubber with Silica/Carbon Black Hybrid Filler. *Thesis*. Mahidol University.
- Susamma A. P., Kurian M, dan Kuriakose A. P. A New Binary Accelerator System for Filled natural Rubber Vulcanization. *Iranian Polymer Journal*. 5(11): 311-323.
- Wang, M. J., P. Zhang, dan K. Mahmud. 2001. Carbon-Silica Dual Phase Filler, A New Generation Rein-

- forcing Agent For Rubber. *Rubber Chemistry and Technology*. 74(1): 124-128.
- Zahrina, I. 2007. Pemanfaatan Abu Sabut dan Cangkang Sawit sebagai Sumber Silika pada Sintesis Zsm-5 dari Zeolit Alam. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 6(2): 31-34.