

PENGARUH UKURAN PARTIKEL NANO SULFUR TERHADAP SIFAT FISIK KARET KOMPONEN KENDARAAN BERMOTOR

(THE INFLUENCE OF NANO PARTICLE SIZE FROM SULFUR ON THE PHYSICAL CHARACTERISTIC OF THE RUBBER COMPOUND OF VEHICLE)

Rahmaniar dan Popy Marlina (Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang)
Jl. Kapten A. Rivai No. 72 / 1975 Palembang
rahmaniar_ee@yahoo.co.id; popy_marlina@yahoo.co.id

ABSTRAK

Bahan pemvulkanisasi adalah sejenis bahan kimia yang dapat bereaksi dengan gugus aktif molekul karet pada proses vulkanisasi, membentuk ikatan silang antar molekul karet sehingga terbentuk jaringan tiga dimensi. Belerang (sulfur) merupakan bahan pemvulkanisasi dalam pembuatan kompon karet. Proses vulkanisasi membutuhkan waktu yang lama. Untuk memperpendek waktu vulkanisasi, maka akan dilakukan penelitian yang menggunakan sulfur berukuran nano pada proses vulkanisasi. Tujuan penelitian untuk memperoleh formulasi kompon karet dengan aplikasi nano sulfur pada proses vulkanisasi untuk membuat karet komponen kendaraan bermotor yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 (dua) faktor, kombinasi 8 (delapan) perlakuan dan 3 (tiga) kali ulangan. Faktor pertama adalah variasi suhu vulkanisasi (140 °C dan 170 °C), dan faktor kedua adalah variasi ukuran sulfur (40 nm, 60 nm, 80 nm dan 400 nm). Parameter yang diuji kekerasan, tegangan putus, ketahanan kikis dan berat jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, variasi suhu vulkanisasi dan ukuran sulfur, serta interaksi keduanya berpengaruh nyata terhadap kekerasan, tegangan putus, ketahanan kikis dan berat jenis karet komponen kendaraan bermotor. Suhu 140 °C dengan variasi nano yang semakin kecil, akan mempercepat waktu kematangan kompon. Perlakuan terbaik diperoleh pada variasi suhu 140 °C dan ukuran sulfur 60 nm (T_s), dengan karakteristik karet komponen kendaraan bermotor untuk kekerasan 70 Shore A, tegangan putus 173 N/cm², ketahanan kikis 173,6 mm² dan density 1,220 g/cm³.

Kata kunci : Kompon karet, nano sulfur, vulkanisasi, karet komponen kendaraan bermotor.

ABSTRACT

The vulcanization material is a chemical material that be able to react with active line of rubber molecules in vulcanizations formed the cross bond between rubber molecules so three dimensions network is formed. Sulfur is the vulcanization material in the process of rubber compound. The vulcanization needs longer time. To short the vulcanization, then we will do the research using nano size sulfur in vulcanization process. The objectives of the research were to obtain the rubber compound formulation with nano sulfur application in vulcanization process to produce vehicle rubber compound that will fulfilled the standard specification. The experimental research used Factorial Completely Randomized Design with two factors as treatments, and each combination was replicated three times. The first factor is the variation of vulcanization temperature (140° C and 170° C) and the second factor is the variation of sulfur size (40nm,60nm,80nm, and 400nm). Tested parameters are hardness, tensile strength, modulus, elongation at break, abrasion resistance, tear resistance and density of rubber compound from the vehicle. The result shows that the variation of vulcanizations temperature and the sulfur size, with both interaction effected the hardness, tensile strength, abrasion resistance and density of rubber compound from the vehicle. The best treatment is obtained in temperature variation 140 °C and sulfur size 60 nm (T_s), with compound rubber characteristic of vehicle for hardness 70 shore A, tensile strength 173 N/cm², abrasion resistance 173,6 mm² and density 1,220 g/cm³.

Keywords : Rubber compound, nano sulfur, vulcanizations, the rubber compound of Vehicle.

PENDAHULUAN

Karet merupakan bahan baku dalam pembuatan barang jadi karet. Ada dua jenis karet yang biasa digunakan dalam industri yaitu karet alam dan karet sintesis. Karet alam memiliki daya elastis atau daya lenting yang sempurna, memiliki plastisitas yang baik, tidak

mudah panas dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan. Karet sintesis lebih tahan terhadap berbagai bahan kimia dan harganya relatif stabil (Riyadhy, 2009).

Karet dalam keadaan mentah tidak dapat dibentuk menjadi barang jadi karet yang layak digunakan karena tidak elastis dan mempunyai

banyak kelemahan. Agar dihasilkan barang jadi karet yang layak digunakan, terlebih dahulu dibuat kompon karet dengan cara mencampurkan karet dengan bahan kimia lain lalu divulkanisasi (Wahyudi, 2005).

Bahan pemvulkanisasi adalah sejenis bahan kimia yang dapat bereaksi dengan gugus aktif molekul karet pada proses vulkanisasi, membentuk ikatan silang antar molekul karet sehingga terbentuk jaringan tiga dimensi. Belerang (sulfur) adalah bahan kimia yang paling banyak digunakan pada vulkanisasi berbagai jenis karet (Abednego, 1995). Sulfur dalam bentuk aslinya adalah sebuah zat padat kristalin kuning. Di alam, sulfur dapat ditemukan sebagai unsur murni atau sebagai mineral-mineral *sulfide* dan *sulfate* (Riyadhy, 2009). Pada proses vulkanisasi terjadi perubahan karet yang semula plastis menjadi elastis. Tetapi reaksi antar molekul berlangsung sangat lambat, memerlukan waktu beberapa jam, dengan penambahan bahan pencepat dan bahan penggiat, maka waktu vulkanisasi dapat dipersingkat menjadi beberapa menit. Dalam penelitian ini akan digunakan sulfur yang berukuran nano sebagai bahan vulkanisasi dalam pembuatan barang jadi karet.

Nanoteknologi merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan teknologi yang berkaitan dengan materi super kecil (nano partikel) dimana ukuran sulfur yang digunakan menjadi lebih kecil (antara 1 hingga 100 nanometer) sehingga dengan memperkecil ukuran sulfur, maka akan diperoleh luas permukaan yang lebih besar, maka pencampuran antara bahan utama karet dengan bahan penunjang lainnya akan lebih baik dan homogen, sehingga reaksi kimia antara partikel tersebut dengan partikel yang lain akan semakin cepat terjadi. Apabila ukuran sulfur yang digunakan dalam proses vulkanisasi dalam ukuran yang kecil, maka terbuka kemungkinan terjadinya reaksi yang lebih cepat antara sulfur dengan karet dan bahan kimia lainnya (Handoko, 1990). Sehingga akan mengakibatkan reaksi sulfur dengan gugus aktif molekul karet dapat berlangsung dengan baik. Hal ini dikarenakan semakin besar luas permukaan partikel maka semakin mudah terjadinya reaksi dan semakin kuat ikatan silang antar molekul yang terbentuk, dengan demikian waktu vulkanisasi dapat dipersingkat. Dari penelitian ini diharapkan sifat barang jadi karet yang dihasilkan akan lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh formulasi kompon karet dengan aplikasi nano sulfur pada proses vulkanisasi untuk membuat karet kompon kendaraan bermotor yang memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini NBR, NR, kaolin, MBTS, sulfur, ZnO, TMQ, wax, DPG, carbon black, minarex oil, asam stearat, flecto H/ 6 PPD, CBS, cumaron resin. Alat yang digunakan meliputi *open mill*, *pressing rubber*, *moulding*, *cutting scrub* dan neraca analitis.

Metode Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan dengan penelitian skala laboratorium percobaan teknis menggunakan sulfur dalam ukuran nano yang bervariasi sebagai bahan yang digunakan dalam vulkanisasi pembuatan kompon karet dan suhu pemanasan pada proses vulkanisasi. Kompon karet yang dihasilkan kemudian diuji kualitasnya. Kompon karet dibentuk menjadi karet komponen kendaraan bermotor dan juga diuji kualitasnya.

Disain riset ini adalah desain eksperimental karena dilakukan dalam skala laboratorium yang menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap dengan 2 (dua) faktor, kombinasi 8 (delapan) perlakuan dan 3 (tiga) kali ulangan. Faktor pertama adalah variasi suhu vulkanisasi (T), yaitu : $T_1 = 140\text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 170\text{ }^\circ\text{C}$. Faktor kedua adalah variasi ukuran sulfur, yaitu : $S_1 = 40\text{ nm}$, $S_2 = 60\text{ nm}$, $S_3 = 80\text{ nm}$ dan $S_4 = 400\text{ nm}$

Prosedur Kerja Tahapan penelitian :

1. Sintesa Nano Sulfur

Pembuatan bahan nano partikel sulfur meliputi :

- Penghalusan bahan sampai berukuran nano melalui tahapan preparasi awal dan *mechanical milling*.
- Karakterisasi bahan dengan metoda XRD (X-Ray Diffraction) dan metode SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

2. Persiapan Formula Kompon Karet

Pada tahap ini dilakukan persiapan dan penimbangan bahan baku dan bahan kimia pendukung. Perlakuan komposisi sesuai

dengan jumlah atau susunan dari formula kompon. Jumlah dari setiap bahan dalam resep dinyatakan dalam PHR (*per hundred rubber*).

3. Pembuatan Kompon

Pada tahap ini dilakukan proses mastikasi atau penggilingan karet dan bahan kimia pendukung. Penggilingan tersebut menggunakan gilingan terbuka (*open mill*). Selanjutnya dilakukan proses mastikasi karet (*polymer*). Mastikasi dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

- 1). Pencampuran karet dengan bahan kimia diawali dengan mencampurkan bahan penggiat/*activator*, ZnO dan asam stearat dengan karet, lalu dipotong setiap sisinya satu hingga tiga kali selama 3 menit.
- 2). Tambahkan *filler* dan *softener* (*minarex oil*) lalu potong setiap sisi sampai dua hingga tiga kali selama 3-8 menit.
- 3). Tambahkan antioksidan, resin, dan bahan bantu lain, lalu potong setiap sisinya sampai 3 kali selama 2-3 menit.
- 4). Tambahkan *accelerator*, potong setiap sisinya dua hingga tiga kali selama 1-3 menit.
- 5). Selanjutnya adalah proses vulkanisasi dengan cara menambahkan nano sulfur hingga mencapai kematangan yang diinginkan.

4. Pencetakan

Pencetakan dilakukan terhadap kompon karet yang terlebih dahulu dipotong-potong sesuai dengan ukuran cetakan yang diinginkan.

Parameter yang diamati

Terhadap kompon dan karet komponen kendaraan bermotor yang dihasilkan, parameter yang diuji adalah:

- a. Kekerasan (*hardness*), shore A
- b. Tegangan putus (*tensile strength*), kg/cm²
- c. Ketahanan kikis (*abration resistance*), DIN,mm³
- d. Berat jenis (*density*), g/cm³

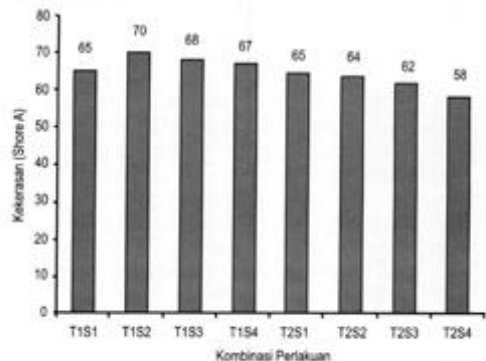
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kekerasan (*Hardness*), Shore A

Kekerasan vulkanisat karet merupakan besarnya pergerakan jarum skala penunjuk ukuran, akibat besarnya tekanan balik dari vulkanisat karet terhadap jarum penekan yang

melalui suatu mekanisme alat dihubungkan dengan pegas yang akan mengerakkan jarum penunjuk ukuran kekerasan, (Kusnata, 1976).

Hasil pengujian parameter kekerasan barang jadi karet terendah diperoleh pada perlakuan T₂S₄ (variasi suhu 170°C dan sulfur 400 nm) yaitu 58 Shore A dan hasil pengujian karet komponen kendaraan bermotor (Barang jadi karet) tertinggi diperoleh pada perlakuan T₁S₂ (variasi suhu 140°C dan sulfur 60 nm) yaitu sebesar 70 Shore A. Hasil pengujian parameter kekerasan karet komponen kendaraan bermotor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kekerasan karet komponen kendaraan bermotor (Shore A)

Analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi suhu memberikan pengaruh yang nyata terhadap parameter kekerasan barang jadi karet karena semakin besar temperatur vulkanisasi maka nilai kekerasan semakin kecil sehingga komponen barang jadi karet akan mengalami perubahan keelastisannya.

Perlakuan besar suhu vulkanisasi akan menyebabkan kekerasan yang dihasilkan semakin rendah, karena pencampuran bahan dalam pembuatan karet komponen harus diimbangi dengan bahan pengisi yang digunakan. Semakin tinggi bahan pengisi yang ditambahkan nilai kekerasan semakin meningkat karena kandungan *carbon black* menguatkan atau *reinforcing filler*, sehingga akan menambah kekerasan pada barang jadinya dan dapat memberikan perbaikan sifat fisik karet. (Kusumo *et al*, 1992). Menurut Franta, 1989, nilai kekerasan dipengaruhi juga oleh ukuran partikel dan struktur molekul. Ukuran nano partikel semakin kecil

mengakibatkan luas permukaan partikel semakin besar sehingga reaksi kimia akan semakin cepat terjadi dan proses vulkanisasi antara sulfur dengan gugus aktif molekul karet dapat berlangsung dengan baik.

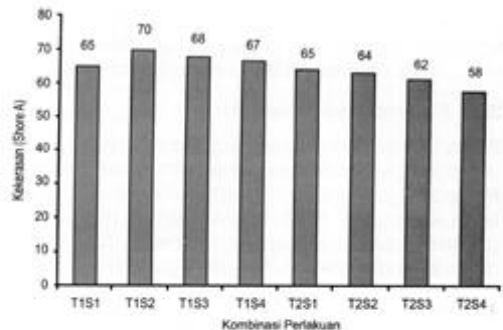
Hasil uji Beda Nyata Jujur (BNJ) Ukuran sulfur nano terhadap kekerasan (shore A) menunjukkan bahwa perlakuan ukuran sulfur nano karet komponen barang jadi karet berbeda nyata satu sama lain kecuali pada perlakuan S_1 (40 nm) dan S_3 (80 nm). Nilai kekerasan dipengaruhi oleh ukuran partikel yang digunakan, partikel yang berukuran nano memiliki luas permukaan intraksi yang tinggi, semakin banyak partikel yang berintraksi semakin kuat pula matrial, sehingga mempengaruhi waktu vulkanisasi dan mempercepat kematangan.

Hasil Uji BNJ interaksi variasi suhu (T) dan ukuran sulfur nano (S) terhadap kekerasan (shore A) karet komponen kendaraan bermotor, untuk perlakuan interaksi T_1S_2 berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, Perlakuan T_1S_3 tidak berbeda nyata dengan T_1S_4 tetapi berbeda nyata untuk perlakuan T_1S_1 , T_2S_3 dan T_2S_4 , hal ini dikarenakan terdapat interaksi antar perlakuan ukuran nano sulfur dan suhu vulkanisasi. Semakin besar temperatur maka kekerasan semakin menurun yang akan mengakibatkan sifat fisik karet mengalami perubahan elastisitas.

Tegangan Putus (*Tensile Strength*) (kg/cm^3)

Tegangan putus merupakan peng-ujian fisika karet yang terpenting dan paling sering dilakukan dengan pengujian ini pula dapat ditetapkan waktu vulkanisasi optimum suatu kompon dan pengaruh pengusangan pada suatu vulkanisasi, selain itu juga pengujian ini menggambarkan kekuatan dan kekenyalan karet (Kusnata, 1976).

Jika nilai tegangan putus semakin besar, menunjukkan bahwa karet komponen kendaraan bermotor semakin elastis. Hasil pengujian tegangan putus pada karet komponen kendaraan bermotor hasil penelitian nilai tertinggi terdapat pada perlakuan T_1S_2 (variasi suhu $140^\circ C$ dan sulfur 60 nm) yaitu sebesar $173 kg/cm^3$, dan nilai tegangan putus karet komponen kendaraan bermotor yang terendah terdapat pada perlakuan T_2S_1 (variasi suhu $170^\circ C$ dan sulfur 40 nm) yaitu sebesar $135 kg/cm^3$. Hasil pengujian tegangan putus karet komponen kendaraan bermotor pada semua perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tegangan putus karet kendaraan bermotor (kg/cm^3)

Analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi suhu dan ukuran sulfur nano serta interaksi keduanya memberikan pengaruh yang nyata terhadap tegangan putus karet komponen kendaraan bermotor. Hasil uji BNJ variasi suhu (T) terhadap tegangan putus (kg/cm^3) karet komponen kendaraan bermotor menunjukkan bahwa perlakuan suhu terhadap tegangan putus (kg/cm^3) karet komponen kendaraan bermotor berbeda nyata satu sama lain. Perlakuan besar suhu vulkanisasi akan menyebabkan tegangan putus yang dihasilkan semakin rendah, hal ini dikarenakan adanya intraksi antar perlakuan. Menurut Gelling (1988), modifikasi kimia yang merubah struktur ruang teratur dari molekul karet dapat menurunkan kekuatan dari karet-karet tersebut.

Hasil uji BNJ ukuran sulfur nano terhadap tegangan putus (kg/cm^3) menunjukkan bahwa perlakuan ukuran sulfur nano karet komponen kendaraan bermotor berbeda nyata satu sama lain kecuali pada perlakuan S_4 dan S_3 . Nilai tegangan putus dipengaruhi oleh ukuran partikel yang digunakan, partikel partikel yang berukuran nano memiliki luas permukaan intraksi yang tinggi, semakin banyak partikel yang berintraksi semakin kuat pula matrial, sehingga mempengaruhi waktu vulkanisasi dan mempercepat kematangan.

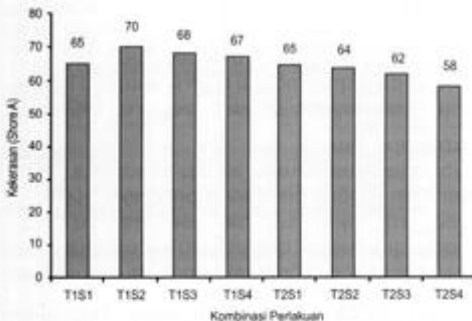
Hasil uji BNJ interaksi variasi suhu (T) dan ukuran sulfur nano (S) terhadap tegangan putus (kg/cm^3) karet komponen kendaraan bermotor. Interaksi variasi suhu dan ukuran sulfur untuk perlakuan interaksi T_1S_1 berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, Perlakuan T_1S_2 tidak berbeda nyata dengan T_1S_3 tetapi berbeda nyata untuk perlakuan T_2S_3 . Tetapi berbeda nyata dengan perlakuan T_1S_3 dan T_2S_4 , hal ini

dikarenakan terdapat interaksi antar perlakuan ukuran nano sulfur dan suhu vulkanisasi.

Ketahanan Kikis (*Abrasive Resistance*), DIN, mm³

Pengujian ketahanan kikis (*abrasion resistance*), bertujuan untuk mengetahui ketahanan kikis dari vulkanisat karet yang digesekkan pada sebuah ampelas dengan mutu tertentu, dengan tekanan dan area tertentu. Kesanggupan karet bertahan terhadap gesekan dengan benda lain pada pemakaiannya, disebut ketahanan kikis. Pengujian ketahanan kikis dilakukan dengan cara penggesekan karet pada suatu permukaan pengikis atau pengikis digosokkan pada permukaan karet. Ketahanan kikis dari vulkanisat karet yang di gesekkan pada sebuah ampelas kikis dengan mutu tertentu, dengan tekanan dan area tertentu (Basseri, 2005).

Ketahanan kikis karet komponen kendaraan bermotor dengan nilai tertinggi pada perlakuan T₁S₁ (variasi suhu 140 °C dan ukuran sulfur 40 nm) yaitu 175,9 mm³ dan terendah pada perlakuan T₂S₄ (variasi suhu 170 °C dan ukuran sulfur 400 nm), yaitu 162,1. Hasil pengujian ketahanan kikis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ketahanan kikis karet komponen kendaraan bermotor (mm³)

Analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi suhu, ukuran sulfur nano dan juga interaksi keduanya memberikan pengaruh yang nyata terhadap ketahanan kikis karet komponen kendaraan bermotor. Hasil uji BNJ variasi suhu (T) terhadap ketahanan kikis (mm³) karet komponen kendaraan bermotor menunjukkan bahwa, variasi suhu 140°C (T₁) berbeda nyata dengan variasi suhu 170°C (T₂). Data perlakuan tunggal T (temperatur) bahwa perlakuan T₂ berbeda nyata dengan perlakuan T₁.

Hasil uji BNJ ukuran sulfur nano terhadap ketahanan kikis (mm³) karet komponen kendaraan bermotor dimana ukuran sulfur nano pada perlakuan S₁ berbeda nyata dengan S₂ dan S₄. Perlakuan S₃ tidak berbeda nyata dengan perlakuan S₁, tetapi S₃ tidak berbeda nyata dengan perlakuan S₄.

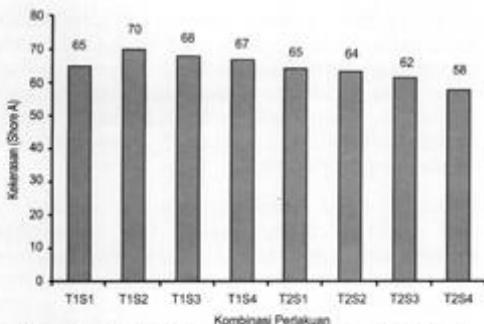
Hasil uji BNJ interaksi variasi suhu (T) dan ukuran sulfur nano (S) terhadap ketahanan kikis (mm³) karet komponen kendaraan bermotor. Variasi ukuran sulfur nano pada perlakuan S₁ (40 nm) berbeda nyata dengan perlakuan S₂ (60 nm), S₃ (80 nm) dan S₄ (400 nm). Interaksi perlakuan T₂S₂ berbeda nyata dengan perlakuan lainnya.

Nilai ketahanan kikis baik diperoleh pada perlakuan T₁S₂ (173,6 mm³). Nilai ketahanan kikis merupakan sifat yang penting yang harus dimiliki oleh produk karet, jika ketahanan kikis rendah maka produk yang dihasilkan akan mudah aus dan menyebabkan cepat terjadinya kebocoran, hasil ketahanan kikis pada penelitian ini apabila dibandingkan dengan kendaraan bermotor yang ada dipasaran mempunyai ketahanan kikis (*Abrasion resistance*) yaitu 325 mm³, jika ketahanan kikis semakin besar maka menyebabkan lebih rapuh.

Berat Jenis (*Density*), g/cm³

Penentuan berat jenis dilakukan untuk mengetahui mutu dari komponen karet dan perhitungan jumlah karet yang dibutuhkan untuk volume tertentu. Nilai berat jenis karet komponen kendaraan bermotor semakin kecil menunjukkan bahwa proses pematangan karet komponen kendaraan bermotor semakin cepat keras. Hasil pengujian berat jenis karet komponen kendaraan bermotor terendah diperoleh pada perlakuan T₂S₁ (variasi suhu 170°C dan sulfur 40 nm) yaitu 1,220 g/cm³ dan hasil pengujian karet komponen kendaraan bermotor tertinggi diperoleh pada perlakuan T₁S₄ (variasi suhu 140°C dan sulfur 400 nm) yaitu sebesar 1,229 g/cm³. Hasil pengujian berat jenis karet komponen kendaraan bermotor dapat dilihat pada Gambar 4.

Analisis keragaman menunjukkan bahwa variasi suhu menunjukkan bahwa, variasi suhu 170°C (T₂). Variasi ukuran sulfur nano pada semua perlakuan tidak berbeda nyata dan juga interaksi antara variasi suhu (T) dan ukuran sulfur nano (S) dimana perlakuan tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya terhadap berat jenis (g/cm³) karet komponen kendaraan bermotor.



Gambar 4. Berat jenis (g/cm^3) barang jadi karet

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapat, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Suhu $140\text{ }^\circ\text{C}$ dengan variasi ukuran partikel sulfur nano yang semakin kecil, akan mempercepat waktu kematangan karet komponen kendaraan bermotor.
2. Perlakuan terbaik adalah kombinasi perlakuan T_1S_2 (konsentrasi suhu $140\text{ }^\circ\text{C}$ dan konsentrasi sulfur 60 nm) dengan karakteristik komponen karet meliputi, kekerasan 70 Shore A , tegangan putus 173 N/cm^2 , ketahanan kikis $173,6\text{ mm}^2$ dan density $1,220\text{ g/cm}^3$.
3. Ukuran partikel nano sulfur berpengaruh nyata terhadap waktu vulkanisasi.
4. Variasi suhu dan ukuran partikel sulfur sangat berpengaruh nyata terhadap sifat fisik karet komponen kendaraan bermotor.

DAFTAR PUSTAKA

Abednego, J.G. DIS, 1995. Bahan Kimia Penyusun Kompo Karet. Teknologi Barang Jadi Karet. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.

Anonymous, 1985. Petunjuk Pembuatan Barang dari Karet Alam. Balai Penelitian Karet Bogor dan Rubber Sticking Amsterdam.

Alfa, A.A., 2005. Bahan Kimia Untuk Kompon Karet. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor, 2006. Pengembangan Industri Hilir Karet dalam rangka Mendukung Kluster Industri Karet di Sumatera Selatan. Direktorat Industri Hilir. Departemen Perindustrian. Jakarta.

Gomez, A dan Gomez, K. 1995. Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian. Edisi Kedua. UI Press. Jakarta.

Hadiywarman, et.al. 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing Jurnal Nanosains & Nanoteknologi Vol. 1 No.1, Februari 2008

Handoko, L.T. 1990. Pemodelan & Simulasi Pembuatan Nanomaterial Pembuatan Nanomaterial dengan Metoda dengan Metoda Milling Milling Grup Fisika Teoritik & Komputasi. Seminar Nanoteknologi, LIPI Jakarta.

Haris, U, 2004. Karet Alam Hevea dan Industri Pengolahannya. Balai Penelitian Karet Bogor. Pusat Penelitian Karet. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia.

Harper. 2004. Modifikasi Karet Alam dan Perubahan Sifat Fisiknya. Prosiding Seminar Ilmiah –LIPI, Puslitbang Fisika Terapan Lipi. Bandung.

Haryadi, B. 2000. Pengaruh Bahan Pengisi terhadap Sifat Kompon Barang Jadi Karet. Balai Penelitian dan Pengembangan Industri dan Perdagangan Palembang.

Haryati, T. 2001. Epoksidasi Metil Ester Asam Lemak dari Fraksi Olein. Menara Perkebunan, 60(3) : 90-93.

Honggokusumo. 1994. Kimia dan Teknologi Vulkanisasi. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Bogor.

Mardiyati, E. 2008. Teori Dan Karakterisasi Nanopartikel Dengan Particle Size Analyzer. Pusat Teknologi Farmasi dan Medika Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Jakarta.

Nurhajati, D.W., Agustin, S., dan Pramono. 1999. Pembuatan Kompon Karet Paking Peredam Kejut Kendaraan Bermotor yang Memenuhi Persyaratan SNI 09-1298-1989. Majalah Barang Kulit Karet dan Plastik, 15(1): 31-35.

Nurul, T.R. 2009. Pembuatan Nanopartikel Dalam Perspektif High Energy Milling. Masyarakat Nanoteknologi. Jakarta.

Nurul Alam Pocut. 2007. Sintesa dan Karakteristik Sifat Mekanik Karet Nanokomposit. Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan. Vol. 6, No. 1, 2007: 1-6.

Pausacker, A., Tinker, A.J., and Turner, S.R. 1995. Modification of Natural Rubber Latex with Peracetic Acid. Rubber Chemistry Technology, 6(1): 86

Riyadhy, A. 2009. Vulkanisasi Karet. <http://www.chem-is-try.org>. Akses tanggal 30 Januari 2009

Roberts, A.D. 1998. Rheology of Raw Rubber. In Natural Rubber Science and Technology. Oxford. New York.

Sartono, A., 2006. Nanoteknologi. Departemen Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jurusan Fisika. Universitas Indonesia.

Saptono, R. 2008. Pengetahuan Bahan, Departemen Metalurgi dan Material. FTUI. Jakarta.

Sayekti. 1999. Teknologi Pembuatan Barang Karet Secara Umum. Balai Penelitian dan Pengembangan Industri. Yogyakarta.

Suparto, D. 2003. Kimia dan Teknologi Vulkanisasi. Teknologi Barang Jadi Karet Padat. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor. Bogor.

Suryana, Prayitno, dan Hadi, M. 1998. Pengujian Sifat Fisika dan Kimia Barang Jadi Karet. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.

Suwardin, D. 2006. Perkembangan Litbang Karet di Puslit Karet Balai Penelitian Sembawa. Sumatera Selatan.

Thomas, Julius, 2005. Kursus Praktek Pengujian Fisika dan Analisa Kimia Barang Jadi Karet. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.

Wahyudi, T, dkk. 2005. Teknologi Barang Jadi Karet. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.