

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kompon Karet

Kompon karet adalah karet mentah yang telah dicampur dengan bahan baku penunjang lainnya seperti *filler*, *processing oils*, *accelerator* dan sebagainya dengan menggunakan mesin giling karet seperti *open mill* dan *kneader* yang mana jika dipanaskan dengan temperatur dan waktu yang cukup akan berubah menjadi barang jadi yang bersifat permanen (*vulcanized rubber*). Karet yang digunakan untuk kompon terdiri dari dua jenis, yaitu karet alam dan karet sintetis (Sipahutar, 2011).

Dari pengertian kompon, diketahui bahwa dalam proses pembuatannya digunakan bahan-bahan kimia yang ditambahkan pada bahan baku karet untuk memperoleh sifat fisik dan kimiawi dari kompon karet yang lebih baik. Bahan kimia kompon dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu bahan kimia utama dan bahan kimia pembantu proses. Bahan kimia utama adalah bahan kimia yang digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat fisik karet, sehingga produk karet yang dihasilkan akan memiliki sifat fisik dan kimiawi yang lebih stabil.



Gambar 1. Kompon Karet

Salah satu tahapan proses yang harus dilakukan dalam industri pembuatan produk karet alam adalah pembuatan kompon karet. Kompon karet dapat dilihat pada Gambar 1, semua bahan termasuk karet alam sebagai bahan baku utama akan dicampurkan secara merata sampai homogen. Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan pendukung dengan porsi terbesar dalam pembuatan kompon karet yang

fungsinya untuk meningkatkan sifat fisik, memperbaiki karakteristik pengolahan dan mengurangi biaya (Alfa, 2008). Dengan porsi yang cukup besar ini pemilihan bahan pengisi pada pembuatan kompon karet menjadi sangat penting karena dapat menentukan sifat fisik karet dan biaya produksi.

2.1.1 Polimer

a. Karet Alam

Sumber utama karet adalah pohon karet *Hevea brasiliensis* (*Euphorbiaceae*). Karet merupakan produk dari proses penggumpalan getah tanaman karet (lateks). Pohon karet normal disadap pada tahun ke-5. Pohon karet dapat dilihat pada Gambar 2 RSS (*Ribbed Smoked Sheet*) dan karet krep (*crepe*) digolongkan sebagai karet konvensional, dibuat langsung dari lateks kebun, dengan terlebih dahulu menggumpalkannya kemudian digiling menjadi lembaran – lembaran tipis dan dikeringkan dengan cara pengasapan atau dengan cara pengeringan menggunakan udara panas untuk karet krep.



Gambar 2. Pohon Karet

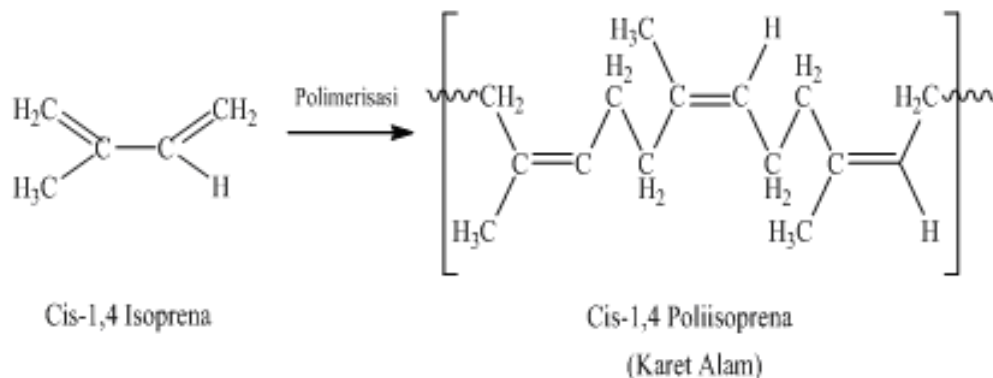
Mutu karet konvensional dinilai berdasarkan analisis *visual* permukaan lembaran karet. Mutu karet konvensional dinilai berdasarkan analisis *visual* permukaan lembaran karet. Mutu karet akan semakin tinggi bila permukaannya makin seragam, tidak ada gelembung, tidak mulur, dan tidak ada kotoran serta

teksturnya makin kekar atau kokoh (Sipahutar, 2011). Hasil karet biasa dimanfaatkan atau diolah menjadi beberapa produk antara lain adalah : RSS I, RSS II, RSS III, RSS IV, dan RSS V. RSS (*Ribbed Smoked Sheet*) memiliki kandungan utama yaitu poliisoprene ($-C_5H_8$) yang didapat dari *Latex*, rumus bangun dapat dilihat pada Gambar 3. Karakteristik dan sifat fisik karet alam yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik dan Sifat Fisik Karet Alam

<i>Polymerlyme</i>	<i>Polyisoprene</i> (C_5H_8) _n
<i>Modulus of Elasticity</i>	2500 lb/in. ² (18 MPa)
<i>Tensile Strenght</i>	3500 lb/in. ² (25 MPa)
<i>Elongation</i>	700% at failure
<i>Abrasion Resistance</i>	Good to Excellent
<i>Compression Set</i>	Excellent
<i>Rebound Resilience</i>	Excellent
<i>Hardness</i>	30-95 Shore A
<i>Specific Gravity</i>	0.93
<i>High-Temperature Limit</i>	-
<i>Low-Temperatute Limit</i>	-

(Sumber : Robinson, 2005)



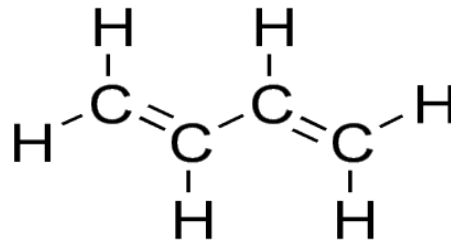
(Sumber: Prasetya, 2016)

Gambar 3. Struktur Kimia Karet Alam

b. Karet Sintetik (*Butadiene Rubber*)

Karet sintetik adalah setiap bahan elastomer yang artifisial. Karet sintetik merupakan polimer-polimer yang disintesis dari produk samping petroleum. Sekitar 15 miliar kilogram karet diproduksi secara terus menerus, dan jumlah total produksi karet terbesar kedua dari ketiga adalah sintetik (Threadingham, 2011).

Contoh dari karet sintetik antara lain: *Isoprene Rubber* (IR), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR), *Butadiene Rubber* (BR), dan sebagainya. *Butadiene Rubber* (BR) adalah homopolimer dari 1,3 butadiena, monomernya mengandung 4 atom karbon dan 6 atom hidrogen (C_4H_6). Keempat atom karbon dalam rantai lurus memiliki dua ikatan ganda, dapat dilihat pada Gambar 4.



(Sumber: Prasetya, 2016)

Gambar 4. Struktur Kimia *Butadiene Rubber*

Tabel 2. Karakteristik dan Sifat Fisik Karet *Butadiene*

<i>Polymer</i>	<i>Polybutadiene</i> (C_4H_6) _n
<i>Modulus of Elasticity</i>	2000 lb/in. ² (15 MPa)
<i>Tensile Strength</i>	3500 lb/in. ² (25 MPa)
<i>Elongation</i>	500% at failure
<i>Abrasion Resistance</i>	Fair to Excellent
<i>Compression Set</i>	Good to Excellent
<i>Rebound Resilience</i>	Fair to Excellent
<i>Hardness</i>	45-80 Shore A
<i>Specific Gravity</i>	0.93
<i>High-Temperature Limit</i>	-
<i>Low-Temperature Limit</i>	-

(Sumber : Robinson, 2005)

Butadiene Rubber dibuat dengan cara polimerisasi emulsi dan larutan, polimerisasi larutan menghasilkan karet BR, untuk keperluan pembuatan ban yang lebih tahan terhadap abrasi, lebih lentur dan resilien dibandingkan karet alam. Polimerisasi emulsi menghasilkan polimer campuran yang acak (*Cis* dan *Trans polibutadiene*). Kegunaan utamanya adalah sebagai bahan pembuatan ban, karena dapat meningkatkan ketahanan abrasi. Digunakan secara mencampurkan dengan karet SBR maupun karet alam, kelebihan utamanya mengurangi terjadinya pemanasan dalam pada produk ban (Matondang, 2010). Karakteristik dan sifat fisik karet butadien dapat dilihat pada Tabel 2.

2.2 Bahan Kimia Penyusun Kompon Karet

2.2.1 Bahan Pemvulkanisasi

Bahan Pemvulkanisasi adalah bahan kimia yang bereaksi untuk mengubah karet alam atau bahan-bahan polimer yang terkait menjadi bahan – bahan yang lebih tahan lama dengan reaksi yang membentuk ikatan silang antara rantai-rantai polimer dengan bantuan sulfur (Mark dkk., 2005).

Pada proses vulkanisasi, kompon karet menjadi matang dan produknya disebut vulkanisat. Untuk proses vulkanisasi diperlukan bahan pemvulkanisasi, karena tanpa bahan tersebut kompon karet tidak akan matang. Bahan pemvulkanisasi dapat pula dihasilkan oleh suatu bahan yang pada saat vulkanisasi melepaskan belerang (*sulphur donor*). Selama proses vulkanisasi rantai-rantai molekul karet yang semula terlepas dan dapat bergerak bebas menjadi terikat oleh bahan pemvulkanisasi membentuk jaringan tiga dimensi. Dengan demikian kompon karet yang semula lembek dan tidak elastis diubah menjadi barang karet yang kuat dan elastis (Arizal, 2007).

Bahan pemvulkanisasi yang paling banyak digunakan adalah belerang (*sulphur*), yaitu untuk memvulkanisasi *NR (Natural Rubber)*, *SBR (Styrene Butadiene Rubber)*, *BR (Butadiene Rubber)*, *IR (Isoprene Rubber)*, *NBR (Nitrile Butadiene Rubber)*, *IIR (Isobutene Isoprene Rubber)* dan *EPR (Ethylene Propylene Rubber)*. Bahan pemvulkanisasi yang umum digunakan untuk *CR (Chloroprene Rubber)* adalah oksida logam. Bahan pemvulkanisasi lainnya adalah peroksida organik, damar fenolik, bahan pemvulkanisasi uretan dan radiasi dengan sinar gama (Arizal, 2007).

2.2.2 Bahan Pemercepat (*Accelerator*)

Accelerator adalah senyawa-senyawa kimia yang apabila ditambahkan pada kompon karet sebelum proses vulkanisasi akan mempercepat proses vulkanisasi. Selain itu, penggunaan *accelerator* akan mengurangi jumlah bahan vulkanisasi yang digunakan. Selama vulkanisasi sulfur pada karet, bahan pemercepat mengendalikan waktu timbulnya vulkanisasi, laju vulkanisasi, dan jumlah dan tipe aliran silang sulfur yang terbentuk. Faktor-faktor ini memainkan peran penting dalam menentukan sifat material yang ada pada vulkanisasi. Ada

7 prinsip kelas akselerator (bahan pemercepat) yaitu thiazole, sulfenamida, guanidina, karbamat, thiuram, xanthat, dan fosfat.

Bahan pencepat banyak jenisnya dan dapat dikelompokkan kedalam beberapa golongan antara lain :

- a. *Thiazzol* : MBTS, MBT
- b. *Sulfenamida* : CBS
- c. *Guanidine* : DPG, DOTG
- d. *Thiuram Sulfida* : TMT, TMTD
- e. *Dithiokrabamat* : ZDC, ZDMC
- f. *Dithiofosfat* : ZBPP.

Bahan pencepat dapat pula digolongkan berdasarkan fungsinya yaitu:

- a. Bahan pencepat lambat (*adelhida amina*)
- b. Bahan pencepat sedang (*guanidine* : DPG, DOTG)
- c. Bahan pencepat cepat sedang (*thiazzol* : MBTS, MBT dan *sulfenamida* : CBS)
- d. Bahan pencepat cepat (*thiuram sulfida* : TMT, TMTD)
- e. Bahan pencepat sangat cepat (*dithiokrabamat*)

Untuk mempercepat proses vulkanisasi maka digunakanlah bahan berupa katalisator. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan *accelerator* (Surya, 2009) antara lain:

- Penggunaan panas alat dapat dikurangi
- Hasil akhir lebih seragam
- Dapat digunakan bahan dasar kualitas rendah
- Dapat memperbaiki sifat-sifat fisik barang jadinya
- Dapat memperbaiki performa dan kemampuan untuk diberi warna
- Meningkatkan daya tahan terhadap *aging*
- Mengurangi kecenderungan untuk memisahkan diri dari permukaan.

2.2.3 Bahan Penggiat (*Activator*)

Bahan Penggiat adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam sistem vulkanisasi, untuk menggiatkan proses vulkanisasi. Dalam sistem vulkanisasi dengan bahan pemercepat, bahan ini berfungsi sebagai pengaktif kerja

bahan pemercepat karena pada umumnya bahan pemercepat organik tidak dapat berfungsi secara efisien tanpa adanya bahan pengaktif. Bahan pengaktif terbagi menjadi dua golongan, yaitu anorganik berupa oksida logam (ZnO, PbO, dan Mg) dan organik berupa asam lemak rantai panjang (stearat dan oleat). Bahan pengaktif yang paling umum digunakan adalah seng oksida (ZnO) dan asam stearat (Alfa, 2003).

Penggunaan bahan penggiat pada umumnya berkisar 3-5 phr. Bahan Penggiat yaitu senyawa kimia yang meningkatkan laju vulkanisasi yang mana pertama kali bereaksi dengan akselerator membentuk senyawa kompleks karet-terlarut. Senyawa kompleks tersebut kemudian bereaksi dengan sulfur membentuk bahan pembuatan sulfur. Banyak aktivator umumnya adalah kombinasi zink oksida dan asam sulfat. Asam-asam lemak lainnya yang digunakan termasuk laurat dan oleat. Zink yang terlarut pada asam lemak seperti zink 2-etilheksanoat juga digunakan, dan aktivator karet-terlarut efektif dalam karet alam dalam menghasilkan set rendah, kompon creep rendah yang digunakan dalam aplikasi pemuatan barang.

2.2.4 Bahan Anti Oksidan dan Anti Ozon

Antidegradant adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai anti ozon dan anti oksidan yang melindungi bahan jadi karet dari pengusangan dan peningkatan usia penggunaannya. Karet tanpa anti oksidan akan mudah teroksidasi sehingga menjadi lunak kemudian lengket dan akhirnya menjadi keras dan retak-retak (*aging*) karena pengaruh oksidasi yang menyebabkan pemutusan rantai polimer. Proses oksidasi dapat terjadi karena panas, radiasi, ozon, oksigen, cuaca, dan sebagainya. Tanda – tanda yang terlihat apabila produk karet rusak adalah:

- Polimer menjadi rapuh.
- Kecepatan alir polimer tidakstabil dan cenderung menjadi lebih tinggi.
- Sifat kuat tariknya berkurang.
- Terjadi retak – retak pada permukaan polimer.
- Terjadi perubahan warna.

Pemakaian anti oksidan harus memenuhi beberapa syarat antara lain (Tulus, 2014):

- Mudah terdispersi pada seluruh bagian karet

- Inert terhadap hasil – hasil vulkanisasi pada setiap jenis tegangan
- Tidak mempunyai pengaruh terhadap terhadap warna hasil vulkanisasi.

Antidegradant digunakan dalam kompon untuk melindungi Kompon Karet terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh oksigen, ozon cahaya matahari, katalis logam, dan benturan mekanik. Penggunaan bahan anti degradant pada umumnya berkisar 1-2 phr. Bahan *antidegradant* secara garis besar dibagi menjadi (Arizal, 2007) :

1. Turunan amina. Antioksidan ini tergolong *staining*, biasanya anilin dan difenilamin karena dapat memudahkan warna bukan hitam bila diekspos didalam cahaya. Contoh: *Phenyl-(alfa,beta)-naphthylamine*, Keton-amin kondensat seperti *Flectol H*, *Permanax TQ*, substitusi *p-phenilenediames* seperti *IDDS*, *Santoflex 13*, dan *Permanax 6PPD*.
2. Turunan fenol. Antioksidan ini tergolong *non staining* yang tidak banyak mempengaruhi warna vulkanisat. Contoh: Substitusi fenol seperti *Vulkanox DS*, *Ionol*, *Permanax SP*, *Montaclere Fenil* alkana seperti *Vulkanox NKF*, *Naugawhite*, *Santowhite Waxex*, umumnya dipakai untuk mencegah terjadinya *aging* yang disebabkan oleh sinar ultraviolet dan ozon.

2.2.5 Bahan Pelunak

Bahan pelunak adalah bahan yang berguna untuk menurunkan viskositas karet menjadi mudah tercampur dengan bahan – bahan lainnya dan mempermudah karet terlepas dari cetakan. Bahan ini bersifat licin dan mengkilap. Berdasarkan sumber bahan baku atau jenis produknya, bahan bantu olah jenis pelunak (*softener*) digolongkan atas pelunak *petroleum*, bahan pelunak ester, resin, karet cair, asam lemak dan turunannya, lilin hidrokarbon dan polietilen, serta vulkanisat minyak nabati atau faktis (Alfa, 2003).

2.2.6 Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler (bahan pengisi) sering ditambahkan pada polimer untuk meningkatkan kekuatan regang dan tegangan pampat, ketahanan abrasi,

kekerasan, kestabilan dimensi dan termal, dan sifat lainnya. Bahan yang digunakan sebagai pengisi biasanya partikel yang mengandung bubuk kayu (serpihan bubuk kayu halus), bubuk silika, pasir, kaca, tanah liat, batu kapur, dan bahkan beberapa polimer sintesis lainnya. Ukuran partikel mulai dari 10 nm sampai dimensi makroskopik. Karena bahan-bahan yang tidak mahal ini menggantikan beberapa volume dari polimer yang lebih mahal sehingga harga produk akhirnya dapat dikurangi (Callister, 2002).

Menurut Haryadi (2010), ada dua macam bahan pengisi, yaitu bahan pengisi aktif dan bahan pengisi tidak aktif. Bahan pengisi aktif akan meningkatkan kekerasan, ketahanan sobek, ketahanan kikis dan ketegangan putus pada barang jadi karet. Bahan pengisi aktif seperti aluminium silika, magnesium silika dan *carbon black*. Bahan pengisi tidak aktif atau netral akan menambah kekerasan dan kekakuan pada karet. Bahan pengisi tidak aktif misalnya berbagai jenis tanah liat, kaolin, kalsium karbonat, magnesium karbonat, barium sulfat dan barit.

Penguatan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran, keadaan permukaan dan kehalusan butir. Penambahan optimum bahan pengisi akan meningkatkan kekuatan tarik, modulus, ketahanan sobek, ketahanan kikis dan retak lentur. Untuk memperoleh penguatan optimum maka butir-butir bahan pengisi harus tersebar dengan baik dan merata dalam kompon dan peningkatan jumlah *Filler* (bahan pengisi) mempengaruhi perbaikan sifat vulkanisat (Abednego, 1998).

Terdapat beragam bahan pengisi yang dapat digunakan sebagai pengisi pada karet. Bahan pengisi dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar yaitu:

1. Bahan pengisi *black*. Bahan pengisi *black* digunakan di dalam industri barang jadi karet disamping sebagai bahan pengisi penguat juga sebagai pemberi warna hitam pada vulkanisat karet. *Carbon black* merupakan bahan pengisi yang memenuhi dua fungsi tersebut. Terdapat banyak tipe dan struktur *carbon black* misalnya N 330.
2. Bahan pengisi *non-black*. Bahan pengisi *non-black* digunakan di dalam industri barang jadi karet untuk vulkanisat karet yang berwarna, putih atau selain dari warna hitam. Penggunaan bahan pengisi ini sering disertai dengan

penggunaan bahan pewarna lain. Tujuannya adalah untuk mendapatkan warna tertentu. Contoh bahan pengisi *non-black* adalah CaCO_3 , tanah liat, silika, MgO dan lain-lain.

Tabel 3. Bahan Pengisi dan Fungsinya

No	Bahan Pengisi	Contoh
1	Bahan pengisi yang berfungsi sebagai penguat (<i>reinforcing filler</i>). Bahan pengisi ini memberikan pengaruh yang besar terhadap perbaikan sifat fisik vulkanisat karet alam maupun karet sintesis	<i>Carbon black</i> sebagai <i>reinforcing filler</i> : N 110, 358 dan <i>Semi-reinforcing filler</i> : N 539, N 630
2	Bahan pengisi tanpa penguat (<i>inert filler</i>). Bahan pengisi ini hanya sedikit pengaruhnya terhadap perbaikan sifat fisik vulkanisat karet, tetapi dapat menaikkan kerapatan kompon.	Tanah liat, <i>whiting</i> , barit, talk, ZnO , MgCO_3

(Sumber: Billmeyer, 1984 dan Harper, 2000)

Disamping penggunaan bahan pengisi dapat menurunkan harga barang jadi karet, penggunaan bahan pengisi dilakukan dengan mempertimbangkan fungsinya. Bahan pengisi dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya, tercantum pada Tabel 3. Untuk kebutuhan tertentu, ada vulkanisat karet yang diproduksi tidak menggunakan bahan pengisi (*nonreinforced vulcanized rubber*), misalnya pita karet, *tube*, dan sarung tangan karet. Vulkanisat ini mempunyai sifat relatif lembut, lentur, dan dapat diregangkan (Billmeyer, 1984).

a. *Carbon Black*

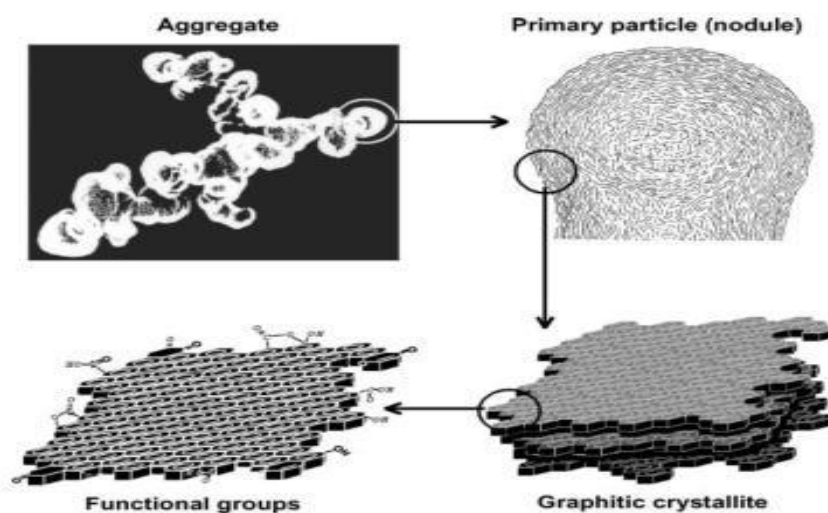
Carbon black merupakan partikel mengandung karbon yang membentuk agregat atau bahkan aglomerat. Sebagian partikelnya mempunyai struktur grafit dan ada yang membentuk koloid. Bagian luar partikel *carbon black* lebih banyak mempunyai struktur grafit dibandingkan dengan bagian pusatnya. Ukuran partikelnya mempunyai diameter berkisar 10 – 40 nm yang dapat ditentukan dengan mengukur luas permukaannya menggunakan metode absorpsi. Pengukuran dilakukan dengan menganggap bahwa setiap partikel *carbon black* berbentuk bulat. Berikut ini Tabel 4 disajikan ukuran partikel dan luas permukaan *carbon black* dengan beberapa tipe dan strukturnya.

Tabel 4. Nomenklatur *Carbon Black*

Tipe dan Struktur <i>Carbon Black</i>	Luas Permukaan (m ² /g)	Ukuran Partikel Rata-Rata (nm)
N 110	140	20-25
N 234	120	24-29
N 220	120	24-33
N 375	90	30-35
N 330	80	28-36
N 550	45	39-55
N 660	37	50-60
N 774	28	70-96
N 880	14	180-200
N 990	6	250-350

(Sumber: Blow dan Heprun, 1984)

Perencanaan manufaktur *carbon black* secara strategis dilokasikan secara mendunia dengan tujuan mensuplai industri ban karet, dengan konsumsi sebesar 70 % produksi *carbon black*. Sekitar 20 % digunakan untuk produk-produk karet lainnya dan 10 % digunakan untuk aplikasi non-karet secara khusus. Kode ASTM dan aplikasi dari *carbon black* terlihat pada Tabel 5. *Carbon Black* adalah satu dari banyaknya produk kimia yang paling stabil. Pada umumnya, *carbon black* secara luas menggunakan nano-material dengan dimensi agregat yang mulai dari puluhan hingga beberapa ratus nanometer (nm), dan menanamkan sifat khusus untuk komposit yang merupakan bagian darinya.



(Sumber: Indrabayu, 2017)

Gambar 5. Struktur *Carbon Black*

Carbon Black adalah produk dari suatu teknologi yang menggabungkan rekayasa seni dan pengendalian proses. Kemurniannya membedakannya dari jelaga yang tercemar *by-product* dari pembakaran batu bara dan minyak dan dari penggunaan bahan bakar diesel. *Carbon black* secara esensial bebas dari kontaminan anorganik dan karakteristik residu organik yang dapat diekstrak dari sebagian besar bentuk jelaga (Kuhner,1993).

Tabel 5. Kode ASTM dan Aplikasi dari *Carbon Black*

Kode ASTM	Kode Adsorbtion Cm ³ /100 gr	Aplikasi
N 990	36	<i>Inner liner, freon hose, nitril hose</i> , mesin pencuci, ikat pinggang
N-787	80	Kawat dan Kabel tegangan rendah
N-762	65	<i>Extrusion mouldings</i>
N-660	90	<i>Body mounts, hydraulic hose, tire breads</i>
N-630	78	<i>Passenger carcass, O-rings, body mounts</i>
N-582	180	Barang-barang mekanik, Konduktor
N-550	121	<i>Body mounts, windshield wiper, brake cups, motor mounts, pipe rings</i>
N-472	178	Kawat dan Kabel
N-347	124	Tapak ban <i>passenger, truck</i>
N-339	120	Tapak ban <i>passenger, truck</i>
N-330	102	<i>Motor mounts, dock fender, weather strips</i> , tapak ban <i>passenger</i> , ban sepeda
N-326	72	<i>Motor mounts, wire belt coat</i>
N-242	121	<i>Motor mounts</i> , tapak ban <i>passenger</i>
N-220	114	Tapak ban truk, <i>off the road tread</i>
N-110	113	Tapak ban truk, <i>tank tread pad, compression pad</i>

(Sumber: Ridha, 2015)

Struktur *carbon black* secara skematis ditunjukkan pada Gambar 5, unit utama *carbon black* yang terdispersi adalah suatu agregat yang menjadi keberadaan zat koloid yang kaku. Kandungan kimia *carbon black* terdiri dari unsur utama seperti karbon, kemudian unsur senyawa lainnya seperti hidrogen, oksigen, sulfur, nitrogen, abu, dan uap. Secara kegunaan industri manufaktur, *carbon black* jenis *Oil-furnace black* yang digunakan oleh industri karet mengandung komposisi lebih dari 97% unsur karbon. Sedangkan untuk tipe *thermal black* dan *acetylene black* mengandung komposisi lebih dari 99% unsur

karbon (Donnet, 1976). Pada Tabel 6 disajikan komposisi kimia dari *carbon black*.

Tabel 6. Komposisi Kimia Dari *Carbon Black*

Jenis	Karbon (%)	Hidrogen (%)	Oksigen (%)	Sulfur (%)	Nitrogen (%)	Abu (%)	Uap (%)
<i>Furnace Rubber-Grade</i>	97,3-99,3	0,20-0,80	0,20-1,50	0,20-1,20	0,05-0,30	0,10-1,00	0,60-1,50
<i>Medium - Thermal</i>	99,4	0,30-0,50	0,00-0,12	0,00-0,25	N α	0,20-0,38	
<i>Acetylene Black</i>	99,8	0,05-0,10	0,10-0,15	0,02-0,05	N α	0,00	<0,40

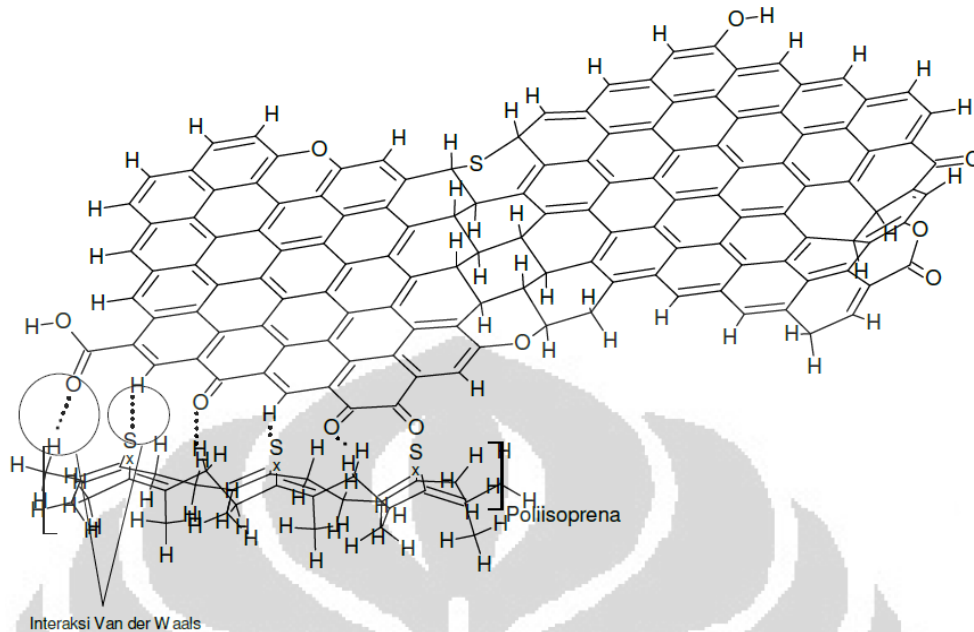
(Sumber: B.J. Donnet, 1976)

Penyusunan atom-atom karbon dalam *carbon black* telah dibentuk oleh metode difraksi X-Ray (Warren, 1954). Pola difraksi menunjukkan difusi cincin pada posisi yang sama sebagaimana cincin-cincin difraksi dari grafit yang murni. *Carbon black* memiliki suatu struktur kristalin grafit yang merosot. Di mana grafit memiliki ordo tiga dimensi, *carbon black* memiliki ordo dua dimensi. Data X-Ray mengindikasikan bahwa *carbon black* terdapat pada stak piringan-piringan grafit yang berkembang secara kasar justru paralel kepada satu sama lain namun acak dalam orientasinya yang mengarah pada lapisan yang berdekatan. *Carbon black* bila dilihat dari sifat penghantar panasnya adalah konduktor yang baik, dengan emisivitasnya yang sempurna sehingga ketika proses vulkanisasi karet terjadi, *carbon black* jauh lebih cepat matang dibanding *filler non-black*. (Barbin, 1994)

Pengujian sifat kimia dari karet yang dihasilkan adalah dengan menentukan presentase *bound rubber* karet tersebut. *Bound rubber* adalah fraksi polimer isoprena yang tidak dapat larut dalam pelarut polimernya karena adanya interaksi dengan *carbon black*. Interaksi antara *carbon black* dan polimer inilah yang disebut *bound rubber* (Dannenberg, 1986).

Interaksi antara bahan pengisi dengan karet mengarahkan kepada adanya *bound rubber* yang menunjukkan adanya gaya Van der Waals seperti digambarkan pada Gambar 6. Kekuatan *bound rubber* ditentukan luas permukaan dan distribusi

ukuran agregat dari *carbon black*. Hal ini disebabkan adanya gaya Van der Waals yang terjadi pada polimer oleh partikel *cabon black*. Semakin luas permukaannya, maka semakin banyak pula polimer yang dapat berinteraksi dengan *cabon black* dan mengakibatkan sifat penguatan dari produk karet akan berbanding lurus dengan luas permukaan dari *carbon black* yang digunakan.



(Sumber: Dannenberg, 1986)

Gambar 6. Struktur Tiga Dimensi Interaksi Van der Waals antara *Carbon Black* dan Rantai Poliisoprena

b. Tanah Liat

Efek penguatan bahan pengisi ditentukan oleh ukuran partikel, keadaan permukaan dan bentuk, kehalusan butiran dan kerataan penyebarannya. Jenis dan jumlah bahan pengisi ditentukan terutama oleh karakteristik produk yang diinginkan dan kelenturannya. Bahan pengisi adalah campuran dari berbagai material. Tanah liat digunakan sebagai alternatif bahan pengisi karena mengandung unsur kimia yang dapat menambah kekuatan ikatan yang terjadi pada komponen vulkanisat karet. *Clay* dikenali sebagai tanah liat yang ditunjukkan pada Gambar 7, merupakan jenis mineral halus, berbentuk kepingan dan komposisi makro dari *Clay* SiO_2 50,03% (Sebayang, 2010).

Silika sebagai *filler* yang dalam bentuk kristal, memiliki sifat karakteristik seperti padatan kristalin lainnya, silika juga bahan yang kuat namun sangat mudah

untuk rapuh dan mudah terkelupas karena pada silika terdapat silikon sebagai inti senyawa (O'Mara, 1990). Silika memang bahan yang cukup kuat kegunaannya, namun tidak lebih kuat dari karbon, terutama produk *carbon black* sebagai bahan *filler* untuk pembuatan tapak ban pesawat. Dari segi regangannya, silika lebih banyak digunakan sebagai bahan campuran untuk aplikasi membuat badan mobil dan pesawat terbang karena kekuatannya yang cukup ringan untuk badan pesawat terbang dan mobil dan lebih nyaman digunakan dibanding karbon dan baja sebagai campurannya (Greenwood, 1997).



Gambar 7. Tanah Liat

Sumber tanah liat yang sangat banyak dapat diperoleh dari hasil kegiatan penambangan di PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Ada beberapa lokasi penambangan di PT Bukit Asam yaitu Tambang Air Laya (TAL), Tambang Muara Tiga Besar (MTB), dan Tambang Banko Barat. Litologi batuan yang terletak di daerah penambangan Banko Barat tergolong ke dalam formasi Muara Enim dan tersusun atas seam A₁, A₂, B₁, B₂, dan C. Pada Tabel 7 dapat dilihat kandungan mineral di setiap lapisan tanah liat yang ada di PT Bukit Asam (Persero). Di antara lapisan batubara terdapat lapisan batuan. Litologi batuan yang terdapat di daerah banko barat (Prasetia, 2016) yaitu :

1. Lapisan Tanah Penutup

Terdiri dari tanah buangan lama, batu lempung bentonitan, batu pasir, gravel, dan endapan lempur. Selain itu dijumpai *clay ironstone*.

2. Lapisan Batubara A₁

Lapisan ini memiliki ketebalan sekitar 7,3 meter yang dicirikan oleh adanya lapisan pengotor sebanyak 2-3 lapis dan di bagian *base* kadang dijumpai lensa-lensa batu lanau.

Tabel 7. Kandungan Mineral di Setiap Lapisan Tanah Liat di Area PT Bukit Asam (Persero) Tbk. Sumatera Selatan Indonesia

Komponen	Kandungan Mineral di Setiap Lapisan Tanah Liat						
	OB A1	Int A1- A2	Int A2- B1	Int B1-B2	Int B2-C	Lower C	Lower D
SiO ₂	53,74%	55,22%	50,83%	54,31%	56,87%	56,65%	75,29%
Al ₂ O ₃	25,05%	26,22%	24,87%	21,49%	21,49%	20,32%	7,62%
Fe ₂ O ₃	4,90%	1,45%	3,28%	4,97%	3,45%	6,22%	7,25%
TiO ₂	0,90%	0,79%	1,03%	0,90%	0,90%	0,87%	0,33%
MgO	1,52%	0,68%	0,40%	1,19%	0,67%	1,79%	1,82%
K ₂ O	1,84%	0,46%	1,04%	1,55%	1,75%	2,02%	0,92%
CaO	0,48%	0,38%	0,26%	0,69%	0,26%	0,66%	0,74%
Na ₂ O	0,12%	0,07%	0,06%	0,12%	0,13%	0,39%	0,44%
SO ₃	1,24%	0,51%	3,07%	1,86%	3,02%	2,09%	0,22%
MnO	0,12%	0,01%	0,02%	0,11%	0,01%	0,07%	0,05%
P ₂ O ₅	0,05%	0,05%	0,04%	0,06%	-	0,08%	0,10%
Cr ₂ O ₃	0,01%	0,03%	0,03%	0,05%	0,05%	0,07%	0,16%
Lain-lain	10,03%	14,13%	15,07%	12,70%	11,40%	8,77%	5,06%

(Sumber : Hasan dkk., 2018)

3. Lapisan Interburden A₁-A₂

Lapisan ini terdiri dari batu lempung atau batu pasir tufaan dengan ketebalan sekitar 4 meter.

4. Lapisan Batubara A₂

Lapisan ini dicirikan oleh adanya lapisan silikaan pada bagian atas dan kadang dijumpai pita pengotor karbonan serta dijumpai juga lensa-lensa batu lanau. Ketebalan lapisan ini sekitar 9,8 meter.

5. Lapisan Interburden A₂-B₁

Lapisan ini merupakan perulangan batu pasir dan batu lanau dengan sisipan tipis batubara/batu lempung karbonan disebut juga dengan *Suban Marker*. Ketebalan lapisan ini sekitar 18 meter.

6. Lapisan Interburden B₁
Biasanya terdapat lapisan pengotor sebanyak 2-3 lapis yang berupa batu lempung, lanauan karbonan. Ketebalan lapisan ini sekitar 12,7 meter.
7. Lapisan Interburden B₁-B₂
Lapisan ini merupakan selang-seling batu lempung dan batu lanau. Ketebalan lapisan ini sekitar 3 meter.
8. Lapisan Batubara B₂
Pada lapisan ini dijumpai adanya pita pengotor berupa batu lempung lanauan karbonan yang kadang-kadang berbentuk seperti lensa. Ketebalan lapisan ini sekitar 4,5 meter
9. Lapisan Interburden B₂-C₁
Lapisan ini merupakan perulangan batu pasir dan batu lanau dengan ketebalan sekitar 38 meter.
10. Lapisan batubara C₁
Pada lapisan ini dijumpai adanya 1-2 lapis pita pengotor berupa batu lempung, batu lanau karbonan. Ketebalan lapisan ini sekitar 5,1 meter.
11. Lapisan Interburden C₁-C₂
Lapisan terdiri dari selang-seling batu lempung dan batu lanau. Ketebalan lapisan ini sekitar 3,5 meter.

2.2.7 *Coupling Agents*

Coupling agent yang tepat mampu meningkatkan ikatan antara serat dan matriks sehingga sifat – sifat komposit menjadi lebih baik. Penambahan *coupling agent* pada komposit serat alam akan menambah sifat mekaniknya hingga 61% dibandingkan tanpa *coupling agent* meningkatkan ikatan antara material organik dan anorganik (Kim dkk, 2011). *Coupling agents* yang digunakan yaitu *Polyethylene Glicol* (PEG) 4000 dan *Bis-(3-triethoxysilypropyl) tetrasetulfide* (JH-S69).

2.2.8 *Retarders*

Tujuan dari retarder vulkanisasi adalah untuk menunda timbulnya awal vulkanisasi untuk memungkinkan cukupnya waktu proses karet yang tak

tervulkanisasi. Beberapa kelas penting material yang digunakan secara komersial seperti asam organik dan anhidrida, sikloheksiltioftalimida (Santogard PVI), dan sulfenamida (Vulkalant E). Contoh dari retarder asam organik termasuk phthalic anhidrida, asam benzoat, dan asam salisilat.

Bahan-bahan ini dijadikan fungsi oleh reaksi dengan komponen dasar yang ada sebagaimana fragment bahan pemercepat, dari komposisi kompon dasar lainnya, dan dari impurities. Gugus-gugus ini, secara normal mempercepat vulkanisasi dan menghasilkan suatu daerah besar pematangan, yang kemudian dinetralkan oleh retarder-retarder asam. Walaupun begitu, gugus-gugus ini efektif dalam penundaan timbulnya awal pematangan.

2.3 Vulkanisasi

Dalam ilmu material Vulkanisasi adalah proses perbaikan sifat karet, terutama kekuatan dan keelastisitasannya. Sifat karet yang lebih baik setelah vulkanisasi terjadi karena adanya perubahan pada struktur molekul polimer karet yaitu terbentuknya ikatan silang antar rantai polimer karet oleh atom-atom belerang. Eurich (1978) mengatakan bahwa proses vulkanisasi adalah membuat bahan (karet mentah) menjadi elastis. Pada umumnya terjadi pembentukan jaringan molekul secara kimia dan rantai molekul yang bebas. Molekul karet akan bereaksi dengan zat kimia yang ditambahkan membentuk jaringan yang stabil sehingga tidak mudah berubah bentuknya.

Vulkanisasi adalah suatu proses kimia yang bersifat irreversibel dengan menggunakan bahan pemvulkanisasi seperti sulfur bahan yang mengandung sulfur dan peroksida organik. Proses vulkanisasi karet biasanya melibatkan pemanasan karet pada suhu $100^{\circ}\text{C} - 180^{\circ}\text{C}$ dengan bahan pemvulkanisasi sehingga membentuk produk yang disebut vulkanisat (Craig, 1969). Melalui vulkanisasi komponen karet, molekul karet yang semula lurus atau berupa struktur dua dimensi, berubah menjadi struktur tiga dimensi karena terbentuk ikatan silang oleh bahan pemvulkanisasi (Craig, 1969).

Vulkanisasi belerang merupakan bahan vulkanisasi yang umum dan banyak digunakan. Menurut Long (1985), laju vulkanisasi dapat ditingkatkan melalui penambahan bahan pemercepat dan penggiat. Kombinasi antara bahan

pemvulkanisasi, bahan pemercepat, dan bahan penggiat disebut sistem vulkanisasi. Sistem vulkanisasi dapat didefinisikan sebagai jumlah aditif yang diperlukan untuk memvulkanisasi elastomer atau karet yang semula bersifat plastis, liat, dan tidak mantap terhadap suhu (*thermoplastic*) berubah menjadi elastis, kuat, dan mantap bentuknya terhadap perubahan suhu (*thermoset*). Menurut Lee dan Whelan (1997), sistem vulkanisasi yang digunakan akan menentukan jenis ikatan silang yang terbentuk.

2.3.1 Mengukur Vulkanisasi

Rheometer merupakan salah satu jenis dari *rubber testing equipment* yaitu berfungsi untuk menguji sifat polimer pada saat karet tersebut dipakai. Selain itu juga pengembangan dari viscometer yang menguji sifat polimer karet saat sebelum dipakai. Pada proses selanjutnya sebelum melakukan tahap *press moulding* (pencetakan produk) dengan menggunakan alat *press moulding* perlu melakukan pengujian terhadap kompon. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kematangan kompon (suhu, waktu, dan tekanan) dengan alat yang bernama Rheometer.



Gambar 8. Rheometer

Rheometer juga alat berfungsi untuk melakukan pengujian terhadap karet silikon, selain itu fungsi lain dari alat ini merupakan alat yang dapat pula melakukan uji vulkanisme (*cure*) pada kompon karet serta dapat pula menguji elastisitas dan torsi pada karet. Dengan menggunakan Rheometer sebagai alat pengujian karet untuk produk karet terlihat pada Gambar 8, maka kualitas produk dapat ketahui, dan dapat menjadikan kualitas produk karet tersebut sebagai unggulan produk karet . Pada industri karet Rheometer sudah wajib menjadi alat yang harus dimiliki untuk mengontrol kualitas produk karet, misalnya sepatu dan produk-produk lainnya, dengan Rheometer kualitas terkontrol lebih mudah karena data dari Rheometer sudah bisa terlihat langsung pada komputer.

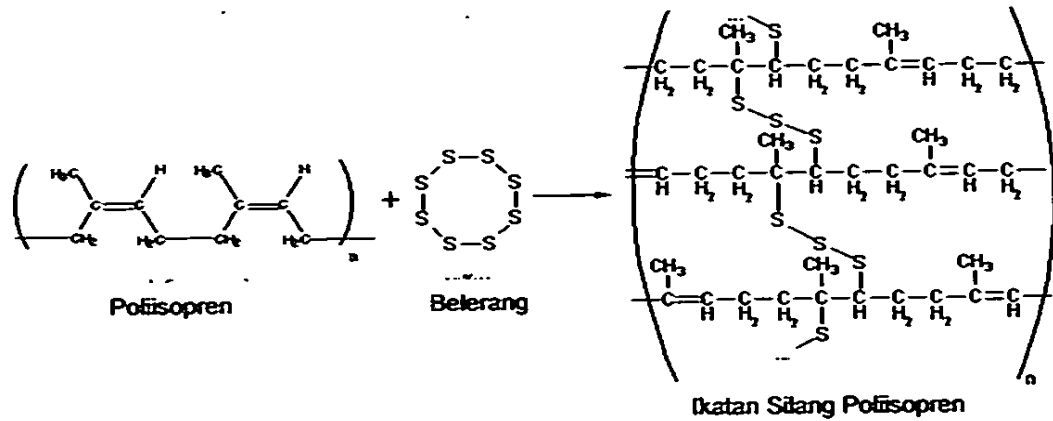
Formasi dari struktur ikatan silang tiga dimensi selama vulkanisasi meningkatkan kekakuan (modulus) kompon. Meskipun itu, berdasarkan modulus yang bertambah dengan versi waktu perbaikan menyediakan suatu gambar yang berlanjut pada proses vulkanisasi. *Oscillating Disk Rheometers* (ODR) dan *Moving Die Rheometers* (MDR) menyajikan metode yang berguna dalam vulkanisasi. Dalam pengujian ini, suatu sample yang belum ditimbang pada karet yang belum baik diletakkan dalam suatu rongga yang dipanaskan yang memuat suatu rotor kerucut. Rongga ditutup dan rotor diatur untuk berputar dalam sampel karet. Sebagaimana proses vulkanisasi, resistensi kompon pada gerakan rotor bertambah dan resistensinya berjalan seiring waktu vulkanisasi, sehingga menghasilkan profil yang terus menerus pada perilaku perbaikan.

2.3.2 Vulkanisasi Sulfur

Bahan perantara vulkanisasi dalam karet berguna dalam proses pravulkanisasi. Bahan perantara vulkanisasi adalah suatu bahan kimia yang mampu membentuk jembatan yang menghubungkan rantai molekul karet satu dengan karet lainnya. jembatan tersebut dikenal sebagai ikatan silang. Bahan perantara vulkanisasi yang umum digunakan adalah belerang dan peroksida (Polhamis, 1962). Sistem vulkanisasi dengan belerang yang mampu memberntuk ikatan silang disulfida, dapat dilihat pada Gambar 9.

Sulfur merupakan bahan perantara vulkanisasi yang lazim digunakan dalam kompon karet alam, poliisopren sintesis, karet stirena-butadiena, dan

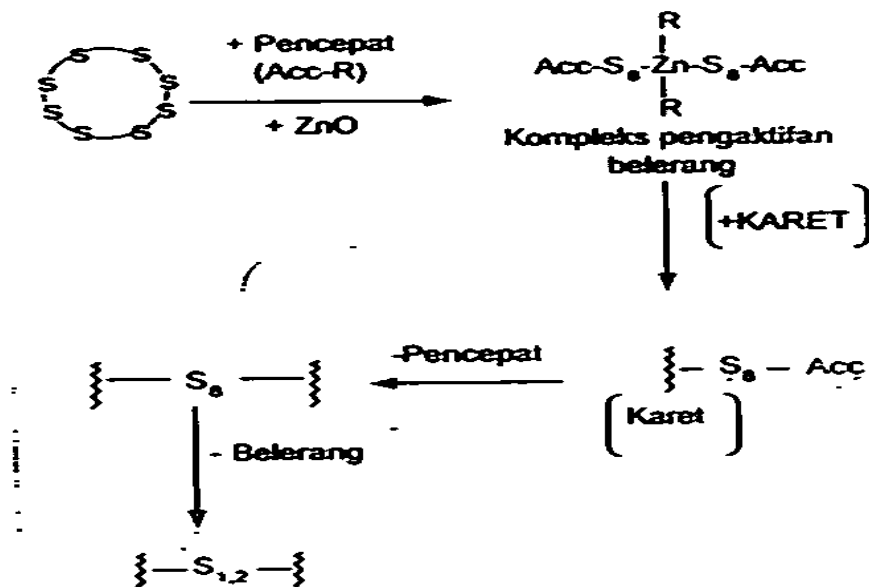
polibutadiena. Secara fisik belerang mempunyai bentuk padatan berwarna kuning dan tidak larut dalam air. Dipasarkan dalam bentuk bubuk (Handokko, 2002).



(Sumber: Harti, 2006)

Gambar 9. Pembentukan Ikatan Silang Setelah Vulkanisasi oleh Belerang

Proses vulkanisasi diakakukan melalui pemansan karet secara perlahan pada rentang suhu 20°C - 80°C dan mempertahankannya sampai derajat vulkanisasi yang diinginkan tercapai (Gorton, 1979). Selama pravulkanisasi, embentukan ikatan silang terjadi di dalam masing –masing partikel karet secara indivisu, tanpa interaksi terhadap partikel yang lain. Hal ini mengakibatkan partikel masih mempunyai bentuk dan ukuran distribusi yang tidak berubah (Blackley, 1966).

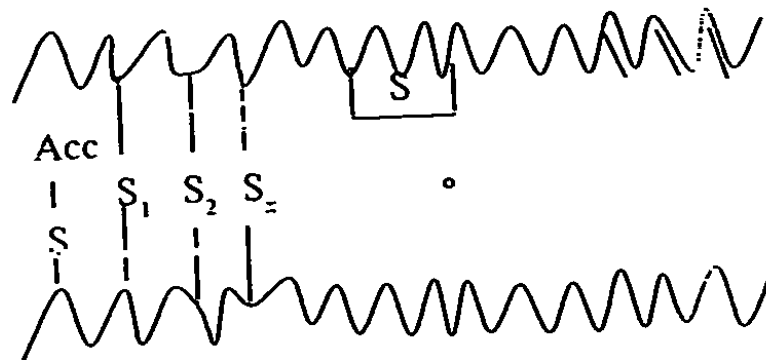


(Sumber: Suparto dan Santosa, 2002)

Gambar 10. Mekanisme Vulkanisasi

Mekanisme vulkanisasi berawal dari pemutusan lingkaran molekul belerang yang kemudian membentuk kompleks pengaktifkan belerang dengan melibatkan akselerator dan ZnO. Bahan pengaktifan perantara ini melepaskan rantai belerang oligomer yang reaktif dan menyerang posisi atom C alilik dari molekul karet, dan memberntuk ikatan silang (Suparto dan Santosa, 2002). Mekanisme vulkanisasi dijelaskan dalam Gambar 10.

Ikatan silang yang terbentuk merupakan ikatan polisulfida yang mengandung banyak atom belerang dan mempunyai ikatan energi rendah. Selama proses pemanasan pada pemasakan, ikatan polisulfida akan putus membentuk ikatan siang yang lebih pendek. Sebagai akibatnya monomolekuler belerang yang putus membentuk ikatan silang baru atau katan belerang intermolekuler sepanjang molekul karet dan terbentuknya ikatan rangkap terkonjugasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 11.



(Sumber: Suparto dan Santosa, 2002)

Gambar 11. Struktur Ikatan Silang dari Ikatan Intermolekul pada Vulkanisat

Sistem vulkanisasi karet dapat dibedakan atas tiga jenis (Morton, 1987), yaitu:

1. Sistem Konvensional yaitu menggunakan belerang yang lebih banyak dari bahan pencepat,
2. Sistem Efisien (*Efficient Vulcanization*, EV) yaitu menggunakan bahan pencepat yang lebih banyak dari belerang, dan
3. Semi EV yaitu menggunakan belerang yang sama atau seimbang beratnya drngan bahan pencepat.

Pembagian sistem vulkanisasi belerang yang didasari oleh perbandingan (rasio) antara penggunaan belerang dan bahan pencepat tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Kisaran Perbandingan Belerang dan Pincepat pada Sistem Vulkanisasi Belerang

Sistem Vulkanisasi	Belerang, phr	Bahan Pincepat, phr	Rasio
Konvensional	2,0 – 3,5	1,2 – 0,4	0,1 – 0,6
Efisien	0,4 – 0,8	5,0 – 2,0	2,5 – 1,2
Semi EV	1,0 – 1,7	2,5 – 1,2	0,7 – 2,5

(Sumber: Morton, 1987)

2.3.3 Vulkanisasi Non – Belerang

Vulkanisasi belerang yang tidak menggunakan unsur belerang sebagai bahan pemvulkanis, vulkanisasinya dilakukan dengan menggunakan senyawa *thiuram disulfide* (bahan ini biasanya digunakan sebagai bahan pincepat) atau dengan selenium atau tellurium sebagai bahan pemvulkanis. Produk barang jadi dari vulkanisasi jenis ini lebih tahan terhadap *heat aging* (penuaan yang disebabkan oleh panas). Ikatan silang efisien yang hanya 1 atau 2 atom belerang ditemukan dengan menggunakan *thiuram disulfide* dan bahan pincepat bersifat sebagai antioksidan (Morton, 1987).

Suatu radikal bebas yang terbentuk dari dekomposisi atau oksidasi oleh bahan pemvulkanisasi atau suatu degradasi karet yang teroksidasi dapat memacu vulkanisasi pada salah satu atom hidrogen grup α -metilena (*α -methylene groups*). Radikal bebas karet kemudian menyerang ikatan rangkap yang berdekatan di dalam rantai polimer. Hasilnya adalah pembentukan ikatan silang dan secara analog berlanjut ke suatu reaksi propagasi reaksi polimerisasi adisi (Billmeyer, 1984).

2.3.4 Vulkanisasi Peroksida

Karet yang mempunyai ikatan jenuh pada rantai molekulnya tidak dapat divulkanisasi dengan menggunakan sistem vulkanisasi belerang dan bahan pincepat. Karet seperti ini dapat divulkanisasi dengan menggunakan peroksida organik. Molekul peroksida ini dapat terdekomposisi menjadi radikal bebas dibawah kondisi pengaruh panas. Peroksida organik yang sering digunakan untuk sistem vulkanisasi peroksida adalah *dicumyl peroxide* dan *benzoyl peroxide*.

Panas menyebabkan ikatan O – O pada molekul *dicumyl peroxide* pecah dan berubah menjadi radikal bebas (*cumyloxy radical*). Radikal bebas ini

menyerang atom H pada rantai molekul karet dan bereaksi, sehingga menghasilkan *cumyl alcohol* (hasil reaksi antara *cumyloxy radical* dan atom H pada karet) dan polimer radikal atau radika I molekul karet. Kemudian molekul polimer radikal ini bereaksi antara satu dengan lainnya yang membentuk ikatan silang C – C. (Morton, 1987 dan *Indian Rubber Institute*, 2000).

2.3.5 Sistem Vulkanisasi yang Lain

Beberapa karet dapat divulkanisasi dengan senyawa fungsi ganda yang tidak mengandung belerang (*nonsulfur bifunctional compounds*) dan membentuk ikatan silang tipe jembatan. Sebagai contoh, karet *neoprene* dapat divulkanisasi dengan menggunakan oksida logam atau karet butyl divulkanisasi dengan *dinitrobenzene* sebagai bahan pemvulkanis (Morton, 1987).

2.4 Pengujian Sifat Fisik Kompon Karet

Pengujian sifat fisik kompon karet dilakukan untuk mengetahui sifat kompon karet tersebut, apakah kompon karet cocok atau tidak digunakan sebagai barang jadi karet yang dikehendaki, sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Sifat-sifat fisik kompon karet tersebut antara lain.

2.4.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik (*tensile test*) adalah pengujian fisik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (Newton). Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat fisik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel uji disebut deformasi. Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula. Regangan merupakan ukuran untuk kekenyalan suatu bahan yang harganya biasanya dinyatakan dalam persen (Tulus, 2013).

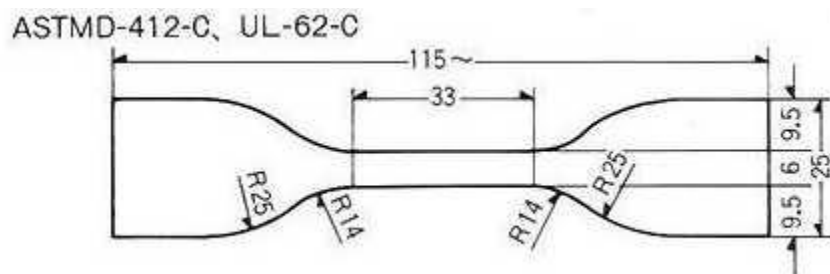
Pengujian tarik komposit karet memiliki dua bentuk spesimen yaitu bentuk *dumbel* dan *straight*. *Dumbbel* bentuk yang paling sering digunakan, sedangkan bentuk *straight* digunakan pada saat bentuk *dumbbel* tidak bisa dibentuk atau dibuat. Pembuatan bentuk *dumbbel* menggunakan alat pembentuk yang disebut *cutting dumbbel*. Untuk dimensi ukuran *dumbbel* ditunjukkan Tabel 9

menunjukkan standar dimensi ukuran *dumbbel* pada pengujian kekuatan tarik. *Dumbbel* dibentuk dari lembaran-lembaran kompon atau komposit karet alam dan bentuk menjadi lima dalam satu variasi pengujian. Skema bentuk *dumbbel* dari proses *cutter dumbbel* ditunjukkan Gambar 12.

Tabel 9. Dimensi Ukuran *Dumbbel*

No	Dimensi	Satuan	Toleransi	A	B	C	D	E	F
1	A	mm	±1	25	25	25	16	16	16
2	B	mm	Max	40	40	40	30	30	30
3	C	mm	Min	140	140	115	100	125	125
4	D – E	mm	±6	32	32	32	32	32	32
5	E	mm	±1	13	13	13	13	13	13
6	F	mm	±2	38	38	19	19	38	38
7	G	mm	±1	14	14	14	14	14	14
8	H	mm	±2	25	25	25	16	16	16
9	L	mm	±2	59	59	33	33	59	59
10	W	mm	±0,005-0,0	12	6	3	3	3	3
11	Z	mm	±1	13	13	13	13	13	13

(Sumber: Riyanto, 2018)



(Sumber: Riyanto, 2018)

Gambar 12. Dimensi dan Bentuk *Dumbbel* ASTM-D412

Gambar 12. menunjukkan skema *dumbbel* beserta dimensinya menurut standar ASTM-D412. Hasil pembentukan *dumbbel* disimpan di dalam suhu ruang 24 jam. Proses pengujian kekuatan tariknya, *dumbell* dijepit pada *grip* mesin uji dan ditarik dengan tingkat kecepatan 500 mm/menit (ASTM, 2008). Pengujian kekuatan tarik yaitu menggunakan cara material atau spesimen ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya menggunakan satu arah atau dua arah dimana akan diberikan gaya tarik. Untuk skema uji tarik ditunjukkan Gambar 13. Pada uji tarik karet hasil vulkanisir terdapat tiga parameter utama terukur yaitu:

a. Kekuatan tarik

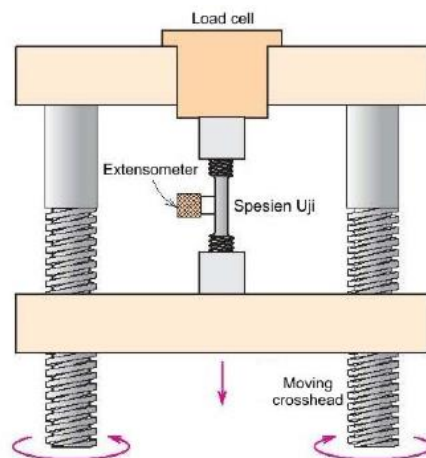
Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari bahan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas penampang awal sampel yang diperlukan untuk meregangkan penampang awal sampel hingga patah terjadi. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, temperatur, kelembaban, dan seterusnya. Kekuatan tarik diukur dengan menarik sekeping sampel dengan dimensi yang seragam. Nilai kekuatan tarik dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Keterangan: σ = Tegangan (N/mm²)

F = Gaya (Newton)

A = Luas penampang (mm²)



(Sumber: Tulus, 2013)

Gambar 13. Skema Uji Tarik

b. Perpanjangan putus

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibanding dengan panjang daerah ukur (*gage length*). Nilai regangan ini adalah regangan proporsional yang didapat dari garis

proporsional pada grafik tegangan regangan. Nilai regangan dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{(l - l_0)}{l_0}$$

Keterangan: ε = Regangan (%)

Δl = Deformasi/ pemanjangan (mm)

l_0 = Panjang mula – mula (mm)

l = Panjang akhir (mm)

c. Modulus

Hasil uji tegangan tarik (Modulus) terhadap sampel bertujuan untuk mengetahui besarnya beban yang diperlukan untuk meregangkan membran sampai perpanjangan tarik tertentu. Besarnya nilai modulus elastisitas yang juga merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Keterangan: E = Modulus (N/m^2)

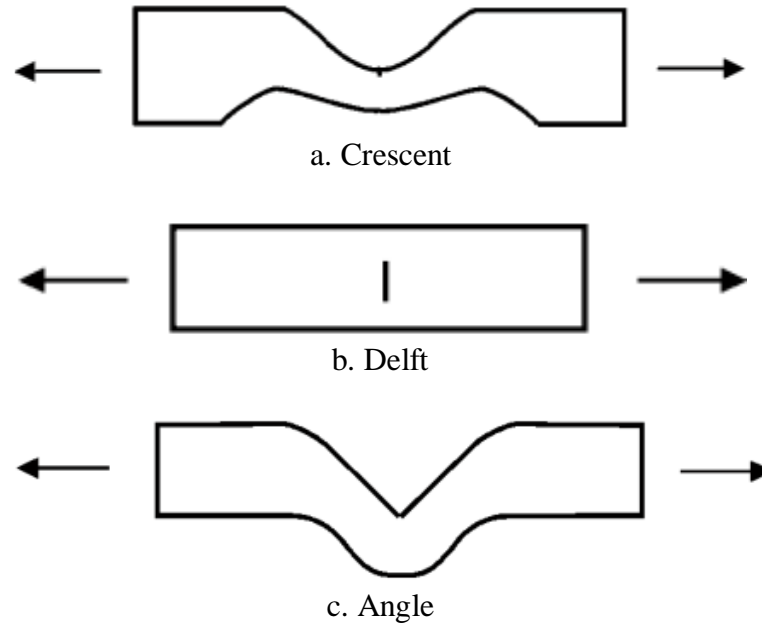
σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan (%)

2.4.4 Ketahanan Sobek

Kekuatan sobek adalah proses patah secara mekanik yang dimulai dan menjalar ditempat pada spesimen uji yang memiliki konsentrasi tegangan tinggi sehingga kemudian terjadi potongan, cacat, atau deformasi lokal. Kekuatan sobek membutuhkan kekuatan tarik sehingga terjadi robekan pada benda uji dalam kondisi yang dikendalikan. Uji ketahanan sobek dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik, ada berbagai jenis bentuk potongan sampel uji yang digunakan yang ditunjukkan pada Gambar 14. Ketahanan sobek merupakan salah satu sifat penting yang harus diperhatikan baik saat barang jadi karet yang telah selesai

dicetak hendak dikeluarkan dari cetakan hingga saat barang jadi karet tersebut digunakan.



(Sumber: Tulus, 2013)

Gambar 14. (a), (b), dan (c) Beberapa Model Sampel Uji Ketahanan Sobek