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 (Sipahuntar, 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.

(Sumber: Dokumentasi pribadi, 2019)

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.

(Sumber: Syakir dkk., 2010)

Gambar 2. Pohon Karet

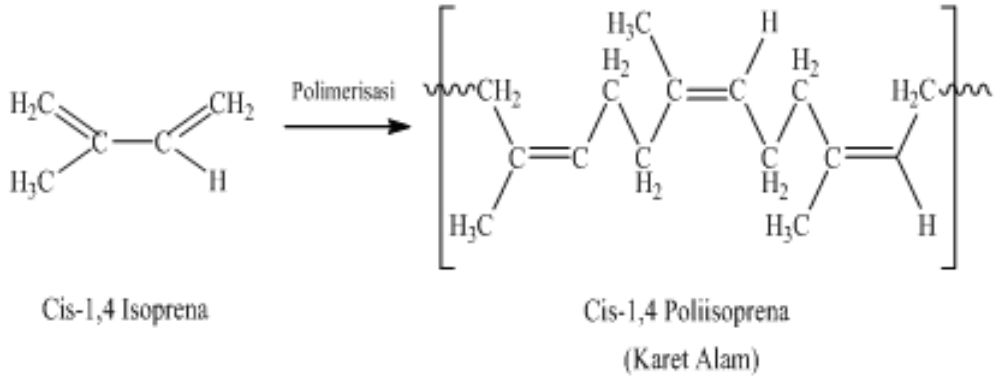
Mutu karet *konvensional* dinilai berdasarkan analisis *visual* permukaan lembaran karet. Mutu karet *konvensional* dinilai berdasarkan analisis *visual*

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 (Sipahuntar, 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 mekanik karet alam yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet Alam

Polylymerlyme	*Polyisoprene* $(C_5H_8)n$
Modulus of Elasticity	2500 lb/in.^{2} (18 MPa)
Tensile Strenght	3500 lb/in.^{2} (25 MPa)
Elongation	700% at *failure*
Abrasion Resistance	Good to Excellent
Compression Set	Excellent
Rebound Resilience	Excellent
Hardness	30-95 *Shore* A
Specific Gravity	0.93
High-Temperature Limit	-
Low-Temperatute Limit	-

(Sumber : Robinson, 2005)



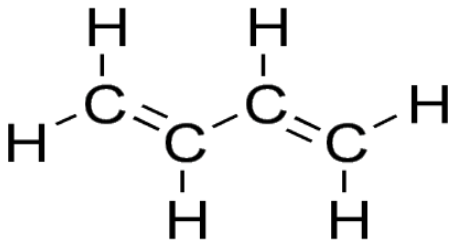
(Sumber: Prasetia, 2016)

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).



(Sumber: Prasetia, 2016)

Gambar 4. Struktur Kimia *Butadiene Rubber*

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.

Tabel 2. Karakteristik dan Sifat Mekanik Karet *Butadiene*

Polymer	*Polybutadiene* $(C_4H_6)n$
Modulus of Elasticity	2000 lb/in.^{2} (15 MPa)
Tensile Strenght	3500 lb/in.^{2} (25 MPa)
Elongation	500% at *failure*
Abrasion Resistance	Fair to Excellent
Compression Set	Good to Excellent
Rebound Resilience	Fair to Excellent
Hardness	45-80 *Shore* A
Specific Gravity	0.93
High-Temperature Limit	-
Low-Temperatute Limit	-

(Sumber : Robinson, 2005)

Butadiene Rubber dibuat dengan cara polimerisasi emulsi dan larutan, polimerasi larutan menghasilkan karet BR, untuk keperluan pembuatan ban yang lebih tanahn 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 mekanik 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 (Nytrile 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 organic, 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 apabia 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 memudarkan 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, *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 sintetis 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 (*reinforcing filler*). Bahan pengisi ini memberikan pengaruh yang besar terhadap perbaikan sifat fisik vulkanisat baik karet alam maupun karet sintetis	*Carbon black* sebagai *reinforcing filler* : N 110, 358 dan *Semi-reinforcing filler* : N 539, N 630
2	Bahan pengisi tanpa penguat (*inert filler*). Bahan pengisi ini hanya sedikit pengaruhnya terhadap perbaikan sifat fisik vulkanisat karet, tetapi dapat menaikkan kerapatan kompon.	Tanah liat, *whiting*, 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. 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 5, merupakan jenis mineral halus, berbentuk kepingan dan komposisi makro dari *Clay* SiO_2 50,03% (Sebayang, 2010).

(Sumber: Prasetia, 2016)

Gambar 5. Tanah Liat

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).

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 A_1, A_2, B_1, B_2, dan C.

Tabel 4. 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_2O_3	25,05%	26,22%	24,87%	21,49%	21,49%	20,32%	7,62%
Fe_2O_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_2O	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_2O	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_2O_5	0,05%	0,05%	0,04%	0,06%	-	0,08%	0,10%
Cr_2O_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)

Pada Tabel 4 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 A_1

   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.

3. Lapisan Interburden A_1-A_2

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

4. Lapisan Batubara A_2

   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 A_2-B_1

   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 B_1

   Biasanya terdapat lapisan pengotor sebanyak 2-3 lapis yang berupa batu lempung, lanauan karbonan. Ketebalan lapisan ini sekitar 12,7 meter.

7. Lapisan Interburden B_1-B_2

   Lapisan ini merupakan selang-seling batu lempung dan batu lanau. Ketebalan lapisan ini sekitar 3 meter.

8. Lapisan Batubara B_2

   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 B_2-C_1

   Lapisan ini merupakan perulangan batu pasir dan batu lanau dengan ketebalan sekitar 38 meter.

10. Lapisan batubara C_1

    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 C_1-C_2

    Lapisan terdiri dari selang-seling batu lempung dan batu lanau. Ketebalan lapisan ini sekitar 3,5 meter.

12. Lapisan Batubara C_2

    Pada lapisan ini dijumpai adanya 1-2 lapis pita pengotor berupa batu lempung, batu lanau karbonan. Ketebalan lapisan ini sekitar 6,2 meter.

2.2.7 *Coupling Agents*

Coupling agent yang tepat mampu meningkatkan ikatan antara serat dan matriks shingga 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) tetraseulfide (*JH-S69).

2.2.8 *Retarders*

Tujuan dari retarder vulkanisasi adalah untuk menunda timbulnya awal penyembuhan 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 sebuah sulfenamida (Vulkalent 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 komponding dasar lainnya, dan dari impurities. Gugus-gugus ini, secara normal mempercepat vulkanisasi dan menghasilkan suatu daerah besar penyembuhan, yang kemudian dinetralisir oleh retarder-retarder asam. Walaupun begitu, gugus-gugus ini efektif dalam penundaan timbulnya awal penyembuhan.

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°C – 180°C dengan bahan pemvulkanisasi sehingga membentuk produk yang disebut vulkanisat. 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.

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.

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 6, 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.

(Sumber: Balai Penelitian Karet, 2019)

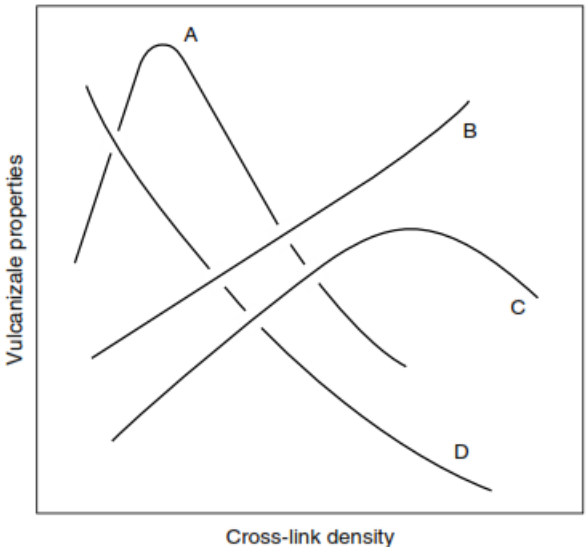
Gambar 6. Rheometer

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

Vulkanisasi sulfur adalah suatu reaksi kompleks yang berlangsung antara jumlah densitas dan tipe (struktur) pada aliran silang berlangsung secara terus

menerus terjadi sebagaimana proses reaksinya terlihat pada Gambar 7. Struktur-struktur kimia tersebut terbentuk pada setiap waktu yang diberikan selama penyembuhan bisa mereaksikan salah satu sifat sebagaimana kekuatan potong yang sementara tidak optimum bagi sifat lainnya sebagimana histeresis dan set kompresi. Suatu sistem penyembuhan didesain untuk meminimalis percobaan ini selalu objektif pada teknologi karet (Helt, 1991).



(Sumber: Fath, 1993)

Gambar 7. Efek dari Aliran Silang dimana (A) merepresentasikan Kekuatan potong, Kekakuan dan Ketangguhan; (B) Keelastisan dan Kekakuan; (C) Kekuatan tarik; dan (D) Histeresis, set permanen, dan koefisien friksi.

Densitas aliran silang hanya memiliki suatu efek kecil dalam beberapa sifat material kompon sebagaimana konduktivitas termal, sifat-sifat kelistrikan, dan keretakkan pada suhu rendah. Pertimbangan sistem penyembuhan lainnya adalah perlakuan pembakaran kompon. Terlebih dahulu untuk vulkanisasi, karet seperti plastik dan bisa diproses dalam bentuk yang diinginkan seperti ban, ikat pinggang, dompet, dan lain-lain. Waktu yang tersedia untuk menyelesaikan proses ini bergantung pada sistem penyembuhannya dan merujuk kepada waktu pembakaran. Jika suatu kompon melakukan penyembuhan premature selama tahap proses, ini biasanya tergeser. Meskipun itu, suatu pemerolehan penting pada langkah vulkanisasi adalah untuk meminimalisir vulkanisasi prematur atau pembakaran (Paris, 1991).

Sulfur adalah bahan pemvulkanisasi paling umum yang secara luas

menggunakan diena yang berisi elastomer, seperti karet alam, SBR, dan polibutadiena. Sulfur pembuat karet yaitu suatu bentuk rhombik yang muncul sebagaimana suatu siklik atau struktur cincin delapan anggota. Sulfur yang tak terlarut yaitu suatu bentuk senyawa polimer amorf dengan berat molekul 100.000 – 300.000. Karena bahannya tidak larut dalam karet, tahan migrasi ke permukaan sebelum penyembuhan dan atribut mekar bebas ini memberikan kontribusi untuk mempertahankan taktik bangunan yang lebih baik dan komponen yang lebih baik untuk adhesi komponen (Brydson, 1978). Sulfur memuat bahan kimia sebagaimana Dimorfolinil Disulfida (DTDM) dan Tetrametiltiuram Disulfida (TMTD) yang tidak hanya pemercepat efektif, tapi juga digunakan sebagai donor sulfur.

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.

2.4 Pengujian Sifat Fisik Kompon Karet

Pengujian sifat fisik kompon karet dilakukan untuk mengetahui sifat kompon karet tersebut, apakah kompon karet cocok ataukah 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 mekanik secara statis dengan cara sampel ditarik dengan pembebanan pada kedua ujungnya dimana gaya tarik yang diberikan sebesar P (Newton). Tujuannya untuk mengetahui sifat-sifat mekanik tarik (kekuatan tarik) dari komposit yang diuji. Pertambahan panjang (Δl) yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel uji

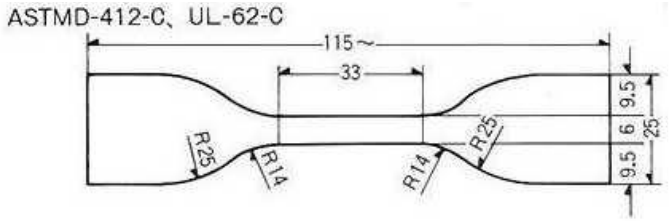
disebut deformasi. Regangan merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula. Regangan merupakan ukuran untuk kekenyalan suatu bahan yang harganya biasanya dinyatakan dalam persen (Tulus, 2013).

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 5 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 8.

Tabel 5. 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 8. Dimensi dan Bentuk *Dumbbel* ASTM-D412

Gambar 8. 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). Penggujian 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 ditunjukan Gambar 9. Pada uji tarik karet hasil vulkanisir terdapat tiga parameter utama terukur yaitu:

a. Kekuatan tarik

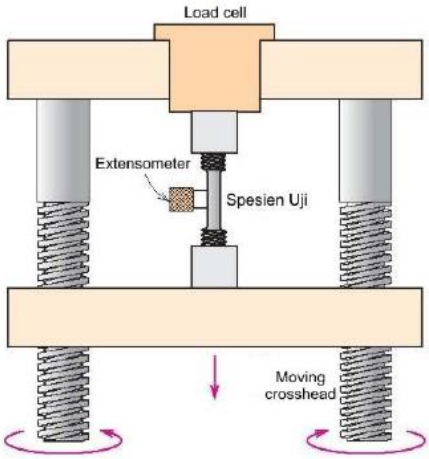
Kekuatan tarik adalah salah satu sifat dasar dari bahan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas penampang awal sampel yang diperlukan untuk meregangkan penampang awal sampel hingga patah terjadi. Hubungan tegangan-regangan pada tarikan memberikan nilai yang cukup berubah tergantung pada laju tegangan, 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/mm^2)

F = Gaya (Newton)

A = Luas penampang (mm^2)



(Sumber: Tulus, 2013)

Gambar 9. 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:

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

Keterangan: ε = Regangan (%)

Δl = Deformasi/ pemanjangan (mm)

lo = 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)

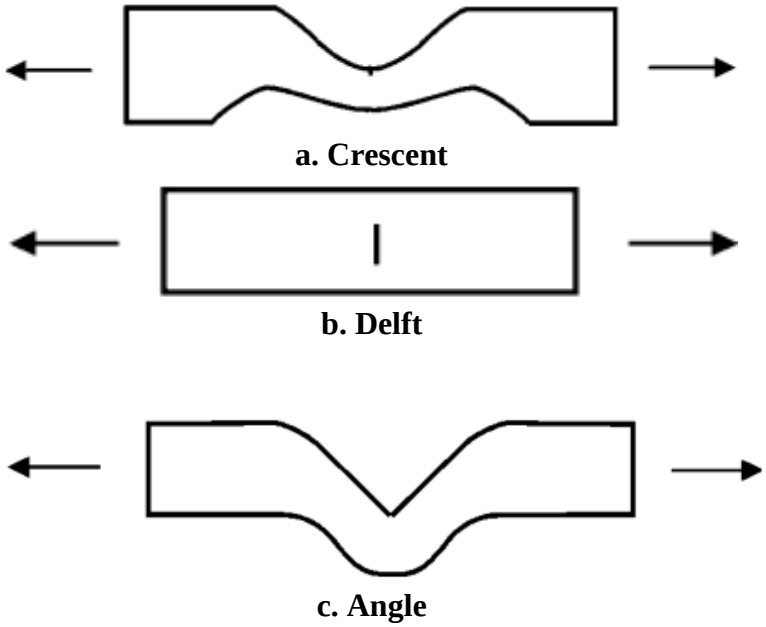
σ = Tegangan (N/m^2)

ε = Regangan (%)

2.4.4 Ketahan 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 10. Ketahanan sobek merupakan salah satu sifat penting yang harus diperhatikan baik saat barang jadi karet yang telah selesai dicetak hendak dikeluarkan dari cetakan hinga saat barang jadi karet tersebut digunakan.



(*Sumber: Tulus, 2013)*

Gambar 10. (a), (b), dan (c) Beberapa Model Sampel Uji Ketahan Sobek