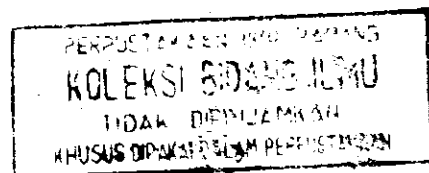


BAN MOBIL
(PEMROSESAN MATERIAL T352)

510/HD/88

Bagian II



Diterjemahkan oleh
Drs. Syamsuri Hasan

Jurusan PT. Otomotif

Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan

PADANG

1987

26.3.1988.

Hadih

KJ

510/22/88-6(2)

678.32 BAN 6

KATA PENGANTAR

Buku bagian II ini masih berhubungan dengan buku bagian I. Dimana dalam bagian I pembahasannya bertitik tolak pada penguraian material yang dipakai untuk pembuatan ban mobil radial. Sedangkan pada buku bagian II ini pembahasan ditekankan untuk memproses material tersebut menjadi ban mobil, dengan kata lain penguraian tentang proses pembuatan ban mobil.

Semoga buku bagian II inipun bermanfaat bagi yang memerlukannya. Terima kasih.

Padang : September 1987

Penyusun/penterjemah

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.	ii
DAFTAR ISI.	iii
BAB 1. FIBER DAN KAWAT PENGUAT.	1
1.1. Fiber Rayon.	1
1.2. Fiber Nilon Dan Fiber Poliester.	3
1.3. Glass, Baja Dan Nilon Aromatik..	4
1.4. Pembiayaan Berdasarkan Perban - dingan Fiber Dan Cord.	6
BAB 2. HUBUNGAN-SILANG.	8
2.1. Sifat Elastisitas Seperti Karet.	9
2.1.1. Teori Kinetik Dari Sifat Elas- tisitas.	9
2.1.2. Kerapatan Hubungan-silang. ...	11
2.2. Vulkanisasi.	12
2.2.1. Hubungan-silang Sulphur.	13
2.2.2. Akselerasi.	16
2.2.3. Sifat Reaktif Karet.	17
2.2.4. Vulkanisasi Kurang Sulphur. ..	17
2.3. Pengawetan Campuran Karet.	18
2.3.1. Kurva Pengawetan.	18
2.3.2. Pembakaran, Pengawetan Dan Pe- ngawetan Lebih.	20
2.4. Anti-oksidan Dan Anti-ozonan. ..	20
BAB 3. MENEMPATKAN KOMPONEN-KOMPONEN BAN SE- KALIGUS.	22
3.1. Pencampuran Ban.	22
3.2. Membentuk Komponen.	26
3.2.1. Penggilingan Campuran.	26
3.2.2. Mengkalenderkan.	27
3.2.3. Persiapan Susunan.	29
3.2.4. Ekstrusi.	29
3.3. Membangun Ban.	31
3.4. Vulkanisasi.	33
3.4.1. Pencetakan Ban.	34
3.4.2. Pengontrol Waktu Dan Tempera - tur Siklus Pengawetan.	35
BAB 4. MENSIKLUS-ULANG BAN MOBIL.	40
4.1. Retreading Ban-ban Bekas Dipa - kai.	42
4.1.1. Tread Lunak Diperkuat.	43
4.1.2. Pengembangan Dalam Retreading.	43

4.2. Memperbaiki Karet.	45
4.3. Penjualan Ban Bekas.	47
4.3.1. Pembuangan Ban Mobil.	47
4.3.2. Pembakaran Ban Mobil.	47
4.3.3. Pirolisis Ban.	50
4.4. Ban Mobil Dalam Perkembangan - Selanjutnya.	51
4.4.1. Karet Termoplastik.	51
4.4.2. Perubahan Dalam Desain Ban - Dan Pemakaiannya.	55

BAB I

FIBER DAN KAWAT PENGUAT

Meskipun karbon hitam menaikkan modulus geser sekitar faktor sepuluh (10) dan sangat mempertinggi kekuatan tarik dan tahanan abrasi, tetapi material masih belum cukup untuk gaya yang dikembangkan selama pergerakan dan selanjutnya penguatan ditambah dalam bentuk fiber. Sebagaimana yang telah kita lihat dalam bagian terdahulu, bahwa cara yang satu arah memperkuat agen adalah menentukan karakteristik pengendalian, panjang umur dan cengkraman. Fiber penguat utama yang dipakai pada ban diperlihatkan dalam tabel 1 bersama dengan densitas, kekuatan dan modulusnya.

1.1. Fiber Rayon

Rayon adalah fiber lapisan tekstil tradisional yang dipilih karena memang terjadi selulose. Bubur mentah dari kayu atau kapas yang diperlakukan dengan rangkaian utama kimia alkalin, dimana pada dasarnya merubah bubur itu kedalam larutan. Larutan diaduk kedalam suatu campuran asidik untuk membekukan larutan menjadi fiber solid. Fiber pada waktu itu biasanya merentang untuk menaikkan modulus.

Bagaimanakah merentang fiber agar menjadi kaku ?

Menarik fiber yang disusun mencari arah rangkaian molekul selulose, sehingga banyak proporsi lebih besar disearahkan sepanjang poros fiber. Oleh karena banyak rangkaian polimer yang mengeras (kaku) sepanjang rangkaian dari pada melintang fiber, akibatnya modulus fiber dinaikkan.

Walaupun demikian beberapa rangkaian terjadi pemecahan (pengrusakkan) pada tingkat pemisahan dan memajukan teknologi rayon dalam viskos serta mengurangi penurunan derajat, sehingga derajat polimerisasi dari molekul selulose setiap tahunnya bertambah secara progresif seiring dengan perbaikan sifat-sifat mekanisnya (tabel 1). Oleh karena mempunyai modulus tinggi yang secara relatif perubahan temperatur diabaikan, maka rayon merupakan material yang baik dan dapat juga dipakai untuk breaker yang memberi cukup lapisan. Ukuran fiber ditentukan oleh denier (= berat dalam gram untuk 9 km fiber). Kamu boleh mengira bahwa denier adalah suatu ukuran yang agak membingungkan dari pada diameter fiber, tetapi oleh sebab diameter mungkin berubah selama perjalanan yang berkesinambungan, maka denier lebih mudah mengukurnya dan juga secara luas dipergunakan mengukur rata-rata dari ukuran fiber. Ban khusus mempunyai denier fiber 1,5 (ekuavalen dengan rata-rata diameter fiber 12 μ m).

TABEL 1. Sifat-sifat mekanik fiber

Material	Berat jenis	Kekuatan tarik/ kg cm ⁻²	Modulus Young's/ kg cm ⁻²
Tread rubber	1,1	200	70
Rayon	1,52	7000	190000
Nylon-6,6	1,14	9000	50000
Polyester(PET)	1,40	11000	110000
Glass	2,56	35000	750000
Stell (baja)	7,80	28000	2100000
Aromatic nylon	1,50	29000	1360000

Fiber dirubah menjadi yarn (benang) yaitu terutama 1100 fiber untuk satu yarn. Agar supaya menambah tahanan lelah, maka yarn diputar dengan rata-rata 470 putaran per meter. Denier yarn khususnya berada dalam batas daerah rayon dari 1100 sampai 2200 (tabel 2). Cord lalu dibuat dengan memutar dua atau lebih yarn secara bersama-sama dalam arah yang berlawanan satu sama lainnya. Sebagaimana telah kita ketahui sebelumnya, bahwa susunan ply terdiri dari deretan paralel cord (warp = lungsin) dengan sejumlah benang weft (pakan) yang cukup tepat untuk memegang warp bersama-sama selama memprosesan berikutnya (~ 1 weft per cm).

TABEL 2. Cord ban khusus

Material fiber	Rayon	Nylon-6,6	Polyester	Glass
Denier/jumlah yarn dalam ply	1100/2	840/2	1000/2 dan 3	330/1
	1650/2	1260/3	1300/3	
	2200/3			

1.2. Fiber Nilon dan Fiber Poliester

Fiber sintetis yaitu nilon-6,6 dan polietilentereftalate, keduanya telah dipergunakan pada ban mobil. Seperti rayon, modulusnya bisa diperbaiki dengan berorientasi terhadap harga yang diperlihatkan dalam tabel 1 untuk pendekatan dari pada rayon. Nilon pada khususnya memperlihatkan sifat-sifat histeresis yang lebih baik dari rayon, juga berharga istimewa untuk ban mobil dengan perlakuan tinggi. Tambahan pula nilon mempunyai kekuatan tekan dan tahanan lelah yang lebih baik, membuatnya ideal untuk ban truk, ban pesawat udara dan ban kendaraan

pemindah tanah (buldoser). Sebaliknya kedua fiber tersebut, nilon dan poliester membuktikan mengalami penyusutan yang tinggi dari pada rayon ketika dipegaruhi oleh temperatur vulkanisasi. Karena itu dibutuhkan pengerjaan khusus untuk menjaga tidak ada gaya penyusutan pada ban hasil final. Suatu fiber nilon khusus untuk ban yang menggunakan denier 6 (rata-rata fiber berdiameter $25 \mu\text{m}$) dengan 140 fiber per yarn. Khusus ukuran yarn diperlihatkan dalam tabel 2 untuk kedua material tersebut diatas.

1.3. Glass, Baja dan Nilon Aromatik

Disebabkan breaker harus lebih kaku dari pada sidewall pada ban radial, maka fiber mesti bermodulus lebih tinggi yang secara nyata menguntungkan. Bermacam-macam lapisan breaker bisa dibentuk dengan rayon atau sintetis, tetapi kenyataannya massa tekstil lebih besar yang mesti dipegunakan dari pada modulus tekstil yang lebih tinggi. Walaupun demikian rayon atau sintetis secara umum lebih banyak dipakai sebagai suatu selung untuk breaker baja tradisional.

Apakah kriteria penentuan massa tekstil pada lengkungan breaker ?

Modulus spesifik sama dengan modulus dibagi dengan berat jenis. Baja memiliki modulus spesifik $270000 \text{ kg cm}^{-2}$ dibandingkan dengan rayon $125000 \text{ kg cm}^{-2}$, sehingga untuk mencapai efek massa yang sama seperti breaker baja, rayon membutuhkan dua kali lipat.

Walaupun demikian modulus yang lebih besar menimbulkan kesulitan yang lebih besar pula didalam mengkonstruksi cord ban. Material dasar adalah kawat lebih sedikit dari fiber dan secara khusus berdiameter $150 \mu\text{m}$. Tiga sampai lima kawat diputar (dipelin) bersama-sama untuk memberi hasil akhir cord ban

(terutama mengandung 120 putaran per meter). Glass memiliki suatu persamaan modulus spesifik yang lebih besar dari baja, yaitu $294000 \text{ kg cm}^{-2}$ dan material ini telah dapat dipergunakan sebagai cord breaker pada ban radial.

Kedua material diatas menimbulkan problem yang besar didalam adhesi campuran isolasi karet, oleh karena tidak hanya berbeda dalam modulus yang sangat besar, tetapi juga jenis persenyawaan antar molekul masing-masing material sama sekali berbeda. Dalam hal baja, problemnya dapat dilihat dari dua cara : pertama, kawat baja disepuh dengan kuningan yang memberi persenyawaan yang lebih baik dengan karet selama vulkanisasi dan kedua, dengan menggunakan sulphur yang berjumlah lebih besar untuk proses hubungan silang (crosslinking). Kuningan disepuh-elektro diatas baja sebelum ditarik, sebab perlakuannya seperti pelumas dalam proses tarikkan dan kawat hasil akhir terselubungi lebih merata. Seperti yang kita lihat dalam bagian 2.1. unit terdahulu, lebih besar massa sulphur ditambah, berarti modulus lebih besar, sehingga perubahan pada silang modulus struktur campuran diperbaiki.

Meregang secara panas atau dingin akan memberi orientasi rangkaian yang lebih besar pada fiber polimerik dan modulus masih jauh kurang dari modulus teoritis untuk pengarahannya yang sempurna. Pada dasawarsa akhir ini problem diselesaikan dengan memperkenalkan nilon aromatik. Dengan mensiklus pendek (ringkas) rangkaian seperti karbon polietilen-6 antara hubungan $-\text{CO}-\text{NH}-$, rangkaian dibuat lebih banyak tidak fleksibel dan pada efeknya rangkaian mirip seperti batang rigid. Ketika dipintal kedalam fiber, semua batang disearahkan sepanjang poros fi-

ber, sehingga modulus teoritis dicapai (tabel 1). Pada kombinasi dengan berat jenis yang rendah dan modulus spesifik nilon aromatik = $910\ 000\ \text{kg cm}^{-2}$ itu lebih tiga kali dari breaker baja tarik tinggi. Tambahan pula tersedianya ring aromatik menuju ke - stabilitas temperatur tinggi ($T_g = 580\ \text{K}$, $T_m = 770\ \text{K}$) baik pada temperatur kerja ban maupun pada tempera - tur vulkanisasi.

Kawat bead yang harus baik menahan ban pada pelek roda maupun untuk perubahan ban yang cukup fleksibel, secara normal dikonstruksi dari kawat baja bertegang tarik tinggi (karbon tinggi) berdiameter sekitar 1 mm. Untuk ban radial biasanya terdiri dari sembilan belas (19) kawat yang diikat bersama-sama dengan isolasi karet. Seperti breaker ply, kawat dilapis/diselubungi dengan paduan tembaga-perunggu untuk memperbesar adhesi.

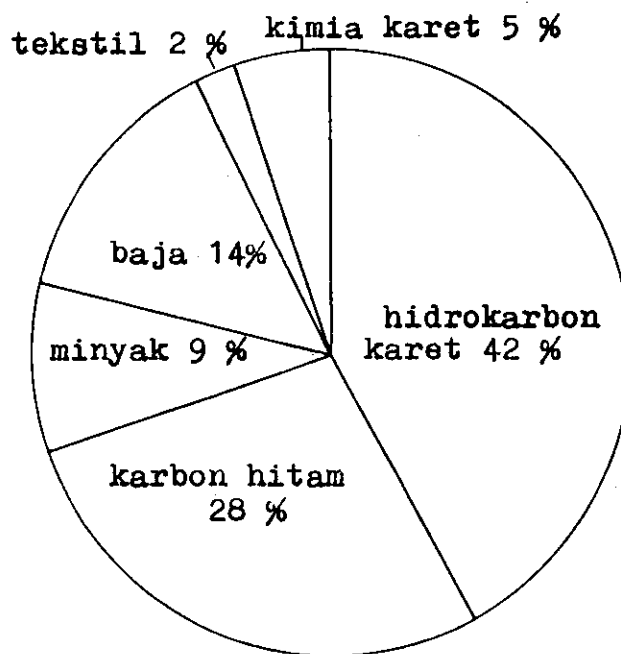
1.4. Pembiayaan Berdasarkan Perbandingan Fiber dan Cord

Didalam menentukan biaya material penguat ban tidaklah cukup memandang besarnya biaya material sendiri. Pembungkusan ban diperlukan untuk kekuatan utama dan juga suatu jumlah minimum cord per panjang unit dan demikianlah penggabungan antara kekuatan dengan bungkus yang diperlukan. Insinyur ban akan membutuhkan pemakaian konstruksi cord berjumlah minimum untuk daerah sempurna, dibuatlah ban dari suatu batas daerah yang berlaku/tersedia. Besarnya biaya material pada tahun 1977 telah memberikan suatu perbedaan harga yang menguntungkan, dimana rayon berharga 1,20 pound sterling per kg dibandingkan dengan nilon 1,30 pound sterling per kg, tetapi nilon memberikan cord yang lebih kuat untuk beban yang

sama. Faktor lain yang perlu diperhatikan perubahan biayanya, yakni biaya memproduksi susunan ban dari besarnya material. Proses ini lebih mahal untuk fiber sintetis, nilon dan poliester dari pada rayon.

Sekalipun terbukti biaya menguntungkan untuk baja melebihi rayon (kira-kira £ 1 kg⁻¹ lawan £ 1,70 kg⁻¹) pada ban. Mengingat untuk perbedaan maka biaya total material sangat seimbang buat breaker rayon empat-ply dan breaker baja dua-ply. Rayon empat-ply dibutuhkan untuk mencapai kekuatan ekuavalen dengan baja dua-ply.

Pada umumnya cord dan fiber agak lebih mahal dari pada besarnya karet dan material lainnya yang termasuk dalam komponen perkaretan ban. Oleh karena untuk massa kecil yang dipakai dalam ban radial (gambar 1), biayanya relatif kecil untuk material ban lainnya.



Gambar 1. Proporsi komponen yang berbeda (oleh massa) pada suatu ban radial mobil khusus.

BAB 2

HUBUNGAN-SILANG

Hingga kini kita telah memandang keperluan desain untuk ban mobil dan bahan baku dasar yang dipakai untuk mencapai tahap akhirnya. Pada awal unit disinggung bahwa material pada bentuk akhirnya harus tidak berubah bentuk selama batas waktu tertentu (skala waktu dari penggunaan ban).

Bagaimanakah mencapai keperluan tahanan mulur? Dengan komponen karet hubungan-silang (crosslinking). Crosslink diikat bersama-sama rangkaian untuk membentuk jaringan (network). Menggerakkan rangkaian ini sendiri, juga mengatasi rangkaian agar tidak dapat terlalu slip satu sama lainnya. Dengan lain perkataan menghindari mulur pada jaringan crosslink.

Crosslink biasanya dibentuk dengan menambahkan komponen kedua untuk polimer dasar. Komponen kedua atau agen crosslink yang bereaksi dengan rangkaian menghubungkannya bersama-sama. Crosslink pada karet biasanya dibentuk oleh reaksi rangkaian dengan sulphur, seperti yang kita lihat pada bagian terdahulu, tetapi hal ini tidak selalu terjadi.

Dapatkah kamu memikirkan sesuatu material crosslink yang lainnya ?

Semua damar thermosetting adalah material crosslink. Damar fenolik sebagai istilah yang termasuk thermosetting, dihubung silang dengan panasnya sendiri, tetapi kebanyakan disebut damar thermosetting dihubung silang dengan menambah pengerasan sendiri. Contoh utama adalah adhesif damar epoksi, damar poliester yang dipakai dalam GRP (glass fibre reinforced plastic) dan busa poliurethan.

Pada umumnya, proporsi lebih besar dari penge-
ras ditambah untuk damar demikian, modulus lebih be-
sar dan temperatur gelas transisi T_g . Alasan dasar
menambah T_g lebih besar lagi adalah untuk mengatasi
rangkaiannya yang mudah bergerak. Dari sebab itu mena-
ikkan modulus adalah sangat seimbang, tetapi dalam
susunan untuk efek pengertian, kita harus memandang
secara singkat lantaran mengapa karet memperlihatkan
sifat elastis dalam daerah yang panjang.

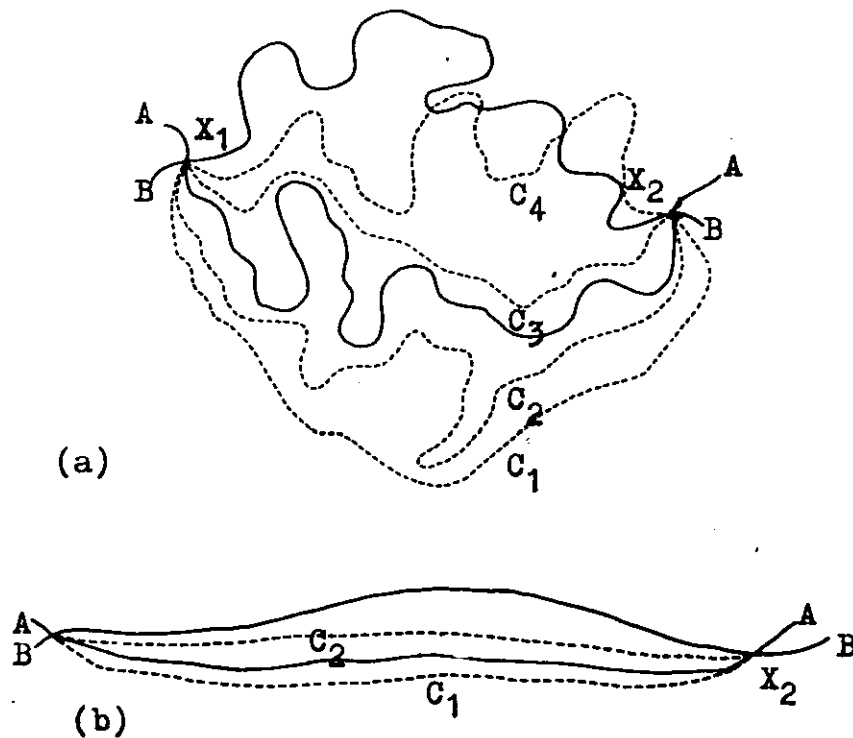
2.1. Sifat Elastisitas Seperti Karet

2.1.1. Teori Kinetik Dari Sifat Elastisitas

Sifat elastis daerah panjang adalah . keduanya
diperlihatkan oleh karet tidak dihubung silang dan
oleh kimia yang disisipkan ke hubungan silang, se-
hingga gejala harus telah bertalian dengan suatu si-
fat mendasar digabung dengan rangkaian molekul pan-
jang. Gambar 2 (a) memperlihatkan bagian kecil dari
jaringan karet dimana rangkaian A dan B berhubungan
silang pada dua titik X_1 dan X_2 . Gambaran demikian
agaknyanya membingungkan, sebab mengingat bahwa rangkai-
an dipasang pada ruang yang keadaannya rigid.
Pada kenyataan sebaliknya adalah benar, sebab semua
strukstur molekul bergetar dan berpindah dengan ge-
rakkan kinetik. Udara misalnya terdiri dari oksigen,
nitrogen dan lain-lainnya, merupakan molekul yang
berpindah secara bebas seluruhnya.

Pada material rangkaian panjang, pergerakan ha-
rus dibatasi, oleh karena molekul-molekul dihubung-
bersama-sama. Jika untuk pendekatan pertama kita mem-
perhatikan hubungan silang X_1 dan X_2 seperti yang
digambarkan, maka model lebih realistik akan memper-
lihatkan perbedaan yang mungkin menerima posisi ma-
sing-masing rangkaian. Hal ini diperlihatkan dalam
gambar dengan garis bertitik C_1, C_2, C_3 dan seterusnya

untuk satu rangkaian. Jika gaya tarik diterapkan untuk rangkaian terakhir (gambar 2 (b)), hubungan silang dipindahkan tersendiri dan jumlah posisi memungkinkan bisa menerima rangkaian lebih rendah sangat dibatasi. Pengertian entropi sebagai ukuran order dalam suatu sistem dijelaskan pada unit 4 terdahulu, dan kita bisa mengatakan bahwa entropi rangkaian lebih rendah dikurangi dengan mempengaruhinya rangkaian kedalam suatu bentuk/persesuai yang diperpanjang. Dalam kata lain, order rangkaian bertambah.



Gambar 2. Skema diagram sifat elastisitas seperti karet. (a) Memperlihatkan bagian rangkaian A dan B dihubungkan silang pada titik X1 dan X2 serta C1, C2, C3 dan C4 menggambarkan perbedaan bentuk yang mungkin boleh menerima rangkaian itu. (b) Menunjukkan efek rangkaian meregang diperlihatkan pada (a); pada dasarnya bentuk yang mungkin dikurangi.

Apakah yang terjadi sekarang jika gaya tarik dihilangkan ?

Rangkaian akan kembali keposisi asalnya (gambar2(a)) yang cenderung harus diberikan sistem untuk menaikkan entropinya.

Ini adalah sumber dasar dari gaya yang bereaksi kembali didalam karet; yaitu gaya entropi. Berlawanan dengan baja ketika diregangkan, gaya reaksi kembali didalam daerah elastis yang dikatakan energetik.

Karena material ditarik tersendiri, maka atom-atom nya dipindahkan dari posisi keseimbangannya pada bagian dasar kurva energi potensial individualnya.

Disaat gaya tarik dibebaskan (dihilangkan), atom-atom kembali jatuh ke bagian dasar dari sumber energi untuk gaya tarik diantara atom-atom.

Disana ada dua akibat dari alam entropik sifat elastisitas seperti karet. Gaya entropi pada umumnya lebih kecil dari pada gaya energetik (sungguh sama untuk kebanyakan reaksi kimia), juga biasanya gaya yang tertarik kembali kedalam karet lebih kecil dari dalam material elastis secara energetik, seperti baja. Kedua, jika karet dihubung silang, material elastis melebihi daerah regang yang terbesar dari pada metal, secara khusus 600 %. Akibat yang sederhana dari fakta rangkaian ini adalah molekul rangkaian panjang secara normal dililit dalam keadaan tidak meregang sangat tinggi (gambar 2 (a)). Batas sifat perpanjangannya, hanya secara penuhnya dilanjutkan panjang rangkaian (gambar 2 (b)).

2.1.2. Kerapatan Hubungan-silang

Teori kinetik sederhana yang dirancang diatas memberi secara relatif persetujuan yang baik dengan percobaan hasil pada regangan rendah (gambar 3).

Pada regangan tinggi, persetujuan menjadi sangat kurang oleh karena untuk jenis yang tidak dapat diperpanjang dari rangkaian nyata termasuk efek lainnya (seperti pengkristalisasi pada regangan tinggi, di saat rangkaian diperpanjang dan oleh karena itu bisa pengkristalan sampingan). Teori juga memperkirakan modulus geser G , diberi oleh persamaan; $G = N.k.T$; dimana N adalah jumlah crosslink per unit volume, k adalah konstanta Boltzmann's dan T ialah temperatur absolut. Sifat seimbang antara modulus dan kerapatan hubungan-silang ditetapkan secara eksperimen, walaupun suatu penghalang bukan kosong, biasanya diketahui untuk nyata harus dibatasi rintangan kawat dan pengikat dapat beraksi seperti fisik hubungan-silang.

Apakah yang mengherankan sekitar ketergantungan temperatur pada modulus ?

Teori kinetik memperkirakan modulus karet akan bertambah dengan penambahan temperatur. Pada semua material lainnya, berkurang dengan penambahan temperatur. Walaupun demikian efeknya secara relatif kecil.

2.2. Vulkanisasi

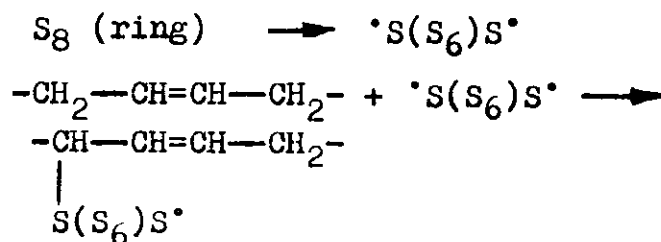
Kebanyakan agen hubungan-silang penting untuk karet maksud umum (general purpose rubber) dan tentu saja kebanyakan komponen pada ban mobil adalah sulphur (tabel 3). Aksi hubungan-silang dari sulphur telah ditemukan oleh Hancock di UK dan Goodyear di United States tahun 1836. Sulphur tetap tertinggal sebagai persenyawaan yang amat penting untuk menghubungkan rangkaian karet untuk memberi kestabilan jaringan. Tetapi mengapa sulphur pada semua karet berbentuk hubungan-silang ?

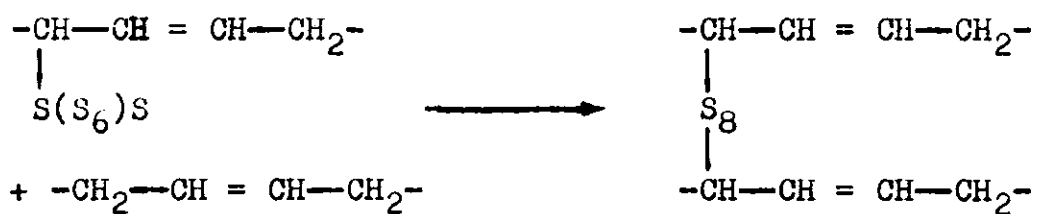
TABEL 3. Kimia karet (p.h.r.) untuk campuran ban

Kimia	Tread	Side wall	Lining	Isolasi casing	Isolasi kawat
Sulphur	2,0	2,0	(1,25)	2,0	3,0
Oksida seng	5,0	5,0	3,0	5,0	5,0
Stearic acid	2,0	2,0	1,0	2,0	2,0
Accelerator	1,5	0,7	1,0	1,0	0,5
Anti-oksidan/ Anti-ozonan	2,5	3,0	---	1,0	2,0
Wax	---	2,0	---	---	---
Total	13,0	14,7	6,25	11,0	12,0

2.2.1. Hubungan-silang Sulphur

Pada keadaan kristal normalnya, sulphur terdiri dari sembilan anggota/bagian ring, secara simbol: S_8 . Ketika dipanaskan ring membuka dan terakhir seluruhnya bereaktif sangat bebas yang dihasilkan pada titik dimana persenyawaan ring terpisah. Banyak karet mengandung persenyawaan ganda yang secara relatif bereaksi secara kimia. Satu kebebasan radikal akhir dari rangkaian sulphur yang menyerang atom karbon mendekati persenyawaan ganda, meninggalkan kebebasan akhir yang sanggup mempersamakan penyerangan persenyawaan ganda lain dalam suatu rangkaian yang berdekatan :





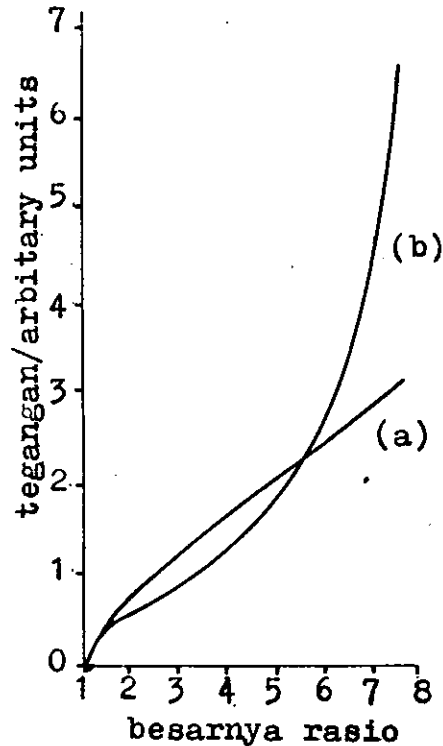
Banyak juga model simpel, walaupun demikian ada dua problem yang praktis untuk kimia karet. Pertama, ring sulphur sangat stabil dan memerlukan pengaktifan energi agak besar untuk memisah/ memecah rangkaian, mendekati 270 kJ mol^{-1} , sehingga temperatur tinggi dan dibutuhkan waktu yang panjang buat memvulkanisasi sulphur sendiri. Kedua, jumlah sulphur secara relatif besar diperlukan untuk menghasilkan crosslink: memperlihatkan crosslink diatas kandungan hanya sembilan atom, tetapi kenyataannya setelah dicari tidak lebih dari 40 - 55 atom sulphur yang sesungguhnya diperlukan untuk membentuk jembatan kimia tunggal.

Dapatkan kamu memikirkan mengapa memvulkanisasi sulphur tidak efisien ?

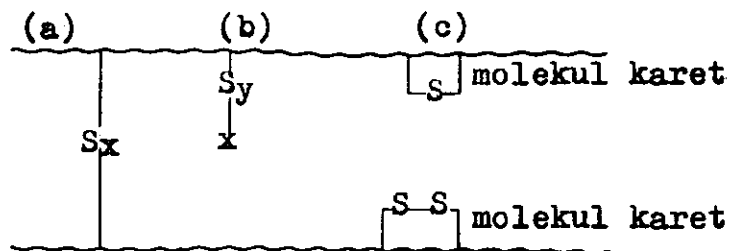
Tidak hanya ring S_8 sulit dipisahkan/dipecahkan (sehingga beberapa sulphur tetap tersedia sebagai ring dalam hasil akhir), tetapi tidak semua sulphur membentuk crosslink yang benar. Dengan kata lain, reaksi akhir yang diperlihatkan diatas tidak selalu terjadi.

Juga posisi yang benar lebih kompleks dari pada diharapkan memakai model sederhana. Kemungkinan struktur bisa dibentuk dengan sulphur dan karet itu sendiri yang diperlihatkan dalam gambar 4. Kamu akan memperhatikan bahwa sesuatu (a) justru dari tipe yang telah kita sebut diatas dan lainnya termasuk sedikit lebih dari hubungan-silang antar molekul (c). Hubungan-silang sulphur normal bisa berjenis dari

tipe S_8 penuh yang disebut diatas bawah untuk mono atau hubungan di-sulphidic. Secara nyata yang terakhir dipilih sebab sulphurnya kurang akan dipakai selama vulkanisasi. Tetapi cara itu bisa dipercaya untuk bereaksi kembalinya sulphur secara lebih efisien lagi.



Gambar 3. Perbandingan kurva teoritis (a) dengan kurva eksperimen (b) untuk sifat elastisitas karet.

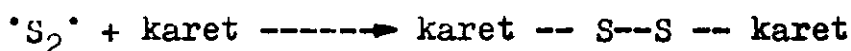
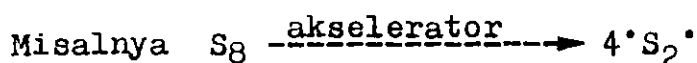


Gambar 4. Tipe struktur yang mungkin dibentuk selama vulkanisasi karet dengan sulphur. (a) Crosslink benar yang mungkin menerima harga 1 sampai 8. (b)

Sisi cabang pada y yang mungkin menerima harga dari 1 sampai 8 dan X suatu komponen (non-karet). (c) Hubungan intra-molekul.

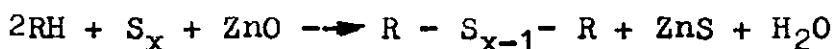
2.2.2. Akselerasi

Pada kira-kira awal abad ini telah diamati bahwa ternyata penambahan campuran organik sulphur untuk campuran karet lebih banyak menaikkan kadar vulkanisasi. Campuran juga memperbaiki efisiensi reaksi, sehingga sulphur yang kurang kebebasannya dibutuhkan untuk mencapai ekuivalen kerapatan crosslink vulkanisasi. Oleh karena pada waktu itu ditemukan akselerator organik pada daerah yang sangat luas. Struktur kimianya biasanya terlampau kompleks, tetapi aksi dasarnya menceraikan ring sulphur S_8 kedalam pecahan yang lebih kecil yang dapat bereaksi dengan karet untuk menghasikan crosslink yang lebih kecil :



Energi pengaktif vulkanisasi dikurangi dari 270 kJ mol^{-1} menjadi $80-125 \text{ kJ mol}^{-1}$ dan jumlah dari atom sulphur dibutuhkan untuk vulkanisasi dari 40-50 untuk nilai sepuluh atau kurang. Banyaknya akselerator yang ditambahkan biasanya kurang dari pada berat sulphur (tabel 3) dan tergantung pada aksinya diatas zat lain yang tersedia, terutama oksida seng dan stearic acid (diketahui sebagai aktivator).

Pembentuk ikut serta dalam reaksi dengan membentuk sulphida seng dan atom hidrogen diganti dari karet oleh crosslink berbentuk air dengan atom oksigen dari oksida.



1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025

678.32

17 BAN

tb,

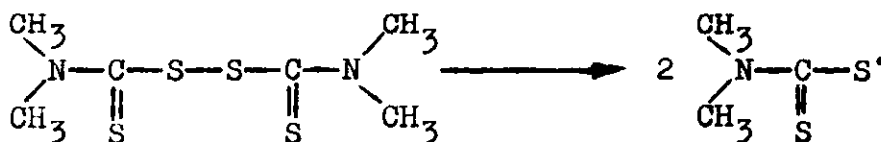
2.2.3. Sifat Reaktif Karet

Sebagaimana yang kamu perkirakan, karet yang berbeda memiliki sistem reaksi dengan akselerator - sulphur yang kadarnya berbeda pula, oleh karena sifat reaktif persenyawaan ganda dipengaruhi oleh grup pengganti (seperti grup methyl dalam persenyawaan karet alam). Cis-polybutadiene bereaktif sangat tinggi dan juga memerlukan akselerator kurang dari pada normal (tabel 3).

Bagaimanakah sulphur dapat membentuk crosslink sedangkan karet butyl dan karet halogenated butyl kelihatan tidak memiliki persenyawaan ganda? Sebagaimana telah kita lihat terdahulu unit isoprene 2 wt% dikopolimeris dengan unit isobutene. Disini memiliki persenyawaan yang aktif meletakkan sulphur crosslink. Sifat reaktif yang ditambah oleh reaksi dengan chlorine atau bromine.

2.2.4. Vulkanisasi Kurang Sulphur

Satu kemungkinan yang mengira bahwa reaksi karet halogenated butyl dengan sulphur yang secara relatif lambat dalam penyediaan akselerator semata. Disebabkan kerapatan persenyawaan ganda pengaktif letak yang tersedia untuk crosslink lebih rendah. Memang kasusnya demikian dan dengan karet halogenated butyl dipakai terutama reaktif bentuk sulphur. Sulphur dikombinasikan pada campuran lainnya dapat mempermudah penceraian bagian yang bebas radikal untuk membentuk crosslink singkat. Berikut persenyawaan tetramethyl thiuram disulphide:



PERPUSTAKAAN MID PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
KHUSUS KEPADA DALAM PERPUSTAKAAN

Sulphur radikal pada waktu itu bebas untuk menyerang posisi yang dicapai pada rangkaian dan akibatnya molekul tidak cukup stabil untuk hubungan-silang dengan rangkaian lain yang terjadi. Juga campuran atau percampuran kimia karet untuk lining dalam ban meliputi sulphur tidak bebas, walaupun pada tabel 3 diperlihatkan kurung besar untuk komponen disulphide.

SAQ 1

Hitung massa molekul rata-rata antara cross link, untuk sampel karet alam massa molekulnya tinggi divulkanisasi dengan 2,0 p.h.r. dari sulphur yang tersedia cocok untuk akselerator dan aktivator. Diasumsikan sepuluh sulphur dibutuhkan per crosslink dan dua rangkaian jaringan per crosslink. Massa atomik sulphur adalah 32. Berapakah hasil modulus geser teoritis dan mengapa itu lebih rendah dari yang kamu harapkan? Diasumsikan lagi bahwa kerapatan karet adalah 1000 kg m^{-3} dan temperatur hasil pengukuran 298 K.

2.3. Pengawetan Campuran Karet

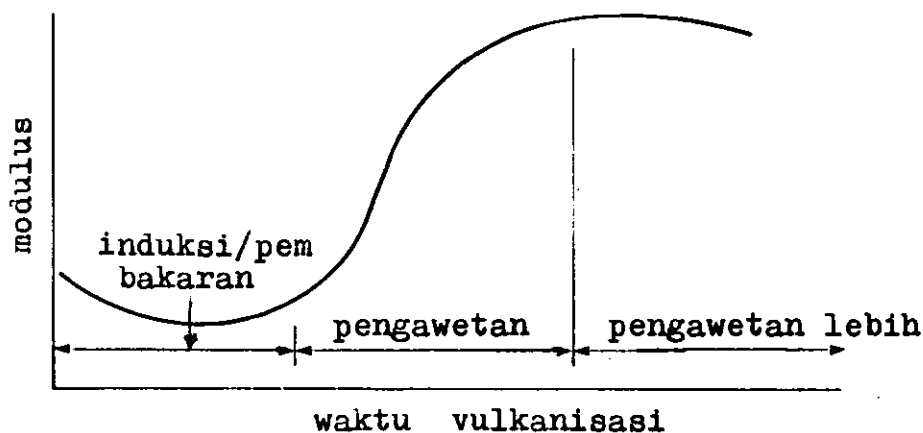
2.3.1. Kurva Pengawetan

Semua bahan dicampur bersama-sama dan diproses kedalam bentuk akhirnya, apakah bisa kita mengatakan tentang proses vulkanisasi itu sendiri? Proses karet hubungan-silang dengan sulphur diaktifkan secara termal, sehingga langkah akhir dalam membuat ban adalah memanaskan material pada temperatur 410 -- 420 K untuk ditentukan lama waktunya.

Apakah ada ukuran yang baik dari keadaan pengawetan suatu campuran?

Modulus adalah ukuran yang baik, sebab secara langsung proposional untuk derajat hubungan-silang.

Suatu persamaan ukuran yang lebih baik, terutama untuk pemeroses karet adalah viskositi Mooney. Sebagai hasil hubungan-silang massa molekul karet akan bertambah dan oleh karena itu modulus akan bertambah selaras dengan derajat hubungan-silang. Sebab momen torsi pada viskometer pemutar dengan segera dapat mengukur kuantitas, ini biasanya dipilih sebagai ukuran derajat pengawetan selama memproses. Suatu teknik perbedaan yang sangat kecil dipergunakan untuk mengukur derajat pengawetan campuran karet dibandingkan untuk karet tidak berhubungan-silang. Oleh karena modulus bertambah dengan hubungan-silang maka momen torsi pada rotor lebih tinggi dan lebih sukar mengukurnya, sebab termasuk barang-barang lain yang tercerai antara rotor dan karet. Suatu osilasi kecil dari pada piringan rotasi dipergunakan untuk mengukur derajat pengawetan. Temperatur pengukuran dipilih secara normal diatas temperatur vulkanisasi yang sebenarnya, dari batas daerah 420 -- 480 K. Efek dari vulkanisasi pada modulus ditunjukkan sebagai fungsi waktu dalam gambar 5. Kurva gambar 5 bisa dipandang sebagai tiga keadaan yang ada.



Gambar 5. Efek vulkanisasi pada modulus sebagai fungsi waktu yang memperlihatkan tiga keadaan pengawetan. Bentuk kurva yang sama akan dicapai jika viskositas Mooney dipantau.

2.3.2. Pembakaran, Pengawetan dan Pengawetan Lebih

Pertama yang masuk pokok vulkanisasi adalah priode induksi (priode pembakaran (scorch)) diwaktu sulphur, akselerator dan aktivator berinteraksi (saling mempengaruhi) untuk menghasilkan kimia aktif yang akan membentuk crosslink. Viskositas dapat jatuh lebih sedikit pada keadaan ini, seperti terlihat pada gambar 5 dengan modulus menurun.

Priode induksi diikuti oleh pengawetan yaitu ketika crosslink terbentuk dan terakhir pengawetan-lebih. Oleh karena temperatur vulkanisasi relatif tinggi, maka secara berkesinambungan selama pengawetan terjadi penurunan derajat rangkaian. Pada keadaan awal vulkanisasi, massa molekul dinaikkan secara perlahan sampai tinggi, sehingga menguasai crosslink dan penurunan derajat. Walaupun demikian ketika crosslink melampaui, efek penurunan derajat menjadi jelas didalam daerah pengawetan-lebih (lanjut). Penurunan derajat rangkaian terutama terbukti pada karet alam, SBR dan campuran karet alam dengan karet butyl yang sesungguhnya bisa mengeras sedikit dari pada melunak.

Seperti yang akan kita lihat dalam bagian berikut, pembuat ban harus hati-hati agar tidak melampaui titik optimum pengawetan (yakni titik maksimum modulus) selama vulkanisasi.

2.4. Anti-oksidan Dan Anti-ozonan

Bahan terakhir dalam campuran karet adalah zat yang melindungi material dari efek oksigen yang merusak selama memprosesan dan ban diawetkan pada keadaan akhirnya. Sebagaimana telah disinggung terdahulu, bahwa oksidatif yang menyelusup bertambah dengan adanya pertambahan temperatur, sehingga tempe-

ratur yang tinggi dilibatkan pada vulkanisasi dan langkah pemerosesan lainnya, jika dituntun kedalam udara akan merugikan (merusak). Meskipun karet alam itu sendiri mengandung hasil alami yang memiliki sifat anti-oksidatif, namun anti-oksidan ditambah untuk kebanyakan campuran yang dipakai pada ban dengan kecualian lining (tabel 3).

Dapatkah kamu membayangkan kenapa tidak perlu menambah anti-oksidan pada campuran untuk lining? Komponen utama adalah karet halogenated butyl yang terutama dijenuhkan. Sebab titik penyelusupan oksigen adalah persenyawaan ganda, itulah sebabnya tidak perlu menambah anti-oksidan pada campuran lining.

Anti-oksidan yang terbaik adalah kimia yang mengandung grup amine ($-NH_2$ atau $-NHR$), sebab kimia ini bereaksi sangat cepat dengan kebebasan radikal untuk memberi campuran yang stabil. Komponen dari ban yang dibuka untuk udara harus dilindungi dari penyelusupan oleh ozon dan disokong lagi oleh campuran amine aromatik. Sebagaimana kamu harapkan campuran amine aromatik memiliki sifat anti-oksidatif, sehingga melindungi dari O_2 dan O_3 yang dapat dipai dengan penambahan kimia demikian. Wax yang berkembang untuk melengkapi film permukaan dan juga ditambah untuk campuran sidewall yang memberi perlindungan ekstra pada komponen yang kritis ini.

BAB 3

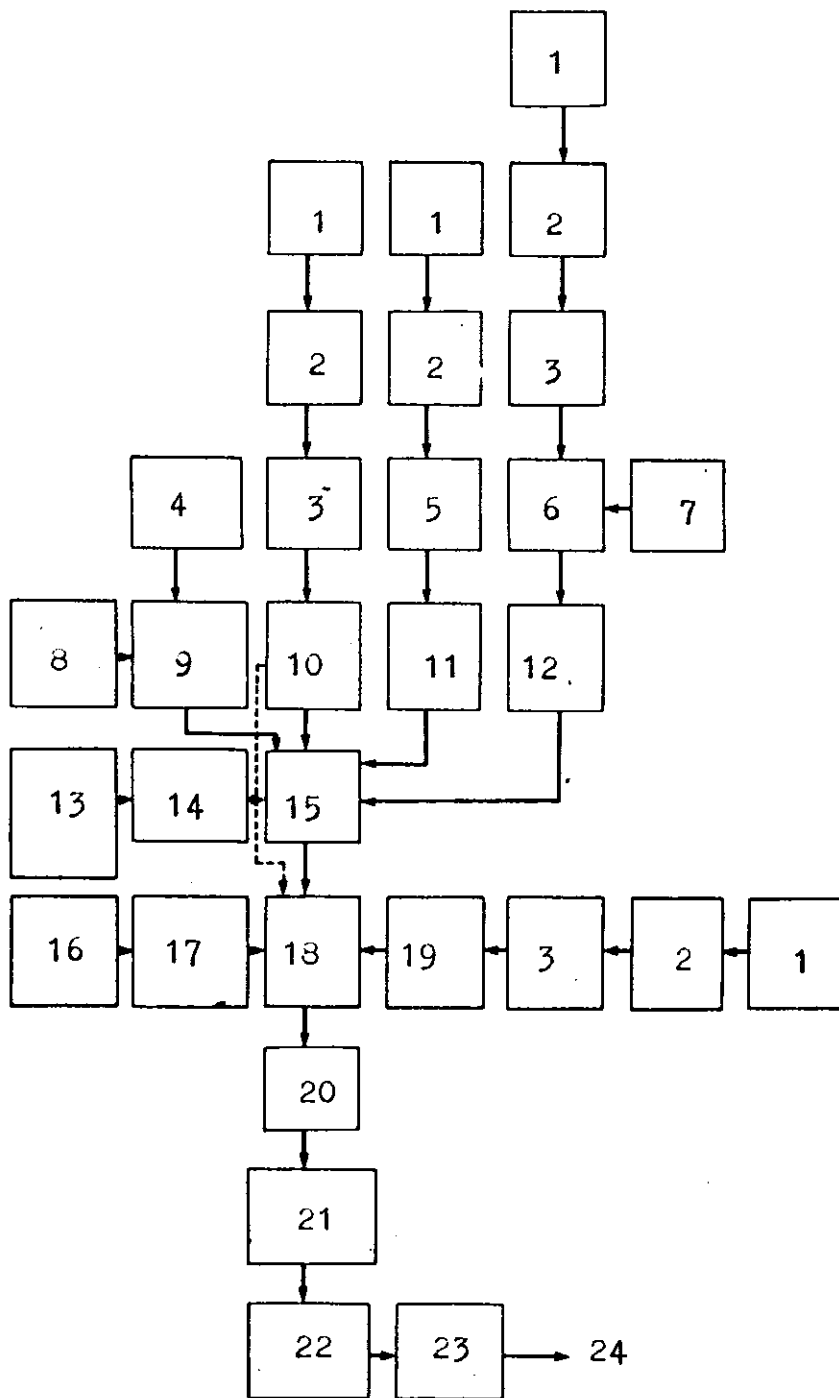
MENEMPATKAN KOMPONEN-KOMPONEN

BAN SEKALIGUS

Sebagaimana yang akan kamu sadari dari TV 16 'Ban-ban Baru dari Ban-ban Bekas' adalah area pembuat ban yang merupakan bagian terpenting dari pabrik ban, dimana bermacam-macam komponen semuanya dilebur atau disatukan dalam apa yang dinamakan 'green tyre' (ban mentah)(gambar 6). Tetapi kamu akan mengetahui dari apa yang sudah dikatakan bahwa sejumlah besar persiapan perlu untuk komponen ban yang prinsip, yaitu: inner lining, plies, sidewall, chafer, bead dan filler, breaker dan tread. Semua komponen ini membutuhkan campuran ban yang berbeda dan banyaknya gabungan karet dengan baja atau fiber. Mari kita perhatikan masing-masing proses dalam susunan yang logis sebelum berurusan dengan pembuatan ban pada keadaan kristis dan langkah final vulkanisasi dan pencetakan.

3.1. Pencampuran Bahan

Langkah pertama dalam menyiapkan komponen ban dari campuran karet yang berbeda untuk mencampur karet dan filler secara tersendiri. Langkah pencampuran adalah penting, sebab dihasilkan campuran yang kemungkinan sama rata dan mesti tidak ada campuran yang beraneka melalui material. Hal ini memerlukan pengikatan, karena finer partikel filler lebih sukar mencapai sifat homogen. Seperti yang telah kita lihat, derajat penguat dan semi penguat karbon hitam luar biasa baiknya (berdiameter 29--50 mm) dan bahwa partikel jaringan sama-rata itu penting.



Gambar 6. Diagram aliran untuk mengkonstruksi ban mobil radial baja.