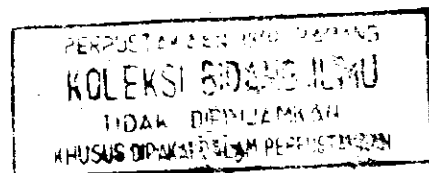


BAN MOBIL
(PEMROSESAN MATERIAL T352)

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 Elastisitas.	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 Pengawetan Lebih.	20
2.4. Anti-oksidan Dan Anti-ozonan. ..	20
BAB 3. MENEMPATKAN KOMPONEN-KOMPONEN BAN SEKALIGUS.	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 Temperatur Siklus Pengawetan.	35
BAB 4. MENSIKLUS-ULANG BAN MOBIL.	40
4.1. Retreading Ban-ban Bekas Dipakai.	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.

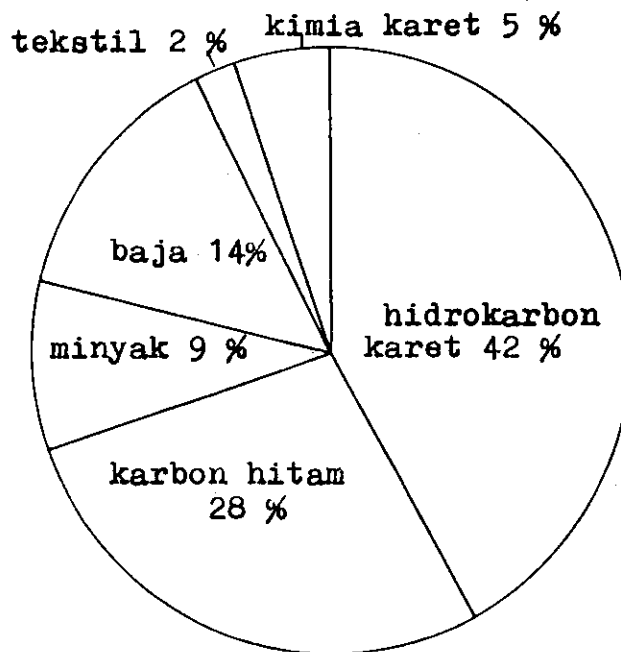
1.4. Pembiayaan Berdasarkan Perbandingan Fiber dan Cord

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.

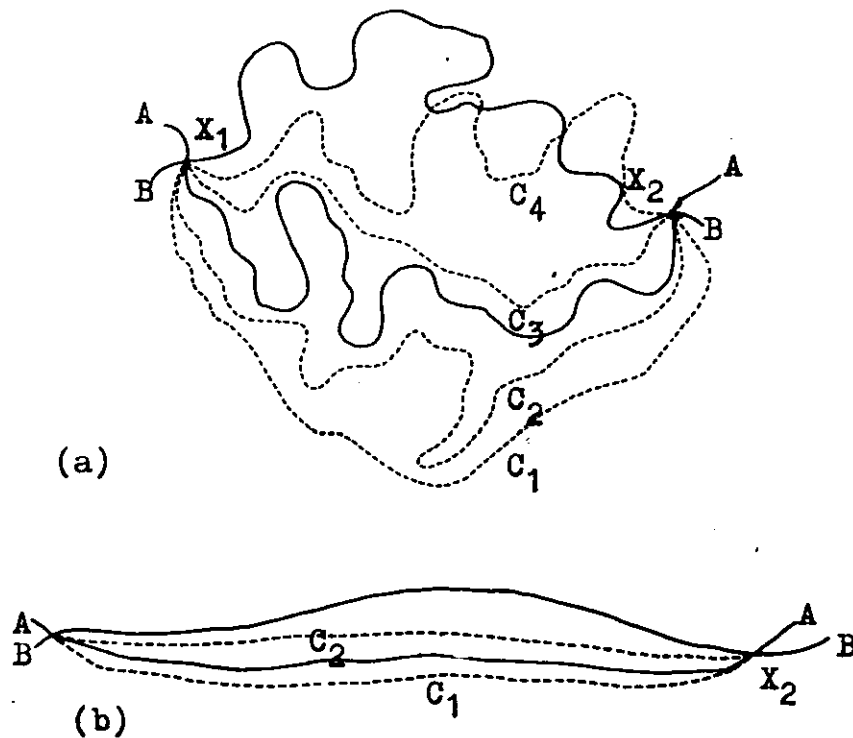
2.1. Sifat Elastisitas Seperti Karet

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 X_1 dan X_2 serta C_1, C_2, C_3 dan C_4 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

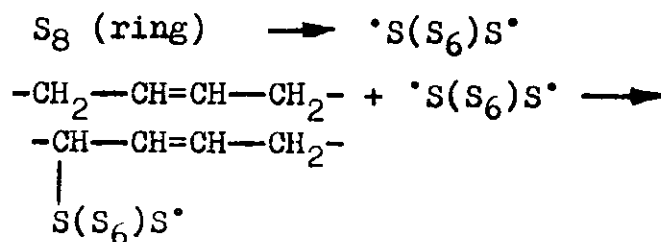
Kebanyakan agen hubungan-silang penting untuk karet maksud umum (general purpose rubber) dan tentu saja kebanyakan komponen pada ban mobil adalah sulphur (tabel 3). Aksi hubungan-silang dari sulphur telah ditemukan oleh Hancock di UK dan Goodyear di United States tahun 1836. Sulphur tetap tertinggal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

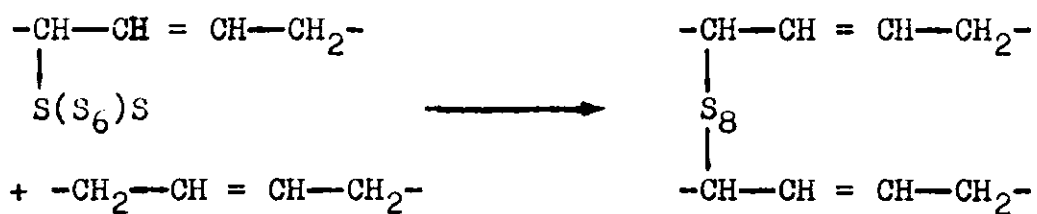
TABEL 3. Kimia karet (p.h.r.) untuk campuran ban

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 :





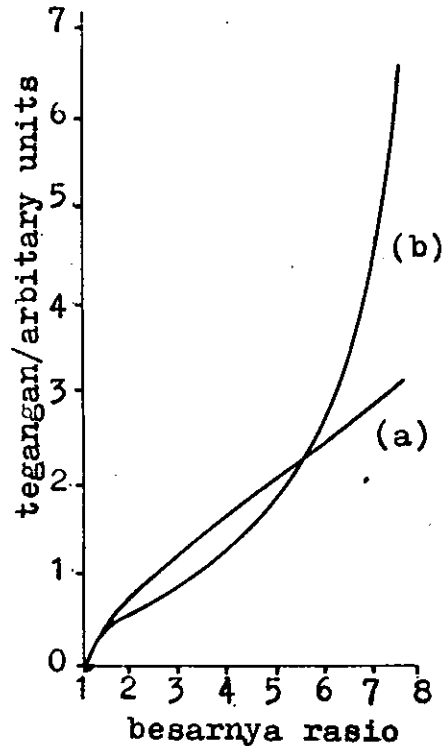
Banyak juga model simpel, walaupun demikian ada dua problem yang praktis untuk kimia karet. Pertama, ring sulphur sangat stabil dan memerlukan pengaktifan energi agak besar untuk memisah/ memecah rangkaian, mendekati 270 kJ mol^{-1} , sehingga temperatur tinggi dan dibutuhkan waktu yang panjang buat 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 ?

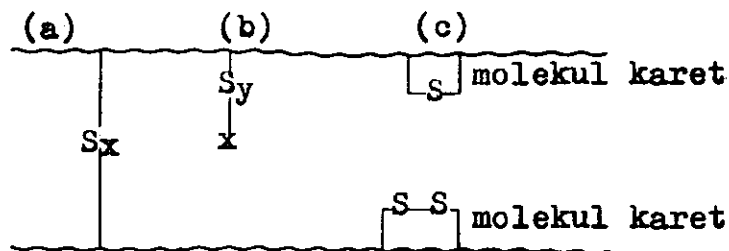
Tidak hanya ring S_8 sulit dipisahkan/dipecahkan (sehingga beberapa sulphur tetap tersedia sebagai ring dalam hasil akhir), tetapi tidak semua sulphur membentuk crosslink yang benar. Dengan kata lain, reaksi akhir yang diperlihatkan diatas tidak selalu terjadi.

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.

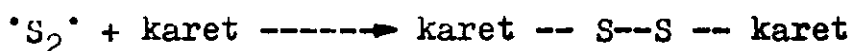
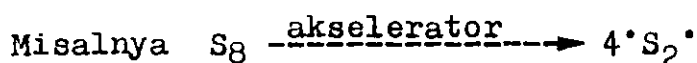


Gambar 4. Tipe struktur yang mungkin dibentuk selama vulkanisasi karet dengan sulphur. (a) Crosslink benar yang mungkin menerima harga 1 sampai 8. (b)

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

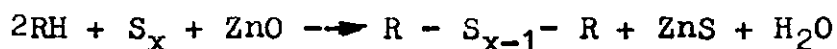
2.2.2. Akselerasi

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,

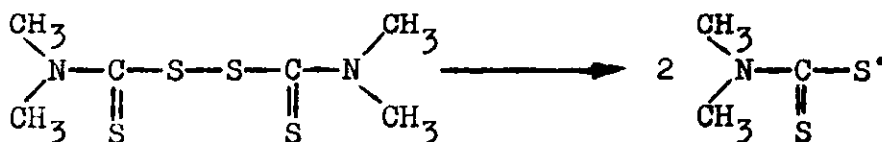
2.2.3. Sifat Reaktif Karet

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

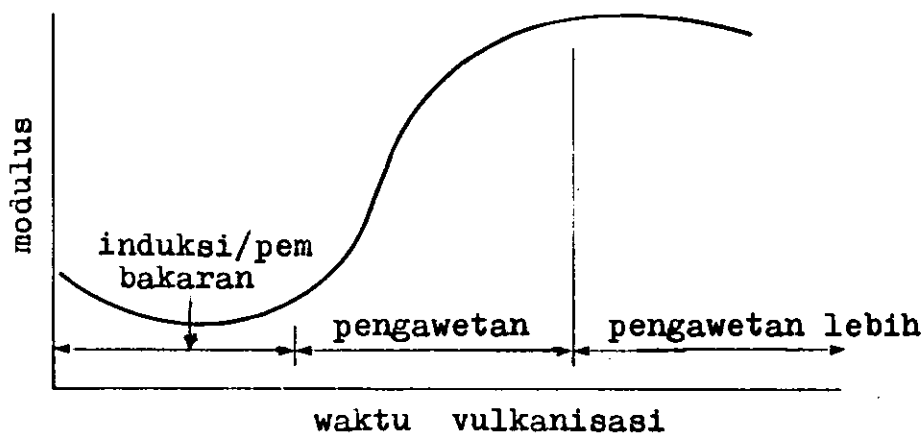
2.3.1. Kurva Pengawetan

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

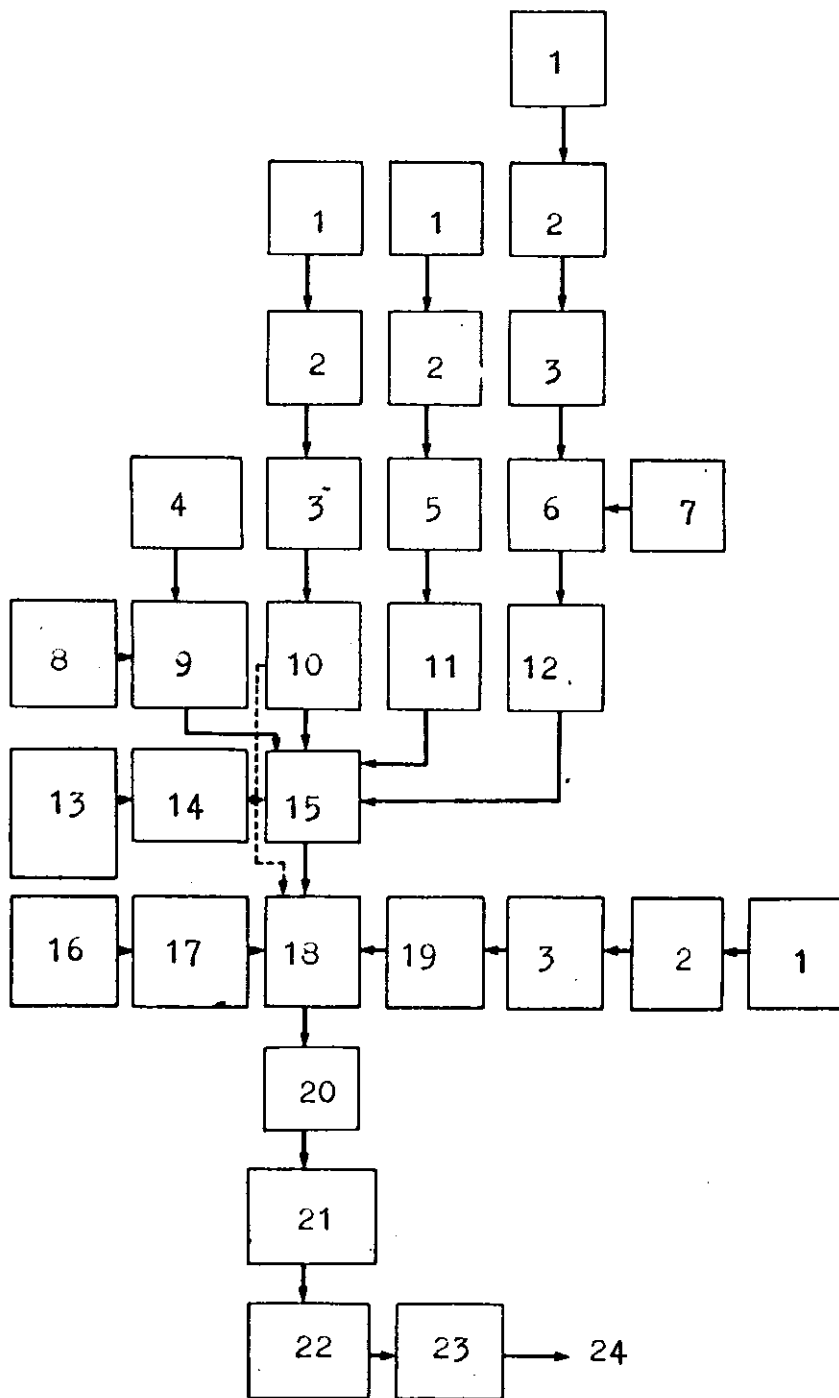
MENEMPATKAN KOMPONEN-KOMPONEN

BAN SEKALIGUS

Sebagaimana yang akan kamu sadari dari TV 16 'Ban-ban Baru dari Ban-ban Bekas' adalah area pembuatan 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.

Keterangan :

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Karet I dicampur. | 13. Ekstrusi bead dengan kawat dan wrapping. |
| 2. Karet II dicampur. | 14. Penerapan bead filler. |
| 3. Penghancuran. | 15. Pembentukan-ban keadaan I |
| 4. Susunan tekstil dikalender. | 16. Breaker kalender. |
| 5. Lembaran kalender. | 17. Menggulung dan memotong breaker. |
| 6. Kalender tekstil. | 18. Membentuk ban keadaan II. |
| 7. Lapisan tekstil dice-lup. | 19. Membantu ekstrusi tread dan base. |
| 8. Mengkalender karet. | 20. Doping. |
| 9. Penyiapan chafer. | 21. Pencetakan dan vulkanisasi. |
| 10. Ekstrusi sidewall. | 22. Inspeksi visual. |
| 11. Memotong lembaran lining. | 23. Menguji kesamarataan. |
| 12. Memotong lapisan casing. | 24. Pemakaian. |

Jika campuran karet merupakan percampuran dua atau lebih karet yang berbeda, maka rangkaian poli-mer yang berbeda akan disebar secara random kedalam acuan (matrik).

Umumnya pencampuran dilakukan pada pencampur - dalam (internal mixer) dengan bahan dimasukkan pada bagian atas oleh gaya beratnya dan dikompresi oleh penumbuk hidrolik kedalam kamar (ruang). Proses dilaksanakan dalam dua tingkatan : pertama komponen material utama dan diikuti oleh langkah kedua ketika kimia pengawetan ditambahkan (tabel 3).

Bisakah kamu menerangkan mengapa dua langkah diperlukan pada suatu penyampur dalam (internal) ? Mencampur komponen yang melekat (viscous) memerlukan

masukan energi besar untuk lengan rotor dan beberapa energi akan muncul sebagai panas dalam karet. Jika temperatur terlalu tinggi dan semua bahan ditambahkan pada tingkatan tunggal, maka crosslink dapat mulai sebelum waktunya. Oleh karena itu proses dengan dua tingkat diambil pada prakteknya.

Kedua-dua tingkat percampuran itu tetap melibatkan panas yang bebas. Kuantitas bergantung pada waktu dan tekanan percampuran, viskositas material dan histeresis dari karet bersangkutan. Ukuran finer karbon hitam ditambahkan untuk memperoleh panas dengan kebebasan yang lebih besar. Kenyataannya yang terakhir ditetapkan, tetapi viskositas bisa dikurangi dengan pertambahan kuantitas yang kecil dari extender oil dalam tingkat percampuran pertama.

Pada penambahan karet alami kadang-kadang diolah sendiri terlebih dahulu pada penyampur internal yang lain untuk membawah viskositas Mooney jatuh kelevel yang dapat diterima.

Satu cara untuk mengurangi problem dengan menyediakan sejumlah-pengatas pada pabrik karet sedikit lebih dari pabrik ban. Kedua emulsi dan larutan SBR bisa dicampur dengan air lumpur karbon hitam sebelum pembekuan dan pemisahan, juga menghilangkan satu tingkat pada proses percampuran, terutama untuk campuran tread yang tentu adalah komponen terbesar pada ban mobil.

Berikut percampuran komponen utama, sejumlah karet dimasukkan kedalam penggiling dengan langsung dari bawah penyampur (mikser) dan dari sana dimasukkan setelah periode pendinginan, untuk penyampur internal kedua dimana kimia pengawetan ditambahkan. Temperatur 373 sampai 393 K dicapai pada tingkat ini, tetapi vulkanisasi tidak terjadi karena periode in-

duksi (gambar 5). Dari penyampur kedua, karet yang dicampur penuh sekarang dimasukkan kepenggiling yang menghasilkan lembaran dingin dalam gudang. Karet dilapisi/diselubungi dengan mencelup anti-tack untuk mencegahnya menempel/melekat bersama-sama diwaktu dipindahkan untuk pemerosesan selanjutnya.

3.2. Membentuk Komponen

Tingkat berikutnya dalam proses adalah membentuk beraneka komponen dan menambah suatu persenyawaan fiber penguat. Dalam hal ini tread dan sidewall memerlukan komponen yang bagian silangnya sangat relatif sempit dan tidak diperkuat oleh tekstil atau baja, sehingga keduanya diekstrusi dengan langsung. Walaupun demikian lining kebanyakan lebih lebar, sehingga dikalender dan dipotong untuk ukuran yang cocok/sesuai. Casing ply dan chafer keduanya adalah diperkuat fiber, sehingga penting mengkalendernya. Breaker juga dikalender dengan campuran karet yang sesuai sebelum siap untuk dipakai. Terakhir, bead dipilih dengan bantu-ekstrusi kawat baja dan isolasi (gambar 6).

3.2.1. Penggilingan Campuran

Kamu akan memperhatikan dari diagram aliran (flow) gambar 6, bahwa kebanyakan campuran karet digiling sebelum mengerjakan bermacam-macam pembentukan. Fungsi penggilingan pada dasarnya untuk pemanasan campuran, juga sebagai pengurang viskositasnya dan membuatnya dapat diproses lagi untuk mengerjakan pembentukan berikutnya. Penghancuran, misalnya untuk mempersiapkan isolasi ply yang terdiri dari sepasang roller horizontal. Campuran karet ditambah ke bagian atas atau penjepit antara roller yang sangat progres-

sif melapisi permukaan penggiling. Kerja mekanik pada nip (penjepit) memanaskan karet dan tambahan pula pemutar (rol) mungkin didinginkan oleh air didalamnya. Setelah beberapa menit penggilingan, suatu pita (ribbon) dipotong dari penyelubung pergerakkan karet dan dipindahkan ke lain penggiling sebelum karet pindah ke tingkat berikutnya. Ketika material siap, operator memotong pita lainnya, lalu secara otomatis karet masuk ke rol kalender.

Suatu temperatur yang berlainan selalu dijaga antara roller depan dan roller belakang, sehingga lebih disukai melekatkan karet ke bagian depan.

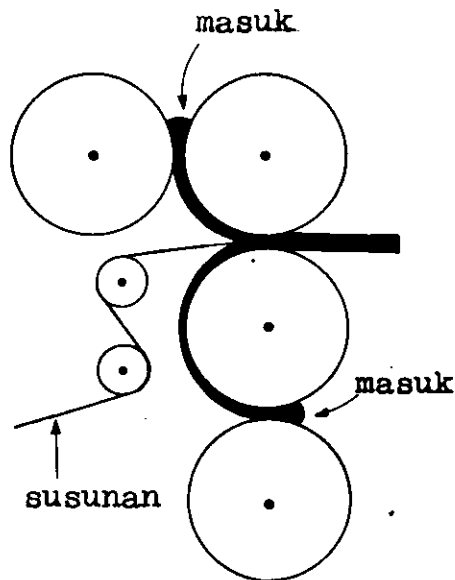
Untuk SBR yang didasarkan campurannya, temperatur rol bagian belakang sekitar 343 K dan bagian depan lebih rendah 15 K. Jika temperatur yang berbeda tidak bekerja, suatu kecepatan yang berbeda mungkin dipakai untuk mencapai adhesi yang disukai.

Pada pabrik ban, suatu pekerjaan menggiling biasanya segera diletakkan dengan suara yang dihasilkan oleh gelembung-gelembung udara pecah atau melepuh dibawah aksi penjepit.

3.2.2. Mengkalenderkan

Tiga komponen yang dikalenderkan adalah ply, lining dan breaker. Tidak seperti suatu penggiling, suatu kalender harus menghasilkan komponen yang berdimensi akurat. Ini dicapai dengan mengontrol temperatur tertutup dari roller dan ukuran penjepitan diantara roller-roller itu. Tambahan pula biasanya kalender terdiri dari tiga atau empat roller bergerak selaras, terutama dimana ply tekstil dihasilkan. Konfigurasi bisa dari suatu pembalik berbentuk ' L ' dengan campuran isolasi karet untuk menyelubungi kedua sisi dari susunan tekstil yang dimasukkan secara

bersikenambungan kedalam penjepit atas dan bawah seperti yang terlihat. Cara yang populer lainnya adalah konfigurasi ' Z '. Roller biasanya bagian atasnya dimiringkan (dikamber), juga sebagai penghasil lembaran plat yang sempurna.



Gambar 7. Konfigurasi ' L ' rol kalender untuk membuat ply tekstil.

Dapatkah kamu memikirkan suatu penjelasan untuk mengkamber roller ?

Jika roller-roller dipakai paralel, suatu efek yang serupa untuk menghentikan gelembung pada ekstrusi akan terjadi. Ketika suatu lembaran tidak didukung yang diambil dari kalender demikian, maka lembaran itu menyusut seluruh panjangnya dan bertambah dalam lebar dan tebalnya. Ini cenderung menghasilkan lembaran yang lebih tebal pada tengah dari pada ujung-ujungnya. Tambahan pula, roller dapat dikamber dengan tekanan hidrolik pada bantalan poros guna membantu mengatasi problem ini.

3.2.3. Persiapan Susunan

Problem persenyawaan karet dengan material lain yang sama sekali berbeda sifat-sifatnya telah disinggung pada bagian terdahulu dengan penunjukkan utama untuk baja. Suatu problem yang serupa terjadi dengan persenyawaan campuran isolasi terhadap susunan tekstil apakah itu rayon, poliester atau nilon, juga bagaimana mengatasinya ?

Jawabnya adalah selubungi/lapisi permukaan susunan dengan suatu adhesif, dimana untuk rayon terdiri dari pencelup water-based yang mengandung lateks SBR dan damar phenolik. Terutama yang terakhir akan menghasilkan persenyawaan yang baik antara karet dan susunan setelah pengawetan. Pekerjaan pencelupan sering kali diantar kedekat rol kalender dan diikuti oleh tingkat pengeringan sebelum pindah kepada mesin yang berikutnya untuk menyelubungi/melapisi dengan karet.

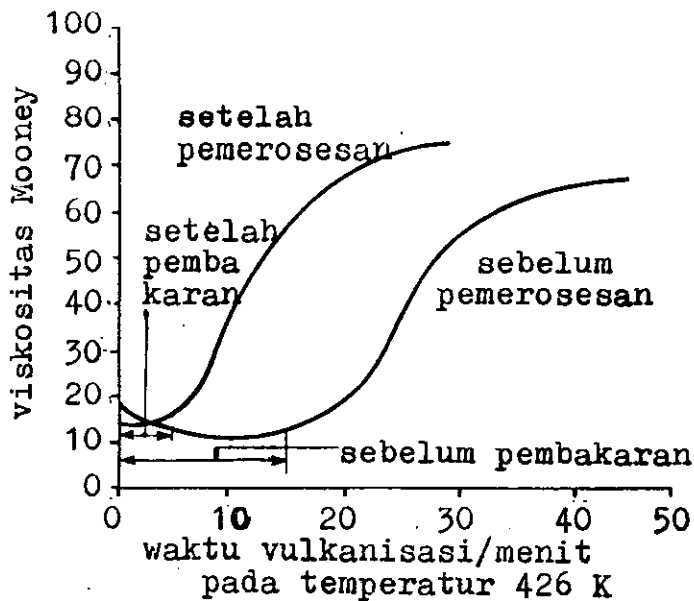
3.2.4. Ekstrusi

Komponen utama ban radial yang diekstrusi adalah sidewall, tread, bead filler dan bead. Pekerjaan yang sangat serupa yaitu untuk ekstrusi termoplastik. Secara normal campuran digiling dulu untuk ekstrusi serta pemanasan sebelum perpindahan ke pemungut ekstruder. Ekstruder adalah pemasuk berbentuk skrup dan tidak dipanaskan secara luar seperti, misalnya ekstruder plastik (unit 11). Panas yang dihasilkan melalui histeresis dalam tong cukup untuk menjaga karet tetap panas. Temperatur utama dari tong dan akhir adalah secara repektif 323 dan 373 K. Gelembung yang berhenti musti diizinkan supaya memberi suatu ekstrusi dari dimensi/matra yang diperlukan.

Desain ban ternyata suatu dasar untuk tread yang dipakai. Fungsi tutup karet histeresis rendah adalah untuk mengganti temperatur kerja yang dihasilkan oleh tread histeresis tinggi ketika dalam pelayanan. Dua ekstrusi dibawa bersama - sama dengan ekstruder yang berlawanan secara horizontal. Setelah ekstrusi tread berkesinambungan, maka didinginkan dengan percikan air dan dipotong sampai panjang yang dibutuhkan.

Mengapa pendinginan kritis pembuat ban pada tingkat ini ?

Ini adalah tingkat ketiga dalam campuran karet penuh yang dipanas sampai temperatur yang tidak melampaui temperatur vulkanisasi. Kerugian akibat keselamatan pembakaran cukup berarti, sehingga karet harus didinginkan dengan cepat untuk mencegah crosslinking.



Gambar 8. Efek thermal history pada waktu pembakaran.

Efek dari tingkat pemerosesan yang berbeda ini melibatkan kerugian akibat keselamatan pembakaran

diperlihatkan dalam gambar 8 untuk campuran ban khusus. Priode induksi sebelum pemerosesan sekitar 15 menit. Ternyata, jika taraf ekstrusi terlalu rendah atau penggilingan dan pencampuran terlalu tinggi pada temperatur yang terlampaui, maka total kerugian akibat keselamatan pembakaran yang dapat mendahului sejumlah material yang tidak dapat diproses.

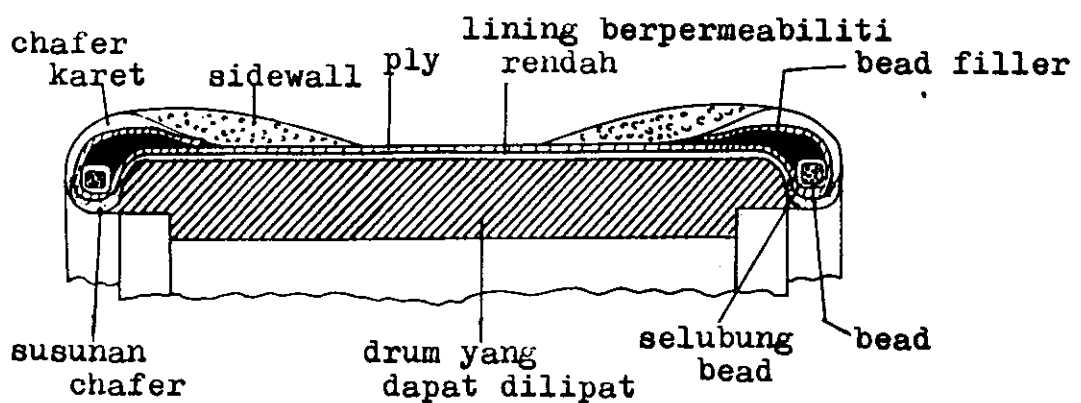
Sidewall diekstrusi dalam suatu cara yang serupa untuk tread, tetapi bead memerlukan agak lebih kecil. Mesin yang lebih dispesialkan akan mengekstrusi isolasi karet sekeliling kawat bead yang diselubungi perunggu. Bead diputar/dibelit pada pembentuk diujung deretan ekstruder dan beberapa deretan sanggup memproduksi tiga bead sekaligus. Bead dihiri dengan pembungkusan oleh susunan yang diselubungi karet dan mentrapkan suatu ekstrusi filler karet sebelum bead siap untuk mesin membangun ban.

3.3. Membangun Ban

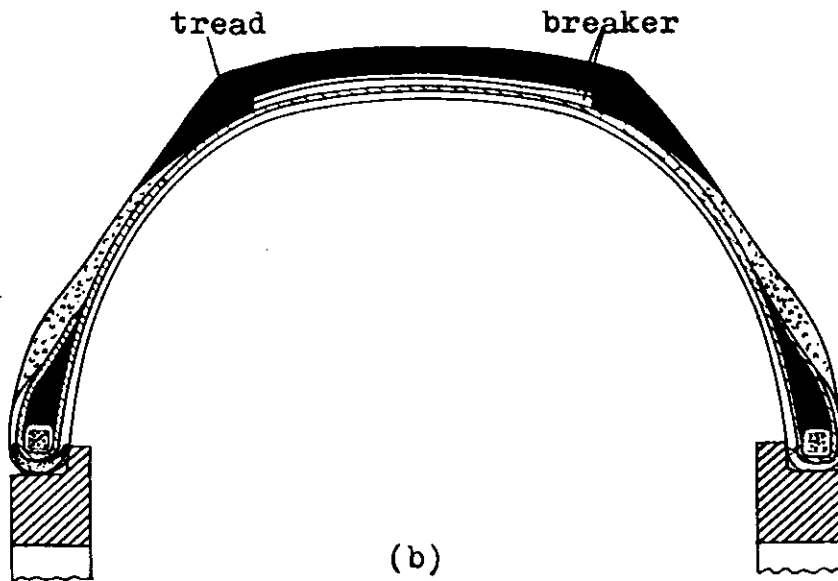
Pengerjaan kritis dimana semua komponen dibawa bersama-sama menyusun ban mentah (green tyre) yang disebut pembangun ban (tyre building). Pengerjaan yang sangat tinggi tergantung kepada keterampilan operator dan pada dasarnya menyertakan seluruh komponen pelapisan dari bagian atas lining. Mengikuti susunan umum yang logis, sebagai berikut: lining, casing plies, bead, chafer dan sidewall dalam tingkat pertama pengerjaan (gambar 6). Komponen yang dimasukkan oleh magazine diatas drum dapat berputar pada masing-masing kecepatan tinggi atau rendah dan pada setiap penambahan komponen, tekanan bisa diterap kan oleh tangan untuk adhesi yang sama terjamin baik. Tack alami biasanya cukup menjamin adhesi yang baik, tetapi operator bisa menambahkan hidrokarbon pelarut

untuk komponen yang secara khusus penting, seperti bead. Sebenarnya bead diterapkan dan disatukan dibawah tekanan mesin untuk menjamin persenyawaan/ikatan yang erat dengan lining dan ply. Kamu akan menjamin bahwa kamu menonton pembangunan ban berturut - turut dalam TV16 'New Tyres from Old' untuk berikut pengerjaan kedua-duanya dalam tingkatan ini yang menghasil - silkan sebuah silinder selaras dan dalam tingkatan berikutnya dimana silinder dibentuk kedalam bentuk donat yang lebih dikenal dari ban final.

Dalam langkah kedua ini, membangun parsil ban secara normal dipindahkan ke mesin yang terpisah dimana ban dipompa dengan suatu diafragma (gambar 9), lalu lapisan breaker ditambah. Langkah terakhir menyertakan penambahan tread yang secara hati-hati diletakkan terpusat, sehingga kedua ujung chamfered bertemu tepat sebelum dipres bersama-sama. Alat pemintal mekanik menyatukan tread dan breaker untuk casing, sambil ban diputar. Ban dikempeskan dan kebanyakan menahan bentuk bangunnya sebelum tingkat vulkanisasi.



(a)



Gambar 9. Membangun ban ply radial dan mesin pembentuk: (a) tingkatan membangun; (b) tingkatan membentuk. (Courtesy Avon Tyre Company Ltd.)

Mengapa ban mentah (green) akan tetap bentuk bangunnya ?

Komponen karet belumlah dicrosslink dan oleh karena itu bisa dirubah secara permanen untuk suatu bentuk yang diinginkan. Rangkaian polimer dislipkan dahulu satu sama lainnya untuk menyesuaikan gaya set baru yang dikenakan dengan pemompaannya. Ketika dihubungkan komponen tersebut menahan bentuk ini.

3.4. Vulkanisasi

Tingkat terakhir dalam membuat ban yang menyer takan crosslink ban mentah/green secara kimia kedalam bentuk akhirnya dengan panas dan tekanan. Sebelum langkah ini, ban mentah/green dari mesin pembangun didop dengan pelumas untuk memudahkan memposisikan nya kedalam pres vulkanisasi dan melepaskannya pada akhir siklus pencetakan (gambar 6).

3.4.1. pencetakan Ban

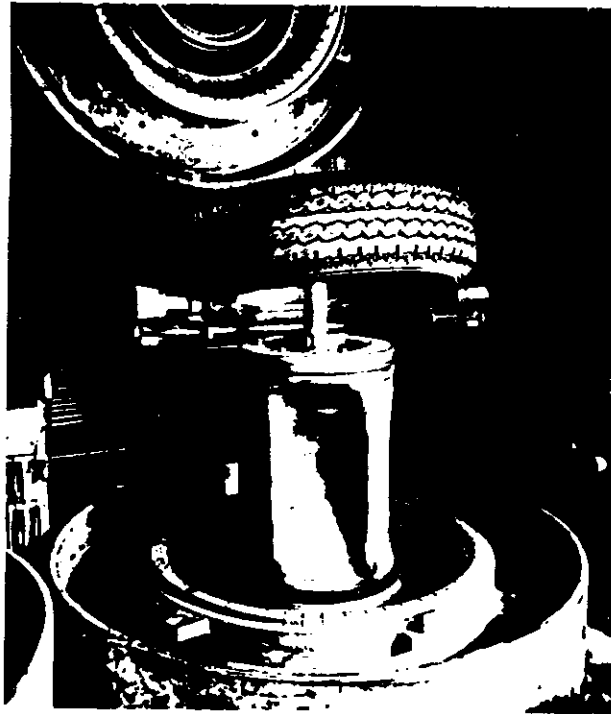
Pres dipergunakan untuk tingkat terakhir, se - cara normal terdiri dari suatu cetakan luar yang diikat pada plat mesin cetak dipanaskan oleh uap air dan bisa membelah sekeliling.

Permukaan dalam dari cetakan luar ini dijadi - kan bergerigi dengan pola tread, didalam karet visko akan dicetak oleh bladder (gelembung). Bladder dikosong vakumkan pada awal siklus mempres, sehingga ban mentah/green dapat lebih mudah diselipkan kedalam celah cetakan. Pada awal siklus setengah bagian atas cetakan luar beralih kebagian atas ban mentah/green, mengeraskannya dalam bagian yang lebih rendah.

Bladder dipompa/dikembangkan dengan air panas atau uap panas lanjut dan memulai pengawetan, seperti menaikkan temperatur pada permukaan panas sampai 420K. Total waktu pengawetan terutama 15 - 20 menit, bergantung pada ukuran ban (gambar 8). Pada akhir siklus, berturut-turut kejadian yang dibalikkan dan ban yang masih panas dikeluarkan secara otomatis (gambar 10).

Dapatkan kamu menjelaskan mengapa adanya tangkai karet (spew pips) pada permukaan bagian luar dari ban ?

Membuat lubang-lubang kecil pada permukaan cetakan dengan pengerboran adalah penting, sehingga dijerat diantara permukaan bagian luar ban mentah/green dan permukaan bagian dalam cetakan, dapat lepas apabila bladder dipompa. Menyuling plastik alam dari karet pada awal siklus dilakukan secara jelas oleh tangkai yang dibentuk oleh ekses karet dari sidewall dan tread menjadi kekuatan melalui lubang setelah semua udara dilepaskan.



Gambar 10. Ban mobil radial baja dicetak penuh pada akhir siklus pengawetan. Bladder dikempeskan dan cetakan dipisahkan. (Courtesy Avon Tyre Company Ltd.)

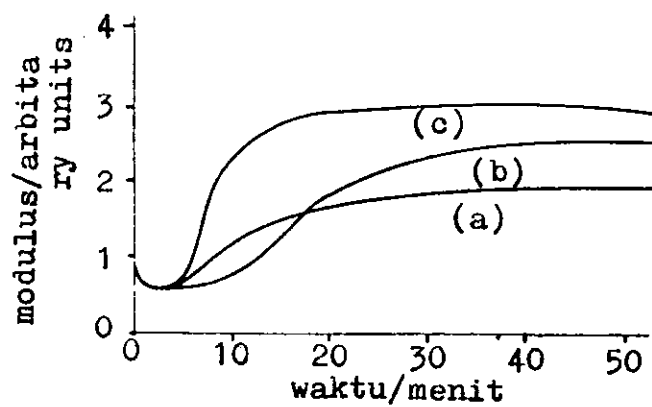
3.4.2. Pengontrol Waktu Dan Temperatur Siklus Pengawetan

Kamu akan menyadari bahwa tidak semua komponen karet akan awet sama rata secara teliti, komponen itu akhirnya harus berbeda fungsi (misalnya ber beda modulus) dan sebagian berbeda merata pada reaksinya (seksi 2.2.3.). Gambar 11 menunjukkan kurva khusus isothermal pengawetan untuk tiga komponen, tread, tread cap (undertread) dan lining.

Meskipun priode induksi secara kasar sama untuk masing-masing campuran karet, posisi pengawetan merata dan waktu yang diambil dicapainya secara signifikan berbeda. Tetapi problem yang lebih pen -

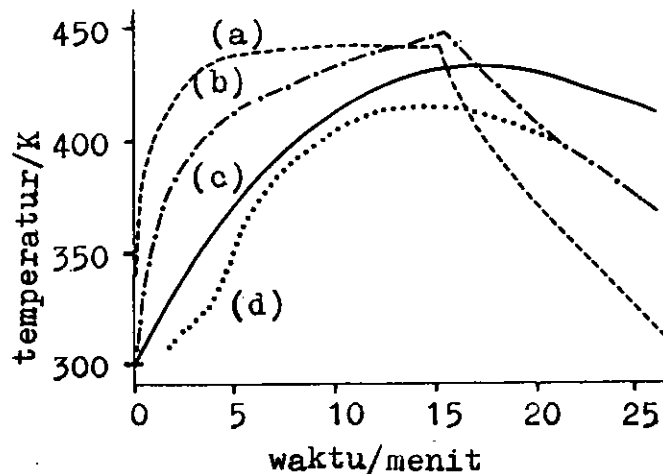
ping dikemukakan : dapatkah itu diasumsikan bahwa penerapan kondisi isothermal untuk ban selama vulkanisasi ?

Jawabnya tidak, hanya disebabkan konduktivitas termal karet, dimuati dengan karbon hitam sebagai penghalang, tapi tetap sangat rendah. Dalam kata lain derajat temperatur akan naik melintang bagian silang ban.



Gambar 11. Kurva pengawetan pada temperatur 420 K untuk (a) lining, (b) tread dan (c) tread cap.

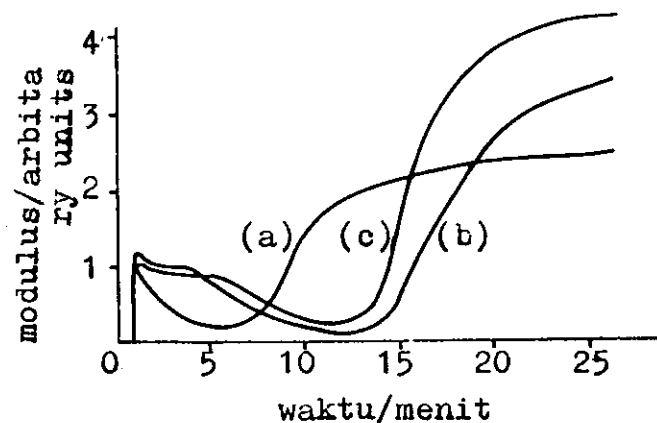
Walaupun problem akan dikerjakan secara teoritis, dalam tes jalan praktis pada ban mentah (green) yang dihantar dengan thermocouple disisip pada bermacam-macam titik pada ban. Satu set hasil utama diperlihatkan dalam gambar 12 untuk (a) permukaan tread, (b) lining, (c) titik bagian dalam tread dan (d) dasar tread. Seperti yang bisa kamu lihat dari kurva ujung puncak pada permukaan tread dan kurva lining, siklus bagian pemanasan dilalui 15 menit dan kedua komponen didinginkan secara cepat dari vulkanisasi yang merata.



Gambar 12. Temperatur beraneka bagian ban selama siklus pemanasan dan pendinginan. Siklus pemanasan mulai pada waktu nol dan berakhir setelah 15 menit.

Efek pengisolasian komponen bahkan perlu diperhatikan lebih mendalam lagi didalam ban dan lebih utama pada dasar tread. Kenyataannya untuk bagian ban yang terdalam temperatur maksimumnya tidak hanya secara signifikan kurang dari temperatur vulkanisasi nominal 430 K, tetapi temperatur maksimum diperoleh setelah waktu ketika siklus pemanasan berakhir.

Apabila diizinkan efek non-isotermal demikian diperbaiki, diperoleh kurva pengawetan seperti dipertunjukkan pada gambar 13. Melalui perbandingan dengan gambar 4, kamu bisa melihat bahwa modulus dalam pemerataan dicapai pada kira-kira waktu yang sama seperti sebelumnya (sekitar 20 menit) dan harga relatif serupa. Walaupun demikian pengawetan lining kebanyakan lebih cepat lagi dari pada kedua komponen tread. Karena tread sendiri lebih cepat lagi panasnya, seperti lining pengawetanya lebih cepat dibanding dengan dasar tread.



Gambar 13. Kurva-kurva pengawetan sebenarnya untuk komponen ban yang berbeda pada temperatur berbeda pula dicapai oleh (a) lining; (b) tread; (c) tread cap.

Percampuran yang bagaimanakah yang bisa dipakai untuk merubah kurva pengawetan sebenarnya ? Perubahan sistem akselerator-aktifator akan mempengaruhi penetapan pengawetan yang terjadi. Dari kurva temperatur pengawetan yang telah diprogram, kimia karet akan dapat diterima sistem yang lebih baik untuk dipakai baik pada siklus waktu yang optimum maupun pada siklus temperatur vulkanisasi. Walaupun demikian keselamatan pembakaran waktu proses suatu pembatasan pada pemilihan kebebasan.

Total siklus pengawetan 15 menit untuk komponen yang ditunjukkan pada gambar 13 berarti bahwa karet ban menguap yang diusahakan bebas dari tekanan selama pengawetan, seperti pendinginan secara perlahan-lahan sekitar temperatur jatuh. Hal ini dibenarkan untuk semua komponen, tetapi lebih kritis untuk komponen bagian dalam, dimana temperatur jatuh lebih perlahan lagi dari pada komponen bagian luar. Bagian yang tertebal dari ban radial mobil adalah pada pemikul (shoulder), dimana sidewall bertemu dengan tread dan bahwa senter/pusat pemikul pengawetan

nya untuk modulus optimum, hal ini penting. Sebaliknya komponen bagian luar tidak akan terlalu diawetkan, oleh karena ini salah satunya bisa mendahului jatuhnya modulus (gambar 5) atau secara signifikan modulus lebih besar dari yang diperlukan.

Ban diperiksa untuk segera mengetahui kekurangannya atau kerusakannya setelah pencetakan (gambar 6).

Ini diikuti oleh suatu tes untuk keselarasan ukuran sebelum penjualan dan pemakaian pada jalan.

SAQ 2

Suatu ban mobil radial baja dengan ketebalan bagian (dari mahkota tread sampai lining) 1,6 cm menyita waktu 20 menit untuk pres vulkanis pada temperatur 423 K. Kemudian ditentukan untuk membuat ban mobil radial lebih besar dengan ketebalan bagian tread 50 %. Campuran yang persis sama dipakai pada masing-masing ban dan untuk beraneka alasan, ditentukan pemakaian temperatur pengawetan lebih rendah 413 K. Hitunglah waktu vulkanisasi yang baru pada pres dengan asumsi bahwa pengaktifan energi untuk campuran tread adalah 100 kJ mol^{-1} . Diasumsikan bahwa kinetik vulkanisasi dipercepat adalah urutan pertama ($R = 8,314 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan efek konduktivitas termal untuk bagian yang lebih tebal diabaikan.

BAB 4

MENSIKLUS-ULANG BAN MOBIL

Pada bagian atas, kita telah melihat bagaimana banyaknya material yang berbeda sama sekali yang dikombinasikan bersama kedua fisik dan kimia cara untuk menghasilkan ban radial mobil. Kita sekarang menamndang apakah suatu material diperbaiki dari ban yang telah dipakai untuk siklus-ulang, oleh karena lebih efisien memakai material yang berharga ini adalah layak.

Dengan metal, kamu lihat unit 14 bahwa metal yang dilengkapi lebih mudah dipilih, mensiklus-ulang relatif lebih mudah dan dikembangkan industri berskala besar.

Mengapakah mensiklus-ulang secara relatif se - jajar dengan metal yang dipilih ?

Paduan dan metal hasil peleburan ketika dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi dan memberi keru - gian kotoran yang bisa dilepas dalam dapur, serta bisa dituang lagi.

Satu problem utama untuk industri mensiklus - ulang metal adalah problem kotoran (terak) ini: wa - dah/kaleng timah lebih sukar untuk siklus-ulang dari pada, katakanlah pipa tembaga, sebab memerlukan pembatas timah dari baja. Jika timah tertinggal dalam se keping besi, maka akan ada problem besar pada hasil akhir. Itu juga terlalu sukar untuk melepasnya selama pembuatan baja.

Oleh karena itu kamu akan menyadari bahwa ban mobil yang tersedia merupakan suatu problem luar biasa bagi insinyur pesiklus-ulang, sebab tidak hanya itu disusun dari banyak material yang berbeda dile -

takkan bersama-sama dalam suatu bentuk disebar secara baik sekali, tetapi besarnya polimer yang tersedia dihubung-silang secara kimia. Tidak seperti metal atau polimer termoplastik, material ini tidak dapat lebih mudah disiklus-ulang, karena sulphur crosslink sangat sulit untuk hancur. Walaupun demikian, kamu juga akan menyadari dari apa yang telah kamu pelajari dalam unit terdahulu yang bersangkutan dengan metal, bahwa jika material cukup berharga dengan metode mensiklus-ulang akan dikembangkan lagi, walaupun sukar. Dengan kata lain, industri mensiklus-ulang hanya bisa berlangsung jika hasilnya amat cukup berharga membuat manfaat untuk siklus-ulang.

TABEL 4. Penjualan ban-ban mobil yang dipakai

	Unit	Ton	%
Total ban-ban dipakai	23467588	159580	100
Ban-ban pada kendaraan scrapyard	5345000	36346	23
Ban-ban untuk perbaiki	5294120	36000	22
Ban-ban yang dieksport	1158000	7874	5
Ban-ban retreaded	3737588	25416	16
Ban-ban dikeluarkan oleh retreaders	3737588	25416	16
Restan	4195292	28528	18

SAQ 3

Berapakah harga pemasaran material utama tahun 1977, karet hidrokarbon, karbon hitam, minyak dan baja secara teoritis tersedia untuk mensiklus- ulang dari ban-ban mobil bekas ? Pemakaian proporsi siap diberikan untuk ban mobil radial baja dan mengasumsikan bahwa total jumlah ban yang telah dipakai diwakili oleh tabel 4. Juga dianggap bahwa rata-rata to-

tal berat ban 17% aus jauh dari tread sebelum ban dibuang.

4.1. Retreading Ban-ban Bekas Dipakai

Harga material potensial dari ban-ban bekas dipakai seluruhnya diabaikan ditambah harga rencana campuran. Apabila kamu memandang kurang dari lima puluh persen ban mempunyai kerugian melalui keausan dan bahwa carcass berharga sering kali tetap berguna, itu membuat pengertian untuk retread ban-ban bekas pakai. Walaupun demikian dalam percobaan retread ban adalah penting untuk mengingat akan peranan dinamik kritis dari ban. Dengan kata lain retreadernya harus jelas sebelum men-tread-kembali. Carcass tidak dirusak sedemikian rupa dan cara retread ban akan menjadi potensial atau resiko keselamatan yang nyata bila lamana ban itu dipakai pada mobil berkecepatan tinggi.

Komponen carcass ban apakah yang kritis ?

Bead baja dan breaker musti tidak dirusak dan tidak diselusupi oleh karat misalnya. Sidewall memperlihatkan bukan tanda-tanda perusakan ozon atau oksigen - dan disana bukan tanda-tanda komponen terkupas, misalnya antara sidewall dan tread.

Meskipun lubang-lubang kecil bersih dapat ditoleran pada tread (misalnya lubang oleh tusukan paku), dimana pengkaratan terjadi pada lapisan breaker maka carcass harus dilepas. Rata-rata 50 % ban bekas dipakai dibuang oleh retreader untuk mengurangi bahaya (tabel 4), sekalipun sekelompok individu membuang suatu proposi yang lebih besar seperti ditunjuk dalam program TV.

4.1.1. Tread Lunak Diperkuat

Operasi pertama dalam retreading adalah melepaskan sisa tread, sebab sejumlah besar biasanya masih tertinggal. Memerlukan ketentuan sekurang-kurangnya 1 mm sekitar kedalaman pola sekeliling penuh yang menjamin bahwa lebih dari 50% tread asli akan tersisa pada ban yang dibuang. Sisa ini harus dilepas untuk menghasilkan permukaan baru yang siap untuk menerapkan tread baru. Karet yang diiris juga dibuang dikenal sebagai lunak diperkuat (buffed crumb) dan suatu proporsi yang sangat kecil bisa dipergunakan pada campuran ban baru, tetapi pemeliharaan besar harus diberikan, sebab itu menggambarkan material siap divulkanis. Oleh karena crumb yang tersedia agak berat, kebanyakan lebih dari yang bisa dipakai- ulang dalam ban baru. Dalam program TV, misalnya, kamu telah melihat satu cara yang bisa dipakai- ulang sebagai lembaran untuk permukaan sport dengan pengikatan material oleh polyurethane adhesive.

Carcass diperkuat yang ditutup dengan tread baru yang disebut 'camel back' dan divulkanis pada temperatur pres yang rendah. Oleh karena carcass tua musti tidak rusak oleh panas, campuran yang sedikit berbeda dengan sifat pembakaran yang berbeda diperlukan. Suatu alternatif proses yang banyak disukai dengan ban truk untuk penerapan tread yang mulai diawetkan dengan suatu campuran karet sesuai disisipkan antara tread yang diperkuat dan tread baru untuk menjamin adhesi yang baik, dimana diawetkan dengan perlakuan panas (heat treatment)

4.1.2. Pengembangan Dalam Retreading

Proporsi kasar ban-ban yang di-retread diperli

hatkan dalam tabel 4 adalah 16% dan ban mobil yang di-retread tersedia sekitar sepertiga dari penjualan ban pengganti. Suatu taraf yang lebih tinggi (28%) penerapan untuk ban truk dan dalam beberapa area seperti ban-ban pesawat terbang, taraf retreading nya sangat lebih besar oleh karena alam pemakaiannya. Diperkirakan bahwa agak lebih besar proporsi ban jalan yang di-retread, dalam daerah 40-50 % untuk mobil dan 60-80 % untuk truk.

Walaupun demikian, ada problem, pertama rata-rata umur ban mobil bertambah karena proporsi pertumbuhan radial yang dipakai pada mobil dan perubahan dalam kondisi penggerakan yang terjadi sepuluh sampai dua puluh tahun terakhir ini.

Mengapa terjadi perubahan kondisi dalam penggerakan ?

Jaringan jalan mobil dikembangkan meliputi kebanyakan negara dalam dua puluh tahun terakhir, memberi penyudutan yang kurang, percepatan dan pengereman dari yang terdahulu. Oleh karena keausan ban dan kerusakan carcass yang secara tertutup berhubungan dengan kejadian, sehingga umur ban rata-rata ditambah. Tambahan pula memandang keselamatan dan baru-baru ini terjadi krisis bahan bakar telah mengakibatkan kecepatan mobil dikenakan batas tertinggi.

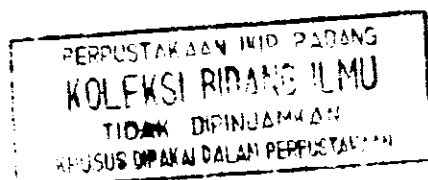
Kedua, ban baru secara bersikembungan dikembangkan dan mungkin beberapa tahun berlalu sebelum ada carcass ban yang cukup untuk di-retread. Tambahan pula, banyak ban-ban tua mungkin tidak terpakai lagi hanya disebabkan spesifikasi ukuran dirubah dan tidak bisa di-retread, karena disana bukan pasar. Standar keselamatan dalam tahun terakhir ini diperbaiki dengan mengontrol kualitas ban baru lebih mengikat lagi dan situasi ini akan mempengaruhi pema-

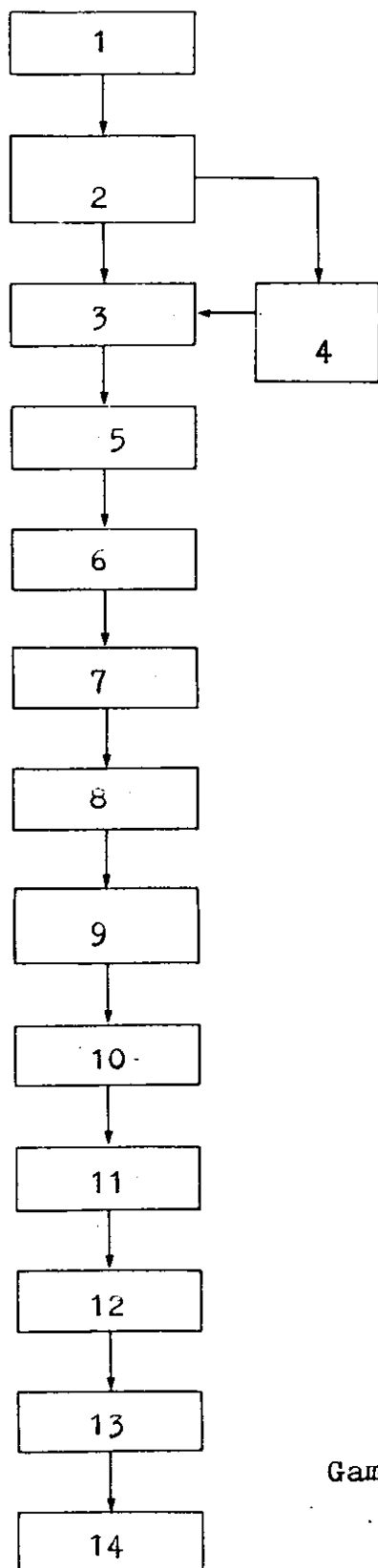
saran retread yang akan datang. Kesulitannya menguji carcass yang dipergunakan untuk menandakan kerusakan internal dan metode pengetesan tidak merusak, mungkin dipakai pada pengujian untuk carcass yang akan datang.

4.2. Memperbaiki Karet

Alternatif berikut untuk retreading adalah mengiris seluruh carcass ban dengan kombinasi kimia, termal dan metode mekanik (gambar 14). Ban-ban di hancurkan dengan memotong dan menggerinda untuk ukuran yang relatif serasi dan sama. Pada tingkatan ini besarnya fiber dibatasi secara mekanik dan secara magnetik. Sisa harus dibuang secara kimiawi oleh digestion dengan alkali. Rayon, nilon dan polies-ter semuanya mudah mempengaruhi penurunan derajat rangkaian dengan alkalis yang kuat dan proses digestif adalah dipercepat dengan mengantarnya kedalam autoclave uap yang diatur tekanannya. Vulkanisasi dikurangi dan derajat material diturunkan, lalu dicuci (washed), ditiriskan (dewatered), dikeringkan dan filler penguat, mungkin ditambah sebelum perbaikan pertama adalah digiling (milled) dan diekstrusi. Oleh karena SBR karet yang penting banyak dipakai pada ban mobil, maka memperbaiki ban seluruhnya biasanya dianggap sebagai SBR alami dan dicampurkan. Disebabkan vulkanisasi utama dikurangi, maka perbaikan campuran ban baru dapat dipergunakan dan kebanyakan perbaikan dipakai cara ini.

Sekitar 5,3 juta ban tahun 1974 ditukar untuk perbaikan, tertinggal 14,43 juta ban dari total seluruhnya (tabel 4) untuk dijual dalam cara lain. Ini disediakan sekitar 22,6 % dari total penjualan, dibanding dengan 16 % dari ban yang di-retread.





Keterangan:

1. Menggrinda ban.
2. Melepas fiber dan kawat bead.
3. Tambahan perbaikan.
4. Melepas metal (secara magnetik).
5. Digesting.
6. Pencucian.
7. Penirisan (dewatering).
8. Pengeringan.
9. Filler and additives.
10. Straining (penekanan).
11. Mill refining (Menggiling untuk membersihkan)
12. Extruding (pelemparan).
13. Mill finishing (penggilingan akhir).
14. Pembungkusan/penyelubungan (packaging).

Gambar 14. Proses digessi khusus untuk memperbaiki karet yang dihasilkan.

4.3. Penjualan Ban Bekas

Adakah suatu alternatif lain untuk memperbaiki metode pada ban crossply dan retreading yang sebagian besar dibatasi ? Kamu akan menyadari bahwa pada tahun 1974 hanya 38,6% ban mobil yang disiklus-ulang bermanfaat, dimana kebanyakan meninggalkan kira-kira 14,4 juta ban mobil untuk dijual dengan cara lain.

4.3.1. Pembuangan Ban Mobil

Sejumlah besar ban mobil hanya dibuang oleh kendaraan pengangkut sampah (scrapyard) bersama salah satu tumpukan besar dari ban yang ditimbun atau sejumlah kecil pada lokasi sumber buang yang tak berharga. Kedua kebijaksanaan tidak memuaskan, disebabkan ban yang ditumpuk pengisi ruang sangat tidak efisien dan semua ban yang tersedia merupakan suatu bahaya kebakaran yang potensial. Oleh karena ban mobil dicampur terutama material organik (gambar 1), pembakaran sangat mudah dan lagi pula menghasilkan sejumlah besar polusi yang diproduksi ketika kebakaran terjadi dalam udara terbuka. Persediaan udara selalu tersedia karena ban berbentuk terbuka dan api dibuang, kebakaran ini sangat sulit dipadamkan.

Jawaban yang nyata untuk problem adalah pembakaran dalam dapur dikontrol, dimana panas yang disebarkan bisa dipergunakan untuk menaikkan uap dan pembakaran dapat dikontrol untuk menghasilkan gas-gas (CO_2 dan H_2O) sedikit dari hasil solidnya (partikel karbon dan sebagian polimer yang dikurangi derajatnya).

4.3.2. Pembakaran Ban Mobil

Problem utama dengan dikontrolnya pembakaran ban adalah disertai biaya pemindahannya. Kendaraan

pembuang sampah (scrapyard) biasanya dioperasikan relatif sedikit dan secara geografika disebar sangat luas. Ban menempati sejumlah besar ruangan untuk berat total material yang relatif kecil, sehingga biaya unit secara proporsi lebih tinggi dari biaya buat obyek solid. Ban 165/SR/13 dianggap menempati ruang sekitar $0,354 \text{ m}^3$ ketika ditumpuk secara tertutup dengan berat satu ban $7,55 \text{ kg}$. Kerapatan penumpukan hanya sekitar 20 kg m^{-3} dibandingkan dengan kerapatan solid sekitar 1500 kg m^{-3} . Dipastikan bahwa ban-ban rusak juga timbul atau terdapat pada pabrik ban atau pabrik retread, maka jawaban yang nyata adalah membangun tempat pembakaran disana. Secara umum ada enam pembakar yang membinasakan ban-ban rusak, ini merupakan suatu kejadian yang nyata. Satu desain khusus yang telah dikembangkan oleh Avon Tyre Company dan dipertunjukkan pada awal dan akhir siaran TV 16.

Ban-ban rusak secara priodik ditumpuk kedalam dapur dalam penumpukan kecil kearah atas dan secara perlahan lantai dapur diputar/dibalik. Sekali ban masuk, maka dalam waktu sekitar 35 menit akan terbakar habis dan dapur dapat membakar 100 ban per jam. Dapur beroperasi secara berkesinambungan sepanjang tahun, sehingga total ban bekas yang dibinasakan per tahun adalah 875 000 buah, sekitar 6% dari total ban yang muncul (ditumpuk). Ketika pertama kali membangun dapur, problem yang dialami dengan menumpuk nya komponen-komponen yang tidak dapat terbakar (baja bead dan breaker) dan abu, tetapi dapur dirancang ulang dengan memutar lantai dimiringkan (dikamber) terhadap senter yang diizinkan melepas hasil buangan langsung.

Penyimpan biaya sendiri agak besar (tabel 5), sebab dapur menghasilkan uap tekanan rendah untuk ruang pemanasan dan vulkanisasi komponen karet ber-temperatur rendah. Nilai kasar kalori ban sedikit lebih tinggi dari batu bara sekitar $32,5 \text{ MJ kg}^{-1}$, sehingga penghematan bahan bakar untuk ketel utama pada bentuk letaknya dan bagian terbesar pada segi kredit dari biaya perkiraan (tabel 5). Tambahan pula pengurangan biaya pemindahan dan biaya pembuangan dari ban bekas, menghemat £16 000 per tahun, sehingga total penghematan biaya sekitar £ 80 000 per tahun. Lawan penghematan adalah biaya pengerjaan dan biaya pemeliharaan bersama dengan biaya penjualan abu dan penyusutan rencana anggaran dasar £130 000. Total yang kembali sekitar £ 40 000 per tahun, sehingga total penanaman modal kembali sekitar £40 000 per tahun.

TABEL 5. Biaya tahunan Avon Scrap Tyre Incinerator (1977)

Biaya Kerja Tahunan		Penghematan Tahunan	
1. Buruh kerja dan ketua (enam orang)	£18 000	1. Pengurangan biaya letak ketel utama penampung bahan bakar minyak 8000 galon minyak per minggu	£63 000
2. Minyak untuk start dan pemeliharaan temperatur-kira-kira 400 galon per minggu	£5 300	2. Pengurangan biaya pemindahan dan pembuangan ban bekas; 5 per ton	£16 000
3. Rencana pemeliharaan material dan buruh	£3 900	3. Pengurangan biaya pemindahan dan pembuangan karet bekas umum pada 5	
4. Penyediaan pelayanan-listrik, air dan udara kompresi	£6 900		
5. Penjualan abu	£1 200		

6. Rencana penyusutan	£ 7 000	per ton	£ 1 500
TOTAL :	£ 42 300	TOTAL :	£ 80 500

4.3.3. Pirolisis Ban

Kemungkinan lain untuk menjual ban bekas yang tak sampai pada pembakaran seluruhnya, yaitu pirolisisnya dikontrol dalam ketiadaan udara untuk menghasilkan bahan bakar gas, minyak dan hasil lain yang kurang derajat (nilai)nya seperti arang. Tidak seperti dapur pembakaran, dapur pirolisis sejauh dipelajari pada skala perencanaan pilot memerlukan karet dasar yang baik sekali sebagai masukan, suatu operasi ekstra yang menekan biaya operasi.

Bisakah kamu memikirkan suatu kerugian lainnya dari pirolisis ban bekas ?

Suatu pemasok energi yang bermakna diperlukan untuk pemanasan ban dan menggantikan hasil solid menjadi hasil yang dikurangi derajat (nilai)nya. Proses yang dipergunakan adalah endotermik, sedangkan proses uap tidak bisa dihasilkan untuk pemakaian dilain tempat.

Sebaliknya pemanfaatan hasil yang dapat dijual seperti minyak dibuat dengan pirolisis, meskipun kualitasnya belum ditentukan. Problem utama adalah ban yang berisi sulphur yang telah kita ketahui dahulu, dapat mengotori minyak sangat serius serta apakah ditujukan untuk memproses dalam hasil lain atau untuk pembakaran seperti bahan bakar. Bahan bakar gas dan minyak dihasilkan dengan memperbaiki pirolisis pada bagian terkecil dari pemasukan energi, tetapi bermacam-macam kerugian yang disinggung tadi ditakuti pemilik pabrik yang memakai proses tersebut di-negara UK.

Dapatkan kamu memikirkan cara lain dalam pemasukan energi polimer ban untuk dikurangi ?

Ban bekas dipergunakan untuk memperbesar nilai kalori alat pembakar pengendali yang membakar sampah domestik. Walaupun demikian, ban tadi perlu dipotong dulu sebelum penambahan, yang berarti menambah biaya operasi.

4.4. Ban Mobil Dalam Perkembangan Selanjutnya

Dalam bagian ini, kita pertama telah dipengeruhi dengan problem mensiklus-ulang yang diadakan oleh ban mobil bekas. Sebab utama timbulnya problem yang kompleks adalah struktur campuran ban dan energi persenyawaan tinggi dari hubungan-silang kimia dalam bermacam-macam campuran karet. Material yang disiklus-ulang seperti buffed crumb demikian tidak bisa ditambah dalam jumlah yang sangat besar untuk campuran ban baru dan bentuk optimum dari mensiklus-ulang adalah retreading yang melindungi bagian ban tua. Ban berjumlah besar sekali sekarang ini dibuang sekalipun berpotensi besar untuk pembakaran yang dikontrol (apakah itu lengkap atau sebagian) dari ban-ban bekas.

4.4.1. Karet Termoplastik

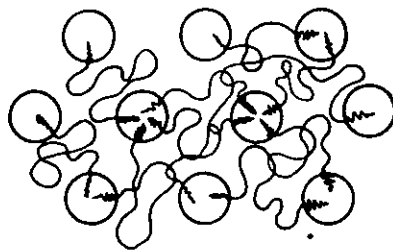
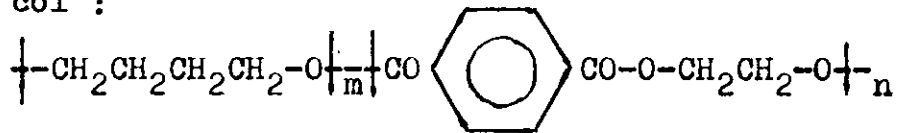
Tetapi adakah cara lain yang dapat diakali dalam problem ban bekas ? Karet pada dasar adalah polimer rangkaian panjang dan kebanyakan polimer bisa ada dalam salah satu seperti karet atau seperti kaca atau gelas, keadaan keras tergantung pada T_g = temperatur gelas transisi. Problem yang penting dengan ban mobil adalah tuntutan kekerasan yang tinggi, mengabaikan sifat mulur dan tahanan temperatur dalam campuran karet dasar, sekarang ini problemnya adalah

hanya diselesaikan dengan memakai crosslink yang kuat dan dilengkapi dengan vulkanisasi sulphur. Crosslink demikian sangat sukar, jika bukan tidak mungkin untuk lebih menyukai penghancuran, juga mensiklus - ulang material yang baik dikesampingkan.

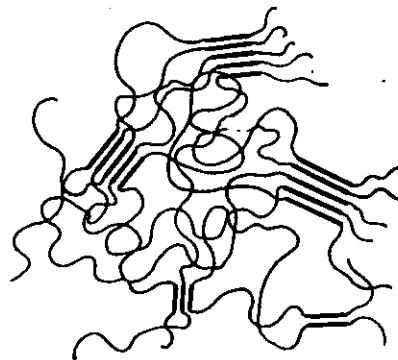
Adakah cara lain menghubungkan-silangkan karet ? Melebihi dasawarsa dan juga dalam dasawarsa, suatu batas daerah karet termoplastik menjadi terpakai. Karet termoplastik ini secara fisik dihubung -silang melalui daerah yang sangat kecil dari polimer yang lebih keras. Dalam kata lain, karet termoplastik terdiri dari kopolimer blok yang dicampur dari dua rangkaian polimer yang berbeda sama sekali dihubung secara kimia bersama-sama. Dalam material solid, rangkaian yang berbeda cenderung untuk berpisah dalam daerah salah satu komponen bergantung pada besarnya komposisi. Misalnya demikian styrene-butadiene-styrene block copolymer (disinggung dalam unit 7) dan telah disiapkan oleh polimerisasi anionik(gambar15). Daerah/domains terdiri dari rangkaian polystyrene yang memiliki $T_g = 373$ K, sehingga rangkaian tertinggal utuh secara struktur pada temperatur ambien. Diwaktu material dipanaskan diatas T_g , daerah dibina sakan dan material mengalir dalam cara visko normal. Karet SBR bisa lebih mudah dicetak injeksi demikian dan secara umum dipakai dalam bagian yang dapat secara cepat dan lebih murah dihasilkan dalam kuantitas yang besar, seperti sol sepatu. Pada pendinginan, struktur daerah dibentuk kembali, juga cross link dan penguat hasil diinjeksi.

Dengan sendirinya, polimer blok SBR mungkin tidak dipakai sebagai karet ban, sebab histeresis nya dan kepekaan temperatur untuk sifat mulur terlampau tinggi. Tetapi satu kemungkinan keluar daerah batas

material ban yang potensial lainnya adalah termoplastik. Mungkin satu lagi calon adalah polyester-polyether block polymer yang dihasil dari polyethylene terephthalate (PET) dan polytetramethylene ether glycol :



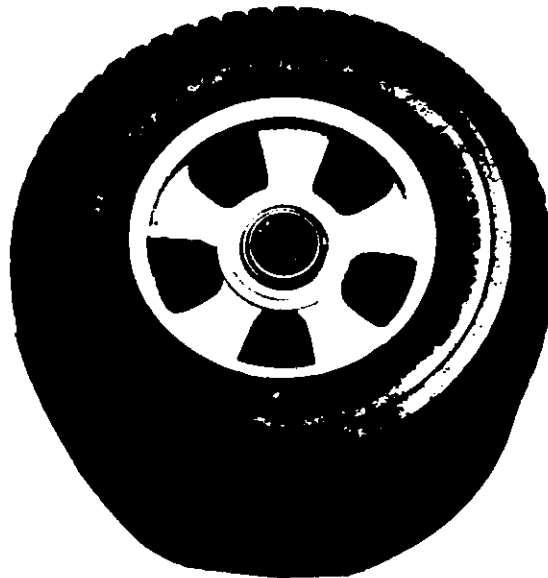
Gambar 15. Skema yang mewakili struktur daerah mikro karet termoplastik styrene - butadiene-styrene yang mengandung 24% styrene. Daerah berdiameter utama 20 nm dan mungkin bersifat silindris berlapis tipis atau berpolak dalam bentuk, bergantung atas ketelitian komposisi styrene.



Gambar 16. Struktur daerah mikro dari polyether-polyester karet termoplastik. Satu rangkaian polimer blok diikat oleh beberapa daerah yang berbeda.

Material ini adalah blok yang mengkondensasi polimer yang terpisah dalam ketelitian skala molekul yang caranya sama seperti karet SBR. Membagi karet adalah segmen/bagian ether, segmen poliester berbentuk daerah kristal yang crosslink dan material penguat.

Oleh karena temperatur peleburan massa molekul PET tinggi yaitu 523 K, maka jaringan yang tinggal tidak rusak untuk temperatur itu. PET sangat tahan abrasi dan juga mendapat penerapan pada ban yang berkecepatan rendah seperti yang diperlihatkan pada gambar 17. Ban dan hubnya secara perputaran dicetak dalam satu buah dan bantalan metal disisipkan setelah pencetakan. Ban bekas dapat disiklus-ulang lebih mudah diluar kerugian kualitas. Oleh karena material memiliki modulus geser tinggi, maka ia diperkuat dengan karbon hitam untuk menambah kekuatan ekstra.



Gambar 17. Ban kecepatan rendah dicetak dalam karet termoplastik polyether-polyester (diameter ban 30 cm). Hub dicetak secara lengkap dengan tread dan sidewall. Bantalan metal disisipkan

sipkan dalam operasi berikutnya. Hanya karbon hitam ditambahkan sebagai penguat. (Courtesy du Pont).

4.4.2. Perubahan Dalam Desain Ban Dan Pemakainya

Kualitas dan tuntutan keselamatan yang mengikat untuk ban mobil dikembalikan pada tingkat kecepatan maksimum, untuk ban mobil normal 113 m.p.h. Desain dulu sangat kompleks dengan mengkontribusi material yang banyak perbedaannya, sering kali semua permintaan pada ban mobil bertentangan. Perbedaan karet diperlukan untuk membedakan fungsi dari ban sekarang ini karet harus thermoset dengan crosslink sulphur. Ini adalah sumber problem mensiklus - ulang dan biaya pembuatan ban radial tinggi.

Bisakah kamu memikirkan situasi yang bagaimana kah karet termoplastik dipergunakan pada ban mobil? Karet termoplastik akan dipergunakan jika tingkat kecepatan dikurangi secara drastis dan suatu desain yang sesuai dikembangkan untuk pembebanan yang relatif rendah. Desain penggabungan baja penguat titik kritis, tetapi ini akan menghasilkan problem pence - takan jika ban dibuat dalam sekali operasi.

Jika, misalnya kendaraan listrik berkecepatan rendah dikembangkan pada skala besar, ada kemungkinan untuk ban demikian pemasarannya besar. Ini suatu rencana yang tidak mungkin tidak dengan perkembangan baterai penyimpan yang lebih efisien, disebabkan juga penekanan dilingkungan mesin pembakaran dalam dan dikurangnya efisiensi pada kecepatan tinggi. Jika itu terjadi, maka ada akibat yang berarti yaitu penghematan pada perlengkapan seperti ban yang bisa dicetak secara injeksi atau perputaran pada suatu pemecahan biaya sekarang ini.