

TEKNOLOGI PEMROSESAN KARET

Produksi produk karet terbagi menjadi 2 tahap :

- Produksi karet alam (hasil perkebunan) atau synthetic (dari petroleum)
- Pemrosesan karet menjadi barang jadi

Produksi karet dari pemrosesan hingga produk akhir terdiri dari :

- (1) Compounding,
- (2) Mixing,
- (3) Shaping,
- (4) Vulcanizing

Produksi karet :

A. Karet Alam :

- Kandungan utamanya *polyisoprene* (*polimer of isoprene* – C_5H_8) yg didpt dari *Latex*.
- Latex adalah partikel padat polyisoprene dlm air (kandungan emulsi airnya 30%).
- Karet mentah alam (*natural crude oil*), lembek(*sticky*) saat cuaca panas & kaku serta getas saat cuaca dingin, shg harus di vulkanisasi (tradisional dng sulfur, modern dng *curing* – waktu lebih singkat) agar memiliki sifat kuat tarik tinggi (*high tensile strength*), tahan robek, tahan aus, & tahan kelelahan.
- Kelemahan akan muncul pd saat karet terkena panas, sinar matahari, oksigen, ozone, dan oli shg perlu di tambahkan aditif.
- Market utama terbesar utk ban kendaraan. Lainnya sol sepatu, bushing, seal, komponen shock absorber.

Metode utk memulihkan (*recovering*) karet dari air yg terdapat pd latex al. pembekuan (*coagulation*), yaitu :

- a. Latex diencerkan dng air & ditambahkan asam format (HCOOH) atau asam asetat (CH_3COOH) agar latex menjadi beku setelah 12 jam.
- b. *Coagulum* dibentuk menjadi lembaran padat lunak (*soft solid slabs*) melalui rangkaian roller yg juga berfungsi mengeluarkan air & mengurangi ketebalan menjadi 3 mm
- c. Lembaran diletakkan di keranjang kayu & dikeringkan di dlm *smoke house* selama beberapa hari (utk mencegah oksidasi), karet ini disebut *ribbed smoked sheet*. Karet ini berwarna coklat tua.

- d. Kadangkala lembaran dikeringkan dng udara panas lebih dari asap panas pd *smoke house*, karetinya disebut *air dried sheet*. Karet ini kualitasnya lebih tinggi.

- e. Karet kualitas lebih baik jenis lain adalah *pale crepe rubber*, yaitu dng 2 (dua) tahap pembekuan : tahap 1 (satu) utk menghilangkan material yg tdk diperlukan pada latex, kemudian coagulum dibersihkan & diproses mekanis menggunakan pengeringan udara hangat. Umumnya karet ini berwarna terang.

B. Karet Sintetik :

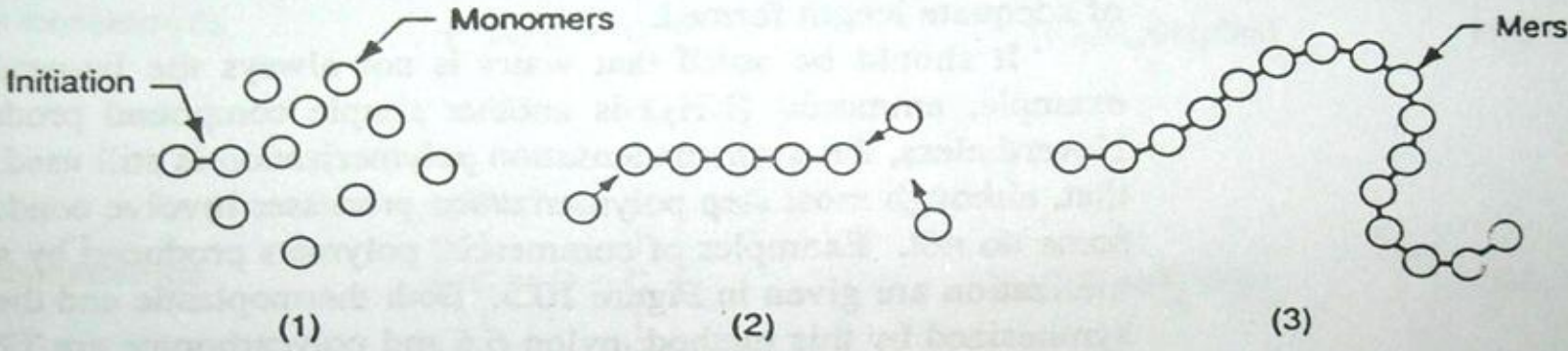
- Diproduksi dari petroleum dng teknik polimerisasi yg sama yg digunakan utk mensintesa polimer lain.
- Jenis sintetik yg paling penting adalah *Styrene Butadiene Rubber* (SBR) yg merupakan hasil polimerisasi dari *butadiene* (C_4H_6) dng *styrene* (C_8H_8).
- Karet ini dikirim ke produsen produk karet (*fabricator*) dlm bentuk gulungan (bal) besar.

Proses polimerisasi :

1. Metode penggabungan monomer (*addition polymerization*).
2. Polimerisasi bertahap (*step polymerization*)

1. Model penggabungan monomer :

FIGURE 10.2 Model of addition (chain) polymerization: (1) initiation, (2) rapid addition of monomers, and (3) resulting long-chain polymer molecule with n mers at termination of reaction.

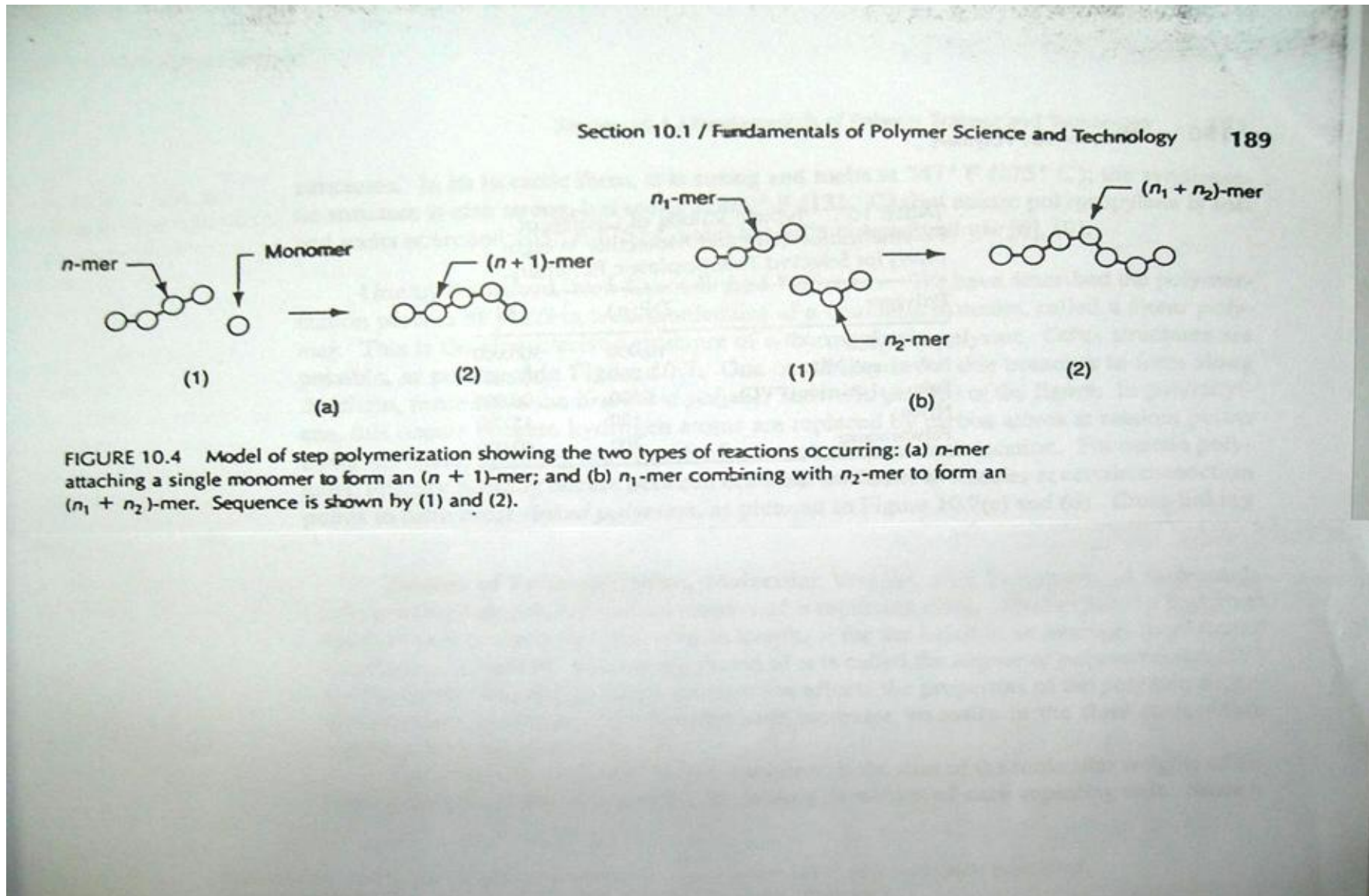


Beberapa Polimer yg dibentuk dng metode penggabungan monomer (*addition-chain polymerization*) :

Polymer	Monomer	Repeating mer	Chemical formula
Polypropylene	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_3\text{H}_6)_n$
Polyvinyl chloride	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$
Polystyrene	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_8\text{H}_8)_n$
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ \text{C} = \text{C} \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cc} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C} & - \text{C}- \\ & \\ \text{F} & \text{F} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_2\text{F}_4)_n$
Polyisoprene (natural rubber)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array}$	$\left[\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & & \text{H} \\ & & & \\ -\text{C} & - \text{C} = & \text{C} - & \text{C}- \\ & & & \\ \text{H} & & \text{CH}_3 & \text{H} \end{array} \right]_n$	$(\text{C}_5\text{H}_8)_n$

FIGURE 10.3 Some typical polymers formed by addition (chain) polymerization.

2. Model polimerisasi bertahap (step polymerization) :



Beberapa polimer yg dibentuk dng polimerisasi bertahap :

FIGURE 10.5 Some typical polymers formed by step (condensation) polymerization (simplified expression of structure and formula; ends of polymer chain are not shown).

Polymer	Repeating unit	Chemical formula	Condensate
Nylon-6, 6	$\left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_6 - \text{N} - \text{C} \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{O} \\ \end{array} - \left[\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_4 - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H} \\ \end{array} - \text{N} \right]_n$	$[(\text{CH}_2)_6 (\text{CONH})_2 (\text{CH}_2)_4]_n$	H_2O
Polycarbonate	$\left[(\text{C}_6\text{H}_4) - \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} - (\text{C}_6\text{H}_4) - \text{O} - \text{C} \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{O} \end{array} - \text{O} \right]_n$	$(\text{C}_3\text{H}_6 (\text{C}_6\text{H}_4)_2 \text{CO}_3)_n$	HCl
Phenol formaldehyde	$\left[\text{C}_6\text{H}_4 - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{OH} \end{array} - \text{H} \right]_n$	$[(\text{C}_6\text{H}_4)\text{CH}_2\text{OH}]_n$	H_2O
Urea formaldehyde	$\left[\begin{array}{c} \text{NH} \\ \\ \text{C} = \text{O} \\ \\ \text{NH} \end{array} - \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \right]_n$	$(\text{CO}(\text{NH})_2\text{CH}_2)_n$	H_2O

Karakteristik & Typical Properties Beberapa Jenis Karet :

Vulcanized Rubber (karet alam) : misal utk ban kendaraan, bushing, seal, komponen *shock absorber*

TABLE 10.5 Characteristics and Typical Properties of Vulcanized Rubber.

Polymer:	Polyisoprene (C ₅ H ₈) _n
Symbol:	NR
Modulus of elasticity:	2500 lb/in. ² (18 MPa) ^a
Tensile strength:	3500 lb/in. ² (25 MPa)
Elongation:	700% at failure
Specific gravity:	0.93
High-temperature limit:	180° F (80° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)
Approximate market share:	22%

Compiled from [2], [6], [9], and other sources.
^a At 300% elongation.

Butadiene Rubber (campuran karet alam dng styrene) : misal ban kendaraan

TABLE 10.6 Characteristics and Typical Properties of Synthetic Rubbers.
(a) Butadiene Rubber.

Polymer:	Polybutadiene (C ₄ H ₆) _n
Symbol:	BR
Tensile strength:	2000 lb/in. ² (15 MPa)
Elongation:	500% at failure
Specific gravity:	0.93
High-temperature limit:	210° F (100° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)
Approximate market share:	12%

Compiled from [2], [6], [9], [11], and other sources.

Butyl Rubber : utk inner tubes, liner ban tubeless

TABLE 10.6 (continued) (b) Butyl Rubber.

Polymer:	Copolymer of isobutylene (C ₄ H ₈) _n and isoprene (C ₅ H ₈) _n
Symbol:	PIB
Modulus of elasticity:	1000 lb/in. ² (7 MPa)
Tensile strength:	3000 lb/in. ² (20 MPa)
Elongation:	700%
Specific gravity:	0.92
High-temperature limit:	220° F (110° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)
Approximate market share:	About 3%

* At 300% elongation.

Chloroprene Rubber (neoprene) : lebih tahan terhadap oli, cuaca, ozone, panas, & api dari pada karet alam tetapi mahal, utk selang bahan bakar kendaraan, belt conveyor, & gasket.

TABLE 10.6 (continued) (c) Chloroprene Rubber (Neoprene).

Polymer:	Polychloroprene (C ₄ H ₅ Cl) _n
Symbol:	CR
Modulus of elasticity:	1000 lb/in. ² (7 MPa) ^a
Tensile strength:	3500 lb/in. ² (25 MPa)
Elongation:	500% at failure
Specific gravity:	1.23
High-temperature limit:	250° F (120° C)
Low-temperature limit:	-10° F (-20° C)
Approximate market share:	2%

* At 300% elongation.

Ethylene Propylene Rubber : utk insulasi kabel/ kawat, komponen otomotif.

TABLE 10.6 (continued) (d) Ethylene–Propylene–Diene Rubber.

Representative polymer:	Terpolymer of ethylene (C_2H_4), propylene (C_3H_6), and a diene monomer (3% to 8%) for cross-linking
Symbol:	EPDM
Tensile strength:	2000 lb/in. ² (15 MPa)
Elongation:	300% at failure
Specific gravity:	0.86
High-temperature limit:	300° F (150° C)
Low-temperature limit:	–60° F (–50° C)
Approximate market share:	5%

Isoprene Rubber : dpt dipolimerisasi menjadi sintesa kimia yg ekuivalen dng karet alam tetapi lebih lunak & lebih mudah utk dicetak dari karet alam. Utk ban mobil, sepatu, belt conveyor. Biaya per unit berat sekitar 35 % lebih tinggi dari karet alam.

TABLE 10.6 (continued) (e) Isoprene Rubber (Synthetic).

Polymer:	Polyisoprene (C_5H_8) _n
Symbol:	IR
Modulus of elasticity:	2500 psi (at 300% elongation)
Tensile strength:	3500 psi
Elongation:	500% at failure
Specific gravity:	0.93
High-temperature limit:	180° F (80° C)
Low-temperature limit:	–60° F (–50° C)
Approximate market share:	2%

Nitril Rubber (butadiene 50 – 75 % & acrylonitrile 25 – 50 %) : Memiliki kekuatan yg baik & tahan terhadap abrasi, oil, gasoline, & air. Utk selang bensin, seal, & sepatu/ sandal.

TABLE 10.6 (continued) (f) Nitrile Rubber.

Polymer:	Copolymer of butadiene (C ₄ H ₆) and acrylonitrile (C ₃ H ₃ N)
Symbol:	NBR
Modulus of elasticity:	1500 lb/in. ² (10 MPa) ^a
Tensile strength:	4000 lb/in. ² (30 MPa)
Elongation:	500% at failure
Specific gravity:	1.00 (without fillers)
High-temperature limit:	250° F (120° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° F)
Approximate market share:	2%

^a At 300% elongation.

Polyurethane : *thermosetting* polyurethane dng minimum *cross linking* (ikatan melintang molekul) shg bersifat *elastomers* sering diproduksi menjadi feksibel foam (material busa kursi & jok mobil). Atau tdk menjadi foam, tetapi dimolding menjadi produk dng aplikasi yg luas dari sol sepatu s/d bumper kendaraan (dng mengatur tingkat cross linking). Tanpa cross linking material bersifat *thermoplastic* yg dpt diproses dng injection molding.

TABLE 10.6 (continued) (g) Polyurethane.^a

Polymer:	Polyurethane (chemistry varies)
Symbol:	PUR
Modulus of elasticity:	1200 lb/in. ² (10 MPa) ^b
Tensile strength:	8000 lb/in. ² (60 MPa)
Elongation:	700% at failure
Specific gravity:	1.25
High-temperature limit:	210° F (100° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)

^a Market share listed under thermosets. Table 10.4.
^b At 300% elongation.

Silicone : spt polyurethane dpt menjadi elastomers atau thermosetting tergantung cross linking, jika minimum akan bersifat elastomers. Silicone digunakan utk range temperatur yg luas tetapi ketahanan thd oli buruk shg utk meningkatkan sifat mekanis diperkuat dng menggunakan *silica powder*. Krn mahal utk karet yg berfungsi khusus spt gasket, seal, insulasi kabel/ kawat.

TABLE 10.6 (continued) (h) Silicone Rubber.

Representative polymer:	Polydimethylsiloxane $[\text{SiO}(\text{CH}_3)_2]_n$
Symbol:	VMQ
Tensile strength:	1500 lb/in. ² (10 MPa)
Elongation:	700% at failure
Specific gravity:	0.98
High-temperature limit:	450° F (230° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)
Approximate market share:	Less than 1%

Styrene Butadiene Rubber (styrene 25 % & butadiene 75 %) : Jenis elastomers dng penggunaan terbesar (the largest tonnage elastomers) sekitar 40 % dari semua karet yg diproduksi. Biaya produksi murah (sama dengan karet alam), tahan abrasi, keseragaman lebih baik dari karet alam. Sifat mekanis lainnya selain tahan aus lebih rendah dari karet alam tetapi lebih tahan fluktuasi panas, ozone, cuaca, & oli dibandingkan karet alam.

TABLE 10.6 (continued) (i) Styrene-Butadiene Rubber.

Polymer:	Copolymer of styrene (C_8H_8) and butadiene (C_4H_6)
Symbol:	SBR
Modulus of elasticity:	2500 psi (at 300% elongation)
Tensile strength:	3000 psi (reinforced)
Elongation:	700% at failure
Specific gravity:	0.94
High-temperature limit:	230° F (110° C)
Low-temperature limit:	-60° F (-50° C)
Approximate market share:	Slightly less than 40%

(1) *Compounding* :

- Karet selalu dicampur dng aditif *carbon black* yg didpt dari mendekomposisi *hydrocarbon*. Ini utk menambah *tensile strength*, tahan terhadap abrasi, robek, & melindungi radiasi *ultraviolet*.
- *Hydrous aluminum silicates* ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) walaupun tidak sebesar carbon black memperkuat karet, tetapi digunakan jika menginginkan karet tidak hitam.
- *Calcium carbonates* (CaCO_3) & silica (SiO_2) yg dpt berfungsi sbg penambah/ penurun kekuatan tergantung ukuran partikel, serta polimer lain spt : *styrene*, PVC, & *phenolics*, serta *recycled rubber* (proporsi karet bekas tidak lebih 10%). Ini berfungsi utk mencegah oksidasi, *fatigue*, sbg pewarna pigmen, peningkatan sifat plastis & pelumas.

- Banyak produk membutuhkan serat/ filamen yg diperkuat utk mengurangi mulur (*extensibility*) karet, misal ban & belt conveyor. Filamen yg digunakan spt *cellulose*, *nylon*, & *polyester*. *Fiberglass* & kawat baja jg utk ban *steel belted radial*.

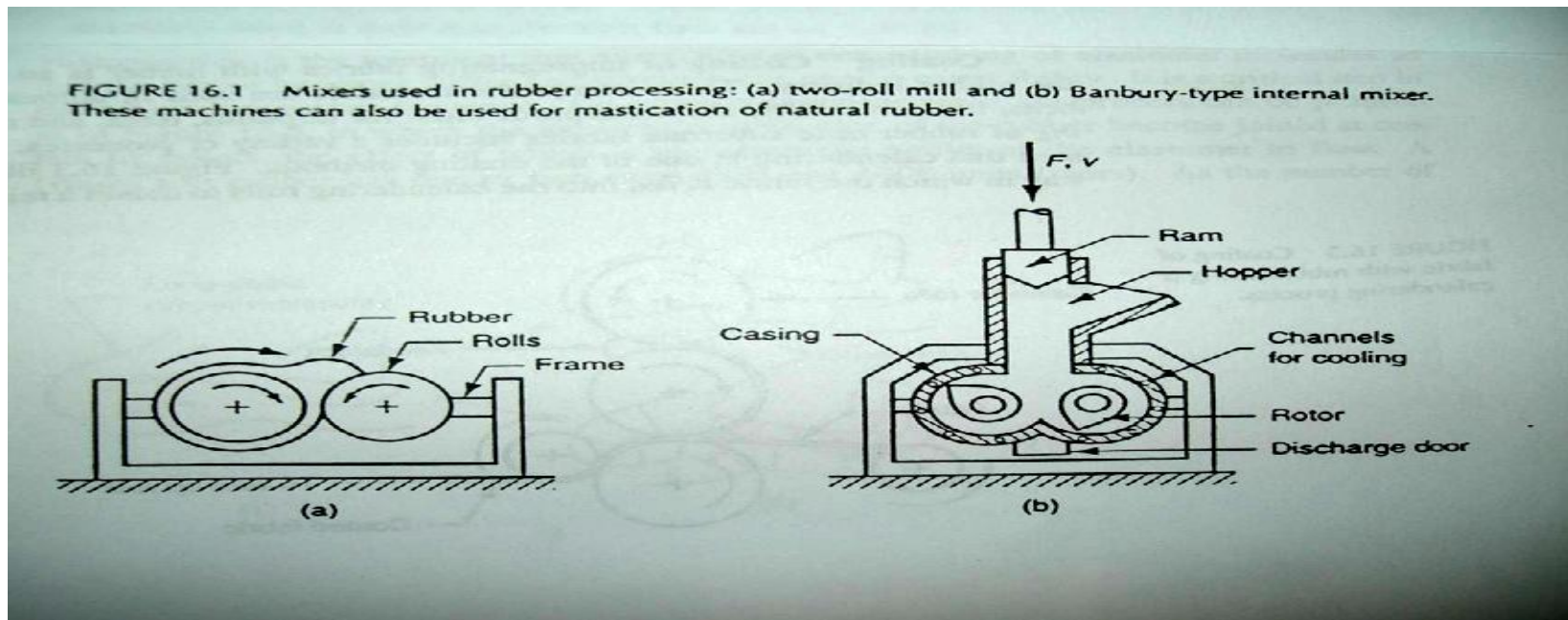
Karet alam dari perkebunan masih keras (*hard*) & liat/ alot (*tough*), maka diproses *mastication* (kerja mekanis utk melunakkan karet alam) shg kekentalan karet berkurang & lebih memungkinkan utk menerima bahan tambahan lain yg akan dicampur.

(2) *Mixing* :

Pengerjaan mekanis pada karet dpt meningkatkan temperatur s/d 150 °C yg bisa berakibat terjadi vulkanisasi, maka proses mixing dilakukan dlm 2 (dua) tahap :

- Tahap pertama, carbon black & bahan tambahan non vulkanis dicampurkan pada karet mentah (*raw rubber*).
- Setelah campuran sempurna & mulai dingin, maka tahap kedua dilakukan dng menambahkan bahan yg vulkanis.

Mixer yg digunakan : a. *Two roll mill*, & b. *Internal mixer (banbury-type)*

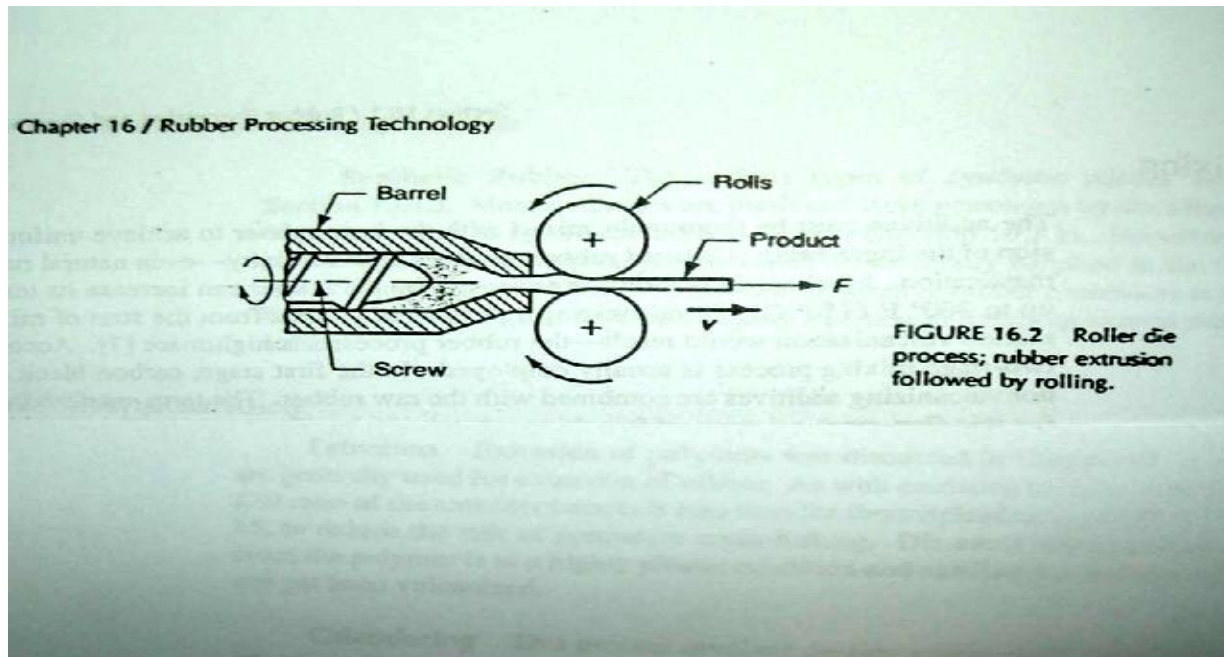


(3) Shaping Processes :

Proses utk produk karet terbagi menjadi :

a. *Extrusion* ;

Umumnya menggunakan *screw extruder* & *die roller* sbg pembentuk.



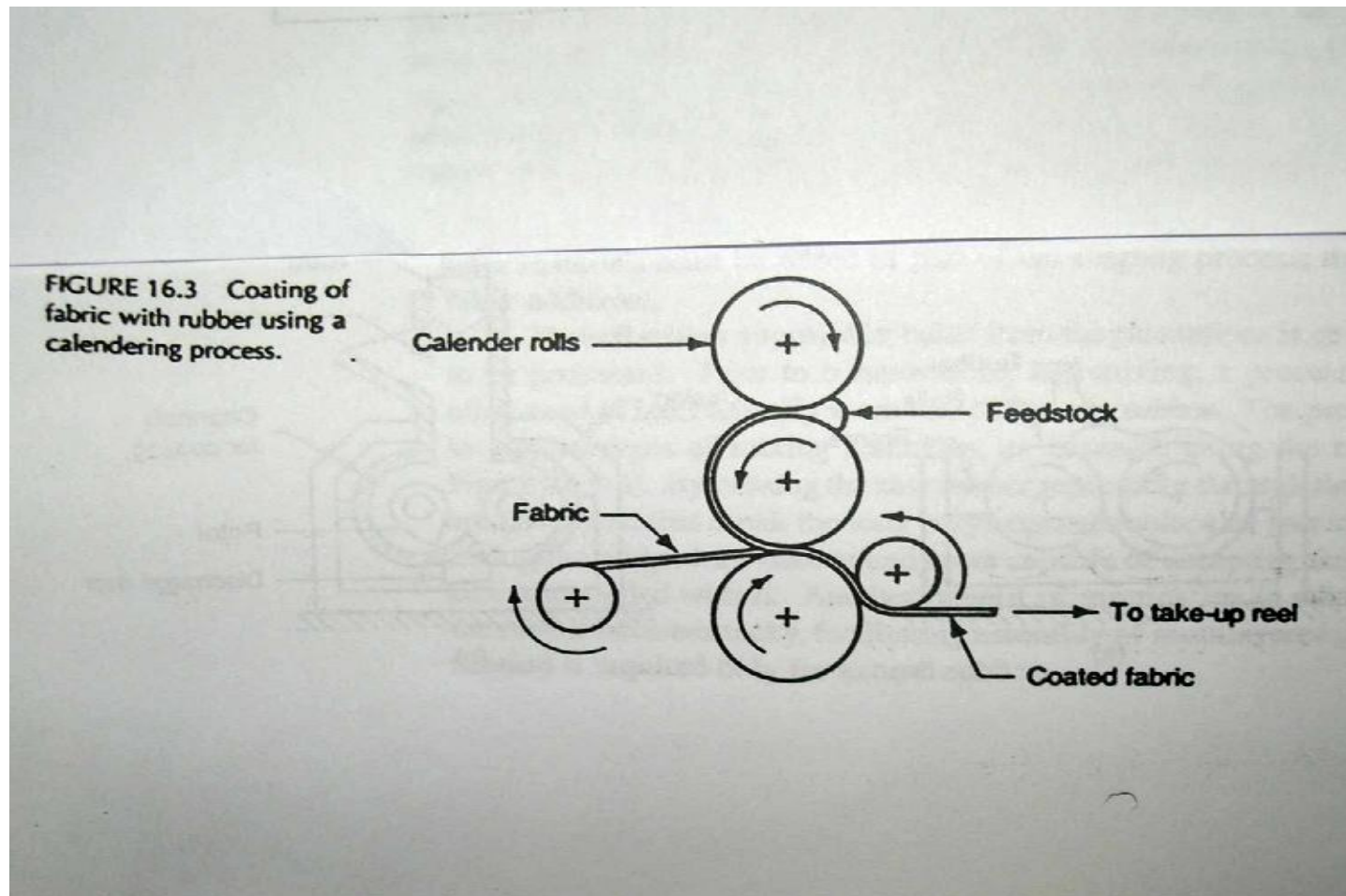
b. *Calendering* ;

Proses melewati karet melalui beberapa rangkaian celah utk mengurangi ukuran yg dilakukan dng menggunakan roller.

Dpt juga digunakan utk melapisi serat tekstil (*textile fabrics*).

c. *Coating* ;

Banyak material komposit digunakan utk ban kendaraan, *belt conveyor*, perahu karet, jas hujan. *Coating* dpt dilakukan melalui proses calendering.



d. *Molding & casting* ;

Misal : sol sepatu, gasket, *seal*, stoper tutup botol

Proses *molding* utk karet :

- *compression molding*, misal ban kendaraan
- *transfer molding*
- *injection molding*

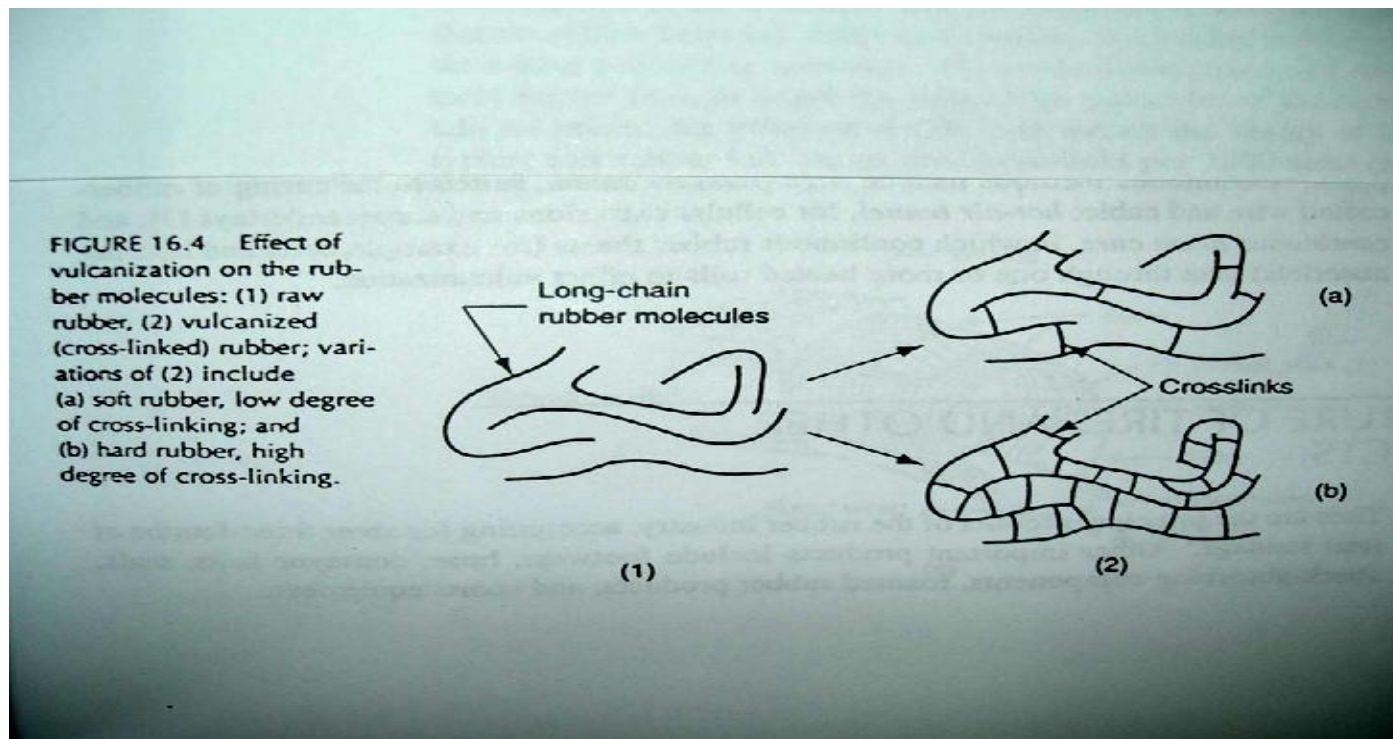
Proses *casting* utk karet :

Misal utk sarung tangan, disebut *dip casting*, dimana mold di letakkan ke dlm polimer cair (atau dipanaskan) beberapa kali shg mendptkan ketebalan yg diinginkan.

Pelapis diberikan sesuai bentuk & dialirkan melintang alur (*cross-link*) karet.

(4) *Vulcanization* :

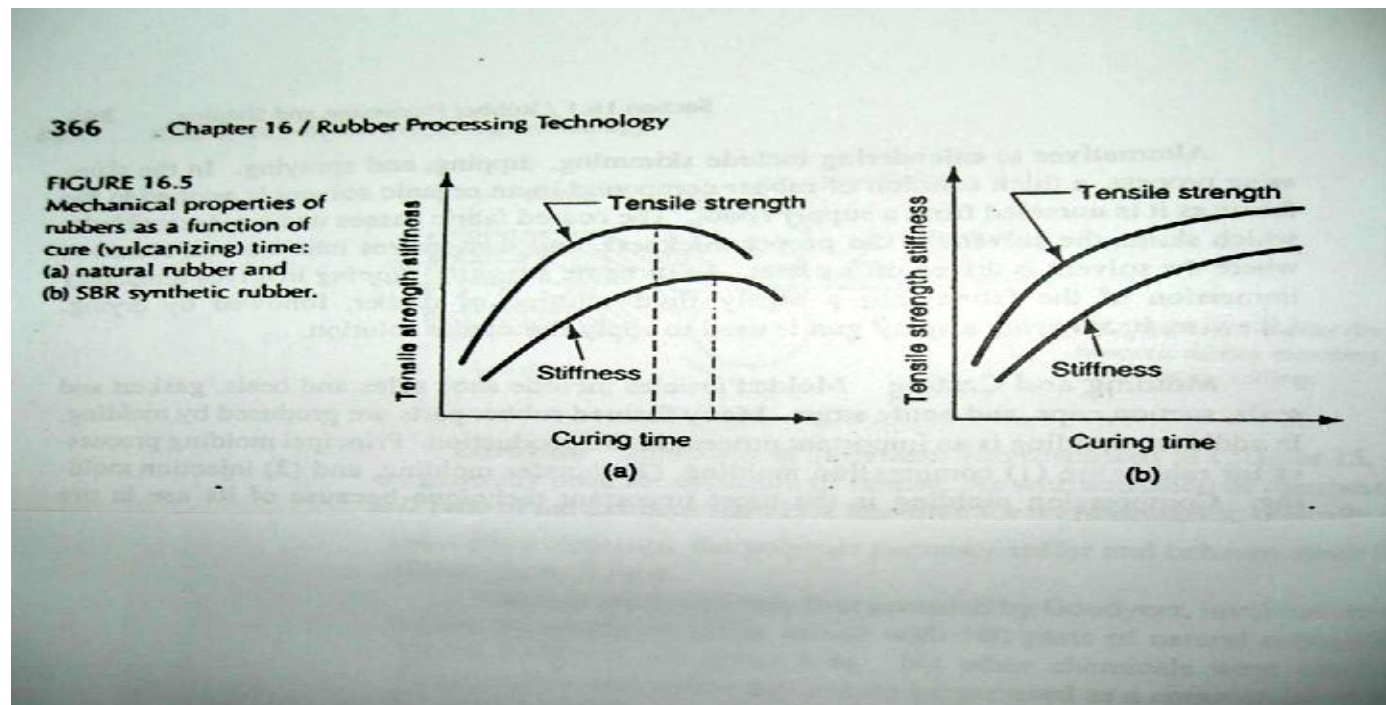
Adalah *treatment* yg menyempurnakan ikatan melintang molekul elastomers shg karet menjadi lebih kaku & kuat tetapi tetap dpt mulur (*extensibility*). Ini tahapan sangat kritis utk pemrosesan karet.



Sebuah karet lunak hanya memiliki 1 – 2 alur melintang (*cross-link*) per 1000 unit (mers).

Vulkanisasi awalnya ditemukan oleh *Goodyear*, yaitu penggunaan sulfur (tanpa bahan kimia lain) dicampur dng karet alam (8 : 100) pd temperatur 140°C selama 5 jam. Kini, sedikit sulfur dng penambahan *zinch oxide* (ZnO) & *stearic acid* (C₁₈H₃₆O₂) dpt mempercepat & menguatkan treatment hanya dng waktu vulkanisasi (*curing*) 15-20 mnt.

Efek vulkanisasi pd karet alam & sintetik



Treatment/ vulkanisasi/ curing terbagi menjadi :
batch processes & continuous processes.

- *Batch* menggunakan : *steam heated pressure vessel & gas curing* (dipanaskan dng inert gas spt *nitrogen*)
- *Continuous* menggunakan : *high pressure steam* (misal utk kawat & kabel berlapis karet), *hot air tunnel* (misal utk lapisan bawah karpet), *continuous drum cure* (misal utk belt)