

DIKTAT KULIAH

MATERIAL TEKNIK



DISUSUN OLEH :
AGUNG KRISTANTO, ST., MT.

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN YOGYAKARTA
2009/2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan Rahmat serta Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan diktat Mata Kuliah Material Teknik ini tepat pada waktunya.

Diktat Mata Kuliah Material Teknik ini berisikan materi-materi tentang material teknik meliputi sifat mekanik, logam, non logam, keramik, kaca, karet, polimer, dan komposit. Diktat ini berisi materi-materi yang akan diajarkan pada perkuliahan di Program Studi Teknik Industri Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta pada semester genap 2009/2010.

Bahan-bahan penyusunan diktat ini penulis peroleh dari beberapa referensi buku tentang material teknik. Penulis menyadari bahwa diktat ini masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi sempurnanya diktat ini di masa yang akan datang.

Yogyakarta, Januari 2010

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Bab I Pendahuluan	1
Bab II Struktur dan Ikatan Atom	5
Bab III Sifat Mekanik Material Teknik	12
Bab IV Logam Paduan (Metal Alloy)	33
Bab V Keramik (Ceramic)	68
Bab VI Kaca (Glass)	75
Bab VII Karet (Rubber)	80
Bab VIII Polimer (Polymer)	86
Bab IX Komposit (Composite)	98
Daftar Pustaka	108

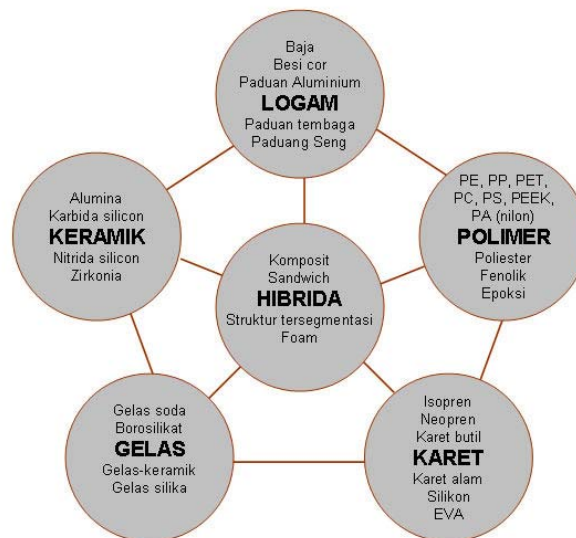
BAB I PENDAHULUAN

Matakuliah Pengetahuan Bahan mempelajari berbagai macam material serta hal-hal berikut ini:

1. Sumber, komposisi, dan sifat-sifat material tersebut.
2. Proses produksi dan pengujiannya.
3. Kegunaan di dalam bidang teknik.
4. Cara-cara modern yang dikembangkan untuk mengelola dan menggunakan material tersebut secara ekonomis.

A. KLASIFIKASI MATERIAL TEKNIK

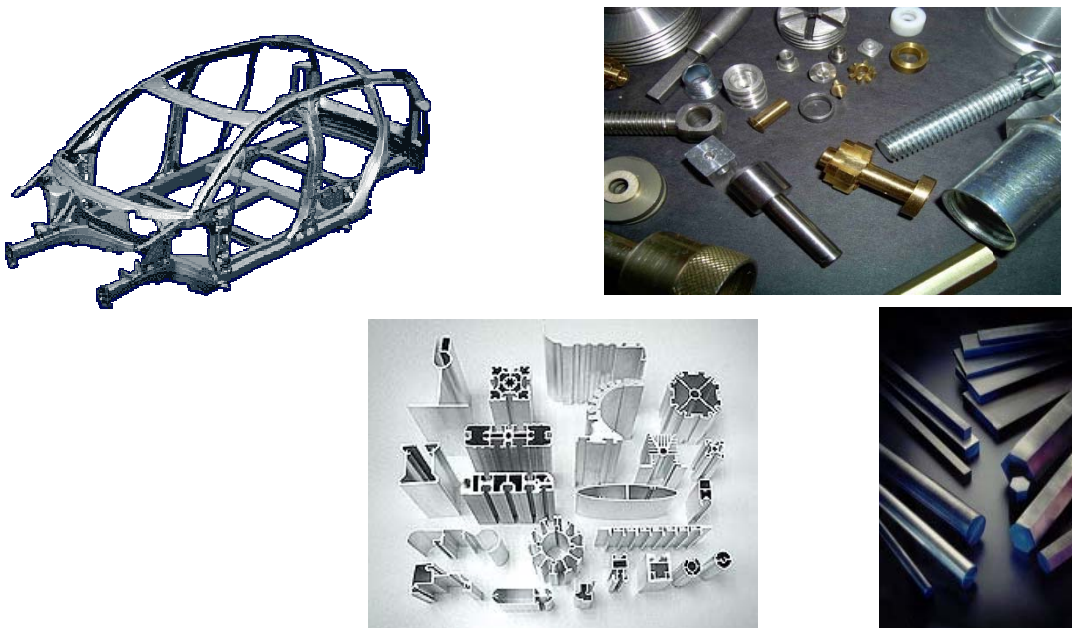
Bahan teknik secara garis besar dapat terbagi menjadi beberapa kelompok besar seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1.

BAB I PENDAHULUAN

Logam adalah bahan yang tersusun oleh banyak kristal-kristal (polykristalin) dengan ukuran beragam ($10^{-1} - 10^{-4}$ cm). Berdasarkan proses pengkristalannya, ada kristal yang mempunyai bentuk teratur (kristalit) dan ada juga yang mempunyai bentuk tidak teratur (amorf). Logam murni memiliki kekuatan yang rendah. Oleh karena itu mereka jarang digunakan dalam bidang teknik. Untuk itulah kemudian manusia memadukan beberapa logam murni menjadi satu yang dikenal dengan sebutan paduan logam (*alloy*). Paduan logam diproduksi dengan cara melelehkan dua atau lebih logam murni atau bahan logam dengan non-logam secara bersamaan. Contoh : baja, tembaga, aluminium, kuningan, perunggu dan lain-lain.



Gambar 2. Contoh logam dan paduannya

Keramik adalah bahan padat non-logam yang terbuat dari campuran bahan anorganik seperti oksida, nitrida, borit, silika, dan karbida. Penggunaan keramik dewasa ini telah sangat luas di berbagai bidang seperti alat-alat kontrol elektronik, komputer, teknik nuklir, dan penerbangan luar angkasa. Contoh : Silika, Kaca sodalime, MgO, CdS, ZnO, SiC dan lain-lain.



Gambar 3. Keramik

Gelas terbentuk oleh suatu susunan molekul secara acak yang didominasi oleh ion oksigen yang terikat bersama-sama dalam sebuah jaringan yang dibentuk oleh ion-ion silikon, boron, atau fosfor.

Karet adalah material yang mempunyai kemampuan untuk kembali ke bentuk semula setelah mengalami deformasi yang cukup besar secara cepat. Karet alam adalah bahan elastis yang diperoleh dari getah tanaman tertentu. Lebih dari 95% dari karet alam didapatkan dari getah pohon karet. Getah adalah cairan koloid berwarna putih susu yang mengandung 30 – 40% karet, sisanya mengandung air dan sejumlah kecil protein dan bahan resin.

Polimer secara sederhana dapat diartikan sebagai “mer dalam jumlah yang banyak”. Mer (monomer) adalah molekul hidrokarbon tunggal seperti etilene (C_2H_2). Nama lain yang umum untuk polimer adalah plastik.

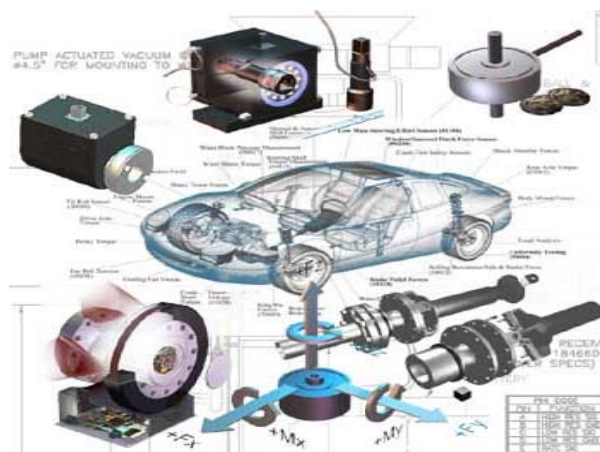
Hibrida juga dikenal dengan nama komposit adalah kombinasi dua atau lebih bahan yang mempunyai komposisi bervariasi dan akan menghasilkan bahan baru dengan sifat-sifat yang sangat berbeda dibandingkan dengan bahan-bahan

BAB I PENDAHULUAN

penyusun komposit tersebut sendiri. Komposit bisa terbentuk antara logam-logam, logam-nonlogam, dan perpaduan antara bahan-bahan teknik yang lain. Komposit umumnya mempunyai sifat-sifat yang lebih baik dibanding bahan-bahan penyusunnya dalam hal kekuatan, ketahanan terhadap panas, atau kekakuannya. Ide awal pembuatan bahan komposit adalah untuk menggabungkan keunggulan-keunggulan masing-masing bahan pembentuk komposit sehingga akan mendapatkan bahan baru yang lebih sempurna.



Gambar 4. Polimer

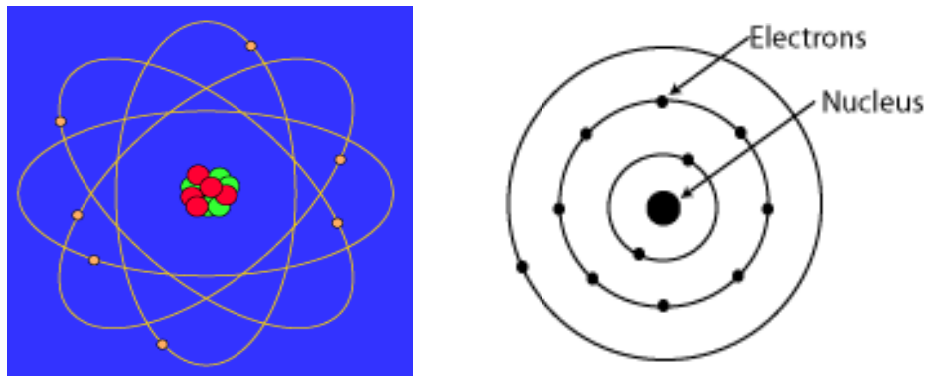


Gambar 5. Komposit

**BAB II
STRUKTUR DAN IKATAN ATOM**

A. KONSEP ATOM

Semua material tersusun oleh atom-atom. Setiap atom terdiri dari inti atom (nukleus) dan elektron seperti ditunjukkan pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Struktur atom

Inti atom (nukleus) adalah pusat dari atom yang tersusun dari proton dan neutron. Inti atom dikelilingi oleh elektron-elektron yang mengorbit pada lintasannya masing-masing yang disebut dengan orbital.

Elektron dan proton muatan listrik yang besarnya $1,602 \times 10^{-19}$ coulomb dengan tanda negatif untuk elektron dan tanda positif untuk proton. Massa proton dan neutron sama besar yaitu $1,675 \times 10^{-27}$ kg sedangkan massa elektron adalah $9,11 \times 10^{-31}$ kg. Neutron tidak bermuatan (netral).

Jumlah proton, elektron, dan neutron dalam suatu atom dinyatakan dengan lambang (notasi) sebagai berikut :

BAB II STRUKTUR DAN IKATAN ATOM



dimana : X = lambang atom (= lambang unsur)

Z = nomor atom = jumlah proton (p) = jumlah elektron (e)

A = nomor massa

Jumlah neutron (n) = A – Z

Lambang atom (lambang unsur) disusun dalam suatu tabel yang dikenal dengan nama tabel periodik unsur seperti ditunjukkan gambar 7.

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

1 H 1																	2 He 4																																							
3 Li 7	4 Be 9	<table border="0"> <tr> <td>C SOLID</td> <td>METAL</td> </tr> <tr> <td>Hg LIQUID</td> <td>SEMIMETAL (Metalloid)</td> </tr> <tr> <td>H GAS</td> <td>NONMETAL</td> </tr> </table>										C SOLID	METAL	Hg LIQUID	SEMIMETAL (Metalloid)	H GAS	NONMETAL	5 B 11	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20																																	
C SOLID	METAL																																																							
Hg LIQUID	SEMIMETAL (Metalloid)																																																							
H GAS	NONMETAL																																																							
11 Na 23	12 Mg 24											13 Al 27	14 Si 28	15 P 31	16 S 32	17 Cl 35.5	18 Ar 40																																							
19 K 39	20 Ca 40	21 Sc 45	22 Ti 48	23 V 51	24 Cr 52	25 Mn 55	26 Fe 56	27 Co 59	28 Ni 59	29 Cu 63.5	30 Zn 65	31 Ga 70	32 Ge 73	33 As 75	34 Se 79	35 Br 80	36 Kr 84																																							
37 Rb 85.5	38 Sr 88	39 Y 89	40 Zr 91	41 Nb 93	42 Mo 96	43 Tc (98)	44 Ru 101	45 Rh 103	46 Pd 106	47 Ag 108	48 Cd 112	49 In 115	50 Sn 119	51 Sb 122	52 Te 128	53 I 127	54 Xe 131																																							
55 Cs 133	56 Ba 137	71 Lu 175	72 Hf 178.5	73 Ta 181	74 W 184	75 Re 186	76 Os 190	77 Ir 192	78 Pt 195	79 Au 197	80 Hg 201	81 Tl 204	82 Pb 207	83 Bi 209	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)																																							
87 Fr (223)	88 Ra 226	103 Lr (260)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Uun (269)	111 Uuu (272)	112 Uub (277)	113 Uut (289)	114 Uuq (289)	116 Uuh (289)																																										
<table border="1"> <tr> <td colspan="10">KEY</td> <td>6 C 12</td> </tr> <tr> <td>57 La 138</td> <td>58 Ce 140</td> <td>59 Pr 141</td> <td>60 Nd 144</td> <td>61 Pm (145)</td> <td>62 Sm 150</td> <td>63 Eu 152</td> <td>64 Gd 157</td> <td>65 Tb 159</td> <td>66 Dy 162.5</td> <td>67 Ho 165</td> <td>68 Er 167</td> <td>69 Tm 169</td> <td>70 Yb 173</td> </tr> <tr> <td>89 Ac 227</td> <td>90 Th 232</td> <td>91 Pa 231</td> <td>92 U 238</td> <td>93 Np 237</td> <td>94 Pu (244)</td> <td>95 Am (243)</td> <td>96 Cm (247)</td> <td>97 Bk (247)</td> <td>98 Cf (251)</td> <td>99 Es (252)</td> <td>100 Fm (257)</td> <td>101 Md (258)</td> <td>103 No (259)</td> </tr> </table>																		KEY										6 C 12	57 La 138	58 Ce 140	59 Pr 141	60 Nd 144	61 Pm (145)	62 Sm 150	63 Eu 152	64 Gd 157	65 Tb 159	66 Dy 162.5	67 Ho 165	68 Er 167	69 Tm 169	70 Yb 173	89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	103 No (259)
KEY										6 C 12																																														
57 La 138	58 Ce 140	59 Pr 141	60 Nd 144	61 Pm (145)	62 Sm 150	63 Eu 152	64 Gd 157	65 Tb 159	66 Dy 162.5	67 Ho 165	68 Er 167	69 Tm 169	70 Yb 173																																											
89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	103 No (259)																																											

Gambar 7. Tabel periodik unsur

B. IKATAN ATOM

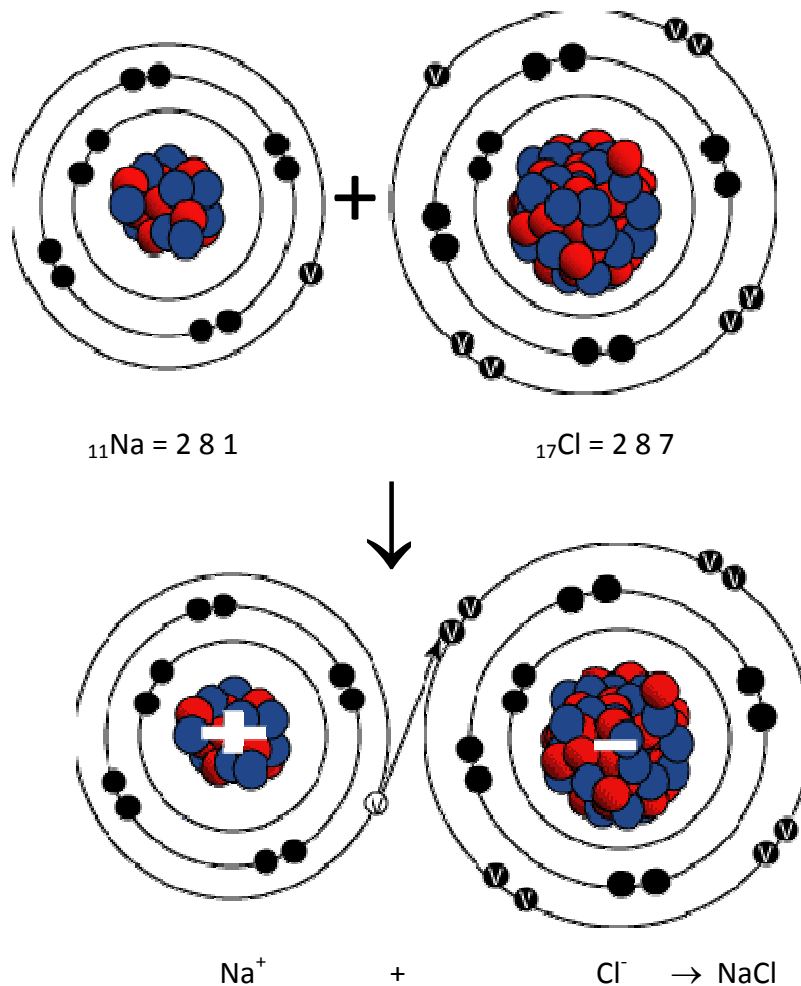
Ikatan atom secara luas dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu (1) ikatan primer yang terdiri dari ikatan ion, ikatan kovalen, dan ikatan logam; (2) ikatan sekunder yang dikenal juga sebagai ikatan van der Waals.

BAB II STRUKTUR DAN IKATAN ATOM

1. IKATAN ION

Ikatan ion terjadi akibat karena serah terima elektron. Biasanya ikatan ion ditemukan pada senyawa yang dibangun oleh unsur logam dan bukan logam. Atom logam akan memberikan elektron valensinya ke atom-atom non logam. Pada proses ini semua atom akan menjadi stabil atau mempunyai konfigurasi gas mulia dan bermuatan listrik yaitu atom-atom ini akan menjadi ion.

Contoh senyawa yang terbentuk oleh ikatan ion adalah sodium klorida (natrium klorida = NaCl). Ikatan ion yang terbentuk di dalam NaCl ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



BAB II STRUKTUR DAN IKATAN ATOM

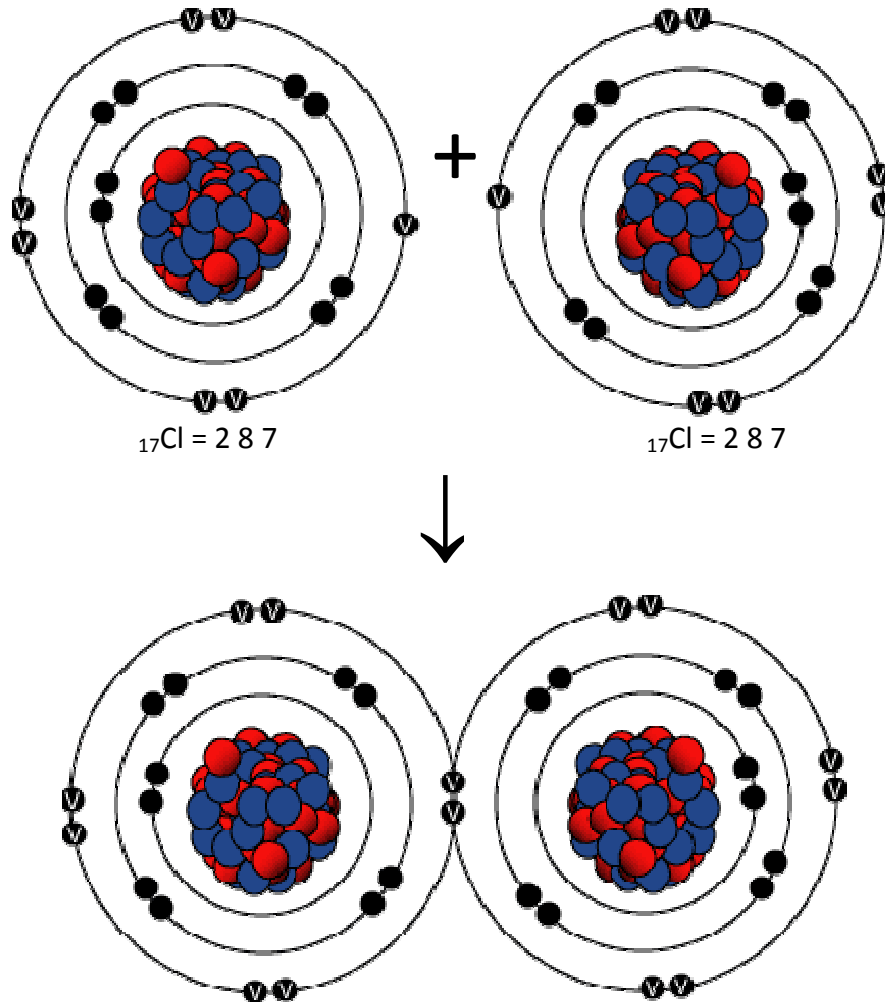
Pada umumnya material yang tersusun oleh ikatan ion akan memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Keras karena partikel-partikel tidak mudah bergeser satu sama lain.
2. Isolator yang baik karena tidak terdapat elektron bebas atau ion-ion.
3. Tranparan karena elektron-elektron mereka tidak berpindah dari satu atom ke atom yang lain serta sangat sedikit berinteraksi dengan foton cahaya.
4. Getas dan cenderung rapuh karena ikatannya sangat kuat.
5. Mempunyai titik leleh yang tinggi karena ikatan ion relatif sangat kuat.

2. IKATAN KOVALEN

Ketika suatu senyawa hanya tersusun oleh atom-atom non logam, ikatan kovalen terbentuk oleh atom-atom tersebut dengan cara pemakaian bersama dua elektron atau lebih. Dua atom yang berikatan kovalen masing-masing akan menyumbangkan minimal satu elektron dan elektron yang dipakai bersama bisa dianggap dipunyai oleh kedua atom.

Contoh senyawa yang terbentuk oleh ikatan kovalen adalah Cl_2 . Ikatan kovalen pada senyawa Cl_2 ditunjukkan oleh gambar di bawah ini. Pada ikatan kovalen, konfigurasi elektron stabil diperoleh dengan membagi elektron antara atom yang berdekatan. Atom klorida memiliki tujuh elektron valensi. Dalam kondisi ini atom klorida berada dalam keadaan tidak stabil karena pada elektron valensi terdapat satu buah elektron yang belum berpasangan. Untuk mencapai kestabilan (konfigurasi elektron gas mulia = terisi 8 buah elektron), maka antara dua buah atom Cl tersebut saling memberikan satu buah elektron valensinya untuk dipakai bersama-sama. Sehingga sekarang semua elektron valensi telah memiliki pasangan dan konfigurasi elektron menjadi stabil.



Karakteristik senyawa yang dibentuk oleh ikatan kovalen adalah seperti berikut :

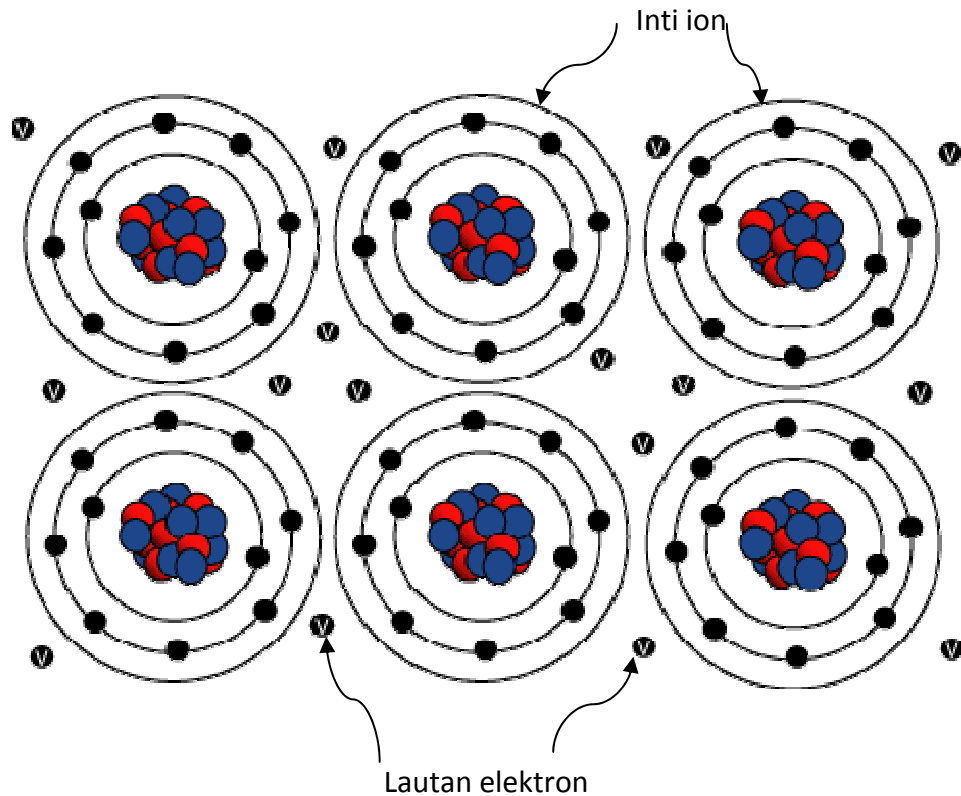
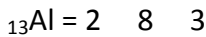
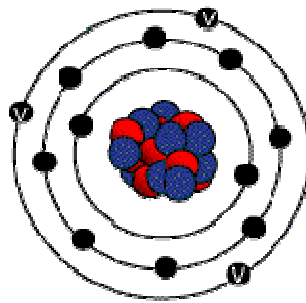
1. Keras.
2. Isolator yang baik.
3. Tembus cahaya.
4. Getas.

3. IKATAN LOGAM

Ikatan logam, jenis ikatan primer terakhir, ditemukan pada logam dan paduannya. Material logam memiliki satu, dua, atau paling banyak tiga elektron

BAB II STRUKTUR DAN IKATAN ATOM

valensi. Pada ikatan ini elektron valensi tidak terikat pada atom tertentu pada zat padat namun elektron-elektron valensi tersebut akan bebas hanyut/bergerak melewati keseluruhan logam. Elektron ini bisa dianggap dimiliki oleh logam secara keseluruhan atau membentuk “lautan elektron” atau “awan elektron”. Gambar di bawah ini memperlihatkan ilustrasi skematik ikatan logam aluminium (Al) yang memiliki tiga elektron valensi.

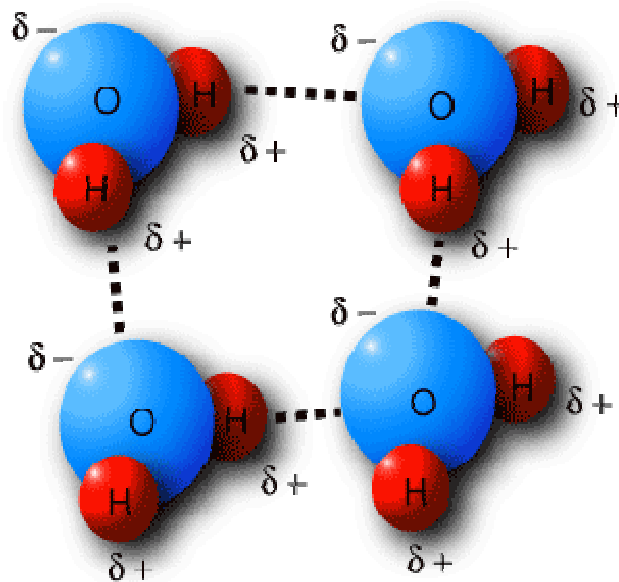


Karakteristik senyawa yang tersusun oleh ikatan logam antara lain sebagai berikut ini :

1. Konduktor listrik dan panas yang baik yang disebabkan oleh elektron-elektron valensi bebasnya.
2. Tidak tembus cahaya.
3. Relatif ulet.

4. IKATAN SEKUNDER ATAU IKATAN VAN DER WAALS

Ikatan sekunder (van der waals) adalah ikatan yang paling lemah jika dibandingkan dengan ikatan primer. Ikatan sekunder timbul antara semua atom atau molekul tapi keberadaannya tidak tampak jelas jika salah satu dari ketiga jenis ikatan primer ada. Ikatan sekunder dibuktikan oleh gas mulia yang mempunyai struktur elektron yang stabil dan juga diantara molekul yang strukturnya berikatan kovalen.



Gambar 8. Ikatan van der waals

**BAB III
SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK**

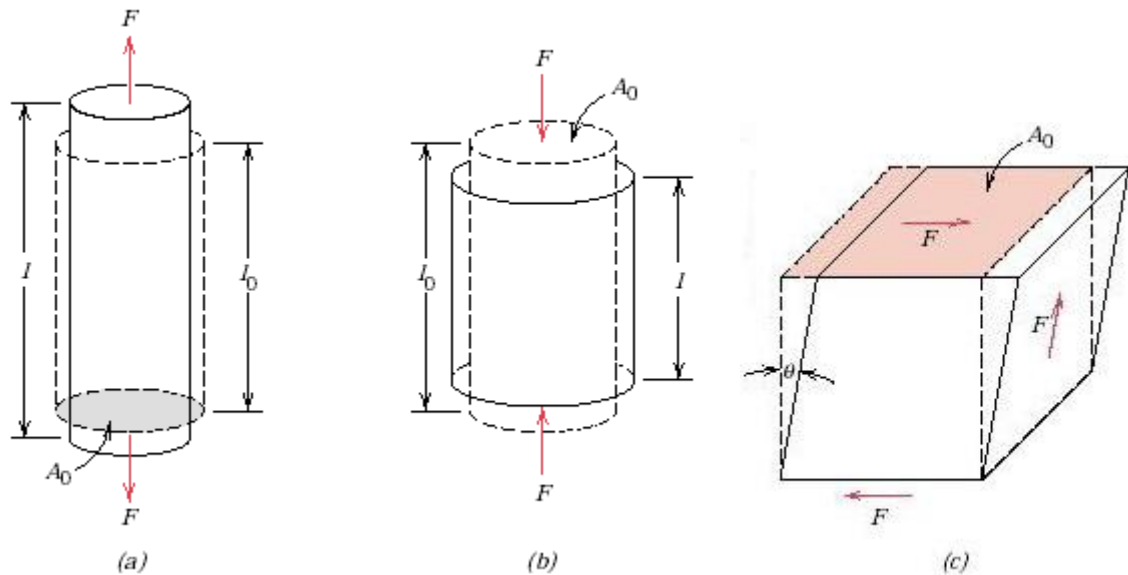
Material dalam penggunaannya selalu dikenai gaya atau beban. Oleh karena itu perlu diketahui karakter material agar deformasi yang terjadi tidak berlebihan dan tidak terjadi kerusakan atau patah. Karakteristik material tergantung pada : (1) komposisi kimia, (2) struktur mikro, dan (3) sifat material – sifat mekanik, sifat fisik, dan sifat kimia – .

A. KEKUATAN (STRENGTH)

Kekuatan adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan. Kekuatan suatu material lebih lanjut terbagi lagi menjadi dua jenis, yaitu :

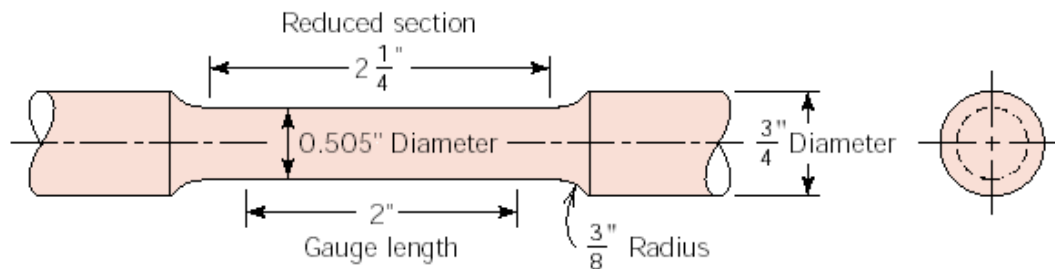
1. Kekuatan luluh (Yield Strength = YS) adalah kekuatan bahan terhadap deformasi awal.
2. Kekuatan tarik (Tensile Strength = TS) adalah kekuatan maksimum yang dapat menerima beban.

Dikenal tiga jenis pembebanan statik pada penggunaan material teknik, yaitu beban tarik (tension), beban desak (compression), dan beban geser (shear). Skema ketiga jenis pembebanan tersebut ditunjukkan pada gambar 9 berikut ini. Gambar 9(a) menunjukkan ilustrasi bagaimana beban tarik menghasilkan perpanjangan dan regangan linear positif. Garis putus-putus menunjukkan bentuk benda awal sebelum deformasi dan garis lurus menunjukkan setelah deformasi. Gambar 9(b) menunjukkan bagaimana beban desak menghasilkan perpendekan pada benda dan regangan linear negatif. Gambar 9(c) skema regangan geser γ , dimana $\gamma = \tan \theta$.



Gambar 9. Skema pembebanan material

Untuk mengetahui besar tegangan (stress) dan regangan (strain) yang dialami oleh benda maka perlu dilakukan suatu pengujian, yaitu pengujian tarik, pengujian desak, dan pengujian geser. Konsep ketiga pengujian tersebut sama dengan seperti yang telah dijelaskan pada gambar 9 di atas. Untuk mendapatkan hasil pengujian yang terstandar maka benda uji harus dinormalisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 10.

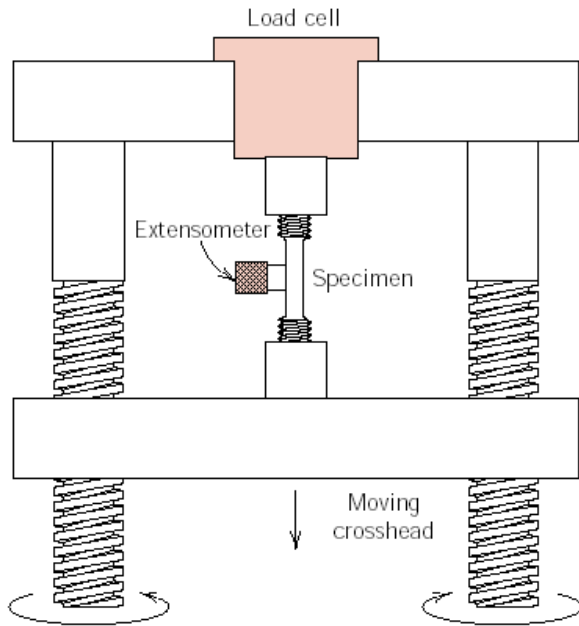


Gambar 10. Spesimen uji tarik standar

Mekanisme pengujian tarik diperlihatkan pada gambar 11. Benda uji tarik ditarik oleh bagian crosshead yang bergerak. Load cell berfungsi untuk mengukur besarnya

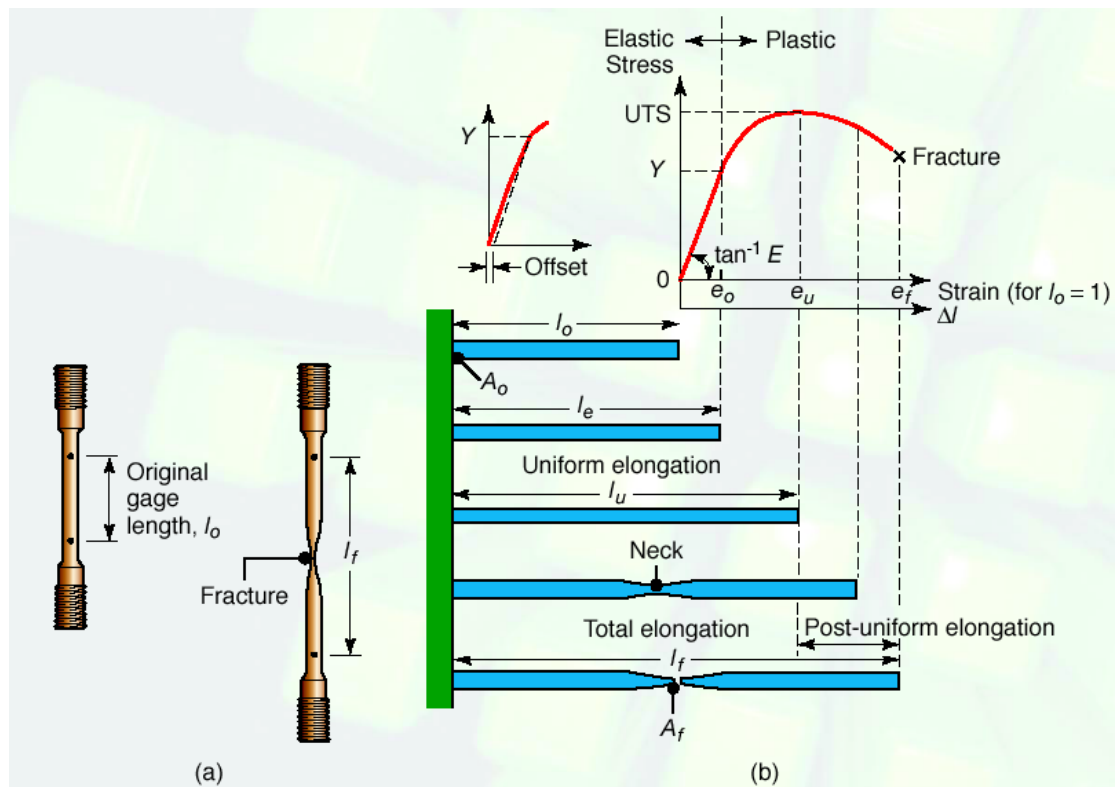
BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

beban yang dikenakan sedangkan extensometer berfungsi mengukur besarnya pertambahan panjang benda.



Gambar 11. Mekanisme Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik merupakan suatu grafik tegangan-regangan (gambar 12) yang menunjukkan kondisi awal benda uji sampai benda uji patah. Gambar 12(a) menunjukkan spesimen bentuk awal dan bentuk akhir ketika patah. Gambar 12(b) menunjukkan rangkaian tingkatan pada pertambahan panjang spesimen sampai mengalami patah.



Gambar 12. Grafik tegangan(stress) – regangan(strain)

Dari pengujian tarik dapat diperoleh beberapa parameter dari material yang diuji, yaitu tegangan teknik (engineering stress), regangan teknik (engineering strain), dan tegangan geser (shear stress).

Tegangan teknik (engineering stress) σ didefinisikan menurut hubungan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

dimana F adalah gaya yang dikenakan secara tegak lurus terhadap luas penampang spesimen, bersatuan Newton (N) atau pound gaya (lbf) dan A_0 adalah luas penampang spesimen sebelum dikenai gaya (m^2 atau in^2). Satuan untuk tegangan teknik adalah megapascal (MPa) untuk SI atau $lbf/in^2 = psi$ untuk british unit.

Regangan teknik (engineering strain) didefinisikan menurut :

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

dimana l_0 adalah panjang mula-mula spesimen sebelum dikenai gaya dan l_f adalah panjang akhir spesimen. $l_f - l_0$ dikenal dengan istilah pertambahan panjang Δl . Regangan tidak bersatuan, biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase.

Tegangan geser (shear stress) dihitung menggunakan hubungan berikut ini :

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (3)$$

dimana F adalah gaya yang dikenakan pada benda paralel terhadap sisi atas dan bawah spesimen yang memiliki luas penampang A_0 . Satuan tegangan geser sama dengan tegangan teknik.

Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = G\gamma \quad (4)$$

dimana : G = modulus geser

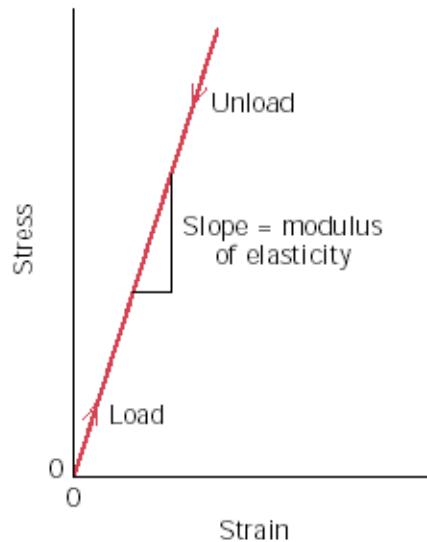
B. ELASTISITAS (ELASTIC DEFORMATION)

Elastisitas adalah kemampuan material teknik untuk kembali ke bentuk semula ketika gaya yang diberikan dihilangkan. Semua material teknik selama masih berada di dalam daerah elastis (gambar 12) artinya apabila gaya yang bekerja dihilangkan maka material tersebut mampu untuk kembali ke bentuk semula. Pada daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan bersifat berbanding lurus (proporsional). Deformasi yang terjadi dimana tegangan dan regangan bersifat proporsional disebut deformasi elastis seperti ditunjukkan pada gambar 13. Di daerah deformasi elastis berlaku hubungan yang dikenal sebagai Hukum Hooke yaitu sebagai berikut :

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{atau} \quad \sigma = E\epsilon \quad (5)$$

dimana : E = modulus elastisitas atau modulus Young (GPa atau psi)



Gambar 13. Deformasi elastis

Kemiringan atau slope (gradien) garis pada grafik stress – strain menunjukkan nilai modulus elastisitas atau modulus young. Nilai modulus elastisitas beberapa material teknik disajikan pada tabel 1.

Contoh 1 :

A piece of copper originally 305 mm (12 in) long is pulled in tension with a stress of 276 MPa (40000 psi). If the deformation is entirely elastic, what will be the resultant elongation ?

Penyelesaian :

Karena deformasi bersifat elastis maka berlaku Hukum Hooke

$$\sigma = \epsilon E = \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)E$$

$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

dimana : E untuk copper = 110 GPa (16×10^6 psi) dari tabel 3.1.

$$\Delta l = \frac{(276 \text{ MPa}) \times (305 \text{ mm})}{110 \times 10^3 \text{ MPa}} = 0,77 \text{ mm}(0,03 \text{ in})$$

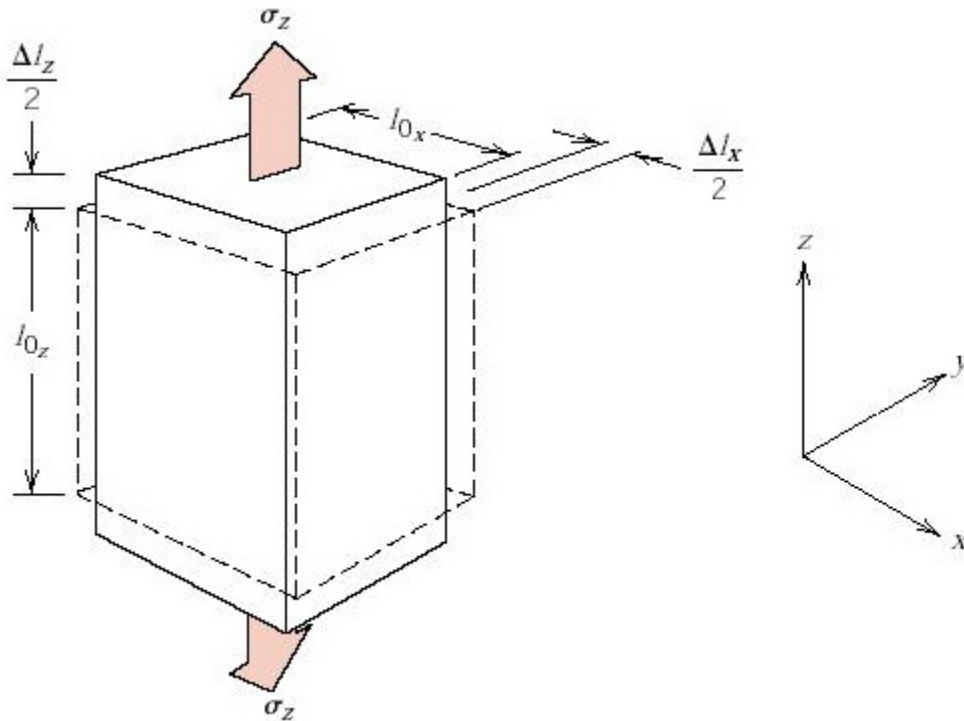
BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Tabel 1. Tabel Modulus Elastisitas Beberapa Material Teknik

<i>Material</i>	<i>Modulus of Elasticity</i>		<i>Shear Modulus</i>		<i>Poisson's Ratio</i>
	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	
Metal Alloys					
Tungsten	407	59	160	23.2	0.28
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.35
Ceramic Materials					
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	393	57	—	—	0.22
Silicon carbide (SiC)	345	50	—	—	0.17
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	304	44	—	—	0.30
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	260	38	—	—	—
Magnesium oxide (MgO)	225	33	—	—	0.18
Zirconia ^a	205	30	—	—	0.31
Mullite (3Al ₂ O ₃ -2SiO ₂)	145	21	—	—	0.24
Glass-ceramic (Pyroceram)	120	17	—	—	0.25
Fused silica (SiO ₂)	73	11	—	—	0.17
Soda-lime glass	69	10	—	—	0.23
Polymers^b					
Phenol-formaldehyde	2.76–4.83	0.40–0.70	—	—	—
Polyvinyl chloride (PVC)	2.41–4.14	0.35–0.60	—	—	0.38
Polyester (PET)	2.76–4.14	0.40–0.60	—	—	—
Polystyrene (PS)	2.28–3.28	0.33–0.48	—	—	0.33
Polymethyl methacrylate (PMMA)	2.24–3.24	0.33–0.47	—	—	—
Polycarbonate (PC)	2.38	0.35	—	—	0.36
Nylon 6,6	1.58–3.80	0.23–0.55	—	—	0.39
Polypropylene (PP)	1.14–1.55	0.17–0.23	—	—	—
Polyethylene—high density (HDPE)	1.08	0.16	—	—	—
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	0.40–0.55	0.058–0.080	—	—	0.46
Polyethylene—low density (LDPE)	0.17–0.28	0.025–0.041	—	—	—

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Ketika pengujian tarik dilakukan pada suatu benda logam maka perpanjangan pada arah beban, yang dinyatakan dalam regangan ε_z , mengakibatkan terjadinya regangan kompresi ε_x pada sumbu x dan ε_y pada sumbu y.



Bila beban pada arah sumbu z uniaxial (hanya bekerja pada arah sumbu z saja) dan material bersifat isotropik, maka $\varepsilon_x = \varepsilon_y$. Ratio antara regangan lateral dan regangan axial dikenal sebagai ratio Poisson (Poisson's ratio) ν .

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad (6)$$

Harga ratio poisson untuk beberapa material ditunjukkan pada tabel 3.1. Untuk material yang isotropik hubungan antara modulus young dan modulus geser dinyatakan dengan :

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (7)$$

dimana : G = modulus geser (GPa)

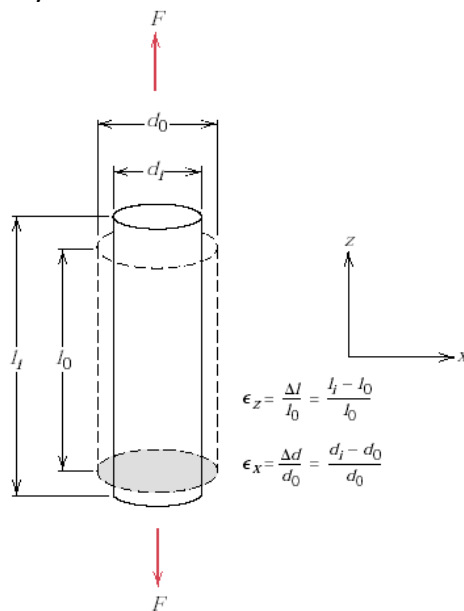
BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Untuk hampir sebagian besar logam nilai $G = 0,4E$. Nilai modulus geser untuk berbagai material juga disajikan pada tabel 1.

Contoh 2

A tensile stress is to be applied along the long axis of a cylindrical brass rod that has a diameter of 10 mm (0,4 in). Determine the magnitude of the load required to produce a $2,5 \times 10^{-3}$ mm (10^{-4} in) change in diameter if the deformation is entirely elastic.

Penyelesaian :



Ketika gaya dikenakan, spesimen akan memanjang dalam arah sumbu z dan akan menyebabkan pengurangan diameter sebesar $\Delta d = 2,5 \times 10^{-3}$ mm dalam arah sumbu x .

Regangan dalam arah sumbu x :

$$\epsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{-2,5 \times 10^{-3} \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = -2,5 \times 10^{-4}$$

Tanda negatif menunjukkan pengurangan diameter

Nilai ratio poisson untuk kuningan menurut tabel 1 adalah 0,34 sehingga :

$$\epsilon_z = -\frac{\epsilon_x}{\nu} = -\frac{-2,5 \times 10^{-4}}{0,34} = 7,35 \times 10^{-4}$$

Nilai modulus young untuk kuningan menurut tabel 1 adalah 97 GPa (14×10^6 psi) sehingga :

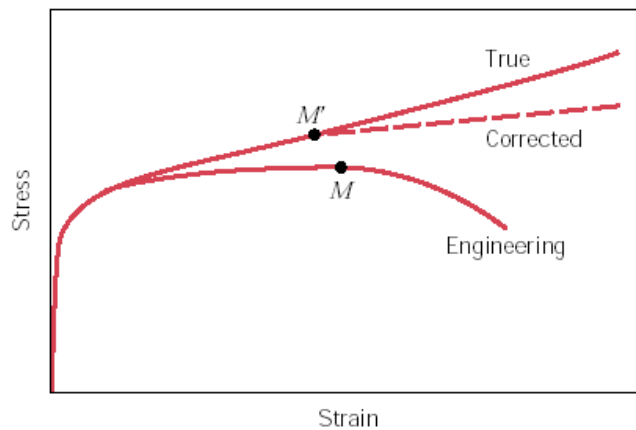
$$\sigma = \epsilon_z E = (7,35 \times 10^{-4}) (97 \times 10^3 \text{ MPa}) = 71,3 \text{ MPa}$$

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Gaya yang harus diberikan dapat dihitung sebagai berikut :

$$F = \sigma A_0 = \sigma \left(\frac{d_0}{2} \right)^2 \pi$$
$$= (71,3 \times 10^6 \text{ Pa}) \left(\frac{10 \times 10^{-3} \text{ m}}{2} \right)^2 \pi = 5600 \text{ N (1293 lbf)}$$

Tegangan teknik dan regangan teknik berlaku untuk kondisi ideal. Pada kenyataannya pada pengujian tarik kita akan menggunakan suatu parameter yang dikenal dengan tegangan sebenarnya (true stress) dan regangan sebenarnya (true strain).



Tegangan sebenarnya adalah besarnya gaya yang dikerjakan dibagi luas penampang benda uji dimana terjadi deformasi (contoh terbentuk leher atau melalui titik maksimum).

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i} \quad (8)$$

Regangan sebenarnya dirumuskan menurut hubungan sebagai berikut ini :

$$\epsilon_T = \ln \frac{l_f}{l_0} \quad (9)$$

Jika tidak terjadi perubahan volume selama deformasi maka :

$$A_f l_f = A_0 l_0 \quad (10)$$

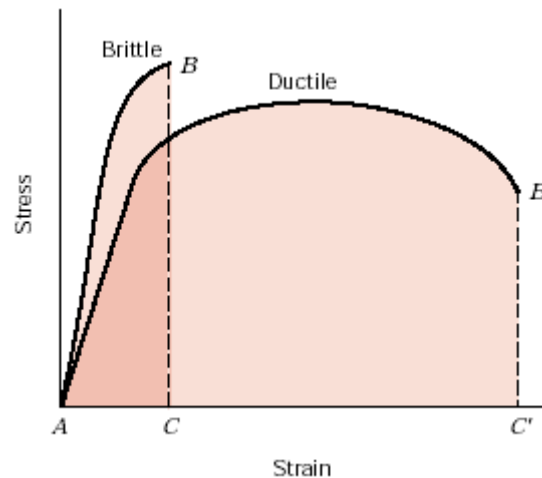
Sehingga hubungan tegangan dan regangan teknik dan sebenarnya adalah :

$$\sigma_T = \sigma (1 + \varepsilon) \quad (11)$$

$$\varepsilon_T = \ln (1 + \varepsilon) \quad (12)$$

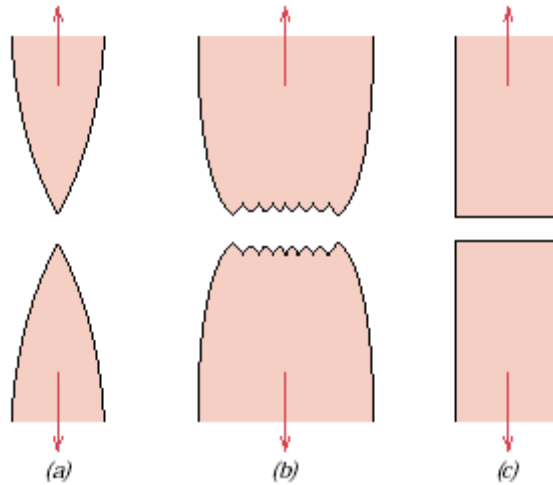
C. KEULETAN (DUCTILITY)

Keuletan suatu material adalah derajat deformasi plastis hingga terjadinya patah. Lawan dari sifat ulet adalah sifat getas (brittle). Perbandingan antara material yang ulet dan getas ketika mengalami gaya tarik sampai terjadi patah dapat dilihat pada gambar di bawah ini 14.



Gambar 14. Perbandingan material ulet dan getas

Bentuk patahan material yang memiliki sifat ulet dan sifat getas dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Gambar (a) menunjukkan material dengan sifat ulet yang sangat tinggi sehingga pada bagian patahan mampu mulur sampai membentuk ujung yang lancip ketika patah. Gambar (b) material dengan sifat ulet yang sedang. Mampu mulur tetapi segera mengalami patah ketika terbentuk “leher” (necking). Gambar (c) material yang sangat getas.



Keuletan suatu material dinyatakan dengan prosentase elongasi dan prosentase reduksi area. Prosentase elongasi (percent elongation) dirumuskan sebagai berikut :

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100\% \quad (13)$$

dimana l_f adalah panjang spesimen ketika terjadi patah dan l_0 adalah panjang mula-mula spesimen. Prosentase reduksi area (percent reduction in area) didefinisikan sebagai berikut :

$$\%RA = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100\% \quad (14)$$

dimana A_0 adalah luas penampang benda uji mula-mula dan A_f adalah luas penampang patah benda uji. Untuk beberapa material, sifat keuletan dapat tunjukkan pada tabel 2.

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Tabel 2. Nilai Keuletan untuk beberapa material

Material	Yield Strength		Tensile Strength		Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)] ^a
	MPa	ksi	MPa	ksi	
Metal Alloys^b					
Molybdenum	565	82	655	95	35
Titanium	450	65	520	75	25
Steel (1020)	180	26	380	55	25
Nickel	138	20	480	70	40
Iron	130	19	262	38	45
Brass (70 Cu–30 Zn)	75	11	300	44	68
Copper	69	10	200	29	45
Aluminum	35	5	90	13	40
Ceramic Materials^c					
Zirconia (ZrO ₂) ^d	—	—	800–1500	115–215	—
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	—	—	250–1000	35–145	—
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	—	—	275–700	40–100	—
Silicon carbide (SiC)	—	—	100–820	15–120	—
Glass–ceramic (Pyroceram)	—	—	247	36	—
Mullite (3Al ₂ O ₃ –2SiO ₂)	—	—	185	27	—
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	—	—	110–245	16–36	—
Fused silica (SiO ₂)	—	—	110	16	—
Magnesium oxide (MgO) ^e	—	—	105	15	—
Soda–lime glass	—	—	69	10	—
Polymers					
Nylon 6,6	44.8–82.8	6.5–12	75.9–94.5	11.0–13.7	15–300
Polycarbonate (PC)	62.1	9.0	62.8–72.4	9.1–10.5	110–150
Polyester (PET)	59.3	8.6	48.3–72.4	7.0–10.5	30–300
Polymethyl methacrylate (PMMA)	53.8–73.1	7.8–10.6	48.3–72.4	7.0–10.5	2.0–5.5
Polyvinyl chloride (PVC)	40.7–44.8	5.9–6.5	40.7–51.7	5.9–7.5	40–80
Phenol–formaldehyde	—	—	34.5–62.1	5.0–9.0	1.5–2.0
Polystyrene (PS)	—	—	35.9–51.7	5.2–7.5	1.2–2.5
Polypropylene (PP)	31.0–37.2	4.5–5.4	31.0–41.4	4.5–6.0	100–600
Polyethylene—high density (HDPE)	26.2–33.1	3.8–4.8	22.1–31.0	3.2–4.5	10–1200
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	—	—	20.7–34.5	3.0–5.0	200–400
Polyethylene—low density (LDPE)	9.0–14.5	1.3–2.1	8.3–31.4	1.2–4.55	100–650

Contoh 3

A cylindrical specimen of steel having an original diameter of 12,8 mm (0,505 in) is tensile tested to fracture and found to have an engineering fracture strength σ_f of 460 MPa(67000 psi). Its cross-sectional diameter at fracture is 10,7 mm(0,422 in), determine :

- The ductility in terms of percent reduction in area
- The true stress at fracture

Penyelesaian :

a. Keuletan dapat dihitung menggunakan persamaan 14 sebagai berikut :

$$\%RA = \frac{\left(\frac{12,8 \text{ mm}}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{10,7 \text{ mm}}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{12,8 \text{ mm}}{2}\right)^2 \pi} \times 100 = 30\%$$

b. Tegangan sebenarnya didefinisikan menurut persamaan 8 dimana pada kasus ini luas yang digunakan adalah luas patahan A_f . Sebelumnya beban pada saat terjadi patahan harus dihitung terlebih dahulu dari tegangan patah sebagai berikut :

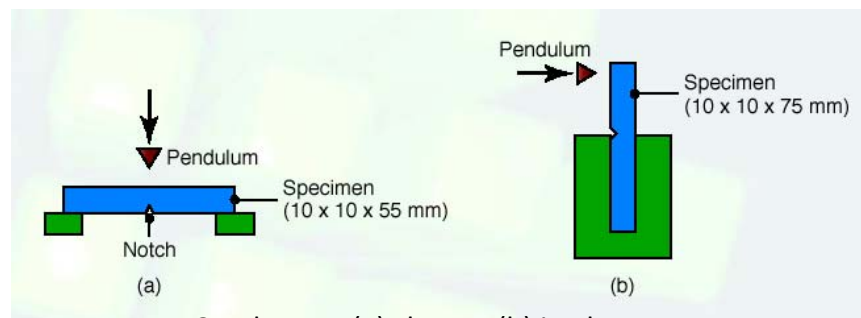
$$F = \sigma_f A_0 = (460 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(128,7 \text{ mm}^2)\left(\frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2}\right) = 59200 \text{ N}$$

Tegangan sebenarnya dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \frac{F}{A_f} = \frac{59200 \text{ N}}{(89,9 \text{ mm}^2)\left(\frac{1 \text{ m}^2}{10^6 \text{ mm}^2}\right)} \\ &= 6,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 660 \text{ MPa (95700 psi)} \end{aligned}$$

D. KETANGGUHAN (TOUGHNESS)

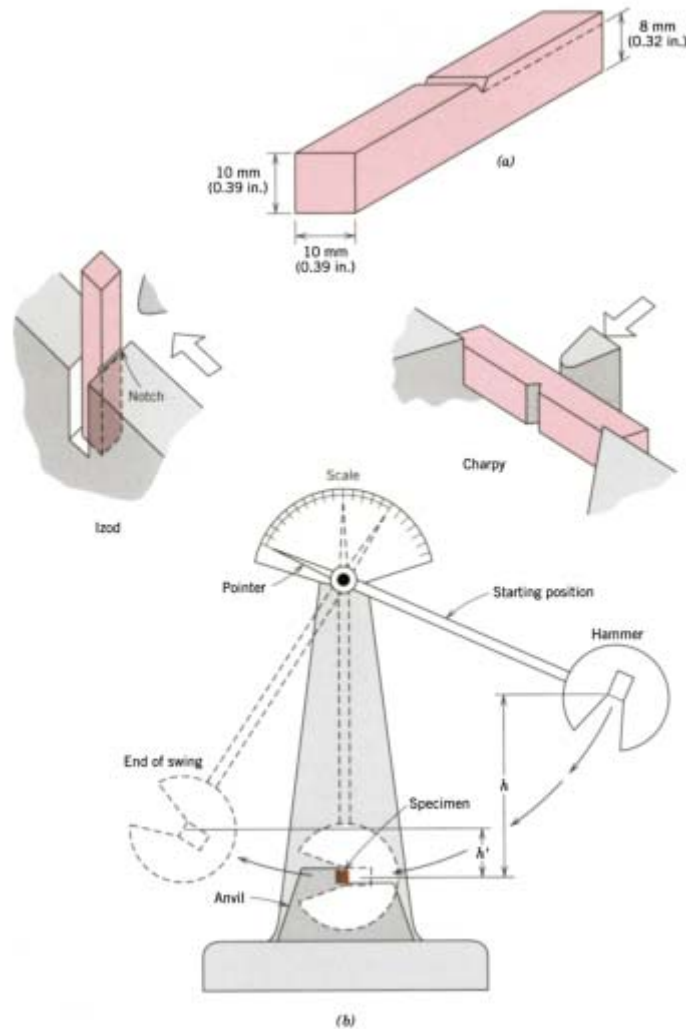
Ketangguhan (toughness) adalah ukuran kemampuan material menyerap energi sampai terjadi patah. Untuk mengetahui nilai ketangguhan suatu material maka harus dilakukan pengujian impak (impact testing). Ada 2(dua) jenis pengujian impak yang dikenal yaitu Charpy dan Izod. Perbedaan antara pengujian impak model Charpy dan Izod adalah posisi benda uji seperti gambar 15.



Gambar 15. (a) Charpy, (b) Izod

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Mekanisme pengujian impak ditunjukkan pada gambar 16 dibawah ini.



Gambar 16. Mekanisme pengujian impak

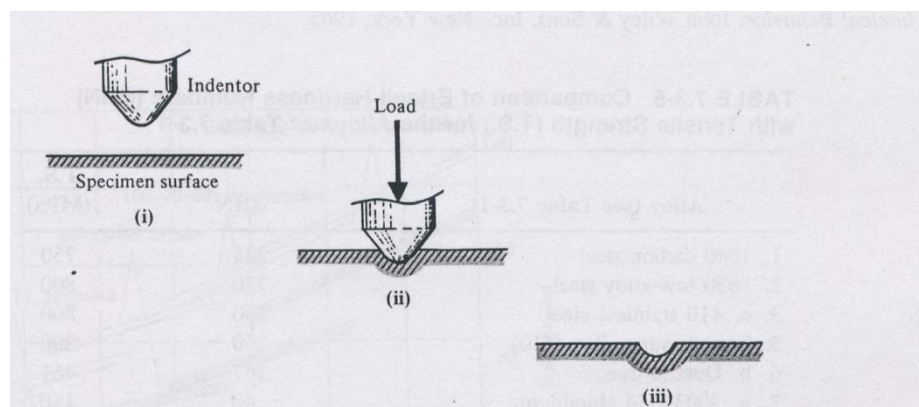
Gambar 15 dan 16(a) menunjukkan ukuran standar benda uji untuk pengujian impak. Pada bagian tengah benda uji dibuat takikan (notch) yang berfungsi tempat di mana terjadi konsentrasi tegangan. Gambar 16(b) menunjukkan skema pengujian impak. Martil dilepaskan dari ketinggian h . Benda uji diletakkan pada anvil seperti gambar. Martil akan menghantam benda uji pada bagian takikan (notch). Setelah menabrak spesimen, martil akan terus mengayun sampai mencapai

ketinggian maksimum h' . Tinggi h' pasti lebih rendah dibanding tinggi h . Energi yang diserap oleh patahan ditunjukkan oleh perbedaan antara ketinggian awal martil h dan ketinggian ayunan martil setelah mematahkan benda uji h' yang dikenal sebagai energi impact. Ketangguhan dinyatakan oleh satuan Joule/m^3 .

Sifat ketangguhan sangat berhubungan dengan sifat keuletan material. Pada gambar 14 di atas kita dapat memperoleh informasi yaitu luas daerah ABC menunjukkan ketangguhan material getas dan luas daerah $AB'C'$ menunjukkan ketangguhan material ulet.

E. KEKERASAN (HARDNESS)

Sifat kekerasan (hardness) suatu material diperoleh melalui suatu pengujian kekerasan. Secara sederhana mekanisme pengujian kekerasan suatu material adalah permukaan spesimen ditekan oleh suatu penekan (indenter) sampai membentuk cekungan. Kedalaman cekungan menunjukkan nilai kekerasan bahan tersebut. Indentor bisa berbentuk bola atau kerucut yang terbuat dari bahan yang lebih keras dibanding spesimen benda uji. Mekanisme pengujian kekerasan ditunjukkan pada gambar 17.

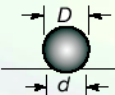



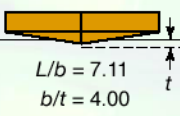
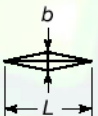
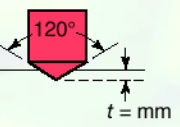

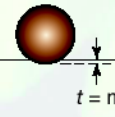



Gambar 17. Mekanisme Pengujian Kekerasan

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Terdapat 4 jenis pengujian kekerasan yaitu Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell. Tabel 3 menyajikan ke-4 jenis pengujian kekerasan beserta jenis indenter, beban, dan rumus yang digunakan untuk mencari nilai kekerasannya.

Tabel 3. Hardness Tests

Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell	10-mm steel or tungsten carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Diamond pyramid			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop	Diamond pyramid			25 g-5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell					
A } C } D }	Diamond cone			60 kg	HRA } HRC } HRD }
				150 kg	
				100 kg	
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ - in. diameter steel ball			100 kg	HRB } HRF } HRG }
				60 kg	
				150 kg	
E	$\frac{1}{8}$ - in. diameter steel ball			100 kg	HRE }

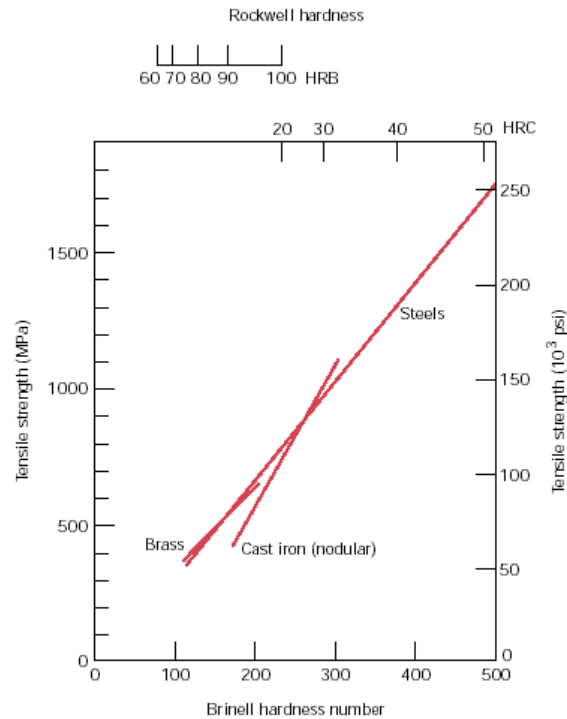
Korelasi antara nilai kekerasan dan tegangan tarik suatu bahan

Baik tegangan tarik dan kekerasan adalah indikator ketahanan suatu logam terhadap deformasi plastis. Korelasi antara nilai tegangan tarik dan kekerasan dapat dirumuskan menggunakan hubungan sebagai berikut :

$$TS \text{ (MPa)} = 3,45 \times HB \quad (15)$$

$$TS \text{ (psi)} = 500 \times HB \quad (16)$$

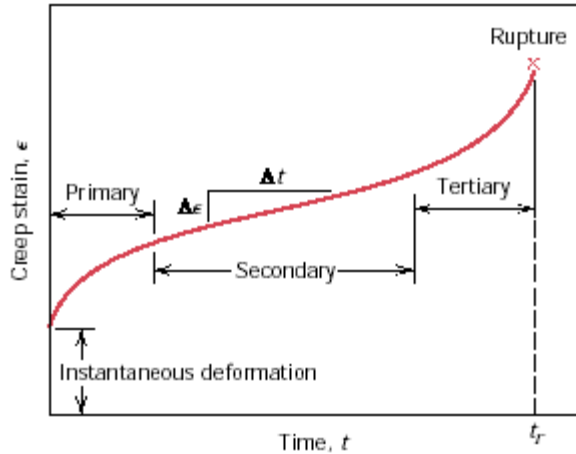
Hubungan antara tegangan tarik dan kekerasan juga bisa dinyatakan menggunakan grafik seperti ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18 Hubungan tegangan tarik dan kekerasan untuk baja, besi tuang, dan kuningan

F. MULUR (CREEP)

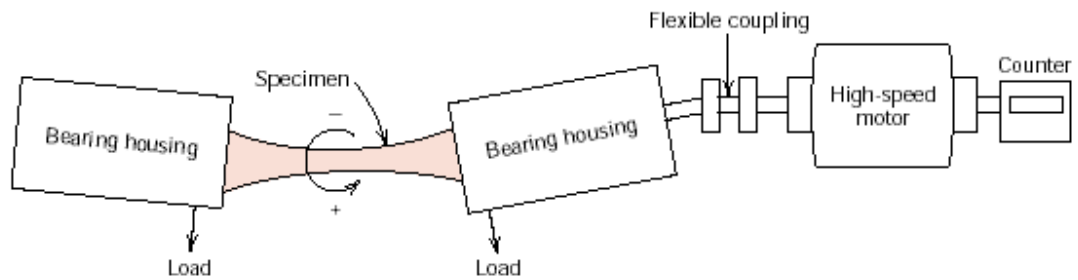
Sifat mulur (creep) adalah deformasi plastis yang terjadi sangat lambat pada logam ketika terjadi pembebanan atau dikenai tegangan secara konstan. Mulur dapat menyebabkan patahan pada bahan teknik. Sifat mulur bahan dinyatakan dalam bentuk grafik regangan terhadap waktu seperti gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19. Kurva mulur

G. KELELAHAN (FATIGUE)

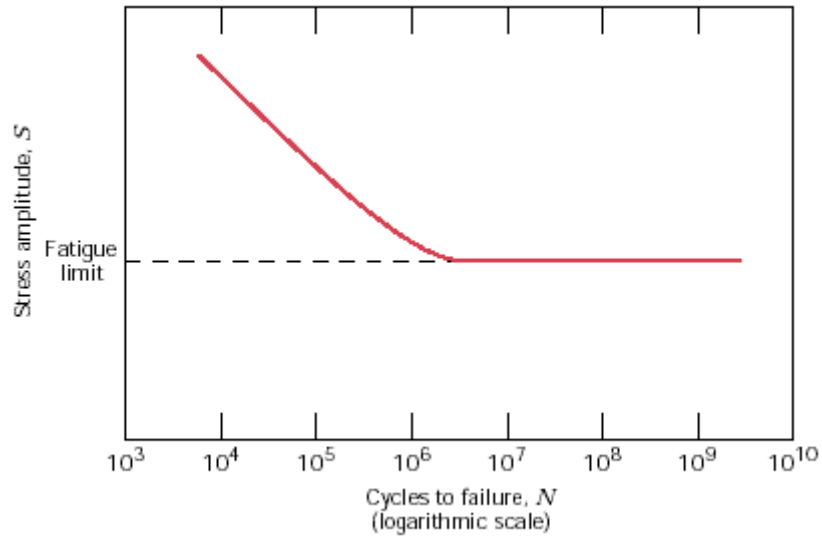
Fatigue adalah kemampuan bertahan bahan teknik terhadap beban putaran. Skema uji kelelahan diperlihatkan pada gambar 20 berikut ini.



Gambar 20. Skema uji kelelahan

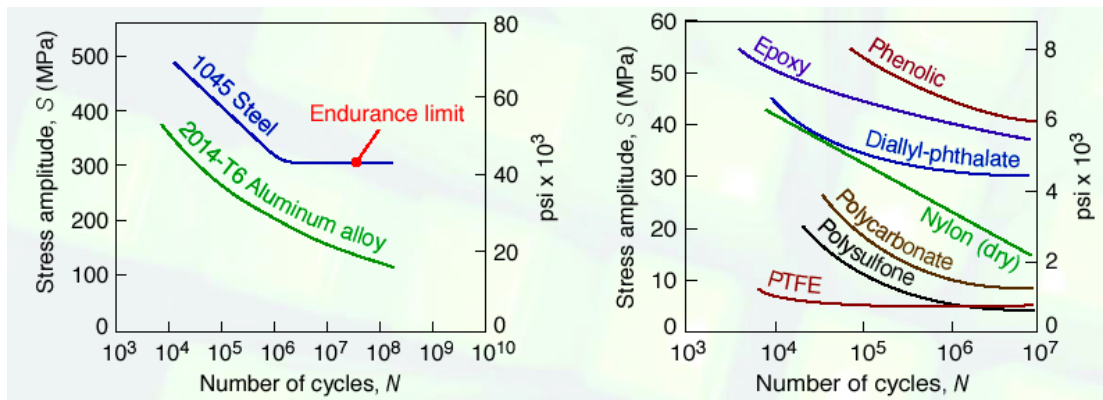
Hasil uji kelelahan merupakan grafik logaritma antara amplitudo tegangan (S) dengan jumlah putaran yang dialami spesimen (N) atau yang biasa dikenal dengan kurva S-N seperti gambar 21 berikut ini.

BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK



Gambar 21. Kurva S-N

Fatigue limit atau endurance limit adalah nilai tegangan dimana terjadi patah karena kelelahan. Berikut ini adalah beberapa kurva S-N untuk beberapa material teknik.



BAB III SIFAT MEKANIK MATERIAL TEKNIK

Latihan

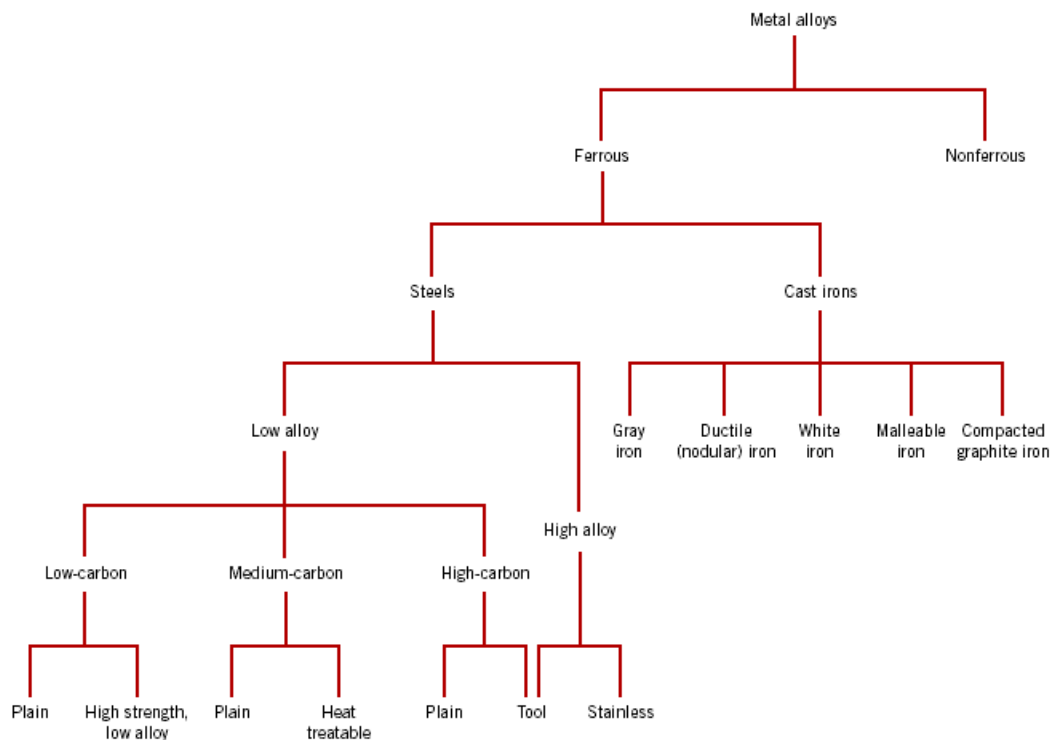
1. A specimen of aluminum having a rectangular cross section 10 mm x 12,7 mm (0,4 in x 0,5 in) is pulled in tension with 35500 N (8000 lbf) force, producing only elastic deformation. Calculate the resulting strain.
2. A cylindrical bar of steel 10 mm (0,4 in) in diameter is to be deformed elastically by application of a force the bar axis. Using the data in table 3.1, determine the force that will produce an elastic reduction of 3×10^{-3} mm ($1,2 \times 10^{-4}$ in) in the diameter.
3. A cylindrical rod 100 mm long and having a diameter of 10 mm is to be deformed using a tensile load of 27500 N. It must not experience either plastic deformation or a diameter reduction of more than $7,5 \times 10^{-3}$ mm. Of the materials listed as follows, which are possible candidates ? Justify your choice(s).

<i>Material</i>	<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>	<i>Yield Strength (MPa)</i>	<i>Poisson's Ratio</i>
Aluminum alloy	70	200	0.33
Brass alloy	101	300	0.35
Steel alloy	207	400	0.27
Titanium alloy	107	650	0.36

4. (a) A brinell hardness measurement is made on a ductile iron (100-70-03, air-quenched) using a 10 mm diameter sphere of tungsten carbide. A load of 3000 kg produce a 3,91 mm diameter impression in the iron surface. Calculate the brinell hardness number of this alloy.
(b) Determine the tensile strenght of this ductile iron.

**BAB IV
LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)**

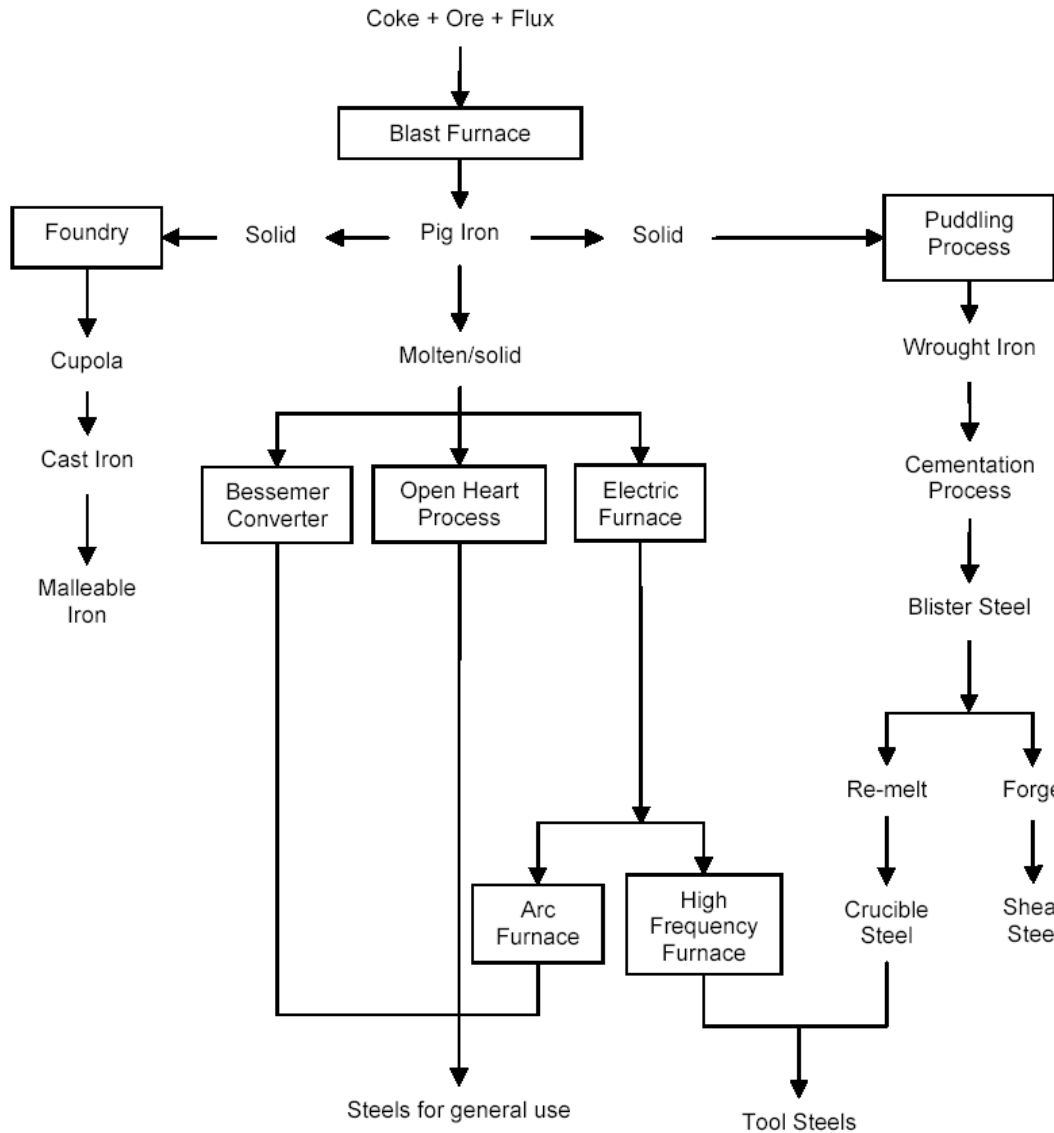
Logam secara garis besar dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu ferrous(besi) dan non ferrous (bukan besi). Logam ferrous adalah material dengan unsur Fe (besi) sebagai penyusun utamanya. Contoh dari logam ferrous antara lain baja (steel) dan besi cor (cast iron). Logam non ferrous adalah material yang tidak berbasis pada unsur Fe. Pembagian material logam dapat dilihat pada gambar 22 berikut ini.



Gambar 22. Skema Pembagian Logam Paduan

A. LOGAM FERROUS

Aliran proses produksi besi (iron) dan baja (steel) dapat dilihat pada gambar 23 berikut ini.



Gambar 23. Aliran Proses Produksi Besi dan Baja

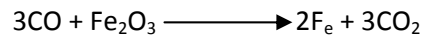
1. PEMBUATAN BESI KASAR (PIG IRON)

Bahan utama besi dan paduannya adalah besi kasar (pig iron) yang dihasilkan dalam dapur tanur tinggi (blast furnace). Diameter tanur tinggi sekitar 8 m dan tingginya mencapai 60 m. Kapasitas perhari dari tanur tinggi berkisar antara 700 – 1600 Megagram besi kasar. Bahan baku yang terdiri dari campuran bijih besi (iron

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

ore), kokas (coke), dan batu kapur (limestone) dinaikkan ke puncak tanur dengan pemuat otomatis, kemudian dimasukkan ke dalam singkup (bell). Terdapat dua buah jenis singkup yaitu singkup kecil yang terletak di bagian atas (upper bell) dan singkup besar yang terletak di bagian bawah (lower bell). Fungsi dari singkup ini untuk mengontrol proses pemasukkan bahan mentah ke dalam tanur tinggi. Selain itu singkup ini juga bermanfaat untuk meminimalkan hilangnya gas panas dari dalam dapur tanur tinggi. Untuk menghasilkan 1000 Mg besi kasar diperlukan sekitar 2000 Mg bijih besi, 800 Mg kokas, 500 Mg batu kapur, dan 4000 Mg udara panas. Bahan baku tersebut disusun secara berlapis-lapis. Di bagian paling atas adalah kokas, kemudian di bawahnya batu kapur, dan paling bawah adalah bijih besi. Kokas berfungsi sebagai bahan bakar.

Udara panas dihembuskan melalui tuyer sehingga memungkinkan kokas terbakar secara efektif dan untuk mendorong terbentuknya karbon monoksida (CO) yang bereaksi dengan bijih besi dan kemudian menghasilkan besi dan gas karbon dioksida (CO₂) menurut reaksi kimia sebagai berikut :



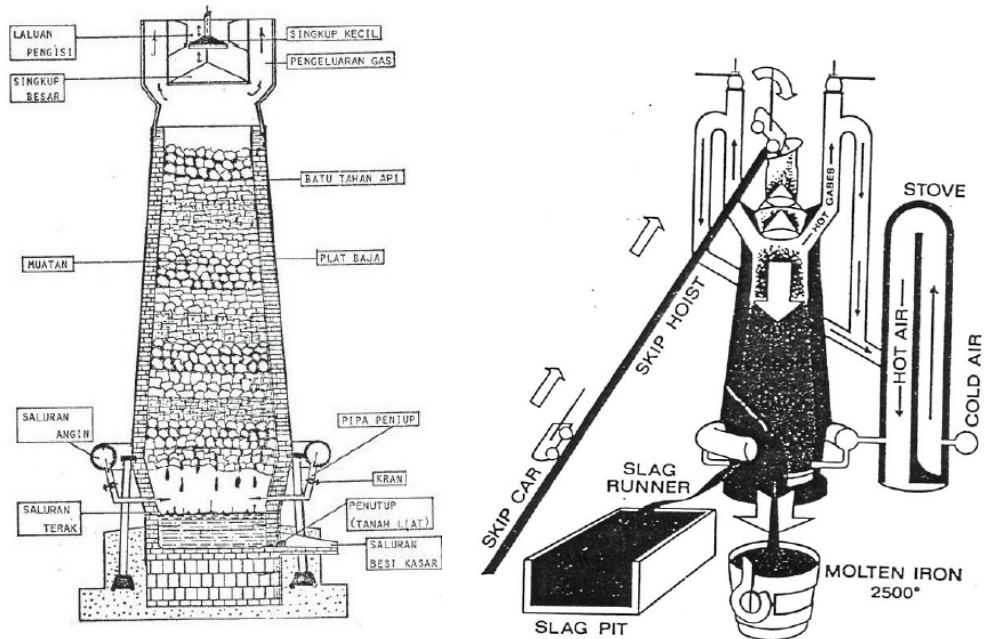
Dengan digunakannya udara panas dapat dihemat penggunaan kokas sebesar 30% lebih. Udara dipanaskan dalam pemanas mula yang berbentuk menara silinder sampai sekitar 500°C. Kalor yang diperlukan berasal dari reaksi pembakaran gas karbon monoksida yang keluar dari tanur. Udara panas tersebut memasuki tanur melalui tuyer(tuyeres) yang terletak tepat di atas pusat pengumpulan besi cair.

Batu kapur digunakan sebagai fluks yang mengikat kotoran-kotoran yang terdapat dalam bijih besi dan membentuk terak cair (slag). Terak cair ini lebih ringan daripada besi cair sehingga akan terapung di atasnya dan secara berkala disadap. Besi cair yang telah bebas dari kotoran-kotoran dialirkan ke dalam cetakan setiap 5 atau 6 jam.

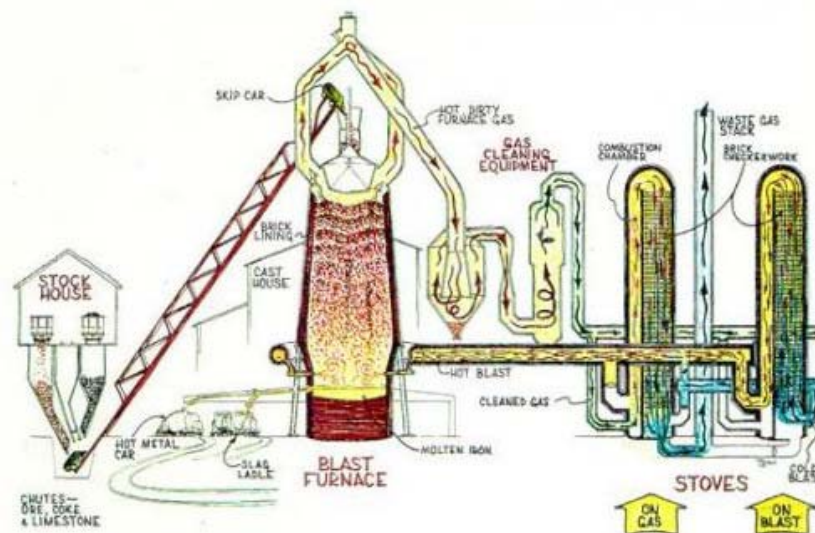
Di setiap Mg besi cair dihasilkan pula 0,5 Mg terak dan 6 Mg gas panas. Terak dapat dimanfaatkan sebagai bahan bangunan (campuran beton) atau sebagai bahan isolasi panas. Gas panas dibersihkan dan digunakan untuk pemanas mula udara, untuk membangkitkan

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

energi atau sebagai media pembakar dapur-dapur lainnya. Komposisi besi kasar dapat dikendalikan melalui pengaturan kondisi operasi dan pemilihan susunan campuran bahan baku.



Gambar 24. Kontruksi Dapur Tanur Tinggi



Gambar 25. Instalasi Dapur Tanur Tinggi



Gambar 26. Contoh bijih besi : hematite



Gambar 27. Contoh pig iron

2. PROSES PEMBUATAN BESI COR (CAST IRON)

Besi kasar dilebur bersama dengan besi bekas dalam dapur yang disebut kupola. Konstruksi dapur kupola terdiri dari cerobong logam tegak yang dilapisi batu tahan api di bagian dalamnya. Udara dihembuskan melalui lubang tuyer yang terdapat di bagian bawah.

Kupola bertumpu pada pelat alas yang bulat, yang disangga oleh empat tiang sedemikian sehingga pintu alas dapat dibuka dengan mudah. Besi bekas, besi kasar, kokas, dan bahan campuran lainnya dimasukkan melalui sebuah pintu yang terdapat pada pertengahan tanur. Ujung atas kupola terbuka dan hanya tertutup oleh lempeng logam atau penahan bunga api.

Udara dihembuskan ke dalam kupola melalui tuyer yang umumnya dipasang di bagian bawah dapur, di atas pengumpul besi dan terak cair. Fungsi tuyer adalah untuk meratakan sirkulasi udara agar pembakaran merata dan sempurna. Jumlah tuyer tergantung pada kapasitas dan diameter kupola. Ada empat, delapan atau lebih. Luas penampang tuyer sekitar seperempat luas penampang kupola. Kotak udara untuk memasukkan udara dipasang mengelilingi kupola dekat tuyer. Selain itu terdapat lubang pengintai mika di belakang tuyer untuk mengikuti kondisi di dalam

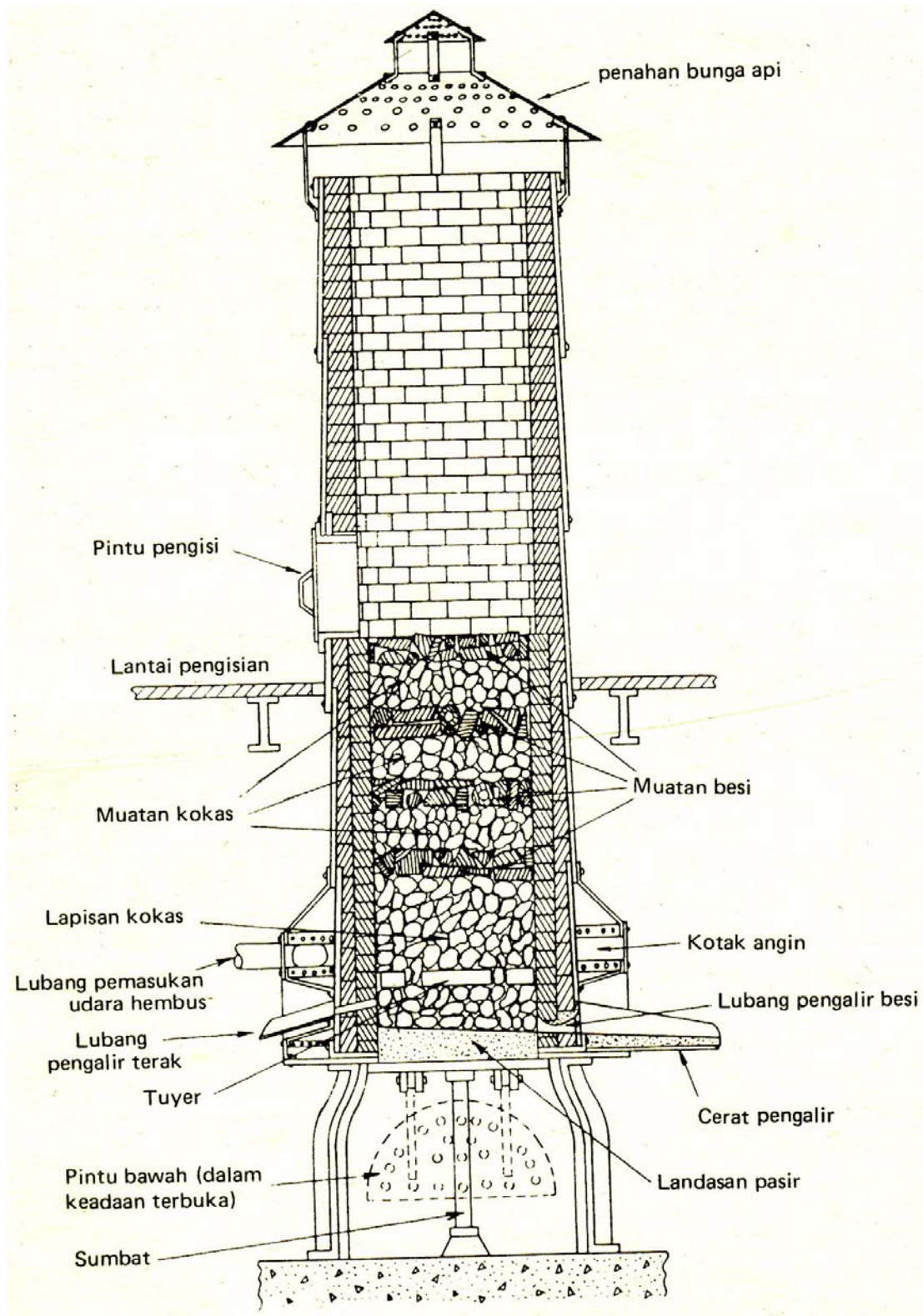
BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

dapur. Angin dihembuskan oleh penghembus sentrifugal melalui lubang-lubang pada kotak udara.

Besi cor (cast iron) dialirkan melalui lubang pengalir. Berseberangan dengan lubang pengalir besi cor terdapat lubang pengalir terak. Lubang ini berada sedikit di bawah lubang tuyer untuk mencegah masuknya terak ke dalam tuyer dan untuk mencegah pembekuan terak akibat pendinginan oleh hembusan udara.

Pada proses peleburan besi kasar, lapisan kokas dinyalakan dan muatan kupola terdiri dari lapisan kokas dan besi kasar dengan perbandingan berat 1 : 8 atau 10. Sebagai fluks digunakan batu kapur (CaCO_3), kalsium fluor (CaF_2) atau abu soda (Na_2CO_3) untuk melindungi besi kasar dari oksidasi dan untuk menurunkan kekentalan terak. Untuk setiap megagram besi kasar diperlukan 40 kg batu kapur. Jumlah udara yang diperlukan untuk melebur satu megagram besi kasar tergantung pada jumlah kokas dan perbandingan kokas-besi kasar. Secara teoritis diperlukan $5,78 \text{ m}^3$ udara bertekanan 100 Pa dengan suhu $15,5^\circ\text{C}$ untuk membakar 1 kg karbon.

Tekanan udara dalam kupola tergantung pada ukuran kupola, kepadatan muatan bahan, jenis besi kasar yang dilebur dan suhu. Kupola yang kecil rata-rata memerlukan tekanan antara 1200 – 2000 Pa sedang kupola yang besar bekerja pada tekanan sekitar 7000 Pa. Penampang dapur kupola dapat dilihat pada gambar 28.



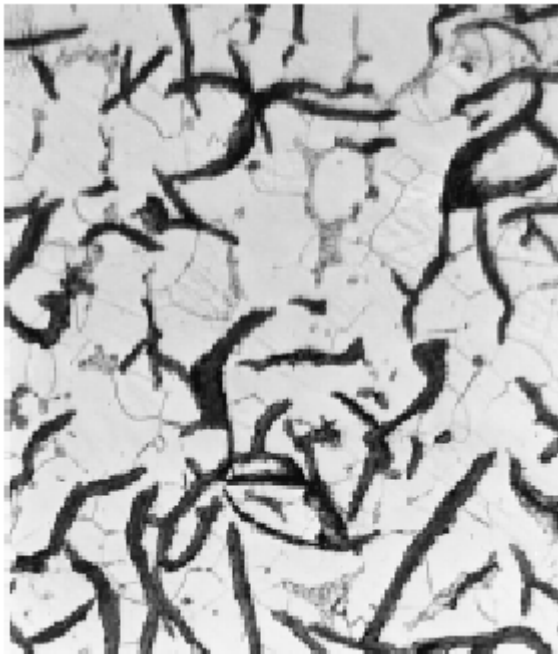
Gambar 28. Dapur Kupola

3. BESI COR (CAST IRON)

Besi cor adalah salah satu kelas dari paduan ferro yang mempunyai kandungan karbon di atas 2,14% berat walaupun didalam praktiknya hampir seluruh besi cor mempunyai kandungan karbon antara 3,0% sampai 4,5% berat ditambah campuran unsur yang lain. Secara umum besi cor memiliki titik lebur di bawah baja yaitu 1150°C sampai 1300°C (2100°F sampai 2350°F) sehingga besi cor mudah meleleh dan dicor. Sifat besi cor yang lain adalah sangat getas dan pengecoran adalah cara pabrikan yang paling tepat. Menurut kandungan karbonnya, besi cor dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu besi cor abu-abu (gray cast iron), besi cor ulet (ductile/nodular cast iron), besi cor putih (white cast iron), besi cor tempa (malleable cast iron), dan besi cor padat (compact graphite cast iron).

a. Besi Cor Abu-abu (Gray Cast Iron)

Kandungan karbon pada besi cor abu-abu bervariasi antara 2,5 sampai 4,0% berat sedangkan kandungan silikonnya antara 1,0 sampai 3,0% berat. Karbon atau grafit pada besi cor abu-abu tampak dalam bentuk serpihan-serpihan tipis berwarna abu-abu seperti ditunjukkan pada gambar 29 berikut ini.



Gambar 29. Gambar struktur mikro besi cor abu-abu menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500X

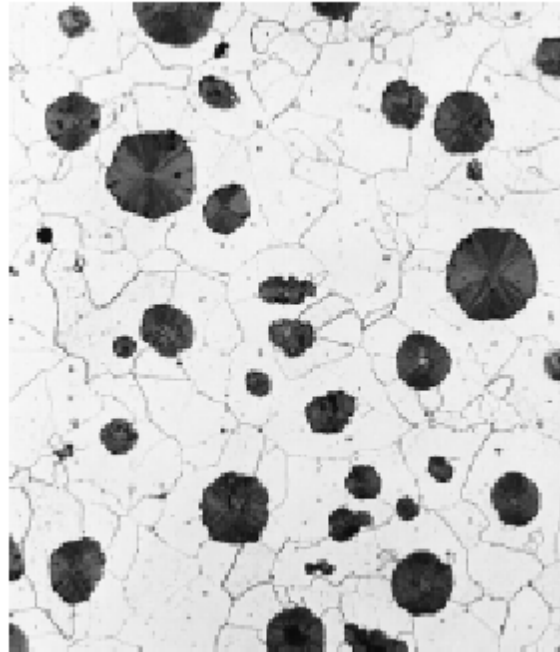
Secara mekanik, besi cor abu-abu bersifat lunak dan getas terhadap beban tarik. Sifat mekanik dan komposisi dari besi cor abu-abu dapat dilihat pada tabel 4.

b. Besi Cor Ulet (Ductile/Nodular Cast Iron)

Penambahan sedikit magnesium dan atau cesium kepada besi cor abu-abu sebelum dicor akan menghasilkan strukturmikro dan sifat mekanik yang berbeda. Besi cor ini dikenal dengan nama besi cor ulet. Grafit masih tetap ada tetapi berbentuk bulat seperti ditunjukkan pada gambar 30 berikut ini.

Besi cor ulet memiliki sifat mekanik mendekati baja. Besi cor ini lebih kuat dan lebih ulet jika dibandingkan dengan besi cor abu-abu. Sifat dan komposisi besi cor ulet dapat dilihat pada tabel 4.

Gambar 30. Gambar struktur mikro besi cor ulet menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X



Tabel 4. Sifat dan komposisi besi cor abu-abu, ulet, tempa, dan padat

Grade	UNS Number	Composition (wt%)	Mechanical Properties			Typical Applications	
			Matrix Structure	Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]		Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]
Gray Iron							
SAE G1800	F10004	3.40–3.7 C, 2.55 Si, 0.7 Mn	Ferrite + Pearlite	124 (18)	—	Miscellaneous soft iron castings in which strength is not a primary consideration	
SAE G2500	F10005	3.2–3.5 C, 2.20 Si, 0.8 Mn	Ferrite + Pearlite	173 (25)	—	Small cylinder blocks, cylinder heads, pistons, clutch plates, transmission cases	
SAE G4000	F10008	3.0–3.3 C, 2.0 Si, 0.8 Mn	Pearlite	276 (40)	—	Diesel engine castings, liners, cylinders, and pistons	
Ductile (Nodular) Iron							
ASTM A536 60–40–18	F32800	3.5–3.8 C, 2.0–2.8 Si, 0.05 Mg, <0.20 Ni, <0.10 Mo	Ferrite	414 (60)	276 (40)	18	Pressure-containing parts such as valve and pump bodies
100–70–03	F34800		Pearlite	689 (100)	483 (70)	3	High-strength gears and machine components
120–90–02	F36200		Tempered martensite	827 (120)	621 (90)	2	Pinions, gears, rollers, slides
Malleable Iron							
32510	F22200	2.3–2.7 C, 1.0–1.75 Si, <0.55 Mn	Ferrite	345 (50)	224 (32)	10	General engineering service at normal and elevated temperatures
45006	F23131	2.4–2.7 C, 1.25–1.55 Si, <0.55 Mn	Ferrite + Pearlite	448 (65)	310 (45)	6	
Compacted Graphite Iron							
ASTM A842 Grade 250	—	3.1–4.0 C, 1.7–3.0 Si, 0.015–0.035 Mg, 0.06–0.13 Ti	Ferrite	250 (36)	175 (25)	3	Diesel engine blocks, exhaust manifolds, brake discs for high-speed trains
Grade 450	—		Pearlite	450 (65)	315 (46)	1	

c. Besi Cor Putih (White Cast Iron)

Untuk besi cor dengan kandungan silikon rendah (kurang dari 1,0% berat) dan mengalami laju pendinginan yang sangat cepat sebagian besar karbon yang semula berbentuk grafit berubah bentuk menjadi sementit. Permukaan sementit berwarna putih sehingga besi cor ini dikenal dengan besi cor putih seperti ditunjukkan pada gambar 31. Besi cor putih mempunyai sifat sangat keras tetapi juga sangat getas. Besi cor putih banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan material yang sangat keras dan tahan terhadap keausan seperti pada rol pada mesin roller.



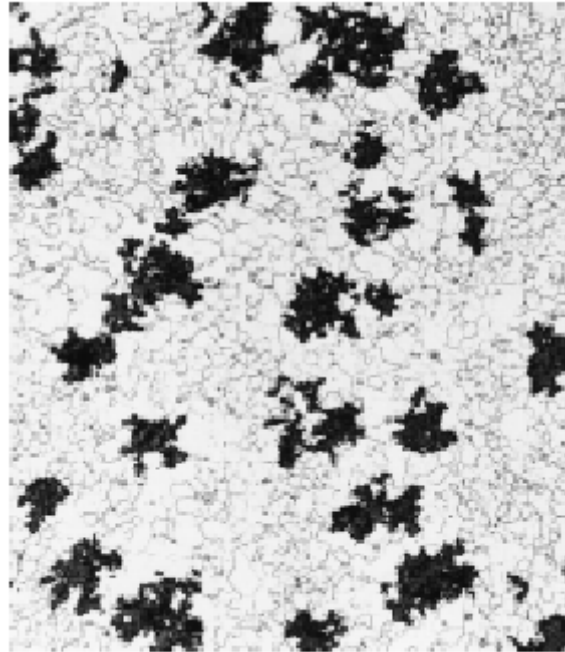
Gambar 31. Gambar struktur mikro besi cor putih menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 400X

d. Besi Cor Tempa (Malleable Cast Iron)

Pemanasan besi cor putih pada temperatur antara 800 sampai 900°C (1470 sampai 1650°F) selama interval waktu yang cukup lama pada tekanan atmosfer (untuk melindungi dari proses oksidasi) menyebabkan perubahan komposisi sementit menjadi grafit kembali yang berbentuk kluster-kluster (mengelompok) seperti diperlihatkan pada gambar 32. Besi cor ini dikenal sebagai besi cor tempa.

Besi cor ini memiliki mikrostruktur yang hampir sama dengan besi cor ulet yaitu grafit dalam bentuk bulat hanya saja pada besi cor tempa grafitnya membentuk kluster. Sifat dan komposisi besi cor tempa dapat dilihat pada tabel 4.

Gambar 32. Gambar struktur mikro besi cor tempa menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 150X



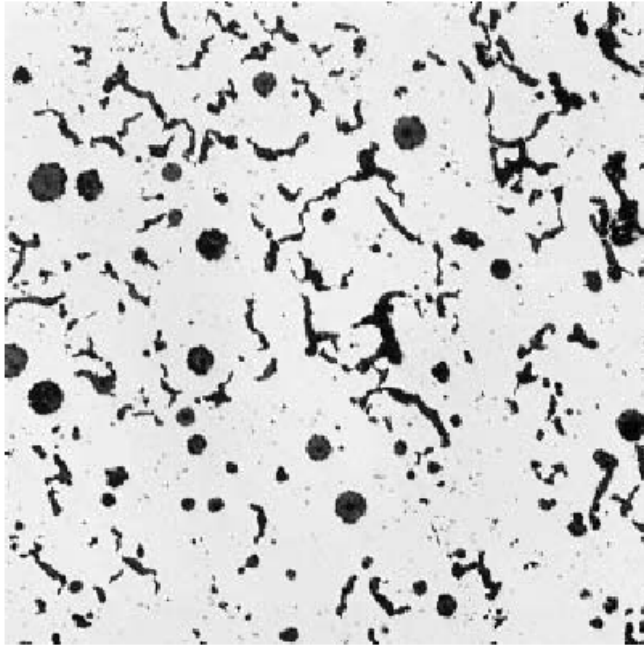
e. Besi Cor padat (Compacted Graphite Cast Iron)

Besi cor padat juga tersusun oleh kandungan karbon dalam bentuk grafit. Pembentukan grafit ini dipicu oleh keberadaan silikon. Kadar silikon dalam besi cor padat antara 1,7% sampai 3,0% berat sedangkan kadar karbon antara 3,1% sampai 4,0% berat. Dua jenis besi cor padat dapat dilihat pada tabel 4.

Jika dibandingkan dengan besi cor yang lain maka besi cor padat memiliki kelebihan antara lain :

1. Konduktivitas termal lebih tinggi
2. Ketahanan lebih baik terhadap perubahan temperatur yang terjadi secara tiba-tiba.

3. Oksidasi lebih rendah ketika temperatur dinaikkan.



Gambar 33. Gambar struktur mikro besi cor padat menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100X

4. PROSES PEMBUATAN BAJA (STEEL)

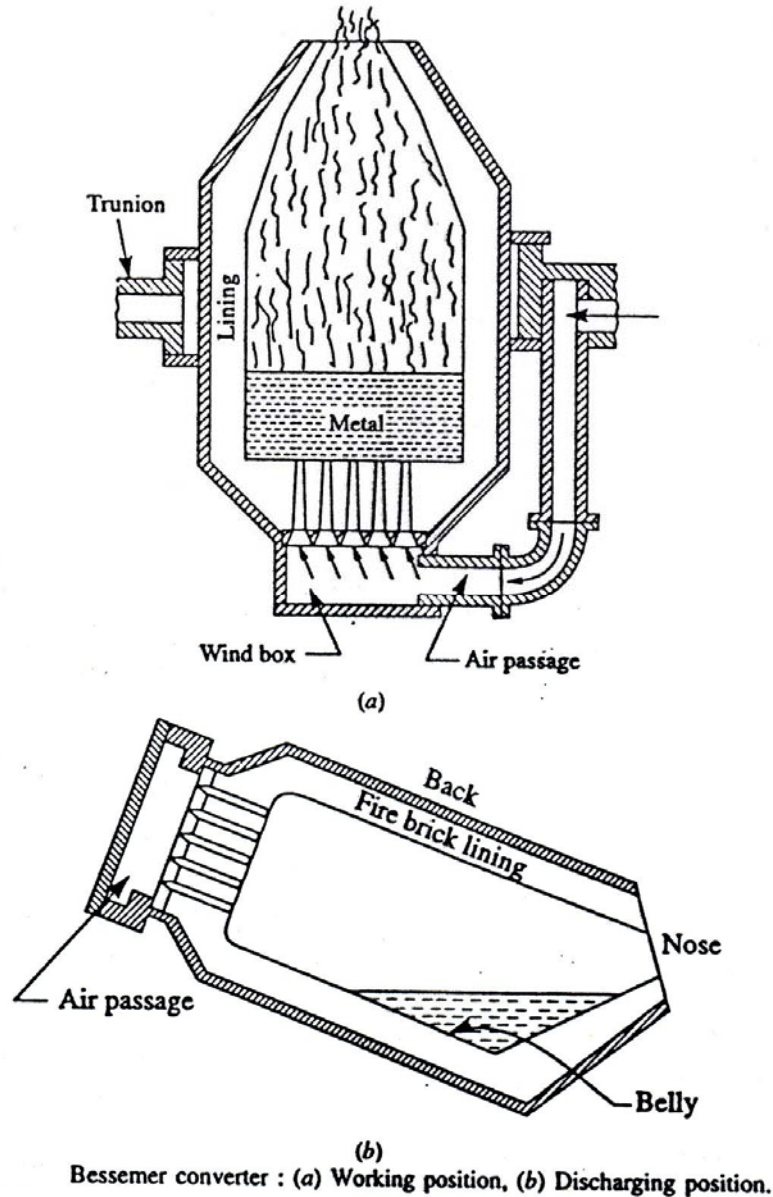
a. Tanur Oksigen Basa (Basic Oxygen Furnace, BOF)

Proses tanur oksigen basa menggunakan besi kasar (65% - 80%) yang dihasilkan oleh tanur tinggi sebagai bahan utama dicampur dengan besi bekas dan batu kapur. Panas ditimbulkan oleh reaksi dengan oksigen. Gagasan ini dicetuskan oleh Bessemer sekitar tahun 1800. Sehingga tanur oksigen basa dikenal juga dengan istilah Bessemer Converter.

Besi bekas sebanyak $\pm 30\%$ dimasukkan ke dalam bejana yang dilapisi batu tahan api basa seperti ditunjukkan pada gambar 34. Logam panas dituangkan ke dalam bejana tersebut. Suatu pipa aliran oksigen yang didinginkan dengan air dimasukkan ke dalam, 1 sampai 3 m di atas permukaan logam cair. Oksigen yang dihembuskan segera menimbulkan nyala dan suhu akan naik mendekati titik didih besi $\pm 1650^{\circ}\text{C}$. Unsur-unsur karbon, mangan, dan silikon akan teroksidasi. Batu kapur dan kalsium flour ditambahkan untuk mengikat kotoran-kotoran seperti fosfor

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

dan belerang dan membentuk terak. Setelah proses/reaksi permurnian selesai, bejana dimiringkan untuk menguji komposisi baja kemudian dituang ke dalam cetakan. Waktu antara penuangan untuk menghasilkan 270 Mg baja berkisar antara 45 menit, sedang oksigen yang diperlukan untuk menghasilkan 1 Mg baja adalah 50 m^3 .



Gambar 34. Tanur Oksigen Basa

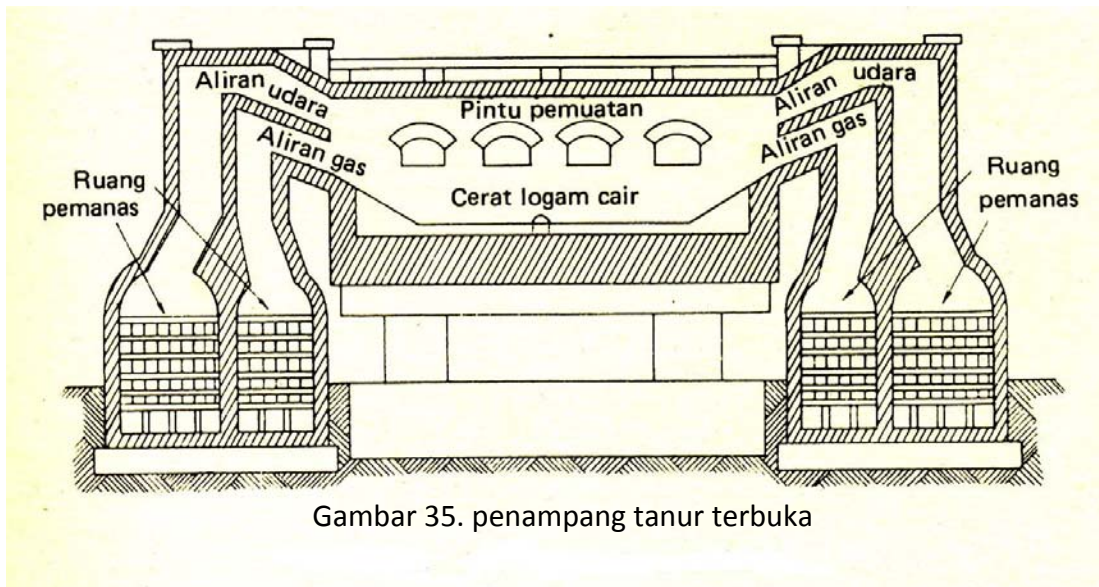
b. Tanur terbuka (Open Heart Furnace)

Tanur terbuka merupakan kelompok tanur yang besar dengan kapasitas 35 Tg per tahun. Logam sebanyak 9,9 sampai 540 Mg diletakan pada dasar tanur. Logam dilebur dengan gas atau nyala minyak yang diarahkan ke permukaan logam. Atap dapur yang rendah memantulkan panas tadi ke tumpukan logam. Tanur jenis ini termasuk tanur regenerasi karena ruangan pemanas di kedua sisi dapur dapat memanaskan udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam dapur. Dengan demikian efisiensi pembakaran dapat ditingkatkan.

Permukaan tanur dapat dilapisi bahan jenis asam atau basa, namun lebih dari 90% merupakan tanur terbuka bersifat basa. Dalam tanur basa digunakan lapisan mngesit dan di sini kadar fosfor, belerang, silikon, mangaan dan karbon dapat diturunkan. Tanur terbuka asam menggunakan lapisan bata atau pasir asam yang sebagian besar terdiri dari silika. Pada dapur jenis ini hanya bisa menurunkan kadar silikon, mangaan, dan karbon saja.

Muatan tanur terbuka dapat berbentuk besi kasar cair, baja bekas, atau campuran dari besi kasar dengan baja bekas. Baja bekas dan besi kasar dimasukkan dalam tanur dan dilebur. Dua atau tiga jam setelah besi kasar dan baja bekas tersebut dilebur, dimasukkan besi cair dan dibiarkan “mendidih” selama 6 sampai 7 jam sambil ditambah campuran fluks. Setelah 10 jam isi tanur siap untuk dituangkan.

Waktu pengolahan dapat berkurang sebanyak 25% dengan mengalirkan oksigen setelah penambahan besi cair. Reaksi-reaksi kimia berlangsung lebih cepat sebagai akibat penambahan oksigen. Komposisi logam cair harus dikontrol dengan cermat sehingga sewaktu diperlukan dapat ditambahkan unsur paduan.



Gambar 35. penampang tanur terbuka

c. Dapur Busur Listrik (Arc Furnace)

Pada dapur busur listrik, besi bekas dicampur dengan ingot dan bahan paduan lainnya diolah menjadi baja paduan umum, baja perkakas, baja tahan panas, dan baja tahan karat. Penggunaan dapur busur listrik akhir-akhir ini meningkat dengan pesat karena lebih bersih (sedikit polusinya) dan mutu baja dapat dikendalikan dengan baik. Dikenal dua jenis dapur listrik, yaitu :

1. Dapur busur tak langsung, busur dipancarkan dari dua elektroda yang terdapat di atas logam. Logam menjadi panas akibat radiasi. Jenis ini sudah jarang digunakan karena kurang ekonomis.
2. Dapur busur langsung. Di sini arus mengalir melalui elektroda ke muatan logam atau logam cair dan kembali ke elektroda. Karena dipandang cukup ekonomis jenis dapur ini masih banyak digunakan.

Pada tanur busur langsung, ruang dapur dilapisi dengan batu tahan api jenis basa atau asam. Dapur berlapis batu tahan api api asam beralaskan serbuk ganister dan berinding bata silika digunakan untuk membuat baja karbon rendah dan baja

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

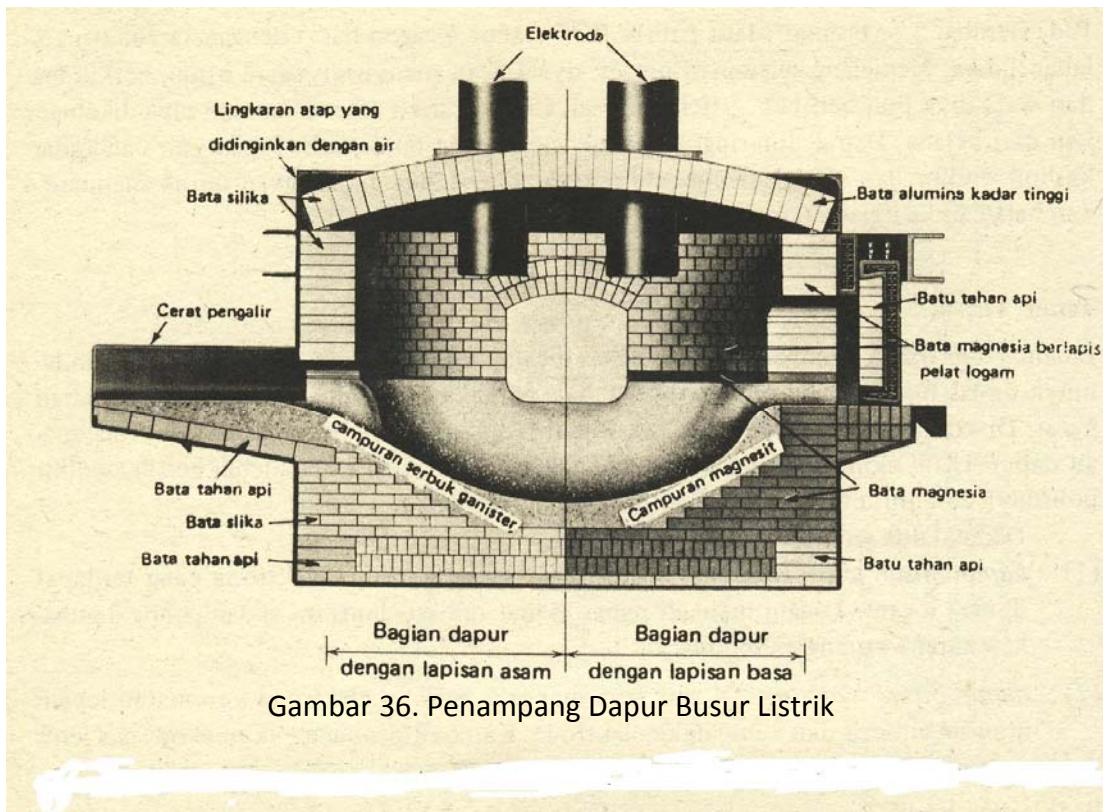
paduan rendah. Bahan bakunya adalah besi bekas yang memiliki kadar fosfor dan belerang rendah.

Tanur berlapis basa dengan alas magnesit, dinding magnesit dan bata alumina digunakan untuk membuat berbagai jenis baja atau baja paduan. Dapur basa dapat mengontrol kadar fosfor dengan baik. Di samping itu juga mengurangi belerang dan mengendalikan suhu serta komposisi sangat baik. Secara berkala komposisi logam cair ditentukan dan bila perlu dapat ditambahkan unsur paduan tertentu sehingga sewaktu logam cair dituangkan komposisi baja memenuhi persyaratan.

Pada dapur listrik, besi bekas dan baja daur ulang dimasukkan dengan mengangkat dan memutar ke atas dapur. Pada tutup dapur terdapat tiga lubang untuk elektroda grafit yang mengenai tumpukan besi tua. Arus 3 fasa mengalir melalui elektroda yang satu ke tumpukan logam yang hendak dilebur kembali ke elektroda lainnya membentuk busur listrik.

Elektroda grafit berukuran $\varnothing \leq 760$ mm dan panjangnya dapat mencapai 24 meter. Arus listrik bertegangan 40 volt dengan arus yang dapat mencapai 12000 A. Kapasitas dapur bervariasi dari 50 kg sampai 270 Mg sekali jalan. Untuk kapasitas 115 Mg diperlukan waktu 3 jam untuk peleburan dan energi listrik sebesar 50000 kWh.

Biaya peleburan dengan tanur listrik tergantung pada harga energi listrik. Keuntungan utama dari dapur listrik adalah pengendalian suhu yang cermat dan komposisi logam dapat diatur dengan tepat.



Gambar 36. Penampang Dapur Busur Listrik

5. BAJA (STEEL)

Baja adalah paduan yang terdiri dari besi, karbon, dan unsur lainnya. Baja pada umumnya dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu :

1. Baja karbon (plain carbon steel) :
 - Baja karbon rendah (low carbon steel)
 - Baja karbon sedang (medium carbon steel)
 - Baja karbon tinggi (high carbon steel)
2. Baja paduan (steel alloy) :
 - Baja paduan rendah (jumlah unsur paduan khusus < 0,8%)
 - Baja paduan tinggi (jumlah unsur paduan khusus > 0,8%)

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

a. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel).

Baja karbon rendah mengandung kadar karbon kurang dari 0,25% berat. Baja karbon rendah memiliki sifat lunak tetapi memiliki sifat ulet dan ketangguhan yang sangat tinggi. Mereka juga mempunyai sifat mampu bentuk menggunakan mesin dan mampu las serta paling murah biaya untuk memproduksinya dibanding jenis-jenis baja yang lain. Contoh pemakaian baja karbon rendah dapat dijumpai pada komponen mobil, rangka struktur bangunan, lembaran yang digunakan pada jaringan pipa, bangunan, jembatan, dan kaleng minuman. Tabel 5 memperlihatkan komposisi beberapa baja karbon rendah dan tabel 6 memperlihatkan karakteristik mekanik dari beberapa jenis baja karbon rendah.

Tabel 5. Komposisi Beberapa Baja Karbon Rendah

<i>Designation^a</i>		<i>Composition (wt%)^b</i>		
<i>AISI/SAE or ASTM Number</i>	<i>UNS Number</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Other</i>
<i>Plain Low-Carbon Steels</i>				
1010	G10100	0.10	0.45	
1020	G10200	0.20	0.45	
A36	K02600	0.29	1.00	0.20 Cu (min)
A516 Grade 70	K02700	0.31	1.00	0.25 Si
<i>High-Strength, Low-Alloy Steels</i>				
A440	K12810	0.28	1.35	0.30 Si (max), 0.20 Cu (min)
A633 Grade E	K12002	0.22	1.35	0.30 Si, 0.08 V, 0.02 N, 0.03 Nb
A656 Grade 1	K11804	0.18	1.60	0.60 Si, 0.1 V, 0.20 Al, 0.015 N

Pada baja karbon rendah juga dikenal baja paduan rendah dengan kekuatan tinggi (high-strength, low-alloy (HSLA) steel). Baja HSLA mengandung unsur-unsur tembaga, vanadium, nikel, dan molibdeum dengan komposisi berkombinasi sebesar 10% berat. Unsur-unsur campuran ini akan memberikan kekuatan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah biasa. Baja HSLA mempunyai ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibanding baja karbon rendah biasa. Mereka juga mudah dibentuk menggunakan mesin dan ulet.

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

Tabel 6. karakteristik baja karbon rendah

<i>AISI/SAE or ASTM Number</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]</i>	<i>Typical Applications</i>
<i>Plain Low-Carbon Steels</i>				
1010	325 (47)	180 (26)	28	Automobile panels, nails, and wire
1020	380 (55)	205 (30)	25	Pipe; structural and sheet steel
A36	400 (58)	220 (32)	23	Structural (bridges and buildings)
A516 Grade 70	485 (70)	260 (38)	21	Low-temperature pressure vessels
<i>High-Strength, Low-Alloy Steels</i>				
A440	435 (63)	290 (42)	21	Structures that are bolted or riveted
A633 Grade E	520 (75)	380 (55)	23	Structures used at low ambient temperatures
A656 Grade 1	655 (95)	552 (80)	15	Truck frames and railway cars

b. Baja Karbon Sedang (Medium-Carbon Steel)

Baja karbon sedang mengandung karbon antara 0,25% dan 0,6% berat. Komposisi beberapa baja karbon sedang diperlihatkan pada tabel 7. Klasifikasi dan spesifikasi baja karbon diatur oleh The Society of Automotive Engineers (SAE), The American Iron dan Steel Institute (AISI), dan The American Society for Testing and Materials (ASTM). Tata nama baja karbon menurut AISI/SAE menggunakan 4 digit angka dimana 2 digit angka pertama menunjukkan kandungan paduan dan 2 digit terakhir menunjukkan konsentrasi karbon. Untuk baja karbon, 2 digit angka pertama menggunakan angka 1 dan 0, sedangkan untuk baja paduan menggunakan kombinasi angka yang lain, contohnya 13, 41, 43. Digit ke-3 dan 4 menunjukkan persen karbon dikalikan 100. Contoh baja 1060 adalah baja karbon dengan kadar karbon 0,6% berat.

Sistem tata nama untuk baja karbon yang lain adalah unified numbering system (UNS). Tata nama menurut UNS terdiri dari awalan satu buah abjad dan

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

diikuti oleh 5 digit angka. Awalan abjad menunjukkan keluarga logam dari baja karbon yang bersangkutan. Untuk baja karbon menggunakan abjad G diikuti oleh angka AISI/SAE dimana digit ke-5 merupakan angka nol. Tabel 7 menunjukkan tata nama untuk baja karbon menurut AISI/SAE dan UNS.

Tabel 7. Tata nama baja karbon menurut AISI/SAE dan UNS

<i>AISI/SAE Designation^a</i>	<i>UNS Designation</i>	<i>Composition Ranges (wt% of Alloying Elements in Addition to C)^b</i>			
		<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Mo</i>	<i>Other</i>
10xx, Plain carbon	G10xx0				
11xx, Free machining	G11xx0				0.08–0.33S
12xx, Free machining	G12xx0				0.10–0.35S, 0.04–0.12P
13xx	G13xx0				1.60–1.90Mn
40xx	G40xx0			0.20–0.30	
41xx	G41xx0		0.80–1.10	0.15–0.25	
43xx	G43xx0	1.65–2.00	0.40–0.90	0.20–0.30	
46xx	G46xx0	0.70–2.00		0.15–0.30	
48xx	G48xx0	3.25–3.75		0.20–0.30	
51xx	G51xx0		0.70–1.10		
61xx	G61xx0		0.50–1.10		0.10–0.15V
86xx	G86xx0	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25	
92xx	G92xx0				1.80–2.20Si

^a The carbon concentration, in weight percent times 100, is inserted in the place of “xx” for each specific steel.

^b Except for 13xx alloys, manganese concentration is less than 1.00 wt%.

Except for 12xx alloys, phosphorus concentration is less than 0.35 wt%.

Except for 11xx and 12xx alloys, sulfur concentration is less than 0.04 wt%.

Except for 92xx alloys, silicon concentration varies between 0.15 and 0.35 wt%.

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

<i>AISI Number</i>	<i>UNS Number</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]</i>	<i>Typical Applications</i>
Plain Carbon Steels					
1040	G10400	605–780 (88–113)	430–585 (62–85)	33–19	Crankshafts, bolts
1080 ^a	G10800	800–1310 (116–190)	480–980 (70–142)	24–13	Chisels, hammers
1095 ^a	G10950	760–1280 (110–186)	510–830 (74–120)	26–10	Knives, hacksaw blades
Alloy Steels					
4063	G40630	786–2380 (114–345)	710–1770 (103–257)	24–4	Springs, hand tools
4340	G43400	980–1960 (142–284)	895–1570 (130–228)	21–11	Bushings, aircraft tubing
6150	G61500	815–2170 (118–315)	745–1860 (108–270)	22–7	Shafts, pistons, gears

^a Classified as high-carbon steels.

c. Baja Karbon Tinggi (High-Carbon Steel)

Baja karbon tinggi mengandung karbon antara 0,60% sampai 1,4% berat. Baja karbon ini memiliki sifat paling keras, kuat, dan ulet dibanding baja karbon yang lain. Unsur campuran dalam baja karbon tinggi adalah kromium, vanadium, tungsten, dan molibden. Unsur-unsir ini dikombinasikan dengan karbon membentuk sifat sangat keras dan membentuk senyawa karbida tahan keausan. Tabel 8 menunjukkan komposisi beberapa baja karbon tinggi dan aplikasinya.

Tabel 8. Komposisi Baja Karbon Tinggi

<i>AISI Number</i>	<i>UNS Number</i>	<i>Composition (wt%)^a</i>						<i>Typical Applications</i>
		<i>C</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>	<i>W</i>	<i>V</i>	
M1	T11301	0.85	3.75	0.30 max	8.70	1.75	1.20	Drills, saws; lathe and planer tools
A2	T30102	1.00	5.15	0.30 max	1.15	—	0.35	Punches, embossing dies
D2	T30402	1.50	12	0.30 max	0.95	—	1.10 max	Cutlery, drawing dies
O1	T31501	0.95	0.50	0.30 max	—	0.50	0.30 max	Shear blades, cutting tools
S1	T41901	0.50	1.40	0.30 max	0.50 max	2.25	0.25	Pipe cutters, concrete drills
W1	T72301	1.10	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	Blacksmith tools, woodworking tools

^a The balance of the composition is iron. Manganese concentrations range between 0.10 and 1.4 wt%, depending on alloy; silicon concentrations between 0.20 and 1.2 wt% depending on alloy.

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

d. Stainless Steel

Stainless steel adalah baja yang memiliki sifat ketahanan terhadap korosi yang sangat tinggi pada lingkungan atmosfer. Unsur yang paling dominan di dalam stainless steel adalah kromium dengan kadar paling sedikit 11% berat. Sifat ketahanan terhadap korosi ini masih dapat ditingkatkan dengan menambahkan nikel dan molibden. Tabel 9 menunjukkan komposisi stainless steel.

Tabel 9 Komposisi dan sifat mekanik stainless steel

AISI Number	UNS Number	Composition (wt%) ^a	Condition ^b	Mechanical Properties			Typical Applications
				Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	
Ferritic							
409	S40900	0.08 C, 11.0 Cr, 1.0 Mn, 0.50 Ni, 0.75 Ti	Annealed	380 (55)	205 (30)	20	Automotive exhaust components, tanks for agricultural sprays
446	S44600	0.20 C, 25 Cr, 1.5 Mn	Annealed	515 (75)	275 (40)	20	Valves (high temperature), glass molds, combustion chambers
Austenitic							
304	S30400	0.08 C, 19 Cr, 9 Ni, 2.0 Mn	Annealed	515 (75)	205 (30)	40	Chemical and food processing equipment, cryogenic vessels
316L	S31603	0.03 C, 17 Cr, 12 Ni, 2.5 Mo, 2.0 Mn	Annealed	485 (70)	170 (25)	40	Welding construction
Martensitic							
410	S41000	0.15 C, 12.5 Cr, 1.0 Mn	Annealed Q & T	485 (70) 825 (120)	275 (40) 620 (90)	20 12	Rifle barrels, cutlery, jet engine parts
440A	S44002	0.70 C, 17 Cr, 0.75 Mo, 1.0 Mn	Annealed Q & T	725 (105) 1790 (260)	415 (60) 1650 (240)	20 5	Cutlery, bearings, surgical tools
Precipitation Hardenable							
17-7PH	S17700	0.09 C, 17 Cr, 7 Ni, 1.0 Al, 1.0 Mn	Precipitation hardened	1450 (210)	1310 (190)	1–6	Springs, knives, pressure vessels

B. LOGAM NONFERROUS

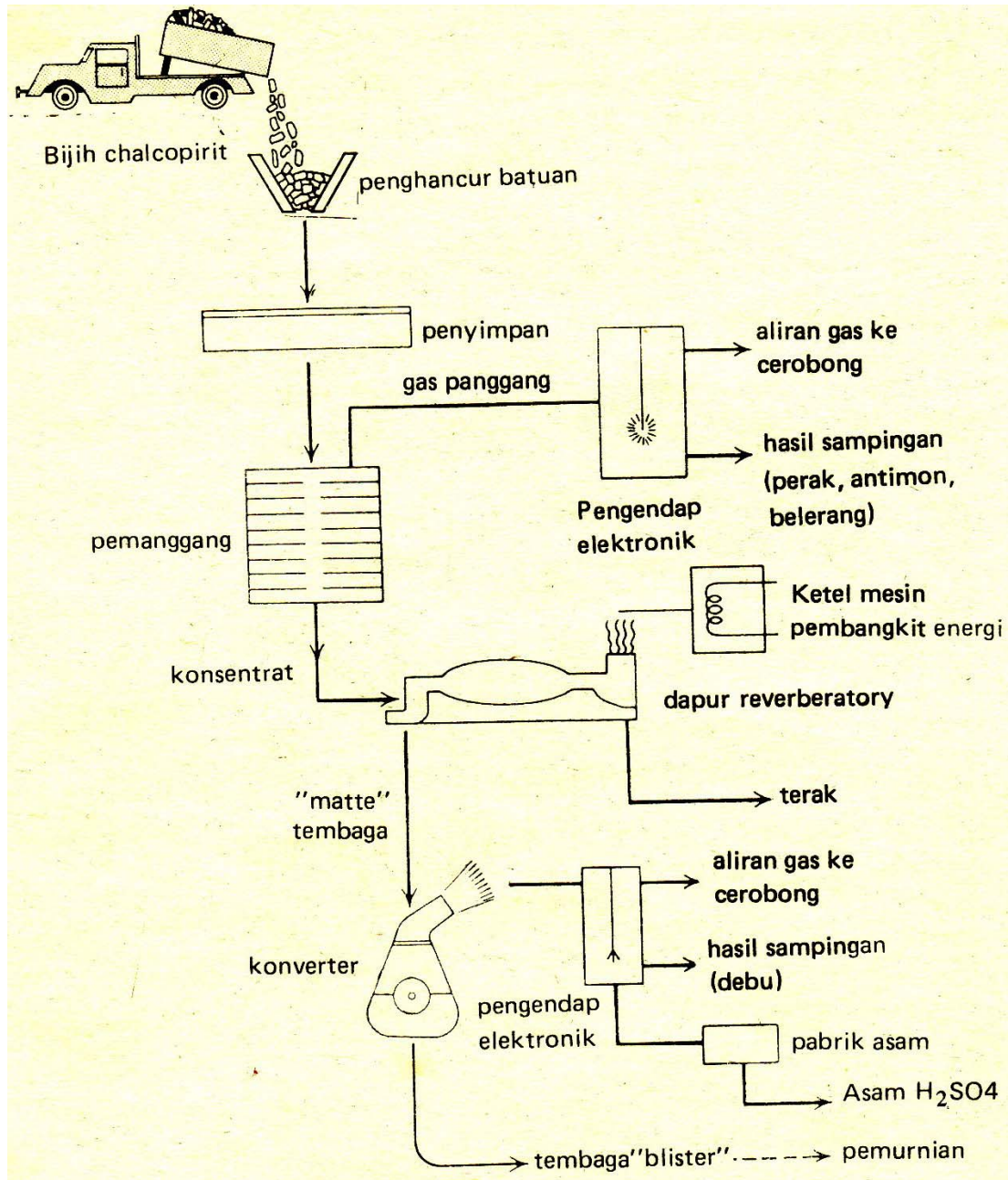
1. Tembaga dan Paduannya (Copper)

Tembaga diperoleh dari bijih Tembaga yang disebut chalcopirit. Chalcopirit merupakan campuran Cu_2S dan CuFeS_2 dan terdapat dalam tambang-tambang di bawah permukaan tanah. Proses pembuatan tembaga diperlihatkan pada gambar 37. Mula-mula bijih tembaga digiling dan dicampur dengan batu kapur dan bahan fluks silika. Tepung bijih tembaga dipekatkan terlebih dahulu sesudah itu dipanggang sehingga terbentuk campuran FeS , FeO , SiO_2 dan CuS . Campuran ini yang disebut kalsin dilebur dengan batu kapur sebagai fluks dalam dapur reverberatory. Besi yang ada larut dalam terak dan tembaga-besi yang tersisa atau matte dituangkan ke dalam konverter.

Udara dihembuskan ke dalam konverter selama 4 atau 5 jam. Kotoran-kotoran teroksidasi dan besi membentuk terak yang dibuang pada selang waktu tertentu. Panas oksidasi yang dihasilkan cukup tinggi sehingga muatan terak tetap cair dan sulfida tembaga akhirnya berubah menjadi oksida tembaga atau sulfat. Bila aliran udara dihentikan, oksida kupro beraksi dengan sulfida kupro membentuk tembaga blister dan dioksida belerang. Kemurnian tembaga blister adalah 98 – 99%. Tembaga blister ini dilebur dan dicor menjadi slab kemudian diolah lebih lanjut secara elektronik menjadi tembaga murni (copper).

Secara umum tembaga memiliki sifat lunak, ulet, tahan korosi pada lingkungan atmosfer, air laut, dan industri kimia. Paduan tembaga yang telah dikenal luas adalah kuningan (brass) dan perunggu (bronze). Kuningan adalah paduan antara logam tembaga dan seng (Zn) sedangkan perunggu adalah paduan antara logam tembaga dan timah (Sn). Komposisi beberapa paduan tembaga dan contoh penggunaannya dapat dilihat tabel 10.

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)



Gambar 37. Pengolahan Tembaga

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

Tabel 10. Komposisi beberapa paduan tembaga

Alloy Name	UNS Number	Composition (wt%) ^a	Condition	Mechanical Properties			Typical Applications
				Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]	Ductility [% EL in 50 mm (2 in.)]	
<i>Wrought Alloys</i>							
Electrolytic tough pitch Beryllium copper	C11000	0.04 O	Annealed	220 (32)	69 (10)	45	Electrical wire, rivets, screening, gaskets, pans, nails, roofing
Beryllium copper	C17200	1.9 Be, 0.20 Co	Precipitation hardened	1140–1310 (165–190)	690–860 (100–125)	4–10	Springs, bellows, firing pins, bushings, valves, diaphragms
Cartridge brass	C26000	30 Zn	Annealed	300 (44)	75 (11)	68	Automotive radiator cores, ammunition components, lamp fixtures, flashlight shells, kickplates
			Cold-worked (H04 hard)	525 (76)	435 (63)	8	
Phosphor bronze, 5% A	C51000	5 Sn, 0.2 P	Annealed	325 (47)	130 (19)	64	Bellows, clutch disks, diaphragms, fuse clips, springs, welding rods
			Cold-worked (H04 hard)	560 (81)	515 (75)	10	
Copper–nickel, 30%	C71500	30 Ni	Annealed	380 (55)	125 (18)	36	Condenser and heat-exchanger components, saltwater piping
			Cold-worked (H02 hard)	515 (75)	485 (70)	15	
<i>Cast Alloys</i>							
Leaded yellow brass	C85400	29 Zn, 3 Pb, 1 Sn	As cast	234 (34)	83 (12)	35	Furniture hardware, radiator fittings, light fixtures, battery clamps
Tin bronze	C90500	10 Sn, 2 Zn	As cast	310 (45)	152 (22)	25	Bearings, bushings, piston rings, steam fittings, gears
Aluminum bronze	C95400	4 Fe, 11 Al	As cast	586 (85)	241 (35)	18	Bearings, gears, worms, bushings, valve seats and guards, pickling hooks

^a The balance of the composition is copper.

2. Aluminium dan Paduannya (Aluminum)

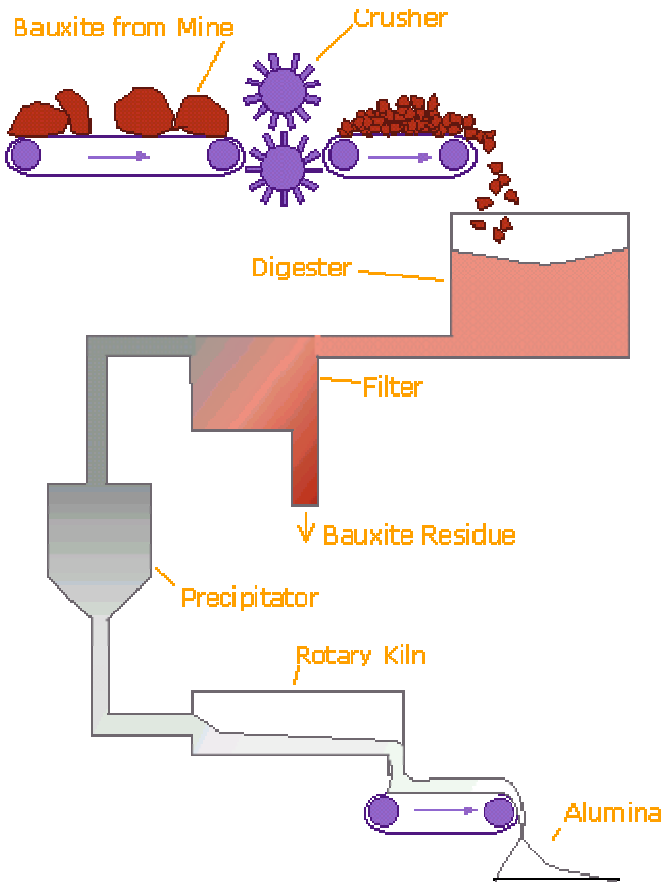
Aluminium diperoleh dari bijih aluminium (bauxit) yang banyak ditemukan pada tambang-tambang. Proses pengolahan bauxit menjadi aluminium murni dikenal dengan Proses Bayer. Bauxit halus yang kering dimasukkan ke dalam pencampur diolah menjadi soda api (NaOH) di bawah pengaruh tekanan dan pada suhu di atas titik didih. NaOH bereaksi dengan bauxit menghasilkan aluminat natrium yang larut. Setelah proses selesai, tekanan dikurangi dan ampas yang terdiri

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

dari oksida besi yang tak larut, silikon, titanium, dan kotoran-kotoran lainnya ditekan melalui suatu saringan dan dikesampingkan. Cairan yang mengandung alumina dalam bentuk aluminat natrium dipompa ke dalam tangki pengendapan.

Di dalam tangki tersebut dibubuhkan kristal hidroksida aluminium yang halus. Kristal halus tadi menjadi inti kristalisasi dan kristal hidroksida aluminium terpisah dari larutan. Hidroksida aluminium ini kemudian disaring dan dipanaskan sampai mencapai suhu di atas 980°C. Alumina berubah dan siap dilebur. Logam aluminium dihasilkan melalui proses elektrolisa dimana alumina berubah menjadi oksigen dan aluminium. Alumina murni dilarutkan ke dalam criolit cair (natrium aluminium fluorida) dalam dapur elektrolit yang besar atau sel reduksi. Arus listrik dialirkan dalam campuran melalui elektroda karbon dan logam aluminium diendapkan pada katoda karbon di dasar sel. Panas yang ditimbulkan arus listrik memanaskan isi sel sehingga tetap cair. Dengan demikian alumina dapat ditambahkan secara terus menerus. Pada saat-saat tertentu aluminium disadap dari sel dan logam cair tersebut dipindahkan ke dapur penampung untuk dimurnikan atau keperluan paduan. Setelah itu dituangkan ke dalam ingot untuk diolah lebih lanjut. Untuk menghasilkan 1 kg aluminium memerlukan 2 kg alumina dan 2 kg alumina memerlukan 4 kg bauksit, 0.6 kg karbon, criolit dan ± 8 kWh energi listrik. Proses pengolahan aluminium ditunjukkan pada gambar 4.17.

Logam aluminium termasuk logam yang ringan (massa jenis 2,7 gr/cm³), merupakan konduktivitas panas dan listrik yang sangat baik, tahan terhadap korosi yang baik pada segala lingkungan. Komposisi logam aluminium yang lain dapat dilihat tabel 11.



Gambar 38. Proses pengolahan aluminium

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

Tabel 11. Komposisi dan penggunaan logam aluminium

Aluminum Association Number	UNS Number	Composition (wt%) ^a	Condition (Temper Designation)	Mechanical Properties		Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	Typical Applications/ Characteristics
				Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]		
Wrought, Nonheat-Treatable Alloys							
1100	A91100	0.12 Cu	Annealed (O)	90 (13)	35 (5)	35–45	Food/chemical handling and storage equipment, heat exchangers, light reflectors
3003	A93003	0.12 Cu, 1.2 Mn, 0.1 Zn	Annealed (O)	110 (16)	40 (6)	30–40	Cooking utensils, pressure vessels and piping
5052	A95052	2.5 Mg, 0.25 Cr	Strain hardened (H32)	230 (33)	195 (28)	12–18	Aircraft fuel and oil lines, fuel tanks, appliances, rivets, and wire
Wrought, Heat-Treatable Alloys							
2024	A92024	4.4 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn	Heat treated (T4)	470 (68)	325 (47)	20	Aircraft structures, rivets, truck wheels, screw machine products
6061	A96061	1.0 Mg, 0.6 Si, 0.30 Cu, 0.20 Cr	Heat treated (T4)	240 (35)	145 (21)	22–25	Trucks, canoes, railroad cars, furniture, pipelines
7075	A97075	5.6 Zn, 2.5 Mg, 1.6 Cu, 0.23 Cr	Heat treated (T6)	570 (83)	505 (73)	11	Aircraft structural parts and other highly stressed applications
Cast, Heat-Treatable Alloys							
295.0	A02950	4.5 Cu, 1.1 Si	Heat treated (T4)	221 (32)	110 (16)	8.5	Flywheel and rear-axle housings, bus and aircraft wheels, crankcases
356.0	A03560	7.0 Si, 0.3 Mg	Heat treated (T6)	228 (33)	164 (24)	3.5	Aircraft pump parts, automotive transmission cases, water-cooled cylinder blocks
Aluminum–Lithium Alloys							
2090	—	2.7 Cu, 0.25 Mg, 2.25 Li, 0.12 Zr	Heat treated, cold worked (T83)	455 (66)	455 (66)	5	Aircraft structures and cryogenic tankage structures
8090	—	1.3 Cu, 0.95 Mg, 2.0 Li, 0.1 Zr	Heat treated, cold worked (T651)	465 (67)	360 (52)	—	Aircraft structures that must be highly damage tolerant

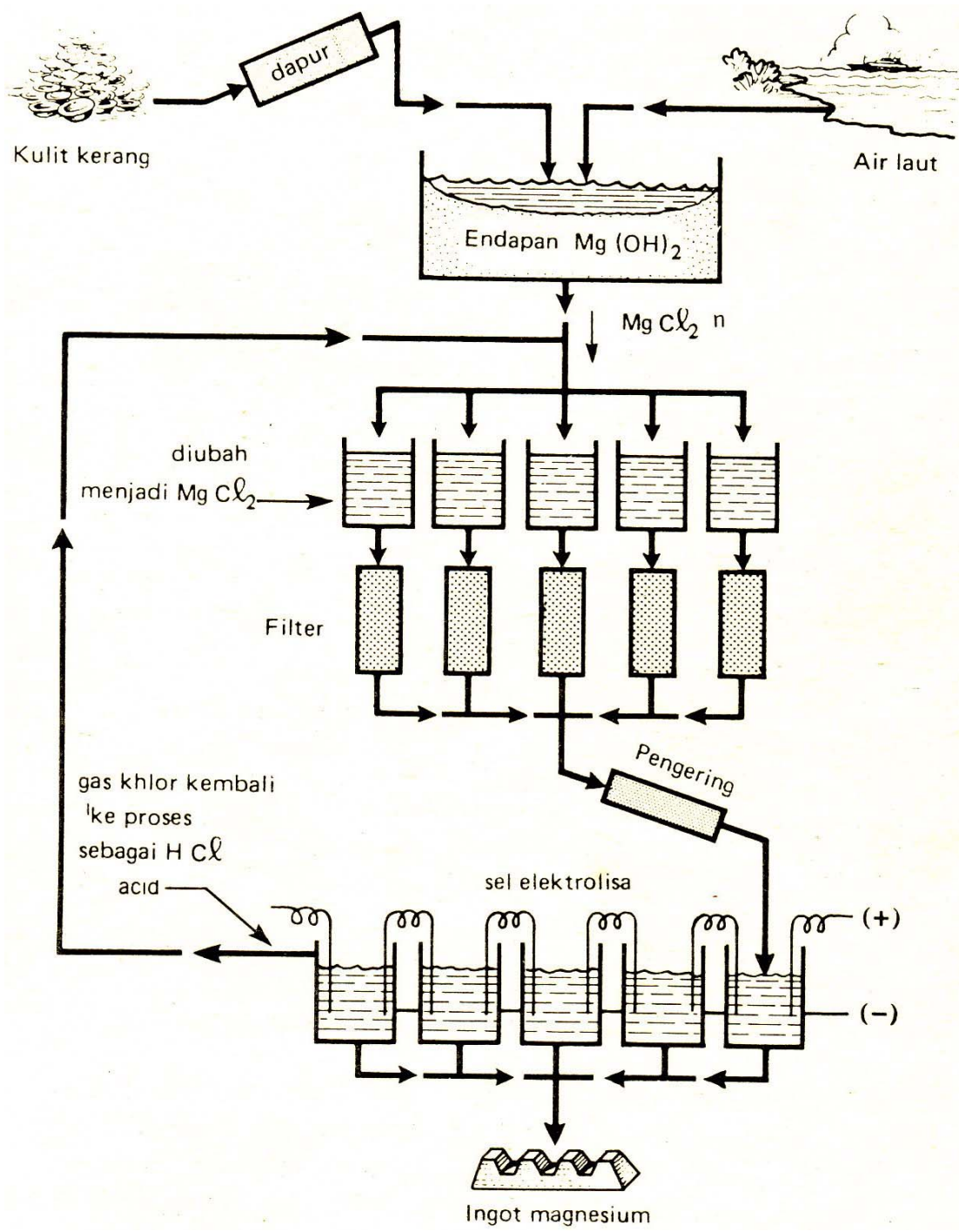
^a The balance of the composition is aluminum.

3. Magnesium dan Paduannya (Magnesium)

Magnesium berasal dari air laut. Gambar 39 menggambarkan proses menghasilkan ingot magnesium. Air laut yang mengandung 1300/sejuta bagian magnesium direaksikan dengan kapur. Kapur dihasilkan dengan membakar kulit kerang pada 1320°C. Kapur dan air laut akan bereaksi menghasilkan endapan $Mg(OH)_2$. Endapan kental ini mengandung $\pm 12\%$ $Mg(OH)_2$. Endapan kental ini disaring sehingga bertambah pekat kemudian direaksikan dengan HCl membentuk $MgCl_2$. Setelah melalui tahapan filtrasi dan pengeringan, konsentrasi $MgCl_2$ meningkat menjadi 68% $MgCl_2$ yang berbentuk butiran $MgCl_2$ dipindahkan ke dalam sel elektrolisa. Sel ini berukuran 100 m³ dan beroperasi pada suhu 700°C. Elektrolisa grafit merupakan anoda dan potnya sendiri merupakan katoda. Arus searah sebesar 60000 A menguraikan $MgCl_2$ dan logam magnesium terapung di atas larutan. Setiap pot dapat menghasilkan 550 kg Mg (logam) per hari yang kemudian dituang menjadi ingot dengan berat 8 kg. Rendemen proses $\pm 90\%$ sebagai hasil sampingan diperoleh gas klorida yang digunakan untuk mengubah $Mg(OH)_2$ menjadi $MgCl_2$. Tabel 12 menyajikan komposisi dan penggunaan logam magnesium.

4.9. Titanium dan Paduannya (Titanium)

Titanium dan paduannya adalah material teknik baru di bidang teknik. Logam titanium murni memiliki massa jenis yang ringan (4,5 gr/cm³), titik lebur tinggi (1668°C atau 3035°F), dan modulus elastisitas yang tinggi (107 GPa atau 15,5 x 10⁶ psi). Tabel 13 menyajikan komposisi dan penggunaan logam titanium.



Gambar 39. Proses Pengolahan Magnesium

BAB IV LOGAM PADUAN (METAL ALLOY)

Tabel 12. Komposisi dan penggunaan logam magnesium

ASTM Number	UNS Number	Composition (wt%) ^a	Condition	Mechanical Properties			Typical Applications
				Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	
<i>Wrought Alloys</i>							
AZ31B	M11311	3.0 Al, 1.0 Zn, 0.2 Mn	As extruded	262 (38)	200 (29)	15	Structures and tubing, cathodic protection
HK31A	M13310	3.0 Th, 0.6 Zr	Strain hardened, partially annealed	255 (37)	200 (29)	9	High strength to 315°C (600°F)
ZK60A	M16600	5.5 Zn, 0.45 Zr	Artificially aged	350 (51)	285 (41)	11	Forgings of maximum strength for aircraft
<i>Cast Alloys</i>							
AZ91D	M11916	9.0 Al, 0.15 Mn, 0.7 Zn	As cast	230 (33)	150 (22)	3	Die-cast parts for automobiles, luggage, and electronic devices
AM60A	M10600	6.0 Al, 0.13 Mn	As cast	220 (32)	130 (19)	6	Automotive wheels
AS41A	M10410	4.3 Al, 1.0 Si, 0.35 Mn	As cast	210 (31)	140 (20)	6	Die castings requiring good creep resistance

^a The balance of the composition is magnesium.

Tabel 13. Sfiat dan komposisi titanium

Alloy Type	Common Name (UNS Number)	Composition (wt%)	Condition	Average Mechanical Properties			Typical Applications
				Tensile Strength [MPa (ksi)]	Yield Strength [MPa (ksi)]	Ductility [%EL in 50 mm (2 in.)]	
Commercially pure	Unalloyed (R50500)	99.1 Ti	Annealed	484 (70)	414 (60)	25	Jet engine shrouds, cases and airframe skins, corrosion-resistant equipment for marine and chemical processing industries
α	Ti-5Al-2.5Sn (R54520)	5 Al, 2.5 Sn, balance Ti	Annealed	826 (120)	784 (114)	16	Gas turbine engine casings and rings; chemical processing equipment requiring strength to temperatures of 480°C (900°F)
Near α	Ti-8Al-1Mo-1V (R54810)	8 Al, 1 Mo, 1 V, balance Ti	Annealed (duplex)	950 (138)	890 (129)	15	Forgings for jet engine components (compressor disks, plates, and hubs)
α - β	Ti-6Al-4V (R56400)	6 Al, 4 V, balance Ti	Annealed	947 (137)	877 (127)	14	High-strength prosthetic implants, chemical-processing equipment, airframe structural components
α - β	Ti-6Al-6V-2Sn (R56620)	6 Al, 2 Sn, 6 V, 0.75 Cu, balance Ti	Annealed	1050 (153)	985 (143)	14	Rocket engine case airframe applications and high-strength airframe structures
β	Ti-10V-2Fe-3Al	10 V, 2 Fe, 3 Al, balance Ti	Solution + aging	1223 (178)	1150 (167)	10	Best combination of high strength and toughness of any commercial titanium alloy; used for applications requiring uniformity of tensile properties at surface and center locations; high-strength airframe components

C. PENGARUH UNSUR KIMIA DALAM BESI COR

1. Karbon.

Kadar karbon tergantung pada jenis besi kasar, besi bekas dan karbon yang diserap yang berasal dari kokas selama proses peleburan. Sifat fisis logam selain tergantung pada jumlah kadar karbon, tergantung pula pada bentuk karbon tersebut. Kekerasan dan kekuatan besi meningkat dengan bertambahnya kadar karbon.

2. Silikon.

Silikon sampai kadar 3,25% bersifat menurunkan kekerasan besi. Kelebihan silikon membentuk ikatan yang keras pada besi sehingga dapat dikatakan bahwa silikon di atas 3,25% akan meningkatkan kekerasan. Untuk memperoleh paduan yang tahan asam dan tahan korosi sebaiknya kadar silikonnya adalah \approx 13% - 17%.

3. Mangan.

Dalam jumlah rendah tidak seberapa pengaruhnya. Dalam jumlah di atas 0,5% mangan bereaksi dengan belerang membentuk sulfida mangan. Ikatan ini rendah massa jenisnya dan dapat larut dalam terak. Mangan merupakan unsur deoksida, pemurni sekaligus meningkatkan fluiditas, kekuatan, dan kekerasan besi. Bila kadarnya ditingkatkan, kemungkinan terbentuknya ikatan kompleks dengan karbon meningkat dan kekerasan besi cor akan naik.

4. Belerang.

Belerang sangat merugikan oleh karena itu selama proses peleburan selalu diusahakan untuk mengikat belerang tersebut antara lain dengan menambahkan ferro-mangan. Belerang yang menyebabkan terjadinya lubang-lubang membentuk ikatan dengan karbon dan menurunkan fluiditas sehingga mengurangi kemampuan tuang besi cor. Setiap kali kita melebur besi cor, kadar belerang meningkat sebesar 0,03%. Belerang ini berasal dari bahan bakar.

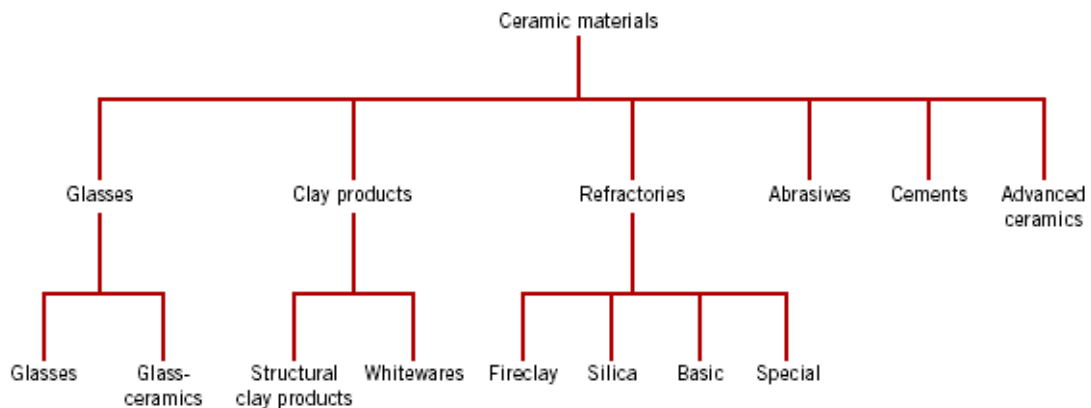
5. Fosfor.

Fosfor dapat meningkatkan fluiditas logam cair dan menurunkan titik cair. Oleh karena itu biasanya digunakan fosfor sampai 1% dalam benda cor kecil dan benda cor yang mempunyai bagian-bagian yang tipis. Sewaktu peleburan umumnya terjadi peningkatan kadar fosfor sampai 0,02%. Unsur fosfor sulit beroksidasi. Untuk mengendalikan kadar fosfor perlu dipilih grade besi bekas yang tepat. Fosfor juga membentuk ikatan yang dikenal dengan nama steadit, yaitu campuran antara besi dan fosfida. Ikatan ini keras, rapuh dan mempunyai titik cair yang lebih rendah.

BAB V KERAMIK (CERAMIC)

Keramik adalah material non organik dan non logam. Mereka adalah campuran antara elemen logam dan non logam yang tersusun oleh ikatan-ikatan ion. Istilah “keramik” berasal dari bahasa Yunani “keramikos” yang berarti “barang yang terbakar” yang dapat diartikan bahwa untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan material ini harus melalui proses perlakuan panas pada temperatur tinggi yaitu proses pembakaran.

Bahan keramik secara garis besar dapat dibagi menjadi 6 (enam) kelas besar seperti ditunjukkan pada gambar 40 di bawah ini.



Gambar 40. Klasifikasi Bahan Keramik menurut pemakaiannya

A. Kaca (Glass)

Kaca akan dibahas lebih detail pada bab VI.

B. Produk-produk Tanah Liat (Clay Products)

Bahan mentah keramik yang banyak dikenal orang adalah tanah liat. Tanah liat dapat diperoleh dengan mudah di alam atau di tambang tanpa memerlukan proses yang rumit. Alasan lain mengapa tanah liat sangat populer adalah karena

BAB V KERAMIK (CERAMIC)

mudah dibentuk. Campuran tanah liat dan air akan membentuk bahan yang bersifat plastis sehingga mudah dibentuk. Bentuk yang sudah jadi dikeringkan untuk mengurangi kadar air setelah itu dibakar pada temperatur tinggi untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya.

Sebagian besar produk-produk tanah liat dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelas besar yaitu produk tanah liat struktural (structural clay products) dan perabotan keramik (whitewares). Produk tanah liat struktural adalah produk tanah liat yang dipakai untuk mendukung struktur pada bangunan atau gedung meliputi batu bata, keramik lantai, dan pipa pembuangan air. Perabotan keramik meliputi porselin, tembikar (gerabah), peralatan makan, alat-alat sanitasi, keramik cina. Perabotan keramik ini berwarna putih karena proses pembakaran pada temperatur tinggi.

C. Bahan Tahan Api (Refractory)

Kelas keramik yang lain adalah keramik tahan api (refractory ceramic). Keramik tahan api ini mampu tahan pada temperatur tinggi tanpa meleleh dan mengalami perubahan komposisi kimia. Keramik tahan api biasanya digunakan sebagai bahan isolator panas pada dinding dapur pemurnian logam, proses produksi kaca, dan pembangkit tenaga listrik. Secara umum refraktori dibagi menjadi beberapa kelas seperti ditunjukkan pada tabel 14.

Tabel 14. Bahan Refraktori

Refractory Type	Composition (wt%)						Apparent Porosity (%)	
	Al_2O_3	SiO_2	MgO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	CaO		TiO_2
Fireclay	25-45	70-50	0-1		0-1	0-1	1-2	10-25
High-alumina fireclay	90-50	10-45	0-1		0-1	0-1	1-4	18-25
Silica	0.2	96.3	0.6			2.2		25
Periclase	1.0	3.0	90.0	0.3	3.0	2.5		22
Periclase-chrome ore	9.0	5.0	73.0	8.2	2.0	2.2		21

1. Refraktori Tanah Liat Tahan Api (Fireclay Refractory)

Unsur utama pembentuk refraktori tanah liat tahan api adalah tanah liat murni, campuran alumina(Al_2O_3) dan silika(SiO_2) yang biasanya mengandung alumina sebesar antara 25 – 45% berat. Refraktori ini mampu tahan sampai suhu 1587°C (2890°F). Contoh refraktori tanah liat tahan api yang sering digunakan adalah batu bata tahan api. Batu bata ini biasanya digunakan sebagai bahan dinding konstruksi dapur peleburan logam.

2. Refraktori Silika (Silica Refractory)

Bahan utama penyusun refraktori silika atau biasa dikenal juga sebagai refraktori asam adalah silika. Bahan ini mampu tahan sampai temperatur 1650°C (3000°F). Biasanya material ini digunakan sebagai bahan atap pada dapur pembuatan baja dan kaca.

3. Refraktori Basa (Basic Refractory)

Refraktori ini kaya akan periclase atau magnesia (MgO). Selain itu mereka juga mengandung unsur kalsium, kromium, dan besi. Bahan ini banyak digunakan pada pembuatan dapur peleburan baja open-hearth.

4. Refraktori untuk Kebutuhan Khusus (Special Refractory)

Keramik yang termasuk dalam kelompok ini keramik berbahan dasar alumina, silika, magnesia, beryllia (BeO), zirconia (ZrO_2), dan mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}2\text{SiO}_2$). Refraktori untuk kebutuhan khusus biasanya sangat mahal harganya.

D. Bahan Abrasif (Abrasives)

Keramik abrasif digunakan sebagai bahan amplas untuk menghaluskan, menggerinda, atau memotong material. Untuk kebutuhan ini maka keramik abrasif harus memiliki sifat tahan terhadap keausan dan tidak mudah patah. Termasuk dalam keramik abrasif antara lain karbida silikon, karbida tungsten (WC), aluminium oksida (corundum) pasir silika, dan intan baik yang alami atau sintetis.

E. Proses Fabrikasi Produk-produk Tanah Liat

Mineral tanah liat memegang dua peranan penting pada produk-produk tanah liat. Pertama, ketika air ditambahkan, mereka menjadi sangat plastis. Kondisi ini dikenal dengan istilah hydroplasticity. Sifat ini sangat penting di dalam proses pembentukan. Di samping itu, tanah liat dapat memadat selama proses pembakaran sehingga akan dihasilkan produk tanah liat yang padat dan kuat.

Tanah liat adalah material aluminosilikat yang tersusun dari alumina (Al_2O_3) dan silika (SiO_2) yang diikat menggunakan air. Unsur pengotor pada tanah liat adalah (dalam bentuk oksida) barium, kalsium, sodium, potasium, dan besi.

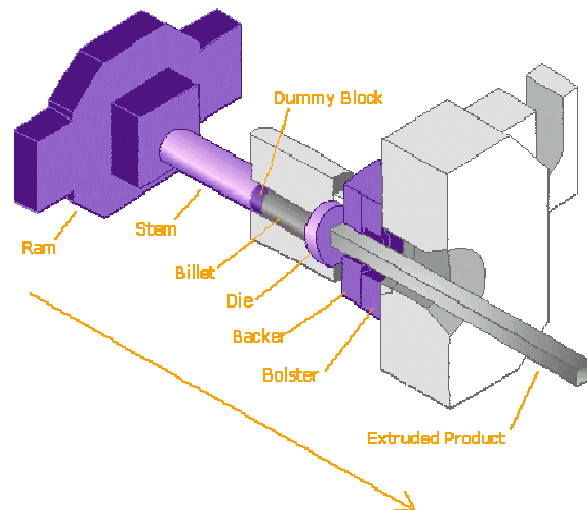
Dua metode umum yang dikenal pada proses pembentukan tanah liat adalah hydroplastic forming, slip casting, dan powder pressing.

1. Hydroplastic Forming

Seperti telah disebutkan di atas, mineral tanah liat ketika dicampur dengan air akan menjadi plastis dan mampu dicetak dengan mudah tanpa mengalami keretakan. Di samping itu mereka memiliki tegangan luluh yang sangat rendah. Perbandingan tanah liat-air ini harus dijaga agar memberikan tegangan luluh yang cukup kuat sehingga mereka tidak berubah bentuk selama proses pengerjaan dan pembakaran.

Proses pembentukan hydroplastis yang dikenal secara umum adalah ekstrusi, yaitu bahan keramik yang telah mengeras ditekan melalui suatu cetakan yang

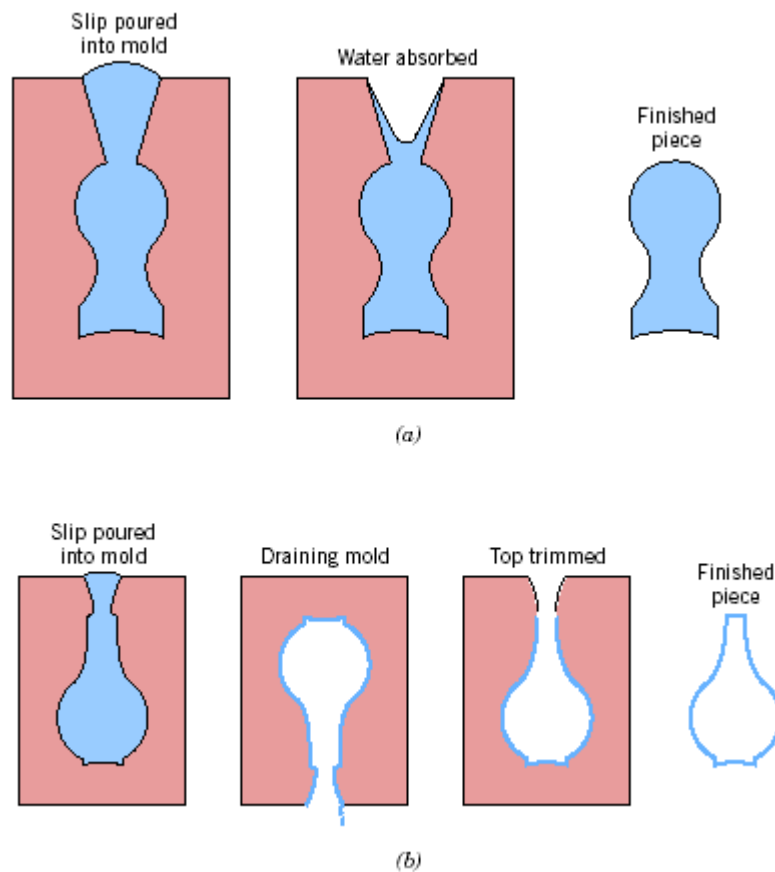
diinginkan seperti ditunjukkan pada gambar 41 berikut ini. Batu bata, pipa, blok keramik, dan ubin adalah contoh produk yang umumnya dihasilkan dari proses pembentukan hydroplastik.



Gambar 41. Proses Ekstrusi

2. Slip Casting

Proses pembentukan tanah liat yang lain adalah slip casting. Prinsip pada proses slip casting adalah mengatur kandungan air di dalam tanah liat. Ketika tanah liat dituang ke dalam cetakan berpori (biasanya terbuat dari bahan plastik paris), air dari dalam tanah liat diserap oleh cetakan meninggalkan lapisan padat pada dinding cetakan dengan ketebalan yang diinginkan. Ketebalan tanah liat tergantung pada lamanya waktu penyerapan air. Proses ini diteruskan sampai tanah liat di dalam cetakan menjadi padat seluruhnya. Proses ini dikenal sebagai solid casting (gambar 42a). Atau dapat juga proses tersebut dihentikan ketika telah terbentuk dinding tanah liat dengan ketebalan yang diinginkan dengan cara membalik cetakan untuk membuang tanah liat yang berlebih. Cara ini dikenal dengan istilah drain casting (gambar 42b).

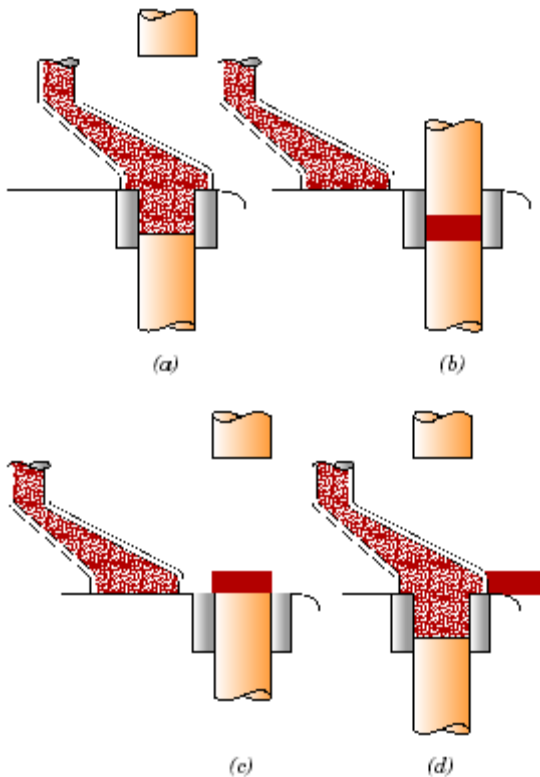


Gambar 42. Slip Casting

3. Powder Pressing

Metode pembentukan keramik yang lain adalah powder pressing. Metode banyak dipakai untuk memproduksi komponen-komponen elektronik. Pada powder pressing, bubuk keramik dipadatkan di dalam suatu cetakan logam dengan menggunakan tekanan seperti ditunjukkan pada gambar 43.

Semua proses pembentukan keramik baik hydroplastic forming, slip casting dan powder pressing harus dilanjutkan dengan proses pengeringan dan pembakaran untuk memperkuat keramik. Proses pengeringan dan pembakaran dapat memanfaatkan sinar matahari atau menggunakan oven.



Gambar 43. Powder Pressing

**BAB VI
KACA (GLASS)**

Kaca (glass) termasuk salah satu anggota keramik. Aplikasi kaca yang sudah dikenal luas adalah wadah (botol, gelas), lensa, kaca-serat(fiberglass). Kaca adalah material silikat nonkristalin yang mengandung oksida-oksida lainnya khususnya CaO, Na₂O, K₂O, dan Al₂O₃ yang mempengaruhi sifat-sifat kaca. Pada kaca soda-kapur (soda-lime glass) mengandung kira-kira 70% SiO₂ sedangkan oksida utama yang lain adalah Na₂O (soda) dan CaO (kapur/lime). Komposisi beberapa kelompok kaca yang dikenal luas ditunjukkan pada tabel 15. Dua Sifat utama bahan kaca adalah sifat tembus pandang optikal dan relatif mudah dibentuk pada proses pabrikasinya.

Tabel 15. Komposisi material kaca

Glass Type	Composition (wt%)						Characteristics and Applications
	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Other	
Fused silica	>99.5						High melting temperature, very low coefficient of expansion (thermally shock resistant)
96% Silica (Vycor™)	96				4		Thermally shock and chemically resistant—laboratory ware
Borosilicate (Pyrex™)	81	3.5		2.5	13		Thermally shock and chemically resistant—ovenware
Container (soda-lime)	74	16	5	1		4MgO	Low melting temperature, easily worked, also durable
Fiberglass	55		16	15	10	4MgO	Easily drawn into fibers—glass-resin composites
Optical flint	54	1				37PbO, 8K ₂ O	High density and high index of refraction—optical lenses
Glass-ceramic (Pyroceram™)	43.5	14		30	5.5	6.5TiO ₂ , 0.5As ₂ O ₃	Easily fabricated; strong; resists thermal shock—ovenware

A. Unsur-unsur Penyusun Kaca dan Fungsinya

Kaca disusun oleh unsur-unsur sebagai berikut :

1. Silika

Silika adalah unsur utama dari material kaca. Silika menyebabkan kaca silika cair mempunyai kekentalan yang cukup sehingga memudahkan untuk proses

BAB VI KACA (GLASS)

produksi dan memberikan sifat tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh iklim.

2. Sodium atau potassium carbonate

Ini adalah bahan alkali dan merupakan komponen dasar kaca. Pengaruh sodium pada kaca adalah dapat mengurangi titik lebur silika dan bersama silika memberikan sifat kental pada kaca cair

3. Kapur(lime)

Kapur yang dicampurkan pada bahan kaca berbentuk batu kapur. Kapur dapat meningkatkan ketahanan kaca.

4. Mangaandioksida

Unsur ini untuk memperbaiki warna kaca akibat pengaruh unsur besi yang terdapat di dalam material mentah kaca.

5. Cullet

Cullet berbentuk kaca-kaca bekas yang masih bisa dilebur ulang.

6. Bahan pewarna kaca

Bahan pewarna kaca yang sering digunakan pada proses manufaktur kaca adalah sebagai berikut :

Hitam : Cobalt, Nikel, dan mangaandioksida

Hijau : Krom oksida

Merah : Tembaga oksida, selenium

Violet : mangaandioksida

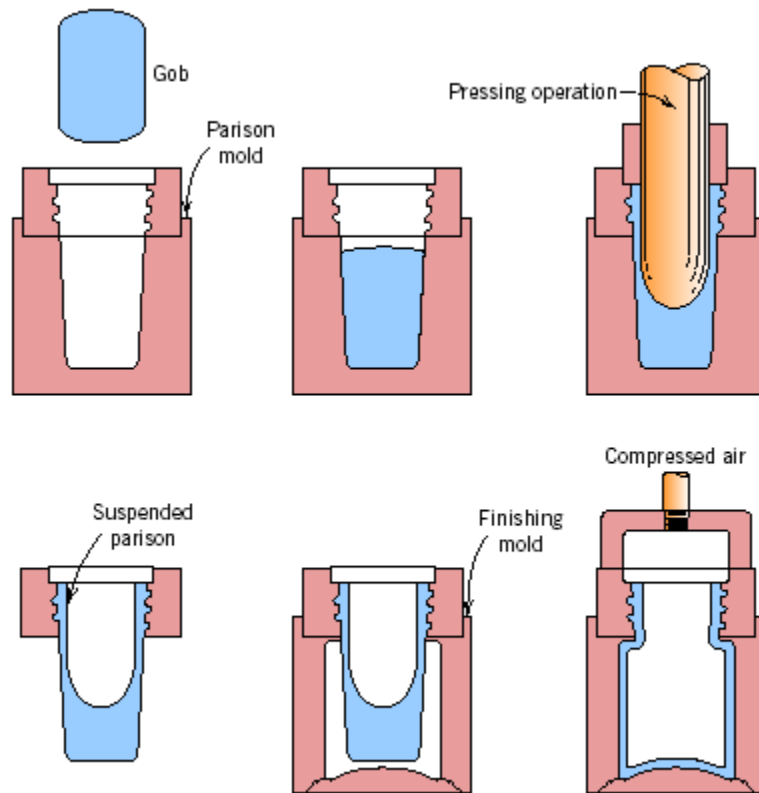
Putih : Cryolite, timah oksida

Kuning : Cadmium sulfat

B. Proses Pembentukan Kaca

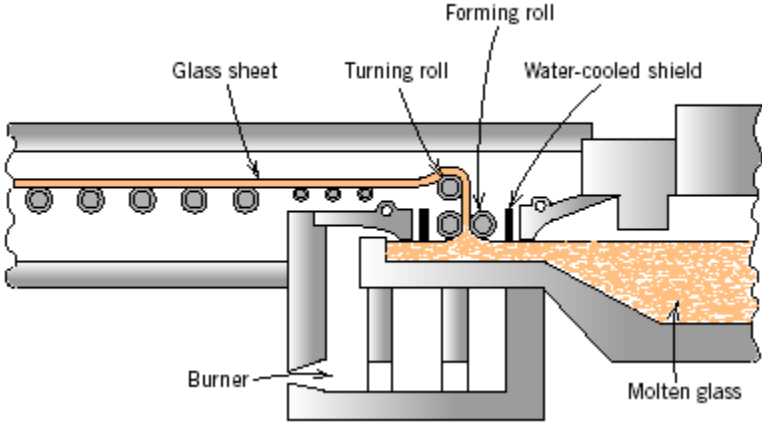
Kaca dihasilkan dari pemanasan bahan mentah sampai di atas temperatur lelehnya. Sebagian besar kaca yang dikenal luas adalah variasi dari bahan silika-soda-kapur. Pada umumnya silika dalam bentuk pasir kuarsa, Na_2O dan CaO sebagai abu soda (Na_2CO_3) dan batu kapur (CaCO_3). Untuk pemakaian tertentu dimana sifat tembus pandang optikal sangat diperlukan, maka produk kaca tersebut harus memiliki permukaan yang homogen dan bebas dari pori-pori. Permukaan yang homogen dapat dicapai dengan melakukan proses peleburan yang sempurna dan proses pengadukan bahan-bahan mentah. Porositas merupakan akibat dari terperangkapnya gelembung-gelembung udara di dalam kaca pada saat mulai membeku.

Ada tiga metode yang digunakan pada proses produksi kaca, yaitu proses tekan (pressing), proses tiup (blowing), dan proses tarik (drawing). Pressing biasanya digunakan untuk memproduksi produk-produk kaca dengan dinding yang relatif tebal seperti piring dan mangkok. Proses blowing banyak digunakan pada proses pembuatan botol, bohlam lampu, dan toples kaca. Gambar 44 menunjukkan langkah-langkah pembentukan kaca. Gumpalan (gob) mentah kaca dimasukkan ke dalam cetakan sementara (parison mold). Selanjutnya dilakukan proses penekanan secara mekanik terhadap gumpalan kaca yang ada di dalam cetakan. Hasil cetakan sementara ini kemudian dimasukkan ke dalam cetakan akhir (finishing mold) sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah itu dihembuskan udara bertekanan tinggi untuk meniup dinding kaca sehingga membentuk sesuai bentuk cetakannya.



Gambar 44. Proses pembentukan kaca meliputi pressing dan blowing

Proses drawing digunakan untuk membuat produk-produk kaca yang panjang seperti lembaran kaca, tabung, silinder kaca. Gambar 45 memperlihatkan proses produksi lembaran kaca menggunakan metode drawing serta menggunakan mesin rolling.



Gambar 45. Proses Drawing Pada Pembuatan Lembaran Kaca

**BAB VII
KARET (RUBBER)**

A. Karet Alam (Natural Rubber)

Karet alam adalah bahan elastis yang terkandung dalam getah suatu tanaman tertentu. Lebih dari 95% karet-karet ini diperoleh dari hasil menyadap getah pohon karet. Getah adalah fluida koloid berwarna putih susu yang mengandung 30 sampai dengan 40% karet sedangkan sisanya adalah air dan sejumlah kecil protein dan material residu. Getah dikeluarkan melalui proses penyadapan atau pemotongan pada kulit luar pohon karet dan dikumpulkan di suatu wadah. Getah dapat diperlakukan dengan dua cara untuk memperoleh karet yang bagus, yaitu karet mentah dikentalkan dari getahnya melalui pemanasan dan kemudian diproses lebih lanjut atau getah tersebut dicampur dengan bahan-bahan tertentu kemudian endapan yang terbentuk langsung dibentuk menjadi suatu produk seperti sarung tangan karet.

1. Karet Mentah (Crude Rubber)

Karet mentah biasanya diperoleh dari getah yang dikentalkan menggunakan asam organik, pencucian menggunakan air kemudian dilewatkan pada mesin roll dan akhirnya dikeringkan. Ada dua jenis karet mentah, yaitu crepe rubber dan smoke sheet. Jika mesin roll yang digunakan mempunyai permukaan kasar dan berotasi dengan kecepatan tinggi serta proses pendinginan menggunakan udara lingkungan maka produk ini disebut dengan crepe rubber. Jika yang digunakan adalah roll yang halus dengan kecepatan rotasi yang tinggi pula serta pendinginannya menggunakan rumah asap (smoke house), maka produk ini dikenal dengan istilah smoke sheet. Karet mentah bersifat liat, kuat, komponen elastisnya

BAB VII KARET (RUBBER)

tersusun oleh 92% lebih rantai polimer hidrokarbon (C_5H_8). Sifat-sifat fisik karet alami mentah adalah sebagai berikut :

1. Pada temperatur rendah, karet menjadi getas dan ketika dibekukan akan memiliki struktur berserat.
2. Karet mentah ketika dipanaskan sampai suhu $130^{\circ}C$ menjadi lembut dan plastis.
3. Memiliki koefisien muai volume 670×10^{-8} . Ketika karet ditarik akan menghasilkan panas. Ini dikenal dengan efek Joule. Ketika karet mulur 82% akan menghasilkan panas 2850 kJ/kg.
4. Panas pembakaran karet mentah adalah 44160 kJ/kg.
5. Berat jenis karet mentah adalah $0,95 \text{ gr/cm}^3$ pada suhu $0^{\circ}C$ dan $0,934 \text{ gr/cm}^3$ pada suhu $20^{\circ}C$.

B. Karet Sintetis (Synthetic Rubber)

Salah satu perkembangan yang cukup menarik di dalam industri karet adalah karet sintetis atau biasa juga dikenal dengan istilah elastomer. Karet sintetis merupakan material yang diturunkan dari bahan-bahan mentah seperti kokas, batu kapur, minyak tanah, gas alam, garam, alkohol, sulfur, amonia, dan aspal cair. Pemakaian elastomer sangat pesat sebagai pengganti karet alam .

1. Beberapa Tipe Karet Sintetis

Karet sintetis dapat dijumpai dalam beberapa bentuk seperti ditunjukkan pada tabel 16.

Tabel 16. Karakteristik dan Penggunaan Elastomer

<i>Chemical Type</i>	<i>Trade (Common) Names</i>	<i>Elongation (%)</i>	<i>Useful Temperature Range [°C (°F)]</i>	<i>Major Application Characteristics</i>	<i>Typical Applications</i>
Natural polyisoprene	Natural rubber (NR)	500–760	–60 to 120 (–75 to 250)	Excellent physical properties; good resistance to cutting, gouging, and abrasion; low heat, ozone, and oil resistance; good electrical properties	Pneumatic tires and tubes; heels and soles; gaskets
Styrene-butadiene copolymer	GRS, Buna S (SBR)	450–500	–60 to 120 (–75 to 250)	Good physical properties; excellent abrasion resistance; not oil, ozone, or weather resistant; electrical properties good, but not outstanding	Same as natural rubber
Acrylonitrile-butadiene copolymer	Buna A, Nitrile (NBR)	400–600	–50 to 150 (–60 to 300)	Excellent resistance to vegetable, animal, and petroleum oils; poor low-temperature properties; electrical properties not outstanding	Gasoline, chemical, and oil hose; seals and O-rings; heels and soles
Chloroprene	Neoprene (CR)	100–800	–50 to 105 (–60 to 225)	Excellent ozone, heat, and weathering resistance; good oil resistance; excellent flame resistance; not as good in electrical applications as natural rubber	Wire and cable; chem. tank linings; belts, hoses, seals, and gaskets
Polysiloxane	Silicone (VMQ)	100–800	–115 to 315 (–175 to 600)	Excellent resistance to high and low temperatures; low strength; excellent electrical properties	High- and low-temperature insulation; seals, diaphragms; tubing for food and medical uses

Tabel 17 menunjukkan perbandingan sifat-sifat dari beberapa jenis elastomer.

C. Proses Produksi pada Karet

Terdapat beberapa proses yang terlibat dalam proses produksi karet, yaitu :

1. Plasticization.

Pada proses ini karet dibuat menjadi ringan seperti masa material plastik. Karet dilewatkan pada beberapa mesin roll yang telah dipanaskan dengan kecepatan putar yang berbeda-beda. Pada proses ini karet dikenai tegangan desak dan tegangan geser yang akan menyebabkan karet terpelintir, retak dan akhirnya menjadi plastik.

BAB VII KARET (RUBBER)

Tabel 17. Perbandingan Sifat-sifat Beberapa Elastomer

	Natural rubber	GR-S	Neoprene	Nitrile rubbers	Butyl	Thiokol
Tensile properties	Excellent	Good	Very good	Good	Good	Fair
Resistance to abrasive wear	Excellent	Good	Very good	Good	Good	Poor
Resistance to tearing	Very good	Poor	Good	Fair	Very good	Poor
Resilience	Excellent	Good	Good	Fair	Poor	Poor
Resistance to heat	Good	Fair	Good	Excellent	Good	Poor
Resistance to cold	Excellent	Good	Good	Good	Excellent	Poor
Resistance to flexing	Excellent	Good	Very good	Good	Excellent	Poor
Aging properties	Excellent	Excellent	Good	Good	Excellent	Good
Cold flow (creep)	Very low	Low	Low	Very low	Fairly low	High
Resistance to sunlight	Fair	Fair	Excellent	Good	Excellent	Excellent
Resistance to oils and solvents	Poor	Poor	Good	Excellent	Fair	Excellent
Permeability to gases	Fairly low	Fairly low	Low	Fairly low	Very low	Very low
Electrical insulation	Fair	Excellent	Fair	Poor	Excellent	Good
Flame resistance	Poor	Poor	Good	Poor	Poor	Poor
Auto tire tread	Preferred	Alternate				
Inner tube	Alternate				Preferred	
Conveyor-belt cover	Preferred		Alternate			
Tire sidewall	Alternate	Preferred				
Transmission belting	Preferred		Alternate			
Druggist sundries	Preferred					
Gasoline and oil hose				Preferred		
Lacquer and paint hose						Preferred
Oil-resistant footwear			Preferred			
Balloons	Alternate		Preferred			
Jar rings	Alternate	Preferred				
Wire and cable insulation	Alternate	Preferred				

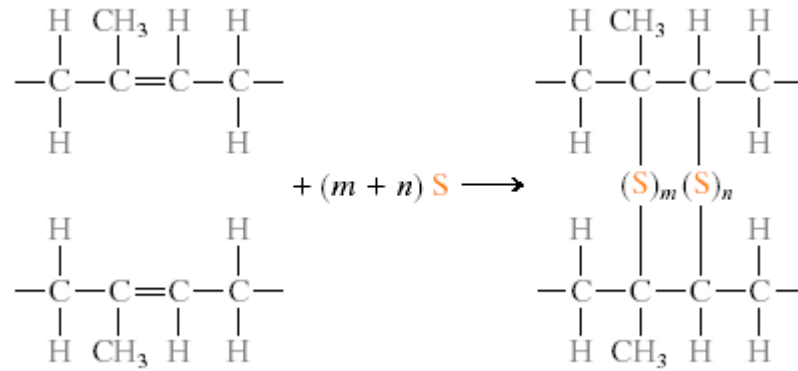
2. Calendering.

Mesin calendering digunakan untuk memperoleh lembaran karet dengan ketebalan tertentu. Proses calendering juga menggunakan mesin roll untuk menggiling karet pada temperatur dan tekanan yang dikendalikan dengan hati-hati.

3. Vulcanization.

Proses vulcanization adalah proses dimana sifat plastis karet dikurangi tetapi tidak mempengaruhi sifat elastisnya. Pada proses ini pada karet ditambahkan 1 sampai 3% sulfur kemudian dipanaskan di dalam cetakan tertutup dengan menggunakan uap panas dengan tekanan 3 bar.

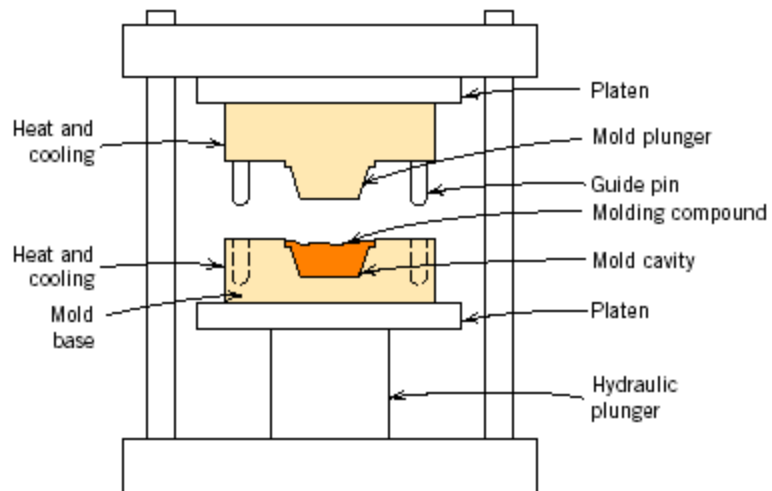
BAB VII KARET (RUBBER)



Gambar 46. Proses Vulcanization

4. Molding

Pada proses ini karet ditekan di dalam suatu cetakan menggunakan tekanan tinggi.



Gambar 47. Proses Molding

5. Extruding

Proses ekstrusi banyak digunakan untuk menghasilkan karet dengan bentuk tabung dan isolasi pada kabel. Prinsip proses ekstrusi pada karet ini sama seperti pada proses ekstrusi pada kaca.

D. Bahan-bahan Campuran pada Karet

Bahan-bahan tertentu dicampurkan pada proses produksi karet untuk mendapatkan sifat-sifat yang dikehendaki. Bahan-bahan tersebut antara lain adalah:

1. Vulcanate :

Bahan ini digunakan untuk mengurangi sifat plastis karet tetapi tetap mempertahankan sifat elastisnya. Bahan yang digunakan adalah sulfur.

2. Plasticizer :

Bahan ini berfungsi untuk memperlembut karet. Bahan yang digunakan adalah minyak sayur, lilin, asam stearic)

3. Accelerator :

Bahan ini berfungsi untuk mempersingkat waktu proses vulcanization. Bahan yang digunakan adalah kapur, magnesium oksida, timbal monoksida, dan timah putih.

4. Antioxidant

Bahan yang digunakan adalah phenol, amina, dan lilin.

5. Filler dan Reinforcing agents

Berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tarik karet. Bahan yang dipakai adalah seng oksida, karbon, magnesium karbonat, calcium karbonat, dan barium sulfat.

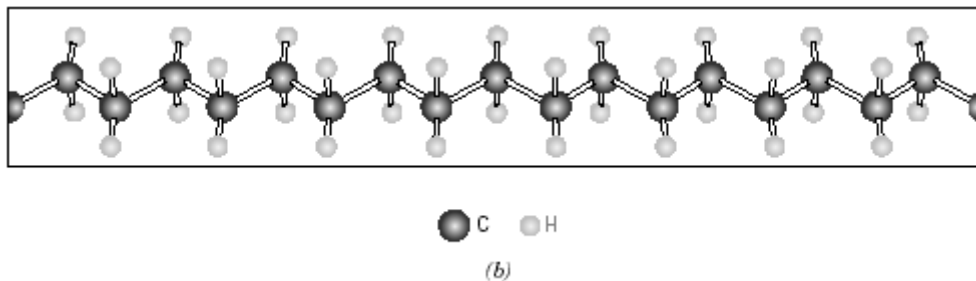
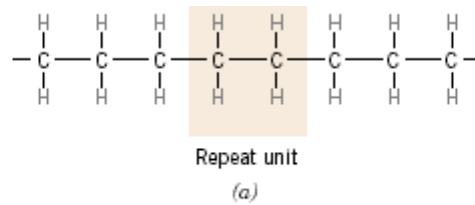
6. Colouring agents

Berfungsi untuk memberi warna pada karet. Untuk warna merah menggunakan besi oksida, warna putih menggunakan lithophone, dan warna kuning menggunakan timah khromat.

**BAB VIII
POLIMER (POLYMER)**

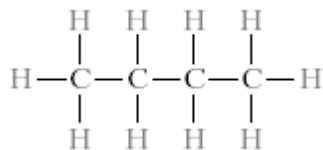
A. Definisi dan Struktur Polimer

Polimer adalah material organik yang dibentuk oleh sejumlah senyawa hidrokarbon (monomer) yang tersusun secara berulang-ulang. Senyawa hidrokarbon terdiri dari atom hidrogen (H) dan karbon (C). Ikatan antara molekul hidrokarbon adalah ikatan kovalen. Setiap atom karbon memiliki empat elektron dan atom hidrogen memiliki satu elektron yang akan saling membentuk ikatan kovalen.

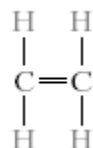


Gambar 48. (a) molekul berulang (repeating unit), (b) struktur polimer

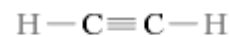
Pada senyawa hidrokarbon dapat terjadi tiga buah ikatan yaitu ikatan tunggal, ikatan rangkap dua, dan ikatan rangkap tiga.



Contoh ikatan tunggal
pada pada C_4H_{10}



Contoh ikatan double
pada C_2H_4



Contoh ikatan triple
pada C_2H_2

BAB VIII POLIMER (POLYMER)

Contoh senyawa hidrokarbon yang sering kita jumpai pada pelajaran kimia antara lain adalah seperti diperlihatkan pada tabel 18.

Tabel 18. Komposisi dan struktur molekul senyawa hidrokarbon C_nH_{2n+2}

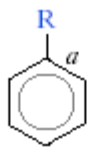
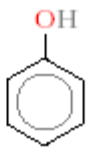
<i>Name</i>	<i>Composition</i>	<i>Structure</i>	<i>Boiling Point (°C)</i>
Methane	CH_4	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-H \\ \\ H \end{array}$	-164
Ethane	C_2H_6	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	-88.6
Propane	C_3H_8	$\begin{array}{c} H & H & H \\ & & \\ H-C & -C & -C-H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	-42.1
Butane	C_4H_{10}		-0.5
Pentane	C_5H_{12}		36.1
Hexane	C_6H_{14}		69.0

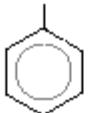
Terdapat beberapa kelompok material hidrokarbon yang lain yang merupakan penyusun struktur polimer. Kelompok hidrokarbon tersebut ditunjukkan pada tabel 19 dimana R dan R' menunjukkan kelompok material organik seperti metal dan etil)

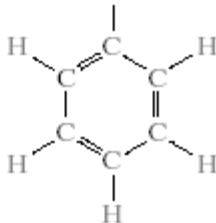
Seperti telah disebut di atas, bahwa struktur polimer tersusun oleh molekul-molekul tunggal secara berulang (repeating unit). Tabel 20 memuat beberapa jenis polimer dan ciri khasnya untuk memudahkan kita mempelajari polimer.

BAB VIII POLIMER (POLYMER)

Tabel 19. Beberapa kelompok hidrokarbon






<i>Family</i>	<i>Characteristic Unit</i>		<i>Representative Compound</i>
Alcohols	$R-OH$	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-OH \\ \\ H \end{array}$	Methyl alcohol
Ethers	$R-O-R'$	$\begin{array}{c} H & & H \\ & & \\ H-C-O-C-H \\ & & \\ H & & H \end{array}$	Dimethyl ether
Acids	$\begin{array}{c} OH \\ / \\ R-C \\ \\ O \end{array}$	$\begin{array}{c} H & & OH \\ & & / \\ H-C-C \\ & & \backslash \\ H & & O \end{array}$	Acetic acid
Aldehydes	$\begin{array}{c} R \\ \\ C=O \\ \\ H \end{array}$	$\begin{array}{c} H \\ \\ C=O \\ \\ H \end{array}$	Formaldehyde
Aromatic hydrocarbons			Phenol

^a The simplified structure  denotes a phenyl group,

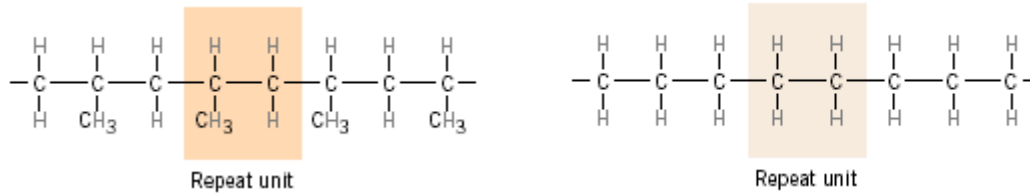


BAB VIII POLIMER (POLYMER)

Tabel 20. Daftar *repeat unit* dari beberapa jenis polimer

<i>Polymer</i>	<i>Repeat Unit</i>
 Polyethylene (PE)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
 Poly(vinyl chloride) (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array}$
 Polytetrafluoroethylene (PTFE)	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{F} \quad \text{F} \end{array}$
 Polypropylene (PP)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
 Polystyrene (PS)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$

BAB VIII POLIMER (POLYMER)



Repeat unit dan rantai struktur untuk polypropylene

Repeat unit dan rantai struktur untuk polyethylene

B. Sifat Mekanik Beberapa Bahan Polimer

Sifat-sifat mekanik beberapa bahan polimer ditunjukkan pada tabel 21 berikut ini.

Tabel 21. Sifat mekanik beberapa bahan polimer

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Modulus [GPa (ksi)]</i>	<i>Tensile Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Yield Strength [MPa (ksi)]</i>	<i>Elongation at Break (%)</i>
Polyethylene (low density)	0.917–0.932	0.17–0.28 (25–41)	8.3–31.4 (1.2–4.55)	9.0–14.5 (1.3–2.1)	100–650
Polyethylene (high density)	0.952–0.965	1.06–1.09 (155–158)	22.1–31.0 (3.2–4.5)	26.2–33.1 (3.8–4.8)	10–1200
Poly(vinyl chloride)	1.30–1.58	2.4–4.1 (350–600)	40.7–51.7 (5.9–7.5)	40.7–44.8 (5.9–6.5)	40–80
Polytetrafluoroethylene	2.14–2.20	0.40–0.55 (58–80)	20.7–34.5 (3.0–5.0)	—	200–400
Polypropylene	0.90–0.91	1.14–1.55 (165–225)	31–41.4 (4.5–6.0)	31.0–37.2 (4.5–5.4)	100–600
Polystyrene	1.04–1.05	2.28–3.28 (330–475)	35.9–51.7 (5.2–7.5)	—	1.2–2.5
Poly(methyl methacrylate)	1.17–1.20	2.24–3.24 (325–470)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	53.8–73.1 (7.8–10.6)	2.0–5.5
Phenol-formaldehyde	1.24–1.32	2.76–4.83 (400–700)	34.5–62.1 (5.0–9.0)	—	1.5–2.0
Nylon 6,6	1.13–1.15	1.58–3.80 (230–550)	75.9–94.5 (11.0–13.7)	44.8–82.8 (6.5–12)	15–300
Polyester (PET)	1.29–1.40	2.8–4.1 (400–600)	48.3–72.4 (7.0–10.5)	59.3 (8.6)	30–300
Polycarbonate	1.20	2.38 (345)	62.8–72.4 (9.1–10.5)	62.1 (9.0)	110–150

C. Jenis-jenis Polimer

Terdapat beberapa jenis material yang telah dikenal secara luas yang dapat digolongkan sebagai material polimer. Bahan-bahan yang termasuk dalam jenis

BAB VIII POLIMER (POLYMER)

polimer antara lain plastik, elastomer (karet, telah dibahas pada bab VII), fiber, zat pelapis (coating), zat adhesive, foam, dan lapisan film.

1. Plastik

Material plastik dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu sebagai berikut :

1. Termoplastik (Thermoplastic)
2. Termoseting (Thermosetting)

Tabel 22. Perbandingan antara material termoplastik dan termoseting

Material termoplastik	Material termoseting
Lebih lunak dan kurang kuat	Lebih kuat dan keras daripada termoplastik
Dapat dilunakkan menggunakan pemanasan dan diperkeras menggunakan pendinginan secara berulang-ulang	Ketika telah mengalami proses pengerasan tidak dapat dilunakkan walaupun dengan proses pemanasan
Benda-benda yang terbuat dari bahan termoplastik tidak dapat digunakan pada lingkungan dengan temperatur tinggi karena pada temperatur tinggi termoplastik akan menjadi lunak	Dapat digunakan pada lingkungan dengan temperatur tinggi tanpa mengalami kerusakan
Biasanya berbentuk butiran-butiran kecil	Biasanya berbentuk cair

BAB VIII POLIMER (POLYMER)

Tabel 23. Material plastik dan aplikasinya

<i>Material Type</i>	<i>Trade Names</i>	<i>Major Application Characteristics</i>	<i>Typical Applications</i>
Thermoplastics			
Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)	Abson Cyclac Kralastic Lustran Novodur Tybrene	Outstanding strength and toughness, resistant to heat distortion; good electrical properties; flammable and soluble in some organic solvents	Refrigerator linings, lawn and garden equipment, toys, highway safety devices
Acrylics [poly(methyl methacrylate)]	Acrylite Diakon Lucite Plexiglas	Outstanding light transmission and resistance to weathering; only fair mechanical properties	Lenses, transparent aircraft enclosures, drafting equipment, outdoor signs
Fluorocarbons (PTFE or TFE)	Teflon Fluon Halar Hostaflon TF Neoflon	Chemically inert in almost all environments, excellent electrical properties; low coefficient of friction; may be used to 260°C (500°F); relatively weak and poor cold-flow properties	Anticorrosive seals, chemical pipes and valves, bearings, antiadhesive coatings, high-temperature electronic parts
Polyamides (nylons)	Nylon Baylon Durethan Herox Nomex Ultramid Zytel	Good mechanical strength, abrasion resistance, and toughness; low coefficient of friction; absorbs water and some other liquids	Bearings, gears, cams, bushings, handles, and jacketing for wires and cables
Polycarbonates	Calibre Iupilon Lexan Makrolon Merlon	Dimensionally stable; low water absorption; transparent; very good impact resistance and ductility; chemical resistance not outstanding	Safety helmets, lenses, light globes, base for photographic film
Polyethylene	Alathon Alkathene Fortiflex Hi-fax Petrothene Rigidex Rotothene Zendel	Chemically resistant and electrically insulating; tough and relatively low coefficient of friction; low strength and poor resistance to weathering	Flexible bottles, toys, tumblers, battery parts, ice trays, film wrapping materials

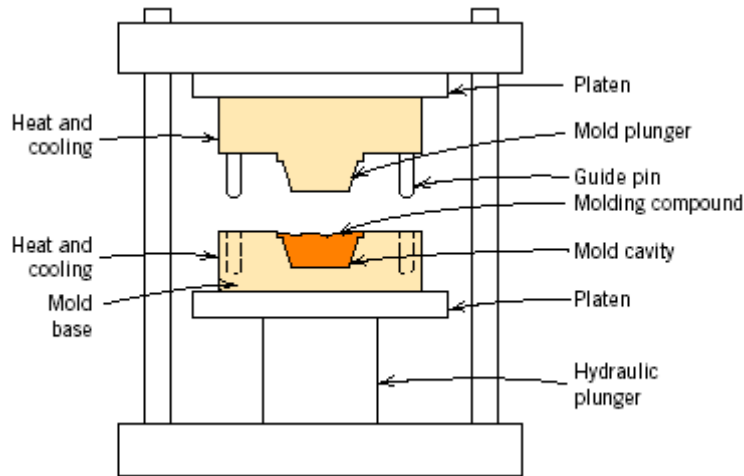
BAB VIII POLIMER (POLYMER)

Tabel 23. Material plastik dan aplikasinya (lanjutan)

<i>Material Type</i>	<i>Trade Names</i>	<i>Major Application Characteristics</i>	<i>Typical Applications</i>
Polypropylene	Herculon Meraklon Moplen Poly-pro Pro-fax Propak Propathene	Resistant to heat distortion; excellent electrical properties and fatigue strength; chemically inert; relatively inexpensive; poor resistance to UV light	Sterilizable bottles, packaging film, TV cabinets, luggage
Polystyrene	Carinex Dylene Hostyren Lustrex Styron Vestyron	Excellent electrical properties and optical clarity; good thermal and dimensional stability; relatively inexpensive	Wall tile, battery cases, toys, indoor lighting panels, appliance housings
Vinyls	Darvic Exon Geon Pliovic Saran Tygon Vista	Good low-cost, general-purpose materials; ordinarily rigid, but may be made flexible with plasticizers; often copolymerized; susceptible to heat distortion	Floor coverings, pipe, electrical wire insulation, garden hose, phonograph records
Polyester (PET or PETE)	Celanar Dacron Eastapak Hylar Melinex Mylar Petra	One of the toughest of plastic films; excellent fatigue and tear strength, and resistance to humidity, acids, greases, oils, and solvents	Magnetic recording tapes, clothing, automotive tire cords, beverage containers
<i>Thermosetting Polymers</i>			
Epoxies	Araldite Epikote Epon Epi-rez Lekutherm Lytex	Excellent combination of mechanical properties and corrosion resistance; dimensionally stable; good adhesion; relatively inexpensive; good electrical properties	Electrical moldings, sinks, adhesives, protective coatings, used with fiberglass laminates
Phenolics	Bakelite Amberol Arofen Durite Resinox	Excellent thermal stability to over 150°C (300°F); may be compounded with a large number of resins, fillers, etc.; inexpensive	Motor housings, telephones, auto distributors, electrical fixtures
Polyesters	Aropol Baygal Derakane Laminac Selectron	Excellent electrical properties and low cost; can be formulated for room- or high-temperature use; often fiber reinforced	Helmets, fiberglass boats, auto body components, chairs, fans

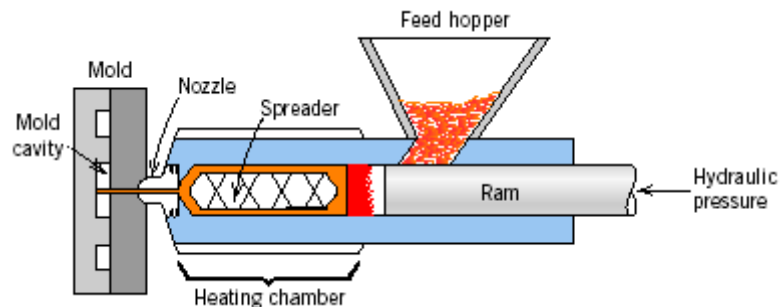
a. Teknik Pembentukan Plastik.

1. Molding.



Adonan plastic (molding compound) diletakkan di dalam rongga cetakan bawah (mold cavity). Rongga cetakan bawah ini mengalami proses pemanasan dan pendinginan secara kontinyu dengan tujuan agar adonan plastik tidak menjadi keras. Ketika cetakan bawah telah siap, cetakan bagian atas (mold plunger) digerakkan ke bawah untuk mendesak adonan plastik sampai terbentuk benda yang diinginkan menggunakan hidrolis (hydraulic plunger).

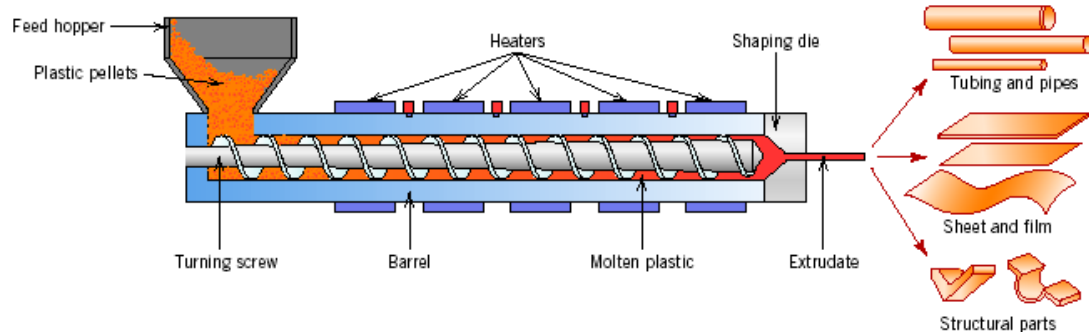
2. Injection Molding.



Pelet (butiran) plastik dimasukkan ke dalam corong (feed hopper) kemudian ditekan menggunakan ram sehingga pelet plastik masuk ke dalam ruang pemanas

(heating chamber) agar plastik tidak mengeras. Dari ruang pemanas, plastik disemprotkan menggunakan nozzle masuk ke dalam cetakan plastik.

3. Extrusion.



Proses ekstrusi pada plastik dapat dilihat pada gambar di atas. Pelet (butiran) plastik dimasukkan ke dalam corong (feed hopper) selanjutnya mengalami proses pemanasan pada bagian pemanas (heater) dan proses pengadukan menggunakan turning screw. Plastik cair yang terbentuk ditekan masuk melalui cetakan (shaping die). Hasil proses ekstrusi biasanya menghasilkan bentuk-bentuk tabung dan pipa, lembaran plastic, dan komponen struktural.

b. Bahan Tambahan pada Plastik

Pada proses pembentukan plastic ditambahkan beberapa bahan campuran, yaitu antara lain :

1. Filler.

Filler adalah bahan campuran yang ditambahkan kepada plastic untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik plastic dan mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Filler ada yang berbentuk bubuk, serat, dan laminasi.

BAB VIII POLIMER (POLYMER)

- Filler bubuk : bubuk kuarsa, kapur, talk, dan bahan-bahan organic lainnya. Filler ini berfungsi untuk meningkatkan kekerasan, daya tahan terhadap panas dan asam.
- Filler serat : asbes, kayu, fiber glass. Filler ini meningkatkan kekuatan, mengurangi sifat getas, dan meningkatkan ketahanan terhadap panas dan ketangguhan plastic.
- Filler laminasi : kertas, kain, dan lain-lain. Filler ini meningkatkan kekuatan mekanik plastic dan ketahanan terhadap panas dan asam.

2. Plasticizer.

Bahan kimia yang ditambahkan kepada plastic untuk membuat plastic menjadi lunak, meningkatkan ketangguhan pada tahap finishing, dan membuat plastic menjadi lebih fleksibel. Bahan plasticizer yang sering digunakan antara lain adalah minyak sayur, kapur barus, aluminium stearate, dan dibutyl phthalate.

3. Colouring matter : untuk memberikan warna pada plastic. Bahan pewarna yang umum digunakan adalah organic (AZO dyes, anthraquinone vat dyes) dan mineral pigment (ochre, chromium oxide, dan ultramarine).

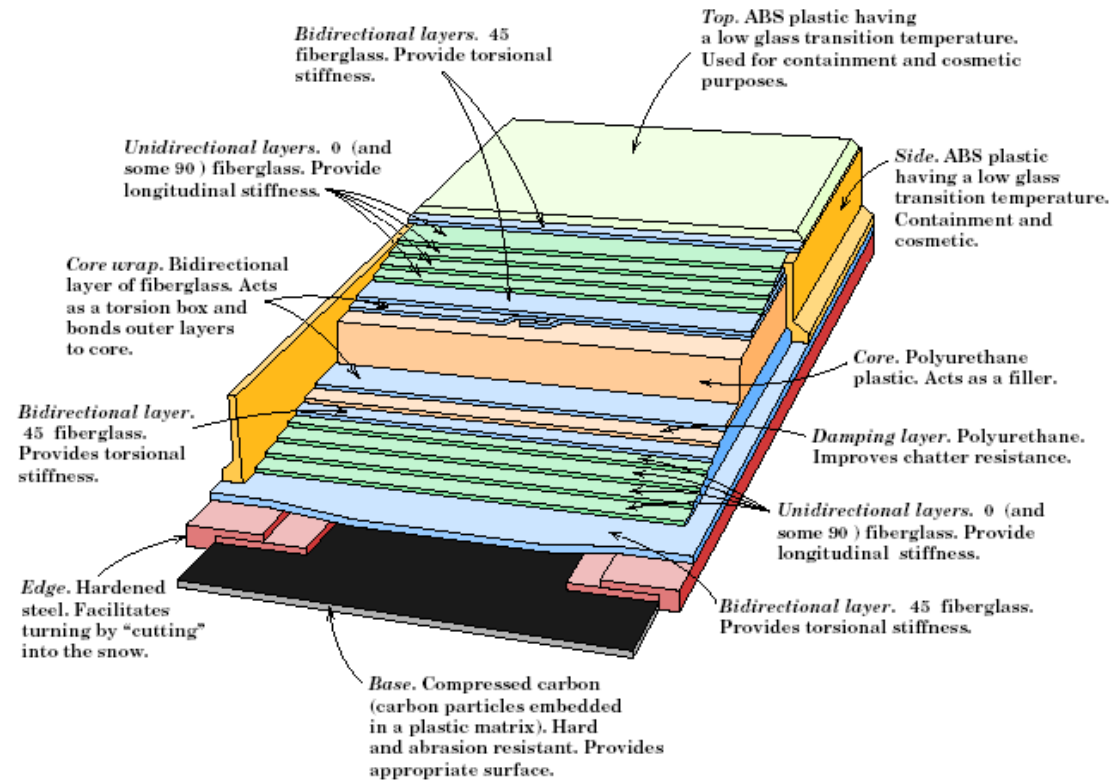
BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)

A. Pendahuluan

Banyak teknologi modern membutuhkan material-material dengan sifat-sifat yang merupakan kombinasi dari beberapa material yang tidak bias dijumpai pada material-material konvensional seperti paduan logam, keramik, dan polimer. Kombinasi material ini banyak dibutuhkan untuk aplikasi pesawat luar angkasa, kendaraan bawah air, dan alat transportasi yang lain. Contoh insinyur-insinyur bidang pesawat terbang mencari material yang mempunyai massa jenis rendah, kuat, kaku, dan tahan terhadap keausan dan dampak serta tidak mudah korosi. Material seperti ini dikenal dengan istilah komposit. Sehingga secara sederhana komposit dapat didefinisikan sebagai suatu material yang merupakan hasil dari penggabungan beberapa material tunggal dengan tujuan untuk menggabungkan keunggulan dari berbagai material tunggal tersebut sehingga memperoleh sifat-sifat yang lebih baik.

Material komposit dapat dibagi dua kelompok besar, yaitu komposit buatan dan komposit alam. Komposit buatan adalah material komposit hasil buatan manusia untuk memperoleh material yang lebih baik, contohnya kayu lapis, tembok (gabungan dari pasir, semen, batu bata) dan lain-lain. Sedangkan material komposit alam adalah komposit yang tersedia di alam seperti kayu yang dikelilingi oleh serat selulosa yang kuat dan fleksibel serta diikat bersama-sama oleh material yang lebih kaku yang dikenal dengan lignin. Contoh material komposit alam yang lain adalah tulang yang tersusun oleh protein kolagen dan mineral.

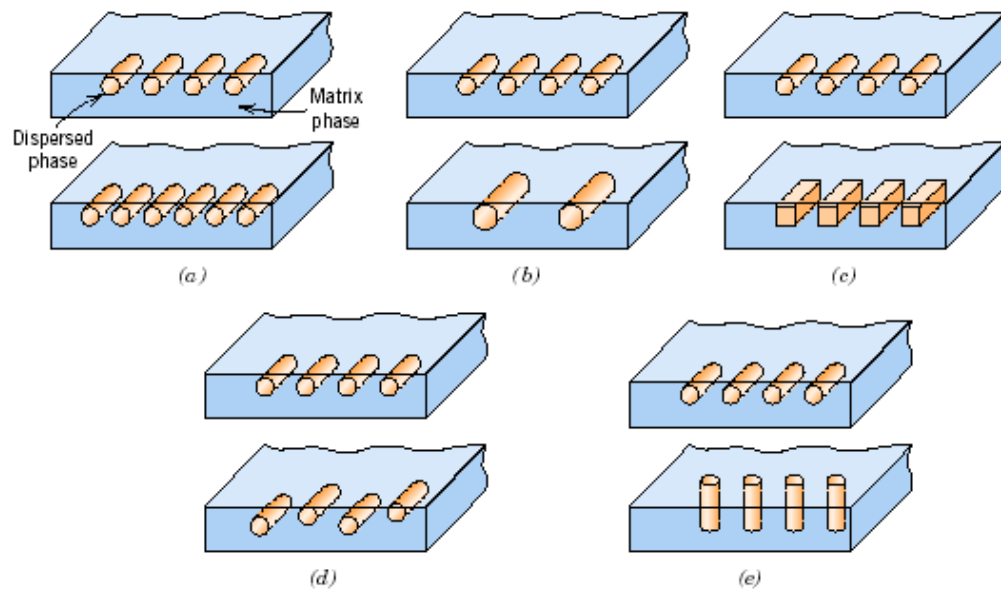
BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)



Gambar 49. Ilustrasi sederhana material komposit

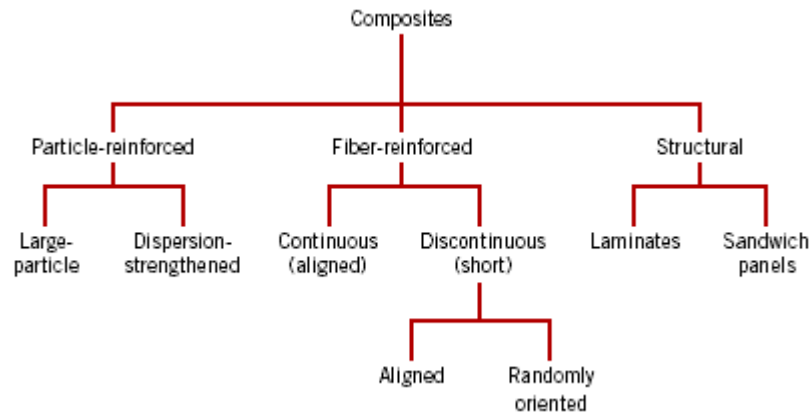
Sebagian besar komposit tersusun oleh dua bagian, yaitu matrik (matrix) dan partikel yang terikat (dispersed phase). Matrik adalah bagian yang berfungsi sebagai penguat partikel yang terikat (dispersed phase). Sifat komposit ditentukan oleh sifat-sifat bagian-bagian penyusunnya, jumlahnya, dan bentuk geometri dari partikelnya. Bentuk geometri dari partikel dapat didefinisikan sebagai bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasi.

BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)



Gambar 50. Skema yang menunjukkan berbagai macam bentuk geometri dari partikel yang dapat mempengaruhi sifat komposit (a) konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk, (d) distribusi, dan (e) orientasi

Klasifikasi material komposit secara garis besar diperlihatkan pada gambar 51 di bawah ini.



Gambar 51. Klasifikasi komposit

B. Komposit dengan partikel yang diperkuat (Particle-reinforced Composite).

Particle-reinforced Composite dibagi menjadi dua subbagian yaitu large-particle composite dan dispersion-strengthened composite. Perbedaan kedua komposit ini adalah terletak pada mekanisme penguatannya. Istilah “large/besar” digunakan untuk menunjukkan bahwa interaksi antara partikel – matrik tidak dapat terjadi pada tingkat atom atau molekul.

Contoh large-particle composite adalah cermet yaitu komposit antara keramik dan logam (metal). Cermet disusun oleh bahan keramik tahan api yang sangat keras seperti karbida tungsten (WC) atau karbida titanium (TiC) yang tertanam di dalam matrik dari logam seperti kobalt atau nikel. Beton adalah contoh lain dari large-particle composite. Beton merupakan komposit dimana baik matrik maupun partikelnya berupa material keramik.

Ukuran partikel pada dispersion-strengthened composite secara normal lebih kecil yaitu berdiameter antara 0,01 dan 0,1 μm (10 dan 100 nm). Interaksi antara partikel dan matrik terjadi pada level atom atau molekul.

Thoria-dispersed (TD) nickel adalah salah satu contoh dari dispersion-strengthened composite. Pada temperatur tinggi paduan nikel ditingkatkan kekuatannya dengan menambahkan sekitar 3% thoria (ThO_2) sehingga berubah menjadi TD nickel. Contoh lainnya adalah Sintered Aluminum Powder (SAP). Pelapisan dengan alumina yang sangat tipis pada aluminium dapat menyebabkan terbentuknya serpihan-serpihan yang sangat kecil (tebal 0,1 sampai 0,2 μm) pada permukaannya. Material ini dikenal dengan sintered aluminum powder (SAP)

BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)

C. Komposit dengan serat yang diperkuat (Fibre-Reinforced Composite)

Tabel 24. Karakteristik beberapa Fibre-Reinforced Composite

<i>Material</i>	<i>Specific Gravity</i>	<i>Tensile Strength</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Strength</i> (GPa)	<i>Modulus of Elasticity</i> [GPa (10^6 psi)]	<i>Specific Modulus</i> (GPa)
Whiskers					
Graphite	2.2	20 (3)	9.1	700 (100)	318
Silicon nitride	3.2	5–7 (0.75–1.0)	1.56–2.2	350–380 (50–55)	109–118
Aluminum oxide	4.0	10–20 (1–3)	2.5–5.0	700–1500 (100–220)	175–375
Silicon carbide	3.2	20 (3)	6.25	480 (70)	150
Fibers					
Aluminum oxide	3.95	1.38 (0.2)	0.35	379 (55)	96
Aramid (Kevlar 49™)	1.44	3.6–4.1 (0.525–0.600)	2.5–2.85	131 (19)	91
Carbon ^a	1.78–2.15	1.5–4.8 (0.22–0.70)	0.70–2.70	228–724 (32–100)	106–407
E-glass	2.58	3.45 (0.5)	1.34	72.5 (10.5)	28.1
Boron	2.57	3.6 (0.52)	1.40	400 (60)	156
Silicon carbide	3.0	3.9 (0.57)	1.30	400 (60)	133
UHMWPE (Spectra 900™)	0.97	2.6 (0.38)	2.68	117 (17)	121
Metallic Wires					
High-strength steel	7.9	2.39 (0.35)	0.30	210 (30)	26.6
Molybdenum	10.2	2.2 (0.32)	0.22	324 (47)	31.8
Tungsten	19.3	2.89 (0.42)	0.15	407 (59)	21.1

Terdapat tiga cara pabrikasi Fibre-Reinforced Composite yang umum digunakan yaitu proses pultrusion, filament winding, dan proses prepreg.

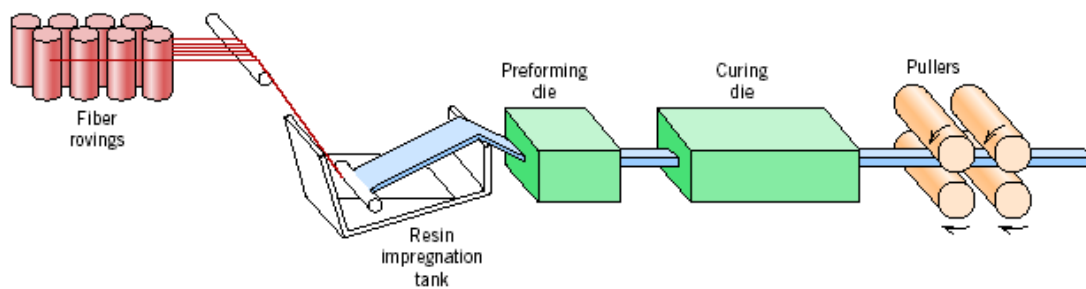
Proses Pultrusion.

Proses pultrusion digunakan untuk memproduksi komponen-komponen yang memiliki panjang yang kontinu dan memiliki luas penampang yang seragam (contohnya batang, tabung, balok).

Pada proses pultrusion diawali dari suatu roving atau tow yaitu gulungan serat sangat panjang yang kendur dan tidak terpintal yang ditarik secara bersamaan dalam posisi paralel. Roving atau tow dari serat ini dilumuri oleh resin termoseting di

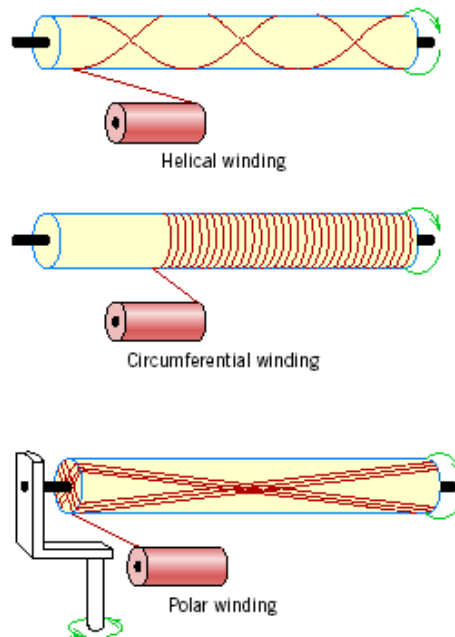
BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)

dalam sebuah tangki pelumuran (resin impregnation tank). Kemudian mereka ditarik melalui sebuah cetakan baja (performing die) untuk membentuk serat menjadi bentuk yang diinginkan dan juga mematangkan resin. Benda kerja selanjutnya dilewatkan pada cetakan yang bertujuan untuk mematangkan dan memberikan bentuk akhir yang dikenal dengan curing die. Mesin roll menarik produk akhir keluar dari curing die.



Gambar 52. Proses Pultrusion

Proses Filament Winding.

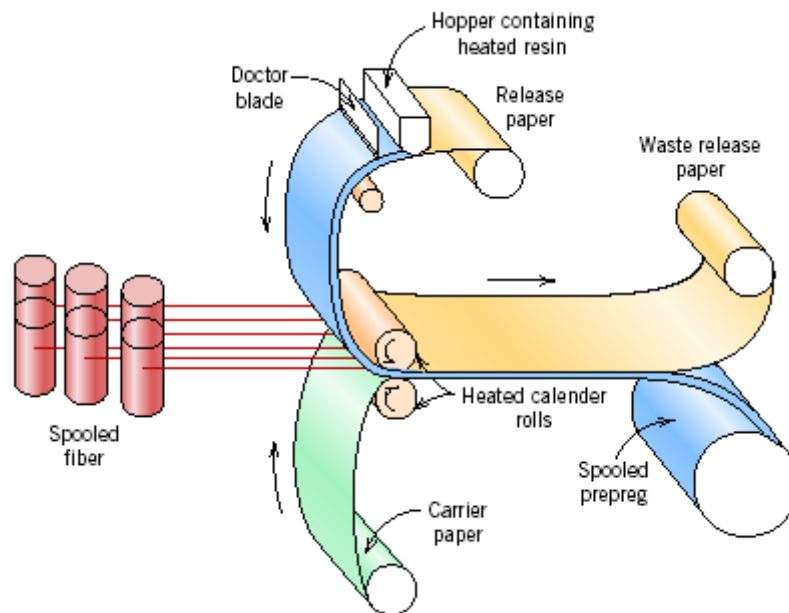


Gambar 53. Skema yang menunjukkan pola filament winding

BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)

Filament winding adalah proses dimana serat panjang diperkuat secara dengan posisi yang akurat di dalam pola tertentu untuk membentuk rongga (biasanya bentuk silindris). Serat yang berbentuk benang mula-mula dilewatkan pada tangki resin kemudian dililitkan pada suatu mandrel menggunakan mesin penggulung otomatis. Setelah dililitkan sehingga terbentuk beberapa lapisan lilitan maka mandrel dilepas dan lapisan lilitan serat dimatangkan di dalam oven.

Proses Prepreg.



Gambar 54. Proses Prepreg

Benang serat (spooled fiber) ditumpuk dan ditekan diantara dua lembaran kertas yaitu release paper dan carrier paper. Release paper adalah kertas yang membawa resin yang akan dilekatkan pada benang serat. Carrier paper adalah kertas yang berfungsi untuk melekatkan benang serat dengan menggunakan resin yang dibawa oleh release paper. Benang serat, release paper, dan carrier paper disatukan dengan cara ditekan menggunakan mesin roll yang dipanaskan (heated calendar rolls). Carrier paper dan benang serat yang telah menjadi satu akan

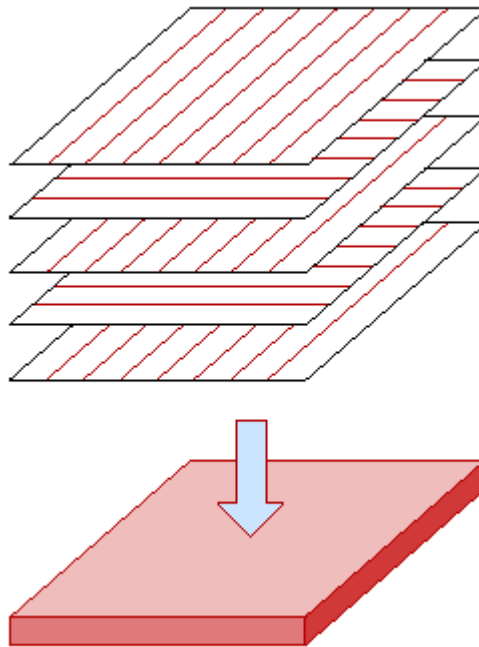
BAB IX KOMPOSIT (COMPOSITE)

digulung menjadi spooled prepreg sedangkan release paper yang telah diambil resinnya akan menjadi kertas limbah (waste release paper).

D. Structural Composite.

1. Komposit laminar (Laminar Composite).

Laminar composite adalah komposit yang terbentuk dari dua atau lebih lapisan-lapisan dengan arah orientasi yang bersilangan antar lapisan yang satu dengan lapisan yang lain.

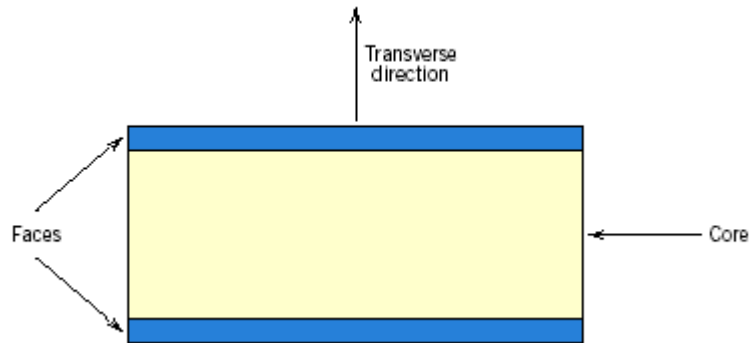


Gambar 55. Laminar Composite

Laminar composite banyak kita jumpai pada produk kain, kertas, kayu lapis dan lain-lain.

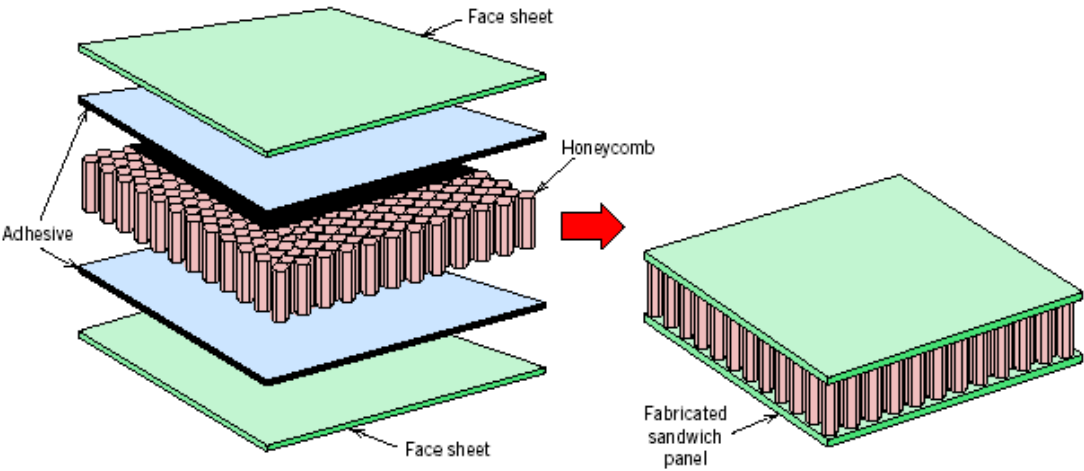
2. Sandwich panels.

Sandwich panel terdiri dari dua lembar bagian luar (face) yang dipisahkan dan direkatkan menggunakan bahan perekat pada bagian inti (core).



Gambar 56. Skema sandwich panel

Lapisan bagian luar terbuat dari material yang lebih kaku dan kuat untuk memberikan kekakuan yang tinggi dan kekuatan pada struktur. Disamping itu lapisan luar juga harus cukup tebal sehingga mampu tahan terhadap tegangan tarik dan desak yang merupakan hasil dari pembebanan. Bagian inti (core) terbuat dari bahan yang ringan dan normalnya memiliki modulus elastisitas yang rendah. Lapisan luar biasanya terbuat dari bahan paduan aluminium, plastik serat yang diperkuat, titanium, baja, atau kayu lapis. Sedangkan bahan pembuat inti dibagi menjadi tiga kelompok besar yaitu busa polimer kaku (contoh phenolic, epoxy, polyurethane), kayu (contoh kayu balsa), dan honeycomb (lihat gambar 57)



Gambar 57. Sandwich panel dengan bahan inti dari honeycomb

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M. F., 1992, *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press.
- Askeland, Donald R., 1998, *The Science and Engineering of Materials*, 3rd ed, PWS-Kent Publishing Co.
- Avallone, Eugene A. dan Baumeister, Theodore III, 1986, *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineering*, 10th ed, McGraw-Hill.
- Callister, William D. Jr., 2007, *Materials Science and Engineering An Introduction*, 5th ed, John Wiley & Sons Inc.
- Callister, William D. Jr., 2007, *Materials Science and Engineering An Introduction*, 7th ed, John Wiley & Sons Inc.
- Djaprie, Sriati., 1990, *Teknologi Mekanik jilid I*, edisi ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Djaprie, Sriati., 1985, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, edisi kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kalpakjian dan Schmid, 2008, *Manufacturing Processes for Engineering Materials*, 5th ed, Pearson Education.
- Rajput, R. K., 2000, *Engineering Materials*, S. Chand & Company LTD, New Delhi.
- Shackelford, James F., 1992, *Introduction to materials Science for Engineers*, 3rd ed, Macmillan Publishing Company.