

BUKU AJAR

ILMU BAHAN

H. Palippui | Hasdinar Umar

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	2
DAFTAR GAMBAR	5
DAFTAR TABEL.....	12
BAB I KLASIFIKASI ILMU BAHAN	14
1.1. Pendahuluan	14
1.2. Ilmu Bahan.....	14
1.3. Klasifikasi Ilmu Bahan.....	15
1.3.1. Logam	15
1.3.2. Keramik	29
1.3.3. Polimer.....	31
1.3.4. Komposit	37
BAB II STRUKTUR DAN JENIS IKATAN ATOM	44
2.1. Pendahuluan	44
2.2. Teori Atom.....	44
2.3. Bilangan Kuantum.....	49
2.4. Konfigurasi Elektron.....	53
2.5. Sistem Periodik Unsur	54
2.6. Ikatan Primer.....	59
2.7. Ikatan Sekunder	65
BAB III STRUKTUR PADATAN.....	71
3.1. Pendahuluan	71
3.2. Kristal	71
3.3. Struktur Kristal Logam.....	72
3.4. Sistem Kristal.....	78
3.5. Arah Kristal	81
3.6. Bidang Kristal.....	84
3.7. Struktur Kristal Logam.....	87
3.8. Struktur Kristal Keramik.....	90
3.9. Struktur Kristal Polimer	96
3.10. Struktur Kristal Semikonduktor.....	97
BAB IV KETIDAKSEMPURNAAN DALAM PADATAN	100
4.2. Cacat Titik (<i>Point Defect</i>)	100

4.1.2.	Spesifikasi Komposisi.....	106
4.3.	Dislokasi - Cacat Linear	108
4.4.	Cacat Antarmuka.....	111
4.5.	Cacat Tiga Dimensi	114
BAB V DIAGRAM FASA.....		119
5.1.	Pendahuluan	119
5.2.	Keseimbangan Fasa.....	119
5.3.	Diagram Fasa Tunggal (<i>Unary</i>).....	121
5.4.	Diagram Fasa Biner	122
5.5.	Interpretasi Diagram Fasa	124
5.6.	Pengembangan Struktur Mikro Pada Paduan Isomorf.....	127
5.7.	Sifat Mekanik Paduan Isomorf	131
5.8.	Sistem Autektik Biner	131
5.9.	Senyawa Menengah	134
5.10.	Reaksi Eutektoid Dan Paritektik.....	136
5.11.	Transformasi Fasa Kongruen.....	137
5.12.	Diagram Fasa Terner.....	138
5.13.	Aturan Fase Gibbs	139
BAB VI SIFAT - SIFAT BAHAN		145
6.1.	Pendahuluan	145
6.2.	Sifat Mekanik.....	146
6.2.1.	Tegangan dan Regangan.....	146
6.2.2.	Elastisitas Material	154
6.2.3.	Kekuatan Luluh.....	157
6.2.4.	Kekuatan Tarik	158
6.2.5.	Keuletan.....	159
6.2.6.	Ketangguhan.....	160
6.2.7.	Kekerasan	162
6.3.	Sifat Listrik.....	162
6.3.1.	Konduktor	162
6.3.2.	Isolator	168
6.3.3.	Semikonduktor	173
6.3.4.	Superkonduktor	174
6.4.	SIFAT MAGNET.....	179
6.4.1.	Ferromagnetik	179

6.4.2.	Ferrimagnetik	179
6.4.3.	Diamagnetik dan Paramagnetik	182
6.5.	Sifat Elektrokimia Bahan	184
6.5.1.	Persamaan Dasar.....	187
6.5.2.	Sel Elektrokimia.....	189
6.5.3.	Resistensi Sel.....	192
DAFTAR PUSTAKA		196

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Contoh Logam dan Paduannya	15
Gambar 1. 2.	Aliran Proses Produksi Besi dan Baja	16
Gambar 1. 3.	Konstruksi Dapur Tanur Tinggi	16
Gambar 1. 4.	Contoh Bijih Besi : Himatite	17
Gambar 1. 5.	Pig Iron	17
Gambar 1. 6.	Struktur Mikro Besi Cor Abu-Abu Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 500x	17
Gambar 1. 7.	Struktur Mikro Besi Cor Ulet Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 200X	18
Gambar 1. 8.	Struktur Mikro Besi Cor Putih Menggunakan Mikroskop Optik dengan Perbesaran 400 X	19
Gambar 1. 9.	Struktur Mikro Besi Cor Tempa Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 150X	19
Gambar 1. 10.	Struktur Mikro Besi Cor Padat Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 100X	20
Gambar 1. 11.	Pengolahn tembaga	24
Gambar 1. 12.	Proses pengolahan aluminum.....	26
Gambar 1. 13.	Proses pengolahan magnesium	27
Gambar 1. 14.	Bagian Keramik	29
Gambar 1. 15.	Molekul Berulang (Repeating unit).....	31
Gambar 1. 16.	Struktur Polimer.....	31
Gambar 1. 17.	Ilustrasi sederhana material komposit.....	37
Gambar 1. 18.	Skema menunjukkan berbagai macam bentuk geometri dari partikel yang dapat mempengaruhi sifat komposit komposit (a)konsentrasi, (b) ukuran, (c) bentuk (d) distribusi dan (e) orientasi	38
Gambar 1. 19.	Klasifikasi komposit	38
Gambar 1. 20.	Proses Pultrusion	40
Gambar 1. 21.	Skema yang menunjukkan pola filament winding	40
Gambar 1. 22.	Proses Prepreg.....	41
Gambar 1. 23.	Laminar Composite	41
Gambar 1. 24.	Skema sandwich panel.....	42
Gambar 1. 25.	Snadwich panel dengan bahan inti dari honeycomb	42
Gambar 2. 1.	Model Atom Dalton.....	45
Gambar 2. 2.	Tabung Lucutan Sinar Katoda	46
Gambar 2. 3.	Model Atom J.J Thomson.....	46
Gambar 2. 4.	Model Atom Rutherford	47
Gambar 2. 5.	Model Atom Neils Bohr	48
Gambar 2. 6.	Representasi skema dari atom Bohr	49

Gambar 2. 7.	Tiga elektron pertama keadaan energi untuk atom hidrogen Bohr. (b) Keadaan energi elektron untuk tiga yang pertama kulit atom hidrogen mekanik gelombang.	49
Gambar 2. 8.	Perbandingan model atom mekanik gelombang (a) Bohr dan (b) dalam istilah distribusi elektron.	50
Gambar 2. 9.	Bentuk bulat dari s orbital elektron.....	51
Gambar 2. 10.	Orientasi dan bentuk (a) px, (b) py, dan (c) pz orbital elektron.....	51
Gambar 2. 11.	Skema representasi kerabat energi elektron untuk berbagai cangkang dan subkulit.....	52
Gambar 2. 12.	Representasi skematik dari keadaan energi terisi dan energi tak terisi terendah untuk a atom natrium.....	52
Gambar 2.13.	Tabel periodik unsur angka dalam kurung adalah berat atom yang paling banyak isotop stabil atau umum.	55
Gambar 2. 14.	Nilai keelektronegatifan unsur.	56
Gambar 2. 15.	Gambaran skematis dari (a) pembentukan ion Na ⁺ dan Cl ⁻ dan (b) ikatan ion dalam natrium klorida (NaCl).....	60
Gambar 2.16.	Representasi skematik kovalen ikatan dalam molekul hidrogen (H ₂)	61
Gambar 2.17.	Diagram skema yang menunjukkan terbentuknya sp ³ Hibrida orbital dalam karbon.....	63
Gambar 2.18.	Skema diagram yang menunjukkan empat sp ³ orbital hibrid yang menunjuk ke sudut-sudut tetrahedron; sudut antar orbital adalah 109,5°.	63
Gambar 2.19.	Skema diagram yang menunjukkan ikatan karbon sp ³ orbital hibrid ke Orbital 1s dari empat atom hidrogen dalam molekul metana (CH ₄).	63
Gambar 2.20.	Diagram skematis menunjukkan tiga orbital sp ² coplanar dan menunjuk ke sudut segitiga sudut antara orbital berdekatan adalah 120°	64
Gambar 2.21.	Pembentukan segi enam dengan ikatan enam segitiga sp ² satu sama lain.....	64
Gambar 2.22.	Ilustrasi skema ikatan logam.....	65
Gambar 2.23.	Representasi skematis dari (a) atom simetris elektrik dan (b) bagaimana dipol listrik menginduksi atom/ molekul simetris elektrik menjadi dipol juga ikatan van der Waals antara dipol.	66
Gambar 2.24.	Representasi skematis dari (a) molekul hidrogen klorida (dipol) dan (b) bagaimana molekul HCl menginduksi atom/ molekul yang simetris secara elektrik menjadi dipol serta ikatan van der Waals antara dipol ini	66
Gambar 2.25.	Representasi skematis hidrogen ikatan hidrogen fluorida (HF).....	67
Gambar 3.1.	Untuk struktur kristal kubik berpusat muka, (a) representasi sel satuan bola keras, (b) sel satuan bola tereduksi, dan (c) kumpulan banyak atom.	72
Gambar 3.2.	Untuk struktur kristal kubik berpusat pada badan, (a) representasi sel satuan bola keras, (b) sel satuan bola tereduksi, dan (c) kumpulan banyak atom.	74
Gambar 3.3.	Untuk struktur kristal kubik sederhana, (a) sel satuan bola keras, dan (b) sel satuan bola tereduksi.....	75
Gambar 3.4.	Untuk struktur kristal padat heksagonal, (a) sel satuan bola tereduksi dan (b) kumpulan banyak atom.	76

Gambar 3.5.	Berbagai unit struktural yang menggambarkan struktur kristal skematik. Satuan struktural yang paling sederhana adalah sel satuan.	78
Gambar 3.6.	Geometri sel satuan umum.	78
Gambar 3.7.	Kisi kubik sederhana menjadi struktur kristal kubik sederhana ketika sebuah atom ditempatkan pada setiap titik kisi	79
Gambar 3.8.	14 kisi Bravais	80
Gambar 3.9.	q , r , dan s berkoordinasi di titik P dalam sel satuan ditentukan. Indeks q (yang merupakan pecahan) sesuai dengan jarak q_a sepanjang sumbu x , di mana a adalah panjang tepi sel satuan. Masing-masing indeks r dan s untuk sumbu y dan z adalah ditentukan sama.....	80
Gambar 3.10.	Arah $[100]$, $[110]$, dan $[111]$ di dalam sel satuan.....	82
Gambar 3.11.	Sistem sumbu koordinat untuk sel satuan heksagonal: (a) Miller-Bravais empat sumbu; (b) tiga sumbu.	82
Gambar 3.12.	Untuk sistem kristal heksagonal, arah $[0001]$, $[1100]$, dan $[1120]$	83
Gambar 3.13.	Representasi dari deret masing-masing bidang kristalografi (a) (001) , (b) (110) , dan (c) (111) bidang kristalografi	85
Gambar 3.14.	(a) Sel unit FCC bola tereduksi dengan bidang (110) . (b) Kemasan atom dari bidang FCC (110)	85
Gambar 3.15.	(a) Sel unit BCC bola tereduksi dengan bidang (110) . (b) Kemasan atom dari bidang BCC (110) . Posisi atom yang sesuai dari (a) ditunjukkan.....	86
Gambar 3.16.	Untuk sistem kristal heksagonal, bidang (0001) , (1011) , dan (1010)	86
Gambar 3.17.	Struktur kubus pusat tubuh (bcc) untuk logam yang menunjukkan (a) susunan titik kisi untuk sel satuan (b) pengepakan atom yang sebenarnya (c) pengulangan bcc struktur,	88
Gambar 3.18.	Struktur kubus berpusat muka (fcc) untuk logam yang menunjukkan (a) pengaturan titik-titik kisi untuk sel satuan, (b) pengepakan atom yang sebenarnya di dalam sel satuan, dan (c) struktur fcc yang berulang	88
Gambar 3.19.	Struktur heksagonal close-packed (hcp) untuk logam menunjukkan (a) susunan pusat atom relatif terhadap titik kisi untuk sel satuan. (b) Pengepakan atom yang sebenarnya di dalam sel satuan. (c) Struktur hcp berulang.....	89
Gambar 3.20.	Perbandingan struktur fcc dan hcp.	89
Gambar 3.21.	Sel satuan cesium klorida (CsCl) menunjukkan (a) posisi ion dan dua ion per titik kisi dan (b) ion ukuran penuh.	90
Gambar 3.22.	Struktur natrium klorida (NaCl) menunjukkan (a) posisi ion dalam sel satuan, (b) ion ukuran penuh, dan (c) banyak sel satuan yang berdekatan	91
Gambar 3.23.	Sel satuan fluorit (CaF_2) menunjukkan (a) posisi ion dan (b) ion ukuran penuh.	91
Gambar 3.24.	Sel satuan kristobalit (SiO_2) menunjukkan (a) posisi ion, (b) ion ukuran penuh, dan (c) konektivitas SiO_4 –tetrahedra.....	92
Gambar 3.25.	Banyak bentuk kristalografi SiO_2 stabil karena dipanaskan dari suhu kamar ke suhu leleh.....	92

Gambar 3.26.	Sel satuan korundum (Al_2O_3) ditunjukkan ditumpangkan pada tumpukan berulang lapisan ion O^{2-} padat.....	93
Gambar 3.27.	Tampilan meledak dari sel satuan kaolinit, $2(OH)_4Al_2Si_2O_5$	94
Gambar 3.28.	Tampilan detail sel unit grafit (C).	95
Gambar 3.29.	(a) molekul C_{60} , atau bola bucky. (b) Susunan silinder cincin heksagonal atom karbon, atau buckytube.....	95
Gambar 3.30.	Grafena terlihat setara dengan lapisan grafit tunggal.....	96
Gambar 3.31.	(a) Susunan rantai polimer dalam sel satuan polietilen. (b) Pola seperti tenunan dari rantai polimer terlipat yang terjadi pada tromboisit kristal tipis polietilen.....	97
Gambar 3.32.	Sel satuan kubik berlian menunjukkan (a) posisi atom. (b) Pengemasan atom ukuran penuh yang sebenarnya terkait dengan sel satuan.	98
Gambar 3.33.	Sel satuan campuran seng (ZnS) menunjukkan (a) posisi ion. (b) Pengemasan sebenarnya dari ion ukuran penuh yang terkait dengan sel satuan.....	98
Gambar 4.1.	Representasi skematis kation dan kekosongan anion dan interstisial kation	101
Gambar 4.2.	Diagram skematis menunjukkan Cacat Frenkel dan Schottky pada padatan ionik.	101
Gambar 4.3.	Representasi skema dari kekosongan Fe^{2+} dalam FeO yang dihasilkan dari pembentukan dua ion Fe^{3+}	102
Gambar 4.4.	Representasi skema dua dimensi dari atom pengotor substitusi dan interstisial.	103
Gambar 4.5.	Lokasi situs interstisial tetrahedral dan oktahedral dalam (a) FCC dan (b) sel unit BCC.	105
Gambar 4.6.	Posisi atom di sekitar dislokasi tepi ekstra setengah bidang atom yang ditunjukkan dalam perspektif.....	109
Gambar 4.7.	(a) Dislokasi ulir di dalam kristal. (b) Dislokasi sekrup pada (a) dilihat dari atas.	109
Gambar 4.8.	(a) Representasi skematis dari dislokasi yang memiliki tepi, sekrup, dan karakter campuran. (b) Tampak atas, di mana lingkaran terbuka menunjukkan posisi atom di atas bidang slip dan lingkaran padat,	110
Gambar 4.9.	Sebuah mikrograf elektron transmisi dari paduan titanium di mana garis-garis gelap dislokasi, $50.000 \times$	110
Gambar 4.10.	Diagram skema yang menunjukkan batas butir kecil dan sudut tinggi serta posisi atom yang berdekatan	112
Gambar 4.11.	Demonstrasi bagaimana batas kemiringan memiliki sudut θ misorientasi hasil dari keselarasan dislokasi tepi.	112
Gambar 4.12.	Diagram skema yang menunjukkan bidang atau batas kembar dan posisi atom yang berdekatan (lingkaran berwarna)	113
Gambar 4.13.	Skema dua dimensi memberikan perbandingan (a) oksida kristal dan (b) oksida nonkristalin	114

Gambar 4.14.	Model Bernal dari struktur logam amorf. Susunan atom yang tidak beraturan direpresentasikan sebagai kumpulan polihedra yang terhubung.....	115
Gambar 4.15.	Pengotor kimia seperti Na^+ adalah pengubah kaca, memecah jaringan acak dan meninggalkan ion oksigen yang tidak menjembatani.	115
Gambar 4.16.	Ilustrasi skema pemesanan jarak menengah dalam gelas CaO SiO_2 . Oktahedra CaO_6 yang berbagi tepi telah diidentifikasi dengan eksperimen difraksi neutron.....	116
Gambar 5. 1.	Diagram fase Suhu Tekanan untuk H_2O	121
Gambar 5. 2.	(a) Diagram fase nikel tembaga. (b) Bagian dari diagram fase nikel tembaga yang komposisi dan jumlah fasenya ditentukan pada titik B.	123
Gambar 5. 3.	Representasi skema dari pengembangan struktur mikro selama pematatan kesetimbangan dari paduan 35 wt% Ni-65 wt% Cu.	128
Gambar 5. 4.	Representasi skematis dari pengembangan mikrostruktur selama pematatan nonequilibrium dari paduan Cu 35 wt% berat Ni 65 wt%.....	129
Gambar 5. 5.	Untuk sistem tembaga-nikel, (a) kekuatan tarik versus komposisi dan (b) keuletan (%EL) versus komposisi pada suhu kamar.....	131
Gambar 5. 6.	Diagram fase tembaga perak.....	132
Gambar 5. 7.	Diagram Fase Timah.....	133
Gambar 5. 8.	diagram fase tembaga-seng.....	135
Gambar 5. 9.	Diagram fase magnesium-timbal.....	135
Gambar 5. 10.	Wilayah diagram fase tembaga-seng yang telah diperbesar untuk menunjukkan titik eutektoid dan peritektik, masing-masing diberi label E (560 °C, 74% berat Zn) dan P (598 °C, 78,6% berat Zn).....	137
Gambar 5. 11.	Bagian dari diagram fase nikel-titanium yang menunjukkan titik leleh kongruen untuk larutan padat fase γ pada 1310 °C dan 44,9% berat Ti.....	137
Gambar 5. 12.	Diagram fase Ti-O-Cl pada 1 bar dan 1273 K, diplot dengan dua sumbu potensial.	138
Gambar 5. 13.	Diagram fase Ce-O-S pada 1 bar dan 1273 K, diplot dengan dua sumbu potensial.	138
Gambar 5. 14.	Diagram fasa Cu-O-S dipotong pada 1 bar dan potensial SO_2 sama dengan potensial gas SO_2 murni 1 bar.	139
Gambar 5. 15.	Bagian kaya tembaga yang diperbesar dari diagram fase Cu-Ag di mana aturan fase Gibbs untuk koeksistensi dua fase (α dan L) yang ditunjukkan.	141
Gambar 6. 1.	(a) Ilustrasi skematis tentang bagaimana beban tarik dihasilkan perpanjangan dan regangan linier positif. (b) Ilustrasi skematis tentang bagaimana beban tekan menghasilkan kontraksi dan regangan linier negatif. (c) Representasi skema regangan geser γ , dimana $\gamma = \tan \theta$. (d) Representasi skema deformasi torsional.	147
Gambar 6. 2.	Spesimen tarik standar dengan penampang melingkar.....	148
Gambar 6. 3.	Representasi skematis dari peralatan yang digunakan untuk melakukan uji tegangan-regangan tarik.....	149

Gambar 6. 4.	Representasi skematis yang menunjukkan tegangan normal (σ') dan geser (τ') yang bekerja pada bidang yang berorientasi pada sudut relatif terhadap bidang yang diambil tegak lurus terhadap arah di mana tegangan tarik murni (σ) diterapkan.....	150
Gambar 6. 5.	Diagram tegangan-regangan skema yang menunjukkan deformasi elastis linier untuk siklus bongkar muat	152
Gambar 6. 6.	Diagram tegangan-regangan skema yang menunjukkan perilaku elastis nonlinier dan bagaimana modulus garis potong dan tangen ditentukan	152
Gambar 6. 7.	Gaya versus pemisahan antar atom untuk atom yang terikat lemah dan kuat. Besarnya modulus elastisitas sebanding dengan kemiringan setiap kurva pada kesetimbangan pemisahan interatomik r_0	153
Gambar 6. 8.	Plot modulus elastisitas versus suhu untuk tungsten, baja dan aluminium.	154
Gambar 6. 9.	Ilustrasi skema yang menunjukkan perpanjangan aksial (z) (regangan positif, ϵz) dan kontraksi lateral (x) (regangan negatif, x) yang dihasilkan dari penerapan tegangan tarik aksial (σz).....	154
Gambar 6. 10.	(a) Perilaku tegangan-regangan khas untuk tampilan logam deformasi elastis dan plastis, batas proporsional P , dan kekuatan luluh σ_y , sebagaimana ditentukan dengan menggunakan metode offset regangan 0,002. (b) Perilaku tegangan-regangan representatif yang ditemukan untuk beberapa baja yang menunjukkan fenomena titik leleh.	157
Gambar 6. 11.	Perilaku tegangan-regangan teknik yang khas untuk patah, titik F	158
Gambar 6. 12.	Representasi skema dari perilaku tegangan-regangan tarik untuk logam getas dan ulet yang dibebani hingga patah	159
Gambar 6. 13.	Rekayasa perilaku tegangan-regangan untuk besi pada tiga suhu.....	161
Gambar 6. 14.	Representasi skematis menunjukkan bagaimana modulus ketahanan (sesuai dengan daerah yang diarsir) ditentukan dari perilaku tegangan-regangan tarik suatu material.....	161
Gambar 6. 15.	Skema rangkaian untuk mengukur konduktivitas listrik.....	163
Gambar 6. 16.	Variasi konduktivitas listrik dengan suhu untuk beberapa logam.	165
Gambar 6. 17.	Variasi resistivitas listrik dengan suhu untuk logam yang sama ditunjukkan pada Gambar 13.10.....	166
Gambar 6. 18.	Variasi resistivitas listrik dengan komposisi untuk berbagai paduan tembaga dengan sedikit penambahan unsur	167
Gambar 6. 19.	Variasi resistivitas listrik dengan variasi komposisi besar dalam sistem paduan tembaga emas.....	167
Gambar 6. 20.	Kapasitor pelat paralel melibatkan isolator, atau dielektrik, antara dua elektroda logam.....	168
Gambar 6. 21.	(a) Tampak depan struktur kubik $BaTiO_3$. (b) Di bawah $120^\circ C$, sebuah tetragonal terjadi perubahan struktur.....	170
Gambar 6. 22.	Sel satuan tetragonal yang ditunjukkan pada Gambar 13.21(b) setara dengan dipol listrik (dengan besarnya sama dengan muatan kali jarak pemisahan).....	170

Gambar 6. 23. Pada plot polarisasi (P) versus kekuatan medan listrik (E), bahan paraelektrik hanya menunjukkan tingkat polarisasi sederhana dengan medan listrik yang diterapkan.....	170
Gambar 6. 24. Loop histeresis feroelektrik adalah hasil dari medan listrik bolak-balik. Garis putus-putus. menunjukkan polarisasi spontan awal yang diilustrasikan pada Gambar 13.23.....	171
Gambar 6. 25. Menggunakan ilustrasi skema transduser piezoelektrik, kita melihat bahwa (a) dimensi sel satuan dalam kristal piezoelektrik diubah oleh stres, sehingga mengubah dipol listriknya	173
Gambar 6. 26. Aplikasi umum bahan piezoelektrik adalah dalam transduser ultrasonik....	173
Gambar 6. 27. Plot gaya gerak listrik termokopel (= V_{12} pada Gambar 13.14).....	175
Gambar 6. 28. Resistivitas merkuri turun tiba-tiba menjadi nol pada suhu kritis, T_c (= 4,12 K). Di bawah T_c , merkuri adalah superkonduktor	175
Gambar 6. 29. Nilai T_c tertinggi terus meningkat seiring waktu sampai pengembangan superkonduktor keramik-oksida pada tahun 1986.....	176
Gambar 6. 30. Resistivitas $YBa_2Cu_3O_7$ sebagai fungsi suhu, menunjukkan $T_c \approx 95$ K.....	177
Gambar 6. 31. (a) Sel satuan $YBa_2Cu_3O_7$. Ini kira-kira setara dengan tiga sel unit perovskit terdistorsi dari jenis yang ditunjukkan untuk (b) $CaTiO_3$	177
Gambar 6. 32. Representasi skema penyelarasan antiparalel momen magnetik spin untuk oksida mangan antiferromagnetik.	180
Gambar 6. 33. Diagram skematis yang menunjukkan momen magnet spin konfigurasi ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} dalam Fe_3O_4	180
Gambar 6. 34. (a) Konfigurasi dipol atom untuk bahan diamagnetik dengan dan tanpa medan magnet. Dengan tidak adanya medan eksternal, tidak ada dipol dikehadiran medan, dipol diinduksi yang sejajar berlawanan dengan arah medan. (b) Konfigurasi dipol atom dengan dan tanpa medan magnet luar untuk bahan paramagnetik.	183
Gambar 6. 35. Representasi skema dari kerapatan fluks B versus kekuatan medan magnet H untuk bahan diamagnetik dan paramagnetik.....	183
Gambar 6. 36. Konvensi voltammogram Amerika (kiri) dan IUPAC (kanan).....	187
Gambar 6. 37. Sel elektrokimia elektrolisis.....	190
Gambar 6. 38. Sel elektrokimia galvanik	191
Gambar 6. 39. Elektroda terpolarisasi ideal dalam teori (garis putus-putus) dan dalam praktik (garis padat)	193
Gambar 6. 40. Lapisan ganda listrik (diadaptasi dari referensi (3), dengan izin).....	194
Gambar 6. 41. Representasi skema dari sel elektrokimia dua elektroda (kiri) dan tiga elektroda (kanan).	195
Gambar 6. 42. Representasi skema dari sel elektrokimia sebagai potensiostat.....	195

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1.	Sifat dan komposisi besi cor abu-abu, ulet, tempa dan padat.....	18
Tabel 1. 2.	Komposisi Beberapa Baja Karbon	20
Tabel 1. 3.	Karakterisrik Baja Karbon Rendah.....	21
Tabel 1. 4.	Tata Nama Baja Karbon Menurut AISI/SAE dan UNS	22
Tabel 1. 5.	Komposisi Baja Karbon Tinggi	22
Tabel 1. 6.	Komposisi dan Sifat Mekanik Stanless Steel.....	23
Tabel 1. 7.	Komposisi Beberapa Paduan Tembaga	24
Tabel 1. 8.	Komposisi dan Penggunaan Logam Aluminium	26
Tabel 1. 9.	Komposisi dan Penggunaan Logam Magrnesium.....	28
Tabel 1. 10.	Sifat dan Komposisi Titanium	28
Tabel 1. 11.	Komposisi Material Kaca.....	30
Tabel 1. 12.	Bahan Refractori.....	30
Tabel 1. 13.	Komposisi Struktur Molekul Senyawa Hidrokarbon.....	32
Tabel 1. 14.	Kelompok Hidrokarbon.....	32
Tabel 1. 15.	Daftar Repeat Unit dari Beberapa Jenis Polimer	33
Tabel 1. 16.	Daftar Repeat unit dari beberapa jennis pelimer (lanjutan)	33
Tabel 1. 17.	Sifat Mekanik Bahan Polimer	34
Tabel 1. 18.	Perbandingan antara material termoplastik dan termoseting	35
Tabel 1. 19.	Material plastik dan aplikasinya	37
Tabel 1. 20.	Karakteristik beberapa Fiber-Reinforced Composite.....	39
Tabel 2. 1.	Neutron Memiliki Massa yang sama dengan Proton dan Secara Elektrik Netral	48
Tabel 2. 2.	Ringkasan Hubungan Antara Bilangan Kuantum n , l , m_l dan Jumlah Orbital dan Elektron	50
Tabel 2. 3.	Elektron yang Diharapkan Konfigurasi untuk Beberapa Umum Elemen.....	54
Tabel 2. 4.	Energi Ikatan dan Suhu Mencair untuk Berbagai Zat.....	61
Tabel 3. 1.	Jari-jari atom dan Struktur Kristal untuk 16 Logam.....	73
Tabel 3. 2.	Tujuh Sismtem Kristal.....	79
Tabel 3. 3.	Skema penunjukkan tiga set koordinat	83
Tabel 3. 4.	Ringkasan Persamaan yang Digunakan untuk Menentukan Titik Kristalografi, Arah, dan Indeks Planar	87
Tabel 3. 5.	Hubungan antara Ukuran Sel Satuan (Panjang Tepi) dan Jari-jari Atom untuk Struktur Logam Umum	89
Tabel 6. 1.	Moduli Elastis dan Geser Suhu Kamar dan Rasio Poisson untuk Berbagai Paduan Logam.....	151
Tabel 6. 2.	Sifat Mekanik Khas dari Beberapa Logam dan Paduan dalam Keadaan Anil ..	160
Tabel 6. 3.	Data Tegangan - Regangan Tarik untuk Beberapa Logam Hipotetis yang Akan Digunakan dengan Pemeriksaan Konsep 6.2 dan 6.4.....	162
Tabel 6. 4.	Konduktivitas Listrik Beberapa Bahan pada Suhu Kamar.....	164

Tabel 6. 5. Resistivitas dan Koefisien Resistivitas Suhu untuk Beberapa Konduktor Logam.....	166
Tabel 6. 6. Konstanta Dielektrik dan Kekuatan Dielektrik untuk Beberapa Isolator.....	169
Tabel 6. 7. Sifat Beberapa Semikonduktor Umum pada Suhu Kamar (300 K)	174
Tabel 6. 8. Sistem Termokopel Umum.....	174
Tabel 6. 9. Distribusi momen magnet spin untuk ion fe^{2+} dan fe^{3+} dalam sel satuan $fe_3O_4^a$	181
Tabel 6. 10. Momen magnetik untuk enam negara.....	181
Tabel 6. 11. Suseptibilitas magnetik suhu kamar untuk bahan diamagnetik dan paramagnetik.....	184

BAB I

KLASIFIKASI

ILMU BAHAN

Informasi Bab 1.

Sasaran pembelajaran dari bab ini yaitu mahasiswa yang telah memprogramkan mata kuliah Ilmu Bahan. Mengikuti Bab 1 ini tidak ada ketentuan yang menjadi prasyarat kemampuan dari mahasiswa. Materi ini menjadi dasar dalam mengklasifikasikan bahan material. Setelah mempelajari Bab ini mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan dan memahami jenis-jenis dari bahan material teknik yang biasa digunakan dalam bidang *engineering*. Materi bab ini terdiri dari definisi, klasifikasi dan jenis-jenis dari bahan material teknik. Bentuk pembelajaran kuliah disajikan dengan metode diskusi secara luring. Kriteria, bentuk dan bobot penilaian diuraikan di RPS (Rancangan Pembelajaran Semester Mata Kuliah Ilmu Bahan).

1.1. Pendahuluan

Dari zaman dahulu hingga sekarang bahan atau material merupakan kebutuhan bagi manusia. Kebutuhan manusia selalu berhubungan dengan kebutuhan-kebutuhan seperti transportasi, pakaian, rumah, produk makanan, transportasi dan sebagainya.

Perkembangan dari peradaban manusia dapat diukur dengan kemampuannya memproduksi dan mengolah bahan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Pada tahap awal manusia hanya mampu mengolah bahan apa yang ada di alam seperti batu, kayu, tanah, kulit dan lainnya. Dengan perkembangan peradaban manusia bahan tersebut dapat diolah dan menghasilkan kulit yang jauh lebih baik dan tinggi.

1.2. Ilmu Bahan

Material science (Ilmu bahan) merupakan ilmu yang mempelajari mengenai hubungan antara struktur dari material dengan sifat-sifatnya. *Material engineering* (Rekayasa material) merupakan dasar dari hubungan antar struktur dan sifat bahan, mendesain struktur bahan untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan, struktur bahan merupakan pengaturan/susunan elemen-elemen yang ada di dalam bahan tersebut. Tujuan dari struktur bahan tersebut dapat dibedakan atas beberapa bagian, diantaranya:

1. Struktur subatomik ditinjau berdasarkan susunan elektron dengan inti
2. Level atom yang lihat dari pengaturan atom atau molekul satu sama lain
3. Mikroskopik ditinjau dari sekumpulan atom
4. Struktur makroskopik dapat dilihat dengan menggunakan mata telanjang.

Agar memenuhi syarat material dalam sebuah produk memiliki beberapa sifat seperti kekuatan, kekerasan, warna, densitas, konduktivitas dan lainnya, material juga memiliki berbagai tipe dengan karakteristik yang berbeda. Sarjana teknik harus mengerti mengenai prinsip-prinsip dasar dalam menilai suatu produk yang akan

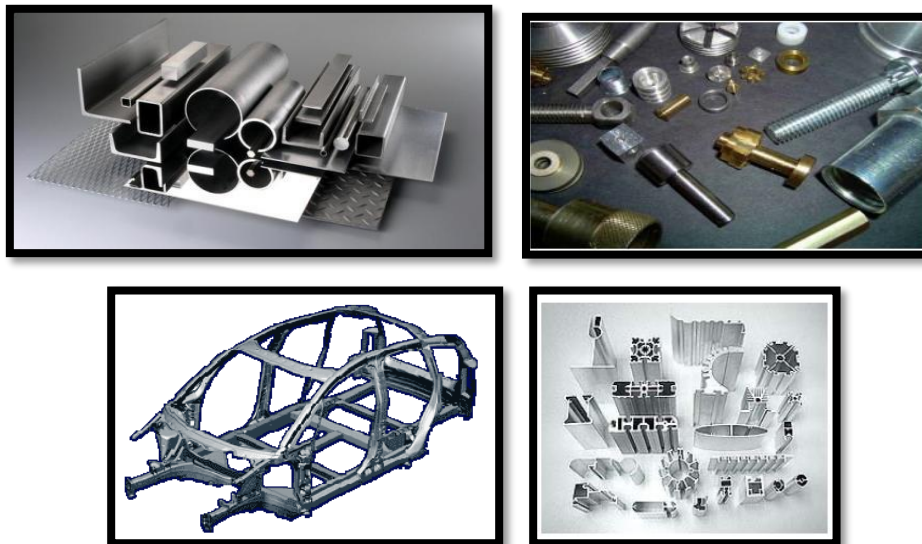
didesain atau dimodifikasi yang mencakup sifat-sifat material. Terdapat enam kategori dalam menilai sifat suatu material atau bahan nilai ditinjau dari kemampuannya dalam menerima perlakuan:

1. Sifat mekanik
2. Sifat listrik
3. Sifat termal/panas
4. Sifat magnet
5. Sifat optik
6. Sifat deterioratif (penerunan kualitas)

1.3. Klasifikasi Ilmu Bahan

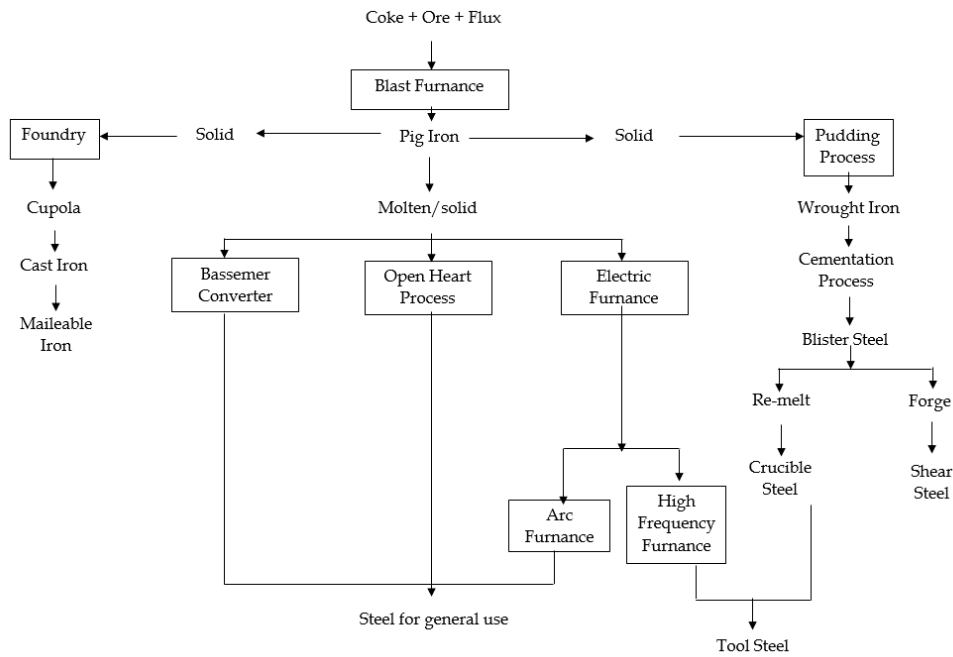
1.3.1. Logam

Logam merupakan bahan yang terdiri dari kristal-kristal (Policristalin) dengan ukuran yang beragam 10^{-1} - 10^{-14} cm. Berdasarkan prosesnya ada kristal yang memiliki bentuk teratur (kristalit) dan yang tidak teratur (amorf). Logam murni memiliki kekuatan yang rendah sehingga jarang digunakan dalam bidang teknik dan banyak yang memadukan logam murni yang biasa dengan logam paduan (*alloy*). Logam paduan diproduksi dengan melelehkan dua atau lebih logam murni atau non-logam secara bersamaan. Logam dikenal sebagai konduktor yang baik dan kelistrikannya yang tinggi. Logam tidak transparan atau tembus cahaya serta relatif berat dan mudah untuk dibentuk. Logam besi (Ferrous) merupakan suatu logam dan paduan yang mengandung besi (Fe) sebagai unsur utama. Contoh: baja, tembaga, aluminium, kuningan, perunggu dan lain-lain.



Gambar 1. 1. Contoh Logam dan Paduannya

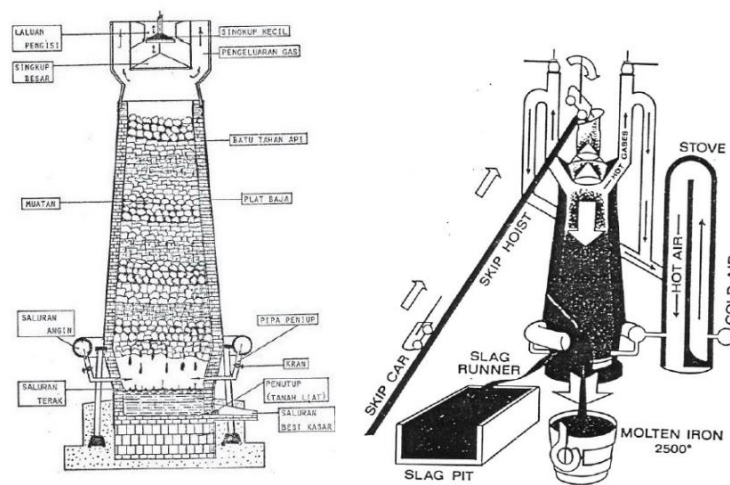
Aliran dari proses produksi logam seperti besi (*iron*) dan baja (*steel*) dapat dilihat pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2. Aliran Proses Produksi Besi dan Baja

A. Besi Kasar (Pig Iron)

Besi kasar dihasilkan dalam dapur tanur tinggi (*blast furnace*) dengan diameter sekita 8 m dan tinggi 60 m. Kapasitas tanur ini antara 700 – 1600 Mg besi kasar. Bahan baku yang terdiri dari campuran bijih besi, kokas (*coke*) dan batu kapur (*limestone*). Terdapat dua buah singkup yaitu singkup kecil terletak di bagian atas (*upper bell*) dan singkup besar terletak di bagian bawah (*lower bell*). Fungsi singkup ini untuk mengontrol proses masuknya bahan mentah kedalam tanur tinggi. Singkup ini juga bermanfaat untuk meminimalkan hilangnya gas panas dari dalam dapu tanur tinggi. Untuk menghasilkan 1000 Mg besi kasar diperlukan 2000 Mg bijih besi, 800 Mg kokas, 500 Mg batu kapur dan 4000 Mg udara panas. Bahan baku tersebut tersusun secara berlapis-lapis. Pada bagian terbawah adalah kokas, selanjutnya adalah batu kapur dan yang paling bawah adalah bijih besi. Kokas berfungsi sebagai bahan bakar.



Gambar 1. 3. Konstruksi Dapur Tanur Tinggi



Gambar 1. 5. Pig Iron



Gambar 1. 4. Contoh Bijih Besi : Himatite

B. Besi Cor (*Cast Iron*)

Besi cor merupakan salah satu kelas dari paduan ferro yang memiliki kandungan karbon 2,14% berat meskipun di dalam praktiknya hampir seluruh besi cor memiliki kandungan karbon $\pm 3,0\%$ - 4,5% berat ditambahkan dengan unsur lainnya. Secara umum besi cor memiliki titik lebur di bawah baja yaitu 1150°C - 1300°C atau 2100°F - 2350°F sehingga besi cor mudah untuk meleleh dan dicor dan sifatnya sangat getas. Menurut kandungan karbonnya, besi cor dibagi menjadi beberapa jenis, seperti:

1. Besi Cor Abu-Abu (*Gray Cast Iron*)

Kandungan karbonnya $\pm 2,5\%$ - 4,0% berat sedangkan kandungan silikonnya $\pm 1,0\%$ - 3,0% berat. Karbon atau grafit pada besi cor abu-abu berbentuk serpihan-serpihan tipis berwarna abu-abu seperti ditunjukkan pada gambar 1.6.

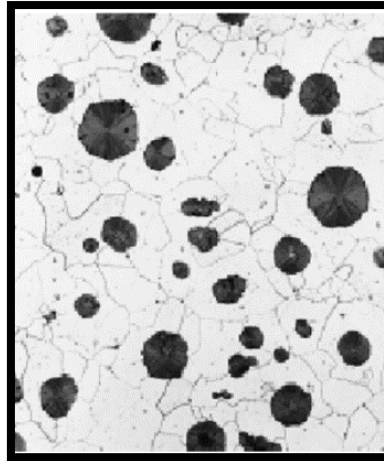


Gambar 1. 6. Struktur Mikro Besi Cor Abu-Abu Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 500x

Secara mekanik, besi cor abu-abu memiliki sifat yang lunak dan getas terhadap beban tarik. Sifat mekanik dan komposisi dari besi cor abu-abu dapat dilihat pada tabel 1.1.

2. Besi Cor Ulet (*Ductile/Modular Cast Iron*)

Magnesium atau cesium yang ditambahkan ke besi cor abu-abu sebelum dicor akan menghasilkan strukturmikro dan sifat mekanik yang berbeda ini dikenal dengan nama besi cor ulet. Grafit masih tetap ada tetapi berbentuk bulat seperti ditunjukkan pada gambar 1.7 berikut ini.



Gambar 1. 7. Struktur Mikro Besi Cor Ulet Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 200X

Sifat mekanik dari besi ulet ini mendekati baja. Besi cor ini tentunya lebih kuat dan juga lebih ulet jika dibandingkan dengan jenis besi cor abu-abu. Sifat dan komposisi besi cor ulet dapat dilihat pada tabe 1.1.

Grade	UNS Number	Composition (wt%) ^a	Matrix Structure	Mechanical Properties			Typical Applications
				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 3 High-strength gears and machine components 2 Pinions, gears rollers, slides
100-70-03	F34800		Pearlite	689 (100)	483 (70)		
120-90-02	F36200		Tempered martensite	827 (120)	621 (90)		
Malleable Iron							
	32510 F22300	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 devated temperatures
	45006 F23131	2.4-2.7 C, 1.25-1.55 Si, <0.55 Mn	Ferrite + Pearlite	448 (65)	310 (45)	6	
Compacted Graphise 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	

Tabel 1. 1. Sifat dan komposisi besi cor abu-abu, ulet, tempa dan padat

3. Besi Cor Putih (*White Cast Iron*)

Besi cor ini memiliki kandungan silikon yang 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 sementitnya yang berwarna putih sehingga besi cor ini dikenal dengan besi cor putih seperti ditunjukkan pada gambar 1.8. Sifatnya sangat keras tetapi juga sangat getas, besi ini banyak

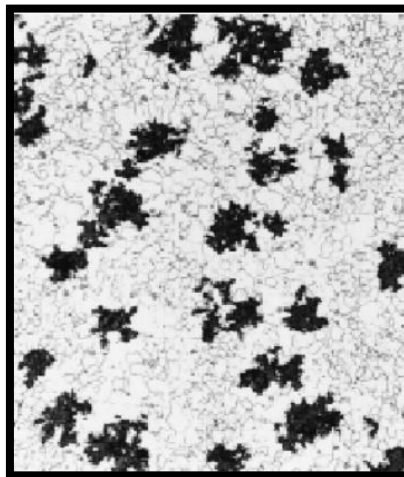
digunakan pada aplikasi yang membutuhkan material yang sangat keras dan tahan terhadap keausan seperti pada rol pada mesin roller.



Gambar 1. 8. Struktur Mikro Besi Cor Putih Menggunakan Mikroskop Optik dengan Perbesaran 400 X

4. Besi Cor Tempa (*Malleable Cast Iron*)

Pemanasan pada besi ini memiliki temperatur $\pm 800^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$. dalam waktu yang cukup lama pada tekanan atmosfer (agar terlindung dari proses oksidasi) menyebabkan perubahan komposisi sementit menjadi grafit yang berbentuk kluster-kluster (mengelompok). Besi cor ini dikenal dengan besi cor yang grafit dalam bentuk bulat hanya saja pada besi cor tempa grafitnya membentuk kluster. Sifat dan komposisi besi cor tempa dapat dilihat pada tabel 1.1.

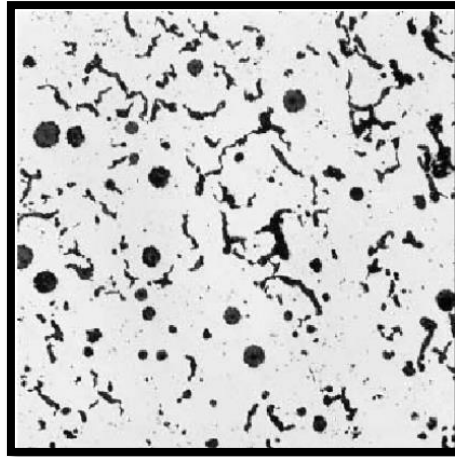


Gambar 1. 9. Struktur Mikro Besi Cor Tempa Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 150X

5. Besi Cor Padat (*Compacted Graphite Cast Iron*)

Pembentukan grafit ini dipicu oleh keberadaan silikon. Kadar silikon dalam besi cor padat $\pm 1,7\% - 3,0\%$ berat sedangkan kadar karbon $\pm 3,1\% - 4,0\%$ berat. Dua jenis besi cor padat dapat dilihat pada tabel 1.1. Kelebihan besi cor pada dengan besi dir yang lain:

- a. Konduktivitas termal lebih tinggi
- b. Ketahanan lebih baik terhadap perubahan temperatur secara tiba-tiba.
- c. Oksidasi lebih rendah ketika temperatur dinaikkan.



Gambar 1. 10. Struktur Mikro Besi Cor Padat Menggunakan Mikroskop Optik Dengan Perbesaran 100X

C. Baja (Steel)

Baja merupakan paduan yang terdiri dari beberapa bahan seperti besi, karbon, dan unsur lainnya. Baja pada umumnya terbagi menjadi dua bagian kelompok besar baja karbon dan baja paduan:

1. Baja karbon (plain carbon steel)

a. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)

Berat karbon yang terkandung dalam baja karbon rendah sebanyak $\pm 0,25\%$. Sifatnya lunak, ulet dan ketangguhan yang sangat tinggi. Selain itu, sifatnya yang mampu untuk dibentuk dengan menggunakan mesin dan mampu dilas, baja karbon rendah ini juga merupakan baja karbon yang paling murah biaya untuk memproduksinya dibandingkan dengan jenis baja lainnya.

Designation ^a		Composition (wt%) ^b		
AISI/SEA or ASTM Number	UNS Number	C	Mn	Other
<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

Tabel 1. 2. Komposisi Beberapa Baja Karbon

baja jenis ini juga terkenal dengan baja yang memiliki kekuatan tinggi (*high-strength, low-alloy* (HSLA) *steel*). Baja HSLA mengandung unsur seperti tembaga, nikel, vanadium dan molibdeum, dengan komposisi kombinasi dengan 10% berat. Unsur campuran tersebut memberikan kekuatan yang lebih tinggi dari baja karbon rendah biasanya. Baja HSLA memiliki ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon rendah biasanya serta baja ini mudah dibentuk dengan menggunakan suatu mesin dan ulet.

DAFTAR PUSTAKA

- DR. IR. I KT. Suarsana, MT. 2017. "Diktat Kuliah Ilmu Material Teknik." Denpasar: Universitas Udayana.
- Surdia, Tata, dan Shinroku Saito. 1985. "Pengetahuan Bahan Teknik." Jakarta: Pradnya Paramita.
- Muhammad dan Reza Putra. 2014. "Bahan Teknik" Aceh Utara: Universitas Malikussaleh.
- Kristanto Agung. 2010. "Diktat Kuliah Material Teknik" Yogyakarta. Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta.
- Shackelford, James F. 1996. "Introduction to Material Science For Engineering". New Jersey: Prentice Hall International.
- Callister JR, William and Rethwisch, David G. 2018. "Materials Science and Engineering". Hoboken New Jersey. Wiley.
- Yusuf, Yusnidar. 2018. "Modul Kimia Dasar" Jakarta. Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.
- Kencanawati, Cok Istri Putri Kusuma. 2012. "Kimia Dasar Universitas Udayana." Denpasar: Universitas Udayana.
- Joshi, Sushil and Sudhir Uma. 2017. "The Story of Atomic Theory of Matter". Shivaji Nagar. Eklavya.
- Callister JR, William and Rethwisch, David G. 2008. "Fundamentals of materials science and engineering : an integrated approach" New York: John Wiley and Sons.
- Hillert, Mats. 2007. "Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations". New York: Cambridge University Press.
- Scientific Group Termodata Europe (SGTE). 2018. "Thermodynamic Properties Inorganic Materials compiled by EGTE". New York: Springer Berlin Heidelberg New York.
- Ford, Hugh. 1974. 14 Materials Science and Engineering *Materials Science and Engineering*.
- Keyes, Tia E., and Robert J. Forster. 2007. "Handbook of Electrochemistry ". Elsevier.