

Buku Ajar

METALURGI FISIK



Saloom Hilton Siahaan, ST., MT.



BUKU AJAR
METALURGI FISIK

BUKU AJAR METALURGI FISIK

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT.



BUKU AJAR METALURGI FISIK

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT.

Editor: Erik Santoso

Cetakan Pertama: Agustus 2022

Cover: Rusli

Tata Letak: Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2022, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia

ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151

Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website: www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail: rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2022 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I –: Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2022

Dimensi : 18,2 x 25,7 cm

ISBN: 978-623-448-181-5

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang

Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan pembelajaran ajar yang berjudul Metalurgi Fisik ini dapat terselesaikan. Modul pembelajaran ini disusun dengan tujuan untuk menambah wawasan mahasiswa/i tentang pengetahuan bahan dan dasar-dasar metalurgi fisik.

Penyusunan modul pembelajaran ini terdiri dari tujuan pembelajaran, uraian materi, diskusi dan evaluasi dari hasil pembelajaran. Tujuan pembelajaran dimaksudkan untuk memberikan batasan agar mahasiswa lebih terarah dalam memahami tentang dasar-dasar ilmu metalurgi. Uraian materi dimaksudkan untuk memberikan pengetahuan kepada mahasiswa/i. Dalam uraian materi banyak dilengkapi dengan ilustrasi untuk memberikan gambaran kepada mahasiswa. Adapun pada bagian evaluasi digunakan untuk mengetahui sejauh mana mahasiswa/i menyerap materi yang telah disampaikan.

Modul pembelajaran yang disusun ini masih banyak kekurangan. Untuk itu, kritik dan saran sangat diharapkan untuk menuju kesempurnaan. Semoga modul pembelajaran ini bermanfaat dan dapat memberikan sumbangsih dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Aamiin.

Medan, 28 Juli 2022

Ketua Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 PROSES PENGOLAHAN LOGAM.....	1
A. Capaian Pembelajaran	1
B. Uraian Materi.....	1
1. Penambangan.....	1
2. Pengolahan.....	2
3. Peleburan.....	3
4. Produk Pengolahan Logam.....	6
C. Latihan.....	7
BAB 2 JENIS-JENIS LOGAM DAN STANDARISASI	9
A. Capaian Pembelajaran	9
B. Uraian Materi.....	9
1. Logam Ferro Dan Non-Ferro.....	9
2. Standar Logam.....	15
C. Latihan.....	19
BAB 3 SIFAT MEKANIK LOGAM DAN PENGUJIAN	21
A. Capaian Pembelajaran	21
B. Uraian Materi.....	21
1. Uji Tarik (<i>Tensile Test</i>).....	22
2. Uji Lengkung (<i>Bending Test</i>).....	27
3. Uji Tekan (<i>Compression Test</i> / <i>Penetration Test</i>).....	30
4. Uji Impak (<i>Impact Test</i>).....	31
5. Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	33
6. Uji Metalografi (<i>Metalography Test</i>).....	38
C. Latihan.....	41
BAB 4 STRUKTUR MIKRO LOGAM	43
A. Capaian Pembelajaran	43
B. Uraian Materi.....	43
1. Pendahuluan.....	43
2. Atom dan Jenis Ikatan Atom Dalam Bahan Padat	43
3. Struktur Mikro Logam	50
4. Struktur Non-Kubik.....	55
C. Latihan.....	56

BAB 5 KECACATAN LOGAM.....	57
A. Capaian Pembelajaran.....	57
B. Uraian Materi	57
1. Cacat Kristal.....	57
2. Ketidaktepatan Kristal	60
3. Deformasi	63
4. Rekristalisasi.....	64
C. Latihan	65
 BAB 6 TRANSFORMASI FASA	67
A. Capaian Pembelajaran.....	67
B. Uraian Materi	67
1. Kurva Pendinginan Logam Murni.....	67
2. Diagram Paduan.....	69
C. Latihan	75
 BAB 7 DIAGRAM FASA, TTT, dan CCT	77
A. Capaian Pembelajaran.....	77
B. Uraian Materi	77
1. Diagram Fasa Besi-Karbon.....	77
2. Struktur Mikro dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Mekanik.....	80
3. Diagram TTT (Time -Temperature - Transformation).....	83
4. Diagram CCT (Cooling - Continues - Transformation).....	84
C. Latihan	85
 BAB 8 KEMAMPUKERASAN.....	87
A. Capaian Pembelajaran.....	87
B. Uraian Materi	87
1. Kemampukerasan (<i>Hardenability</i>)	87
2. Mampu Keras Kuantitatif	87
3. Pengujian Jominy.....	88
C. Latihan	91
 BAB 9 PERLAKUAN PANAS.....	93
A. Capaian Pembelajaran.....	93
B. Uraian Materi	93
1. Annealing.....	93
2. Normalizing,	95
3. Hardening,.....	95
4. Tempering.....	98
5. Austempering.....	99

C. Latihan.....	99
BAB 10 PERLAKUAN PERMUKAAN.....	101
A. Capaian Pembelajaran	101
B. Uraian Materi.....	101
1. Karburasi.....	101
2. Nitridasi.....	104
3. Induction Hardening	105
4. Flame Hardening.....	106
C. Latihan.....	107
BAB 11 PROSES PENGECORAN LOGAM	109
A. Capaian Pembelajaran	109
B. Uraian Materi.....	109
1. Pengecoran.....	109
2. Penempatan.....	115
C. Latihan.....	117
BAB 12 METALURGI SERBUK.....	119
A. Capaian Pembelajaran	119
B. Uraian Materi.....	119
1. Pembuatan Serbuk Logam	120
2. <i>Blending</i> (Pencampuran).....	121
3. <i>Compacting</i> (Pemadatan).....	122
4. Sintering	123
5. Operasi sekunder.....	124
C. Latihan.....	124
BAB 13 PENEMPAAAN LOGAM DENGAN PERALATAN TANGAN DAN MESIN SEDERHANA.....	125
A. Capaian Pembelajaran	125
B. Uraian Materi.....	125
1. Penempatan.....	125
2. Penggunaan Mesin Tempa.....	130
C. Latihan.....	132
BAB 14 PROSES PEMESINAN PADA LOGAM	133
A. Capaian Pembelajaran	133
B. Uraian Materi.....	133
1. Mesin Bubut (<i>Lathe</i>).....	133
2. Mesin Frais (<i>Milling</i>)	135

3. Mesin Skrap (<i>Shaper/Planer</i>).....	137
4. Mesin Bor (<i>Boring dan Drilling</i>).....	138
C. Latihan	143
REFERENSI	145
GLOSARIUM.....	153

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komparasi komposisi kimia Cr-Mn-Mo Cast Alloy Steels	15
Tabel 2. Klasifikasi baja berdasarkan SAE-AISI	17
Tabel 3. Klasifikasi Paduan Alumunium Tempa	18
Tabel 4. Klasifikasi Paduan Alumunium Cor	18
Tabel 5. Jenis material dan standar uji yang dipakai	24
Tabel 6. Jenis Rockwell	36
Tabel 7. Tabel Konversi Kekerasan	37
Tabel 8. Sistem kristal	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi paduan logam.....	1
Gambar 2. Proses manufaktur besi-baja	3
Gambar 3. Besi sponge hasil proses sintering.....	3
Gambar 4. Tanur tinggi (Blast furnace)	4
Gambar 5. Basic Oxygen Furnace (BOF).....	5
Gambar 6. Electric Arc Furnace (EAF)	5
Gambar 7. Produk manufaktur besi-baja	6
Gambar 8. Pembagian Logam dan Paduan.....	9
Gambar 9. Arti digit pada kode AISI-SAE	16
Gambar 10. Kurva tegangan dan regangan	22
Gambar 11. Contoh spesimen uji tarik.....	23
Gambar 12. Mesin uji tarik.....	24
Gambar 13. Kurva uji tarik.....	25
Gambar 14. Pengujian tekuk	28
Gambar 15. Skema pengujian tekuk.....	29
Gambar 16. Skema pengujian tekuk pada lasan.....	29
Gambar 17. Skema mesin uji tekan (compression test)	30
Gambar 18. Kurva uji tekan (compression test)	31
Gambar 19. Pengujian impak.....	32
Gambar 20. Bentuk spesimen uji impak.....	32
Gambar 21. Bentuk spesimen uji impak.....	33
Gambar 22. Uji kekerasan metode Brinell.....	34
Gambar 23. Uji kekerasan metode Vickers	35
Gambar 24. Uji kekerasan metode Rockwell.....	35
Gambar 25. Hubungan kekerasan dan kekuatan tarik material.....	36
Gambar 26. Mesin potong spesimen.	38
Gambar 27. Proses pembersihan	39
Gambar 28. Mesin gerinda dan poles	39
Gambar 29. Mikroskop Optik.....	40
Gambar 30. Pemodelan atom Bohr.....	44
Gambar 31. Tabel periodik	45
Gambar 32. Konfigurasi ikatan atom ionik	46
Gambar 33. Ilustrasi ikatan kovalen C dan H yang membentuk metana (CH ₄).....	47
Gambar 34. Ilustrasi bentuk ikatan logam	48
Gambar 35. Ilustrasi bentuk ikatan Van der Waals	48
Gambar 36. Ilustrasi bentuk ikatan hidrogen pada air	49
Gambar 37. Struktur Kristal	50
Gambar 38. Sel satuan.....	50
Gambar 39. Konstanta kisi	52

Gambar 40. Kristal kubik dan non kubik.....	52
Gambar 41. Struktur kubik pemusatan ruang (bcc).....	53
Gambar 42. Struktur kubik pemusatan sisi (fcc)	54
Gambar 43. Struktur kubik sederhana CaTiO_3	55
Gambar 44. Sel satuan heksagonal.....	55
Gambar 45. Bentuk larutan padat substitusi acak.....	58
Gambar 46. Bentuk larutan padat interstisi.....	59
Gambar 47. Larutan padat substitusi dalam senyawa.....	60
Gambar 48. Struktur yang cacat.....	60
Gambar 49. Struktur yang cacat.....	61
Gambar 50. Dislokasi garis dan dislokasi ulir	62
Gambar 51. Proses terjadinya dislokasi.....	62
Gambar 52. Susunan butir pada eformasi elastis (a) dan plastis (b).....	63
Gambar 53. Deformasi elastis (a) dan plastis (b)	64
Gambar 54. Kurva pendinginan logam murni.....	67
Gambar 55. Kurva pendinginan besi murni	68
Gambar 56. Diagram zat yang larut sempurna	69
Gambar 57. Paduan yang tidak larut dalam keadaan padat.....	70
Gambar 58. Paduan yang tidak terlarut pada kondisi padat dan membentuk senyawa.....	71
Gambar 59. Diagram paduan yang larut terbatas.....	72
Gambar 60. Diagram paduan yang larut terbatas.....	73
Gambar 61. Diagram paduan larut terbatas dalam kondisi padat tipe peritektic...	74
Gambar 62. Diagram $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$	77
Gambar 63. Fasa baja eutectoid	79
Gambar 64. Contoh bentuk struktur mikro.....	81
Gambar 65. Diagram Time-Temperature-Transformation.....	84
Gambar 66. Diagram TTT-CCT.....	85
Gambar 67. Sampel uji jominy	88
Gambar 68. Penyemprotan air pada sampel uji jominy.....	89
Gambar 69. Daerah pengujian kekerasan pada sampel jominy.....	90
Gambar 70. Data hasil uji jominy	90
Gambar 71. Diagram temperatur Spheroidized Annealing	94
Gambar 72. Kurva perlakuan panas	96
Gambar 73. Grafik perbandingan dimensi dan waktu pemanasan benda kerja.....	97
Gambar 74. Temperatur oli dan waktu pendinginan.....	98
Gambar 75. Gas carburizing.....	102
Gambar 76. Pack Carburizing.....	103
Gambar 77. Karburasi cair	104
Gambar 78. Tungku amonia nitridasi	104
Gambar 79. Tungku nitridasi plasma.....	105

Gambar 80. Pemanasan dengan induksi	106
Gambar 81. Flame hardening.....	107
Gambar 82. Sand Casting	110
Gambar 83. Proses Investment Casting.....	111
Gambar 84. Die Casting Machine.....	112
Gambar 85. Low Pressure Casting Machine.....	113
Gambar 86. Centrifugal Casting	114
Gambar 87. Plaster Casting.....	115
Gambar 88. Jenis-jenis penempaan	116
Gambar 89. Tahapan metalurgi serbuk.....	119
Gambar 90. Produk metalurgi serbuk.....	120
Gambar 91. Powder logam.....	121
Gambar 92. Mixer metalurgi serbuk.....	122
Gambar 93. Proses kompaksi.....	123
Gambar 94. Proses sinter kontinyu	123
Gambar 95. Bilah pisau dari hasil tempa tangan	125
Gambar 96. Dapur hembus dan tungku tradisional	126
Gambar 97. Berbagai peralatan tempa	128
Gambar 98. Mesin martil tempa	131
Gambar 99. Mesin kempa hidrolis industry.....	132
Gambar 100. Bentuk pekerjaan mesin bubut.....	134
Gambar 101. Mesin bubut.....	134
Gambar 102. Mesin frais vertikal dan mesin frais horizontal	135
Gambar 103. Berbagai jenis pekerjaan mesin frais.....	136
Gambar 104. Bagian-bagian mesin skrap	137
Gambar 105. Berbagai bidang hasil skrap.....	138
Gambar 106. Mesin bor tangan (kiri) dan mesin bor duduk (kanan).....	139
Gambar 107. Mesin bor radial dan mesin bor gang.....	140
Gambar 108. Kepala mesin bor ganda dan mesin bor deep hole.....	140
Gambar 109. Mesin gerinda datar (kiri) dan mesin gerinda silindris (kanan)	142
Gambar 110. Mesin gerinda duduk dan mesin gerinda lurus	142
Gambar 111. Mesin gerinda lurus.....	143

BAB 1

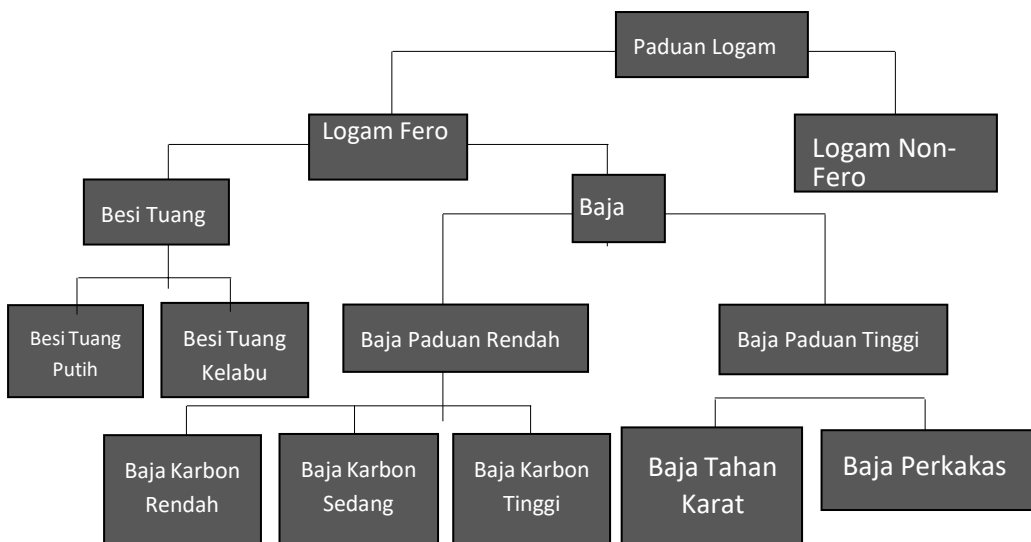
PROSES PENGOLAHAN LOGAM

A. Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi pada pertemuan 1 ini, maka mahasiswa diharapkan mampu mengetahui, memahami dan menjelaskan tentang proses pengolahan logam besi-baja dari bijih logam, produk setengah jadi, hingga produk jadi.

B. Uraian Materi

Logam merupakan material yang dominan dan diperlukan dalam kehidupan manusia. Terutama adalah logam besi-baja yang banyak dimanfaatkan untuk keperluan konstruksi dan manufaktur. Selain ketersediaannya yang cukup banyak di alam, proses produksi logam besi-baja dan paduannya memerlukan ongkos yang tidak mahal. Selain itu sifat-sifat besi-baja mudah direkayasa sesuai dengan pemanfaatannya. Logam besi-baja diperoleh melalui proses penambangan, pemisahan bijih besi, dan reduksi (industri hulu), pengolahan bijih logam melalui pemurnian dan pemaduan (industri antara), dan pembentukan produk (industri hilir).



Sumber: Diolah dari Bondan T. Sofyan, 2010

Gambar 1. Klasifikasi paduan logam

1. Penambangan

Logam dan material lain diperoleh dari alam dalam bentuk bijih berupa pasir logam atau bebatuan yang mengandung mineral logam. Untuk menjadi material

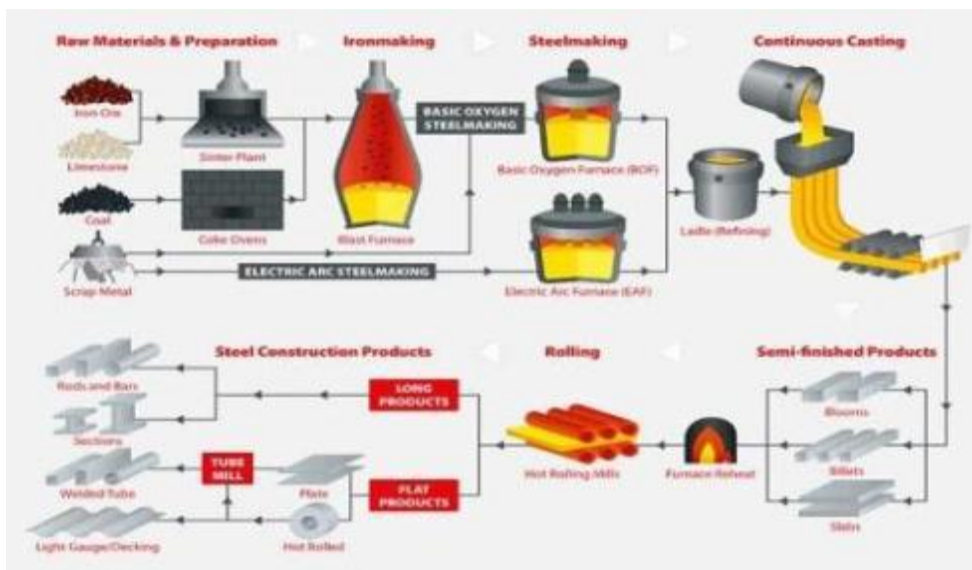
yang bernilai ekonomis, bijih logam ditambang dan melewati proses pemurnian. Pada saat penambangan, bijih logam masih berupa senyawa oksida yang bercampur sulfida dan silikat. Logam digolongkan menjadi dua, yaitu logam fero yang memiliki sifat magnetis dengan besi (Fe) sebagai unsur utama. Dan yang kedua adalah logam non-fero yang tidak memiliki sifat magnetik seperti tembaga, aluminium, titanium dan magnesium. Selain itu terdapat logam yang bukan merupakan, senyawa seperti emas dan perak.

Penambangan dilakukan dengan cara pengerukan bebatuan/pasir dari alam untuk diolah. Jika diperlukan, bahan peledak digunakan untuk memperoleh bongkahan batu tambang. Bongkahan tersebut kemudian dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil, kemudian diayak. Serbuk hasil ayakan ini nantinya akan diolah dalam proses pemurnian. Proses penambangan dilakukan dengan dua cara, yaitu penambangan terbuka / di atas permukaan tanah dengan cara pengerukan langsung menggunakan alat-alat berat. Bebatuan dipecah dengan ripper bulldozer, atau mesin impak yang dipasang pada lengan excavator. Pecahan batu kemudian dikeruk oleh excavator untuk dibawa oleh dump truck ke tempat penghancuran batu. Cara kedua adalah dengan penambangan tertutup / di bawah permukaan tanah dengan cara membuat terowongan- terowongan. Melalui terowongan itu para pekerja memperoleh bongkahan- bongkahan batu, dan bongkahan itu kemudian diangkut menggunakan kereta / lori menuju tempat penghancuran batu.

Pada penambangan terbuka, lubang-lubang yang menganga hasil penggalian kemudian diurug kembali dan ditanami pepohonan agar tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan.

2. Pengolahan

Pengolahan bebatuan tambang yang mengandung bijih besi dilakukan dengan menghancurkannya menggunakan mesin penghancur (*crusher*), bebatuan yang telah memiliki ukuran kecil itu kemudian diayak melalui beberapa tahapan pengayakan hingga diperoleh ukuran 0-5mm. Tahap selanjutnya bijih besi dipisahkan dari unsur pengotornya hingga beberapa tahapan dengan menggunakan pemisah magnetik. Prinsip kerja pemisah magnetik adalah dengan cara memasukan bijih bersama air ke dalam tangki penampung melalui saluran masuk. Pada tangki penampung dipasang magnet berbentuk drum yang berputar dengan ukuran besar untuk menarik bijih besi. Setelah biji besi menempel pada magnet, maka biji besi terangkat bersama drum yang berputar. Kotoran yang tertinggal dalam air kemudian dibuang bersama air dalam tangki. Sedangkan biji besi dipisahkan ke tempat tersendiri melalui saluran keluar.



Sumber: <https://www.vepica.com/blog/steel-production-from-iron-ore-to-functional-industrial-products>

Gambar 2. Proses manufaktur besi-baja

3. Peleburan

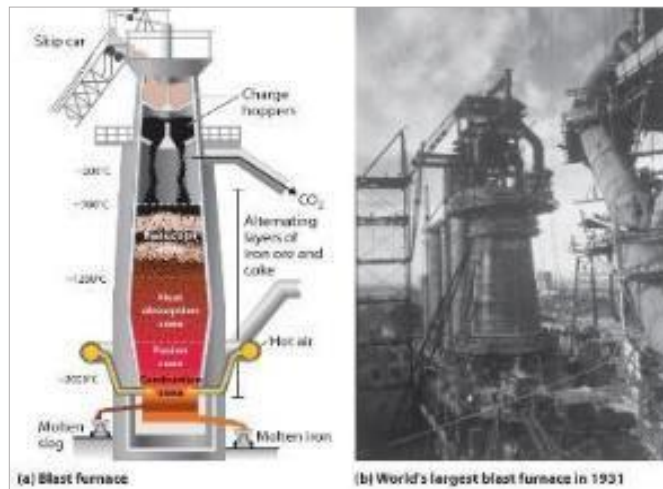
Peleburan bijih besi dilakukan dengan terlebih dahulu mencampurkan bijih besi murni (Fe_2O_3) dengan kapur (*lime stone* / CaCO_3) dan batu bara/kokas (*coal*) melalui proses *sintering*. Campuran tersebut kemudian dimasukan ke dalam pemanas berputar dan kemudian dimasukan ke dalam pendingin berputar dan dilewatkan melalui magnetic separator untuk memisahkan besi spon dengan kapur dan kokas. Produk dari sintering adalah besi spon (*sponge iron*). Tujuan sintering ini adalah untuk memudahkan proses pencairan logam pada saat berada dalam tanur (*furnace*).



Sumber: <https://5.imimg.com/data5/EM/WY/MY-24060829/sponge-iron-dri-250x250.jpg>

Gambar 3. Besi sponge hasil proses sintering

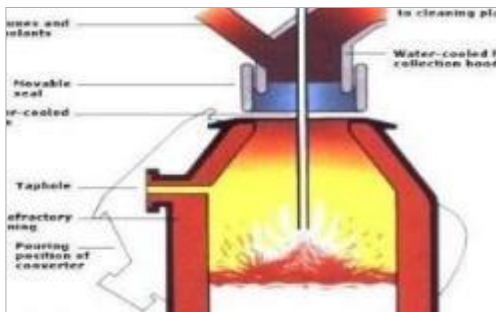
Proses selanjutnya, besi spon dimasukan ke dalam tanur tinggi (*blast furnace*) dengan menggunakan *skip car* karena tanur memiliki tinggi 30-35meter dengan diameter tanur mencapai 7 meter. Dalam tanur yang memiliki temperatur 1650°C pada bagian bawah karena hembusan udara panas. Dengan temperatur panas dan kokas akan menghasilkan gas CO yang menjadi reduktor besi dalam keadaan cair. Metode ini disebut reduksi tidak langsung. Pada metode yang lebih cepat digunakan metode reduksi langsung, di mana gas reduktornya berupa gas alam yang dimasukan. Reduksi langsung menggunakan metode Midrex, HYL-I, HYL-II, dan HYL-III. Batu kapur yang ikut dimasukkan bereaksi dengan kotoran besi dan membentuk slak yang terapung di bagian atas besi cair dan ditampung oleh *slag car*. Besi cair yang dihasilkan dari proses reduksi ini disebut besi kasar (*pig iron*) yang merupakan produk antara yang harus melalui tahap pemurnian berikutnya. Mengingat kandungan karbonnya masih berkisar 3-4%. Logam cair tersebut ditampung dengan kendaraan khusus yang disebut *torpedo car*.



Sumber: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid>

Gambar 4. Tanur tinggi (Blast furnace)

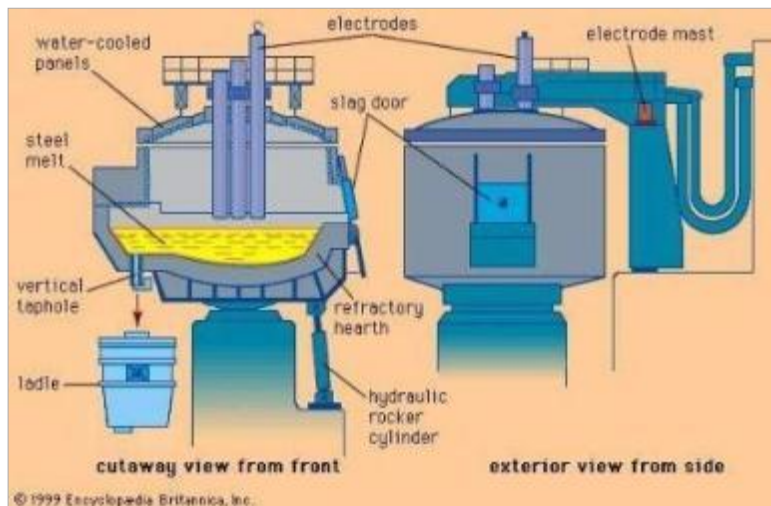
Pemurnian besi kasar untuk menurunkan kadar karbonnya dilakukan dengan cara melebur kembali ke dalam dapur oksigen basa (*Basic Oxygen Furnace* - BOF) atau dapur busur listrik (*Electric Arc Furnace* - EAF). Pemurnian besi kasar menggunakan BOF dilakukan dengan memasukan besi kasar/pig iron (75%), besi bekas/scrap (25%), batu kapur dan dengan meniupkan oksigen ke dalam besi yang telah cair dalam dapur, sehingga terjadi reaksi yang mengeluarkan karbon monoksida dan dengan sendirinya kadar karbon besi cair akan turun. Selain itu batu kapur juga dimasukan dalam proses ini dengan tujuan mengangkat pengotor dan mengangkatnya menjadi terak. Sebagian besar produksi baja menggunakan BOF. Alasannya karena waktu yang diperlukan untuk pemurnian lebih singkat.



Sumber: <https://i.pinimg.com/736x/02/c0/83/02c083187e9992cca554449bccf6fc4b--gilded-age.jpg> dan <http://www.steelworks.us/wp-content/uploads/2016/03/blast-furnace-907x600.jpg>

Gambar 5. Basic Oxygen Furnace (BOF)

Proses pemurnian dalam EAF dilakukan dengan cara memasukkan besi kasar/spong iron ke dalam tungku secara bertahap dengan dicampurkan besi scrap, oksigen dan kapur. Pada bagian atas tungku dipasang katoda, dan pada bagian bawah tungku dipasang anoda. Pada saat dialiri katoda dan anoda dialiri listrik, maka akan menimbulkan panas pada elektroda katoda yang jaraknya cukup sempit dengan permukaan besi. Panas itu mampu melebur besi. Oksigen yang dialirkan akan menurunkan kadar karbon besi cair. Sementara batu kapur yang dimasukan akan mengikat kotoran semisal sulfur, fosfor, silikon, alumunium menjadi terak. Dengan demikian produk yang dihasilkan menjadi lebih murni yang disebut baja. Waktu yang diperlukan EAF dalam pemurnian lebih lama dibanding BOF, selain itu kualitas baja yang dihasilkan EAF lebih rendah dibandingkan BOF karena bahan terbanyak yang dimasukan adalah besi bekas/scrap.



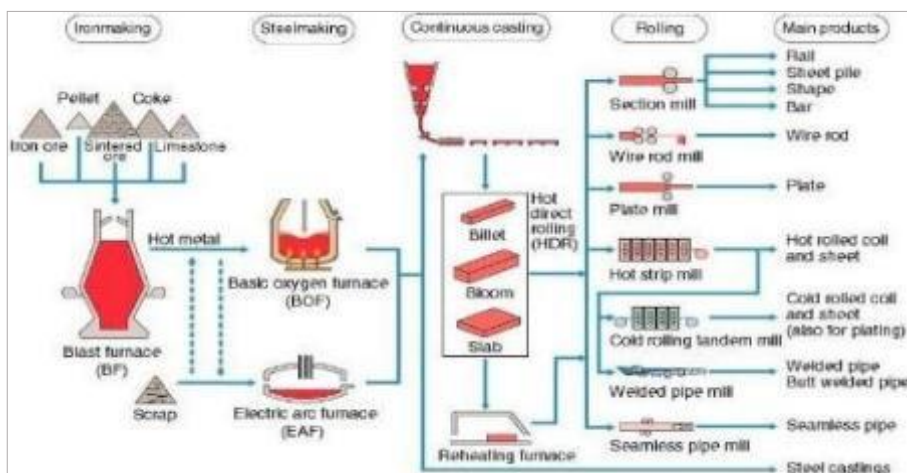
Sumber: <https://cdn.britannica.com/700x450/44/1544-004-153E461C.jpg>

Gambar 6. Electric Arc Furnace (EAF)

Untuk memperoleh baja dengan kualitas yang lebih baik, maka produk BOF maupun EAF perlu dimurnikan kembali dengan pemurnian tahap kedua yang disebut pemurnian sekunder. Adapun dapur yang digunakan pada tahap pemurnian sekunder adalah *Ladle Furnace* (LF), *Argon-Oxygen Decarburization Furnace* (AOD), *Vacuum-Oxygen Decarburization Furnace* (VOD), dan *RH type degassing unit* (RH). Produk yang dihasilkan dari proses pemurnian ini berupa *sheet product*, yaitu baja lempengan tebal (*slabs*) atau lempengan tipis (*thin slabs*), dan *long product* berupa baja balok besar (*blooms*), baja balok kecil (*billets*).

4. Produk Pengolahan Logam

Melalui proses pengolahan logam akan didapatkan berbagai produk setengah jadi yang nantinya akan diolah melalui pengerjaan lanjutan. Produk baja lempengan (*slabs*) akan diolah kembali melalui pemanas ulang untuk dijadikan pelat dengan ukuran lebih kecil dan tipis dan plat gulungan. Dengan mesin tube mill maka pelat dapat diolah menjadi lembaran baja tipis dan *welded tube* dalam berbagai ukuran. (Gambar 7) Adakalanya plat dan gulungan diberikan proses pengasaman sehingga diperoleh produk pickled and oiled coils. Produk pelat dapat juga diolah dengan pengerolan dingin sehingga diperoleh baja gulungan dan lembaran canai dingin. Pada tahap akhir pembuatan produk dilakukan pemanasan kembali dan diberikan pelapisan.



Sumber: <https://www.researchgate.net/figure/Steelmaking-process-flow-chart-for-a-typical-steel-mill->

Gambar 7. Produk manufaktur besi-baja

Sementara itu produk pemurnian berupa blooms dan billets dapat diproses dengan hot rolling mill dan menghasilkan (rods dan bar), baja section/struktural/beam. Dan pada ukuran yang kecil dapat dibuat batang baja dan kawat baja.

C. Latihan

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut untuk mereview kedalaman pemahaman Anda tentang materi pada pertemuan-1!

1. Jelaskanlah, apa yang Anda ketahui tentang bijih logam!
2. Jelaskan juga apa yang Anda ketahui tentang bijih besi
3. Jelaskan apa perbedaan penambangan terbuka dan penambangan tertutup
4. Jelaskan cara pemisahan bijih besi dengan unsur lain dalam bijih logam
5. Apa yang anda ketahui dengan proses sintering?
6. Jelaskan perbedaan proses reduksi langsung dan tidak langsung dalam proses peleburan besi
7. Jelaskan kegunaan kokas dan batu dalam proses peleburan besi!
8. Apa yang Anda ketahui tentang sponge iron dan pig iron?
9. Jelaskan kelebihan dan kekurangan dapur pemurnian baja BOF dan EAF
10. Berikan contoh-contoh produk baja setelah melalui proses pemurnian dan pembentukan!



BAB 2

JENIS-JENIS LOGAM DAN STANDARISASI

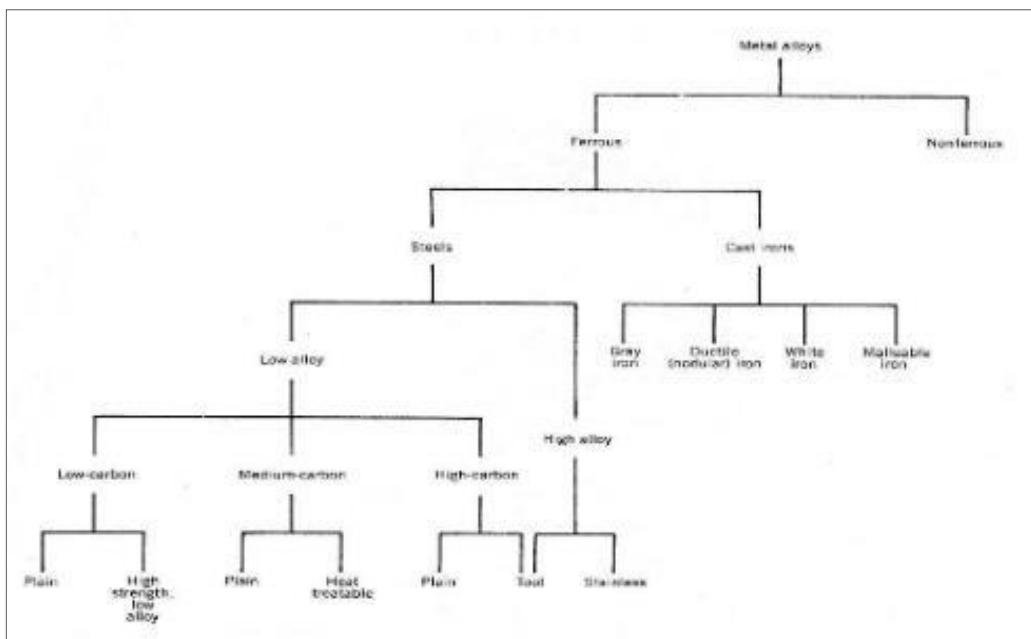
A. Capaian Pembelajaran

Setelah menyelesaikan materi pada pertemuan 2 ini, maka mahasiswa diharapkan mampu mengetahui, memahami, membedakan serta menjelaskan tentang jenis-jenis logam serta standarisasi logam yang umum dalam industri dan permesinan.

B. Uraian Materi

1. Logam Ferro Dan Non-Ferro

Sebagaimana telah sedikit dibahas dalam pertemuan-1, bahwa logam terdiri dari dua jenis, yaitu logam ferro dan non-ferro. Ferro memiliki sifat magnetis karena unsur utamanya adalah besi. Hampir 90% material logam yang digunakan sebagai material teknik adalah ferro. Pada dasarnya ferro dibedakan menjadi dua, yaitu besi tuang dan baja. Perbedaan keduanya terletak pada prosentase berat karbon. Besi tuang memiliki kadar karbon 2% hingga 4,5%. Sedangkan besi tuang memiliki kadar karbon antara 0,05 hingga 2%, (Dody Prayitno,2010)



Sumber: <https://detektif.files.wordpress.com/2008/02/klasifikasi-logam.jpg>

Gambar 8. Pembagian Logam dan Paduan

a. Besi Tuang (*Cast Iron*)

Besi tuang memiliki sifat sulit ditempa namun mudah dituang, sangat keras namun getas. Titik lebur besi tuang berkisar antara 1135°-1150°C. Dalam besi tuang terdapat unsur C, Si dan P yang turut mempengaruhi titik leburnya, terutama Si. Ada beberapa jenis besi tuang yang pembedaannya didasarkan pada warna pada bidang pecahan dan jenis strukturnya. Beberapa jenis besi tuang antara lain:

- 1) Besi tuang kelabu (*grey cast iron*), jenis besi tuang ini bersifat kuat, dan getas, tahan panas, korosi dan aus, mampu meredam getaran (*damping capacity*) yang baik, koefisien muai panas rendah, memiliki (*machinability*) yang baik, murah dan mudah dalam pembuatannya. Dalam besi tuang kelabu mengandung grafit berbentuk lamel (serpilh), namun ada juga yang berbentuk bola. Aplikasinya untuk komponen kendaraan bermotor, pagar rumah, dll.
- 2) Besi Tuang Ulet / Nodular (*Ductile Cast Iron*), jenis ini memiliki kekuatan dan keuletan relatif tinggi, tahan panas dan korosi. Bentuk grafitnya bulat yang terbentuk karena penambahan unsur Mg atau Ce. Grafit bulat lebih ulet dibandingkan grafit lamel (serpilh). Aplikasi besi tuang ini untuk kontruksi teknik sipil, rol penggiling, pipa, cetakan.
- 3) Besi Tuang Putih (*White Cast Iron*), di dalam besi tuang putih terkandung Mn tinggi, tidak terbentuk grafit karena proses pengikatan zat arang secara kimiawi. Kadar Si di dalamnya kurang dari 0,1%. Struktur yang dominan berupa karbida (Fe_3C) sehingga karakteristiknya sangat keras, tahan aus, tetapi *machinability*nya kurang baik karena rapuh. Aplikasinya kurang banyak, di antaranya untuk *roller* pada mesin pengerolan.
- 4) Besi Tuang Paduan (*Alloyed Cast Iron*), Pada besi tuang jenis ini terdapat unsur pepadu yang tinggi seperti Cr dan/atau Ni, besi tuang ini diaplikasikan pada kondisi lingkungan korosif dan/atau temperatur tinggi. Pada strukturnya terdapat grafit untuk meningkatkan mampu redam getaran dan machining.
- 5) Besi Tuang Malleable (*Malleable Cast Iron*), jenis ini dikenal sbagai besi tuang mampu tempa. Jenis ini diperoleh dengan memanaskan kembali besi tuang putih pada temperatur 800°-900°C dalam waktu lama sehingga terbentuk besi (Fe) dan karbon (C) dari sementit (Fe_3C) yang ada. Sifat besi tuang ini cukup tangguh dan diaplikasikan sebagai batang penghubung, valve, pemyambung pipa, roda gigi transmisi, dll.

b. Baja (*Steel*)

Baja adalah produk dari paduan besi selain besi tuang. Penggunaanya cukup luas, dari keperluan industri manufaktur, kontruksi, teknik sipil, hingga permesinan. Kandungan karbon pada baja di bawah besi tuang, yaitu antara 0-1,8% saja. Jenis baja cukup banyak dengan berbagai varian kekuatan, kekerasan, keuletan,

kemampukerasan, mampu las, mampu bentuk, mampu tempa, ketahanan korosi dan aus yang semuanya dipengaruhi oleh cara pembuatan, kadar komposisi kimia, unsur padu, dan treatment yang diberikan.

- 1) Berdasarkan kadar karbon, maka terdapat tiga jenis, yaitu baja *low carbon*, *medium* dan *high carbon*. Baja Karbon Rendah / *Low Carbon*. Baja ini memiliki kadar karbon tidak lebih dari 0.25% atau disebut baja *hypoeutectoid*, Sifat baja ini lunak, tidak kuat, ulet dan tangguh, sulit diberi perlakuan panas. Kekuatannya dapat ditingkatkan dengan pengerjaan dingin. Struktur mikro berupa ferrite dan pearlite. Baja *low carbon* ini diaplikasikan untuk kaleng minuman, lembaran baja untuk pipa, jembatan, bangunan, baja struktur (profil I, kanal, baja sudut) dan untuk pembuatan sebagian komponen mobil. Sebagian baja rendah karbon dapat ditingkatkan kekuatannya dengan menambahkan unsur Co, V, Ni dan Mo sehingga membuatnya lebih mudah dibentuk, dimesin dan kekuatannya bisa ditingkatkan dengan perlakuan panas. Contoh baja jenis ini adalah baja *high strength low alloy* (HSLA). Baja Karbon Sedang / *Medium Carbon*. Kadar karbon baja medium berkisar antara 0.25-0.60% C. Sifat baja ini keras, ulet dan kuat, karena umumnya diaplikasikan setelah disepuh dan ditemper sehingga struktur mikro yang dimiliki berupa martensit temper. Unsur paduan yang ditambahkan antara lain Cr, V, dan Mo yang membentuk karbida. Aplikasi baja ini kebanyakan untuk roda kereta api, roda gigi, poros engkol, dll. Baja Karbon Tinggi memiliki kadar karbon berkisar antara 0.6-1,4 % C. Sifat baja ini paling keras, kuat, tahan aus namun rapuh/tidak ulet. Struktur mikro berupa pearlit terdapat sementit (Fe_3C). Unsur paduan yang ditambahkan biasanya Cr, V, T, W dan Mo. Baja karbon tinggi digunakan untuk cetakan, pisau, gergaji, pegas, bantalan, dan *die*.
- 2) Berdasarkan total paduan, maka ada dua jenis yaitu paduan rendah dan tinggi. Disebut baja paduan rendah karena total unsur padu yang dimiliki $\leq 8\%$. Dengan merekayasa prosentase paduan seperti nikel, silikon, aluminium, and manganese akan memudahkan dalam merekayasa sifat-sifat baja. Baja jenis ini sangat sesuai untuk komponen mesin semisal baut, poros, dan roda gigi. Selain itu, baja ini juga digunakan untuk material boiler dan bejana tekan (*pressure vessels*). Baja paduan tinggi memiliki total padu $> 8\%$. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain baja tahan aus (*wear resistant steel*), baja tahan panas (*heat resistant steel*), dan baja tahan korosi (*stainless steel*). Untuk baja stainless paduan unsur krom (Cr) paling sedikit 11% dan biasanya ditambahkan unsur Ni dan Mo. Berdasar fasa struktur mikronya baja stainless ini masih dibagi lagi dalam berbagai tipe yaitu: tipe austenit seperti 304, 321, 347, 316 dan 317 dengan aplikasi yang luas dari peralatan makanan dan minuman hingga komponen

permesinan, dan arsitektur, dll. Tipe feritik seperti tipe 430 banyak digunakan untuk peralatan pengolahan dan penyimpanan makanan, pipa penukar panas (*heat exchanger tube*), automotive trim, dll. Tipe martensit banyak digunakan untuk katup, baut, mur, ulir, *turbin buckets*, pisau operasi, gunting, dll. Contoh tipe 410, 416 dan 431. Tipe duplek, seperti UNS S31803, UNS S32750, UNS S32750 merupakan baja stainless dengan fasa feritik dan austenit sekaligus. Kadar Cr hingga 20% dan melalui heat treatment sehingga strukturnya lebih halus. Aplikasinya adalah untuk alat-alat pengolahan minyak, gas, pipa *heat exchanger*, petrokimia dan kimia. Tipe ph (*precipitation hardening*), yaitu baja stainless yang didesain memiliki ketangguhan, kekuatan tinggi serta ketahanan korosi normal melalui perlakuan panas. Contohnya untuk valve dan komponen pesawat terbang.

- 3) Baja Tahan Panas (*Heat Resistant Steel*), jenis baja ini didesain untuk komponen yang bersinggungan dengan panas tinggi. Jenis baja ini juga banyak menggunakan stainless steel tipe austenit.
- 4) Baja Tahan Aus (*Wear Resistant Steel*) atau Baja khusus perkakas / pahat potong dan cetakan logam. Dan yang termasuk baja ini antara lain *high speed tool steels*, *shock resisting tool steels*, *hot work tool steels*, *low carbon mold steels*, *cold work tool steels*, dan *special purpose tool steels*.
- 5) Baja Super Paduan (Iron Base Superalloys), untuk baja-baja paduan super biasanya memiliki penamaan tersendiri berdasarkan pada trade- marknya masing-masing.

c. Logam Non-Fero

Logam non-fero memiliki peran yang luas sebagai material teknik setelah besi-baja. Material yang masuk kelompok ini bersifat tidak magnetis, dan yang masuk dalam logam non-fero antara lain:

- 1) Aluminium (Al), berat jenis aluminium $2,7\text{g/cm}^3$, sepertiga dari berat jenis baja $7,8\text{g/cm}^3$. Titik leburnya 660°C , jauh di bawah titik lebur baja yang 1560°C . Bersifat ulet, tahan korosi pada kondisi normal, konduktivitas panas dan listriknya tinggi, mudah dibentuk baik dengan cor, tempa, ekstrusi. Selain itu aluminium tidak beracun. Aluminium diperoleh dari proses pemurnian bauksit. Terdapat jenis aluminium yang tidak dapat diberi laku panas untuk mengeraskannya (*Non-Heat Treatable Aluminium Alloys*) dan ada yang dapat diberi laku panas untuk mengeraskannya (*Heat-Treatable Aluminium Alloys*). Aluminium dapat dipadukan dengan silikon (Al-Si) dan termasuk tidak dapat diberi perlakuan panas. Paduan aluminium ini biasa digunakan untuk pembuatan piston dengan cara ditempa, dan dibuat dengan cara cor untuk membuat peralatan makanan. Paduan aluminium-magnesium (Al-Mg) dibuat untuk material struktur la,

tangki, kawat las, keperluan arsitektur, dll. Paduan antara aluminium dan tembaga (Al-Cu) dimanfaatkan sebagai material yang dapat dilas dan dapat ditingkatkan kekuatannya dengan diberikan heat treatment.

- 2) Logam Tembaga (Cu), berat jenis tembaga $8,9\text{g/cm}^3$, titik lebur hingga 1085°C . Sifat tembaga ulet dan mudah dibentuk dengan rol menjadi lembaran maupun kawat. Konduktivitas listrik dan panasnya sangat bagus, tahan karat dan mudah dimesin. Tembaga diperoleh melalui proses peleburan sulfide. Tembaga dapat dipadu dengan Zinc (Al-Zn) sehingga menjadi kuningan (*brass*). Pemanfaatan Al-Cu adalah sebagai baut, mur dengan ukuran besar, tabung dan plat kondensor, dll. Tembaga juga dapat dipadukan dengan timah (Cu-Sn) sehingga terbentuk perunggu (*bronze*) dan memiliki ketahanan korosi dan aus yang baik, sehingga dimanfaatkan untuk membuat roda gigi cacing, batang ulir cacing, pipa, pegas, membran, dll. Paduan tembaga-beryllium (Cu-Be) memiliki sifat tahan aus dan korosi dan digunakan untuk pegas, pi roll, katup dan beberapa peralatan las.
- 3) Titanium (Ti), Titanium termasuk logam yang ketersediaannya tidak banyak. Titanium diperoleh dari proses peleburan ilmenite (FeTiO_3). Berat jenis hanya $4,5\text{g/cm}^3$ dan titik lebur 1668°C . Kelebihan titanium adalah dalam hal kekuatan, keliatan, dan baik dalam mampu tempa dan mesin. Ada beberapa jenis titanium yaitu titanium murni (α alloys) yang digunakan untuk material tahan korosi di pengolahan kimia, titanium paduan rendah (*near α alloys*) yang digunakan untuk komponen gas turbin, titanium paduan beta (β alloys) digunakan pada struktur pesawat terbang, paduan alloys dan alloys ($\alpha + \beta$ alloys) digunakan pada komponen pesawat terbang.
- 4) Nikel (Ni), material ini dikenal sangat kuat dan liat, berat jenis $8,9\text{g/cm}^3$ dan memiliki titik lebur 1455°C . Nikel sangat penting sebagai bahan pemuat untuk meningkatkan ketahanan korosi. Nikel dikenal sebagai superalloy (Nickel-base superalloys). Nickel digunakan pada material yang bekerja pada tekanan dan temperatur tinggi serta rentan korosi seperti tabung pembangkit uap. Nikel juga digunakan untuk komponen mesin jet.
- 5) Magnesium (Mg), material ini dikenal ringan karena berat jenisnya hanya $1,74\text{g/cm}^3$. Titik leburnya hanya 650°C . Magnesium dikerjakan dalam keadaan panas dengan die-casting. Sifatnya baik dalam kekuatan, kekakuan dan dimensi yang stabil. Magnesium diperoleh dari proses elektrokimia untuk memisahkan magnesium klorida (MgCl_2) menjadi magnesium berbentuk logam dan gas klorida. Magnesium dapat dipadu dengan aluminium tuang untuk meningkatkan ketahanan korosi kekuatan dan mampu tuang. Magnesium juga dapat dipadukan dengan seng untuk

meningkatkan kekuatan. Apabila ketiganya dipadu (Mg-Al-Zn) maka akan memperoleh paduan ringan, kuat dan tahan korosi.

Selain dari beberapa logam non-fero yang telah disebutkan, sebenarnya masih banyak sekali material non-fero yang biasa dipadukan untuk membuat material teknik dengan sifat-sifat tertentu, seperti:

- 1) Niobium (Nb), material ini memiliki kelebihan tahan korosi, titik lebur hingga 2468°C menjadikan material ini cukup tahan panas. Aplikasinya pada untuk komponen pesawat luar angkasa, komponen nuklir, dan moncong rudal.
- 2) Tantalum (Ta), material mahal ini termasuk logam berat karena memiliki berat jenis $16,6\text{g/cm}^3$. Titik leburnya hingga 2996°C . Sifat utamanya adalah ulet, tangguh dan tahan panas tahan korosi. Karena sifatnya itu tantalum digunakan untuk filamen bola lampu, komponen telepon genggam, alat bedah kedokteran, dan komponen pesawat terbang.
- 3) Molibdenum (Mo), Berat jenis logam ini $10,2\text{g/cm}^3$ dan titik leburnya 2621°C , tidak dapat diberi perlakuan panas. Molibdenum banyak dipadukan dengan besi (Fe) untuk memperbaiki sifat mampu keras, mampu bentuk, ketahanan korosi dan kekuatan tariknya. Aplikasi molibdenum yang lain adalah untuk elemen pemanas dapur listrik, industri kimia, kaca, nuklir dan aerospace.
- 4) Tungsten (W), material yang juga disebut sebagai wolfram ini memiliki berat jenis $19,6\text{g/cm}^3$ dan titik lebur 3410°C . Tungsten diperoleh dari bijih wolframite. Aplikasi paduan logam ini adalah pada alat-alat potong, alat elektronik dan kelistrikan dan pengukur temperatur seperti thermokopel.

Pada material teknik dengan aplikasi tertentu digunakan logam mulia seperti:

- 1) Emas, logam mulia ini memiliki berat jenis material ini $19,3\text{g/cm}^3$ dan titik leburnya 1064°C . Emas memiliki kemampuan menahan radiasi infra merah, sebagai penghantar panas dan listrik yang baik. Emas dapat dipadu dengan nikel atau paladium sehingga menjadi emas putih. Bila emas dipadu dengan besi maka akan menghasilkan emas biru, dan jika emas dipadu dengan aluminium maka akan menghasilkan emas ungu. Emas digunakan sebagai alat pembayaran dan perhiasan. Emas juga diaplikasikan sebagai pelapis sampel yang akan diuji dengan scanning electron microscope (SEM), terutama material nonkonduktif. Emas juga digunakan dalam kedokteran.
- 2) Perak, logam lunak ini memiliki konduktivitas panas dan listrik tertinggi di antara jenis logam yang lain. Namun karena harganya yang mahal, maka tembaga lebih banyak dipakai sebagai penghantar listrik seperti kabel. Berat jenis logam ini $10,7\text{g/cm}^3$ dan titik leburnya 964°C . Selain aplikasi

utama sebagai bahan perhiasan, perak diaplikasikan pada dunia kedokteran untuk bahan penambal gigi, komponen komputer, dan elektronik.

- 3) Platina, Logam ini memiliki konduktivitas listrik rendah, dan ulet. Berat jenis logam ini 21,45g/cm³ dan titik leburnya 1754°C. Aplikasi material ini untuk perhiasan dan komponen-komponen arloji mewah.

2. Standar Logam

Standarisasi logam dalam industri sangat penting karena erat kaitannya dengan masalah kegagalan, maintenance, kemudahan identifikasi dan pemesanan dan agar diterima di pasaran karena karakteristiknya yang jelas. Ada beberapa standarisasi di berbagai negara yang berisikan kode, spesifikasi dan jenis perlakuan dalam proses produksi dan jenis produk. Standarisasi tersebut antara lain: *Unified Numbering System* (UNS), *Society of Automotive Engineers* (SAE), *British standard* (BS), *American Iron and Steel Institute* (AISI), *Japanese Industrial standard* (JIS), *Alloy Casting Institute* (ACI), *Aluminum Association* (AA), *American Petroleum Institute* (API), *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), *Deutsches Institut für Normung / German Institute for Standardization* (DIN), *European Standard* (EN), *Association Française de Normalization* (AFNOR), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Setiap standard memiliki pengkodean tersendiri. Dengan adanya pengkodean tersebut akan memudahkan dalam mencari komparasi material. Pada tabel 1 di bawah ini menunjukkan contoh beberapa jenis baja dari beberapa standar yang memiliki kesetaraan/sebanding.

Tabel 1. Komparasi komposisi kimia Cr-Mn-Mo Cast Alloy Steels

Specification	Designation	Steel No.	UNS No.	Weight, %, max, Unless Otherwise Specified								
				C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Others
ASTM A958/ A958M-14	SC 4330	...	J232 59	0.2	0.6	0.3			0.7	1.6	0.2	
				8 -	0 -	0 -	0.0	0.0	0 -	5 -	0 -	
				0.3	0.9	0.6	35	40	0.9	2.0	0.3	...
				3	0	0			0	0	0	
JIS G5111:19 91	SCNCRM 2	...	...	0.2	0.9	0.3	0.0	0.0	0.3	1.6	0.1	
				5 -	0 -	0 -	40	40	0 -	0 -	5 -	...
				0.3	1.5	0.6			0.9	2.0	0.3	
				5	0	0			0	0	5	
EN 10293:201 5	G32NiC rM 08- 5-4	1.65 70	...	0.2	0.6				1.0	1.6	0.3	V 0.05
				8 -	0 -	0.6	0.0	0.0	0 -	0 -	0 -	Cu
				0.3	1.0	0	20	15	1.4	2.1	0.5	0.30
				5	0				0	0	0	