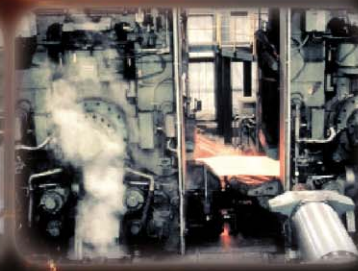




Hardi Sudjana

# TEKNIK PENGECORAN LOGAM



untuk  
Sekolah Menengah Kejuruan

# JILID 1



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional



TEKNIK PENGECORAN LOGAM JILID 1

untuk SMK

Hardi Sudjana

Hardi Sudjana

# TEKNIK PENGECORAN JILID 1

**SMK**



**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

# TEKNIK PENGECORAN JILID 1

Untuk SMK

Penulis Utama : Hardi Sudjana

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUD t	SUDJANA, Hardi Teknik Pengecoran Jilid 1 untuk SMK/oleh Hardi Sudjana -- -- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008. xvi. 143 hlm Daftar Pustaka : A1 Glosarium : B1-B8 ISBN : 978-979-060-122-2 ISBN : 978-979-060-123-9
----------	--

Diterbitkan oleh  
**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional  
Tahun 2008

## KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK

## **Kata Pengantar**

Pengecoran logam merupakan salah satu metoda pembentukan benda kerja atau bahan baku benda kerja yang telah sejak lama dilakukan bahkan jauh sebelum berkembangnya Ilmu pengetahuan dan teknologi sebagaimana bukti-bukti yang ditemukan oleh archaeologist berupa benda kuno seperti koin-koin emas, perak dan perunggu dalam bentuk tiga dimensi dibuat melalui proses pengecoran, artinya paling tidak proses pengecoran sudah dilakukan sejak berkembangnya peradaban manusia.

Dalam berbagai hal benda-benda kerja yang dibentuk melalui proses pengecoran memiliki keunggulan baik sifat maupun efisiensinya pembentukannya, bahkan tidak dimiliki oleh bahan yang dibentuk dengan cara lain, misalnya pada besi/baja tempa, dimana benda-benda tuangan (hasil pengecoran) sifat-sifatnya dapat ditentukan oleh formulasi campuran dan dapat diperbaiki menurut kebutuhan kita, bentuk dan dimensinya dapat dibentuk melalui pengecoran ini, misalnya rongga-rongga, saluran-saluran dan lain-lain yang mungkin tidak dapat dilakukan dengan cara lain, dengan demikian benda tuangan berkembang sejalan dengan modernisasi teknologi itu sendiri hal ini dikarenakan benda tuangan memiliki keunggulan dan dapat diterima diberbagai jenis produk, seperti permesinan, automotif, listrik dan elektronik, konstruksi/ bangunan gedung, asesoris dan lain-lain. Namun demikian jika kita lihat industri manufaktur yang bergerak dibidang pengecoran ini jumlahnya masih relative kecil dengan kualitas produknya pun masih rendah walaupun ada produk dengan kualitas tinggi tetapi masih dengan teknologi luar negeri. Hal ini menjadi tantangan bagi kita semua agar dapat berkompetisi dengan bangsa lain terutama dalam era globalisasi seperti sekarang ini.

Buku teks ini merupakan salah satu upaya pemerintah untuk mengejar ketertinggalan sebagaimana disebutkan yang diharapkan menjadi bahan rujukan sebagai dasar pengembangan teknik pengecoran di SMK untuk dikembangkan dan disempurnakan melalui temuan-temuan dalam praktik di sekolah serta memotivasi pelaku-pelaku pendidikan di sekolah khususnya guru praktik untuk senantiasa mengembangkan materi bahan ajar sesuai dengan bidangnya, memberikan kritik dan saran untuk menyempurnakan dan melengkapi buku teks ini agar dapat membekali peserta didik secara optimal.

Akhirnya penulis berharap mudah-mudahan buku teks ini ada guna dan manfaatnya dalam pengembangan teknologi khususnya dibidang pengecoran logam dan pendidikan teknologi pada umumnya.

Penulis,

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
KATA PENGANTAR DIREKTUR PEMBINAAN SMK.....	ii
DAFTAR ISI .....	iii
ABSTRAKSI .....	vii
SINOPSIS .....	x
ANALISIS URUTAN LOGIS STANDAR KOMPETENSI.....	xiii
DIAGRAM PENCAPAIAN.....	xvi
<b>BUKU JILID 1</b>	
<b>BAB I MENGENAL MACAM-MACAM BAHAN TEKNIK (ENGINEERING MATERIAL)</b>	1
Bahan-bahan Teknik ( <i>Materials for Engineering</i> ) dan cara pemilihannya.....	1
A. <i>Bahan alam</i> .....	2
B. <i>Bahan-bahan tiruan (synthetic materials)</i> .....	2
C. Pemakaian secara umum dari bahan-bahan plastic..	6
D. Macam-macam bahan logam (materials metals) Bahan-bahan Logam yang digunakan secara umum	8
E. Bahan-bahan Logam Non-Ferro (Non-Ferrous Metals) .....	10
F. Sifat dan berbagai karakteristik dari beberapa logam non-Ferro.....	12
G. Macam-macam Paduan dari logam non-Ferro (Non- Ferrous Alloys) .....	26
H. Pembentukan larutan.....	53
I. Daftar Istilah dan penamaan yang digunakan dalam British Standard for Aluminium Alloys.....	56
J. Nickel Paduan.....	57
K. Seng dan paduannya (Zinc and its Alloys) .....	61
L. Magnesium dan paduannya (Zinc and its Alloys) .....	65
<b>BAB II PENGOLAHAN BIJIH BESI MENJADI BAHAN BAKU</b>	72
A. <i>Pemisahan</i> logam dari bijih .....	73
B. Logam besi .....	75
C. Phosphorus .....	75
D. Peleburan Bijih besi .....	76
E. Cokas dan kapur .....	76

F. Proses peleburan .....	77
G. Komposisi unsur di dalam besi mentah .....	80
H. Pengolahan besi kasar (pig iron) menjadi bahan baku .....	81
<b>BAB III BESI TUANG</b> .....	<b>94</b>
A. Pengertian .....	94
B. Proses produksi penuangan .....	95
C. Dapur Cupola .....	96
D. Dapur udara atau dapur api .....	96
E. Dapur putar .....	96
F. Dapur listrik .....	96
G. Kadar carbon didalam besi tuang .....	99
H. Pengendalian struktur selama pendinginan .....	99
I. Berbagai alasan pembentukan melalui pengecoran.....	101
J. Besi tuang putih dan besi tuang kelabu .....	106
<b>BAB IV PEMBENTUKAN LOGAM PADUAN</b> .....	<b>119</b>
A. Berbagai alasan pembentukan logam paduan .....	119
B. Dasar-dasar pencampuran dalam persenyawaan logam .....	120
C. Struktur larutan padat dari bahan paduan dan perubahannya dalam proses pendinginan hingga mencapai temperatur ruangan .....	122
D. Diagram keseimbangan thermal .....	123
E. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat .....	125
F. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat .....	127
G. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat .....	129
H. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam .....	131
<b>BAB V PEMILIHAN LOGAM SEBAGAI BAHAN BAKU</b> .....	<b>136</b>
A. Pembentukan logam menjadi bahan baku .....	136
B. Pengelompokkan dan standarisasi baja .....	137

**BUKU JILID 2**

**BAB VI PEMBENTUKAN PRODUK BENDA KERJA DENGAN CARA PENGECORAN**

	144
<b>A. Pengecoran atau penuangan (Casting)</b> .....	144
1 Sand Casting (penuangan dengan cetakan pasir).....	145
2 Bahan cetakan dan bahan teras.....	148
3 Penguatan cetakan.....	149
4 Pendukung teras.....	150
5 Rangka cetakan (frame). .....	150
6 Perkakas cetak. ....	152
7 Proses pembuatan cetakan. ....	153
<b>B. Proses peleburan (pencairan) logam tuangan (cor)</b>	177
1. Berat Jenis, titik Cair dan koefisien kekentalan.....	177
2. Proses peleburan bahan tuangan.....	179
3. Prosedur kerja pengoperasian dapur kupola.....	180
4. Proses peleburan dengan menggunakan dapur Listrik.....	182
<b>C. Proses penuangan (pengecoran)</b> .....	186
1. Centrifugal casting (pengecoran) .....	186
2. Continouos casting (pengecoran) .....	189
3. Shell Moulding.....	190
4. Die Casting.....	191
5. Investment casting.....	195
<b>D. Faktor-faktor penting dalam proses penuangan (pengecoran)</b> .....	199
1. Tambahan penyusutan.....	199
2. Tambahan penyelesaian mesin (machining).....	200
3. Tambahan Pelengkungan (Bending Allowance).....	201
4. Sistem saluran.....	202
5. Standarisasi ukuran saluran.....	208
6. Chill – Iron.....	211

**BAB VII PENGUKURAN DAN PENANDAAN**

	224
<b>A. Pengertian</b> .....	224
<b>B. Pengukuran dan penandaan</b> .....	229
<b>C. Pengukuran dengan mistar sorong (Venier caliper)</b> ..	238
<b>D. Pengukuran dengan mikrometer</b> .....	245
<b>E. Pengukuran dengan pengukur tinggi</b> .....	250
<b>F. Penandaan benda kerja</b> .....	252



<b>BAB VIII MEMBACA DAN MENGGUNAKAN GAMBAR TEKNIK</b>	257
<b>A. Gambar rencana lengkap</b> .....	257
<b>B. Gambar susunan atau rakitan</b> .....	258
<b>C. Gambar bagian (Detail drawings)</b> .....	258
<b>D. Proyeksi</b> .....	261
1. Proyeksi Orthogonal ( <i>Orthographic Projection</i> ).....	261
2. Proyeksi Isometrik ( <i>Isometric Projection</i> ) .....	264
<b>E. Ukuran dan tanda pengerjaan</b> .....	272
1. Tanda ukuran untuk ulir (Screw Threads).....	272
2. Alat Bantu ukuran (Auxiliary dimension).....	272
3. Chamfers.....	273
4. Ukuran tidak diskala dan garis pemotongan (Breaklines) .....	273
5. Tabulasi ukuran .....	273
6. Penandaan .....	275
7. Toleransi (Tolerances) .....	278
8. Penggambaran benda-benda tuangan.....	280
9. Tanda pengerjaan.....	285
10. Toleransi Produk pengecoran dengan cetakan pasir	287
11. Penyusutan.....	289
12. Sudut tuangan .....	290
13. Radius tuangan dan perubahan tebal.....	293
14. Penunjukkan ukuran benda tuangan.....	297
15. Toleransi ukuran benda Tuangan.....	301
16. Data Teknis .....	304
 <b>BUKU JILID 3</b>	
<b>BAB IX PROSES PEMESINAN</b>	307
<b>A. Umum</b> .....	307
<b>B. Pembentukan benda kerja dengan mesin perkakas</b>	308
1. Pembentukan benda kerja dengan mesin bubut	355
2. Pembentukan benda kerja dengan mesin Frais (Milling) .....	
3. Pembentukan benda kerja dengan menggunakan mesin EDM.....	390



3. Cone-type Clutch.....	512
4. Expanding-type clutch.....	513
5. Plate-type Clutch.....	513
6. Magnetic Clutches.....	514
7. Sprag Clutches.....	514
<b>G. System satuan yang digunakan dalam konversi energy menurut Standar Internasional (SI Units).....</b>	<b>515</b>
<b>H. Power transmisi.....</b>	<b>516</b>
1. Sabuk datar (Flat Belt).....	517
2. Pulley untuk sabuk datar.....	518
3. Sabuk "V" ("V" - Belt) - <i>adjustable Vee belting</i> .....	518
4. Alur V pada pulley.....	519
5. Merakit penggerak.....	520
6. Sistem transmisi mekanik dengan menggunakan rantai.....	520
7. Standarisasi dimensional roller chains.....	522
8. Silent Chains and Toothed belt.....	528
<b>BAB XIII KESELAMATAN KERJA.....</b>	<b>531</b>
<b>A. Kebijakan pemerintah dalam penerapan Keselamatan dan Kesehatan kerja (K3)- tahun 2008. ....</b>	<b>531</b>
<b>B. Keselamatan ditempat kerja.....</b>	<b>533</b>
<b>C. Kecelakaan (<i>Accident</i>) .....</b>	<b>538</b>
<b>D. Penyebab kecelakaan.....</b>	<b>539</b>
<b>E. Pencegahan terhadap kecelakaan.....</b>	<b>539</b>
<b>F. <i>Pertolongan</i> pertama (<i>First-aid</i>) .....</b>	<b>541</b>
<b>G. Kebiasaan menjaga kebersihan.....</b>	<b>541</b>
<b>H. Faktor keselamatan di bengkel kerja.....</b>	<b>543</b>
<b>I. <i>Kelengkapan</i> keselamatan kerja peralatan tangan.....</b>	<b>543</b>
<b>J. <i>Pemesinan</i>.....</b>	<b>544</b>
<b>K. <i>Penyelamatan</i> diri akibat kebakaran (<i>Fire fighting</i>).....</b>	<b>545</b>
<b>L. Jenis api dan alat pemadamnya.....</b>	<b>548</b>

DAFTAR PUSTAKA .....

DAFTAR GAMBAR .....

DAFTAR TABEL .....

LAMPIRAN .....

## ABSTRAKSI

Proses rekayasa dibidang Teknologi pada dasarnya merupakan upaya optimalisasi penggunaan sumber daya alam secara efektif dan efisien agar memberikan manfaat sebesar-besarnya untuk kepentingan hidup manusia. Perkembangan peradaban manusia ditandai dengan meningkatnya kebutuhan dan kemudahan dalam mencapai tujuan yang diinginkannya, oleh karena itu berbagai cara dilakukannya dan selalu mencari berbagai alternative yang lebih baik dan efisien melalui pemanfaatan energi yang ada. Ketersediaan sumber energi alam serta meningkatnya populasi manusia, kembali manusia dituntut untuk mencari dan menemukan energi alternative yang lebih efisien pula. Dengan demikian modernisasi peradaban manusia akan menuntut manusia itu sendiri untuk selalu berfikir dan berusaha mengembangkan Ilmu pengetahuan dan keterampilannya agar dapat memanfaatkan dan menemukan Teknologi baru yang lebih baik dan tepat guna, karena pada dasarnya alam telah menyediakan berbagai materi yang cukup, hanya karena keterbatasan pengetahuan kita materi tersebut tidak dapat dimanfaatkan, terlebih lagi pada era globalisasi dimana bangsa yang maju akan lebih menguasai bangsa yang lemah.

Berdasarkan pada kenyataan ini nampak jelas bahwa pengetahuan tentang materi dan sumber daya alam ini mutlak harus dikuasai agar dapat mengolah dan menggunakannya secara tepat dan efisien sehingga memberikan manfaat secara optimal untuk kehidupan manusia. Secara sederhana kita akan bertanya: *Materi apa yang akan kita olah dan kita manfaatkan, jika kita tidak mengetahui materi tersebut?*

Logam merupakan salah satu materi alam yang memiliki peranan penting dalam mendukung berbagai sektor kehidupan manusia yang memerlukan pengembangan dengan berbagai penerapan teknologi. Untuk itu banyak hal yang harus diketahui dan difahami karena ternyata logam ini sangat kompleks dan bervariasi dari jenis hingga sifat dan karakteristiknya. Para Ilmuwan telah sejak lama melakukan analisis dan dapat kita gunakan sebagai dasar teoritis untuk dikembangkan secara produktif.

Teknik Pengecoran merupakan salah satu metoda yang dapat mengimplementasikan pengetahuan dan keterampilan tentang ilmu logam ke dalam bentuk berbagai produk yang bermanfaat, melalui re-komposisi dari berbagai unsur logam menjadi sebuah unsur logam paduan sehingga akan diperoleh suatu produk dengan sifat tertentu, yang selanjutnya akan diketemukan sebuah formulasi baru yang lebih baik dan teruji secara ilmiah untuk dimanfaatkan menjadi produk berstandar yang bernilai tinggi sesuai dengan kebutuhan kualitas produk yang

disyaratkan, dimana proses pembentukan benda kerja melalui proses pengecoran dilakukan dengan memilih berbagai jenis bahan yang sesuai dengan sifat produk yang dikehendaki, melakukan peleburan atau pencairan melalui pemanasan, menuangkannya ke dalam cetakan untuk memperoleh bentuk dan dimensi benda yang diinginkan serta melakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian kualitas produk terhadap kualitas yang disyaratkan. Untuk itu maka berbagai pengetahuan sebagai dasar pelaksanaannya harus dikuasai, antara lain :

1. Pengetahuan Logam dan bahan-bahan Teknik
2. Membaca dan menggunakan Gambar
3. Memilih dan menggunakan alat ukur serta alat penandaan
4. Teknologi pengecoran dan pembuatan produk melalui pengecoran
5. Pengujian dan pemeriksaan
6. Mengetahui berbagai metoda dan system Conversi energy
7. Pengetahuan tentang perkakas pertukangan kayu dengan operasi mekanik dan manual.
8. Menerapkan berbagai aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3)

## SINOPSIS

Buku teks ini merupakan salah satu referensi untuk membantu siswa SMK dalam mencapai kompetensi kejuruan dibidang pengecoran logam yang mencakup berbagai aspek prasyarat kerja yang harus dipelajari dan dikuasai sehingga dapat melakukan kegiatan praktik sesuai dengan ketentuan prosedur kerja yang benar.

Melalui buku Teks ini sedikitnya akan memberi gambaran kepada peserta didik khususnya siswa SMK untuk mencari dan mengembangkan pengetahuan dan keterampilannya serta memperkaya wawasan keilmuannya dari berbagai sumber yang relevan, yang tidak dimuat pada Buku Teks ini.

Buku Teks ini disusun berdasarkan analisis persyaratan penguasaan materi pendukung yang secara utuh harus dimiliki siswa SMK sebagai calon tenaga kerja yang akan bekerja pada bidang pengecoran logam, antara lain meliputi pemahaman teoritis tentang :

1. Bahan-bahan teknik yang terdiri atas bahan alam, bahan tiruan, bahan logam dan bahan non-logam, logam ferro dan logam non-ferro dari berbagai sifat dan karakteritiknya yang dapat dipilih dan digunakan sebagai bahan pembuat cetakan model (pattern) melalui pencetakan pasir (sand-cast), cetakan logam (die-cast), serta sebagai bahan baku produk pengecoran, antara lain sifat mekanik secara umum, berat jenis, dan titik cair (melting point) dari berbagai jenis logam.
2. Bahan logam menjadi bagian pembahasan yang luas dan memerlukan pengembangan yang lebih aplikatif oleh guru dan siswa disekolah melalui pengalaman secara praktis, khususnya dalam memformulasikan bahan-bahan tersebut menjadi produk pengecoran yang dapat memenuhi kualitas mutu yang disyaratkan.
3. Membaca dan menggunakan gambar teknik merupakan materi pendukung pelaksanaan pekerjaan bagi operator mesin maupun tenaga kerja pengecoran logam, pada gambar teknik khususnya gambar kerja memuat berbagai informasi pekerjaan yang meliputi dimensional geometris dan berbagai persyaratannya termasuk besaran penyimpangan yang diizinkan, allowance yang harus dipersiapkan dalam pembuatan cetakan yang berhubungan dengan kemungkinan terjadinya perubahan ukuran yang disebabkan oleh adanya penyusutan, bending, pengerjaan mesin (machining) dan lain-lain, dimana gambar kerja akan memandu kita dalam menentukan langkah-langkah kerja, dengan mesin jenis apa benda

kerja tersebut harus dikerjakan dan alat ukur apa yang harus digunakan dan lain-lain.

4. Pengukuran dan penandaan (measurement and marking out) merupakan bagian dari proses pekerjaan yang selalu dilakukan untuk menentukan dan mengendalikan dimensional produk pekerjaan baik pada perencanaan pekerjaan, selama proses pengerjaan maupun pemeriksaan kesesuaian hasil pekerjaan yang berhubungan dengan dimensional produk yang disyaratkan. Proses pengukuran dilakukan sejak persiapan selama proses, hingga akhir proses produksi. Oleh karena itu pemahaman tentang alat ukur harus dikuasai secara menyeluruh baik pada alat-alat ukur sederhana, alat penandaan maupun alat-alat ukur presisi, serta berbagai metoda pengukuran termasuk penggunaan alat ukur bantu agar dapat menentukan dimensi pekerjaan hingga bagian yang sangat rumit.
5. Proses pemesinan merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dari proses manufactur dimana sejak persiapan cetakan, pembuatan model luar maupun inti diperlukan pengoperasian mesin dan perkakas baik perkakas untuk pengerjaan logam maupun perkakas pertukangan kayu.  
Pekerjaan pemesinan merupakan bagian penting yang harus difahami oleh operator kerja bidang pengecoran logam terutama dalam hubungannya dengan pembuatan dies atau cetakan logam (mould) seperti mesin-mesin EDM yang lebih spesifik untuk fungsi tersebut.  
Proses pemesinan sering diperyaratkan pada benda-benda produk pengecoran, biasanya produk tersebut merupakan part atau bagian dari rakitan beberapa komponen, walaupun tidak merupakan bagian dari pekerjaan pengecoran, tetapi sedikitnya bagian dari benda kerja hasil pengecoran (casting) yang harus dikerjakan lanjut melalui pemesinan merupakan bagian yang telah direncanakan dalam urutan pekerjaan pengecoran, akan tetapi pembahasan ini lebih kepada hal-hal yang berhubungan dengan pembentukan benda-benda tuangan atau cor (casting) yang biasanya memiliki bentuk yang tidak beraturan sehingga diperlukan perhatian khusus terutama dalam memegang benda kerja (casting) tersebut pada peralatan mesin yang tersedia, atau pembuatan alat bantu yang sesuai dengan kebutuhan pemotongan pada fungsi mesin perkakas tersebut.
6. Teknik peleburan sangat berhubungan dengan pengetahuan logam didalamnya memuat berbagai sifat pencampuran bahan paduan serta derajat pemanasan yang diperlukan untuk jenis logam yang diperlukan. Dalam pembahasan ini memuat berbagai dapur lebur yang umum dan dapat digunakan dalam proses pengecoran.
7. Teknik pengecoran merupakan metoda proses pembentukan benda kerja dengan cara mencairkan logam tertentu dan menuangkannya ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan, pada bagian ini dibahas

langkah-langkah secara umum serta berbagai contoh untuk pembuatan produk pengecoran, penentuan jenis saluran, proses pengecoran dengan grafitasi, penekanan (pressure) serta sentrifugal casting dan lain-lain.

8. Pengujian dan pemeriksaan meliputi pengujian terhadap sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan tarik dan reaksi bahan akibat pembebanan tarik, kekuatan geser, kekuatan lengkung dan lain-lain yang dikelompokkan dalam *Destructif Test* (DT), Pemeriksaan terhadap sifat physic yang dikelompokkan dalam *Non Destructif Test* (NDT) yang meliputi pemeriksaan cacat luar dan cacat dalam dan pemeriksaan pada mikrostruktur (Metallography).
9. Keselamatan kerja yang memberikan gambaran kecelakaan akibat kelalaian dalam operasi pekerjaan, penanganan bahaya kebakaran.



## Analisis Urutan Logis STANDAR KOMPETENSI

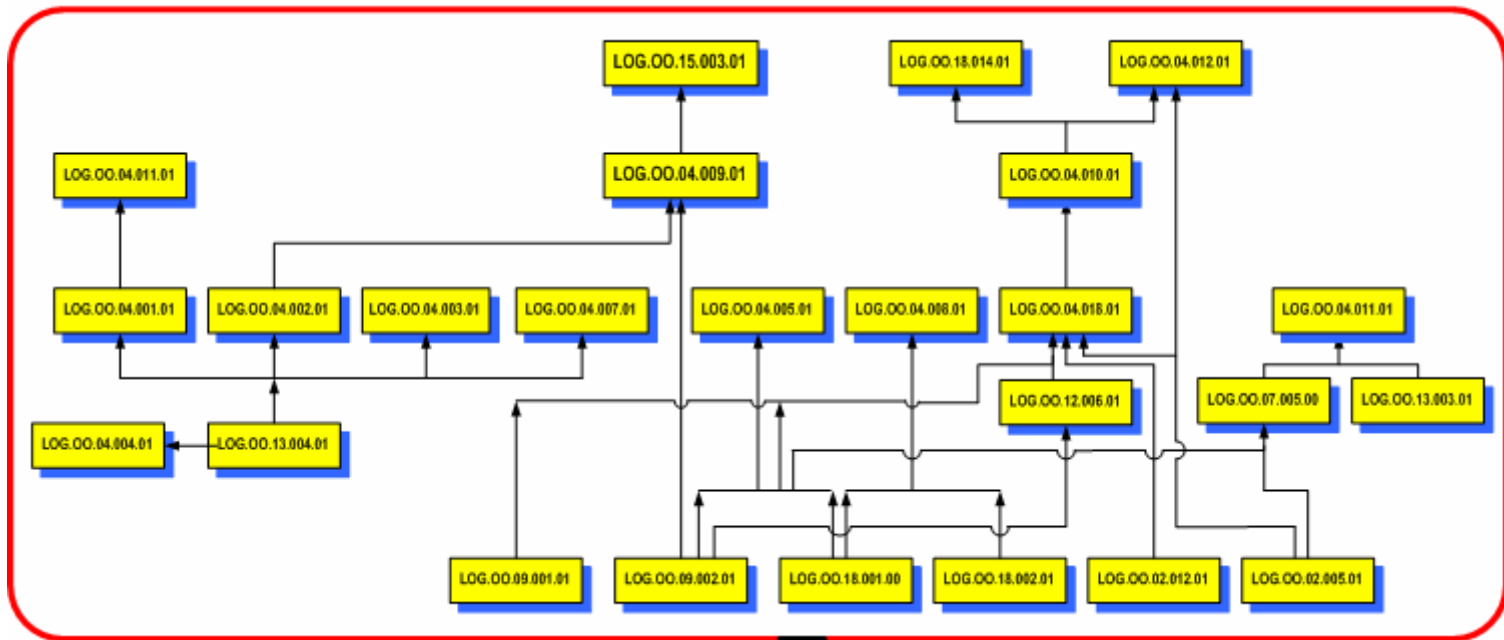
NO	KODE STANDAR KOMPETENSI	DAPAT BERDIRI SENDIRI		TERGANTUNG PADA KOMPETENSI MANA	MENUJU KOMPETENSI MANA
		YA	TIDAK		
240	LOG.OO.04.001.01		√	LOG.OO.13.004.01,	LOG.OO.06.007.01
241	LOG.OO.04.002.01		√	LOG.OO.13.004.01,	LOG.OO.04.009.01
242	LOG.OO.04.003.01		√	LOG.OO.13.004.01	
243	LOG.OO.04.004.01	√			
244	LOG.OO.04.005.01		√	LOG.OO.09.002.01 LOG.OO.18.001.00	
245	LOG.OO.04.006.01	√			
246	LOG.OO.04.007.01		√	LOG.OO.13.004.01	
247	LOG.OO.04.008.01		√	LOG.OO.18.001.00 LOG.OO.18.002.00	
248	LOG.OO.04.009.01		√	LOG.OO.04.002.01 LOG.OO.09.002.00	LOG.OO.15.003.01
249	LOG.OO.04.010.01		√	LOG.OO 02.012.01 LOG.OO 04.018.01 LOG.OO 09.001.01 LOG.OO 09.002.01 LOG.OO 12.006.01 LOG.OO 18.001.01 LOG.OO 18.002.01	LOG.OO.18.014.01 LOG.OO.04.012.01
250	LOG.OO04.011.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO07.005.01 LOG.OO13.003.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO18.001.01	
251	LOG.OO.04.012.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO02.012.01 LOG.OO04.010.01 LOG.OO04.018.01 LOG.OO09.001.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO12.006.01 LOG.OO18.001.01 LOG.OO18.002.01	
252	LOG.OO.04.018.01		√	LOG.OO02.005.01 LOG.OO09.001.01 LOG.OO09.002.01 LOG.OO18.001.01	LOG.OO.04.010.01 LOG.OO.04.012.01

**Keterangan Kode Standar Kompetensi:**

KODE STANDAR KOMPETENSI	STANDAR KOMPETENSI
LOG.00.09.001.01	Menggambar dan membaca sketsa
LOG.00.09.001.01	Membaca gambar teknik
LOG.00.07.005.01	Bekerja dengan mesin umum
LOG.00.18.001.01	Menggunakan perkakas tangan
LOG.00.18.002.01	Menggunakan perkakas bertenaga/operasi digenggam
LOG.00.13.003.01	Bekerja secara aman dengan bahan kimia dan industri
LOG.00.13.004.01	Bekerja dengan aman dalam mengolah logam/gelas cair
LOG.00.04.001.01	Operasi tanur peleburan
LOG.00.04.002.01	Pengecoran tanpa tekanan
LOG.00.04.003.01	Mengoperasikan mesin pengecoran bertekanan
LOG.00.04.004.01	Mempersiapkan dan mencampur pasir untuk cetakan pengecoran logam
LOG.00.04.005.01	Membuat cetakan dan inti secara manual (jobbing)
LOG.00.04.006.01	Mengoperasikan mesin cetak dan mesin inti
LOG.00.04.007.01	Penuangan cairan logam
LOG.00.04.008.01	Pembersihan dan pemotongan produk pengecoran
LOG.00.04.009.01	Inspeksi dan pengujian benda tuang
LOG.00.04.010.01	Pengembangan dan pembuatan pola kayu
LOG.00.04.011.01	Membuat pola resin
LOG.00.04.012.01	Assembling pola plat
LOG.00.04.013.01	Mengembangkan dan membuat pola polistiren
LOG.00.04.018.01	Operasi mesin kerja kayu secara umum
LOG.00.15.003.01	Melakukan Pemeriksaan Dasar

KODE STANDAR KOMPETENSI	STANDAR KOMPETENSI
LOG.00.06.007.01	Melakukan proses pemanasan/ <i>quenching</i> , <i>tempering</i> dan <i>annealing</i>
LOG.00 12.006.01	Pemberian tanda batas (teknik dasar)
LOG.0012.003.01	Mengukur dengan alat ukur mekanik presisi
LOG.0018.014.01	Membuat perkakas.mal ukur dan matras
LOG.00 02.012.01	Melakukan perhitungan matematika
LOG.0002.005.01	Mengukur dengan menggunakan alat ukur
LOG.0015.003.01	Melakukan Pemeriksaan Dasar

## DIAGRAM PENCAPAIAN STANDAR KOMPETENSI TEKNIK PENGECORAN





## **BAB I**

### **MENGENAL MACAM-MACAM BAHAN TEKNIK (ENGINEERING MATERIAL)**

Alam disekitar kita terdiri dari berbagai jenis bahan (material) dan merupakan sumber potensial yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Jauh sebelum revolusi industri manusia telah merasakan manfaat material dan menyadari bahwa pemanfaatan material mampu mengubah peradaban manusia, oleh karena itu material (bahan) menjadi sangat penting artinya dan senantiasa berkembang sesuai dengan perkembangan peradaban, Ilmu Pengetahuan serta Teknologi manusia itu sendiri. Untuk itulah maka berbagai sumber daya alam dieksplorasi dan diolah secara besar-besaran.

Teknologi informasi berpengaruh besar terhadap Perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi secara global dan menjadikan persaingan ekonomi yang sangat ketat, sementara ketersediaan sumber daya alam akan bahan (material) menjadi sangat terbatas, tentu saja hal ini menuntut inovasi dan efisiensi pemanfaatan bahan alam secara optimal.

#### **Bahan-bahan Teknik (*Materials for Engineering*) dan cara pemilihannya**

Yang dimaksud dengan bahan-bahan teknik ialah bahan (material) yang dapat digunakakan baik secara langsung maupun melalui proses pengolahan dan berfungsi sebagai bahan baku suatu produk yang bermanfaat.

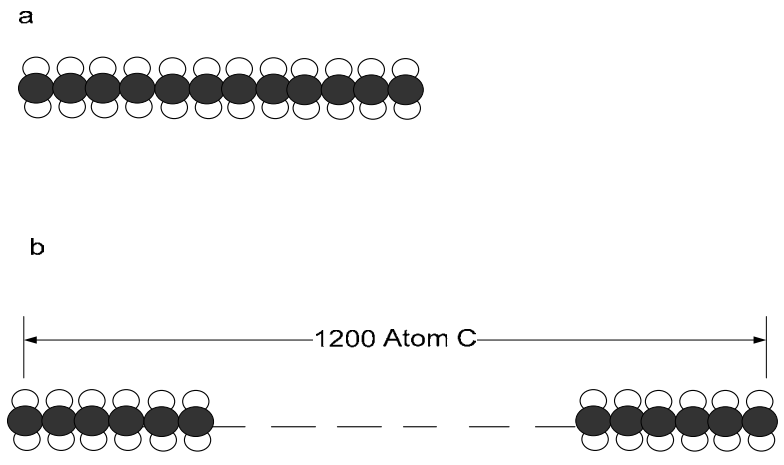
Keragaman kebutuhan manusia akan suatu produk baik kualitas maupun kuantitasnya maka diperlukan pula keragaman dari bahan-bahan Teknik itu sendiri sebagai bahan bakunya, kendati semua material diperoleh dari alam namun untuk mempermudah dalam pemilihannya maka bahan teknik ini dikelompokkan berdasarkan pemakaiannya baik sebagai prduk jadi maupun sebagai bahan baku, dimana bahan-bahan digunakan secara langsung dan dipilih sesuai dengan sifat dan karakteristik alami dari bahan tersebut, bahan ini yang kita sebut sebagai ***bahan alam***, namun ada juga bahan yang diolah terlebih dahulu agar memiliki sifat dan karakteristik secara spesifik atau menyerupai sifat dan karakteristik bahan-bahan alam tertentu sehingga memenuhi syarat kebutuhan sifat dan karakterristik suatu produk yang diinginkan dan bahan dari kelompok ini yang kita sebut sebagai ***bahan tiruan*** atau ***syntetic materials***.

**A. Bahan alam**

*Bahan alam* merupakan bahan baku prorduk yang diperoleh dan digunakan secara langsung dari bahan alam, oleh karena itu produk akhir yang menggunakan bahan baku ini akan memiliki sifat yang sama dengan bahan asalnya, yang termasuk dalam kelompok ini antara lain kayu, batu, karet, kulit, keramik, Selulosa dan lain-lain.

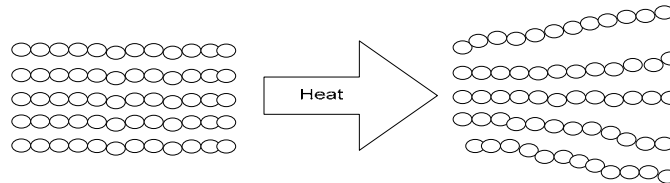
**B. Bahan-bahan tiruan (*syntetic materials*)**

Bahan-bahan tiruan (*syntetic materials*) biasanya diperoleh dari senyawa kimia dengan komposisi berbagai unsur akan diperoleh suatu sifat tertentu secara spesifik atau sifat yang menyerupai sifat bahan alam. Bahan ini dikenal sebagai bahan plastic (*Plastics Materrials*), yakni suatu bahan yang pertama kali dibuat oleh Leo Baekeland seorang Belgia tahun 1907 dan dipatenkan dengan nama Baklite. Molekul yan kita sebut sebagai "Polymer" yang berarti, *Materials Plastics* yang terbentuk dari ikatan rantai atom-atom serta terdiri atas "beberapa Unit" ikatan rantai atom-atom tersebut. oleh karena itu proses pengikatan dengan molekul-molekul kecil ini dikenal sebagai "Polymerization". Contoh dari bahan jenis ini ialah Polythene yakni Polymer yang terdiri atas 1200 atom Carbon pada setiap 2 atom Hydrogen (lihat gambar 1) sehingga memiliki tegangan serta keuletan yang tinggi.dan pada beberapa jenis plastic memiliki regangan yang besar yang dakibatkan oleh rantai ikatan yang panjang.



**Gambar 1.1** Polythene yakni Polymer yang terdiri atas 1200 atom Carbon pada setiap 2 atom Hydrogen

Untuk bahan Plastic ini dapat dibedakan kedalam dua kelompok yaitu : Thermoplastic dan Thermosetting Plastics, yang membedakan dari kedua jenis ini ialah panjang rantai ikatan polimernya yang tentu saja akan berpengaruh terhadap perbedaan sifat dari bahan Plastik tersebut antara lain ketahanan terhadap temperature tinggi atau pemanasan lihat diagram pada gambar 1.2.



**Gambar 1.2** Panjang rantai ikatan dalam polimerisasi bahan plastic

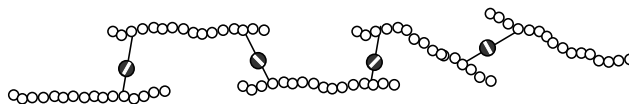
Gambar 1.2 diatas menunjukkan pengaruh panas terhadap rantai polymer dimana panas dapat mengakibatkan terbukanya ikatan atom sehingga plastic menjadi lembek hingga cair tergantung tingkat pemanasannya.

### 1. **Thermoplastics**

Thermoplastics dapat mencair melalui proses pemanasan dan dapat diubah bentuknya melalui pencetakan sebagaimana yang dilakukan pada bahan seperti Polythene, Polystyrene, Poly Vinyl Cloride (PVC), Nylon, Perspex, Propylene dan lain-lain

### 2. **Thermosetting**

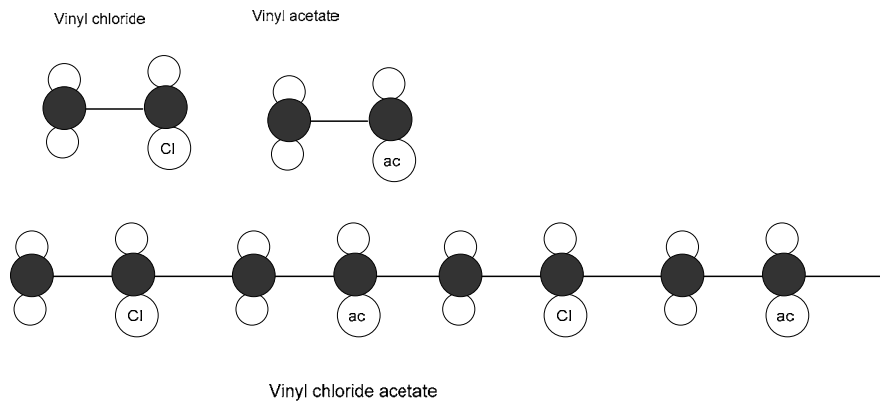
Thermosetting memiliki perbedaan dengan thermoplastics dimana pemanasan akan hanya dapat melakukan perubahan formasi rantai molekul secara kimiawi dalam bentuk ikatan melintang tiga dimensi (lihat gambar 1. 3)



**Gambar 1.3** Bentuk Ikatan kuat rantai Atom-atom



Dengan formasi rantai molekul sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1.4, apabila temperature dikembalikan maka thermosetting akan menjadi keras dan kaku (*Rigid*). Dan tidak akan lembek kembali hal ini disebabkan oleh ikatan yang kuat dari rantai molekul, dengan demikian Thermosetting menjadi keras dan stabil. Oleh karena itu thermosetting banyak digunakan sebagai handle tahan panas, asbak rokok, fitting lampu dan lain-lain. Bahan-bahan yang termasuk dalam kelompok ini antara lain Bakelite, melamine, epoxy resins dan polyester. Jenis ini yang berbeda adalah epoxy resins yang digunakan sebagai bahan perkat (Glues) atau Araldite serta bahan pelapis fibre glass akan mengeras karena pengaruh temperatur ruangan. Apabila jumlah monomernya berbeda maka rantai ikatan dapat menggunakan co-polymer, seperti Poly Vinyl Cloride ditambah Vinyl Acetate yang akan menghasilkan Poly (Vinyl Cloride Acetate) yang digunakan dalam industri rekaman. (Lihat gambar 4).



**Gambar 1.4** Poly (Vinyl Cloride Acetate)

Gaya tarik antara rantai Molekul dapat terbentuk oleh pergeseran tempat molekul dalam pemisahan diri akibat larutan dari bahan tersebut. Tempat plastisizer memberikan pengaruh terhadap sifat polymer.

Contohnya penambahan kapur barus pada Cellulose nitrate yang menghasilkan suatu zat yang perdagangan diketahui sebagai celluloid dan dapat dicetak melalui pemanasan.

Sifat-sifat mekanik dari bahan-bahan plastic dapat diperbaiki dengan penguatan oleh bahan tambah (filler material), serat fibre, serbuk gergaji, sampah kertas, majun dan lain-lain dapat meningkatkan tegangannya, serat asbes dapat meningkatkan ketahanan panasnya dan untuk resistensi arus listrik dapat digunakan mica.

Bahan pelapis digunakan lembaran plastic (Plastic-impregnated paper) dengan lapisan Cotton untuk pemakaian pada penguatan panel. Atau lapisan kayu untuk memperbaiki performanya.

Serat penguat plastic (Fibre-reinforced) dicoba untuk meningkatkan tegangan dari keadaan rapuh dan lembek.

Fibre-glass telah digunakan sejak beberapa tahun yang lalu sebagai bahan pembuat body perahu, body kendaraan dan lain-lain. Penambahan unsur Carbon menjadikannya sebagai bahan composite yang ringan namun memiliki tegangan yang tinggi.

### 3. Karet *sintetis* (Synthetic-rubbers)

Karet alam diproduksi dari cairan latex atau getah pohon karet polymer yang panjang dengan rantai molekul yang berserakan, Karet alam memiliki kedua sifat yakni elastic dan thermoplastic, deformasi permanent dapat terjadi apabila diregang secara perlahan dengan peningkatan temperature.

**Charles Goodyer (1839)** mengolahnya dengan mencampurkan latek dengan sulphur dan menghasilkan karet dengan sifat yang lebih kenyal dan elastic lembut serta tahan terhadap temperature tinggi dan dikembangkan menjadi faberik Vulcanizing sebagai mana yang kita kenal saat ini sebagai faberik ban (manufacture of tyre).

**The American-developed syntetic rubber, GR-S**, yang merupakan polymer hasil pencampuran antara Butadiene dengan styrene, bahan ini memiliki sifat dan karakteristik yang sama dengan karet alam dengan harga yang lebih murah juga digunakan di paberik ban (manufacture of tyre), alas kaki (foot wear), pipa karet (hosepipe) sabuk konveyer serta isolasi kabel.

**Neoprene** ialah jenis lain dari karet syntetis yang memiliki sifat sama dengan karet alam dengan sifatnya yang sangat tahan terhadap minyak nabati dan oli mineral serta tahan terhadap temperature tinggi. Neoprene merupakan bahan yang relative mahal,

pemakaiannya adalah sebagai bahan pipa, sabuk konveyer serta lapisan kabel.

**Butyl-rubber** merupakan co-polymer dari isobutylene dan isoprene, bahan ini sangat stabil terhadap bahan kimia dan temperatur tinggi, harganya sedikit lebih murah dari karet alam namun kurang tahan, kendati demikian karret ini tidak tembus udara dan gas dan digunakan sebagai bahan innertube, tubeless tyre, air bag peralatan olah raga, cetakan diapragma juga digunakan sebagai bahan hose, lapisan tangki serta sabuk konveyor (Conveyor belts).

### C. Pemakaian secara umum dari bahan-bahan plastic

#### *Poly Vinyl Chloride (PVC)*

Dalam keadaan tidak plastis PVC sangat kenyal dan keras, namun apabila melembek maka PVC akan menjadi plexible dan mengaret, ini sifat yang baik dari PVC yang memberikan dimensi yang stabil serta sifatnya yang lain ialah tahan terhadap air, asam, alkalis dan bahan pelarut lainnya.

Pemakaian :

Sifatnya yang kaku (*rigid*) dan dapat mempertahankan bentuknya PVC sangat cocok digunakan pada berbagai bahan tuangan (*Moulding*).

Sifatnya yang plexible dari PVC sangat baik digunakan sebagai pelapis permukaan serta pelapis bocor. PVC juga digunakan sebagai bahan pipa, saluran dan kotak kabel, safety helmet serta bahan pelapiss tangki bahan kimia.

#### *Polytetraflouroethylene (PTFE atau Teflon)*

Teflon sangat kenyal dan flexible serta unggul dalam ketahanan panas dimana Teflon tidak dapat terbakar, tidak dapat diserang oleh berbagai reaksi bahan pelarut serta bahan isolator listrik yang baik, koefisien gesek yang rendah dengan harga yang relative murah.

Pemakaian :

Sebagai bantalan (Bearing), pipa-pipa bahan baker, gasket dan pita, serta peralatan bahan kimia dimana PTFE sangat tahan terhadap pengaruh bahan kimia.

### *Polyamides (Nylons)*

Polyamides (Nylons) sangat kuat dan ulet namun flexible, tahan terhadap abrasi serta dimensi yang stabil, Nylon dapat

meredam air dan bahan pelarut secara umum, memiliki sifat yang baik sebagai bahan isolasi listrik (Electrical insulation).

Polyamides (Nylons) akan memburuk jika ditempatkan ditempat terbuka.

Pemakaian :

Nylon digunakan sebagai bahan roda gigi, Valves, kelengkapan alat listrik, handle, knob, bearing, Cams, Shock absorber, Combs, pembalut dan pembungkus obat, jas hujan, serabut sikat, nat dan textile.

### *Phenol formaldehyde (Bakelite)*

Pada keadaan mentah Phenolic sangat rapuh, oleh karenanya dapat bercampur dengan bahan serat untuk meningkatkan kekuatannya dan akan diperoleh diversifikasi sifat dari sifat asalnya tergantung pada komposisi bahan tambah. Benda yang dibuat dari bahan ini akan rapuh jika bentuk/ukuran benda sangat tipis.

Bakelite menyerap air namun tahan terhadap alcohol, oli serta bahan-bahan pelarut lainnya. Pembentukannya tidak melalui pencairan melainkan dipadatkan pada temperature 200°C.

Pemakaian :

Peralatan listrik, tobol, handle, box radio, mebel (furniture), Vacuum Cleaner part, kamera, assbak rokok, kelengkapan kelistrikan automotive dan pemakaian lainnya seperti hiasan, ornament, bahan pelapis bahkan roda gigi, bantalan peralatan *aircraft* juga peralatan kesehatan, pelapis kopeling dan rem kendaraan.

### *Polyethylene (Polythene)*

Polyethylene (Polythene) merupakan salah satu dari jenis Thermoplastic serbaguna karena sifatnya yang istimewa kenyal dan flexible pada berbagai perubahan rentang temperature serta mempertahankan kestabilan dimensinya. Sifat yang lain dari Polyethylene (Polythene) ialah sangat mudah dicetak dan tahan terhadap berbagai jenis unsur pelarut juga tahan terhadap kelembaban cuaca, akan tetapi untuk jangka waktu yang lama tidak tahan terhadap cahaya.

Pemakaian :

Polyethylene (Polythene) digunakan secara luas sebagai bahan pembungkus serta penutup botol, juga sangat baik digunakan dalam kebutuhan rumah tangga seperti ember, mangkok dan lain-lain disamping pemipaan, kelengkapan kesehatan, serta pelindung kawat atau kabel.

**D. Macam-macam bahan logam (materials metals) Bahan-bahan Logam yang digunakan secara umum**

**1. Besi (Iron)**

Besi kasar yang diperoleh melalui pencairan didalam dapur tinggi dituangkan kedalam cetakan yang berbentuk setengah bulan dan diperdagangkan secara luas untuk dicor ulang pada cetakan pasir yang disebut sebagai "Cast Iron" (besi tuang) sebagai bahan baku produk, dimana besi tuang akan diproses menjadi baja pada dapur-dapur baja yang akan menghasilkan berbagai jenis baja.

**2. Tembaga (Copper)**

Tembaga murni digunakan secara luas pada industri perlistrikan, dimana salah satu sifat yang baik dari Tembaga (*Copper*) ialah merupakan logam conductor yang baik (*Conductor Electricity*) kendati tegangannya rendah.

Pada jenis tertentu tembaga dipadukan dengan seng sehingga tegangannya menjadi kuat, paduan Tembaga Seng ini yang dikenal dengan nama Kuningan (Brass), atau dicampur Timah (Tin) untuk menjadi Bronze.

Brass diextrusi kedalam berbagai bentuk komponen peralatan listrik atau peralatan lain yang memerlukan ketahanan korosi. Produk Brass yang berbentuk lembaran (sheet) sangat liat, dibentuk melalui pressing dan deep-drawing.

Bronze yang diproduksi dalam bentuk lembaran memiliki tegangan yang cukup baik dan sering ditambahkan unsur Phosporus yang dikenal dengan Phosphor-Bronze. Bahan ini sering digunakan sebagai bantalan dan dibuat dalam bentuk tuangan dimana bahan ini memiliki tegangan dan ketahanan korosi yang baik.

### **3. Timah hitam atau Timbal (Lead)**

Timah hitam atau Timbal (*Lead*) memiliki ketahanan terhadap serangan bahan kimia terutama larutan asam sehingga cocok digunakan pada Industri Kimia. Bahan Timah Hitam (*Plumber*) juga sering digunakan sebagai bahan flashing serta bahan paduan solder. Juga digunakan sebagai lapisan bantalan paduan dengan penambahan free-cutting steel akan menambah sifat mampu mesin (*Machinability*).

### **4. Seng (Zinc)**

Seng (*Zinc*) dipadukan dengan tembaga akan menghasilkan kuningan (*Brass*). Dengan menambah berbagai unsur bahan ini sering digunakan sebagai cetakan dalam pengecoran komponen Automotive. Seng (*Zinc*) digunakan pula untuk tuangan sell battery serta bahan galvanis untuk lapisan anti karat pada baja.

### **5. Aluminium (Aluminium)**

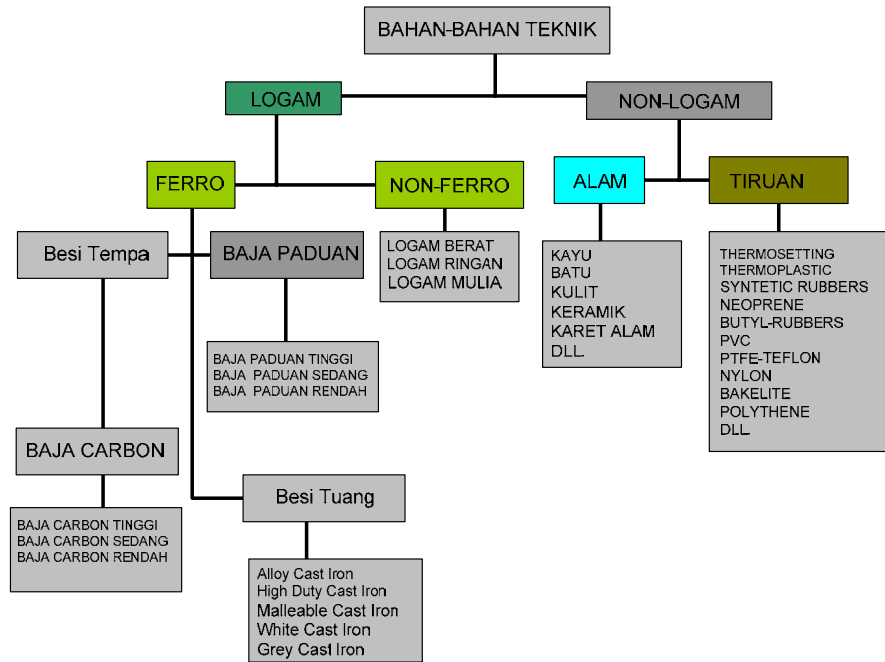
Paduan Aluminium (*Aluminium Alloy*) digunakan sebagai peralatan aircraft, automobiles serta peralatan teknik secara luas karena *sifatnya yang kuat dan ringan*. Aluminium juga digunakan secara luas sebagai bahan struktur peralatan dapur saerta berbagai pembungkus yang tahan panas.

### **6. Nickel dan Chromium (Nickel and Chromium)**

Nickel dan Chromium (*Nickel and Chromium*) digunakan secara luas sebagai paduan dengan baja untuk memperoleh sifat khusus juga digunakan sebagai lapisan pada berbagai logam.

### **7. Titanium (Ti)**

Titanium (Ti) logam dengan warna putih kelabu dengan kekuatan setara baja dan stabil hingga temperature 400<sup>0</sup>C memiliki berat jenis 4,5 kg/dm<sup>3</sup>. Titanium digunakan sebagai pemurni baja atau digunakan sebagai unsur paduan pada Aluminium.



Gambar 1.5 Ikhtisar bahan-bahan Teknik

### E. Bahan-bahan Logam Non-Ferro (Non-Ferrous Metals)

Logam Non-Ferro (Non-Ferrous Metal) ialah jenis logam yang secara kimiawi tidak memiliki unsur besi atau Ferro (Fe), oleh karena itu logam jenis ini disebut sebagai logam bukan Besi (non Ferro).

Beberapa dari jenis logam ini telah disebutkan dimana termasuk logam yang banyak dan umum digunakan baik secara murni maupun sebagai unsur paduan.

Pada uraian berikut akan kita lihat logam dari jenis non Ferro ini secara lebih luas lagi, karena semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi terutama dalam pengolahan bahan logam, menjadikan semua jenis logam digunakan secara luas dengan berbagai alasan, mutu produk yang semakin ditingkatkan, kebutuhan berbagai peralatan pendukung teknologi serta keterbatasan dari ketersediaan bahan-bahan yang secara umum digunakan dan lain-lain.

Logam non Ferro ini terdapat dalam berbagai jenis dan masing-masing memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda secara spesifik antara logam yang satu dengan logam yang lainnya, demikian pula

dalam cara pengadaannya, pengolahannya, perlakuannya serta pemakaiannya.

Keberagaman sifat dan karakteristik dari logam Non Ferro ini memungkinkan pemakaian secara luas baik digunakan secara murni atau pun dipadukan antara logam non ferro bahkan dengan logam Ferro untuk mendapatkan suatu sifat yang baru yang berbeda dari sifat asalnya .

Untuk mengetahui macam-macam logam non ferro ini dapat disebutkan sebagai berikut :

1 Lead, Tiam hitam, Plumbum (Pb)	19 Iridium (Ir)
2 Titanium (Ti)	20 Germanium (Ge)
3 Nickel, Nickolium (Ni)	21 Tantalum (Ta)
4 Timah putih, Tin, Stannum (Sn)	22 Tellurium (Te)
5 Seng, Zincum (Zn)	23 Manganese (Mn)
6 Magnesium (Mg)	24 Mercury, Hydragirum (Hg)
7 Aluminium (Al)	25 Molybdenum (Mo)
8 Tembaga, Copper, Cuprum (Cu)	26 Platinum (Pt)
9 Bismuth (Bi)	27 Palladium (Pd)
10 Boron (B)	28 Rhodium (Rh)
11 Cadmium (Cd)	29 Argentum , Silver (Ag)
12 Cerium (Ce)	30 Selenium (Se)
13 Chromium (Cr)	31 Thorium (Th)
14 Cobalt (Co)	32 Tungsten, Wolfram (W)
15 Silisium (Si)	33 Mas, Gold, Aurum (Au)
16 Beryllium (Be)	34 Zirconium (Zr)
17 Vanadium (V)	35 Hafnium (Hf)
18 Antimony, Stibium (Sb)	36 Niobium (Nb)



Dari semua jenis logam tersebut dikelompokkan dalam 3 kelompok menurut berat jenis dari logam tersebut yaitu :

**Logam berat**

Logam berat ialah logam yang memiliki berat jenis ( $\rho$ ) lebih besar dari  $4,0 \text{ kg/dm}^3$ , yang termasuk dalam kelompok ini ialah :

- |                              |      |
|------------------------------|------|
| 1 Tembaga, Copper, Cuprum    | (Cu) |
| 2 Seng, Zincum               | (Zn) |
| 3 Timah putih, Tin, Stannum  | (Sn) |
| 4 Lead, Timah hitam, Plumbum | (Pb) |
| 5 Silisium                   | (Si) |
| 6 Manganese                  | (Mn) |
| 7 Chromium                   | (Cr) |

**Logam ringan :**

- |             |      |
|-------------|------|
| 1 Aluminium | (Al) |
| 2 Magnesium | (Mg) |

**Logam Mulia :**

- |                           |      |
|---------------------------|------|
| 1 Mas, Gold, Aurum        | (Au) |
| 2 Perak, Silver, Argentum | (Ag) |

**F. Sifat dan berbagai karakteristik dari beberapa logam non Ferro.**

**1. Lead, Timbal, Timah hitam, Plumbum (Pb)**

Timah hitam sangat sangat lunak, lembek tetapi ulet, memiliki warna putih terang yang sangat jelas terlihat pada patahan atau pecahannya. Timah Hitam memiliki berat jenis ( $\rho$ ) yang sangat tinggi yaitu  $=11,3 \text{ kg/dm}^3$  dengan titik cair  $327^\circ\text{C}$ , digunakan sebagai isolator anti radiasi Nuclear.

Timah hitam diperoleh dari senyawa Plumbum-Sulphur (PbS) yang disebut "Gelena" dengankadar yang sangat kecil.

Proses pemurniannya dilakukan dengan memanaskannya didalam dapur tinggi, proses pencairan untuk menghilangkan oxides serta unsur lainnya. Selain untuk pemakaian sebagai isolator radiasi, Timah hitam digunakan juga sebagai bahan pelapis pada bantalan luncur, bahan timah pateri serta sebagai unsur paduan dengan baja atau logam Non Ferro lainnya yang

menghasilkan logam dengan sifat Free Cutting atau yang disebut sebagai baja Otomat.

## 2. Titanium (Ti)

Titanium (Ti) memiliki warna putih kelabu, sifatnya yang kuat seperti baja dan stabil hingga temperature  $400^{\circ}\text{C}$ , tahan korosi dan memiliki berat jenis ( $\rho$ ) =  $4,5 \text{ kg/dm}^3$ .

Titanium (Ti) digunakan sebagai unsur pemurni pada baja serta sebagai bahan paduan dengan Aluminium dan logam lainnya. Titanium (Ti) memiliki titik cair  $1660^{\circ}\text{C}$  dan kekuatan tarik  $470 \text{ N/mm}^2$  serta densitas 56 %.

Titanium (Ti) tidak termasuk logam baru walaupun pengembangannya baru dilakukan pada tahun 1949, karena sebenarnya Titanium (Ti) telah terdeteksi sejak tahun 1789 dalam bentuk Oxide Silicon, karena pengaruh oxygen maka pada saat itu tidak memungkinkan untuk dilakukan extraction, dimana Titanium (Ti) merupakan bagian penting dari Oxygen, namun pada akhirnya ditemukan metoda pemurnian Titanium (Ti) ini melalui pemanasan dengan Carbon dan Chlorine, kemudian dengan Magnesium dan dengan Sodium pada suhu pemanasan antara  $800^{\circ}\text{C}$  hingga  $900^{\circ}\text{C}$  yang menghasilkan Titanium Tetrachloride sebagai produk awal dari Titanium (Ti) yang selanjutnya menggunakan Magnesiumchloride atau Sodiumchloride.

Proses pencairan dan penuangan Titanium (Ti) kedalam bentuk Ingot memerlukan teknik tersendiri karena proses pemanasan pada Titanium dapat mengikat oxides dari dapur pemanas itu sendiri dimana Titanium cair berhubungan dengan udara (Oxygen) yang merupakan komponen dari proses pencairan tersebut. Titanium cair mengikat electrode yang merupakan larutan Titanium kasar, sedangkan electrode itu sendiri tergantung pada bagian atas dari dapur pemanas, dalam keadaan yang demikian ini gas argon dihembuskan untuk memvacumkan ruangan serta cairan, bersamaan dengan itu dialirkan pula air pendingin.

Dengan demikian serbuk Titanium akan terkumpul dibagian dasar dari dapur pemanas tersebut, selanjutnya setelah membentuk ingot diproses lagi melalui proses tempa (Forging), rolling, drawing atau extruding. Dapur pemanas ini biasanya berkapasitas sampai 2 Ton.

### 3. Nickel, Nickolium (Ni)

Nickel, Nickolium merupakan unsur penting yang terdapat pada endapan terak bumi yang biasanya tercampur dengan bijih tembaga. Oleh karena itu diperlukan proses pemisahan dan pemurnian dari berbagai unsur yang akan merugikan sifat Nickel tersebut. Dalam beberapa hal Nickel memiliki kesamaan dengan bijih logam yang lain seperti juga besi selalu memiliki sifat-sifat yang buruk seperti titik cair yang rendah kekuatan dan kekerasannya juga rendah, tetapi juga memiliki keunggulan sebagaimana pada Nickel ini ialah ketahanannya terhadap berbagai pengaruh korosi dan dapat mempertahankan sifatnya pada temepatur tinggi. Oleh karena itu Nickel banyak digunakan sebagai pelapis dasar sebelum pelapisan dengan Chromium, dimana Nickel dapat memberikan perlindungan terhadap berbagai pengaruh gangguan korosi pada baja atau logam-logam lainnya.

Bijih Nickel mengandung 2,5 % Nickel yang bercampur bersama-sama unsur lain yang sebagian besar terdiri atas besi dan silica serta hampir 4 % Tembaga dan sedikit Cobalt, Selenium, Tellurium, Silver, Platinum dan Aurum. Sedangkan Tembaga, besi dan Nicel berada pada bijih itu sebagai Sulfida.

Setelah proses penambangan bijih itu dipecah dan dilakukan pemisahan dari berbagai unsur yang mengandung batuan yang mengapung. Kemudian sulfide Nickel dan Sulfide Tembaga dipisahkan melalui proses pengapungan. Proses berikutnya ialah pemanggangan Sulfide Nicel untuk menggerakkan Sulphur, selanjutnya dituangkan kedalam bejana, untuk selnjutnya dilakukan pemurnian melalui proses oksidasi sebagaimana dalam proses Bessemer dalam pemurnian baja.

Dari proses ini akan diperoleh 48 % Nickel dan 27 % Tembaga. Selanjutnya dipanaskan bersama Sodium Sulfat dengan pemanasan kokas untuk memperoleh larutan Tembaga Nickel dan Sulfide Besi, kemudian dituangkan kedalam ladle untuk dilakukan pemadatan, Selama pendinginan Tembaga dan Sodium mengapung keatas dan ketika terjadi pemadatan Nickel dan Tembaga akan terpisah oleh tiupan atau pemukulan.

Proses pemurnian lajut dilakukan dengan electrolisa dengan terlebih dahulu disinter sehingga berbentuk Briket, atau dapat juga dengan proses 'carbonil' jika tersedia cukup daya listrik dimana serbuk Nickel dipanggang untuk menghilangkan sisasisa Sulphur dan Besi kemudian direduksi oleh Hydrogen.

Dengan demikian maka oxide logam akan keluar dan membentuk uap, akan terbang dan membentuk gas Nickel carbonil yang kemdian

mencair karena pengaruh Carbonmonoxide serta akan mengalir melalui kulit endapan Nickel.

#### Pemakaian Nickel

Secara komersial Nickel banyak digunakan secara murni terutama untuk peralatan-peralatan yang menuntut ketahanan korosi yang tinggi, seperti peralatan dalam industri makanan, industri kimia, obat-obatan serta peralatan kesehatan, industri petroleum dan lain-lain.

Nickel dapat dibentuk melalui proses panas maupun dingin, memiliki sifat mampu tempa, mampu mesin dengan pemotong HSS. Dapat dikerjakan dengan Cupping, Drawing, Spining, Swaging, Bending, dan Forming. Penyambungan dapat dilakukan dengan pengelasan, penyolderan, Brazing dan Welding.

#### 4. Timah putih, Tin, Stannum (Sn)

Timah putih, Tin, Stannum (Sn) ialah logam yang berwarna putih mengkilap, sangat lembek dengan titik cair yang rendah yakni  $232^{\circ}\text{C}$ . Logam ini memiliki sifat ketahanan korosi yang tinggi sehingga banyak digunakan sebagai bahan pelapis pada plat baja, digunakan sebagai kemasan pada berbagai produk makanan karena Timah putih ini sangat tahan terhadap asam buah dan Juice. Fungsi kegunaan yang lain ialah sebagai bahan pelapis pada bantalan luncur serta sebagai unsur paduan pada bahan-bahan yang memiliki titik cair rendah. Timah putih, Tin, Stannum (Sn) paling banyak digunakan sebagai timah pateri serta paduan pada logam-logam bantalan seperti Bronzes dan gunmetal atau ditambahkan sedikit pada paduan Tembaga Seng (Kuningan, Brasses) untuk memperoleh ketahanan korosi.

Timah putih, Tin, Stannum (Sn) diproses dari bijih timah (Tinstone), ekstraksinya dilakukan melalui pencairan dengan temperature tinggi sehingga timah dapat mengalir keluar dari berbagai unsur pengikatnya.

#### 5. Seng, Zincum (Zn)

Seng, Zincum (Zn) ialah logam yang berwarna putih kebiruan memiliki titik cair  $419^{\circ}\text{C}$ , sangat lunak dan lembek tetapi akan menjadi rapuh ketika dilakukan pembentukan dengan temperature pengerjaan antara  $100^{\circ}\text{C}$  sampai  $150^{\circ}\text{C}$  tetapi sampai temperature ini masih baik dan mudah untuk dikerjakan. Seng memiliki sifat tahan terhadap korosi sehingga banyak digunakan dalam pelapisan plat

baja sebagai pelindung baja tersebut dari pengaruh gangguan korosi, selain itu Seng juga digunakan sebagai unsur paduan dan sebagai bahan dasar paduan logam yang dibentuk melalui pengecoran.

Sekalipun Seng merupakan bahan yang lembek akan tetapi peranannya sangat penting sekali sebagai salah satu bahan Teknik yang memiliki berbagai keunggulan, baik digunakan sebagai bahan pelapis pada baja yang tahan terhadap korosi, misalnya untuk atap bangunan, dinding serta container yang juga harus tahan terhadap pengaruh air dan udara serta serangga dan binatang. Seng juga merupakan unsur paduan untuk bahan pengecoran.

Bahan baku Seng adalah Sulfida Carbonate, biasanya berada berdekatan dengan Lead atau Timah Hitam atau kadang-kadang juga dengan Silver.

Konsentrat biasanya dilakukan dengan Grafitasi atau pengapungan.

Proses produksi awal dilakukan dengan mengurangi kadar Asam sulfat yang terkandung pada Oxide Seng melalui penggarangan. Langkah selanjutnya ialah menggunakan satu Thermal untuk menghasilkan penguapan serta kondensat, dari proses ini akan diperoleh 1 hingga 2 % Lead yang diketahui sebagai Spelter atau Seng kasar dengan 99,99 % yang akan diproses lanjut dengan cara elektrolisa serta proses penggarangan, dan melalui proses ini bijih Seng akan melarut didalam Asam Sulphuric sesuai dengan kebutuhannya. Proses berikutnya ialah penggarangan agar unsur Carbon bercampur didalam Briket sebelum pemanasan melalui pengolperasian didalam retor Vertical secara Continyu.

## 6. Manganese (Mn)

Manganese (Mn) logam yang memiliki titik cair  $1260^{\circ}\text{C}$  Unsur Manganese (Mn) ini diperoleh melalui proses reduksi pada bijih Manganese sebagaimana proses yang dilakukan dalam pembuatan baja. Manganese digunakan pada hampir semua jenis baja dan besi tuang sebagai unsur paduan kendati tidak menghasilkan pengaruh yang signifikan dalam memperbaiki sifat baja tetapi tidak berpengaruh buruk karena didalam baja memiliki kandungan unsur Sulphur. Disamping itu Manganese (Mn) merupakan unsur paduan pada Aluminium, Magnesium, Titanium dan Kuningan.

## 7. Chromium (Cr)

Chromium ialah logam **berwarna** kelabu, sangat keras dengan titik cair yang tinggi yakni  $1890^{\circ}\text{C}$ , Chromium diperoleh dari unsur Chromite, yaitu senyawa  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2$ . Unsur Chromite ( $\text{Fe}_2\text{Cr}_2\text{O}_6$ ) serta

Crocoisite ( $\text{PbCrO}_4$ ). Chromium memiliki sifat yang keras serta tahan terhadap korosi jika digunakan sebagai unsur paduan pada baja dan besi tuang dan dengan penambahan unsur Nickel maka akan diperoleh sifat baja yang keras dan tahan panas (Heat resistance-Alloy).

## 8. Aluminium (Al)

Aluminium ialah logam yang berwarna putih terang dan sangat mengkilap dengan titik cair  $660^\circ\text{C}$  sangat tahan terhadap pengaruh Atmosphere juga bersifat electrical dan Thermal Conductor dengan koefisien yang sangat tinggi. Chromium bersifat non magnetic.

Secara komersial Aluminium memiliki tingkat kemurnian hingga 99,9 % , dan Aluminium non paduan kekuatan tariknya ialah  $60 \text{ N/mm}^2$  dan dikembangkan melalui proses pengerjaan dingin dapat ditingkatkan sesuai dengan kebutuhannya hingga  $140 \text{ N/mm}^2$ . Uraian lebih luas tentang Aluminium dapat dilihat pada uraian tentang Aluminium dan paduannya.

## 9. Tembaga, Copper, Cuprum (Cu)

Tembaga ialah salah satu logam penting sebagai bahan Teknik yang pemakaiannya sangat luas baik digunakan dalam keadaan murni maupun dalam bentuk paduan.

Tembaga memiliki kekuatan Tarik  $150 \text{ N/mm}^2$  sebagai Tembaga Cor dan dengan proses pengerjaan dingin kekuatan tarik Tembaga dapat ditingkatkan hingga  $390 \text{ N/mm}^2$  demikian pula dengan angka kekerasannya dimana Tembaga Cor memiliki angka kekerasan 45 HB dan meningkat hingga 90 HB melalui proses pengerjaan dingin, dengan demikian juga akan diperoleh sifat Tembaga yang ulet serta dapat dipertahankan walaupun dilakukan proses perlakuan panas misalnya dengan Tempering (Lihat Heat treatment). Sifat listrik dan sebagai penghantar panas yang baik dari Tembaga (Electrical and Thermal Conductor) Tembaga menduduki urutan kedua setelah Silver namun untuk ini Tembaga dipersyaratkan memiliki kemurnian hingga 99,9 %. Salah satu sifat yang baik dari tembaga ini juga adalah ketahanannya terhadap korosi atmosferic bahkan jenis korosi yang lainnya .

Tembaga mudah dibentuk dan disambung melalui penyolderan (Soldering), Brazing dan pengelasan (Welding). Untuk membahas lebih jauh tentang Tembaga ini dapat dilihat pada uraian tentang Tembaga dan paduannya.

## 10. Magnesium (Mg)

Magnesium ialah logam yang berwarna putih perak dan sangat mengkilap dengan titik cair  $651^{\circ}\text{C}$  yang dapat digunakan sebagai bahan paduan ringan, sifat dan karakteristiknya sama dengan Aluminium. Perbedaan titik cairnya sangat kecil tetapi sedikit berbeda dengan Aluminium terutama pada permukaannya yang mudah keropos bila terjadi oksidasi dengan udara. Oxid film yang melapisi permukaan Magnesium hanya cukup melindunginya dari pengaruh udara kering, sedangkan udara lembab dengan kandungan unsur garam kekuatan oksid dari Magnesium akan menurun, oleh karena itu perlindungan dengan cat atau lac (pernis) merupakan metoda dalam melindungi Magnesium dari pengaruh korosi kelembaban udara.

Magnesium memiliki kekuatan tarik hingga  $110 \text{ N/mm}^2$  dan dapat ditingkatkan melalui proses pembentukan hingga  $200 \text{ N/mm}^2$ .

Magnesium memiliki sifat yang lembut walaupun dengan elastisitas yang rendah. Untuk mengetahui berbagai hal tentang Magnesium ini dapat dilihat pada pembahasan tentang Magnesium dan paduannya.

## 11. Antimony, Stibium (Sb)

Antimony, Stibium (Sb) ialah logam yang berwarna putih kelabu terang, Antimony, Stibium memiliki titik cair  $630^{\circ}\text{C}$ , Logam ini diperoleh dari mineral Stibnite ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ), Tetrahedrite ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_3$ ) dan Famantinite ( $\text{Cu}_3\text{SbS}_4$ ) dan dari kedua bahan mineral inilah Antimony, Stibium (Sb) dibuat melalui penguapan, akan tetapi karena tidak mencukupi maka terpaksa dilakukan ekstraksi pada Stibinite.

Antimony, Stibium (Sb) digunakan dalam pemenuhan kebutuhan bahan yang digunakan pada temperature rendah, sebagai logam-logam bantalan yang dipadu dengan lead (timah hitam) dan akan mempengaruhi kekerasan dari Timah hitam itu sendiri.

## 12. Bismuth (Bi)

Bismuth ialah logam berwarna putih kelabu kemilau, sifat Bismuth sangat keras dan rapuh dan tidak dapat ditempa. Titik Cairnya  $271^{\circ}\text{C}$  dan keadaannya relative murni. Bismuth diperoleh dari campuran berbagai unsur dalam kondisi alami. Proses Pemisahannya dilakukan dengan pembersihan terlebih dahulu dimana Bismuth ini terdapat dalam keadaan kurang bersih, sehingga diperlukan berbagai perlakuan.

Bismuth digunakan sebagai unsur paduan dengan logam lain yang memiliki titik cair rendah.

### 13. Boron (B)

Boron (B) memiliki titik cair  $2300^{\circ}\text{C}$  dan Boron-Carbide sangat keras dan tahan terhadap pengaruh kimia.

Proses pemurnian Boron termasuk sangat sulit akan tetapi kerap kali Boron ditemukan dalam keadaan murni sehingga disebut sebagai logam Murni atau logam langka (rare-metal).

Boron tidak digunakan sebagai element akan tetapi Boron digunakan sebagai bahan pembuatan Dies, Nozle untuk Injection moulding, perlatan cetakan pasir Sand Blasting Gauge, pivot serta permukaan bearing. Boron dibuat dlkam bentuk bubuk sehingga pembentukannya dilakukan dengan proses Sintering.

### 14. Cadmium (Cd)

Cadmium (Cd) ialah logam yang berwarna putih kebiruan sifatnya sangat lunak dan lembek dengan titik cair hanya  $321^{\circ}\text{C}$ , sebagai bahan dasar dari Cadmium ini ialah endapan Seng. Endapan pekat dari Cadmium terdapat dibagian tertentu dari instalasi pengolahan Seng (Zn), Cadmium digunakan dalam paduan yang memiliki titik cair rendah serta bahan tambah pada Tembaga. Yang penting dalam pemakaian Cadmium ini ialah sebagai lapisan pelindung pada Baja atau Kuningan (Brasses).

### 15. Cerium (Ce)

Cerium (Ce) disebut sebagai logam langka (rare earth-metal), memiliki titik cair  $640^{\circ}\text{C}$  dapat ditambahkan kedalam besi tuang untuk pembuatan electrode, pembuatan busur listrik atau sebagai bahan batu pemantik (lighter flints).

### 16. Cobalt (Co)

Cobalt (Co) ialah LOGam yang brwarna putih silver ini memilki titik cair  $1490^{\circ}\text{C}$  dan bersifat magnetic tinggi. Cobalt diperoleh bersama unsur Nickel serta element-element mineral tertentu dan dipisahkan selama proses pemurnian pada unsur Nickel.

Cobalt digunakan sebagai unsur paduan pada baja paduan sebagai alat potong (Tool Steel) dan sebagai unsur paduan dengan unsur Nickel sebagai baja paduan yang tahan terhadap temperature tinggi. Cobalt juga diguanakan dalam pembuatan komponen dengan sifat magnetic secara permanent.



### 17. Iridium (Ir)

Iridium (Ir) ini disebut sebagai baja putih ini adalah logam dari kelompok Platinum yang memiliki titik cair  $2454^{\circ}\text{C}$  sebagai bahan paduan dengan unsur Platinum-Alloy yang kuat dan keras serta meningkatkan titik cairnya.

### 18. Germanium (Ge)

Germanium (Ge) merupakan logam dengan sifat kelistrikan yang spesifik sehingga digunakan sebagai komponen dalam Teknik Kelistrikan.

### 19. Mercury, Hydragirum (Hg)

Mercury, Hydragirum (Hg) ialah salah satu jenis logam murni yang diperoleh dalam skala kecil dengan logam murni lainnya serta Sulphide ( $\text{HgS}$ ) yang dapat dilakukan ekstraksi melalui pemanasan sederhana yang kemudian diproses secara destilasi, jika perlu dilakukan penjerjaan lanjut untuk menghilangkan kadar Seng dan Cadmium. Mercury digunakan dalam Thermometer dan Barometer serta saklar atau electrical Switches.

### 20. Molybdenum (Mo)

Molybdenum (Mo) ialah Logam yang berwarna putih Silver dengan titik Cair  $2620^{\circ}\text{C}$ . Terdapat dalam bentuk Sulphide serta berbagai Oxid pada berbagai jenis Logam.

Molybdenum (Mo) digunakan sebagai unsur paduan pada baja dan Besi Tuang (Cast Iron).

### 21. Platinum (Pt)

Platinum (Pt) adalah salah satu jenis logam berat yang berwarna putih kelabu dan sangat mengkilap dengan titik cair  $1773^{\circ}\text{C}$  dan memiliki sifat yang mudah dibentuk, ulet dan tidak mengandung Oxide atau tar dalam udara bebas.

Platinum (Pt) sangat cocok digunakan dalam paduan dengan Iridium yang dapat meningkatkan kekerasannya. Platinum (Pt) terdapat dalam paduan logam mulia serta endapan Tembaga-Nickel. Platinum (Pt) dapat pula diperoleh melalui proses ekstraksi pada mas (gold) dan Nickel.

Platinum (Pt) digunakan sebagai bahan pembuatan Contact point pada system kelistrikan motor bakar, kabel tahanan polimer serta kawat Thermocouple.

## 22. Palladium (Pd)

Palladium (Pd) termasuk dalam kelompok Platinum yakni logam yang berwarna putih dan sangat ulet, mudah dibentuk dan tahan terhadap oksidasi. Palladium (Pd) memiliki titik cair 1555<sup>0</sup> C.

Palladium (Pd) sering dipadukan dengan Silver yang dapat menggantikan Platinum dalam pembuatan Contact Point dan akan memiliki sifat kekerasan yang tinggi dengan ketahanan korosi yang berbeda dengan Silver.

## 23. Rhodium (Rh)

Rhodium (Rh) juga merupakan salah satu dari logam dalam kelompok Platinum, Rhodium (Rh) memiliki titik cair 1985<sup>0</sup>C sangat tahan terhadap berbagai bentuk pengaruh asam. Digunakan sebagai bahan pelapis logam lain serta sebagai unsur paduan pada Platinum dalam pembuatan kawat tahanan (Resistor) pada Thermocouple.

## 24. Silver, Argentum (Ag)

Silver, Argentum (Ag) adalah salah satu logam mulia yang memiliki titik cair 960<sup>0</sup>C terdapat dalam skala kecil dan terpadu pada Tembaga dan mas. Silver memiliki konduktivitas listrik yang paling tinggi dibanding dengan logam lainnya dan digunakan dalam kontak listrik juga dalam "Silver solders" serta bahan pelapis logam lain.

## 25. Selenium (Se)

Selenium (Se) memiliki titik cair 220<sup>0</sup> C dan dapat diperoleh melalui proses ekstraksi dari logam lain termasuk pada Tembaga. Sifat yang lain dari Selenium ialah memiliki sifat hantaran listrik yang baik dan menjadi alternatif pilihan dalam pemakaian ringan serta digunakan pula dalam photocell serta digunakan sebagai unsur paduan pada Tembaga untuk meningkatkan sifat mampu mesin dari tembaga tersebut.

## 26. Tantalum (Ta)

Tantalum (Ta) logam yang berwarna putih dan dapat dibentuk melalui proses pengerjaan dingin. Proses pengerjaan panas dapat meningkatkan angka kekerasannya secara drastis.

Tantalum (Ta) memiliki titik cair 3207<sup>0</sup>C dan digunakan dalam perkakas Cementite Carbide dan sebagai tambahan unsur paduan pada logam non-Ferro.

### **27. Tellurium (Te)**

Tellurium (Te) memiliki titik cair  $452^{\circ}\text{C}$  sedikit ditambahkan pada Timah Hitam akan meningkatkan kekerasannya, dan jika ditambahkan pada Tembaga akan memberikan sifat free-Cutting.

### **28. Thorium (Th)**

Thorium (Th) sangat lunak seperti timah hitam (Lead) dan dapat mencair pada temperature  $1827^{\circ}\text{C}$ . Thorium (Th) digunakan sebagai unsur paduan pada Tungsten dalam pembuatan kawat filament serta digunakan pula dalam paduan Magnesium untuk menghasilkan sifat Creep resistance.

### **29. Tungsten, Wolfram (W)**

Tungsten, Wolfram (W) memiliki titik cair  $3410^{\circ}\text{C}$  berwarna kelabu, sangat keras dan rapuh pada temperature ruangan, tetapi ulet dan liat pada Temperatur tinggi. Bahan dasar dari Tungsten, Wolfram (W) ini ialah Oxide mineral dan diperoleh melalui proses reduksi. Tungsten, Wolfram (W) digunakan sebagai bahan pembuatan filament, untuk kwat radio dan lampu serta digunakan pula sebagai unsur paduan pada alat potong (Tool Steel) yakni sebagai bahan High Speed Steel (HSS) atau baja kecepatan tinggi, baja Magnet serta dibentuk melalui proses sintering untuk bahan perkakas.

### **30. Vanadium (V)**

Vanadium (V) akan mencair pada Temperatur diatas  $1900^{\circ}\text{C}$ , logam yang berwarna putih ini sangat keras, jika ditambahkan pada baja sebagai unsur paduan akan menambah kekenyalan dari baja tersebut.

### **31. Beryllium (Be)**

Beryllium (Be) Logam yang berwarna kelabu ini memiliki sifat yang sangat keras dengan titik cair  $1285^{\circ}\text{C}$  tetapi lebih ringan dari pada Aluminium.

Beryllium memiliki sifat yang rendah dalam peredaman Neutronnya pada arah memotong sehingga tidak bereaksi terhadap berbagai bentuk dan derajat Neutron yang dilaluinya. Beryllium (Be) merupakan logam yang memiliki sifat thermal konduktor serta tegangan yang baik dan stabil pada Temperatur tinggi namun keuletannya rendah. Oleh karena itu proses metallurgy bubuk (Powder metallurgy) bukan metoda yang baik dalam pembentukan dengan bahan Beryllium ini.

Beryllium didapat dari Aluminium Beryllium Silikat "Beryl" dengan hanya menghasilkan 3,5 % Beryllium. Proses ekstraksi pada bahan Beryllium memerlukan biaya proses dan Teknik yang terpaksa melebihi penghasilan. Karena proses yang sangat sulit terutama dalam proses menetralkan unsur zat beracun.

Beryllium kadang-kadang digunakan sebagai unsur paduan pada Tembaga paduan, namun karena kebutuhan Beryllium meningkat dalam bentuk Beryllium murni Tempa untuk industri pesawat terbang dan laras senapan (Guided Missiles), maka fungsi Tembaga paduan dengan unsur Beryllium sedikit berkurang.

Beryllium dapat dibentuk dengan pengecoran kedalam bentuk ingot, bentuk-bentuk batangan dirol panas (Hot-rolling processes), extrusion dan kemudian pemesian.

Beryllium dengan pembentukan melalui powder metallurgy dipecah menjadi serbuk yang kemudian disinter menjadi bentuk-bentuk balok. Balok-balok Beryllium ini memiliki kekuatan tarik  $310 \text{ N/mm}^2$ , perpanjangannya dapat ditingkatkan hingga 10 % jika dibentuk ulang melalui pengerolan. Beryllium yang dibentuk melalui proses Sintering ini dapat dikerjakan mesin (Machining) dengan alat potong Carbide dengan hasil yang halus seperti Grey Cast Iron.

Beryllium disambung dengan menggunakan metoda las busur dan spot-welding antar Beryllium dan dengan logam lain.

### 32. Hafnium (Hf)

Hafnium (Hf) memiliki sifat yang sama dengan Zirconium dan termasuk logam berat, memiliki kekuatan tarik  $340 \text{ N/mm}^2$ , angka kekerasannya 180 HV serta titik cairnya  $2130^\circ\text{C}$ . Hafnium (Hf) dapat dibentuk dengan mesin pada putaran rendah.

Penyambungan Hafnium akan sangat cocok dengan memberikan arus tinggi, Hafnium digunakan sebagai bahan pembuatan pengatur tekanan, water cooler reaktor dan lain-lain. Hal ini karena sifat Hafnium yang dapat meredam Neutron serta bebas pengaruh radiasi yang merugikan.

### 33. Zirconium (Zr)

Zirconium (Zr) ialah logam yang berwarna putih-silver memiliki titik cair  $1852^\circ\text{C}$  dengan kekuatan tarik  $420 \text{ N/mm}^2$  dan angka kekerasannya 140 HV.

Zirconium memiliki sifat yang sama dengan Titanium terutama dalam proses pembentukannya. Pemotongan dengan mesin dilakukan

dengan puitaran yang sangat rendah sebagaimana pemotongan pada Aluminium.

Proses fabrikasi Zirconium harus dilakukan secara hati-hati terhadap kemungkinan terjadinya kontaminasi dengan oxygen, Nitrogen serta Hydrogen akibat pemanasan.

Zirconium kadang-kadang digunakan sebagai unsur paduan padan Magnesium dalam memenuhi kebutuhan dalam Teknologi Nuclear dimana Zirconium dapat meredam unsur Neutron secara melintang dengan kekuatan tarik yang stabil didalam suhu runagan, tahan terhadap korosi air , uap serta berbagai media pendingin.

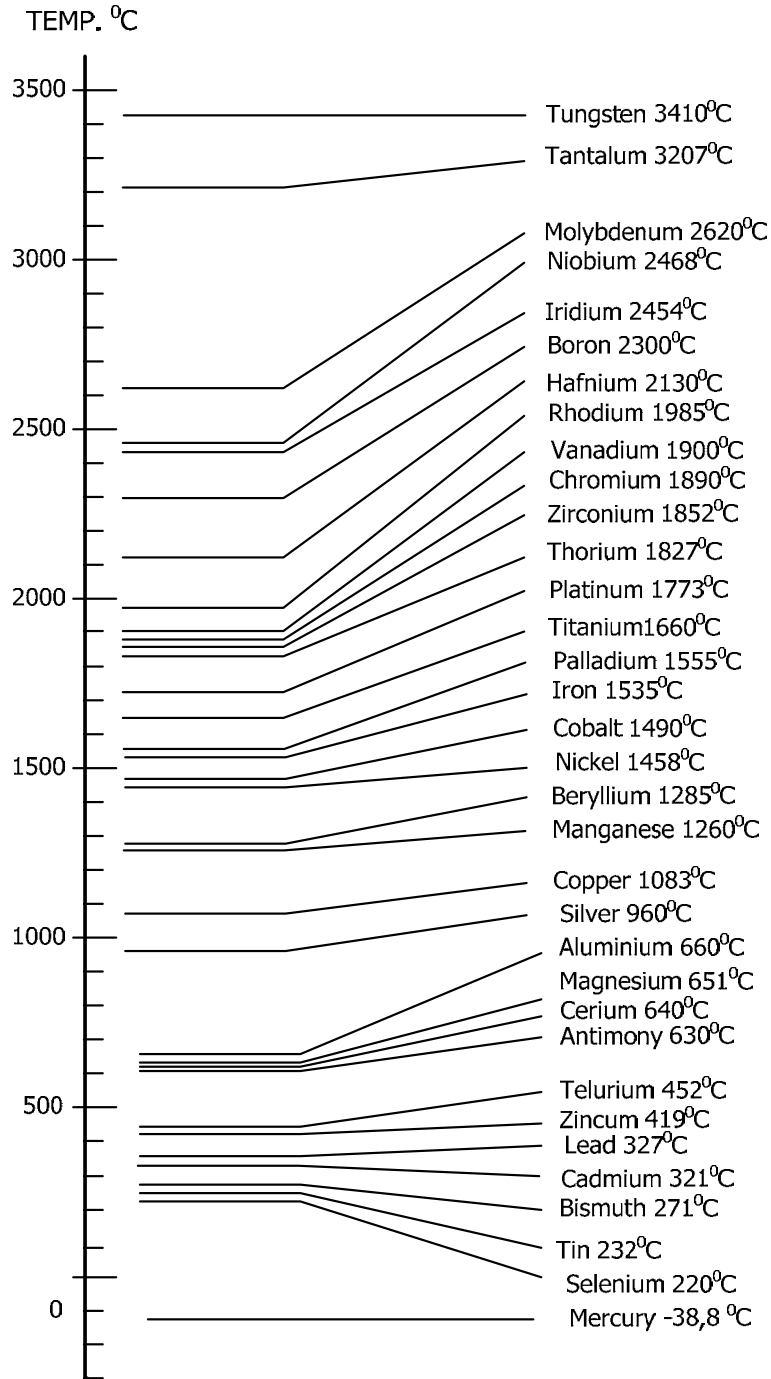
Pemakaian Zirconium juga sebagai unsur paduan dengan bahan-bahan lain seperti timah putih (Tin), Besi, Chromium, Nickel, Tembaga dan Molybdenum.

#### **34. Niobium (Nb)**

Niobium ialah logam yang sangat ulet (ductile) dan lunak dengan kekuatan tarik  $280 \text{ N/mm}^2$  dan titik cairnya  $2469^{\circ}\text{C}$ . Keuletan dari sifat Niobium ini ialah karena pengaruh Oxygen dan Carbon, pengerjaan panas serta udara.

Niobium yang dibentuk menjadi plat tipis dapat dilas dengan resistance-Welding, sedangkan untuk bahan yang tebal diatas 0,5 mm harus dilas dengan Argon-arc atau Argon-arc Spot welding.

Niobium digunakan dan dikembangkan pemakaiannya untuk memenuhi kebutuhan bahan dlam Teknologi Nuclear serta bahan pembuatan Turbine gas.



**Gambar1.6** Diagram titik cair dari beberapa jenis logam

## G. Macam-macam Paduan dari logam non-Ferro (Non- Ferrous Alloys)

### 1. Tembaga dan paduannya

Tembaga digunakan secara luas sebagai salah satu bahan teknik, baik dalam keadaan murni maupun paduan. Tembaga memiliki kekuatan tarik hingga  $150 \text{ N/mm}^2$  dalam bentuk tembaga tuangan dan dapat ditingkatkan hingga  $390 \text{ N/mm}^2$  melalui proses pengerjaan dingin dan untuk jenis tuangan angka kekerasannya hanya mencapai 45 HB namun dapat ditingkatkan

menjadi 90 HB melalui pengerjaan dingin, dimana dengan proses pengerjaan dingin ini akan mereduksi keuletan, walaupun demikian keuletannya dapat ditingkatkan melalui proses annealing (lihat proses perlakuan panas) dapat menurunkan angka kekerasan serta tegangannya atau yang disebut proses "temperature" dimana dapat dicapai melalui pengendalian jarak pengerjaan setelah annealing.

Tembaga memiliki sifat thermal dan electrical konduktifitas nomor dua setelah Silver. Tembaga yang digunakan sebagai penghantar listrik banyak digunakan dalam keadaan tingkat kemurnian yang tinggi hingga 99,9 %.

Sifat lain dari tembaga ialah sifat ketahanannya terhadap korosi atmosferic serta berbagai serangan media korosi lainnya.

Tembaga sangat mudah disambung melalui proses penyoderan, Brazing serta pengelasan.

Tembaga termasuk dalam golongan logam berat dimana memiliki berat jenis  $8,9 \text{ kg/m}^3$  dengan titik cair  $1083^\circ\text{C}$ .

#### *Pembuatan tembaga*

Unsur dasar tembaga diperoleh dalam bentuk bijih tembaga dengan kadar yang rendah dengan rata-rata kurang dari 4%. Proses pemecahan dan pembubukan dilakukan untuk memisahkan unsur tembaga dari butiran-butiran pengikat melalui pengapungan serta untuk menghilangkan butiran-butiran yang tidak berguna.

Butiran-butiran yang mengandung unsur tembaga dipanaskan didalam dapur pemanas untuk melepaskan ikatannya dengan unsur batuan serta persenyawaan dengan unsur sulphide besi. Unsur ini kemudian diolah didalam converter untuk pemisahan besi dan sulphur.

### *Proses pemurnian api (Fire-refining)*

Dari proses tersebut diatas akan dihasilkan tembaga untuk dilakukan proses pemurnian api (Fire-refining) dimana tembaga yang dalam keadaan tidak murni dicairkan dan dilakukan proses oksidasi untuk melepaskan berbagai unsur lainnya yang terkandung didalam Tembaga tersebut.

Selanjutnya dengan menggunakan batang kayu yang ditekan kedalam larutan untuk menggerakkan oxygen oleh pembakaran dan selanjutnya dituangkan kedalam cetakan dan menghasilkan tembaga dalam bentuk batangan.

### *Electrolytic refining*

Electrolytic refining yaitu proses pemurnian dengan cara elektrolit yang akan menghasilkan tembaga murni, prosesnya ialah tembaga yang berbentuk batangan yakni tembaga yang akan dimurnikan berfungsi sebagai anoda digantungkan didalam cairan panas asam sulphuric dan cooper sulphate dan dihubungkan melalui plat tembaga murni sebagai katoda, dengan demikian unsur tembaga ini akan mngendap pada cathode dan unsur-unsur lainnya akan mengendap pada kubangan dari larutan elektrolite.

### *Kadar Tembaga*

Kadar Tembaga ialah derajat kemurnian tembaga yang berhubungan dengan proses pembuatan serta fungsi pemakaiannya, yang meliputi :

#### *Cathode Copper*

Kadar Tembaga diperoleh dari proses electrolisa (electrolytic refining) yang digunakan sebagai raw material untuk penghantar arus listrik serta tembaga paduan dan bahan tuangan.

#### *Electrolytic Tough High Conductivity Copper*

Tembaga ini ialah dimana Cathode copper dicairkan dan dituangkan kedalam cetakan dengan bentuk yang sesuai dengan kebutuhan pekerjaan, kadar oxygen atau Pitch harus dikendalikan secara hati-hati karena dapat mengakibatkan timbulnya efek yang merugikan terhadap sifat kemurniannya.

#### *Fire refined Tough Pitch High Conductivity Copper*

Conduktifitas Tembaga ini lebih baik dari pada electrolytic Tough Pitch Copper, akan tetapi tingkat kemurniannya lebih rendah dimana sebagian kecil dari unsur-unsur lain tidak sapat dihilangkan melalui proses ini.



### *Ordinary Tough Pitch Copper*

Tembaga dari jenis ini tidak termasuk dalam spesifikasi conductif, dimana masih mengandung oxygen serta berbagai unsur lainnya, akan tetapi secara umum pemakaiannya masih memuaskan.

### *Oxygen-Free High Conductivity Copper (OFHC)*

Tembaga ini diperoleh dari proses pencairan ulang dari Cathode Tembaga yang kemudian dituangkan sebagai cara untuk menghindari penyerapan oxygen. Tembaga dari jenis ini sangat cocok digunakan sebagai bahan pengelasan nyala, brazing, impact extrusion dan lain-lain.

### *Arsenical Copper*

Arsenic digunakan sebagai unsur tambahan pada tembaga dimana dengan penambahan unsur Arsenic diatas 0,5 % dapat meningkatkan kekuatan tarik dari Tembaga tersebut dan memungkinkan untuk digunakan pada Temperatur hingga 300<sup>0</sup> C tanpa terjadi penurunan tegangannya.

Demikian pula ketahanan terhadap serangan korosi atmosferic dapat meningkat akan tetapi konduktifitas Thermal dan Konduktifitas listriknya menurun.

### *Proses pembentukan dan pemesinan pada Tembaga*

Proses pembentukan benda-benda kerja dari bahan tembaga mealui proses pemesinan dilakukan dengan memberikan kecepatan potong yang tinggi namun dengan pemotongan yang rendah (low depth of Cut).

Proses pembentukan lainnya tembaga ini ialah melalui pengerjaan panas misalnya hot rolling, extrusion dan forging pada temperature tinggi antara 800<sup>0</sup> C hingga 900<sup>0</sup>C.

Pembentukan dengan pengerjaan dingin (Cold Working) juga dapat dilakukan secara sederhana namun apabila ukurannya melebihiukuran yang dikehendaki maka terlebih dahulu harus dilunakan (Annealing) pada Temperatur pemanasan 500<sup>0</sup>C. Kecepatan pendinginannya memang tidak kritis namun Quenching dengan air dapat melenyapkan kotoran dan terak serta mempermudah dalam pembersihan.

#### **a. Tembaga Paduan (Copper base Alloy)**

Tembaga Paduan (Copper base Alloy) paling banyak digunakan sebagai bahan teknik karena memiliki berbagai keuntungan, antara lain :

- 1) Memiliki sifat mekanik yang baik, sifat electrical dan thermal conductivity yang tinggi serta tahan terhadap korosi dan ketahanan aus.
- 2) Mudah dibentuk melalui pemesinan

- 3) Mudah dibentuk melalui pengerjaan panas (Hot working) dan pengerjaan dingin (Cold Working)
- 4) Mudah disambung melalui penyolderan, brazing dan welding.
- 5) Mudah dipoles atau diplating jika dikehendaki
- 6) Pressing dan forging Temperatur lebih rendah dibanding dengan pemakaian bahan logam Ferro.

Tembaga Paduan (Copper Alloy) dapat dikelompokkan menjadi :

- 1) Tembaga paduan rendah yang termasuk dalam kelompok ini ialah Silver-Copper, Cadmium-Copper, Tellurium-Copper, Beryllium-Copper dan Paduan Copper-Nickel-Silicon.
- 2) Tembaga Paduan dengan kadar tinggi, yaitu Brass dan Bronze.

#### **b. Tembaga paduan dengan kadar rendah**

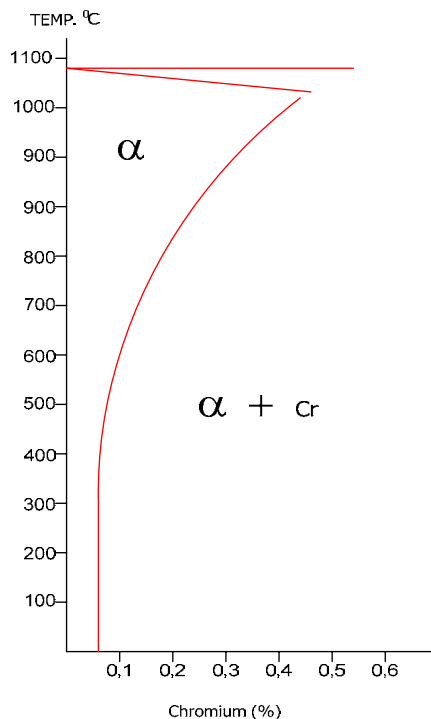
- 1) **Silver-Copper** ; Temperatur pelunakan dari tembaga jenis ini dapat ditingkatkan dari 200<sup>o</sup> hingga 350<sup>o</sup> melalui penambahan unsur Nickel hingga 0,08 %. Tembaga ini akan menjadi lebih keras dengan tegangan yang tidak dapat direduksi oleh temperature penyolderan, penimahan (Tining) atau proses lain yang menggunakan temperature rendah. Unsur Silver dengan kadar rendah ini hanya sedikit sekali terjadi efek penyimpangan dan tergantung pada nilai konduktifitas dari tembaga itu sendiri,. Silver-Copper digunakan sebagai bagian dari Comutator komponen Radiator serta berbagai penerapan yang memerlukan kekerasan dan tegangan stabil tanpa dipengaruhi oleh panas akibat pemanasan selama proses penyambungan. Silver juga memiliki sifat creep resistance pada tembaga karena softening Temperatur.
- 2) **Cadmium-Copper**; kadar Cadmium sebesar 1 % pada Tembaga akan meningkatkan softening Temperatur, demikian pula ketahanan, tegangan dan keuletan serta kelelahannya akan meningkat.

Cadmium-Copper digunakan dalam konduktor untuk memperpanjang garis rentang overhead kabel hantaran arus listrik serta untuk ketahanan pada elektroda las (welding electrodes)

Sifat lembut dari kabel yang terbuat dari Cadmium-Copper banyak digunakan dalam electrical wiring dari pesawat terbang karena sifatnya yang flexible serta tahan terhadap getaran. Kadar Cadmium yang rendah hanya akan terjadi kerusakan

memanjang namun tergantung pada konduktifitas tembaga itu sendiri.

- 3) **Chromium-Copper**, unsur Chromium hingga 0,5 % pada Tembaga akan memperkecil pengaruh konduktifitasnya, namun kekerasan serta tegangannya akan meningkat serta akan menerima reaksi perlakuan panas. Analisis terhadap diagram keseimbangan paduan antara Chromium dengan Tembaga memberikan indikasi bahwa hanya sedikit saja kuantitas chromium yang dapat bercampur dalam larutan pada (Solid solution). Larutan padat dari Chromium akan meningkat sesuai dengan peningkatan temperaturnya dan semua unsur Chromium akan masuk didalam larutan padat pada Temperatur 1000°C. Jika paduan ini di-Quenching dari temperatur ini maka akan terjadi "Solution treated" sehingga semua sisa chromium akan tetap berada didalam larutan padat dan menghasilkan paduan yang ulet dan liat. Proses pengendapan (precipitation treatment) dilakukan untuk memperbaiki keseimbangan serta perbaikan sifat mekaniknya, yaitu dengan memberikan pemanasan ulang dengan temperature hingga 500°C dengan waktu (Holding time) selama 2 jam dan kemudian didinginkan.

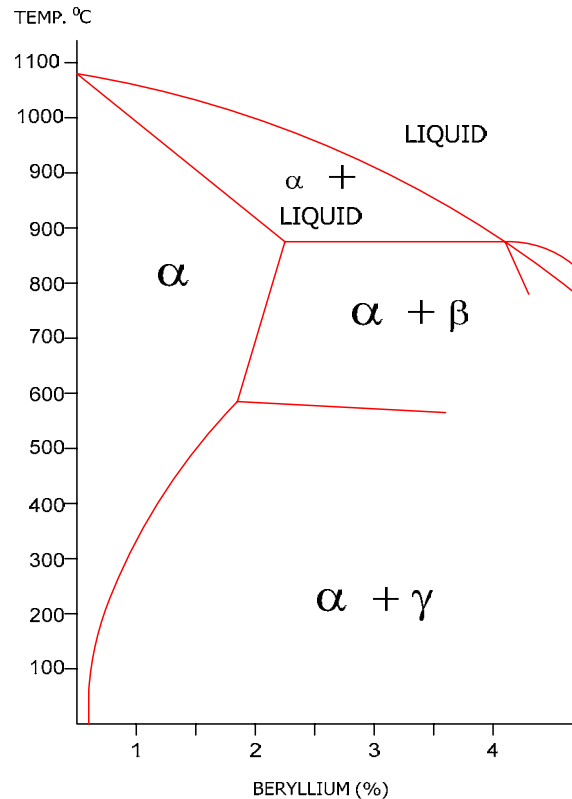


**Gambar 1.7** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Tembaga Chrom (Chromium-Copper)

- 4) **Tellurium-Copper, unsur** Tellurium pada Tembaga hingga sebesar 0,5 % akan menghasilkan paduan tembaga yang dapat dibentuk dengan baik melalui proses pemesinan.

Tellurium tidak dapat larut didalam Tembaga namunakan menyebar seluruhnya ketika paduan itu dilebur dan tersisa didalam bentuk partikel-partikel halus dimana paduan dalam keadaan padat, dengan demikian maka akan diperoleh Paduan tembaga yang dapat dengan mudah dibentuk melalui pemesinan dan menghasilkan chip yang mudah terlepas.

- 5) **Beryium-Copper** Berylium digunakan sebagai unsur paduan pada Tembaga jika kekuatannya lebih penting dari pada konduktifitasnya. Hasil analisis terhadap diagram keseimbangan paduan Tembaga Berylium memberikan indikasi bahwa hanya sedikit unsur Berylium yang yang masuk kedalam larutan padat dari Tembaga dan sisa Berylium akan tersusun dengan unsur Tembaga hingga mencapai Temperatur ruangan dalam bentuk  $\gamma$ .



**Gambar 1.8** Diagram keseimbangan dari paduan Tembaga-Beryllium (Copper-Beryllium)

Larutan padat dari Berylium didalam Tembaga akan mengembang oleh pemanasan yang cukup untuk membuat paduan tersebut merespon pengendapan oleh perlakuan panas, prosesnya dilakukan dengan memberikan pemanasan hingga 800<sup>o</sup>C kemudian di-Quenching diikuti oleh pemanasan hingga 320<sup>o</sup>C yang pendinginan untuk melunakan dan meningkatkan keuletannya serta memperbaiki strukturnya.

Paduan Tembaga-Berylium sangat penting dan banyak digunakan dalam berbagai industri dimana merupakan paduan yang kuat dan keras dengan kadar Berylium hingga 2% serta Paduan Tembaga dengan 4% Berylium dan 2,6 % Cobalt.

Paduan Tembaga-Berylium digunakan sebagai gelombang diapragme, Flexible Blower, pipa Bourdon, Cold Chisel, Hacksaw Blades dimana percikan apinya dapat menimbulkan ledakan.

- 6) **Copper-Nickel-Silicon Alloys**, Jika Nickel dan Silikon dalam perbandingan 4 : 1, yaitu 4 bagian Nickel dan 1 bagian Silikon dipadukan di dalam Copper (Tembaga) pada Temperatur tinggi maka akan terbentuk sebuah unsur yang disebut Nickel Silicide ( $Ni_2Si$ ) dan pada Temperatur rendah paduan ini akan sesuai untuk pengendapan dalam perlakuan panas, dimana proses pelarutan akan diperoleh dalam proses Quenching dari Temperatur 700<sup>o</sup>C dan akan diperoleh sifat paduan Tembaga yang lunak dan ulet, kemudian dilanjutkan dengan memberikan pemanasan pada Temperatur 450<sup>o</sup>C maka akan meningkatkan kekerasan serta tegangan dari paduan Tembaga tersebut.

Presentase kadar Nickel dan Silikon ini disesuaikan dengan kebutuhan dari sifat yang dihasilkannya, biasanya diberikan antara 1 % hingga 3 % . Paduan Tembaga ini akan memiliki sifat Thermal dan electrical Conductivity yang baik dan tahan terhadap pembentukan kulit dan oksidasi serta dapat mempertahankan sifat mekaniknya pada Temperatur tinggi dalam jangka waktu yang lama.

### c. Tembaga Paduan tinggi

#### 1) **Kuningan (Brasses)**

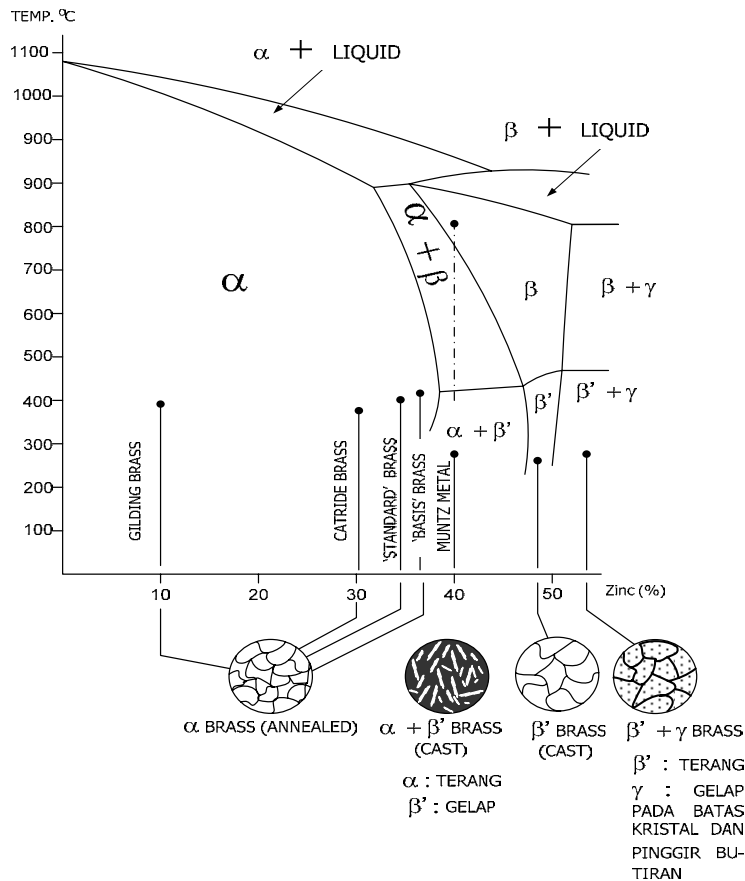
Kuningan adalah paduan Tembaga dengan lebih dari 50 % Zincum (seng) kadang-kadang ditambah dengan Timah putih (Tin) dan Timah Hitam (Lead) serta Aluminium dan Silikon.

Analisis terhadap diagram keseimbangan dari paduan Copper-Zinc (Tembaga-Seng) memperlihatkan bahwa paduan Tembaga Seng, kadar Seng diatas 37 % dapat diterima dalam Tembaga dan akan membentuk larutan padat yang disebut ( $\alpha$ ). Proses larutan Seng didalam Tembaga tidak berkembang oleh

perubahan Temperatur, dengan demikian Kuningan bukan paduan yang terbentuk oleh pengendapan.

Kuningan dengan kandungan seng diatas 37 % disebut “ $\alpha$  Brasses” yang merupakan paduan mampu pengerjaan dingin karena terbentuk dari struktur larutan padat. Paduan Tembaga Kuningan yang disebut  $\alpha$  Brasses ini berkembang oleh pengembangan dalam dari unsur yang pada akhirnya akan menyebabkan distorsi dari kisi tembaga (“Tembaga lattice”). Phase dimana terbentuknya pecahan merah (hot short) oleh karena itu kuningan ini tidak cocok untuk pengerjaan panas.

Jika kadar Seng pada paduan Tembaga melebihi 37 % maka kan terjadi phase kedua yaitu “phase- $\beta$ ”, berada bersama dengan phase  $\alpha$  dan paduan ini disebut “ $\alpha + \beta$  Brasses” dengan keuletan seimbang pada temperature ruangan sebab keuletan dari dari kristal  $\alpha$  mengganti kerapuhan dari kristal  $\beta$ .



**Gambar 1.9** Bagian dari diagram keseimbangan dan microstruktur dari paduan Tembaga Seng (Copper-Zinc)

Kuningan dari jenis ini memiliki sifat mampu pengerjaan panas (Hot working Brasses), hal ini disebabkan karena atom  $\beta$  berserakan pada temperature tinggi dan akan membentuk keuletan pada phase  $\beta$  dan pada saat yang bersamaan kristal  $\alpha$  akan menjadi rapuh pada Temperatur tinggi dan larut kedalam phase  $\beta$  sehingga paduan akan bersifat ulet pada Temperaatur yang lebih tinggi.

Kuningan dengan kadar Seng 45 % komposisinya terdiri atas kristal secara menyeluruh dengan sifat yang sangat rapuh pada temperature ruangan (room temperature), hal ini terlihat pada diagram keseimbangan Tembaga-Seng dimana titik cair dari dari Seng paduan tinggi lebih rendah dari pada Kuningan dengan kadar Seng rendah, oleh karena itu Seng dengan paduan tinggi ini digunakan sebagai "Brazing spelter" karena titik cairnya yang rendah tersebut namun sambungan tidak menjadi rapuh karena selama operasi penyambungan kadar Seng akan turun melalui proses penguapan dan sebagian akan menyebar kedalam Kuningan pada sambungan tersebut.

#### d. $\alpha$ Brasses mampu pengerjaan dingin (Cold working $\alpha$ Brasses)

Proses pengerjaan diawali dengan proses perlakuan panas yakni proses yang disebut "Stress relief Annealing treatment" (lihat Bab proses perlakuan Panas), yakni pemanasan dengan temperature 250<sup>0</sup>C untuk menghindari keretakan (Season Cracking), yakni keretakan diantara batas kristal yang sering terjadi pada setiap akhir pengerjaan. Bbeberapa hal penting dari Kuningan jenis ini antara lain :

1. **Cap-Copper** ; yaitu Copper dioxide dengan kadar Seng hingga 3 % memiliki sifat yang lunak dan ulet serta konduktifitas yang tinggi. Cap-Copper merupakan penamaan yang diberikan sesuai dengan fungsi pemakaiannya yang paling penting sebagai bahan container dari Priming Caps pada Amunisi.
2. **Gilding-Brass** ; yaitu jenis Kuningan yang mengandung 10 % Seng dan melalui pengerjaan berat yang memungkinkan tidak akan terjadi "season crack" disbanding dengan Kuningan berkadar Seng tinggi. Kuningan ini digunakan dalam pembuatan pframe "Permata" serta berbagai fungsi dekoratif.
3. **Catride Brass** ; Kuningan ini memiliki kadar Seng hingga 30 % , sesuai dengan namanya Kuningan ini digunakan sebagai bahan pembuatan Catride dan shell case . Kuningan ini memiliki sifat yang cukup ulet untuk jenis Kuningan yang mampu pengerjaan dingin serta memiliki kekuatan tarik yang baik.
4. **Standard Brasses** ; kendati sedikit lebih ulet dari Catride Brasses, Kuningan ini relative lebih murah karena kadar Tembaga juga lebih rendah, demikian pula pada tingkat

kekerasannya yang lebih rendah dibanding dengan kuningan sejenisnya

Untuk pembentukannya diperlukan pelunakan untuk menghindari distorsi pengerjaan dingin.

5. **Bases Brass** ; Kuningan ini memiliki kandungan Seng antara 36 % hingga 38 % dengan sedikit unsur dari phase  $\beta$ , merupakan bahan baku produk dengan harga yang relative murah dan sesuai untuk pengerjaan tekan, kekuatannya tidak terjamin, Kuningan ini disebut sebagai kuningan umum atau “Common Brasses”.
6. **Admiralty Brasses** ; ialah Kuningan dari jenis “Catride Brasses” yang ditambah dengan unsur Timah hingga 1 % untuk memberikan sifat ketahanannya terhadap berbagai bentuk korosi. Kuningan ini digunakan sebagai bahan pembuatan condenser serta komponen-komponen dengan pendinginan air.
7. **Alumunium Brasses** ; Kuningan ini komposisinya terdiri atas Kuningan dengan 76 % Copper, 22 % Seng dan 2 % Alumunium, pemakaian yang sangat penting sebagai bahan pembuatan “Marine Condenser tubes” karena sifatnya yang tahan terhadap korosi tinggi.
8. **Clock Brass and Engraving Brass** ; yakni Bases Brass atau Standard Brasses yang ditambah dengan 1 % Timah hitam (lead) yang memberikan sifat mampu mesin (machinability) terhadap Kuningan jenis ini. Timah Hitam (lead) tidak larut didalam kuningan dalam keadaan cair, partikel-partikel halus yang tersisa seluruhnya akan terlepas menjadi chips selama pemotongan serta akan membantu proses pelumasan baik selama proses pemotongan maupun pelayanan pelumasan komponen dalam perakitan pada posisi yang sulit dijangkau.
9. **Hot-working ( $\alpha + \beta$ ) Brass** ; yang termasuk dalam kelompok kuningan ini juga adalah “Muntz-metal” ditambahkan sedikit unsur yang akan menambah kekuatan tarik dari Kuningan ini.
10. **Muntz-Metal** ; Muntz-metal ini disebut sebagai “Logam Kuning” (Yellow metals) dibentuk melalui pengerjaan dingin dengan prinsip kelurusan digunakan sebagai plat yang diroll panas atau dalam bentuk batangan yang dilanjutkan dengan penempaan (Forging) atau extrusion. Muntz-metal digunakan sebagai bahan untuk pembentukan dengan pengecoran atau sebagai bahan paduan dalam pengecoran baja.



- 11. Leaded 60 : 40 Brass** ; atau disebut juga Turning Brass, Kuningan ini mengandung unsur lead sebesar 0,5 % hingga 3,5

% pada Munzt-metal untuk memberikan sifat mampu mesin (Machinability) dan unsur lead pada Kuningan tidak mereduksi kekuatan tariknya kendati akan menurunkan keuletan serta nilai Impactnya. Pembentukan dengan Forging akan menurunkan kadar lead pada Kuningan ini.

- 12. Naval Brass** ; ialah Muntz-metal yang ditambah dengan 1 % Timah putih (Tin) dengan demikian kuningan ini akan sangat tahan terhadap korosi serta peningkatan kekuatannya. Pembentukannya sangat baik dengan berbagai metoda pengecoran, pengerolan panas dan tempa (forging).
- 13. Naval Brass** dengan kandungan Timah hitam (lead) 0,5 sampai 2,0 % juga akan meningkatkan sifat mampu mesin akan tetapi akan sedikit mengikat dalam proses penempaan (forging)
- 14. High Tensile Brass** ; Kuningan ini mengandung unsur paduan hingga 7 % yang terdiri atas unsur Manganese, Iron,, Nickel, Timah putih dan Aluminium yang ditambahkan pada Muntz metal dengan tujuan peningkatan kualitas sifat mekaniknya, dengan demikian akan diperoleh kuningan jenis khusus yang memiliki kekuatan tarik yang tinggi.

#### e. Bronzes and Gunmetal

##### 1. Bronzes and Gunmetals

*Bronzes and Gunmetals* ialah paduan tembaga dengan timah putih (Tin) serta unsur-unsur tambahan dengan sedikit kuantitas yang terdiri atas Timah hitam (lead). Untuk semua paduan Tembaga dengan Timah hitam ini disebut "Bronzes" dan paduan Tembaga dengan timah putih disebut "Tin-Bronzes", sedangkan Bronzes dengan penambahan unsur Seng disebut "Gunmetals".

Bronzes sangat mudah dibentuk dengan pengecoran dan memiliki sifat tahan terhadap korosi dengan sifat yang paling penting ialah memiliki sifat ketahanan aus.

##### 2. Tin Bronzes and Gunmetals

Analisis terhadap diagram keseimbangan Copper-Tin mengindikasikan bahwa Paduan Tembaga dengan kandungan Timah putih (Tin) hingga 14 % dikelompokkan kedalam paduan dengan larutan padat (solid solution), dan jika paduan ini didinginkan dengan sangat lambat sifat larutan akan menurun, hal

ini terlihat yang diindikasikan dengan garis putus-putus (dashed) pada diagram tersebut. Jadi partikel yang keras dan rapuh (phase  $\delta$ ) akan berada dalam larutan padat (solid solution), hal ini hanya akan terjadi didalam praktiknya, dimana pada hasil pengecoran paduan mengandung kadar Timah Putih diatas 10 %. Tetapi phase  $\gamma$  dapat terurai dengan kelebihan timah dan masuk kedalam larutan padat jika paduan ini diberi perlakuan panas (Annealing) pada temperature 300°C dengan holding time hingga 1000 jam.

Paduan Tembaga dengan kandungan kadar Timah antara 14 dan 32 % strukturnya akan terdiri atas phase  $\delta$  dan phase  $\alpha$  sifatnya akan menjadi lunak dengan sifat kombinasi antara keras dan ulet. Bahan paduan ini *merupakan* bahan paduan yang baik karena memiliki titik cair yang rendah.

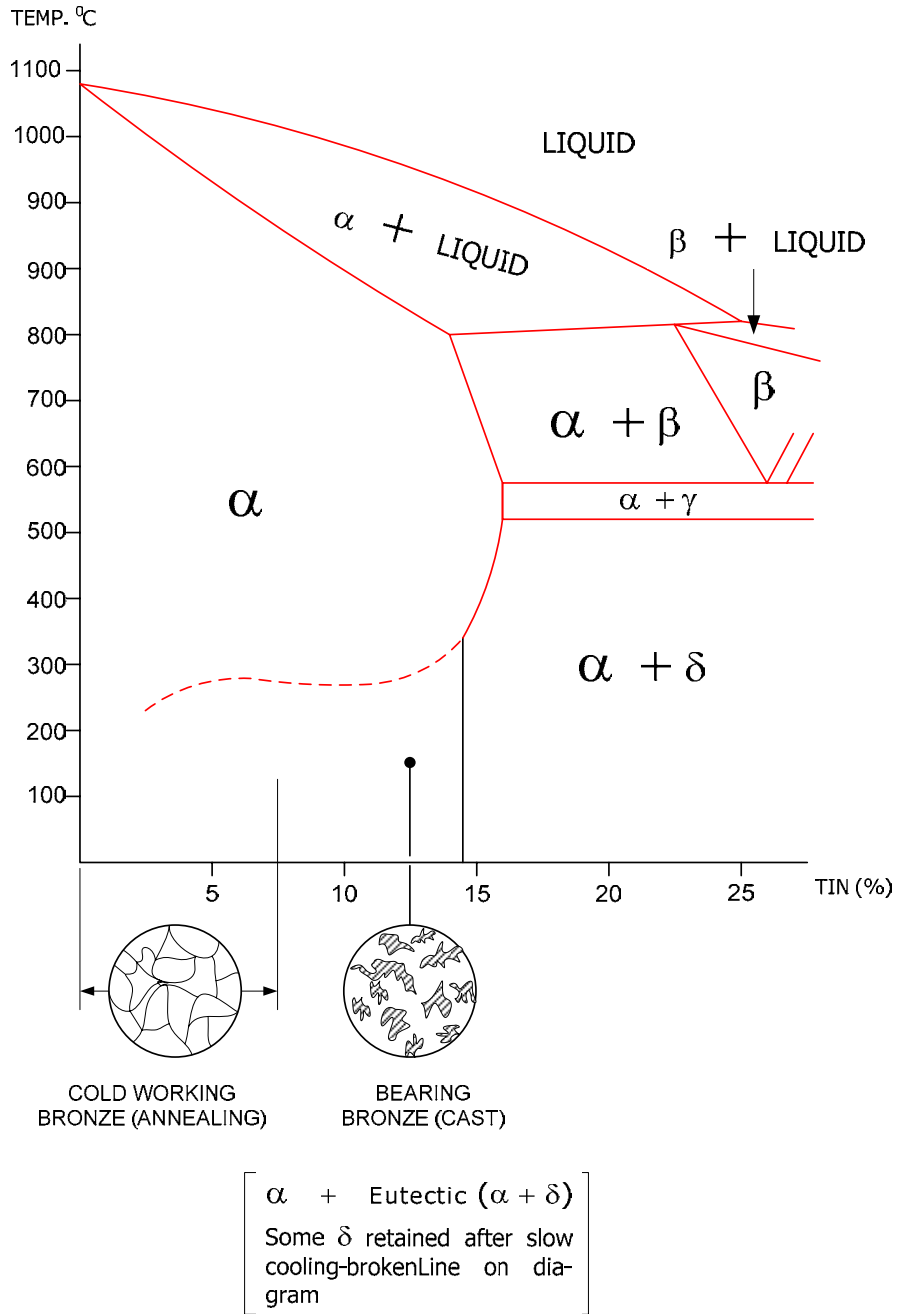
Pada diagram tersebut juga memperlihatkan bahwa Bronze ini memiliki derajat pepadatan yang besar (terindikasi pada jarak antara garis solidus dengan garis liquidus) dimana paduan ini cenderung *membentuk* inti pada stuktur hasil pengecoran, Inti paduan akan terbentuk jika setiap butiran tersusun pada titik cair yang tinggi dan dibagian luarnya sangat kaya dengan susunan butiran yang memiliki titik cair rendah, namun demikian komposisi dari masing-masing butiran ini dapat diseragamkan melalui proses perlakuan panas (Annealing).

**Tin**-Bronze dibedakan *menjadi* 2 macam yaitu Wrough-Bronzes dan Cast Bronzes.

- **Wrough-Bronzes**

*Wrough-Bronzes* ; atau disebut Perunggu tempa atau  $\alpha$  Bronzes yakni Bronze yang mengandung kadar Timah putih diatas 8 %, pembentukannya dapt dilakukan dengan proses rolling secara dingin atau direntang. Bronzes ini dapat memegas selama proses pengerjan dingin (cold working process), oleh karena itu sebelum proses pembentukan harus dilakukan proses Annealing dengan temperature annealing 700°C . Bronzes ini memiliki sifat ketahanan korosi yang baik.

*Bronzes* dengan kadar Phosphor hingga 0,3 % digunakan sebagai bahan pembuat “Wrought Phosphor Bronzes” yakni sebagai bahan pagas, seperti pegas-pegas pada electrical contact serta berbagai instrument pemegang pada coil.



**Gambar1.10** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Tembaga Timah putih (Copper-Tin) dan microstrukturnya

- **Casting-Bronzes**

*Casting-Bronzes* ( $\alpha + \delta$  Bronzes) Mengandung kadar Timah putih antara 10 hingga 18 % dengan penambahan berbagai unsur akan diperoleh struktur yang kompleks.

*Casting Phosphorus Bronzes* merupakan bahan paling penting sebagai bahan baku pengecoran, dimana mengandung 10 % kadar Timah Putih (tin) serta unsur phosphor sebesar 0,05 %. Bronze ini sangat baik digunakan sebagai bahan bantalan dengan beban berat (heavy duty) dan kadar Phosphornya dapat ditingkatkan hingga 0,5 % walaupun dengan kehilangan sedikit sifat keuletannya.

*Bell-metals* ; yakni bahan yang terbentuk dari hasil pengecoran pada Bronzes dengan kandungan Timah putih hingga 20 % dengan demikian akan menghasilkan efek suara jika dipukul.

*Speculum metal* ; ialah Bronze yang mengandung 30 % sampai 40 % Timah Putih, Bronze ini sangat rapuh namun dapat dipoles sehingga sering digunakan sebagai bahan cermin, kisi pantul cahaya serta berbagai kebutuhan peralatan optic juga sebagai bahan pelapis.

*Leaded Bronzes* ialah Tin-Bronze yang mengandung unsur timah hitam sebagai unsur yang dapat mengakibatkan bahan memiliki sifat mampu mesin (machinability). Kandungan lead pada Leaded Bronze hingga 5 % dan Leaded Bronze yang memiliki kandungan timah hitam hingga 10 % dapat meningkatkan sifat lancar sehingga banyak digunakan sebagai bantalan.

*Gunmetal* ialah Bronzes tuangan dengan komposisi unsur seng untuk memberikan sifat mampu cor yang lebih baik.

*Admiralty Gunmetels* Komposisinya terdiri atas 88 % Copper dan 10 % Timah putih (tin) dan 2 % Sengan digunakan dalam pembuatan komponen kapal laut, seperti Valve-valve dan berbagai peralatan Mesin uap.

*Leaded Gunmetels* ialah Bronzes dengan kandungan unsur lead diatas 5 % untuk meningkatkan sifat mampu Cor (Castingability) dan mampu mesin (Machinability).

*Nickel Bronzes* ialah Bronze dengan penambahan sedikit unsur Nickel kedalam Tin-Bronzes dengan tujuan untuk memperbaiki sifat mekanik dari bronze tersebut, disamping itu juga dapat memperbaiki sifat mampu cor. Unsur Nickel pada Bronze ini akan bersenyawa dengan seng sehingga akan menghasilkan paduan yang keras yang disebut "Nickel Gunmetals".

Paduan dengan kadar Nickel yang tinggi dapat akan tergambarkan pada diagram keseimbangan karena, proses pelarutan akan terjadi jika dapat dilakukan pelarutan melalui proses pengecoran. Pemanasan dengan Temperatur  $760^{\circ}\text{C}$  yang diikuti dengan Quenching dan dilanjutkan dengan pemanasan pada temperature  $300^{\circ}\text{C}$  setiap jam tegangan dan kekerasannya akan meningkat.

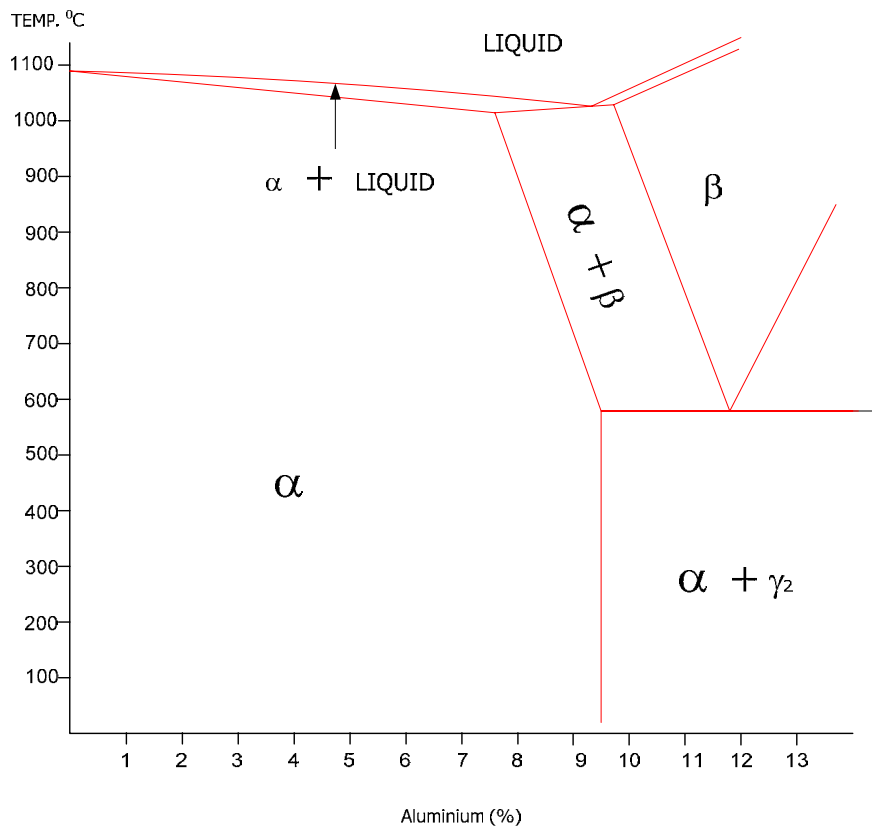
Nickel Bronzes memiliki sifat ketahanan aus dan korosi serta dapat mempertahankan kekerasannya pada berbagai perubahan Temperatur.

Nickel Bronzes digunakan sebagai bahan dalam pembuatan Valve serta berbagai komponen boiler feed water.

*Aluminium Bronzes* kadar Tembaga yang lebih besar diberikan pada saat akhir pencampuran Copper-Aluminium. Dari diagram keseimbangan dapat terindikasi bahwa kadar Aluminium yang lebih tinggi dari 9,4 % akan masuk kedalam larutan padat (Solid Solution) tidak akan meningkat dengan penambahan derajat pemanasan akan tetapi malah akan turun jika Temperatur melebihi  $565^{\circ}\text{C}$ .

Jika kadar *Aluminium* lebih besar dari 7,5 % dan Temperatur pemanasannya melebihi  $565^{\circ}\text{C}$  akan memunculkan phase kedua yang disebut Phase  $\beta$  dan ketika kadar Aluminium melebihi 9,4 % dengan pendinginan lambat, maka akan terbentuk larutan padat (Solid Solution) yakni phase  $\alpha + \gamma$ . Jika paduan ini didinginkan sedikit lebih lambat seperti dilakukannya pengetokan pada cetakan (Mould) maka akan memperlambat pematangan pada perhentian dari phase  $\beta$  tidak akan terjadi dan akan menghasilkan struktur "tua", namun jika diberi penambahan sedikit unsur besi maka akan memperlambat perhentian phase  $\beta$  dengan memperoleh hasil yang sama.

Pada diagram keseimbangan ini juga (Gambar 1.11) mengindikasikan temperature dimana perhentian phase  $\beta$  tergantung pada kadar Aluminium dan menjangkau nilai minimum apabila kadar Aluminium mencapai 11,8 %.



**Gambar 1.11** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Tembaga-Aluminium (Copper-Aluminium)

Bagian dari diagram keseimbangan dari paduan Copper-Aluminium mirip dengan diagram Besi Carbon (FeC), dan paduan dengan kadar Aluminium yang tinggi dapat di-quenching dengan menghasilkan struktur yang mirip dengan Martensite (lihat heat treatment) dengan sifat yang sangat keras dan rapuh juga mirip dengan sifat baja. Paduan ini juga dapat di Temper jika diperlukan sifat medium.

*α-Aluminium Bronzes* ; Paduan dari jenis ini biasanya mengandung kadar Aluminium antara 4% dan 7% serta dapat di-annealing untuk mendapatkan sifat yang lunak dan ulet dan akan mengeras dan menegang setelah proses pengerjaan dingin.

*Duplex Aluminium Bronzes* Paduan ini mengandung kadar Alumunium antara 9 % sampai 10 % dengan 2 % Besi untuk menghambat perhentian phase  $\beta$ .

Paduan pada kelompok ini digunakan secara khusus dalam pengecoran dengan cetakan pasir (Lihat Sand Casting) atau gravity die-Casting serta tidak sesuai untuk Pressure die Casting karena memiliki derajat pemadatan yang kecil.

Duplex Aluminium Bronzes digunakan sebagai bahan cor untuk pembuatan rumah pompa, bagian-bagian Valve, roda gigi dan rack.

Secara umum Aluminium Bronzes memiliki sifat tahan korosi dimana terdapatnya lapisan film Alumina yang terbentuk dibagian permukaan karena adanya unsur Aluminium serta dapat mempertahankan sifat mekaniknya pada temperature tinggi.

#### f. Paduan Tembaga-Nickel

Paduan Tembaga-Nickel ialah logam yang merupakan paduan dari dua unsur yakni unsur Tembaga (copper) dengan Nickel. Logam paduan ini dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. Cupro-Nickel Yaitu logam dengan unsur yang terdiri atas Copper dan Nickel
2. Nickel Silver yakni paduan antara Tembaga (Copper), Nickel dan Zinc (seng).

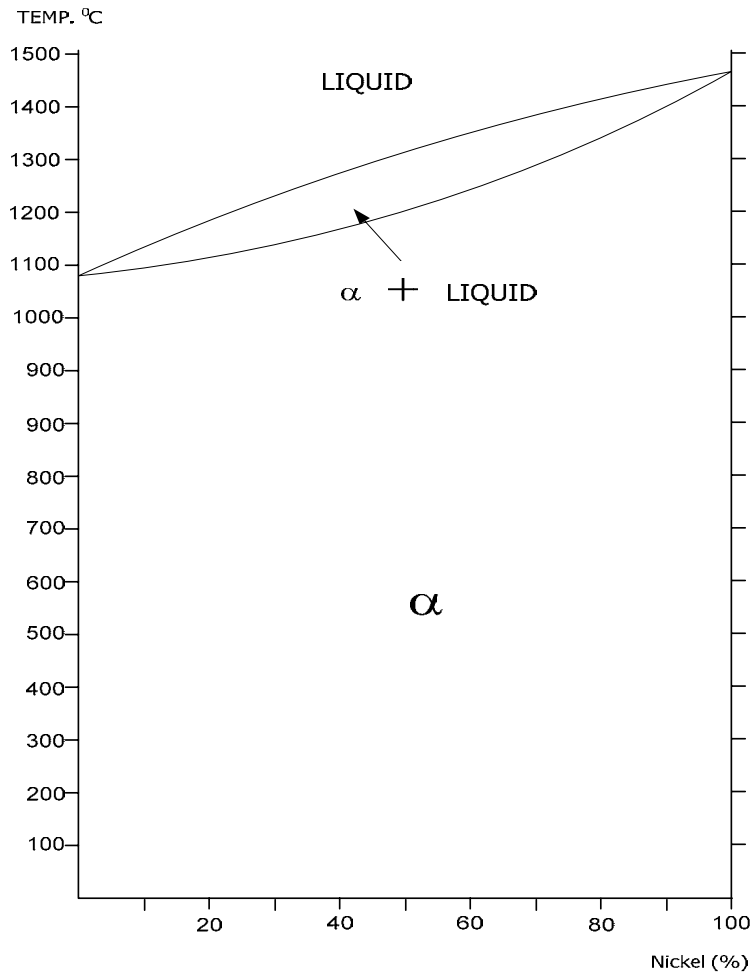
- **Cupro-Nickel :**

Diagram keseimbangan dari paduan Cooper-Nickel (Gambar 1.12), mengindikasikan bahwa paduan ini akan membentuk larutan padat (Solid Solution) dalam semua perbandingan untuk semua paduan dan menghasilkan bahan yang sesuai untuk pengerjaan panas maupun dingin.

Unsur Nickel yang terdapat pada paduan ini biasanya antara 15 sampai 68<sup>o</sup>, kekuatan tarik, keuletan dan kekerasannya berkembang sesuai dengan kadar unsur dari Nickel tersebut.

Paduan dengan kadar Nickel sampai 20 % adalah yang paling baik dalam kelompok ini untuk pengerjaan dingin keras, dan paduan dengan kadar Nickel sampai 25 % biasanya digunakan dalam pembuatan Coin pada "British Silver".

Sebagai logam penting dari jenis paduan ini ialah yang disebut "Monel" yakni paduan dengan unsur Nickel hingga 68 % sebuah paduan yang sangat tahan terhadap korosi dan dapat mempertahankan sifatnya pada temperature tinggi, sehingga Monel banyak digunakan pada Turbin Uap.



**Gambar 1.12** Diagram keseimbangan dari paduan Tembaga Nickel (Cooper-Nickel)

- **Nickel – Silver**

Nickel – Silver sebenarnya tidak mengandung unsur Silver, penamaan ini dikarenakan penampilan dari paduan ini menyerupai silver. Komposisinya terdiri atas Copper, Nickel dan Seng (Zinc).

Semua paduan dari jenis ini dapat dikerjakan atau dibentuk dengan pengejaan dingin (cold working), akan tetapi dengan



meminimalkan tingkat kemurniannya paduan ini juga memungkinkan untuk pengerjaan panas (hot working).

Nickel Silver mengandung kadar Tembaga antara 55 % sampai 68 % dan paduan dengan kadar Nickel antara 10 % hingga 30 % banyak digunakan dalam pembuatan sendok dan garpu.

Paduan yang dibuat dalam bentuk plat dengan type EPNS sebagai derajat kesatu dengan kadar Nickel 18 % digunakan sebagai bahan pegas pada kontaktor peralatan listrik.

#### ***g. Copper Alloy Containing Silicon***

Copper Alloy Containing Silicon paduan tembaga dengan penambahan sedikit unsur Silicon untuk meningkatkan tegangan serta ketahanannya terhadap serangan korosi, dan hal ini pula yang menjadikan Tembaga mudah untuk dilakukan penyambungan melalui pengelasan, dimana dioxidasi dalam pengelasan dalam proses pencairan logam ini akan tercapai dengan adanya unsur Silikon tersebut.

Paduan Tembaga dengan kadar Silicon sampai maximum 3 % masih dapat ditempa (Forging), namun jika lebih besar dari 5 % merupakan Bronze tuangan (Casting Bronzes).

#### ***Copper Alloy Containing Manganese***

Copper Alloy Containing Manganese; unsur Manganese digunakan dalam paduan dengan unsur Aluminium atau Nickel pada Tembaga, dimana akan memberikan sifat listrik yang sangat spesifik. Bahan ini sangat mudah untuk dibentuk hingga bentuk-bentuk yang sangat rumit dibanding dengan pemakaian baja. Paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang sangat baik .

#### ***h. Aluminium dan Paduannya***

Aluminium merupakan salah satu bahan teknik yang penting dari jenis logam Non-ferro karena secara umum Aluminium memiliki sifat yang dapat memenuhi syarat dari berbagai sifat produk komponen atau peralatan teknik.

Yang sangat spesifik dari sifat Aluminium ialah berat jenisnya yang rendah yakni hanya  $2,702 \text{ Kg/dm}^3$ , memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh korosi atmosferic serta sifat yang lain dan yang sangat penting dari Aluminium ini ialah sifat

thermal dan electrical conductivity yang ditandai dengan lapisan yang mengkilat jika dipoles serta cepatnya perambatan panas pada Aluminium ini.

Aluminium ditemukan tahun 1827 oleh Federick Wohler seorang ahli kimia Jerman. Aluminium terdapat pada permukaan bumi dalam bentuk senyawa kimia yang disebut Bauxite yang merupakan bijih Aluminium dengan komposisi yang terdiri atas tanah tawas, Oxide Aluminium, Oxide besi dan Asam Silikat.

Selanjutnya Bauxite ditemukan diberbagai Negara di Eropa seperti Prancis, Itali dan Negara-negara Balkan serta Rusia, Hongaria, Afrika, Amerika, Asia dan Australia.

Secara komersial Aluminium diperoleh dalam keadaan murni hingga 99,9 % atau terendah 99 % memiliki kekuatan tarik  $60 \text{ N/mm}^2$  dan dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan dingin hingga  $140 \text{ N/mm}^2$  serta akan meningkat lagi tergantung panjangnya proses pengerjaan tersebut.

Sifat korosi Atmospheric terjadi pada Aluminium ialah dimana disebabkan oleh proses persenyawaan Aluminium dengan udara yang mengakibatkan terbentuknya lapisan film setebal kurang lebih  $13 \times 10^{-6} \text{ mm}$ . Yang bersifat adhesive pada permukaannya sehingga melindunginya dari pengaruh udara berikutnya.

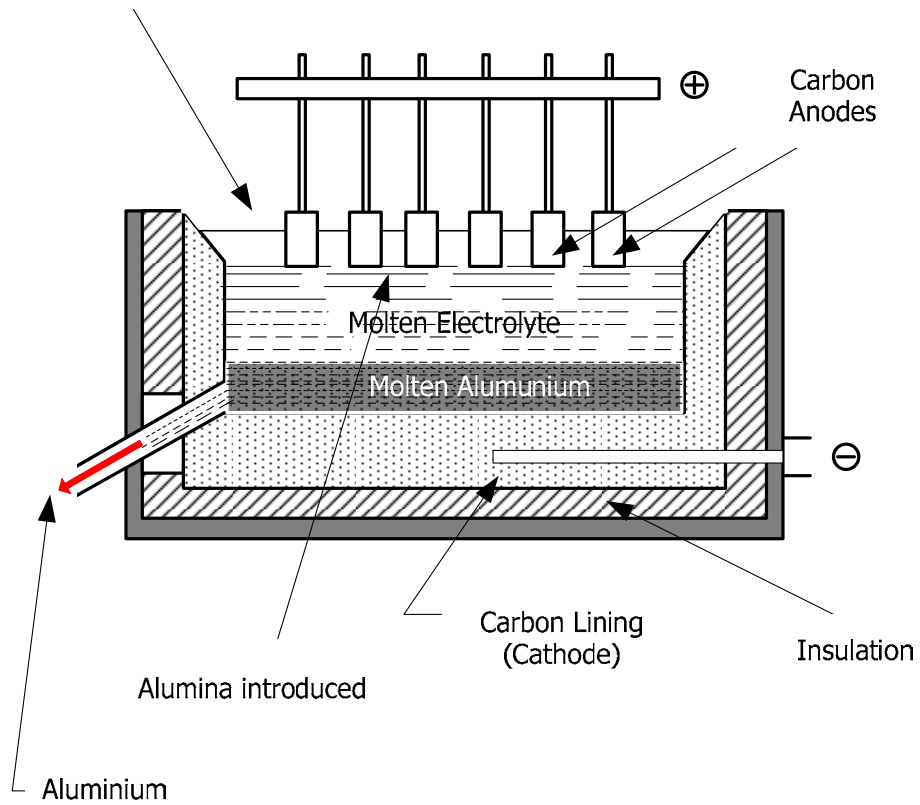
Untuk memperoleh sifat yang lain dari Aluminium dapat dilakukan dengan proses pencampuran atau paduan dengan unsur-unsur logam lainnya, seperti Copper (Tembaga), Manganese, Magnesium, Zincum, Nickel, Silicon dan lain-lain sehingga memenuhi sifat bahan yang dikehendaki.

## 1. Dasar-dasar paduan Aluminium

Paduan Aluminium dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok menurut sifat pengerjaannya, yaitu :

- a. Aluminium paduan tempa (wrought Aluminium Alloy)
- b. Aluminium paduan Tuangan (Cast Aluminium Alloy).

Oxygen given off at anodes combines with carbon to form CO



**Gambar 1.13** Proses pembuatan Aluminium

## 2. Aluminium paduan tempa (wrought Aluminium Alloy)

Aluminium paduan tempa (wrought Aluminium Alloy) ini diproses melalui pengolahan tempa atau ekstrusi, pengolahan yang menghasilkan bahan-bahan setengah jadi seperti plat, pipa kabel, batangan bulat atau bersegi dan lain-lain.

Paduan Aluminium ini juga dikelompokkan menurut sifat reaksi perlakuan panasnya (lihat diagram paduan Aluminium).

## 3. Pekerjaan pengerasan pada Paduan Aluminium

Paduan Aluminium ini sebenarnya tidak terlalu merespon terhadap reaksi perlakuan panas, akan tetapi derajat yang disebut "Temper" dapat kita peroleh melalui pengendalian rentang pengerjaan dingin yang dicapai setelah pelunakan akhir, namun demikian kekuatan tariknya tidak akan diperoleh bila ukuran yang dikehendaki telah tercapai kecuali dengan undersized. Prinsip-prinsip pengerasan pada Paduan Aluminium ini dapat diuraikan sebagai berikut :

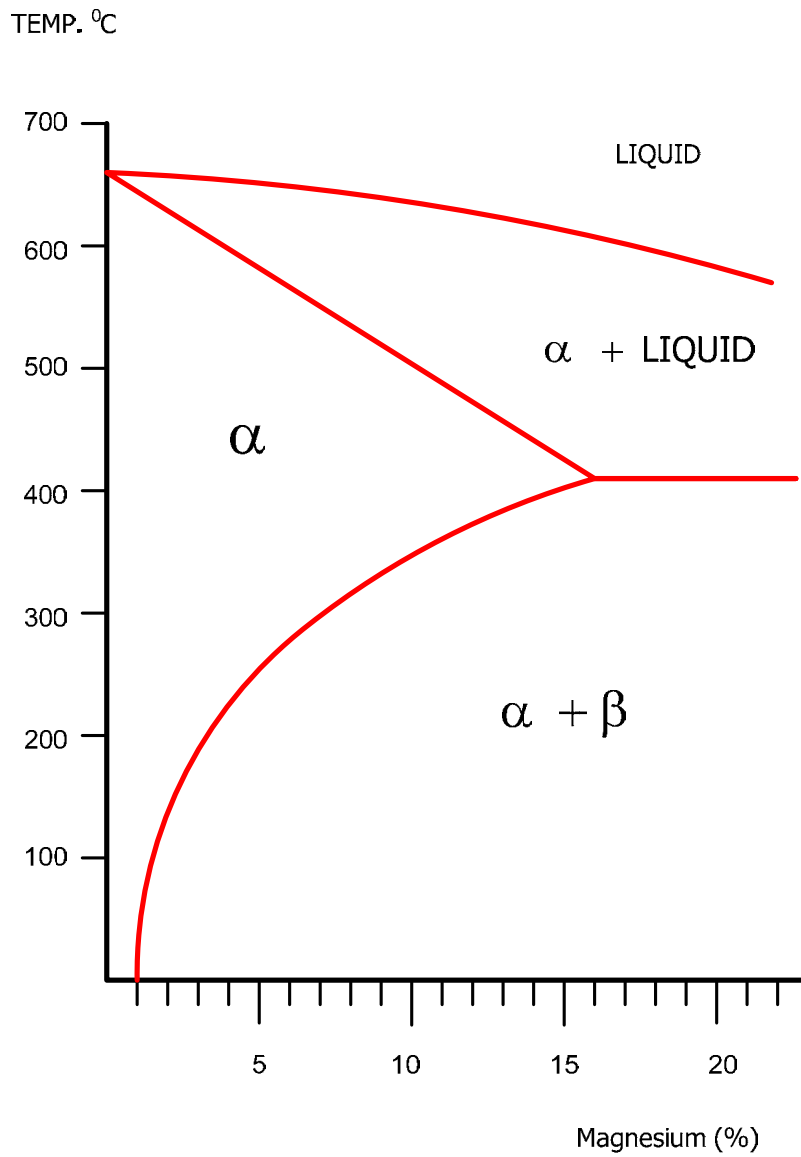
- a. Paduan Aluminium dengan total unsur paduan hingga 1 % yang terdiri atas Silicon, besi Manganese dan Seng sesuai dengan sifat yang dikehendaki, kekuatan tarik maximum dapat dicapai melalui proses tempa (Forging) atau berbagai metoda pengerjaan dingin dan tingkat keuletannya dapat diperoleh melalui penambahan jumlah atau jenis bahan paduan sekalipun hal ini relative mahal.
- b. Paduan Aluminium dengan total unsur paduan hingga 2,4 % termasuk 1,2 % Manganese.
- c. Paduan Aluminium dengan berbagai unsur paduan serta kadar yang bervariasi hingga diatas 7 % sesuai dengan kebutuhan.

Berbagai jenis aluminium paduan sebagaimana disebutkan merupakan struktur larutan padat dengan sedikit larutan dua phase.

Diagram keseimbangan (Gambar 1.14) yang diperlihatkan berikut ini merupakan bentuk keseimbangan untuk paduan Aluminium-Magnesium dimana diagram ini memperlihatkan bahwa unsur Magnesium larut didalam Aluminium yang meningkat sesuai dengan meningkatnya Temperatur pemanasan.

Paduan ini bukan merupakan masalah utama karena melalui proses paduan ini hanya akan meningkatkan sedikit tegangan namun merata.

Struktur dengan larutan padat (Solid Solution) ini memiliki sifat yang lunak tetapi sangat tahan terhadap korosi.



**Gambar 1.14** Diagram keseimbangan dari Paduan Aluminium-Magnesium

#### 4. Paduan Aluminium mampu perlakuan panas (heat treatable wrought Aluminium Alloy)

Sifat mampu perlakuan panas pada paduan Aluminium ini akan memberikan peluang terhadap bahan ini untuk diberikan peningkatan tegangannya melalui proses perlakuan panas. Tentang prinsip-prinsip perlakuan panas dapat dilihat pada Bab tentang Heat treatment yakni Pengendalian sifat mekanik logam melalui proses perlakuan panas.

Proses perlakuan panas pada Aluminium paduan ini dapat dianggap sebagai :

Unsur paduan pada Aluminium dengan kadar Tembaga hingga 4 % dengan campuran  $\text{CuAl}_2$  merupakan paduan dengan medium hardening.

Unsur paduan pada Aluminium dengan total paduan hingga 2 % yang terdiri atas Silicon dan Magnesium,  $\text{Mg}_2\text{Si}$  merupakan medium hardening.

Variasi unsur paduan pada Aluminium yang terdiri atas Tembaga, Silicon sebagai media hardening.

Sifat heatreatable (mampu perlakuan panas) dari paduan Aluminium ini jatuh dalam dua kelompok yakni terjadinya pengerasan secara spontan setelah pembentukan larutan, sedangkan yang lainnya memerlukan proses lanjutan, yakni proses perlakuan panas yang disebut sebagai "precipitation treatment" dengan tujuan untuk memperbaiki sifatnya.

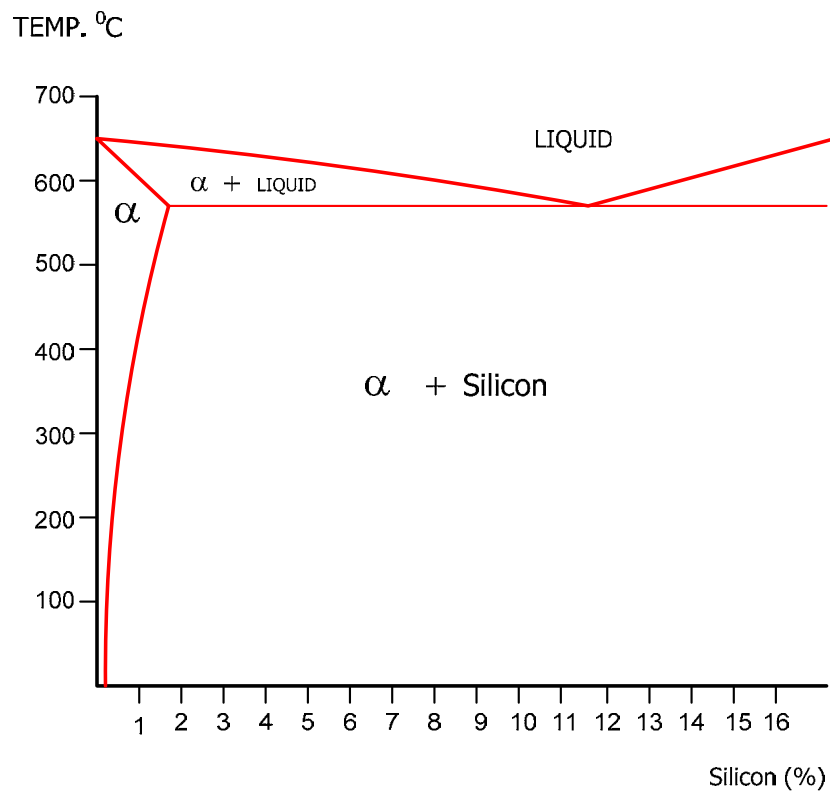
Dalam proses ini diperlukan berbagai unsur tambahan seperti unsur yang bersifat meningkatkan kekerasan, ketegangan, misalnya besi dan Seng. Jika Paduan Aluminium ini akan digunakan pada temperature tinggi maka diperlukan unsur Nickel.

- **Paduan Aluminium tuangan (Cast Aluminium Alloys)**

Jika diperlukan Aluminium Paduan dengan sifat keuletan yang tinggi serta sifat ketahanan terhadap korosi yang tinggi pula maka pada Aluminium yang memiliki kemurnian komersial ditambahkan unsur-unsur Silicon dan Magnesium, dengan demikian juga akan diperoleh Aluminium paduan yang keras dan kuat dengan paduan yang kompleks.

Berdasarkan diagram keseimbangan (Gambar1.15) berikut dimana kita memerlukan keadaan paduan yang sangat cair dengan kadar Silicon yang lebih besar dari 5 % , dengan

demikian berdasarkan diagram tersebut yang mengindikasikan terjadinya komposisi Eutectic berada pada kadar Silicon sebesar 11,6 %, dengan demikian Aluminium paduan ini cocok dibentuk melalui pengecoran dengan cetakan pasir, Grafity die Casting, pressure die Casting dengan cold chamber die Casting. Aluminium paduan dari kelompok ini termasuk dalam kelompok Aluminium paduan yang mampu perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan dan tegangannya.



**Gambar1.15** Bagian dari Diagram keseimbangan Paduan Aluminium-Silicon

- **“As-Cast” Aluminium Alloys**

Terdapat 3 kelompok utama dari “As-Cast” Aluminium Alloys ini yaitu :

- 1) Aluminium paduan dengan kadar 9% sampai 13 % Silicon, Aluminium paduan ini dapat dibentuk melalui pengecoran dengan metoda Die-Casting.
- 2) Alumunium Paduan dengan komposisi yang terdiri atas 1,6 % Copper dan 10 % Silicon dapat dibentuk dengan penuangan melalui metode pressure die Casting.
- 3) Aluminium Paduan dengan kadar 4,5 %Magnesium; dan 0,5 % Manganese, kendati paduan ini hanya memiliki tegangan menengah namun memiliki sifat ketahanan korosi yang baik.
- 4) Aluminium Paduan ini dapat dibentuk melalui pengecoran dengan proses pencetakan pasir (Sand-Casting) dan Grafity Die Casting.

## 5. Sifat mampu pemanasan pada Tuangan Aluminium paduan

Dengan penambahan unsur paduan pada Aluminium Paduan seperti unsur Silicon dan berbagai unsur lainnya sudah cukup memberikan fungsi pengerasan. Angka terbesar dari bahan-bahan paduan pada Aluminium Paduan diperoleh dari unsur Tembaga (Cu) dengan kadar hingga 4 % yang ditambah dengan sedikit unsur Nickel hingga 3 % yang akan menghasilkan media pengerasan dari campuran Ni Al<sub>3</sub>.

- **Perlakuan panas pada Aluminium paduan**

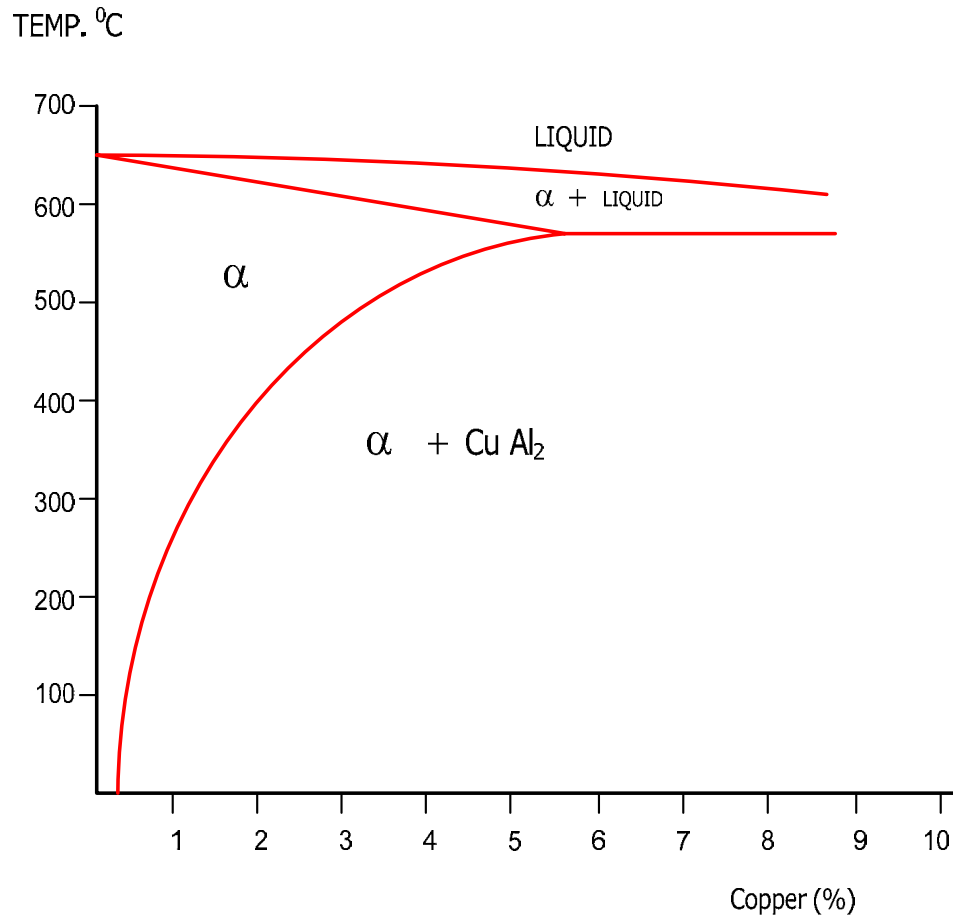
*Peningkatan Tegangan dengan perlakuan panas*

Aluminium Paduan yang memiliki komposisi yang sesuai untuk ditingkatkan kekuatannya, perlakuan panas akan mencairkan bahan ini yang diikuti oleh proses pengendapan (precipitation). Untuk keadaan ini respon bahan terhadap reaksi pemanasan akan ditandai dengan adanya batas larutan padat (Solid solution) didalam larutan tersebut hingga mencapai temperature ruangan yang meningkat sesuai perubahan temperature itu sendiri.

Prilaku Tembaga serta cara pemuaduanya dengan Aluminium dapat digambarkan dalam diagram keseimbangan (Gambar 1.16) berikut.

Dengan hanya 0,2 % Tembaga pada ALuminium akan menghasilkan campuran antar logam Cu Al<sub>2</sub>.





**Gambar 1.16** Bagian dari diagram Keseimbangan paduan Aluminium-Copper

Larutan padat (solid Solution) dari Tembaga pada Aluminium meningkat sesuai dengan peningkatan Temperaturnya menjangkau maximum hingga 5,7 % pada Temperatur 584 %, akan tetapi jika kandungan unsur Tembaga kurang dari 5,7 % maka seluruhnya akan masuk kedalam larutan padat (solid solution), bila diberikan pemanasan dengan temperature yang cukup tinggi.

Jika Paduan telah berada dalam keseimbangan melalui proses pendinginan, misalnya setelah penuangan, kelebihan unsur tembaga secara berangsur-angsur akan mengendap dari larutan padat kedalam bentuk campuran yang sangat keras dan rapuh  $Cu Al_2$  yang berkumpul didalam batas butiran.

## H. Pembentukan larutan

Jika proses pendinginan pada paduan Aluminium dilakukan dengan lambat dan diberikan pemanasan lanjut untuk mendapatkan larutan padat yang menyeluruh, kemudian di-Quenching pada media air atau oli tidak akan terjadi pengendapan tetapi akan menghasilkan larutan padat yang jenuh.

Temperatur serta durasi waktu yang diperlukan untuk "solution treatment" akan tergantung kepada komposisi unsur dari paduan itu sendiri. Dari akhir perlakuan panas akan dihasilkan bentuk Paduan Aluminium yang lunak dan lembek sehingga dapat dikerjakan dengan proses pengerjaan dingin.

### 1. Proses pengendapan

Larutan jenuh yang diperoleh dari larutan padat melalui proses pelarutan hanya akan stabil pada temperature rendah, sehingga apabila dilakukan proses pemanasan lanjut atau yang disebut precipitation-treatment dimana akan terjadinya proses pengendapan maka kebutuhan temperature pemanasan juga tidak terlalu tinggi. Unsur tembaga atau berbagai unsur paduan lainnya tidak akan meninggalkan larutan padat tetapi hanya akan membentuk daerah populasi tinggi (High-Population) , oleh karena itu tegangannya akan meningkat.

Derajat Temperatur pemanasan juga akan tergantung pada komposisi unsur paduan dari Aluminium itu sendiri, demikian pula dengan durasi waktu yang diperlukan, selain juga tergantung pada komposisi unsur paduannya juga ukuran ketebalan harus dipertimbangkan, secara rata-rata temperature pemanasan ini biasanya diberikan antara 100°C hingga 200°C dengan waktu pemanasan antara 2 sampai 30 jam. Petunjuk dalam proses ini hendaknya dipatuhi karena kesalahan dari prosedur pelaksanaannya dapat mengakibatkan tereduksinya kekuatan bahan itu sendiri terlebih lagi jika Temperatur pemanasannya terlalu tinggi atau pemanasannya terlalu lama.

### 2. Natural Ageing

Pada beberapa kasus berbagai jenis paduan sulit mengalami pengendapan dan temperature ruangan masih terlalu tinggi untuk membantu proses pengendapan tersebut, oleh karena itu untuk diperlukan waktu yang cukup paling tidak

selama 30 menit yang kemudian diselesaikan secara penuh dalam waktu 4 hari agar tegangan maximum dapat tercapai.

Paduan Aluminium dengan kadar Tembaga hingga 4 % atau yang dikenal dengan "Duralumin" adalah bentuk paduan Aluminium dengan proses "Natural Ageing" Alloy.

Jika Paduan Aluminium ini akan dibentuk melalui proses pengerjaan dingin maka harus dilakukan dalam waktu 2 jam setelah Quenching, Karena jika melewati batas waktu tersebut pengendapan akan meluas sehingga akan sulit dikerjakan dengan proses ini.

Proses pengendapan dapat ditunggu hingga 4 jam jika ini dilakukan didalam refrigerator dengan temperature antara  $-6^{\circ}\text{C}$  sampai  $-10^{\circ}\text{C}$ , dengan demikian akan dihasilkan larutan yang sempurna dan paduan ini dapat disimpan hingga diperlukan proses pengerjaan.

Salah satu produk yang menggunakan bahan dari jenis dan perlakuan tersebut antara lain ialah paku keling.

### **3. Annealing Pada Aluminium paduan**

Proses Annealing dapat dilakukan pada semua jenis Aluminium paduan tempa sehingga paduan ini dapat dibentuk melalui proses pengerjaan dingin. Temperatur Annealing ditentukan berdasarkan temperaur rekristalisasi dari Aluminium paduan itu sendiri, namun biasanya diberikan antara  $340^{\circ}\text{C}$  hingga  $450^{\circ}\text{C}$  dengan waktu pemanasan antara 20 menit hingga 2 jam tergantung pada komposisi serta ukuran ketebalan dari bahan tersebut.

Yang paling penting untuk diperhatikan dalam proses Annealing pada Aluminium ini ialah tidak boleh memberikan pemanasan dengan Temperature yang berlebihan karena akan menumbuhkan butiran sehingga akan mereduksi semua sifat mekanik dari bahan tersebut setelah proses ini dilakukan.

### **4. Stabilising Treatment**

Sangat sering terjadi dalam perlakuan panas pada berbagai jenis bahan logam dimana perlakuan panas menimbulkan efek tegangan dalam terutama pada Aluminium yang dibentuk melalui pengecoran dan benda kerja dibiarkan dingin didalam cetakan (Mould), hal ini terjadi pula dalam proses extrusi besar serta tempa besar. Untuk mengatasi hal ini benda

kerja dapat dilakukan pemanasan dengan temperature 200°C dengan waktu 5 jam atau sesuai dengan ukuran ketebalan benda kerja tersebut.

#### **5. Kelengkapan (equipment)**

Dapur pemamanas merupakan salah satu kelengkapan utama dalam perlakuan panas. Demikian halnya untuk keperluan proses Annealing pada Aluminium paduan ini.

Dapur pemanas yang digunakan dalam proses ini sebaiknya menggunakan dapur sirkulasi udara walau pun sebenarnya semua jenis dapur pemanas dapat digunakan, akan tetapi dapur sirkulasi udara direkomendasikan pemakaiannya untuk proses Annealing pada Aluminium paduan serta proses pengendapannya.

Dapur Salt-bath dapat juga digunakan namun pemakaian dapur ini bahan yang akan diberi perlakuan harus dilapisi dengan grace dan dikeringkan sebelum dimasukkan kedalam kubangan, selanjutnya dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan sisa-sisa garam agar terhindar dari kerusakan akibat reaksi kimia oleh garam tersebut.

#### **6. Fabrikasi Aluminium dan ALuminium paduan**

Secara komersial Alumunium murni maupun Alumunium paduan tempa dapat dimanipulasi kedalam berbagai bentuk melalui pengerolan, deep drawing, pressing, stetch forming, stamping extrusing serta impact extrusing dan bending.

Untuk Aluminium paduan dapat dibentuk melalui proses pengecoran dalam cetakan pasir (Sand Casting), die Casting dan lain-lain.

Pembentukan melalui proses pemesinan (machining) diperlukan kecepatan pemotongan yang tinggi serta penentuan sudut potong yang akurat dari alat potong yang digunakan.

Penyambungan Aluminium dapat dilakukan melalui pengelasan dengan menggunakan fluxi aktif untuk menghilangkan oxide film, sedangkan penyambungan dengan penyolderan dan brazing hanya dapat dilakukan pada Aluminium murni atau jenis Aluminium tertentu yang telah diketahui jenisnya. Penyambungan Aluminium secara mekanik dapat juga dilakukan dengan rivet (keling) serta penyambungan dengan baut.

Aluminium dapat dilakukan finising dengan pemolesan dan burnishing oleh Chemical finishing atau anodizing melalui penebalan lapisan oxid film dengan cat setelah proses chemical anodic finishing atau electroplating setelah persiapan permukaan yang sesuai.

Ketahanan korosi dari Aluminium paduan dapat diperbaiki dengan pengerolan dengan memberikan lapisan Aluminium murni pada setiap sisinya yang menghasilkan "three-effect".

Aluminium paduan diperdagangkan dengan nama "Alclad".

#### I. **Daftar Istilah dan penamaan yang digunakan dalam British Standard for Aluminium Alloys**

Pada system ini memberikan indikasi keadaan bentuk dari bahan misalnya plat strip, extruded section, tuangan dan lain-lain, serta komposisi juga perlakuan-perlakuan lainnya dalam bentuk reference. Selain itu juga diinformasikan tentang spesifikasi dan berbagai catatan mengenai respon bahan terhadap proses perlakuan panas.

##### **Contoh :**

**Paduan NS<sub>3</sub>**, tertutup oleh **BS 1470** untuk strip (lihat letter S) tidak merespon ketegangan oleh perlakuan panas (lihat letter N)  
**Paduan HF<sub>3</sub>O**, tertutup oleh **BS 1472** adalah paduan tempa (lihat letter F) dan merespon ketegangan oleh perlakuan panas (lihat letter H).

Kondisi bahan atau perlakuan panas yang dapat diterima akan terindikasi melalui symbol-symbol sebagai berikut :

##### **Symbol dan definisi**

<b>Symbol</b>	<b>Definisi</b>
<b>M</b>	Sebagai manufactur, bahan ini memperoleh berbagai penemperan dari proses pembentukan dimana tidak dilakukan pengendalian khusus terhadap over thermal serta derajat kecepatan pengerasan.
<b>O</b>	Telah diannealing (bahan tempa). Bahan ini telah mengalami full annealing untuk mencapai kondisi tegangan yang lebih rendah.

Symbol	Definisi
<b>H<sub>1</sub>,H<sub>2</sub> H<sub>3</sub>,H<sub>4</sub> H<sub>5</sub>,H<sub>6</sub> H<sub>7</sub>,H<sub>8</sub></b>	Telah dilakukan strain Hardening (bahan tempa) merupakan bahan untuk digunakan dalam pengerjaan dingin setelah Annealing (hot forming) atau kombinasi antara pengerjaan dingin dengan sebagian Annealing/Stabilising dalam keadaan ini sifat mekaniknya terjamin secara spesifik dan derajatnya akan saling berhubungan dengan kekuatan tariknya.
<b>TB</b>	Telah dilakukan pelarutan serta pengumuran alami. Bahan ini tidak dapat menerima pengerjaan dingin setelah proses pelarutan panas, kelebihanannya digunakan untuk perataan atau pelurusan. Sifat beberapa jenis paduan pada temper ini tidak stabil.
<b>TB<sub>7</sub></b>	Telah mengalami pelarutan dan penstabilan
<b>TD</b>	Telah dilakukan pelarutan panas, pengerjaan dingin dan pengumuran alami
<b>TE</b>	Pendinginan dan pemuliaan Temperatur pembentukan serta proses pengendapan
<b>TF</b>	Telah dilakukan proses pelarutan panas dan proses pengendapan
<b>TF<sub>7</sub></b>	Telah dilakukan proses pemanasan penuh dan penstabilan (Bahan Tuangan)
<b>TH</b>	Telah dilakukan proses pelarutan panas pengerjaan dingin dan telah dilakukan pengendapan
<b>TS</b>	Bahan dengan perlakuan thermal untuk meningkatkan stabilitas dimensional (Bahan Tuangan)

## J. Nickel Paduan

Walaupun Nickel ini termasuk logam yang mahal karena sulitnya proses pemurnian serta relative kecilnya kadar Nickel yang terkandung didalam bijih Nickel, namun karena sifatnya yang sangat spesifik terutama sifat ketahanannya terhadap korosi yang sangat tinggi maka Nickel memiliki peranan yang sangat penting sebagai salah satu bahan Teknik dalam pemakaiannya baik digunakan secara murni maupun sebagai unsur paduan.

Sedemikian pengaruh Nickel dalam pemakaiannya sebagai unsur paduan, serta berbagai jenis logam dapat berpadu dengan unsur Nickel.

## 1. Nickel –Iron Alloy

Paduan Nickel dengan besi digunakan ketika diperlukan pengendalian rendah atau menengah terhadap ekspansi koefisien Thermal-nya; misalnya kepresisian mesin, seal glasses terhadap logam dan thermostats. Untuk keperluan ini kita kenali dalam perdagangan dengan merk “Nilo”

Paduan besi dengan kadar Nickel antara 36 dan 50 %, Nilo-36 yakni paduan besi dengan kadar Nickel 36 %, Pada paduan ini hampir tidak terjadi ekspansi koefisien pada temperature normal sehingga banyak digunakan pada ukuran-ukuran Standard, pita ukur, batang pendulum serta peralatan mesin yang presisi. Bahan ini juga digunakan pada thermostat dengan temperature kerja diatas 100<sup>o</sup>C.

**Nilo 40 dan Nilo 42** ialah paduan dengan kadar Nickel 40 % dan 42 % digunakan sebagaiu bahan thermostat elektrik dan oven gas untuk memasak, Nilo 42 memiliki bentuk inti yang sama dengan Copper-Clad wires digunakan sebagai seal pada amplop gas dan bola lampu, valves radio serta tabung televisise.

Nilo 48 dan Nilo 50, yaitu paduan dengan kadar Nickel 48 dan 50 % pemakainnya adalah sebagai bahan sealing didalam glass lunak pada valves radio serta peralatan tabung Televisi.

Paduan Besi dengan 29 % Nickel dan 17 % Cobalt (Nilo-K) expansinya sama dengan Medium Hard-Glasses dari Borosilicate digunakan sebagai pembungkus dari special high-power velves untuk Glassto metal sealer pada tabung X-ray serta nomerius electrical component.

## 2. Nickel Molybdenum Alloys

Paduan ini memiliki sifat ketahanan korosi dari kandungan Nickel serta kadar besi yang rendah yang dapat ditingkatkan dengan menambah unsur Molybdenum. Paduan Coronel merupakan jenis khusus paduan Tempa yang termasuk dalam type ini, dengan kadar 66 % Nickel, 28 % Molybdenum dan 6 % Besi. Sifatnya dapat dikendalikan melalui proses pengerjaan dingin, tetapi dengan kekuatan tarik sebesar 930 N/mm<sup>2</sup> serta angka kekerasan 250 HV ini memang terlalu keras dimana bahan telah dilakukan annealing, akan tetapi jika diperlukan tegangan dan kekerasan yang lebih tinggi masih dapat ditingkatkan dengan memperpanjang waktu pemanasan pada Temperatur 750<sup>o</sup>C dan akan menghasilkan angka kekerasan hingga 350HV walaupun hal ini jarang dilakukan.

### 3. Nickel- Copper Alloys

Nickel dan Copper dalam larutan padat berada dalam semua perbandingan (lihat diagram keseimbangan paduan tembaga Nickel pada halaman 24), dimana paduan ini akan menghasilkan paduan Tempa Copper-Nickel yang dapat diperoleh dalam bentuk hasil pengecoran (Cast), plat strip, pipa, kawat batangan dan potongan.

**Monel** ialah salah satu bahan paduan yang komposisinya terdiri atas 66.5 Nickel, 33 % Copper serta 2 % Manganese. Paduan ini memiliki kekuatan tarik hingga 840 N/mm<sup>2</sup> dengan kekerasan hingga 200HV yang bergantung pada lamanya proses pelarutan menurut cara pengendapan, sehingga kekuatan tarik melalui proses perlakuan panas dapat mencapai 1500 N/mm<sup>2</sup> dengan angka kekerasan hingga 340 HV. Paduan ini diperdagangkan dengan nama **K-Monel**.

Monel sangat tahan terhadap serangan asam dan alkalis, gas dan air laut serta tegangannya dapat meningkat oleh pengaruh temperature tinggi.

Paduan dari jenis ini digunakan dalam bagian-bagian dari pompa, sudu pada turbin uap, poros propeller

### 4. Nickel- Chromium Alloys

Paduan ini digunakan apabila diperlukan suatu sifat bahan yang tahan terhadap oxidasi temperature tinggi. Campurannya adalah 80 : 20 Nickel Chromium dalam larutan.

- **Inconel** ialah paduan Nickel-Chromium yang terdiri atas 76 % Nickel dan 15 % Chromium dengan penyeimbang besi, Bahan ini sangat tahan terhadap berbagai pengaruh korosi anorganik serta campuran dengan organik, namun juga sangat tahan terhadap serangan oxidasi atmosferic pada temperature tinggi.

Paduan ini memiliki kekuatan tarik hingga 1080 N/mm<sup>2</sup> dan dapat dibentuk melalui pengerjaan panas maupun pengerjaan dingin.

Bahan paduan ini dapat disambung dengan metoda normal.

Perlu diperhatikan : Jika paduan ini dibentuk melalui proses pengecoran tegangannya akan menurun hingga 500 N/mm<sup>2</sup>

Inconel digunakan sebagai bahan peralatan makanan (food), peralatan kimia seperti mesin textile juga perlengkapan perlakuan panas serta komponen turbin uap.



- **Brightray** ; ialah paduan Nickel chromium yang digunakan pada element dapur tinggi.
- **Nimonic Series** : dengan dasar paduan dengan perbandingan paduan 80/20 antara Nickel dan Chromium dikembangkan secara original untuk pemakaian pada Turbine Gas yang mempersyaratkan tegangan yang besar pada temperature tinggi serta tahan terhadap oksidasi dan Creep.

Paduan ini dapat dibentuk melalui proses Spinning, Rolling dan pressing serta dapat disambung dengan metoda pengelasan dengan menggunakan gas argon (Argon arc) atau electrical resistance welding.

Nimonic merupakan paduan yang sangat ulet yang sudah dilakukan pekerjaan pengerasan, pekerjaan pemesinan dilakukan dengan memperhatikan ketajaman alat potong, pemotongan smooth pada permukaan, Cutting speed dan feed yang rendah, tool dan benda kerja harus rigid serta akan lebih baik diberikan pendinginan.

- **Nimonic 75**

Paduan ini termasuk paduan dengan pekerjaan pengerasan dan memiliki kekuatan tarik  $770 \text{ N/mm}^2$  pada Temperatur ruangan dengan pengerolan dingin, digunakan dalam tabung nyala dari turbine gas dan peralatan dapur pemanas.

- **Nimonic 80 A**

Paduan ini bersifat heat treatable, oleh karena itu berbagai instruksi pengerjaan serta proses perlakuan panasnya harus diikuti sesuai dengan proses pada berbagai paduan Nimonic yang secara umum dilakukan dengan pemanasan pada Temperatur  $1050^\circ\text{C}$  serta diikuti dengan pendinginan lambat dan memberikan waktu pengendapan dengan temperature yang lebih rendah dan kemudian didinginkan dengan lambat.

Setelah proses perlakuan panas ini dilakukan maka akan diperoleh paduan dengan tegangan tarik sebesar  $1050 \text{ N/mm}^2$  yang tahan terhadap creep dan fatigue pada Temperatur  $850^\circ\text{C}$ .

Bahan ini digunakan sebagai bahan pembuatan sudu-sudu turbine gas serta berbagai komponen yang memerlukan tegangan besar dan tahan terhadap temperature tinggi.

- **Nimonic 90**

Paduan ini juga bersifat heat treatable, memiliki komposisi yang terdiri atas 15 % Chromium, 20 % Cobalt dengan sedikit unsur Aluminium dan Titanium yang disambungkan oleh Nickel.

Paduan ini memiliki kekuatan Tarik 1200 N/mm<sup>2</sup> pada Temperatur ruangan dan dapat digunakan pada Temperatur diatas 900<sup>o</sup>C.

- **Nimonic 105 dan Nimonic 110**

Paduan ini hampir sama dengan jenis aduan-paduan yang telah disebutkan terdahulu namun pada Nimonic 105 dan Nimonic 110 memiliki unsur Molybdenum untuk memberikan sifat ketahanan creep yang lebih baik.

- **Nimonic 115**

Paduan ini juga sma dengan paduan diatas namun mengandung kadar Cobalt yang lebih rendah yakni sebesar 15 % bersifat heat treatable serta ketahanan terhadap creep-nya yang lebih tinggi.

- **Nimocast**

Paduan jenis tuangan ini memiliki sifat yang stara dengan Nimonic Series.

Logam paduan ini dapat dibentuk dengan cara pengecoran dengan berbagai metoda pengecoran seperti Pengecoran dengan cetakan pasir (Sand Cast), Shell-Moulding, Centry-spinning dan investment-Casting processes.

Paduan ini juga dapat dikerjakan dengan mesin namun juga tergantung pada panjangnya proses pekerjaan pengecoran.

## K. Seng dan paduannya (Zinc and its Alloys)

Seng (Zincum = Zn), merupakan salah satu logam non ferro yang penting dan digunakan sebagai bahan Teknik baik secara murni maupun sebagai unsur paduan. Pembentukan lapisan oxid pada permukaan Seng oleh proses oxidasi udara dan air memberikan perlindungan terhadap seng sehingga tahan terhadap korosi yang tinggi. ( Gambar 1.17)

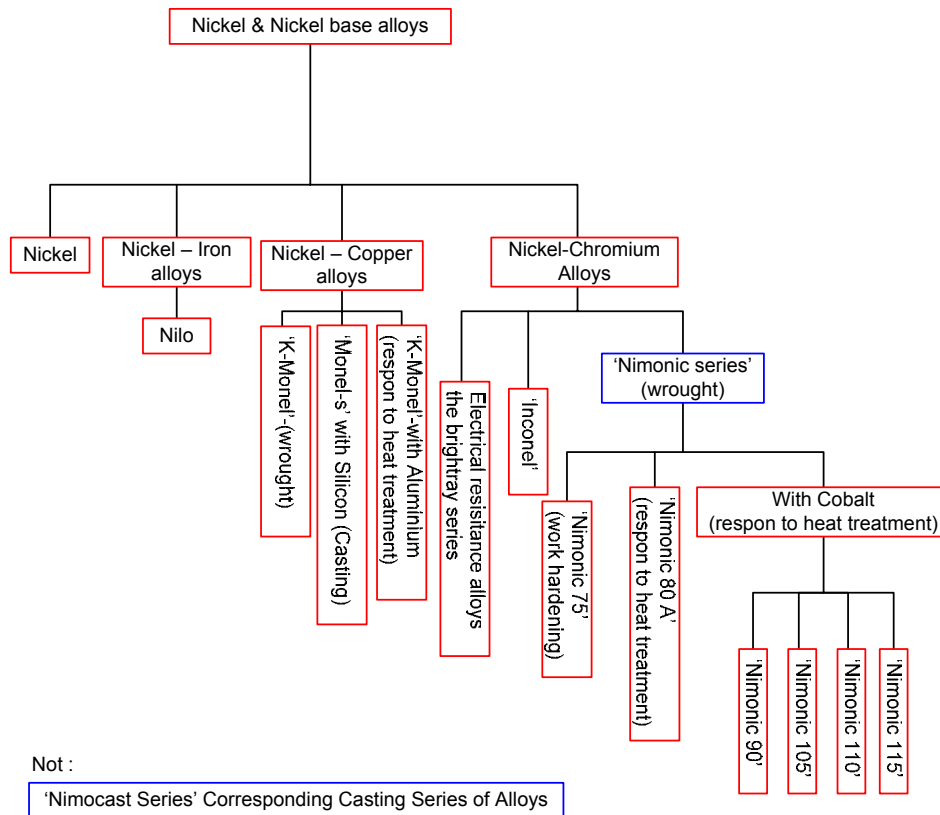
## 1. Seng paduan–tuangan (Zinc die-casting Alloys)

Proses pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan benda kerja yang efisien dan dapat membentuk benda kerja hingga bagian yang tersulit secara tepat dan akurat dengan sedikit atau tidak sama sekali memerlukan proses pemesinan (macining).

Keberhasilan dalam proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran relative ditentukan oleh tingkat kerumitan bentuk benda kerja itu sendiri.

Paduan Seng merupakan salah satu bahan cor yang baik dimana Seng memiliki titik cair yang rendah, sehingga dapat dibentuk dengan berbagai metoda pengecoran.

Pressure die Casting dengan “hot chamber system” merupakan proses pengecoran yang paling mudah dan cepat.



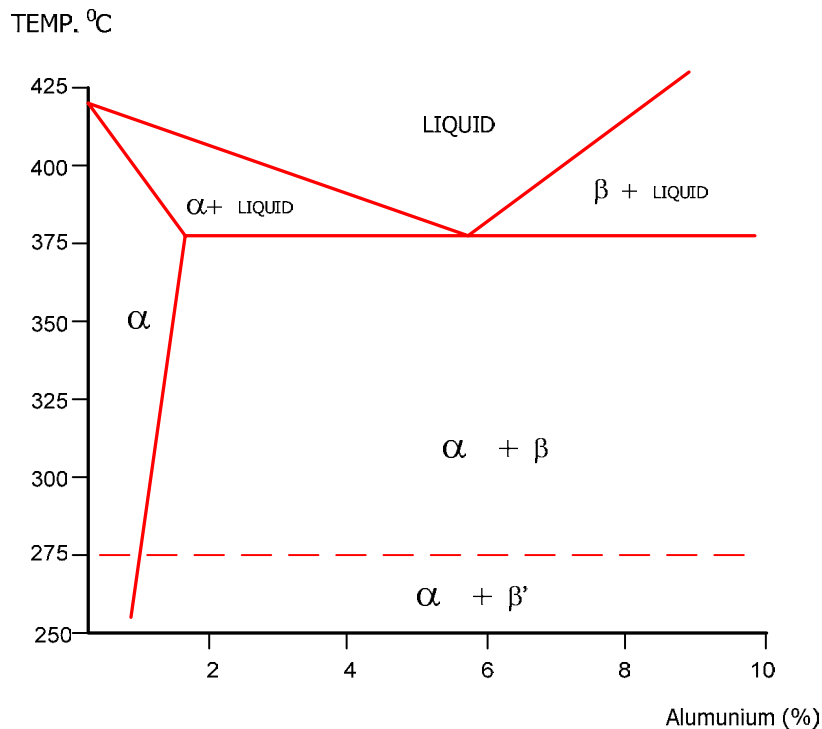
Gambar 1.17 Diagram Paduan Nickel

Paduan Seng yang dibentuk melalui proses pengecoran digunakan secara luas dalam pembuatan peralatan rumah tangga tempat peralatan optic, sound reproducing instrument part, mainan dan komponen ringan dari kendaraan dan lain lain.

Paduan Seng juga dapat difinishing dengan pengecatan atau "electroplating".

Dalam pelaksanaannya Proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran yang menggunakan paduan seng ini sering ditambahkan unsur Aluminium untuk menurunkan titik cairnya serta meningkatkan tegangannya dengan komposisi sebagaimana diperlihatkan pada bagian dari diagram keseimbangan dari paduan Seng-Aluminium berikut.

Diagram kesimbangan paduan Seng-Aluminium (Gambar 1.18) mengindikasikan bahwa dengan penambahan sedikit kadar Aluminium yang masuk kedalam larutan padat dari Seng akan menghasilkan **eutectic** dimana pada Aluminium mengandung 5 % Seng. Sebagaimana dilakukan pada beberapa jenis paduan lainnya dimana dilakukan "ageing" untuk penuaan melalui pemadatan cepat dalam proses die-Casting, walaupun mengakibatkan penurunan angka kekerasan,



**Gambar 1.18** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Seng-Aluminium

Nilai impact serta kekuatan tariknya akan tetapi keuletan (ductility) nya akan meningkat secara actual tergantung pada lamanya proses dan kondisi ageing tersebut, biasanya mencapai 5 minggu. Dengan demikian akan diperoleh sifat yang disebut "original-properties". Setelah proses ageing ini Casting akan menyusut untuk waktu selama 8 tahun dengan kehilangan dimensinya sebesar 0,0015 mm/mm, akan tetapi keadaan ini dapat direduksi dengan proses stabilizing yakni memberikan pemanasan pada temperature 100<sup>0</sup> C sebelum machining.

British Standard mengelompokan jenis paduan ini kedalam dua kelompok yakni paduan "A" dan Paduan "B" yang mengindikasikan komposisi serta original-properties, sebagaimana terlihat pada table berikut.

**Tabel 1.1 Paduan "A"**

Komposition Content (%)	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Impact Strength (J/Cm <sup>2</sup> )	Pertambahan panjang (%)	Brinell Hardness
Aluminium 4	285	57 (Izod)	10,8 pada 5,65 √ So	83
Magnesium 0,05				
Zinc : Balance				

**Tabel 1.2 Paduan "B"**

Komposition Content (%)	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Impact Strength (J/Cm <sup>2</sup> )	Pertambahan panjang (%)	Brinell Hardness
Aluminium 4,1	330	58 (Izod)	6,5 pada 5,65 √ So	92
Magnesium 0,05				
Copper 1,0				

Paduan-paduan tersebut menggunakan unsur Zinc (Seng) dengan tingkat kemurnian 99,99 %

Perbandingan dalam pemakaian antara logam A dan logam B ternyata Logam A lebih banyak dibandingkan dengan logam B, hal ini dikarenakan logam A memiliki sifat yang ulet, sedangkan logam B kuat dan keras dan Logam paduan A lebih stabil pada dimensional dengan beban impact sekalipun namun dapat berubah pada saat pengecoran. Logam Paduan B sedikit lebih mudah dalam pengecoran.

Temperatur logam bahan cor serta temperature cetakan akan sangat berpengaruh terhadap sifat benda tuangan tersebut, oleh karena itu prosedur dan petunjuk pengerjaan serta kondisi pengecoran harus diperhatikan.

## **2. Proses Fabrikasi Seng paduan cor**

Zinc Die-Casting Alloys dapat dikerjakan dengan pemesinan secara normal, Punching, Bending, Tempa dan Rentang (Stretching).

Ketersediaan paduan hasil pengerjaan ini relative terbatas karena bentuk-bentuk yang rumit atau sulit sering dihasilkan dari proses penyetelan akhir dengan bagian yang sangat tipis.

Paduan Seng tidak mudah untuk disolder hal ini disebabkan oleh kandungan Alumunium.

Jika diperlukan penyambungan melalui proses penyolderan maka bagian dari benda cor yang akan disambung harus diberikan lapisan sehingga yang akan disolder itu adalah pada lapisan tersebut. Demikian pula penyambungan dengan pengelasan tidak direkomendasikan walaupun bagian ini tidak dapat diganti atau dalam perbaikan darurat yang harus terpaksa dilakukan, maka batang saringan harus memiliki komposisi yang sama sebagai tuangan dimana akan sedikit mereduksi nyala Oxy-assetyline.

## **L. Magnesium dan paduannya (Zinc and its Alloys)**

Magnesium merupakan salah satu jenis logam ringan dengan karakteristik sama dengan Aluminium tetapi Magnesium memiliki titik cair yang lebih rendah dari pada Aluminium. Seperti pada Aluminium, Magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oxygen).

Perbedaannya dengan Aluminium ialah dimana magnesium memiliki permukaan yang keropos yang disebabkan oleh serangan kelembaban udara karena oxid film yang terbentuk pada permukaan Magnesium ini hanya mampu melindunginya dari udara yang kering. Unsur air dan garam pada kelembaban udara sangat mempengaruhi ketahanan lapisan oxid pada Magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi.

Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan Magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan seperti cat atau meni.

Magnesium murni memiliki kekuatan tarik sebesar  $110 \text{ N/mm}^2$  dalam bentuk hasil pengecoran (Casting), angka kekuatan tarik ini dapat ditingkatkan melalui proses pengerjaan.

Magnesium bersifat lembut dengan modulus elastisitas yang sangat rendah.

Magnesium memiliki perbedaan dengan logam-logam lain termasuk dengan Aluminium, besi Tembaga dan Nickel dalam sifat pengerjaannya dimana Magnesium memiliki Struktur yang berada didalam kisi hexagonal sehingga tidak mudah terjadi slip, oleh karena itu Magnesium tidak mudah dibentuk dengan pengerjaan dingin disamping itu prosentase perpanjangannya hanya mencapai 5 % dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas.

### **1. Proses pembuatan Magnesium**

Magnesium diperoleh dari bijih Magnesium ( $\text{MgCO}_3$ ) dan Dolomit ( $(\text{CaMg})\text{CO}_3$ ) serta didalam air laut dalam bentuk Magnesium Chloride. Magnesium dapat diekstraksi melalui proses electrolysis sebagaimana pada Aluminium atau dengan Fire reduction melalui pembakaran kokas.

Dengan proses-proses tersebut unsur Magnesium akan menguap dalam bentuk Oxide Carbon yang harus segera didinginkan agar Magnesium ini tidak bersenyawa dengan Oxygen.

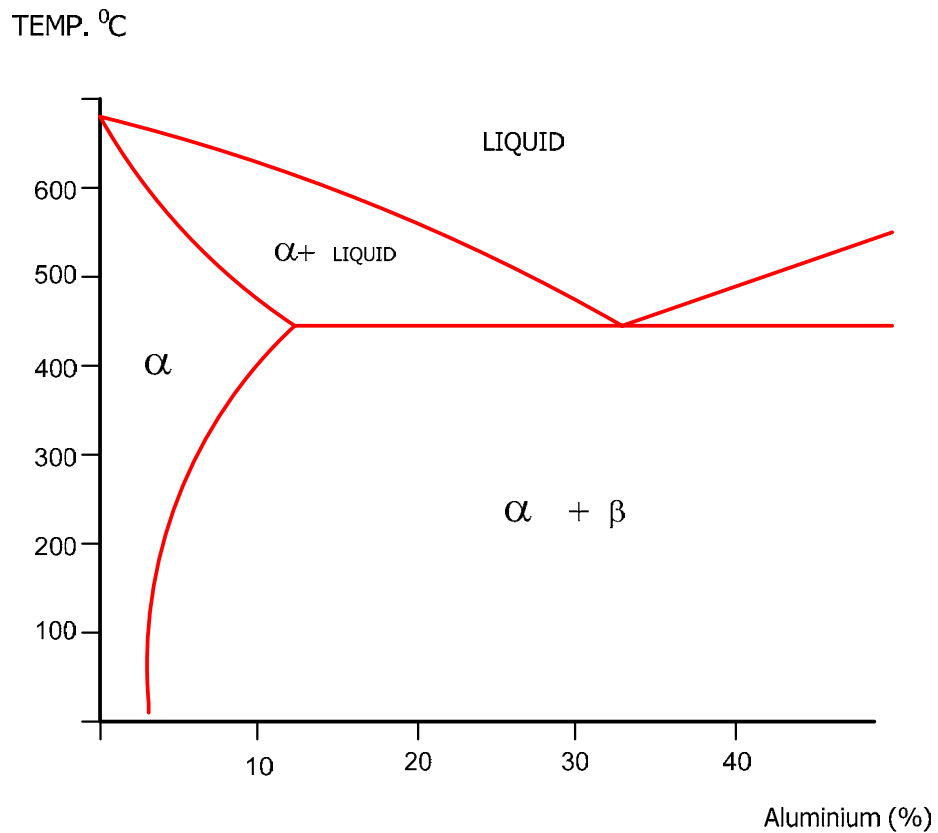
### **2. Magnesium Paduan (Magnesium-Alloys)**

Perubahan struktur pada Magnesium tidak cukup dapat merubah atau memperbaiki sifatnya, oleh karena itu perbaikan sifat Magnesium hanya dapat dilakukan dengan menambah unsur lain sebagai unsur paduan kedalam larutan padat dari Magnesium tersebut, dengan demikian akan diperoleh peningkatan pada tegangannya serta dengan tegangan yang memadai juga respon terhadap proses perlakuan panas.

Dalam larutan padat ini hanya sedikit saja unsur Magnesium yang dapat masuk termasuk juga unsur Seng jika dibanding dengan Aluminium dan Silver.

Berdasarkan hasil analisis terhadap diagram (Gambar 1.19) keseimbangan paduan antara Magnesium-Aluminium dan Magnesium-Zincum, mengindikasikan bahwa larutan padat dari

Magnesium-Aluminium maupun Magnesium Zincum dapat meningkat sesuai dengan peningkatan Temperaturnya dimana masing-masing berada pada kadar yang sesuai sehingga dapat “strengthening-heat treatment” melalui metoda pengendapan. Hanya sedikit kadar “rare metal” (logam langka) dapat memberikan pengaruh yang sama kecuali pada Silver yang sedikit membantu termasuk pada berbagai jenis logam paduan lain melalui “ageing”.



**Gambar 1.19** Bagian dari diagram keseimbangan paduan Magnesium-Aluminium



**a) Magnesium paduan tempa (Wrought Alloys)**

Magnesium paduan tempa dikelompokkan menurut kadar serta jenis unsur paduannya yaitu :

- 1) Magnesium dengan 1,5 % Manganese
- 2) Paduan dengan Aluminium , Seng sert Manganese
- 3) Paduan dengan Zirconium (paduan jenis ini mengandung kadar Seng yang tinggi sehingga dapat dilakukan proses perlakuan panas.
- 4) Paduan dengan Seng, Zirconium dan Thorium (Creep resisting-Alloys)

**b) Magnesium paduan Cor (Cast Alloys)**

Paduan ini dapat dikelompokkan kedalam :

1. Paduan dengan Aluminium, Zincum dan Manganese, paduan cor ini merupakan paduan yang bersifat “heat treatable - Alloys”.
2. Paduan dengan Zirconium, Zincum dan Thorium, paduan dengan unsur Zirconium dan Thorium merupakan paduan cor yang bersifat heat treatable dan creep resisiting.
3. Paduan dengan Zirconium dengan Rare earth metal serta Silver merupakan paduan Cor yang dapat di-heat treatment
4. Paduan dengan Zirconium, beberapa dari paduan Cor ini dapat di-heat treatment.

**3. Proses perlakuan panas pada Magnesium Paduan**

Jika Magnesium telah mengandung unsur paduan dengan jenis dan kadar yang memadai dan memiliki sifat tertentu maka untuk mencapai sifat yang dikehendaki dapat dipertimbangkan untuk kemungkinan dapat diperbaiki serta penyempurnaan melalui proses perlakuan panas, akan tetapi untuk peningkatan tegangannya hanya Magnesium dengan unsur Alumunium dan rare Metal yang memungkinkan dapat ditingkatkan, hal ini juga masih tergantung pada kesesuaian dan ketepatan prosedur pelaksanaannya sehingga dapat dicapai sifat yang sesuai dengan kebutuhan, untuk itu prosedur berikut merupakan bagian dari pelaksanaan perlakuan terhadap Magnesium, antara lain :

1. Natural Ageing
2. Precipitation treatment
3. Precipitation without previous Solution treatment (Pengendapan tanpa pelarutan awal)

Dengan demikian bahan paduan ini harus didinginkan diudara atau quenching setelah proses pelarutan dengan prosedur yang benar.

#### **4. Fabrikasi Magnesium Paduan**

Magnesium dapat dibentuk melalui berbagai metoda pengecoran seperti Sand-Casting, Die-Casting serta pressure Die Casting, dengan berbagai dimensi termasuk untuk kebutuhan tempa seperti rolling, Forging dan extruding.

Dalam proses rolling dari Magnesium paduan tempa ternyata memiliki perbedaan pada Kekuatan tarik, ketahanan stress dan prosentase pertambahan panjang menurut arah pengerolannya, dimana pengerolan pada arah melintang (Transverse direction) lebih tinggi dari pada pengerolan pada arah memanjang (Longitudinal direction).

Pembentukan dengan pemesinan (Machining) sering kali diperlukan perhatian khusus karena pada akhir pemotongan sering kali terjadi kegosongan (hangus) yang mengakibatkan sisa pemotongan menjadi mudah terbakar, hal ini disebabkan oleh terjadinya gesekan selama pemotongan, untuk itu ketajaman alat potong ini harus diperhatikan serta menyediakan peralatan pemadam kebakaran yang sesuai yaitu dry-fire extinguisher. Proses pendinginan dengan media Water base Colant tidak sesuai pemakaiannya.

Proses penyambungan pada Magnesium yang paling sesuai ialah dengan baut (Bolting) atau di keling (riveting), namun dapat juga dilas dengan las busur yang menggunakan busur argon, oxy-assetyline atau dengan metode electrical resistance.

Untuk melindungi permukaan Magnesium terhadap pengaruh gangguan korosi dapat dilakukan dengan memberikan lapisan pelindung dengan cat yang terlebih dahulu dibebaskan dari minyak atau greace dan akan lebih baik jika dilapisi terlebih dahulu dengan Chromat, dengan metode ini kondisi permukaan akan bertahan tanpa perubahan yang berarti pada periode resonansi.

Untuk melindungi Magnesium dari serangan korosi galvanis bagian paduan yang berhubungan dengan lain, terkena larutan

electrolyte atau lembab maka bagian ini harus dilapisi dengan cat atau Jointer Compound jika logam yang memiliki beda potensialnya sangat kecil seperti Aluminium dengan Magnesium, akan tetapi jika Magnesium menyerang baja dengan luas kontak diluar jangkauannya, maka dapat juga digunakan non Conductor gasket.

## 5. Berbagai penerapan Magnesium paduan

Magnesium paduan Cor yang dibentuk dengan cetakan pasir (Sand-Cast) banyak digunakan dalam pembuatan block-engine pada Motor bakar, sedangkan Magnesium yang dibentuk dengan Pressure Die-Casting banyak digunakan dalam pembuatan peralatan rumah tangga dan kelengkapan kantor. Magnesium Cor tempa dibentuk dengan cara ekstrusi dan digunakan sebagai Trap dan reling tangga.

Magnesium paduan juga digunakan dalam Teknologi Nuclear sebagai tabung Uranium dimana Magnesium sangat rendah dalam penyerapan Neutron pada penampang lintang.

## Rangkuman

Bahan-bahan Teknik (*Materials for Engineering*) dikelompokkan berdasarkan pemakaiannya yakni *bahan alam*, dan *bahan tiruan* atau *syntetic materials*.

Plastic dibedakan kedalam dua kelompok yaitu : Thermoplastic dan Thermosetting Plastics.

Besi kasar diperoleh melalui pencairan didalam dapur tinggi dituangkan kedalam cetakan untuk dicor ulang pada cetakan pasir sebagai "Cast Iron" (besi tuang) dan digunakan sebagai bahan baku produk, besi tuang diproses menjadi baja pada dapur-dapur baja yang akan menghasilkan berbagai jenis baja.

Bahan Logam dikelompokkan menjadi : Logam Ferro dan logam Non Ferro. Bahan teknik dengan unsur yang terdiri atas paduan antara logam Ferro dengan Logam Non Ferro disebut sebagai baja paduan (Alloy-steel). Tujuan pencampuran ini ialah untuk memperbaiki sifat bahan tersebut.

Logam berat ialah logam yang memiliki berat jenis ( $\rho$ ) lebih besar dari  $4,0 \text{ kg/dm}^3$

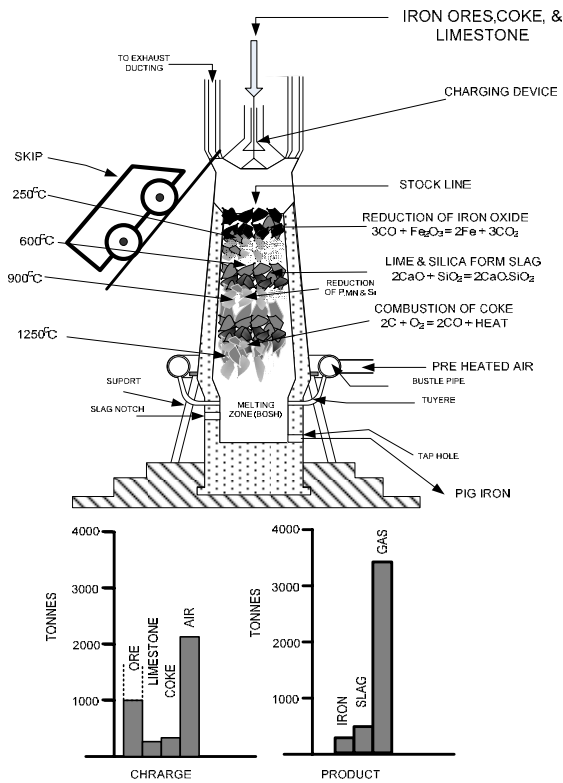
**Soal-soal :**

1. Apakah yang dimaksud dengan bahan-bahan teknik ?
2. Apakah dari berfungsi bahan-bahan teknik tersebut ?
3. Salah satu jenis bahan Teknik ialah *bahan alam*, apakah yang dimaksud dengan bahan alam ?
4. Apakah yang anda ketahui tentang *Baklite* ?
5. Apaka yang dimaksud dengan Polimerisasi (*Polymerization*) ?
6. Sebutkan dua jenis bahan *Plastic* yang anda ketahui dan apakah perbedaan antara keduanya ?
7. Bagaimanakah cara penggunaan Thermoplastics sebagai salah satu bahan Teknik ?
8. Bagaimanakah cara memperbaiki sifat-sifat mekanik dari bahan-bahan plastic agar memenuhi syarat produk yang diinginkan ?
9. Apakah yang anda ketahui tentang Fibre-glass ?
10. Sifat apakah yang istimewa dari karet alam ?
11. *Bagaimanakah Charles Goodyer (1839)* mengolahnya karet alam sehingga diperoleh sifat yang lebih kenyal dan elastic lembut serta tahan terhadap temperature tinggi ?
12. Apakah yang dimaksud dengan *Neoprene* dan *Butyl-rubber* ?
13. Sifat apakah yang dimiliki *Poly Vinyl Chloride* sehingga baik digunakan sebagai bahan produk tuangan ?
14. Bahan apakah dari bahan plastic yang sesuai untuk peralatan listrik ?
15. Apakah yang dimaksud dengan Besi kasar ?
16. Sifat apakah yang spesifik dimiliki oleh Tembaga ?
17. Apakah yang anda ketahui tentang Brass dan Bronze ?
18. Apaka yang dimaksud Non-Ferro (Non-Ferrous Metal) ?
19. Apaka yang dimaksud Logam berat ?
20. Apakah yang anda ketahui tentang Titanium (Ti) ?

## BAB II PENGOLAHAN BIJIH BESI MENJADI BAHAN BAKU (RAW MATERIALS)

Proses awal pembentukan logam dilakukan melalui proses penuangan (pengecoran) bijih logam, sehingga logam-logam itu berbentuk benda tuangan yang disebut ingot, dimana ingot-ingot ini akan diolah menjadi besi kasar (*pig iron*) dan akan dibentuk sedemikian rupa kedalam bentuk lain yang kita kehendaki baik melalui proses pengecoran (penuangan) maupun proses lainnya seperti pengerjaan panas (*hot working processes*) dan pengerjaan dingin (*cold working processes*).

Proses pengolahan logam menjadi bahan baku ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek kebutuhan kualitas produk akhir yang dikehendaki dimana setiap proses yang dilakukan akan berpengaruh besar terhadap sifat dan karakteristik logam tersebut. Untuk membahas lebih jauh tentang pengolahan logam ini akan kita lihat terlebih dahulu, bagaimana proses terbentuknya bijih logam tersebut sebagaimana terlihat pada gambar 6 berikut.



**Gambar 2.1** Proses pengolahan bijih besi (*Iron Ores*) pada dapur tinggi (*Blast Furnace*)

### A. Pemisahan logam dari bijih (Ores)

Pada dasarnya semua jenis logam merupakan materi alam berupa unsur mineral organik, karena proses evolusi secara alamiah telah membentuk sedimentasi didalam perut bumi. sedimentasi (endapan) ini merupakan gabungan partikel-partikel ion-ion logam yang berinteraksi secara elektrostatis dari gas electron yang bermuatan positif dan atom-atom logam yang bermuatan negative bercampur dengan berbagai unsur batuan inilah yang disebut sebagai "bijih" atau ores, dan melalui proses ini pula akan diperoleh berbagai material yang sangat berguna disamping unsur besi seperti gas

Perbedaan tekanan panas bumi terhadap kandungan bijih logam akan berbeda komposisinya untuk satu daerah dengan daerah lainnya sesuai dengan ketebalan kulit bumi. Bijih besi dapat diperoleh melalui proses eksplorasi bahkan pada kondisi tertentu bijih besi dapat muncul kepermukaan secara vulkanis dan proses hydrothermal akan mengakibatkan terjadinya proses pemisahan unsur-unsur yang terkandung pada bijih tersebut. unsur-unsur tersebut antara lain pegmatite, magnetik, haematite, limotite. siderite, metamorphosis serta unsur-unsur lainnya seperti gas berupa phosphor, belerang dan karbon. Oleh karena itu secara umum bijih besi dikelompokkan dalam 3 type bijih besi yaitu :

1. *Oxide* :
  - a) *Magnetic Ores*, komposisinya terdiri atas mineral Magnetic ( $Fe_3O_4$ ) dimana Magnetic berwarna coklat dengan kadar bijih besi yang tinggi yakni diatas 56%
  - b) *Haematite Ores*, komposisinya terdiri atas mineral *Haematite* ( $Fe_2O_3$ ) dimana Magnetic berwarna kuning kemerahan dengan kadar bijih besi 40 hingga 65 %
2. *Hydrate Ores* berisi limotite ( $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) dan Geothite( $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) dengan kadar besi 20 hingga 55 %
3. *Karbonates*, berisi mineral Siderite ( $FeCO_3$ ) dengan kadar besi 30 %.

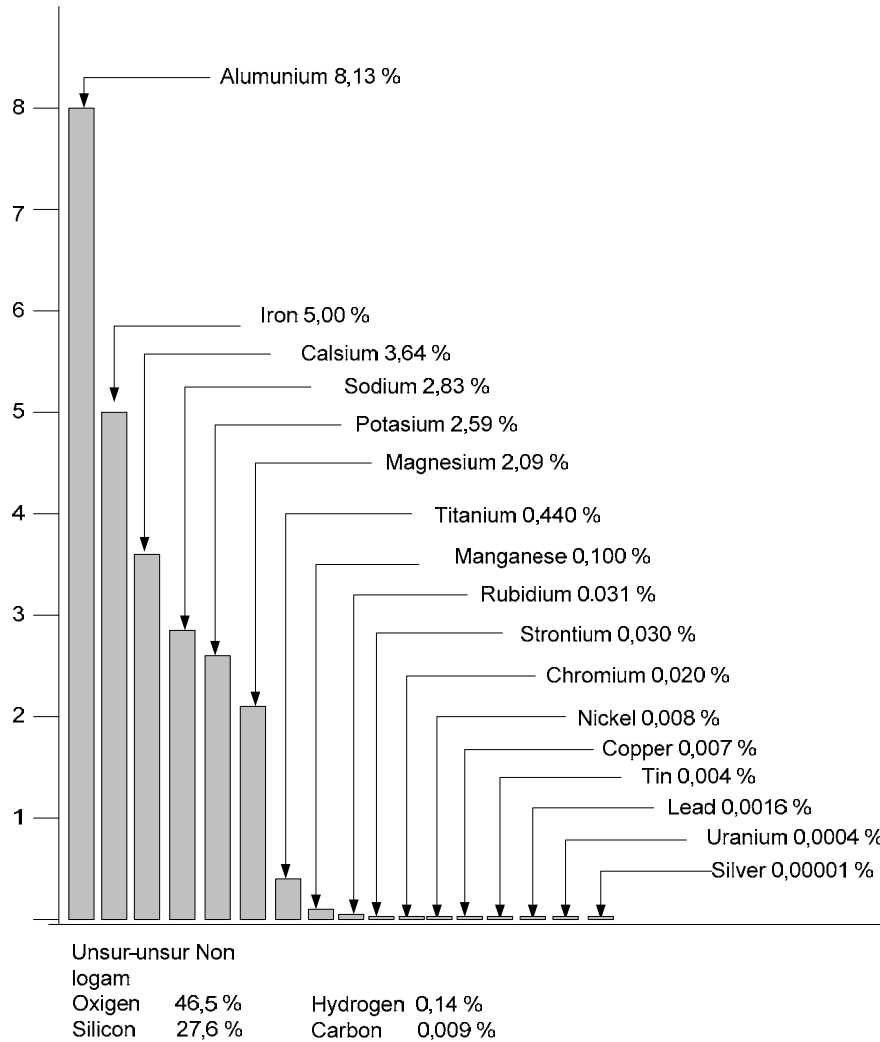
Bijih besi diproses didalam dapur tinggi (blast furnace) menjadi besi kasar (pig iron) yang keluar berbentuk besi tuang untuk diperhalus menjadi besi kasar (*wrought iron*) selanjutnya menjadi baja yang kemudian menjadi besi tuang (cast irons) dengan karakteristik yang lebih spesifik.

Unsur-unsur yang diperoleh dari hasil eksplorasi masih membentuk bijih, oleh karena itu untuk memperoleh suatu jenis bahan dengan kualitas tertentu diperlukan proses pemurnian yang kemudian dilakukan proses deformulasi unsur secara terukur atau pencampuran dan persenyawaan dari berbagai unsur dengan komposisi dan kadar tertentu. Proses persenyawaan ini akan

menghasilkan suatu bahan teknik dengan sifat dan karakteristik yang berbeda dari sifat dasarnya baik sifat kimia, sifat fisik maupun sifat mekaniknya.

Keragaman sifat-sifat logam ini menjadikan logam sebagai salah satu bahan teknik yang paling dominan karena sifatnya yang mudah dibentuk, tegangan yang dapat diperbaiki serta ketersediaan yang relatif cukup.

Pada gambar berikut diperlihatkan berbagai unsur mineral yang terkandung di dalam perut bumi, unsur aluminium merupakan unsur logam yang paling besar yakni 8,13 % dan besi (Iron) berada pada urutan kedua yakni sebesar 5 %.



**Gambar 2.2** Diagram kandungan unsur logam di dalam perut bumi (%)

## B. Logam Besi (Ferro)

Logam besi atau nama latinnya *Ferrum* (Fe) merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak dipergunakan dan hampir semua karakteristik dari kualifikasi bahan produk dapat dipenuhi oleh logam besi ini walaupun besi ini tidak pernah diperoleh dalam keadaan murni (lihat 2.1) dimana bijih besi dibedakan dalam 3 kelompok berdasarkan komposisi serta kadar dari masing-masing unsur yang dikandungnya.

Komposisi unsur sebagaimana disebutkan tidak menjadikan besi memenuhi syarat sebagai bahan teknik baik struktur maupun sifat mekaniknya bahkan setelah diproses di dalam dapur tinggi (blast furnace) sekalipun.

Kebutuhan sifat-sifat bahan pada produk akhir menjadi acuan dalam pemilihan bahan bakunya termasuk bahan logam besi terlebih lagi perbedaan lokasi eksplorasi juga berbeda komposisi unsurnya seperti besi oxide yang terdiri dari magnetic ores didapat di Rusia, Swedia dan Amerika, sedangkan haematite ores terdapat di Kanada, Spanyol, Inggris dan Rusia. Hydrate ores terdapat di Polandia, Amerika, Jerman dan Perancis. Karbonates ores terdapat di Jerman dan Austria.

Apabila kita perhatikan istilah dan sebutan “besi” sebagai salah satu jenis bahan baku produk menjadi tidak tepat, karena sejak didalam perut bumi besi telah bersenyawa dengan unsur karbon serta unsur-unsur lainnya dan persenyawaan antara unsur besi dengan unsur karbon adalah besi karbon (FeC) atau yang kita sebut sebagai “baja”. Namun demikian bila kita lihat kembali “ikhtisar bahan teknik” yang merupakan bahan teknik (materials for engineering”) dari jenis besi ialah besi tempa atau baja dengan komposisi karbon rendah, medium dan tinggi. Artinya hanya persenyawaan besi karbon dengan kadar karbon yang dikendalikan pada jumlah yang ditentukan, dan untuk mencapai hal tersebut diperlukan proses pemurnian dari masing-masing unsur-unsur agar dapat diformulasikan secara tepat, dengan demikian akan dihasilkan sebuah bahan baku produk dengan sifat dan karakteristik tertentu yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan kualitas produk.

## C. Phosphorus

Hampir tidak pernah dapat dilakukan melepaskan unsur phosphor dalam proses pemurnian besi. Phosphor merupakan salah satu unsur yang terkandung didalam besi dan berpengaruh merugikan terhadap sifat mekanik besi atau baja. Oleh karena itu terdapat 2 jenis bijih besi yang berbeda menurut kadar Phosphor-nya, yaitu :



- Low phosphorus Ores, yaitu bijih besi (ores) dengan kadar phosphor 0,04 % pada keadaan ini biasanya bijih besi mengandung unsur silikon yang relatif tinggi
- High phosphorus (basa) Ores, yakni bijih besi basa biasanya mengandung unsur phosphor di atas 2,5 %.

Jenis ini terdapat pada British ores yang memiliki kadar Fe rendah demikian pula dalam menghilangkan unsur phosphor ini juga diperlukan biaya operasional yang cukup mahal, oleh karena itu proses pemurniannya biasanya dicampur dengan bijih-bijih dari jenis yang berbeda.

#### **D. Peleburan Bijih besi (Iron Ores)**

Dalam proses peleburan bijih besi pada dasarnya pemanasan dilakukan untuk membuka ikatan struktur dari atom-atom logam itu sendiri sehingga proses pencairan logam itu sendiri dilakukan oleh reaksi persenyawaan unsur-unsur secara kimiawi, pada bijih besi dengan kadar besi yang cukup tinggi tentu saja akan memiliki tingkat kepadatan yang tinggi pula sehingga dengan demikian akan sulit untuk membuka struktur bahan hingga bagian intinya. Pada bijih besi yang demikian ini walaupun agak sulit diperlukan pemecahan hingga menjadi butiran-butiran kecil yang memadai dengan tidak lebih dari 2,5 % kadar phosphor serta 0,2 % Sulphur, dapur harus selalu digunakan secara kontinyu serta perawatan yang memadai.

Bijih besi dicuci serta dinaikkan dengan menggunakan magnetic separation dari bantalan mineral non besi, sulphur terlepas oleh cuaca dan kelembaban dan karbon dioxide oleh pemanasan. Bijih besi dipecah hingga membentuk gumpalan dengan ukuran rata-rata yang memadai, debu yang dihasilkan akan bercampur dengan debu batu bara (coal dust) membantu proses peleburan dan membentuk gumpalan tar.

#### **E. Kokas dan kapur**

Kokas digunakan pada dapur tinggi sebagai bahan bakar, dimana kokas diperoleh dari batu bara yang ditempatkan pada oven, dari dapur tinggi ini juga akan mengeluarkan gas yang dapat dimanfaatkan sebagai gas kota yang dapat disalurkan melalui pipa-pipa, disamping itu diperoleh pula tar, crude-oil, ammonium sulphate yang berguna sebagai pupuk tanaman.

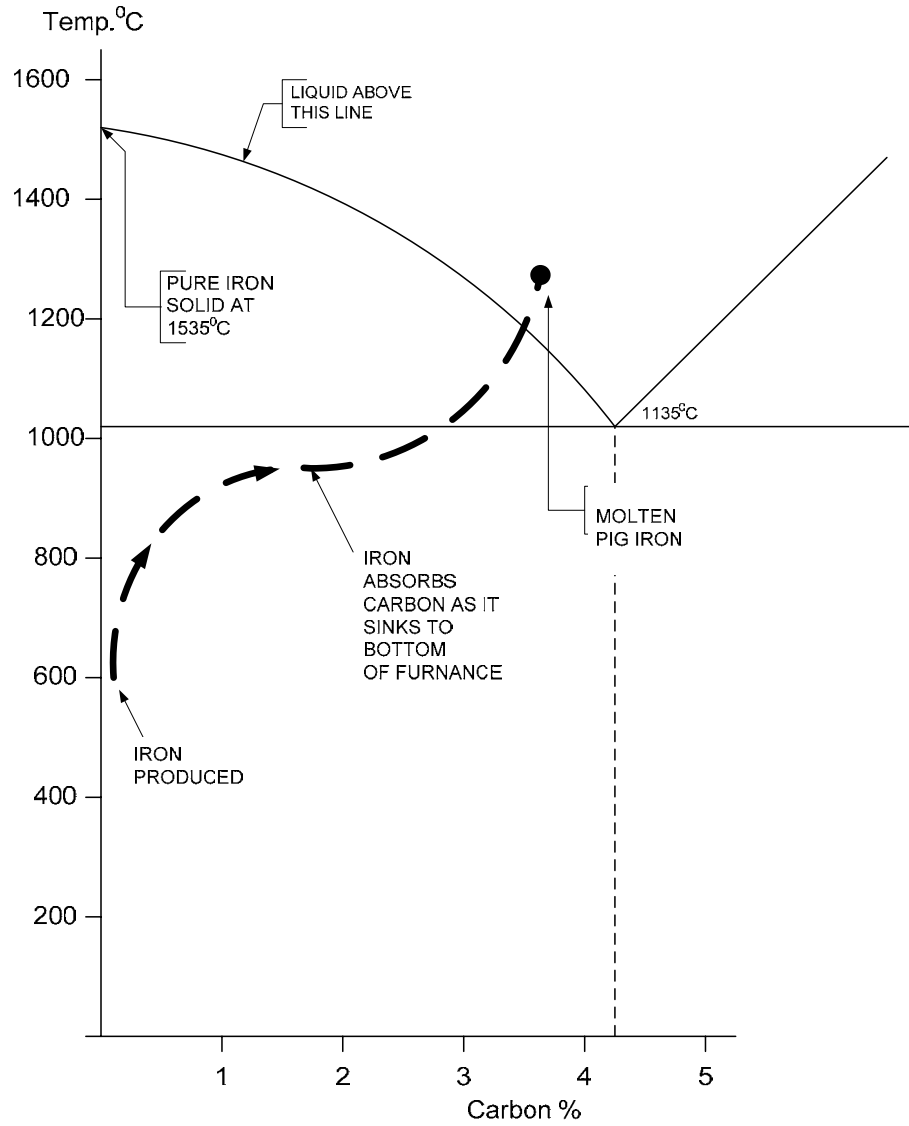
Kapur (limestone) berfungsi sebagai fluksi pada dapur tinggi, pemanasan hingga  $900^{\circ}$  C di dalam dapur tinggi, batu kapur akan menghasilkan senyawa kimia  $2CaO.SiO_2$  yang penting sebagai lapisan pada dinding dapur.

## F. Proses peleburan

Bijih besi yang akan dilebur dipersiapkan dan dimasukkan ke dalam dapur tinggi dimana proses peleburan tersebut dilakukan. Proses peleburan terjadi secara kimiawi, hal ini sekaligus menghindari unsur-unsur kotoran terbawa dan bercampur pada produk yang dihasilkan. Proses ini terjadi dimana pada saat dilakukan pembakaran dengan pemanasan awal dari bahan bakar kokas mengakibatkan penurunan ikatan daya electromagnetic dari atom-atom logam serta molekul-molekul dari berbagai unsur, pada saat yang ini oksigen panas dihembuskan kedalam ruangan pembakaran, dengan demikian gas karbon yang terbentuk oleh pembakara kokas akan bersenyawa dengan oksigen dan menghasilkan karbon monoksida (CO) yang akan mereduksi unsur Fe dari bijih besi. Pemanasan yang terus-menerus pada unsur karbon ini juga akan membentuk karbon dioxide (CO<sub>2</sub>), molekul ini akan terbakar dan menjadi terak dan mengalir bersama lelehan batu kapur (limestone) serta sebagian akan bersenyawa dengan besi mentah.

Metoda peleburan dapat dilakukan secara praktis untuk kuantitas produksi, besi akan mengalir dari dalam dapur, sedangkan endapan batu serta berbagai unsur mineral yang tidak dikehendaki tidak mudah untuk dipisahkan dari endapan, namun pada saat endapan (slag) itu cair akan mengalir dari dalam dapur, penambahan panas pada kokas akan membantu pengaliran endapan cair dari dalam dapur tinggi, dengan demikian titik cair dari paduan menjadi lebih rendah karena batu kapur menghasilkan slag cair dari senyawa kimia  $2C + O_2 = 2CO + \text{heat}$  yang dapat mengalir dari dapur tinggi. (lihat gambar 5).

Proses reduksi secara kimiawi yang terjadi di dalam dapur tinggi, dimana pemanasan awal mengakibatkan awal penguraian (pre-smelting) molekul-molekul dari berbagai unsur baik yang ditambahkan maupun yang terkandung bijih besi itu sendiri, peleburan secara kimiawi dengan CO<sub>2</sub> mengakibatkan terjadi persenyawaan unsur karbon dengan besi (Fe) itu sendiri yang sangat sulit untuk dipisahkan selain unsur-unsur yang sejak awal menjadi bagian dari bijih besi, seperti *silisium* (Si) dan *phosphor* (P) yang sangat berpengaruh terhadap perfoma dari besi kasar yang dihasilkan. Oleh kerana itu maka terdapat 2 jenis besi kasar (pig iron) yang dihasilkan dari dapur tinggi atau yang disebut *Blast Furnace Metal* :



**Gambar 2.3** Diagram pengaruh kandungan Karbon terhadap pembentukan besi

### 1. Besi mentah putih

Besi mentah putih ialah besi mentah yang memiliki bidang pecahan berwarna putih dengan butiran kristal yang halus serta struktur yang lebih padat sehingga memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Sifat dari besi mentah ini terbentuk karena pengaruh unsur manganese (Mn). Kandungan unsur manganese (Mn) pada bijih besi dapat mengubah persenyawaan antara karbon (C) dengan besi (Fe), dan membentuk molekul besi carbide ( $Fe_3C$ ), dengan struktur padat sehingga besi carbide ini memiliki tegangan yang besar dan bebas dari graphite serta derajat penyusutan dan titik lebur (*melting point*) yang tinggi.

### 2. Besi mentah kelabu

Besi mentah kelabu ialah besi mentah yang memiliki bidang pecahan berwarna kelabu dengan butiran kristal yang besar sehingga strukturnya terbuka (longgar). Keadaan yang demikian ini mengakibatkan penurunan titik lebur (*melting point*) serta derajat penyusutan dan tegangan menjadi lebih rendah. Besi mentah kelabu terbentuk karena pengaruh unsur silisium (Si), dimana silisium menguraikan unsur karbon (C) dan menghambat persenyawaannya dengan unsur ferrite (Fe) sehingga karbon dioxide mengalir bersama besi mentah (pig iron) dan membentuk graphite diantara rongga-rongga pada struktur ferrite (Fe).

Titik lebur (*melting point*) yang rendah dari besi mentah kelabu menjadikannya mudah dibentuk melalui proses pengecoran (penuangan) atau disebut sebagai besi mentah mampu cor (*castability*).

Proses persenyawaan dari berbagai unsur yang terdapat didalam besi mentah berjalan sangat cepat, dinamana proses pembekuan (pemadatan) itu sendiri sudah terjadi sejak besi mentah tersebut berada didalam dapur tinggi, dimana dinding dapur itu sendiri dimana besi mentah itu mengalir memiliki temperature  $600^{\circ}C$  dengan titik cair besi (Fe)  $1535^{\circ}C$  (lihat gambar 6) dan pada kondisi yang demikian terdapat unsur karbon monoxide ( $CO_2$ ) yang mengapung dalam bentuk karbon bebas (free-Karbon) karena pengaruh Silikon (Si) yang cenderung untuk menguraikan karbon monoxide. Kendati terdapat sulfur yang terkandung didalam bijih besi dan dapat mengikat karbon tetapi bahkan menghambat persenyawaan unsur karbon terhadap ferrite. Namun demikian besi mentah masih dapat mengalir keluar dari dapur melalui saluran pengetapan yang dibantu oleh terak cair dari batu kapur (limestone) yang kemudian terak (slag) ini akan mengapung diatas permukaan besi mentah pada cetakan yang

telah disediakan, sedangkan kelebihan slag akan dialirkan melalui bagian lain dari dapur tinggi (slag notch). terak cair (slag) ini merupakan produk lain dari dapur tinggi yang berguna untuk landasan rel kereta api atau dicampur dengan tar untuk penetrasi jalan.

### G. Komposisi unsur di dalam besi mentah (Pig iron)

Besi mentah (pig iron) merupakan produk utama dari dapur tinggi yang diproses secara kimiawi dari bijih besi (iron ores) melalui peleburan dan pemanasan dari bahan baker kokas, oleh karenanya tidak mengherankan jika *pig iron* merupakan paduan kompleks dari berbagai unsur dimana selain unsur-unsur bawaan dari iron ores itu sendiri, metoda yang dilakukan dalam prosesnya pun menghasikan molekul-molekul baru akibat senyawa kimia dari unsur-unsur yang telah tersedia, dimana besi mentah (pig iron) yang dihasilkan dari dapur tinggi ini mengandung tidak kurang dari 10% unsur-unsur paduan dalam kondisi senyawa ditambah dengan unsur-unsur bebas yang terkandung pada setiap berat atom-nya dan masing-masing unsur ini memiliki pengaruh besar terhadap sifat bahan tersebut. Untuk itu maka proses pemurnian dari besi mentah ini merupakan proses yang sulit dan rumit.

Hal ini telah dilakukan dengan berbagai metoda seperti akan dijelaskan pada uraian berikutnya dan sebelum itu akan kita lihat terlebih dahulu komposisi unsur-unsur yang secara umum dimiliki oleh besi kasar (pig Iron) berikut.

1. Total karbon 3 sampai 4 %, sebagian dari jumlah ini bersenyawa dengan unsur ferrite (Fe) yang disebut sebagai besi carbide ( $Fe_3C$ ) sedangkan sebagian lagi dalam jumlah yang relatif karena sangat dipengaruhi oleh proses pendinginan yakni merupakan karbon bebas yang membentuk grafit serta kadmium (S) yang memiliki sifat kecenderungan untuk mengikat karbon serta silisium (Si) yang cenderung menguraikan karbon. Unsur ini biasanya terdiri atas 0,1 % sampai 0,3 % bersenyawa dan membentuk cementite ( $Fe_3C$ ) dan lebih dari 2,7 % merupakan karbon bebas (free-Karbon) atau graphite.
2. Silisium (Si) : 0,4 - 2,5 %
3. Phosphorus (P) : 0,04 - 2,5 % (lihat 2.3 hal 12)
4. Sulphur (S) : 0,02 - 0,2 %
5. Manganese (Mn) : 0,4 - 2,7 %
6. Balance, Irons

## H. Pengolahan besi kasar (pig iron) menjadi bahan baku (raw materials)

Sebagaimana kita ketahui dari uraian terdahulu bahwa besi (Fe) tidak diperoleh dalam keadaan murni melainkan bercampur bahkan bersenyawa dengan berbagai unsur dengan sifat yang berlainan sehingga masing-masing unsur akan kehilangan sifat asalnya termasuk pada unsur besi (Fe).

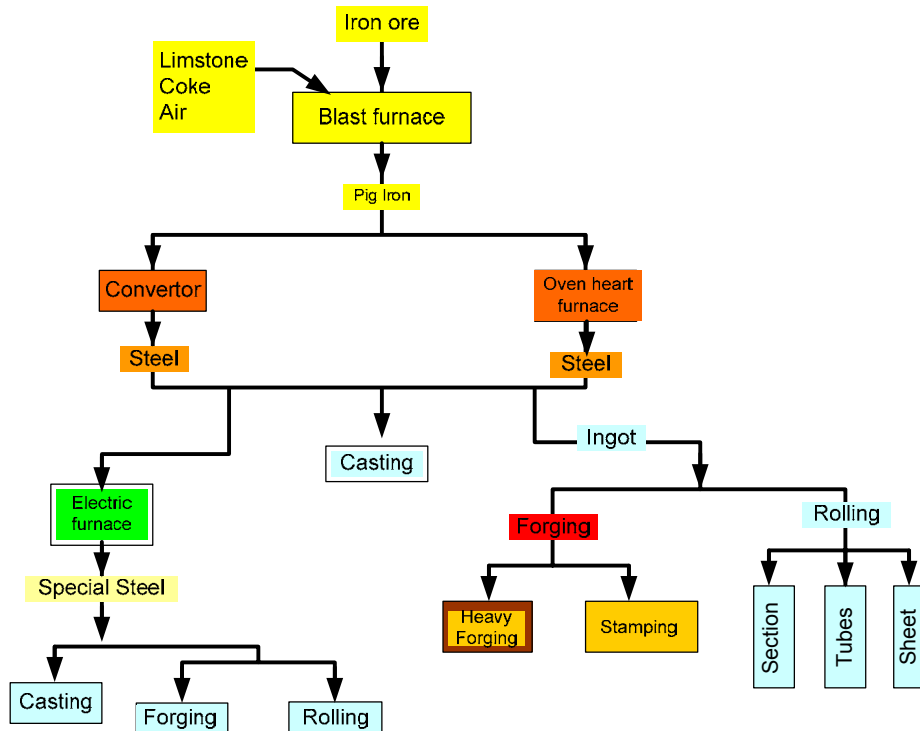
Logam besi (ferro) merupakan salah satu bahan teknik yang penting dan hampir semua kebutuhan sifat bahan produk dapat dipenuhi oleh logam ferro, hal ini disebabkan oleh logam ferro yang memungkinkan untuk dirubah dan diperbaiki sifatnya sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi pada awalnya proses pemisahan unsur besi (Fe) dari unsur-unsur yang telah disebutkan pada uraian terdahulu, bukanlah cara yang sederhana, artinya perubahan sifat logam Ferro menjadi logam ferro yang memiliki kualitas tertentu diperlukan pengaturan komposisi dengan formulasi unsur paduan yang tepat termasuk kadar karbon yang telah dimiliki oleh besi kasar sejak di dalam dapur tinggi.

Besi kasar ini harus diolah sedemikian rupa agar diperoleh suatu bahan logam dengan komposisi tertentu sehingga memenuhi syarat dalam pengolahan lanjut yakni suatu bahan yang disebut "baja" (perhatikan diagram pengolahan baja berikut ini).

### 1. Proses pemurnian besi kasar

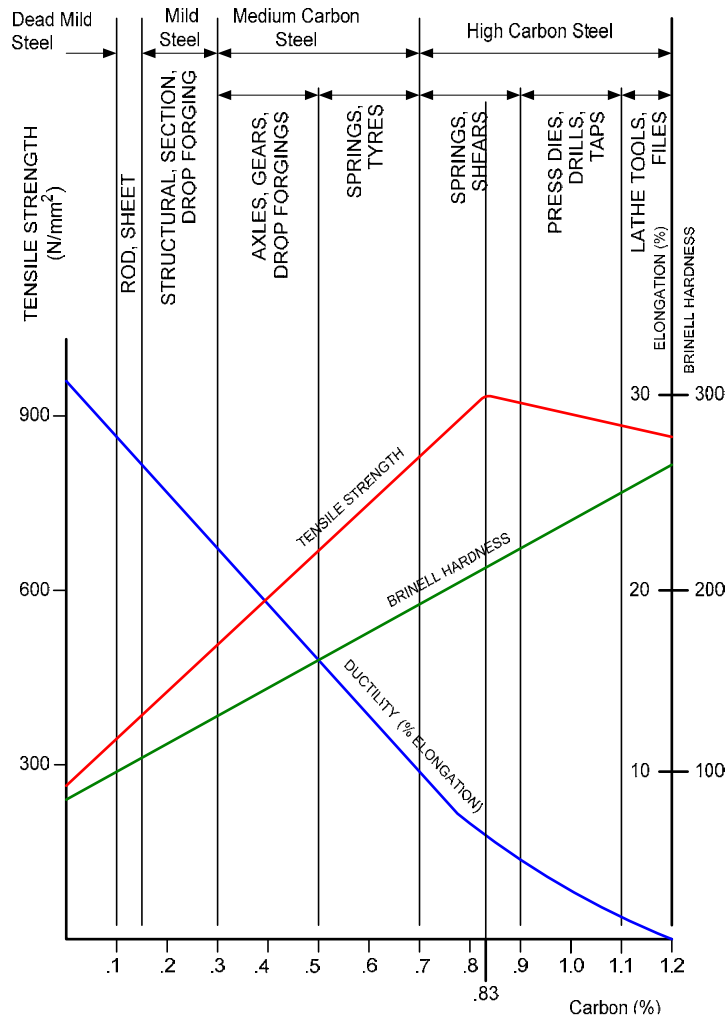
Baja (steel) merupakan logam hasil persenyawaan antara ferrite (Fe) dengan karbon (C) yang memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan logam lainnya, antara lain adalah sifatnya yang mudah diperbaiki, oleh karena itu sampai saat ini baja juga merupakan salah satu bahan teknik yang sangat penting. Namun demikian apabila kita perhatikan kembali kandungan unsur karbon yang terdapat pada besi kasar (pig iron) yang besarnya 3 sampai 4 % atau yang secara umum 0,1 % sampai 0,3 % sebagai unsur karbon yang bersenyawa dan 2,7 % adalah karbon bebas ditambah pula dengan berbagai unsur lainnya hingga 10 % yang diperhitungkan berdasarkan berat atom dari masing-masing unsur tersebut, tentu saja hal ini sangat merugikan sifat dari baja itu sendiri terutama pada sifat mekaniknya, sekalipun memiliki angka kekerasan yang tinggi namun sangat rapuh (brittle). Oleh karena itu besi mentah secara teknis belum memenuhi syarat sebagai bahan teknik (*technical engineering materials*). Dengan demikian maka unsur-unsur yang terdapat pada besi kasar (pig iron) harus dipisahkan dan diformulasikan kembali agar diperoleh suatu sifat bahan teknik yang dikehendaki.

Perhatikan gambar 2.4 yang memperlihatkan urutan proses pembentukan bahan baku, produk dapur tinggi yang berbentuk pig iron harus diproses melalui salah satu dari dua metoda pembentukan baja yaitu : *converter* dan *open-heart furnace* dan dari proses ini akan menghasilkan produk yang kita sebut sebagai baja atau steel dalam bentuk tuangan (hasil cetakan) atau ingot. baja-baja ini pun masih belum disebut sebagai bahan baku bahkan untuk memperoleh baja dengan kualitas khusus baja (steel) masih harus diproses ulang pada *electric furnace*. proses ini menjadi sangat penting dimana bukan saja kadar karbon yang harus dikendalikan melainkan berbagai unsur yang juga telah dimiliki oleh besi kasar (pig iron) dimana unsur-unsur ini pun akan sangat merugikan sifat baja itu sendiri bila tidak dikendalikan, seperti kadar phosphor persenyawaannya akan membentuk phosphida besi yang akan menurunkan nilai impact sehingga baja menjadi sangat rapuh dan sulit dibentuk. Untuk itu kadar phosphor yang terkandung pada baja dipersyaratkan maximum 0,05 %.



**Gambar 2.4** Diagram aliran pembentukan logam sebagai bahan baku produk

Sulphur (S) atau belerang merupakan bagian yang sulit dipisahkan dari besi mentah dan sudah menjadi bagian dari besi sejak dalam bentuk bijih besi, unsur ini pun harus dikendalikan jumlahnya kendati tidak dapat dihilangkan, dimana persenyawaannya dengan besi akan membentuk sulphida-besi, selain menurunkan nilai impact (rapuh) juga penurunan titik cair, hal ini disebabkan oleh sifat dari sulphide yang cenderung menguraikan karbon sehingga terbentuknya grafit yang menempati batas-batas kristal pada struktur baja itu sendiri dengan demikian baja akan kehilangan sifat “mampu pengerjaan dingin” atau bersifat “hot-short” (unsuitable for cold working) bahkan sulit dengan pengerjaan panas karena tingginya kadar sulphur pada baja mengakibatkan baja menjadi sangat rapuh, oleh karena itu kadar sulphur pada baja tidak boleh melebihi 0,05 %.



**Gambar 2.5** Persyaratan sifat mekanik dari baja karbon sesuai dengan fungsinya



Unsur lain yang juga merugikan sifat baja ialah silisium (Si). silisium seperti juga sulphur dimana sangat bertendensi membentuk graphite diantara batas kristal dari struktur baja, kadar silisium pada baja tidak boleh lebih dari 0,3 %. Demikian pula dengan unsur mangan (Mn) kendati tidak berpengaruh buruk kandungan mangan juga harus terukur secara pasti, dimana kandungan mangan pada baja adalah maksimum 1 % .

Gambar 2.5 menunjukkan diagram pengelompokan sifat mekanik baja Karbon yang disyaratkan sesuai dengan fungsinya sebagai bahan teknik.

Karakteristik sifat baja sebagaimana diperlihatkan pada gambar 10 merupakan syarat yang harus dipenuhi untuk baja Karbon dalam fungsinya sebagai bahan baku produk yang secara teoritik maupun empiric memenuhi syarat pemakaian untuk berbagai kebutuhan sifat mekanik. Kondisi ini masih memungkinkan untuk diperbaiki melalui berbagai metoda proses perlakuan panas (heat treatment) sesuai dengan kebutuhan sifat baja.

Untuk mencapai sifat dan karakteristik mekanis dari baja tersebut maka baja harus terbebas dari beberapa unsur berikut:

- *Phosphorus* yang akan membentuk *phosphida-besi*
- *Sulphur* yang akan membentuk *sulphida-besi*
- *Manganese* akan bersenyawa dengan sulphur dan akan membentuk *manganese-sulphida*.

Semua senyawa kimia ini akan merugikan sifat mekanik dari baja tersebut.

## 2. Proses pemurnian besi mentah (pig iron)dengan dapur Asam dan Basa

Proses *asam dan basa* terjadi secara *kimiawi* dalam bentuk terak (slags) yang melapisi dinding dapur peleburan. proses pemurnian besi mentah ini hanya dapat dilakukan terhadap besi mentah dengan kadar *phosphor (P)* dan *sulphur (S)* yang rendah. besi mentah yang demikian ini biasanya kaya akan unsur *silisium (Si)* dimana unsur silisium ini dapat merangsang pembentukan terak asam (acid slag). Dengan dinding dapur yang terbuat dari *bata silica* sehingga mempermudah proses reaksi kimia dalam pembentukan senyawa tersebut.

Proses pemurnian besi mentah dengan sistem *basa (basic)* pada prinsipnya sama dengan *asam (acid)* dimana diperlukan terbentuknya terak basa yang dapat diperoleh dengan memasukan batu kapur (*limestone*) dalam jumlah besar, sedangkan besi mentah yang diproses ialah besi mentah dengan kadar phosphor tinggi baja ini terdapat di Britain sehingga hamper 80 % pabrik baja di Britain menggunakan metoda ini.

### 3. Selintas tentang sejarah pembuatan baja

Penggunaan baja sebagai bahan teknik sudah lama dilakukan dan upaya meningkatkan kualitas baja itu sendiri sudah dilakukan jauh sebelum perang dunia kedua. Sedemikian tinggi pengetahuan mereka terhadap pengaruh persenyawaan kimia dari berbagai bahan mineral serta pengaruhnya terhadap sifat baja yang hingga sekarang teori tersebut digunakan sebagai dasar pengembangan bahan-bahan teknik.

Benjamin *Huntman* (1740), tertulis sebagai pembuat jam (clockmaker), melakukan proses pembuatan baja untuk memenuhi kebutuhannya akan bahan baku pegas, antara lain dengan menambah unsur Karbon kedalam besi cair. Kesuksesan proses ini menjadikannya sebagai awal mula dari proses perbaikan sifat mekanik baja dan kemudian dikembangkan dalam memenuhi kebutuhan alat potong atau sebagai baja perkakas. Selanjutnya proses ini dikembangkan dengan menambah berbagai unsur paduan melalui proses induksi (*Induction processes*) yang dikenal dengan *Crucible processes* yakni proses sementasi (*Cementation processes*) yang dilakukan pada besi tuang dimana semua unsur bahan inti maupun bahan paduan dilebur bersama dengan tanah liat didalam sebuah cawan hingga tanah liat tersebut membentuk lemak yang kemudian dimasukan kedalam cetakan. Hasilnya sangat memuaskan dimana dari proses ini menghasilkan baja bermutu tinggi dan hingga kini dikenal sebagai baja "Swiden". Dengan produksi yang sangat terbatas.

*Sir Henry Bessemer* (1856), melakukan proses pemurnian besi mentah (pig Iron) dengan metoda oksidasi yakni meniupkan udara kedalam besi mentah cair yang ditempatkan didalam bejana (Vessel) sebagai Converter melalui proses ini ternyata berbagai unsur yang terdapat pada besi mentah bergerak keluar. Proses ini mendapat sambutan dari masyarakat industri dimana pada saat itu kebutuhan baja sangat besar terutama dalam pemenuhan kebutuhan transportasi khususnya sistem perkeretaapian, urgensi kebutuhan baja dan proses pengolahan baja dengan metoda yang relatif sederhana ini menjadi sangat potensial untuk dikembangkan. Bessemer melakukan proses pemurnian ini memilih bahan dari besi kasar yang bermutu tinggi yakni besi kasar rendah phosphor (low phosphorus pig iron). Namun demikian proses Bessemer ini dikembangkan di Inggris dimana eksplorasi bijih besi dengan kadar phosphor tinggi yang dikenal dengan *British Ores* dan ternyata unsur phosphor ini tidak dapat dihilangkan dengan metoda bessemer ini.

*Sydney Gilchrist Thomas (1878)* bersama dengan keponakannya *Percy Gilchrist* berhasil mengatasi kelebihan Phosphor pada besi kasar yakni dengan menambah batu kapur dalam proses peleburan besi kasar ini yang dikenal dengan *Basic lining Sistem* dengan menghasilkan baja basa. Proses-proses pemurnian besi mentah inilah yang merupakan awal dari pengembangan industri baja di Britain hingga usai perang dunia kedua.

*William Kelly (1856)*, yakni pada saat yang hampir bersamaan dengan Sir Henry Bessemer di Amerika Serikat dikembangkan pula metoda penggunaan Converter ini kendati tidak dipatenkan, namun setelah mempelajari sistem Bessemer William Kelly menyatakan telah memperbaharui sistem Bessemer dan mendaftarkan hak patennya di Amerika, akan tetapi mengalami kebangkrutan.

*Piere Martin (1867)*, memperkenalkan penemuannya yang kemudian dikembangkan oleh *William Siemen*, yakni pemakaian dapur basa disamping untuk pemurnian besi kasar (pig Iron) juga dilakukan pada besi bekas (rongsokan), metoda ini dikenal dengan "open-hearth sistem" dan hingga kini menjadi Industri Baja terbesar di Britain.

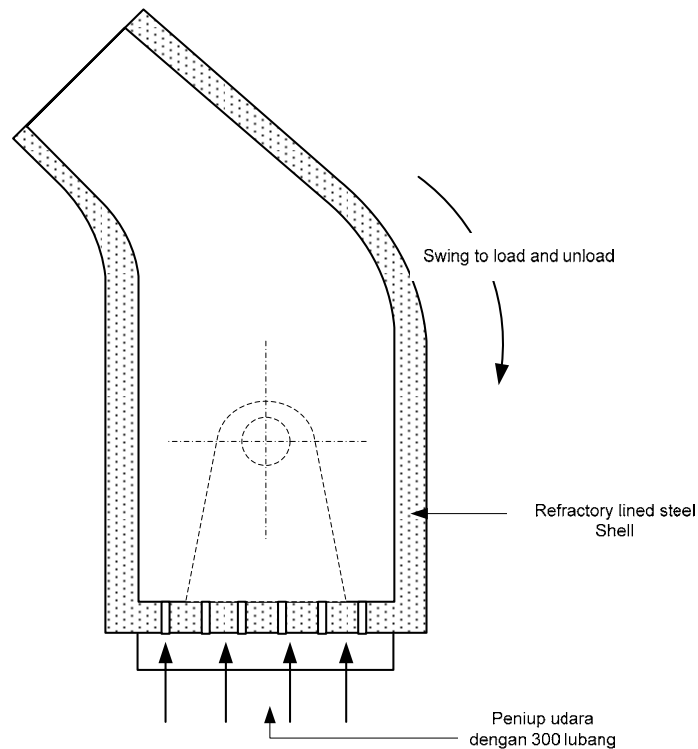
Berbagai metoda yang dilakukan dalam proses pengolahan besi kasar kedalam bentuk baja sebagai bahan baku produk pemesinan yang dikembangkan pada saat ini merupakan pengembangan dari proses-proses sebagaimana disebutkan diatas, dimana Industri baja secara terus menerus melakukan pengembangan hingga diperoleh suatu bahan baku yang bermutu tinggi sesuai dengan perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.

Sumber energi listrik menjadi inspirasi dalam proses modernisasi pengolahan baja diseluruh dunia. Namun demikian yang menjadi dasar dalam proses pengolahan baja tersebut sebagaimana alur produksi yang diperlihatkan pada gambar 10 halaman 18 dan dari berbagai metoda proses pengolahan baja ini dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yakni :

- a. Processes Using Converter
- b. Open-hearth processes
- c. Electrical processes

**4. Proses pembuatan baja dengan menggunakan sistem converter.**

Converter ialah sebuah tabung baja dengan dinding berlapis dan tahan terhadap temperatur tinggi serta ditempatkan pada sebuah dudukan yang dibentuk sedemikian rupa agar posisinya dapat diubah secara vertikal maupun secara horizontal dengan posisi mulut berada disamping atau diatas bahkan dibawah. Posisi-posisi ini diperlukan untuk pengisian, penghembusan karbon dioksida dan penuangan hasil pemurnian (lihat Gambar 2.6).

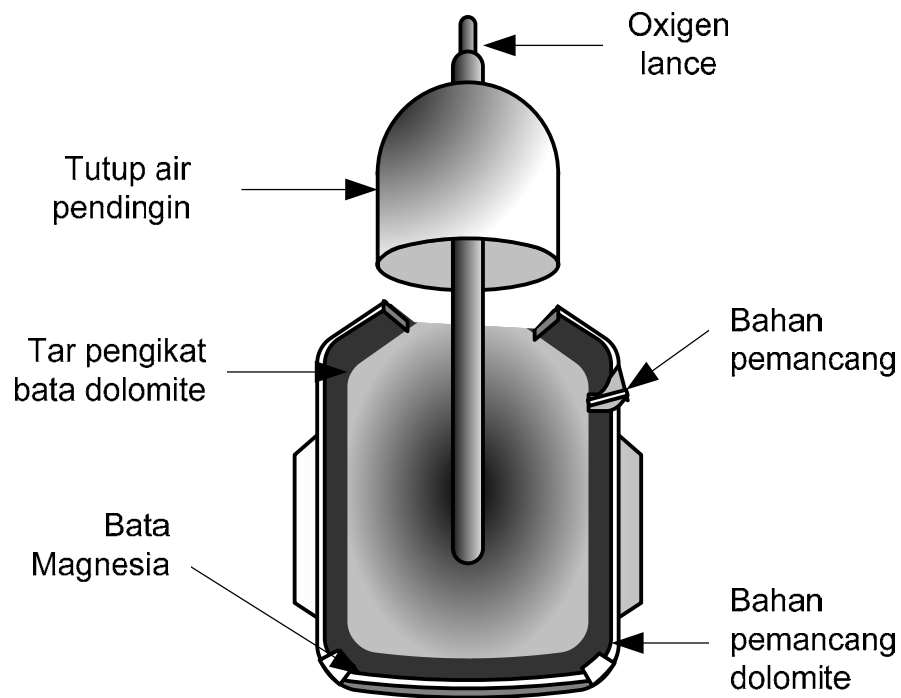


**Gambar 2.6** Converter Bessemer

Proses pemurnian ini dilakukan dengan terlebih dahulu mencairkan besi mentah ke dalam converter yang berada pada posisi horizontal kemudian converter diubah posisinya pada posisi vertikal dan pada posisi ini udara bertekanan  $140 \text{ KN/m}^2$  dihembuskan melalui dasar converter ke dalam besi mentah cair, dengan demikian maka unsur karbon akan bersenyawa dengan oksigen menjadi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan mengikat unsur-unsur lainnya.

Dengan tekanan udara sedemikian itu unsur-unsur tersebut akan terbawa keluar dari converter, proses ini dilakukan dalam waktu 20 menit, dari proses ini besi mentah memiliki unsur-unsur paduan tidak lebih dari 0,05 % dan 0,006 % diantaranya adalah unsur karbon dan dianggap sebagai besi murni atau Ferrite (Fe), selanjutnya ditambahkan unsur karbon ke dalam converter ini dengan jumlah tertentu sesuai dengan jenis baja yang dikehendaki hingga 2,06%, coverter ini berkapasitas antara 25 ton sampai 60 ton.

Pada dasarnya berbagai metoda dalam proses pembuatan baja ini ialah proses pemurnian unsur besi dari berbagai unsur yang merugikan sebagaimana telah dikemukakan terdahulu, oleh karena itu dalam proses pembuatan baja dengan menggunakan sistem converter ini ialah salah satu proses pemurnian atau pemisahan besi dengan menggunakan bejana sebagai alat pemanasan (peleburan) besi kasar tersebut. (lihat Gambar 2.7 ) yang merupakan bagian dari bentuk pemurnian besi kasar dengan dapur basa dari sistem converter.



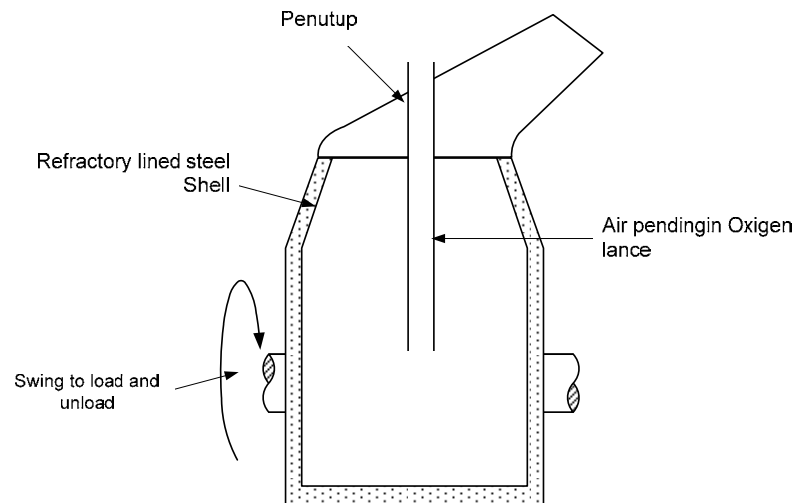
**Gambar 2.7** Proses oxigen pada dapur basa untuk pemurnian besi kasar (pig Iron)

## 5. Proses pembuatan baja dengan sistem Thomas dan Bessemer

*Thomas dan Bessemer* melakukan proses pemurnian besi kasar dalam pembuatan baja ini pada prinsipnya sama yakni menggunakan Converter, namun Bessemer menggunakan Converter dengan dinding yang dilapisi dengan Flourite dan Kwarsa sehingga dinding Converter menjadi sangat keras kuat dan tahan terhadap temperature tinggi, akan tetapi dinding converter ini menjadi bersifat asam sehingga tidak dapat mereduksi unsur Posphor, oleh karena itu dapur Bessemer hanya cocok digunakan dalam proses pemurnian besi kasar dari bijih besi yang rendah Posphor (Low-Posphorus Iron Ores).

Sedangkan Thomas menyempurnakannya dengan memberikan lapisan batu kapur (limestone) atau Dolomite sehingga dinding converter menjadi basa dan mampu mereduksi kelebihan unsur Posphor dengan mengeluarkannya bersama terak (lihat gambar 12).

*Linz-Donawitz (LD-Processes)*, salah satu proses pemurnian besi dengan sistem converter ini pertama dikembangkan di austria, proses dengan hembusan udara bertekanan hingga 12 bar di atas converter dengan posisi vertical, setelah besi mentah (pig iron) bersama dengan sekrap dimasukkan yang kemudian dibakar, udara yang dihembuskan menghasilkan pembakaran dengan unsur karbon, belerang dan posphor yang terkandung didalam besi mentah tersebut, hal ini terjadi pada saat converter dalam posisi miring.

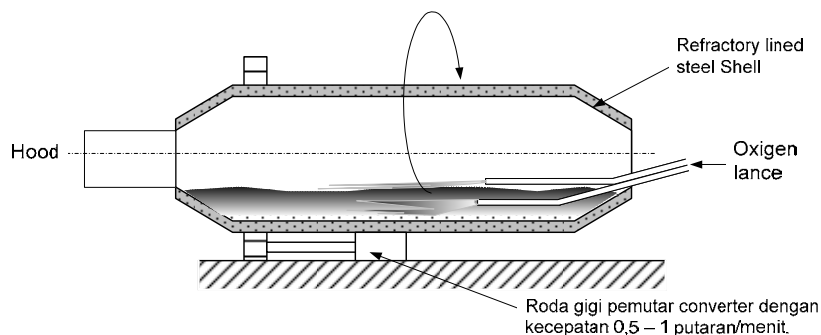


**Gambar 2.8** LD Top Blown Converter

Proses pembakaran ini terlihat pada nyala api dibagian converter. Baja dengan kadar karbon 0,2 % akan tercapai dengan pembakaran hingga 20 menit, namun jika diinginkan kadar karbon yang lebih tinggi dari 0,2 %, maka hembusan udara dapat dihentikan sehingga proses pembakaran akan terhenti. komposisi unsur yang terdapat pada besi ini dapat dianalisis dengan mengambil contoh dari besi cair sebelum terjadi pembekuan dan jika komposisi yang dikehendaki telah tercapai maka besi dapat dikeluarkan dari converter dan membiarkan slag (terak) tertinggal didalam converter yang akan dikeluarkan melalui lubang terak. lihat gambar 2.8

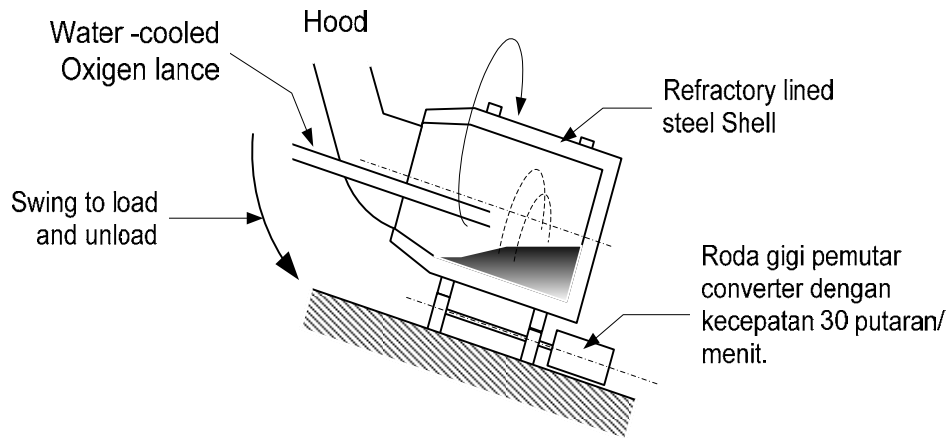
Dari proses pemurnian besi dengan menggunakan metoda ini akan dihasilkan baja yang memiliki sifat mekanik yang baik untuk diproses menjadi baja paduan (Alloy Steel) maupun sebagai baja karbon (non paduan) karena tingkat kemurniannya serta bebas dari unsur nitrogen (N) atau zat lemas yang merugikan. Bahan ini juga sangat baik digunakan sebagai baja lembaran (Sheet metals) yang banyak digunakan sebagai bahan baku karoseri kendaraan, tangki serta baja-baja konstruksi. Pabrik Baja Austria "VöEST" (Vereignite Osterreichische Eisen Und Stahlwerke Aktiengesellschaft) menghasilkan baja dunia di tahun 1974.

*Rotor Processes*, Converter dengan posisi mendatar (Horizontal) merupakan converter dimana terdapat dua buah pipa oksigen, masing-masing pipa ini salah satunya diarahkan pada bagian dasar converter didalam besi cair dan akan terbakar bersama peleburan besi kasar (pig Iron) bersama baja rongsokan, proses pembakaran ini akan menghasilkan gas karbonmonoksida (CO) yang juga akan terbakar dan menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) untuk meratakan proses pemurnian. Selama proses pembakaran ini converter berputar dengan kecepatan 0,5 sampai 2 put/mt. Kemudian udara ditiupkan melalui salah satu pipa yang berada pada permukaan logam cair, dengan demikian unsur-unsur yang terkandung pada besi akan terdesak keluar bersama dengan gas CO<sub>2</sub>.



**Gambar 2.9** Rotor mixed Blown Converter

*Kaldo processes*, menggunakan cara yang sama dengan yang dilakukan pada rotor proses namun pada sistem Kaldo ini converter diposisikan miring  $17^{\circ}$ , dalam proses ini converter juga diputar dengan kecepatan putaran hingga 30 put/ment. Dengan putaran ini sangat baik karena dapat mempercepat arus transformasi panas, namun hanya menggunakan sebuah pipa peniup dimana besi kasar bersama besi tua dilebur didalam converter ini dan kemudian ditiup dengan oksigen melalui pipa tersebut. converter ini dapat memurnikan besi dengan penurunan kadar phosphor hingga 2 % (lihat gambar 2.10).



**Gambar 2.10** Kaldo top blown converter



## Rangkuman

Logam merupakan materi alam berupa unsur mineral organik, karena proses evolusi secara alamiah telah membentuk sedimentasi didalam perut bumi. Sedimentasi (endapan) ini merupakan gabungan partikel-partikel ion-ion logam yang berinteraksi secara elektrostatik dari gas electron yang bermuatan positif dan atom-atom logam yang bermuatan negative bercampur dengan berbagai unsur batuan yang disebut "bijih" atau ores. Bijih besi dapat diperoleh melalui proses eksplorasi atau pada kondisi tertentu bijih besi dapat muncul kepermukaan secara vulkanis.

Proses peleburan bijih besi dilakukan oleh reaksi persenyawaan unsur-unsur secara kimiawi melalui pemanasan untuk membuka ikatan struktur dari atom-atom logam sehingga diperoleh bijih besi dengan kadar besi yang cukup tinggi. Kokas digunakan sebagai bahan bakar pada dapur tinggi.

Proses peleburan bijih besi pada dapur tinggi ini juga akan mengeluarkan gas yang dapat dimanfaatkan sebagai gas kota, tar, crude-oil, dan ammonium sulphate.

Besi mentah putih ialah besi mentah yang memiliki bidang pecahan berwarna putih dengan butiran kristal yang halus serta struktur yang lebih padat sehingga memiliki tingkat kekerasan yang tinggi

Besi mentah kelabu ialah besi mentah yang memiliki bidang pecahan berwarna kelabu dengan butiran kristal yang besar derajat penyusutan dan tegangan menjadi lebih rendah. terbentuk oleh pengaruh unsur silisium (Si), yang menguraikan unsur karbon (C) dan menghambat dengan unsur ferrite (Fe) sehingga karbon dioxide mengalir bersama besi mentah (pig iron) dan membentuk graphite diantara rongga-rongga pada struktur ferrite (Fe).

Unsur-unsur yang secara umum dimiliki oleh besi kasar (pig Iron) antara lain : Carbon (C) Silisium (Si) Phosphorus (P) Sulphur (S) Manganese (Mn) Balance, Irons

Proses pengolahan baja ini dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok, yakni :Processes Using Converter, Open-hearth processes dan Electrical processes.

**Soal-soal :**

1. Apakah yang anda ketahui tentang pembentukan besi kasar ?
2. Bagaimanakah materi alam terbentuk hingga diperoleh bijih logam ?
3. Jelaskan alasannya mengapa logam besi menjadi salah satu bahan teknik yang sangat penting ?
4. Apakah alasannya istilah dan sebutan “besi” sebagai salah satu jenis bahan baku produk dianggap tidak tepat ?
5. Jelaskan bagaimanakah pengolahan logam menjadi bahan baku produk yang memenuhi syarat ?
6. Sebutkan 2 jenis bijih besi menurut kandungan unsure phosphor – nya !
7. Sebutkan unsure-unsur apakah yang diperoleh dari proses peleburan bijih besi pada dapur tinggi selain unsure besi ?
8. Jelaskan, apakah perbedaan antara besi mentah putih dan besi mentah kelabu ?
9. Sebutkan unsure-unsur yang terdapat pada besi kasar ?
10. Sebutkan 3 metoda proses pemurnian besi mentah dan pembuatan baja !

## BAB III BESI TUANG (CAST-IRON)

### A. Pengertian

Besi tuang (cast Iron) dapat didefinisikan sebagai paduan dari besi dengan lebih dari 1,7 % karbon, biasanya kadar karbon ini berada pada kisaran antara 2,4 hingga 4 %, merupakan bahan yang relatif mahal, dimana bahan ini diproduksi dari besi mentah cair, atau besi/baja tua, ini merupakan produk besi tuang yang memiliki fungsi mekanis sangat penting dan diproduksi dalam jumlah besar. Prosesnya sering dilakukan dengan cara menambahkan unsur graphite ke dalam *ladle* sebagai pengendali. paduan besi tuang (alloy iron castings) bahannya telah dilakukan penghalusan (refined) dan pemaduan besi mentah (pig iron). produk-produk seperti *crankshaf*, *connecting rod* dan element dari bagian-bagian mesin sebelumnya dibuat dari baja tempa (steel forgings), sekarang lebih banyak menggunakan *high-duty alloy iron casting*.

Benda-benda tuangan dapat membentuk bagian bentuk yang rumit dibandingkan dengan bentuk-bentuk benda hasil tempa (wrought) kendati diperlukan proses machining, akan tetapi dapat diminimalisir dengan memberikan kelebihan ukuran sekecil mungkin dari bentuk yang dikehendaki (smaller allowance), oleh karena itu produk penuangan relatif lebih sedikit dibanding dengan produk tempa.

### B. Proses produksi penuangan

Proses produksi benda-benda tuangan dilakukan dengan terlebih dahulu meleburkan Besi mentah (pig Iron) didalam dapur peleburan, dimana bahan tuangan ditambah dengan besi tua atau baja tua sebelum dicor.

Untuk proses pencairan ini dilakukan dengan berbagai metoda pemakaian dapur, antara lain :

Dapur Cupola (Cupola Furnance), dapur ini merupakan salah satu dapur pemanas yang paling banyak atau hampir 90 % digunakan dalam melakukan peleburan dalam fungsi penuangan (pengecoran). Metoda yang lain juga sering digunakan terutama untuk kebutuhan produk cast iron dengan kualitas khusus.

*Perhatikan :*

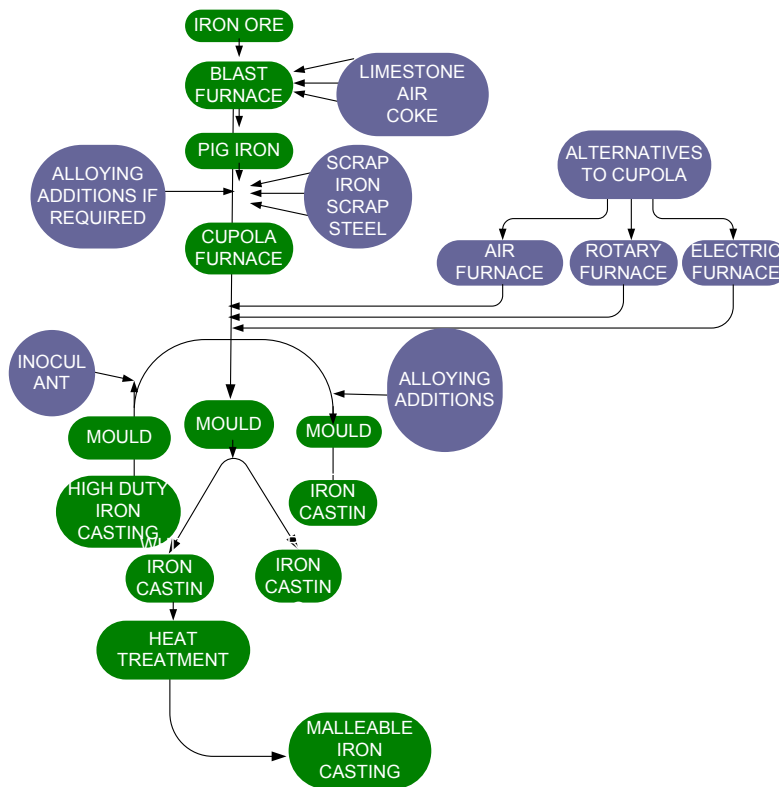
*Saat pengisian tidak boleh berdekatan dengan bahan bakar atau tersentuh.*

Secara prinsip terdapat 3 type dapur peleburan yang dapat kita gunakan, yaitu :

- a) Dapur udara, atau dapur api (reverberatory furnance)
- b) Dapur putar (Rotary Furnance)
- c) Dapur listrik (Electric Furnance)

**C. Dapur Cupola (Cupola Furnace)**

Dapur cupola (gambar 3.2) merupakan dapur peleburan yang memiliki prinsip kerja serta konstruksinya sama dengan dapur tinggi, namun dalam skala yang lebih kecil. Perbedaannya dapur cupola pemakaiannya tidak bersifat terus-menerus (continuously) sebagaimana dapur tinggi namun dapat digunakan sewaktu-waktu jika diperlukan pengecoran. Untuk mengoperasikan dapur cupola ini kokas sebagai bahan bakarnya didesak kedalam dapur, demikian pula lapisan pengganti yakni pecahan besi mentah serta kokas juga baja rongsokan dan besi tua dimasukkan kedalamnya serta sejumlah batu kapur (limestone) sebagai fluksi dari asap kokas. Selain kokas sebagai bahan bakar pada dapur cupola ini juga digunakan oli atau gas.



**Gambar 3.1** Diagram alur pembuatan besi tuang (Cast Iron)

#### **D. Dapur udara atau dapur api (*Air or reverberatory Furnace*)**

Di dalam dapur bahan bakar dibakar pada panggangan dibagian ujung dapur sehingga pembakaran tidak berhubungan dengan pengisian, dan panas yang dihasilkan dari pembakaran dialirkan melalui atap dapur dibagian atas pengisian. ini adalah dapur peleburan dengan proses yang lambat kendati kurang ekonomis dibanding dengan dapur cupola. dapur api merupakan dapur tertutup yang memungkinkan semua komposisi tidak keluar dari dalam dapur ( gambar 3.3)

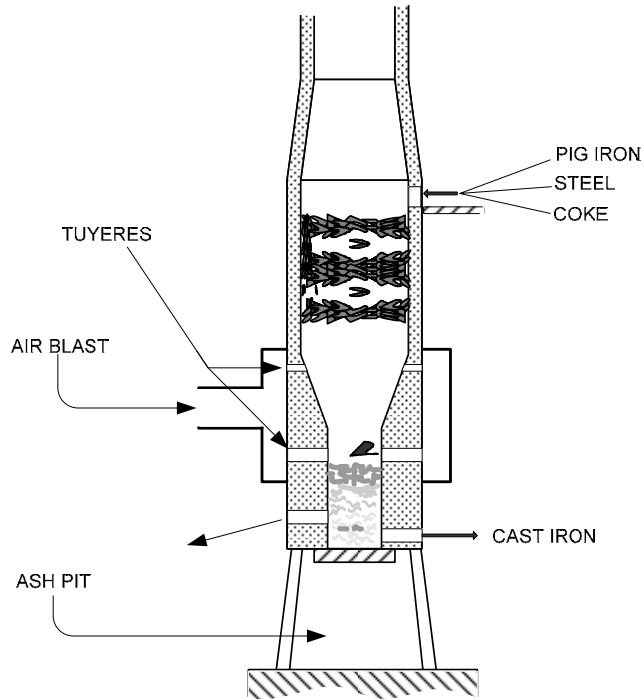
#### **E. Dapur putar (*Rotary Furnace*)**

Dapur putar (*rotary furnace*) digunakan sebagai dapur peleburan dalam memproduksi besi tuang dengan kualitas khusus, pemanasannya diperoleh dari semburan bahan bakar cair, oli atau gas ke dalam tabung peleburan yang selalu berputar atau bergerak dengan penggerak rantai atau penggerak gesek, gerakan memutar ini memungkinkan proses peleburan menjadi lebih merata. (gambar 3.4)

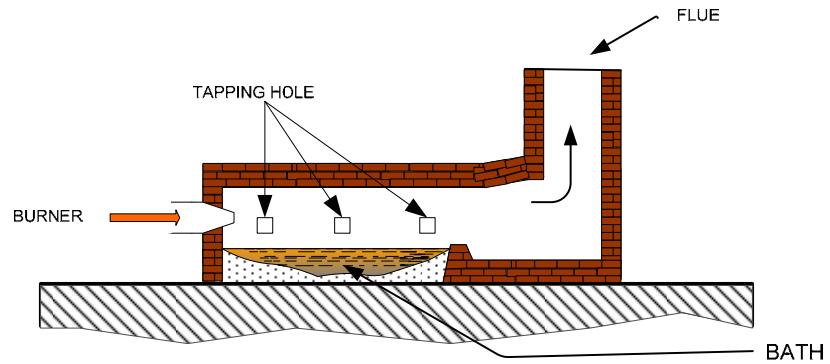
#### **F. Dapur listrik (*electric Furnace*)**

Pada dasarnya dapur peleburan ini merupakan tungku penghasil panas dengan temperatur kerja diatas titik cair dari bahan yang akan diproses, demikian halnya dengan dapur listrik ini. Yang berbeda dari dapur listrik dengan dapur-dapur lainnya adalah system pembentukan panasnya dimana panas pada dapur listrik diperoleh dari energi listrik yang dialirkan melalui electrode atau busur sebagai penghantar.

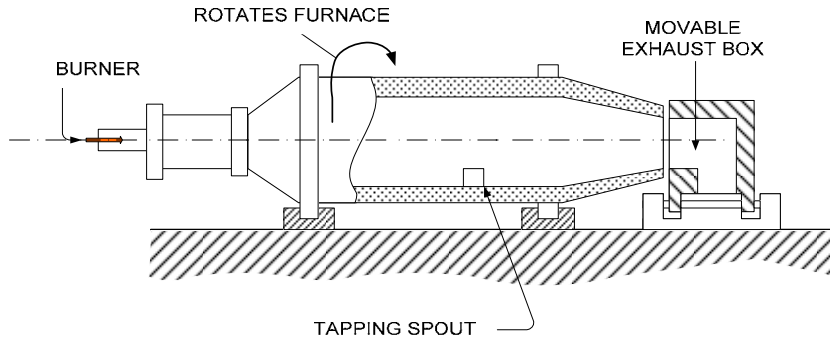
Dengan logam sebagai bahan baku produk dimana juga merupakan penghantar arus listrik , maka hantaran listrik dapat dilakukan dengan 2 cara yakni secara langsung atau yang disebut dengan "direct arc" dan tidak langsung atau yang disebut "indirect arc". Perletakan dari macam-macam Dapur peleburan dapat dilihat pada gambar berikut.



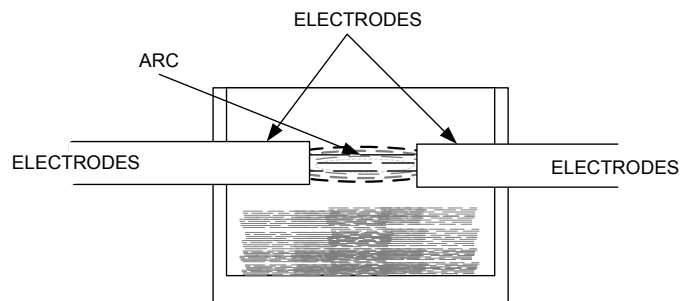
**Gambar 3.2** Dapur Cupola type pembakar kokas



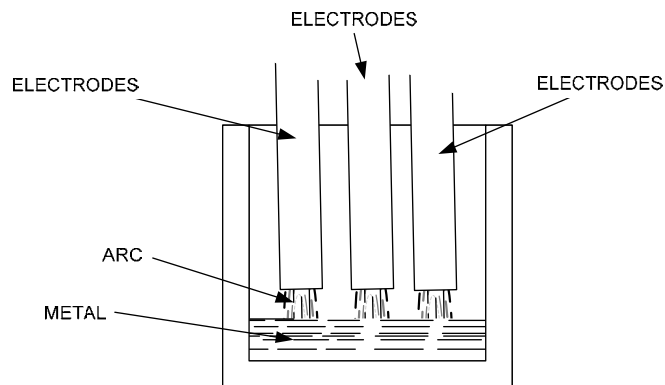
**Gambar 3.3** Dapur udara atau dapur api (Reverberatory Furnace)



**Gambar 3.4** Dapur putar (Rotary Furnace)



**Gambar 3.5** Electric Furnace indirect system



**Gambar 3.6** Electric Furnace Direct system

### G. Kadar karbon di dalam besi tuang

Unsur Karbon biasanya akan muncul didalam besi tuang dalam proses pendinginan secara perlahan-lahan tergantung pada bentuk struktur dari besi tuang itu sendiri, antara lain :

- 1) Apabila besi berada dalam larutan padat dimana strukturnya adalah ferrite. besi tuang dengan strutur ini biasanya sedikit menyerap karbon.
- 2) Dalam kondisi struktur gabungan dimana besi membentuk akan cementtite ( $Fe_3C$ ), pada kondisi ini dimana terjadi peralihan sehingga menghasilkan struktur gabungan antara ferrite dengan pearlite, sehingga pengaruh sementite itu sendiri dalam keadaan bebas.
- 3) Pembentukan graphite yakni karbon bebas (free karbon).

Besi tuang (cast iron) dimana masuknya sejumlah unsur karbon dengan berbagai sifatnya akan sangat berpengaruh terhadap sifat dari besi tuang tersebut, Dan ketika semua unsur karbon bersenyawa dengan besi tuang, Struktur besi tuang tersebut akan menyerupai baja, dan besi tuang yang demikian ini yang disebut sebagai besi putih (white Iron), besi ini sangat keras dan rapuh (brittle), namun apabila unsur karbon ini hanya merupakan karbon bebas artinya tidak terjadi senyawa kimia antara ferrite dengan karbon dan hanya membentuk grafit dengan volume yang banyak sehingga mengakibatkan perubahan warna struktur menjadi lebih gelap atau kelabu, maka besi ini disebut sebagai besi kelabu (grey iron), besi yang demikian ini bersifat lemah karena grafit menempati batas kristal dari atom-atom logam besi. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas, dimana akan mengubah struktur dari besi ini serta memperbaiki sifat mekanik dari besi tersebut, dimana pada derajat menengah besi kelabu sering disebut sebagai besi "burik" atau "mottled-iron"

Besi kelabu bersifat licin (self lubrication) serta memiliki sifat menyerap getaran.

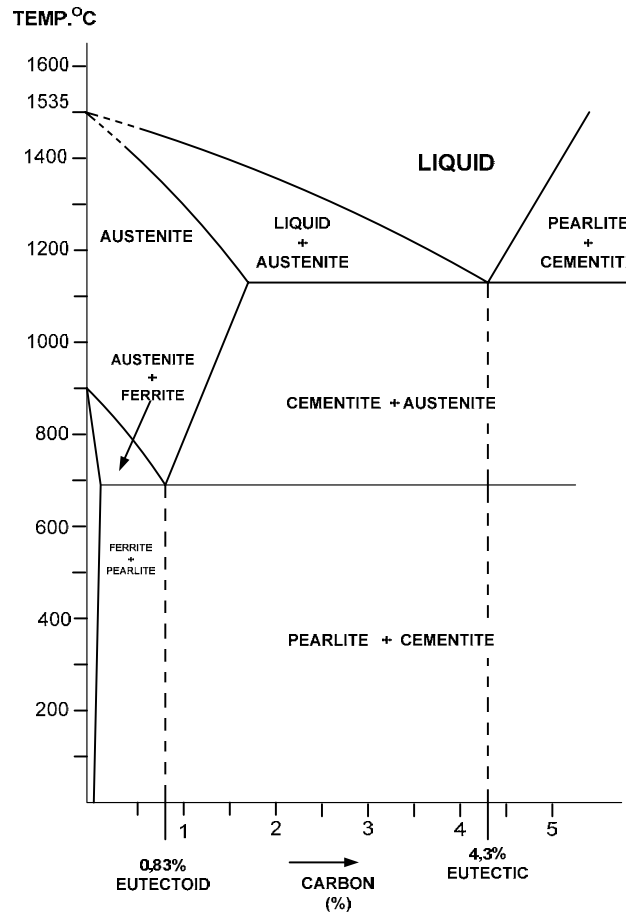
### H. Pengendalian struktur selama pendinginan

Pada dasarnya besi tuang ataupun baja memiliki perilaku yang sama dimana apabila dipanaskan diatas temperatur kritis strukturnya akan berubah kedalam sebuah bentuk struktur tertentu tergantung kecepatan pendinginannya.(lihat gambar 14 tentang diagram FeC)

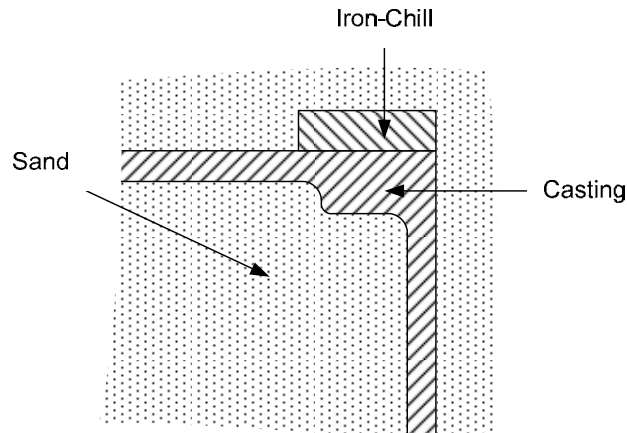
Proses pemadatan (solidification) pada besi tuang secara langsung akan memiliki struktur austenite dan cementite, dimana proses pemadatan terjadi melalui pendinginan lambat hingga mencapai temperatur ruangan. Austenite memecah diri ke dalam bentuk pearlite yakni lapisan ferrite dan cementite, sedangkan cementite memecah diri menjadi graphite dan pearlite.



Jika proses pendinginan diberikan cukup cepat maka cukup untuk mencegah terbentuknya cementite, dan akan diperoleh struktur putih. pembentukan struktur tuangan putih ini juga tergantung pada rentang pendinginan (cooling rate) dimana juga tergantung pada tebal atau tipisnya benda tuangan itu sendiri, jika benda tuangan tersebut tipis maka akan diperoleh struktur putih, namun sebaliknya jika lebih tebal akan diperoleh struktur kelabu, dimana bagian yang tebal akan lebih lambat proses pendinginannya dibanding dengan yang tipis. pada dasarnya kecepatan pendinginan ini dapat kita atur sesuai dengan kebutuhan sifat akhir dari produk tuangan yang kita kehendaki, Namun pada benda-benda yang rumit dimana ketebalan bervariasi maka diperlukan metoda agar proses pendinginan dapat merata kendati pada ketebalan yang berbeda-beda. Untuk itu maka dibagian lain dimana memiliki ukuran ketebalan yang lebih besar harus ditempatkan suatu bahan yang membantu penyerapan panas (iron-chill). lihat gambar 3.7



**Gambar 3.7.** Diagram keseimbangan besi – karbon (FeC)



**Gambar 3.8** Menempatkan “Chill-Iron” untuk pengendalian keseragaman struktur besi tuang

Struktur besi tuang ini dapat juga dikendalikan dengan cara pengendalian komposisi kimia dari bahan tuangan tersebut, misalnya meningkatkan grafitisasi melalui penambahan unsur Silikon namun secara kuantitas bagian-bagian benda yang tipis akan menjadi kelabu. Sulfur akan meningkatkan kekerasan pada besi tuang dimana akan memicu pematatan dalam bentuk besi tuang putih. Untuk benda-benda tuangan yang memiliki bentuk yang rumit dengan bagian bagian yang tipis penambahan unsur Phosphor hingga 1 % akan mengakibatkan besi lebih cepat cair, maka elemen benda tuangan tidak mencapai tegangan yang diharapkan dimana bahan akan menjadi rapuh (brittle).

**I. Berbagai alasan pembentukan melalui pengecoran atau penuangan (Casting)**

Sedemikian banyak material dari berbagai jenis sebagai bahan baku berbagai produk yang diinginkan, dan semakin banyak pula pertimbangan dalam memilih dan menentukan jenis bahan yang akan digunakan, setiap jenis bahan dari material yang tersedia memiliki berbagai keunggulan juga tidak kurang memiliki kelemahan.

“Jadi bahan manakah yang paling baik” ?, jawabannya adalah bahan yang mudah didapat, mudah dibentuk, kuat dan murah.

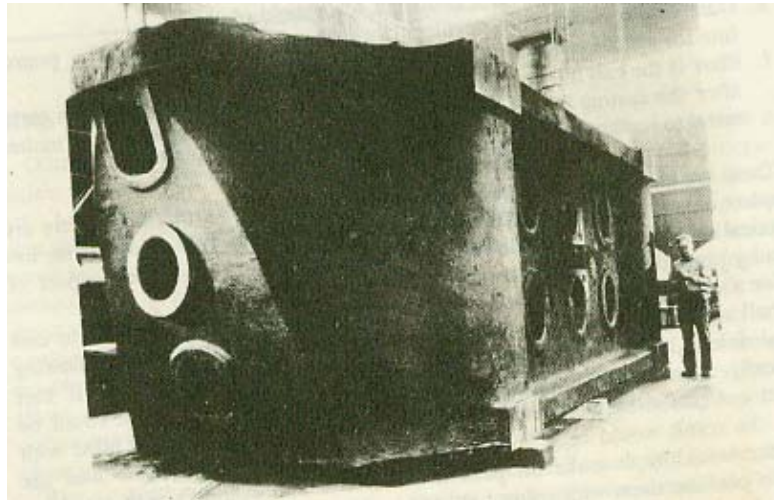
Lalu, bagaimana dengan besi Tuang atau besi cor (Iron Casting) ?

Jawabannya: “Tergantung kebutuhan”..... ?

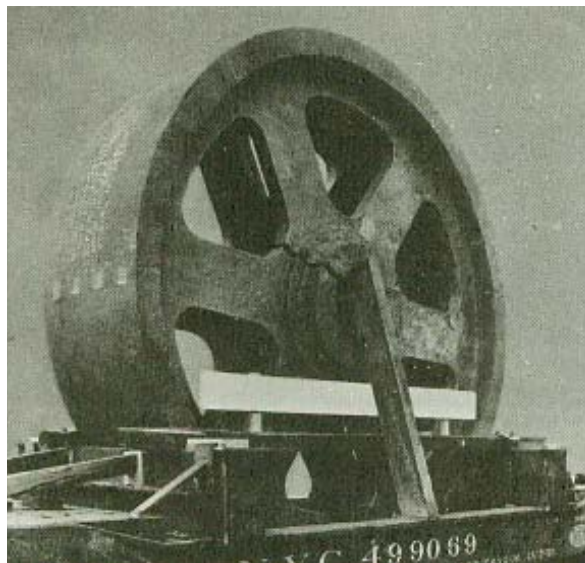
Besi tuang (Iron Casting), baja tuang (Steel Casting) atau jenis material apapun yang akan dibentuk melalui proses penuangan atau pengecoran tentunya sudah menjadi pilihan final, bahwa

pembentukan produk melalui pengecoran merupakan pilihan yang “paling tepat”.

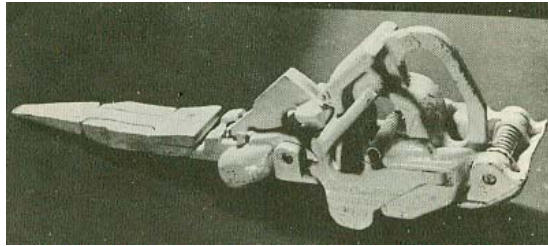
Berbagai produk yang hingga kini pembuatannya masih menggunakan metoda pengecoran dan merupakan satu-satunya yang mungkin untuk dilakukan, antara lain Crankcase, Machine tool bed, brake drum, Cylinder Block, cylinder head dan lain-lain, kendati proses pengecoran bukan proses akhir dan bukan proses yang murah sederhana. Lihat berbagai produk pengecoran berikut ini.



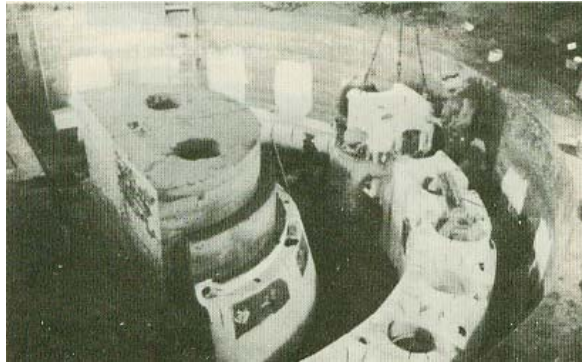
**Gambar 3.9** Potongan atas dari “closed-die forging press” suatu produk tuangan (cross head) yang besar



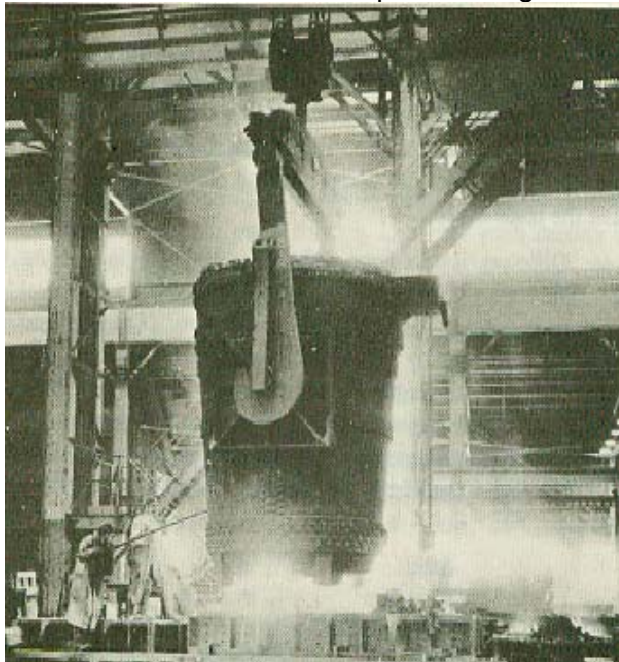
**Gambar 3.10** Steel casting bahan roda gigi



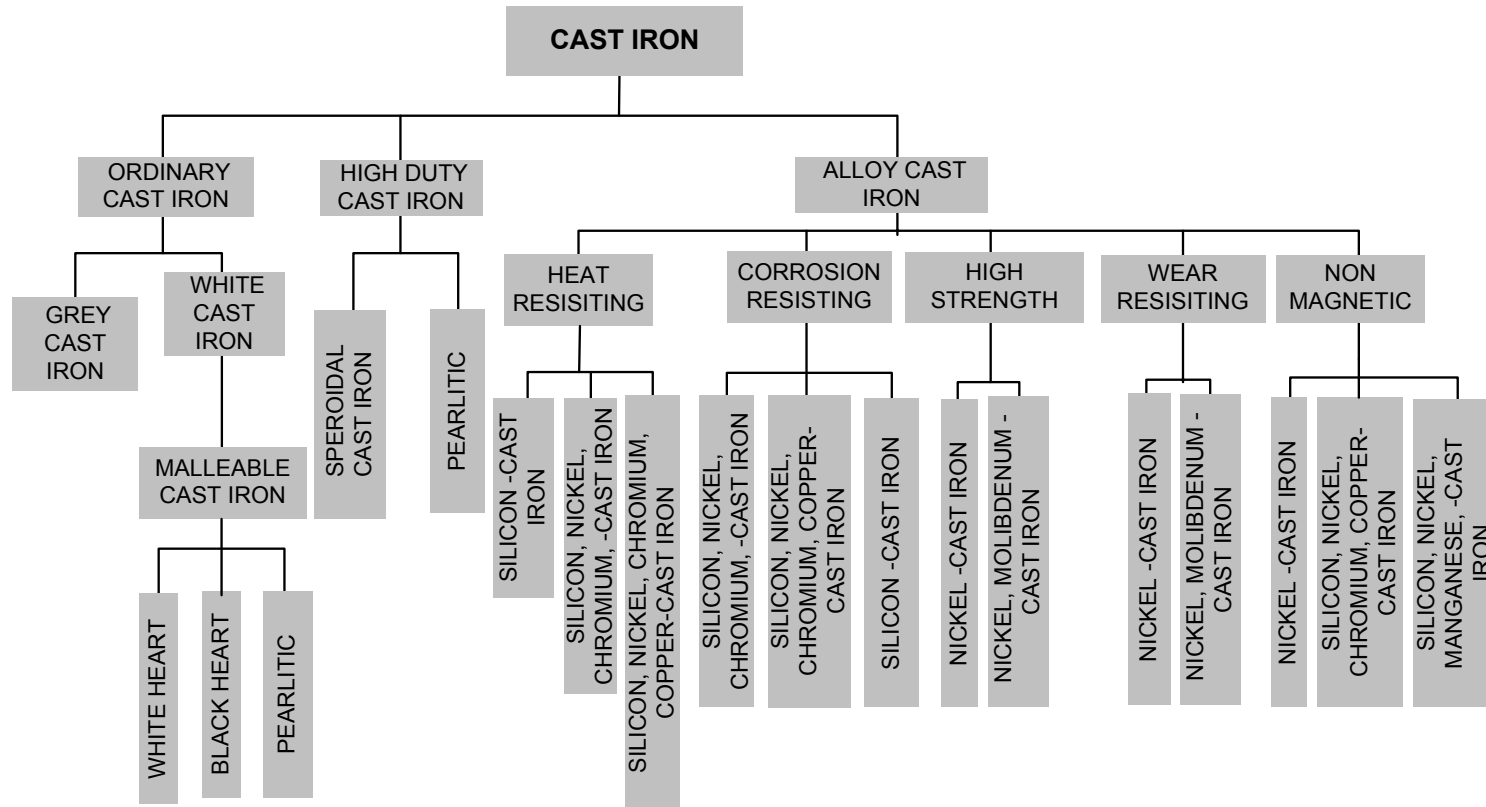
**Gambar 3.11** Contoh bentuk benda tuangan yang kompleks : Railroad car



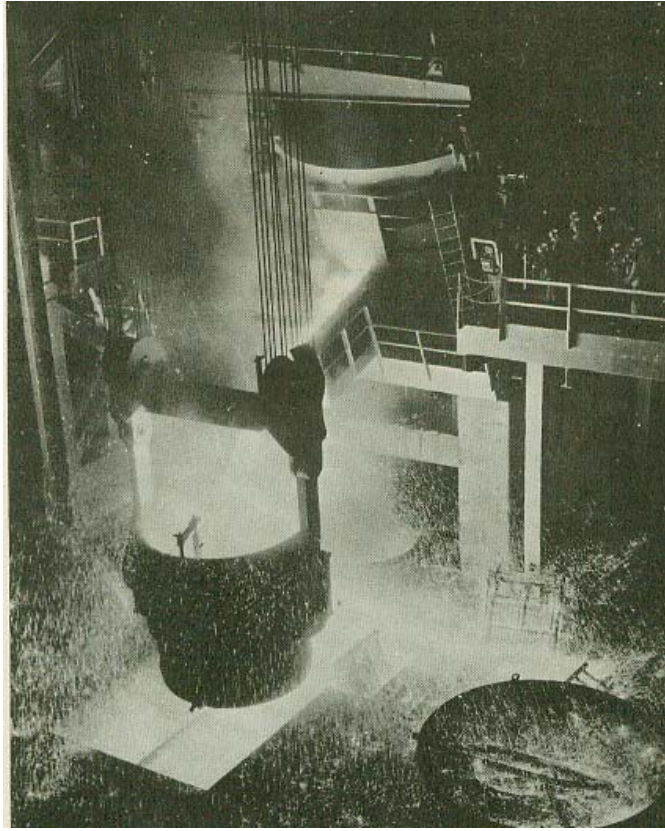
**Gambar 3.12** Penyetelan cor (inti) di dalam pit moulding.



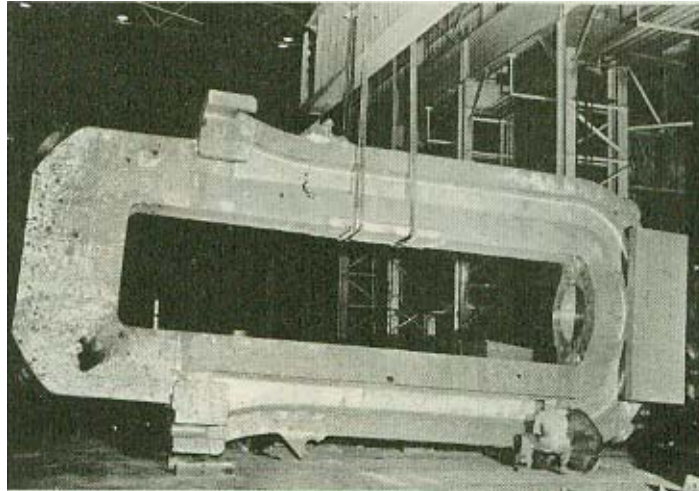
**Gambar 3.13** Penuangan pada pengecoran ukuran besar



Gambar 3.14 Ikhtisar besi tuang



**Gambar 3.15** Penuangan bahan cor seberat 100 ton dari dapur listrik



**Gambar 3.16** Penuangan bahan cor seberat 190 ton

Untuk mengetahui berbagai sifat dan karakteristik dari bahan tuangan akan dibahas pada uraian berikut, dan memungkinkan menjadi dasar pemilihan material dari bahan-bahan tersebut.

## J. Besi tuang putih dan besi tuang kelabu

### 1. Besi tuang Putih (*White Cast Iron*)

Besi tuang putih (*white cast iron*) mengandung kadar silikon rendah, dimana pada saat pemadatan besi carbida membentuk graphite di dalam ikatan matrix. Pada besi tuang non-paduan strukturnya berbentuk pearlite.

Besi tuang putih (*white cast iron*) memiliki angka kekerasan antara 400 hingga 600 HB dengan tegangan tariknya  $270 \text{ N/mm}^2$  dan masih dapat ditingkatkan melalui penurunan kadar karbon sebesar 2,75 sampai 2,9 % menjadi  $450 \text{ N/mm}^2$ . Proses machining untuk besi tuang putih ini hanya dapat dilakukan dengan penggerindaan (*grinding*).

Besi tuang putih (*white cast iron*) digunakan dalam pembuatan komponen mesin gerinda, kelengkapan penghancur, komponen dapur pemanas (furnance) dan lain-lain. Besi tuang putih tidak terdaftar pada british standard. besi tuang putih (*white cast iron*) dapat diberi perlakuan panas (heat treatment) untuk menurunkan angka kekerasannya melalui proses pelunakan (*anealing*), yakni dengan pemanasan pada temperatur  $850^{\circ}\text{c}$  untuk menguraikan free-karbon yang terbentuk karena pendinginan cepat setelah penuangan (pengecoran). Proses ini dilakukan hanya pada kondisi darurat. Sedangkan pengendalian sifat besi tuang putih ini tetap dengan metoda pengendalian pendinginan dengan "*iron chill*" serta *komposisi unsur* bahan tuangan sebagaimana yang telah disebutkan.

### 2. Besi tuang Kelabu (*Grey Cast Iron*)

Besi tuang kelabu (*grey cast iron*) mengandung unsur graphite yang berbentuk serpihan sehingga memiliki sifat mampu mesin (machinability) serta masuk dalam jajaran British Standards, yang membedakan jenis dari besi tuang kelabu ialah nilai tegangannya. Angka kekerasan dari Besi tuang ini ialah antara 155 HB sampai 320 HB tergantung tingkatannya. besi tuang kelabu (*grey cast iron*) digunakan dalam pembuatan *crankcases*, *machine tool bed*, *brake drums*, *cylinder head* dan lain-lain.

Besi tuang kelabu (*grey cast iron*) dapat diberi perlakuan panas (heat treatment) untuk menghilangkan tegangan dalam setelah proses pengecoran yakni dengan "stress relieving" (lihat proses perlakuan panas) dengan memberikan pemanasan lambat

antara 500°C hingga 575°C, dengan holding time sekitar 3 jam diikuti dengan pendinginan secara perlahan-lahan. Proses lain dalam perlakuan panas (*heat treatment*) yang memungkinkan untuk dilakukan pada besi tuang kelabu ini ialah pelunakan (*anealing*), dengan proses ini akan terjadi perbaikan pada strukturnya sehingga dimungkinkan untuk proses machining secara cepat, untuk proses anealing ini dilakukan dengan memberikan pemanasan pada temperatur anealing yakni 700°C dengan waktu pemanasan (holding time) setengah hingga dua jam, dimana akan terbentuk structure pearlite tertutup dalam kesatuan ferrite matrix, namun demikian tingkat kekerasan akan tereduksi sebesar 240 HB sampai 180 HB.

### 3. Besi tuang “Mampu Tempa” (Malleable Cast Iron)

Besi tuang mampu tempa (*Malleable cast Iron*) adalah salah satu jenis besi tuang yang memiliki struktur berwarna putih, dimana memiliki unsur graphite yang sangat halus sehingga distribusi unsur Karbon menjadi lebih merata serta mudah dibentuk. Besi tuang mampu tempa (*Malleable cast Iron*) terdapat dalam 3 bentuk jenis, yakni : *Whitehearth*, *Blackhearth*, dan *Pearlitic* nama-nama ini merupakan istilah sesuai dengan bentuk microstruktur dari besi tuang tersebut.

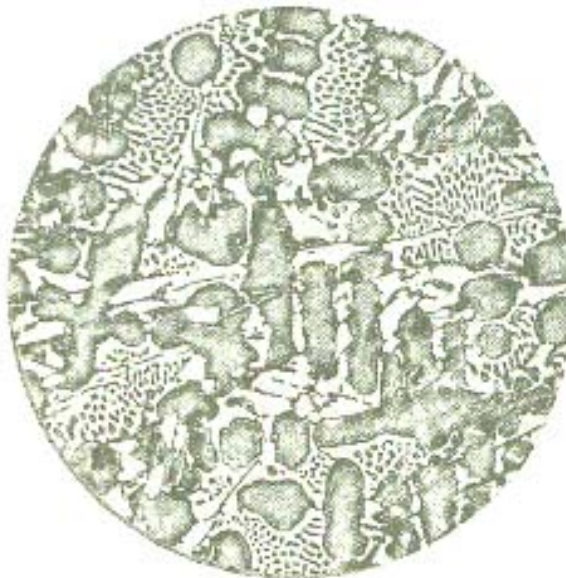
### 4. Whiteheart Malleable Cast Iron

Besi tuang putih (*white cast Iron*) yang dalam keadaan baik ditempatkan didalam kaleng dimana mereka dikelilingi oleh campuran yang tidak berguna dan bagian partikel yang berguna seperti bijih haematite (*haematite ore*), Kaleng ini merupakan wadah yang kemudian akan dimasukan kedalam dapur, selanjutnya dipanaskan secara perlahan-lahan hingga 950°C. Setelah diendapkan didalam dapur ini kemudian dikeluarkan dan didinginkan secara perlahan-lahan dan dikeluarkan dari dalam kaleng lalu dibersihkan dan siap untuk proses macining. Proses ini memberi pengaruh yang berlawanan dari proses carburising untuk surface hardening, dimana unsur karbon akan bergerak secara menyeluruh hanya dari bagian yang tipis. Bagian inti dari bahan yang tebal akan terdiri atas dua unsur yakni unsur pearlite dan beberapa unsur karbon dalam bentuk nodules. microstruktur dari malleable cast iron ini diperlihatkan pada gambar berikut.

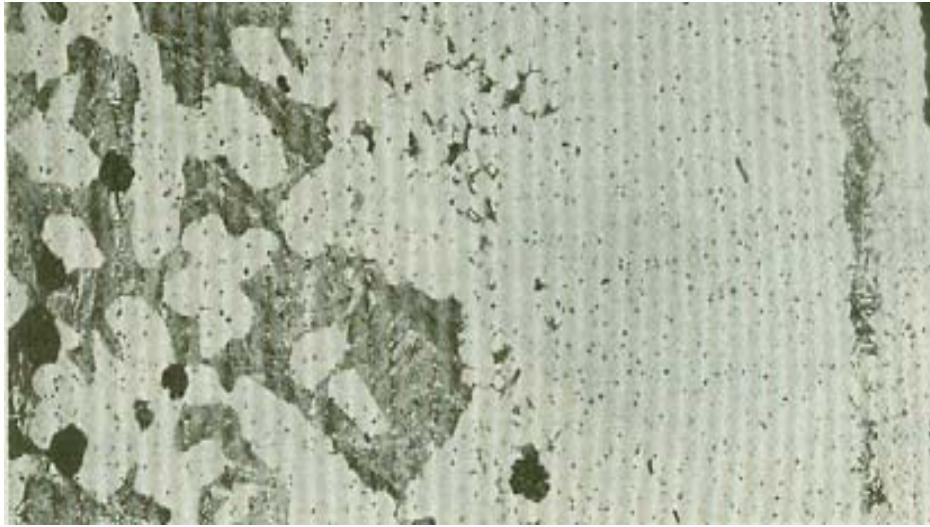




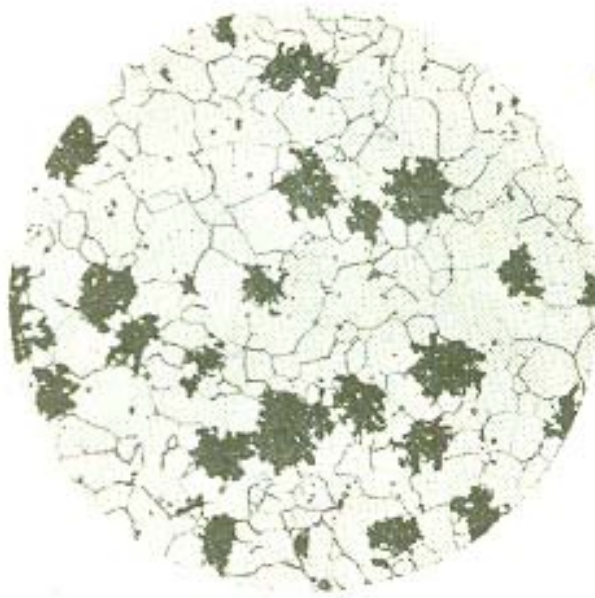
**Gambar 3.17** Grey Cast Iron : Flakes Graphite pada struktur Pearlite



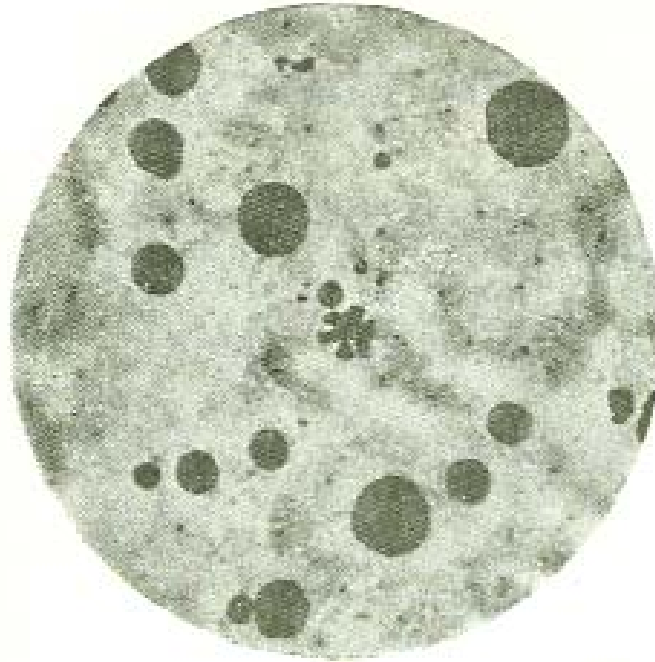
**Gambar 3.18** White Cast Iron Cementite dan Pearlite



**Gambar 3.19** White Malleable Cast Iron Ferrite (putih) dan Pearlite



**Gambar 3.20** Black heart Malleable Cast Iron : Ferrite (putih)



**Gambar 3.21** Black heart Malleable Cast Iron Ferrite (hitam)

Whiteheart malleable cast iron termasuk dalam daftar british standards, yang terdapat dalam dua kelas menurut tegangan tarik dan regangannya. sedangkan angka kekerasannya tergantung ketebalan dan jarak dari permukaan, untuk bahan yang tipis dan bagian permukaan yang tebal mencapai 120 HB dan dapat diingkatkan hingga 220 HB.

Whiteheart malleable cast iron digunakan untuk pembuatan socket rangka sepeda motor, steering column housing, wheel hubs, mesin pertanian, garpu (fork), rem (brake), ulir pengarah (thread guides), mesin textile dan lain-lain.

##### **5. Blackheart Malleable Cast Iron**

Blackheart malleable cast iron dibuat hampir sama dengan yang dilakukan dalam pembuatan whiteheart malleable cast iron akan tetapi decarburisasi selama dalam proses perlakuan panas harus terlindungi atau terhindar dari kemungkinan pengeluaran udara dari dalam kotak carburisasi oleh karena itu kotak dibuat dari bahan yang neutral dan dilengkapi dengan pendukung benda tuangan

tersebut. Proses ini akan mengakibatkan terurainya bentuk struktur cementite, dimana pengembangan susunan unsur karbon di dalam ferrite matrix. besi tuang yang diberi perlakuan ini ialah besi tuang yang mengandung unsur karbon di atas 2,4 % dengan perhatian khusus terhadap jumlah komposisi pada saat peleburan.

Blackheart malleable cast iron terdaftar dalam british standar dengan grade sesuai dengan angka tegangan serta prosentase pertambahan panjangnya. Blackheart malleable cast iron tidak sebaik whiteheart cast iron dalam sifat castability karena kandungan unsur karbon lebih rendah.

Blackheart malleable cast iron digunakan dalam industri automotive serta berbagai kedaraan commercial dimana secara kuantitas blackheart malleable cast iron berifat castability, tahan getar (shock resistance), mudah dalam pemesinan (machinability), umumnya digunakan dalam produk rear axle housing, wheel hubs, differential carriers, juga pedal, tuas komponene rem, axle box, coupling part serta berbagai alat pertanian, perkereta apian dan lain-lain.

## **6. Pearlitetic Malleable Cast Iron**

Pearlitetic malleable cast iron dibuat dengan bahan whiteheart malleable cast iron melalui proses perlakuan panas (heat treatment) sebagaimana dalam pembuatan blackheart malleable cast iron. Pearlitetic matrix dipeoleh dari ferritic matrix. pearlitetic matrix terbentuk dengan meningkatkan kadar manganese hingga 1% dimana manganese merupakan elemen pengikat carbide secara stabil dan membentuk pearlite yang terarah kepada proses perlakuan panas konvensional untuk blackheart malleable cast iron, atau oleh pemanasan ferritic blackheart malleable cast iron. yakni pemanasan pada temperatur 850<sup>0</sup>c dan quenching udara atau oli serta diikuti dengan tempering. Sebagai alternatif white cast iron dengan komposisi yang sama dapat digunakan sebagai bahan pembuatan blackheart malleable cast iron dengan quenching udara yang diikuti dengan tempering, namun metoda ini bukan merupakan proses malleabilising. Semua proses yang dilakukan untuk mencapai matrix setara baja. Kelebihan unsur karbon dapat diatasi dengan proses tempering sesuai dengan kebutuhan. proses heat treatment dapat mengubah bentuk susunan atom (matrix) dan merangsang decomposition produk austenite dengan variasi bentuk struktur dari lamellar pearlite atau spheroidite carbides, sebagaimana proses tempering struktur martensite pada baja (steel).

Pearlitic malleable cast iron terdaftar pada British standards dalam dua grade menurut sesuai dengan angka tegangan serta prosentase pertambahan panjangnya. Pearlitic malleable cast iron dapat dikeraskan dengan metoda flame dan induction hardened yang dapat memperbaiki sifat mekaniknya secara menyeluruh. perkembangan penggunaan pearlitic malleable cast iron semakin meningkat terutama bahan produk yang tahan guncangan (shock resistance), secara spesifik digunakan sebagai axle dan differential housings, cam shaft dan gear.

## 7. High duty Cast Iron

Besi tuang kelabu grey cast iron dapat dikembangkan dengan penghalusan besi mentah melalui penambahan sejumlah besar baja tua (scrap) didalam dapur cupola. Perubahan bentuk graphite terjadi selama perlakuan panas, atau dengan bahan-bahan tambahan.

## 8. Spheroidal Graphite Cast Iron

Spheroidal graphite cast iron dibuat dari unsur besi dengan penambahan magnesium atau cerium, dengan demikian maka bentuk dari graphite akan berubah. Tuangan spheroidal graphite cast iron dipanaskan pada temperatur 900<sup>o</sup>c selama beberapa jam, unsur karbon akan memecah diri, proses pendinginan akan mengubah sebagian besar bentuk struktur logam menjadi ferritic spheroidal graphite cast iron.

Spheroidal graphite cast iron memiliki sifat mekanik antara besi tuang kelabu (*grey cast iron*) dengan baja. Hal ini dikarenakan besi lebih rendah kadar karbonnya dari pada besi tuang kelabu (*grey cast iron*) oleh karena itu perubahan partikel kedalam bentuk dari graphite akan memberikan penguatan terhadap sifat dari spheroidal graphite.

Dengan demikian sifat dari besi tuang ini dapat dibengkok untuk menghilangkan terak dan distorsi.

Spheroidal graphite cast iron dapat dikerjakan dengan pemesinan secara basah maupun kering, dapat dilas dengan teknik normal dan diberi pelapisan dengan lapisan tembaga (copper) atau chromium untuk tahan korosi (wear resistance). Spheroidal graphite cast iron terdaftar pada British standard dalam dua grade menurut sesuai dengan angka tegangan serta prosentase pertambahan panjangnya.

Ferritic spheroidal graphite cast iron lebih ulet (ductile) dan pearlitic spheroidal graphite cast iron lebih kuat. Spheroidal graphite cast iron secara luas digunakan dalam industri komponen automotive seperti crank shaft, brake drums, transmission casting dan lain-lain.

## 9. Pearlitic Cast Iron

Pearlitic cast iron dibuat dengan memberikan bahan tambah sejumlah calcium silikat yang has dari pearlitic cast iron ialah produk dengan nama *meehanite* , memiliki struktur dasar pearlite secaramikroskopoc dapat digambarkan bentuk *graphite flakes* yang halus. *meehanite* memproduksi sesuai dengan permintaan untuk pekerjaan besar memiliki tegangan yang bervariasi antara 210 hingga 590 N/mm<sup>2</sup>.

## 10. Besi tuang Paduan (Alloy Cast Iron)

Untuk memenuhi kebutuhan sifat yang khusus, sejumlah besar unsur paduan ditambahkan ke dalam besi tuang, secara umum terjadi persenyawaan kimia pada semua unsur dan memberikan pengaruh terhadap besi tuang sebagaimana terjadi pada baja paduan, dan yang berpengaruh sangat besar ialah prosentase kadar karbon terutama pada ukuran ketebalan dari benda tuangan itu sendiri yang memerlukan pengendalian pendinginan. Pemberian unsur paduan pada besi tuang bertujuan untuk memperbaiki sifat dari besi tuang tersebut yang meliputi sifat mekanik, sifat phisic dan sifat kimianya seperti peningkatan tegangan, kekerasan, ketahanan korosi, respon terhadap perlakuan panas, dan sifat-sifat lain yang lebih spesifik.

## K. Pengaruh-pengaruh unsur paduan pada besi tuang.

### 1. Nikel (Ni)

Nikel merupakan salah satu unsur penting sebagai unsur paduan pada besi tuang yang berpengaruh kompleks terhadap sifat besi tuang tersebut antara lain sebagai berikut :

- 1) Memiliki kecenderungan untuk meningkatkan graphitisasi dan mampu mengimbangi pemakain "*iron chill*" pada ukuran tebal benda, pengaruh graphitisasi lebih besar pada besi tuang putih (*white cast iron*) dibanding besi tuang kelabu (*grey cast iron*).
- 2) Besi tuang berada pada lower temperatur eutectoid yang memungkinkan dilakukan pengerasan tanpa keretakan. Penambahan nikel lebih dari 2% dapat dikeraskan dengan quenching oli dan jika penambahannya hingga 4% dapat pula dikeraskan namun dengan quenching udara, akan tetapi bila kadar nikel mencapai 6% maka besi akan sangat keras dan menghasilkan benda tuangan yang sulit dilakukan machining. Besi tuang dengan kadar nikel 15% berada pada lower temperatur eutectoid dengan struktur austenite.

- 3) Untuk meningkatkan keseragaman kelebihan tebal bahan dari bagian bentuk benda tuangan dan mempermudah proses machining melalui pencegahan titik kekerasan.

## 2. Chromium (Cr)

Chromium (Cr) merupakan salah satu komponen unsur paduan yang mampu mengendalikan carbide secara stabil serta mengatasi pengaruh unsur silikon (Si). Chromium (Cr) juga meningkatkan kekerasan besi tuang dari kelompok besi tuang putih biasa tanpa menimbulkan kerapuhan. Chromium (Cr) digunakan sebagai unsur paduan dari besi tuang putih dan jika digunakan bersama dengan nikel akan membentuk struktur austenite.

## 3. Molybdenum (Mo)

Pemakaian molybdenum hingga 1% pada besi tuang ditambah dengan unsur Nikel akan menghasilkan acicular atau struktur yang berbentuk jarum (needle matrix) dimana besi tuang akan memiliki sifat tegangan tarik yang baik serta ketahanan terhadap pembebanan tiba-tiba.

## 4. Copper (Cu)

Penambahan sedikit unsur tembaga ke dalam larutan padat dari besi akan menghasilkan besi tuang yang tahan terhadap korosi atmosfer (atmospheric Corrosion).

## L. Macam-macam Besi tuang Paduan (Alloy Cast Iron) yang penting

### 1. Heat resisting Cast Iron

Bila besi tuang biasa digunakan pada temperatur tinggi maka besi tuang ini akan menderita dengan berkembangnya struktur atom cementite yang membelah diri kedalam bentuk ferrite dan graphite yang menempati ruangan cementite, pengembangan ini mengakibatkan distorsi sehingga terjadi bending dan keretakan.

**Table 3.1 Low temperatur cast Iron**

Jenis bahan	Temperatur
Besi Tuang kelabu (grey Cast-Iron)	s/d 20 <sup>0</sup> C
Baja Karbon Rendah (low Karbon Steel)	25 <sup>0</sup> C – 46 <sup>0</sup> C
Baja Tuang dengan 2,5% Ni	46 <sup>0</sup> C – 73 <sup>0</sup> C
Baja Tuang dengan 3,5% Ni	73 <sup>0</sup> C – 100 <sup>0</sup> C
Baja Tuang dengan 18% CrNi Bronz	100 <sup>0</sup> C – 196 <sup>0</sup> C

**Silal** merupakan besi tuang paduan (Alloy Cast Iron) yang dikembangkan oleh British Cast Iron Research Association, paduan ini terdiri atas 5% silikon yang mendorong kuat pembentukan graphite dengan struktur graphite halus di dalam matrix ferrite, sehingga cementite akan berkembang dengan pengaruh pemanasan. *Silal* mengandung kadar karbon sebesar 2%.

#### ***Nicro-Silal (B.C.I.R.A)***

Merupakan besi tuang paduan yang sangat mahal dimana mengandung 4% silikon, 18% nikel, 3% chromium dengan hanya terdiri atas 2% karbon dengan struktur utamanya adalah austenite dan sedikit carbide serta butiran graphite.

#### ***Ni-Resisting (International Nickel Co.(Mond) Ltd.)***

Besi tuang paduan dengan kandungan silikon 2%, nikel 14%, chromium 1%, copper 7%, dan dengan hanya 2% karbon. memiliki struktur austenite dengan unsur graphite, sangat keras dan digunakan sebagai alat potong, dapat dilas dengan mudah dengan penambahan batang pengisi.

### **2. Corrosion resisting Cast Iron**

Merupakan besi tuang yang memiliki sifat khusus yakni sifat ketahanannya terhadap korosi, besi tuang ini mengandung 14% Silikon, dimana juga tahan terhadap asam (*Acid-resisting irons*) sangat rapuk serta sulit dalam pekerjaan mesin.

### **3. High strength Cast Iron**

Dengan penambahan unsur nikel sebesar 1 sampai 1,5% akan meningkatkan tegangan pada besi tuang ini. Demikian pula dengan penambahan 2,5% nikel, dan diatas 1% molybdenum serta 3% karbon akan menghasilkan besi tuang pearlitic yang memiliki tegangan tarik dan tegangan impact yang tinggi namun mudah dikerjakan dengan mesin dan merupakan baja alternatif yang dapat digunakan dalam pembuatan *crank shaft* dan *cam shafts*.

### **4. Wear resisting Cast Iron**

#### ***Besi keras kelabu (Hard Grey Iron)***

Besi keras kelabu (high grey iron) dengan komposisi 2,5% nikel, 3% karbon serta 1% silikon memiliki tegangan dan angka kekerasan yang tinggi dan mudah dikerjakan dengan mesin.



#### *Martensitic Grey Iron*

Besi kelabu martensitic ini diperoleh dengan meningkatkan kadar nikel nya di atas kadar karbon hingga 5% sehingga menghasilkan struktur martensite, dengan demikian kekerasannya akan meningkat namun sulit dalam pengerjaan mesin.

#### *Nikel white Iron.*

Logam putih ini mengandung 1,8% nikel dan 8% chromium, 3% karbon dan 0,5% silikon. Dengan penurunan kada silikon dan meningkatkan chromium akan menghasilkan besi tuang dengan tingkat kekerasan tinggi namun sulit dikerjakan dengan mesin.

#### *Ni-Hard (International Nickel Co.(Mond) Ltd)*

Besi tuang ini sama dengan atau lebih tinggi dari white iron akan tetapi dengan peningkatan unsur nikel hingga 4,5% serta chromium 1,5% menjadikannya carbide yang keras dengan struktur martensite. Angka kekerasannya sangat tinggi dan pemesinan hanya dapat dilakukan dengan penggerindaan, perlakuan panas dapat dilakukan tanpa kehilangan tegangannya, tidak direkomendasikan untuk pengelasan.

### **5. Non Magnetic Cast Iron**

Semua besi tuang austenitic adalah non-magnetic. besi tuang paduan (alloy cast iron) disebut “nomag” dikembangkan oleh ferranti limited yang digunakan pada industri kelistrikan. Nomag berisi 11% nikel, 6% manganese, 1,5% silikon dan dengan 3% karbon. manganese bersifat seperti nikel, dengan temperatur di bawah eutectoid nikel menghasilkan struktur austenite.

Jika kadar nikel ditingkatkan antara 33% sampai 38% maka ekspansi rendah dari besi tuang akan menghasilkan produk yang sama dengan “ivar”, namun apabila nikel lebih tinggi dari yang diharapkan oleh struktur austenite maka besi tuang akan kembali bersifat magnetic. Besi tuang ini dapat digunakan dalam berbagai jenis produk.

## Rangkuman

Besi tuang (cast Iron) ialah paduan dari besi dengan lebih dari 1,7 %, atau antara 2,4 hingga 4 %, karbon

Proses produksi benda-benda tuangan dilakukan dengan terlebih dahulu meleburkan Besi mentah (pig Iron) didalam dapur peleburan (*Cupola Furnance*).

3 type dapur peleburan yang dapat kita gunakan, yaitu :dapur udara, atau dapur api (reverberatory furnance),dapur putar (rotary furnance) dan dapur listrik (electric furnance)

Dapur cupola merupakan dapur peleburan yang memiliki prinsip kerja serta konstruksinya sama dengan dapur tinggi

Selain kokas sebagai bahan bakar pada dapur cupola ini juga digunakan oli atau gas.

Unsur Karbon didalam besi tuang terjadi dalam proses pendinginan secara perlahan-lahan

Struktur besi tuang yang menyerupai baja, disebut sebagai besi putih (white Iron), besi ini sangat keras dan rapuh (brittle). bila unsur karbon ini hanya merupakan karbon bebas dan tidak terjadi senyawa kimia antara ferrite dengan karbon yang membentuk grafit dengan volume yang banyak maka warna struktur menjadi lebih gelap atau kelabu, maka besi ini disebut sebagai besi kelabu (grey iron).

Chill ialah logam yang dipasang pada cetakan yang memiliki bentuk rumit serta ketebalan yang bervariasi, dengan demikian maka pemaangan chill pada bagian yang besar (tebal) maka kecepatan pendinginan akan merata dan dihasilkan struktur yang seragam.

Besi tuang dibedakan dalam beberapa jenis yakni besi tuang puti dan besi tuang kelabu, besi tuang mampu tempa , malleable cast iron, blackheart malleable cast iron, pearlitetic malleable cast iron, high duty cast iron, spheriodal graphite cast iron, pearlitic cast iron dan besi tuang paduan (alloy cast iron)

Macam-macam besi tuang paduan (alloy cast iron) yang penting ialah heat resisting cast iron, corrosion resisting cast iron, high strength cast iron, wear resisting cast iron dan non magnetic cast iron

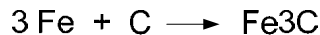
**Soal-soal :**

1. Jelaskan apakah yang anda ketahui tentang Besi tuang ?
2. Apakah alasan sehingga besi tuang dapat diterapkan dalam pemenuhan kebutuhan bahan dengan kualitas tinggi ?
3. Apakah sifat istimewa dari pembentukan benda melalui penuangan dibanding dengan proses lain ?
4. Bagaimanakah prinsip dasar pembentukan benda kerja melalui pengecoran (penuangan) ?
5. Sebutkan 3 jenis dapur peleburan yang digunakan dalam proses pengecoran ?
6. Apakah perbedaan antara dapur tinggi dengan dapur kupola ?
7. Faktor apakah yang mempengaruhi pembentukan Carbon pada besi tuang?
8. Jelaskan, bagaimanakah cara-cara pengendalian struktur pada besi tuang ?
9. Sebutkan alasan penting pemilihan metoda pengecoran (penuangan) untuk pembentukan benda kerja !
10. Sebutkan beberapa jenis besi tuang yang dapat diperoleh dan jelaskan masing-masing sifat dan karakteristiknya!

## BAB IV PEMBENTUKAN LOGAM PADUAN

### A. Berbagai alasan pembentukan logam paduan

Sebagaimana telah dibahas pada uraian-uraian terdahulu bahwa “besi” merupakan salah satu jenis bahan teknik yang dominan digunakan sebagai bahan baku produk dan berbagai sifat yang dibutuhkan oleh suatu produk tertentu dapat dipenuhi oleh bahan logam, namun demikian apabila kita tinjau kembali pernyataan tersebut, kebutuhan bahan untuk suatu produk yang mempersyaratkan berbagai kualitas sifat dan karakteristiknya belum tentu dapat dipenuhi oleh satu jenis “besi” saja, sebenarnya untuk memenuhi kebutuhan bahan teknik sebagai bahan baku produk dari bahan logam “tidak cukup tersedia”, jika setiap bagian produk dipilih dari satu jenis logam. Sebagai contoh; pada saat ini sudah ada “baja” atau steel, dan kita sudah menggunakan baja sebagai bahan baku produk yang kita kehendaki. Padahal baja itu sendiri sedikitnya terdiri atas 2 unsur bahan, yakni ferrite dan karbon, ferrite saja tidak dapat digunakan disamping memang tidak tersedia dalam keadaan murni, kendati ada belum tentu memenuhi syarat yang kita inginkan. *Pada larutan padat dari unsur ferite mengandung 0,006% karbon pada temperatur ruangan dan akan meningkat hingga 0,03 % jika dipanaskan hingga 725<sup>o</sup>C.* Jadi besi dan karbon merupakan dua unsur dalam keadaan senyawa maupun dalam keadaan bebas sulit untuk dipisahkan, dengan persamaan kimianya adalah :



Maka jumlah karbon yang bersenyawa dengan besi, ialah 3 atom Fe dengan 1 atom C, berdasarkan berat atomnya dapat dihitung sebagai berikut :

Berat atom Fe = 56, dan berat atom C = 12 dengan persamaan :

$$\begin{aligned} & 3 \text{ Fe} + \text{ C} \longrightarrow \text{ Fe}_3\text{C} \\ & = 3 \times 56 : 1 \times 12 = 168 : 12 \\ & \frac{12}{168 + 12} \quad \times 100 \% = 6,7 \% \end{aligned}$$

Senyawa besi karbon ini yang disebut *baja*.

*Mengapa baja menjadi bahan utama yang digunakan sebagai bahan Teknik?*

Dilihat dari komposisi unsur mineral yang terdapat di dalam lapisan perut bumi, besi (Iron) berada pada urutan kedua terbesar yakni sebesar 5%. (gambar 2.2 : Diagram kandungan unsur logam di dalam perut bumi).

Pada pembahasan sebelumnya memperlihatkan bahwa berbagai sifat yang unggul dibanding dengan logam lainnya (non-ferro) seperti sifat mampu las (*weldability*). Kendati demikian tidak kurang pula kelemahan-kelemahannya, misalnya logam ferro sangat mudah teroksidasi sehingga bersifat *corrosive*. Oleh karena itulah sistem paduan menjadi sangat penting, dimana persenyawaan dari suatu unsur dengan unsur lainnya akan menghasilkan sifat yang berbeda dari sifat asalnya, dengan demikian proses ini merupakan suatu metoda yang digunakan sebagai salah satu cara untuk memperbaiki sifat logam atau bahan-bahan pada umumnya.

## **B. Dasar-dasar pencampuran dalam persenyawaan logam**

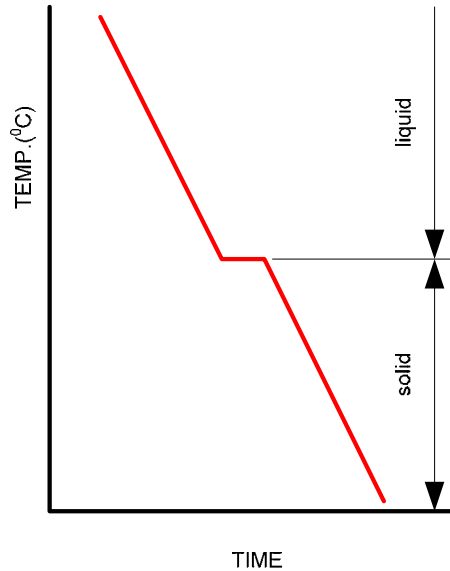
Pemilihan dan penentuan macam-macam unsur yang akan digunakan sebagai unsur paduan dianalisis sesuai dengan kebutuhan sifat bahan yang diinginkan serta kemungkinan terjadinya larutan berbagai unsur tersebut baik dalam persenyawaan kimia atau pun dalam bentuk campuran, dimana proses pencampurannya dilakukan dalam keadaan terurai (*cair*), sehingga menghasilkan larutan unsur paduan yang homogen.

Pemilihan bahan paduan yang tidak tepat dari suatu unsur paduan baik jenis maupun jumlahnya, walaupun terjadi larutan, unsur tersebut akan larut dalam keadaan bebas dalam bentuk partikel-partikel hingga pembekuan pada temperatur ruangan. Jika partikel dari unsur-unsur ini memiliki prosentase jumlah yang relative besar maka akan mereduksi atau mempengaruhi sifat akhir dari bahan paduan yang kita kehendaki. Walaupun pada kondisi tertentu keadaan partikel bebas ini juga diperlukan apabila dikehendaki sifat *free-cutting* dari bahan tersebut, seperti *lead* dan *brass* ke dalam baja paduan, *tellurium* ke dalam paduan tembaga.

Persenyawaan unsur-unsur dalam paduan logam juga dipengaruhi oleh proses pendinginan yang mengakibatkan pembekuan dari paduan ini. Namun yang perlu diperhatikan dalam pemilihan unsur sebagai bahan paduan antara lain :

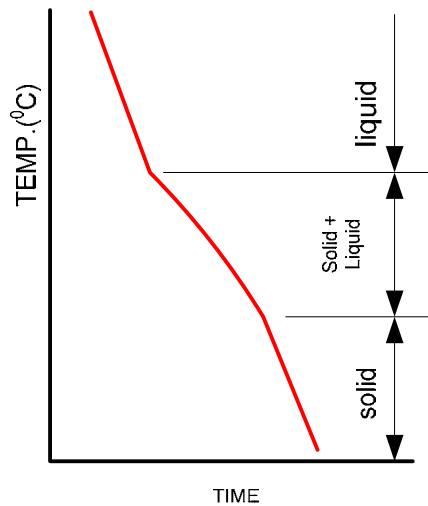
- Pengaruh unsur paduan serta prilakunya selama pemadatan
- Perubahan struktur selama pendinginan hingga temperatur ruangan serta struktur yang dihasilkannya.

Diagram 4.1 berikut memperlihatkan proses perubahan yang terjadi pada larutan padat suatu logam murni, dimana proses pendinginan mengakibatkan terjadinya perubahan larutan padat ke dalam bentuk padat pada temperatur tertentu.



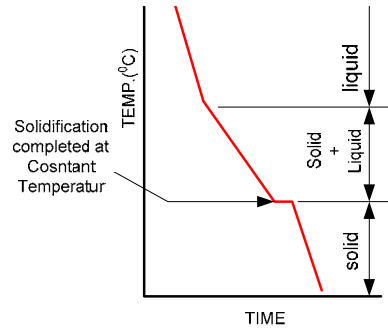
Perubahan yang terjadi dari sebuah larutan padat ke dalam keadaan padat secara keseluruhan, ditunjukkan pada diagram sebagai titik tangkap peralihan antara penurunan suhu larutan serta waktu yang dibutuhkan. Gambar 4.1 Diagram yang memperlihatkan perbandingan antara temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pematatan

Gambar 4.1



Curva pendinginan menunjukkan proses pematatan secara gradual selama pergantian temperatur dari bahan paduan. Gambar 4.2 adalah Diagram yang memperlihatkan perbandingan antara temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pematatan

Gambar 4.2



Proses pematatan dari unsur paduan terjadi secara penuh dengan penurunan temperatur secara konstan.

Diagram perbandingan antara temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pematatan diperlihatkan pada gambar 4.3

**Gambar 4.3**

Jika pendinginan pada sejumlah paduan yang berbeda secara proporsional dari pilihan yang sama, akan terlihat pengaruh perbedaan tersebut pada saat awal terjadinya temperatur pematatan hingga pematatan itu berakhir.

Pada gambar diagram 4.3 diperlihatkan garis yang menghubungkan titik dimana setiap unsur paduan berhenti dan masuk pada daerah larutan cair, garis ini yang disebut sebagai garis liquidus (*liquidus line*) dan garis yang menghubungkan titik dimana terjadinya proses pematatan dari awal terjadinya pematatan hingga berakhirnya proses pematatan tersebut, disebut sebagai garis solidus (*solidus line*). Bentuk Solidus line dan Liquidus line merupakan dasar dari diagram keseimbangan panas (*Thermal-Equilibrium-Diagram*) yang memperlihatkan perubahan larutan dan struktur dari setiap unsur melalui pendinginan lambat dan terjadi perubahan hingga perubahan tersebut berakhir.

**C. Struktur larutan padat dari bahan paduan dan perubahannya dalam proses pendinginan hingga mencapai temperatur ruangan.**

Perubahan Struktur pada bahan paduan terdiri dari phase tunggal, serta phase campuran, dimana phase adalah bagian dari perubahan sistem kimia untuk menghasilkan paduan dengan karakter khusus bergantung pada komposisi dan temperatur pendinginannya. Phase berada selama pendinginan dan pada temperatur ruangan serta tergantung pula pada perilaku susunan unsur-unsur lainnya. Perilakunya Struktur logam paduan pada temperatur ruangan dapat diklasifikasikan ke dalam :

- Larutan padat penuh
- Bukan larutan padat
- Larutan padat terbatas
- Membentuk formasi antar campuran bahan logam.

### 1. **Persenyawaan penuh dalam larutan padat**

Ketika paduan berada dalam keadaan cair (*liquid*) atom logam yang tersusun akan menyebar dan membentuk larutan cair (Liquid solution), dan ketika proses pemadatan terjadi, atom-atom akan menyusun diri, susunan atom ini yang disebut *space lattice*. Atom-atom yang tersusun dan berukuran sama akan mengambil tempat dari susunan atom lainnya pada *space-lattice*. Ini akan menghasilkan *single phase*. Jika dilihat secara *microscopic* ini tidak mungkin menemukan susunan dari paduan sebelumnya dimana *microstrukturnya* akan menyerupai logam murni. Sedangkan larutan padat juga akan tetap ada dimana dihasilkan dari susunan atom yang memiliki ukuran sama dan ini yang disebut larutan padat pengganti.

### 2. **Tidak terjadi persenyawaan dalam keadaan padat**

Pada kasus yang jarang terjadi dimana susunan paduan tidak membentuk larutan dan setiap butiran terdiri atas lapisan dari setiap logam murni. Bahan ini tidak termasuk paduan yang memenuhi syarat sebagai bahan teknik.

### 3. **Terjadi batas persenyawaan dalam keadaan padat**

Sangat sering terjadi dalam pembentukan logam paduan terjadi batas persenyawaan satu dengan yang lainnya. Hal ini terjadi jika sejumlah kecil dari logam ditemukan terbentuk larutan padat, tetapi sebagian diantaranya melapisi batas dari kedua bagian larutan padat tersebut.

### 4. **Membentuk formasi antar campuran bahan logam**

Pada logam tertentu akan terbentuk dari campuran antar logam, dua jenis logam memiliki *velensi normal* sangat rendah rendah dan terbentuk seperti campuran, atau berada pada perbandingan yang sama pada setiap molekul serta jumlah atom dari setiap molekul tersebut. Hal ini merupakan campuran antar logam, sifatnya sangat keras dan rapuh dan tidak memenuhi syarat kebutuhan bahan.

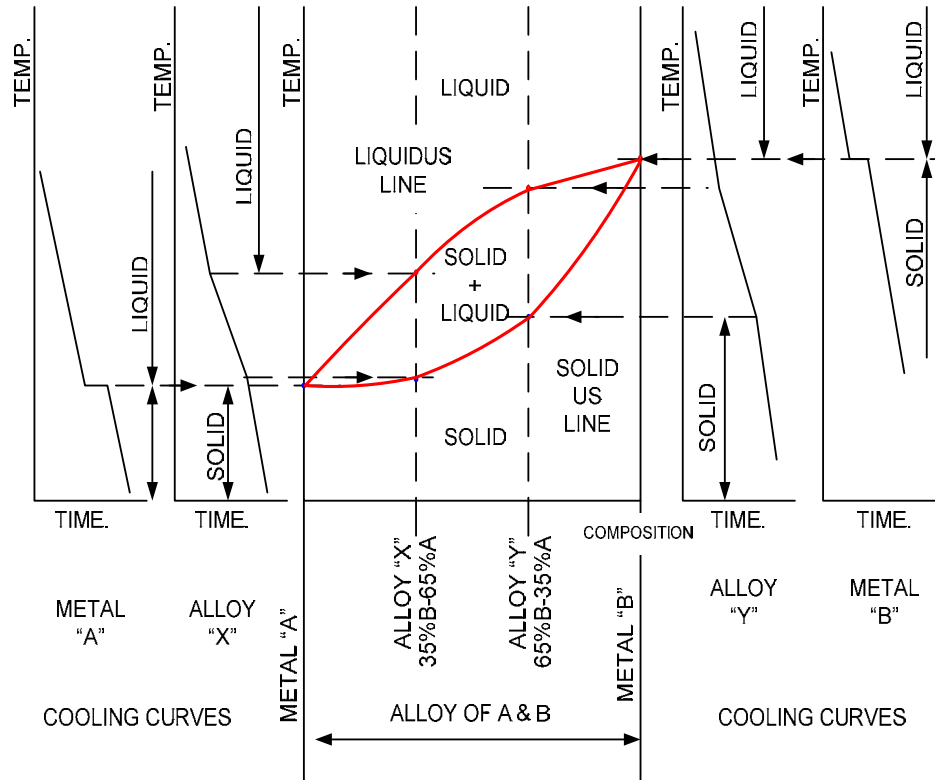
## D. **Diagram keseimbangan thermal**

Diagram keseimbangan thermal merupakan sistem yang menunjukkan indikasi perilaku dari unsur paduan paduan selama proses pemadatan serta perubahan bentuk struktur sebagai hasil dari pendinginan lambat dalam keadaan padat.

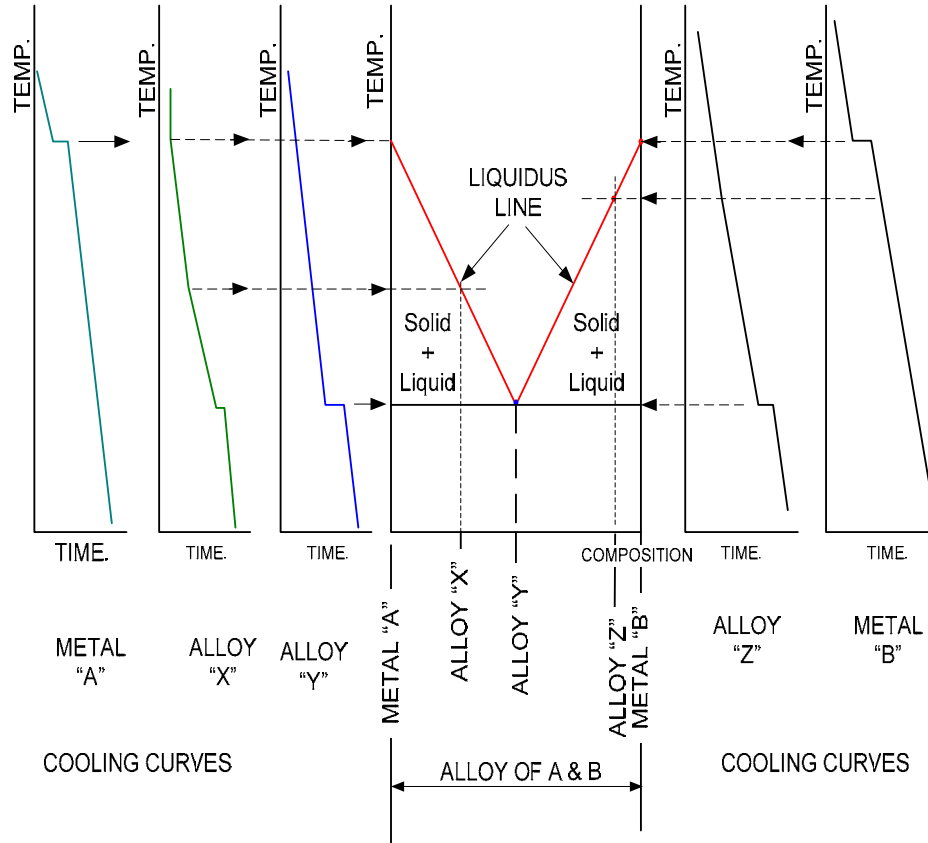


Perilaku dua unsur paduan (untuk paduan yang terdiri dari dua jenis logam) akan sangat mudah diperlihatkan melalui diagram ini, akan tetapi untuk paduan yang kompleks memerlukan metoda tiga dimensi dan lebih rumit, jadi dalam hal ini hanya diperlihatkan diagram keseimbangan untuk paduan yang hanya terdiri atas dua unsur paduan sebagai bahan pemahaman tentang karakteristik logam paduan yang digunakan sebagai bahan teknik serta proses perlakuan panas pada beberapa jenis paduan.

Paduan dapat dikelompokkan berdasarkan prilakunya terhadap paduan lain, Diagram keseimbangan thermal menunjukkan hubungan setiap kelompok paduan pada bentuk yang sama (lihat gambar 4.4)



**Gambar 4.4** Diagram keseimbangan thermal untuk logam "A" dan logam "B"



**Gambar 4.5** Diagram keseimbangan thermal untuk Logam "A" dan Logam "B"

**E. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat**

Terjadi dua phase pada sistem ini yakni larutan cair dan larutan padat, pada diagram keseimbangan diperlihatkan dua bidang single phase dipisahkan oleh bidang double phase garis liquidus dan garis solidus juga terjadi perubahan dalam komposisi larutan cair dan larutan padat dari masing-masing paduan tersebut.

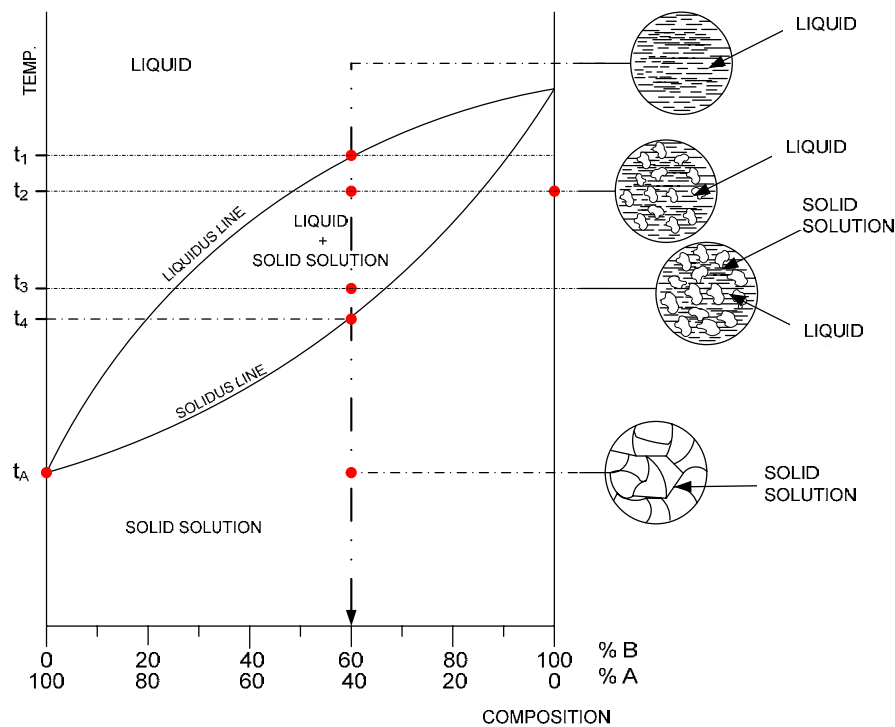
Pada diagram ini menunjukkan bahwa proses pematatan terjadi pada logam B sebesar 60% dan logam A sebesar 40% , dimana pematatan pada paduan ini diperlihatkan dengan garis bantu vertical yang memotong garis liquidus dan garis solidus (lihat gambar 4.6).

Apabila temperatur dari larutan cair turun ke posisi  $t_1$  proses pematatan dimulai dimana partikel pertama terbentuk dari larutan padat yang terdiri dari 93% logam B dimana diperlihatkan oleh perpotongan garis horizontal  $t_1$  dengan garis solidus.

Apabila temperatur dari paduan turun ke posisi  $t_2$  logam cair B jumlahnya menjadi 48 % pada keadaan ini larutan padat terdiri dari 93% logam B dimana diperlihatkan oleh perpotongan garis horizontal  $t_2$  dengan garis solidus.

Prosentase larutan cair dan larutan padat dari logam B ini akan menurun secara kontinyu dan apabila temperatur dari paduan mencapai  $t_3$  larutan cair yang tertinggal dari logam B adalah 18% dan larutan padat menjadi 65 %.

Temperatur  $t_4$  dimana proses pematatan akan tercapai penuh dengan sisa larutan cair dari logam B sebesar 15 % pada penyelesaian proses pematatan ini larutan padat dari logam B adalah 60 %.



**Gambar 4.6** Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat

### Diagram keseimbangan

Perubahan komposisi larutan padat secara berangsur-angsur ini akan terindikasi pada diagram keseimbangan jika proses pendinginan yang diberikan cukup lambat dan menyebar, dimana apabila proses pendinginan yang terlalu cepat akan mengakibatkan penumpukan butiran-butiran padat pada logam B, akibatnya bagian luar dari butiran logam B akan lemah (lembek) dimana struktur menjadi tidak seragam dan keadaan ini yang disebut *coring*. Untuk keseragaman pada struktur A dapat diperoleh melalui pemanasan ulang dengan temperatur di bawah garis solidus.

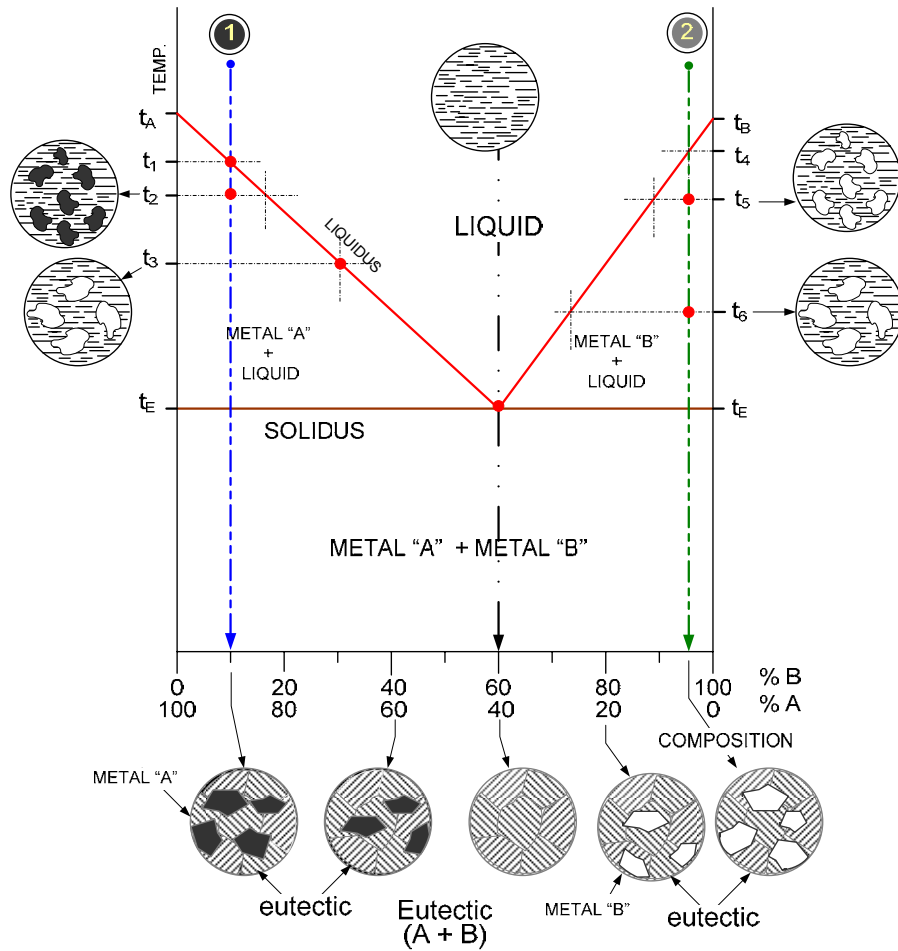
### F. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat

Keadaan dimana dua jenis logam yang tidak larut secara penuh ke dalam larutan padat selama proses pendinginan, dalam hal ini terjadi tiga phase perubahan pada logam A dan Logam B, Diagram keseimbangan menunjukkan sebuah komposisi yang disebut *eutectic*, suatu contoh dari paduan yang terdiri atas 60 logam A dan 40% logam B. Temperatur dimana merupakan temperatur awal proses pemadatan sangat rendah, eutectic memadat secara konstan pada temperatur  $t_E$  membentuk struktur laminate yang menyerupai logam murni, karena memang struktur eutectic melapisi kedua logam murni tersebut. Keadaan ini diinterpretasikan diagram keseimbangan yang mengingatkan kepada kita tentang proses pemadatan pada dua jenis paduan. (lihat gambar gambar 4.7 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat).

#### 1. Proses pemadatan pada paduan 1

Paduan ini mengawali pemadatan pada temperatur  $t_1$  : pemadatan yang diperoleh akan berbentuk logam murni A, tersisa adalah logam B dengan kadar sesuai prosentasenya dan akan meningkat selama proses pendinginan berlangsung. Hal ini diperlihatkan pada diagram keseimbangan dengan garis liquidus (*liquidus line*) seperti terlihat pada gambar 4.7.

Pada saat temperatur turun ke  $t_2$ , sisa logam cair dari logam B sebesar 20 % dan ketika temperatur mencapai  $t_3$  sisa logam cair B sebesar 40 %. Hal ini akan nampak jelas komposisi sisa logam cair mendekati eutectic selama pendinginan, komposisi ini akan terjadi tercapai capai jika temperatur turun ke  $t_E$  dimana temperatur tercapai sisa logam cair akan memadat dalam bentuk eutectic. Dalam pemadatan ini akan diperoleh logam murni dari logam A + eutectic (A+B).



**Gambar 4.7** Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh di dalam larutan padat.

## 2. Proses pematatan pada paduan 2

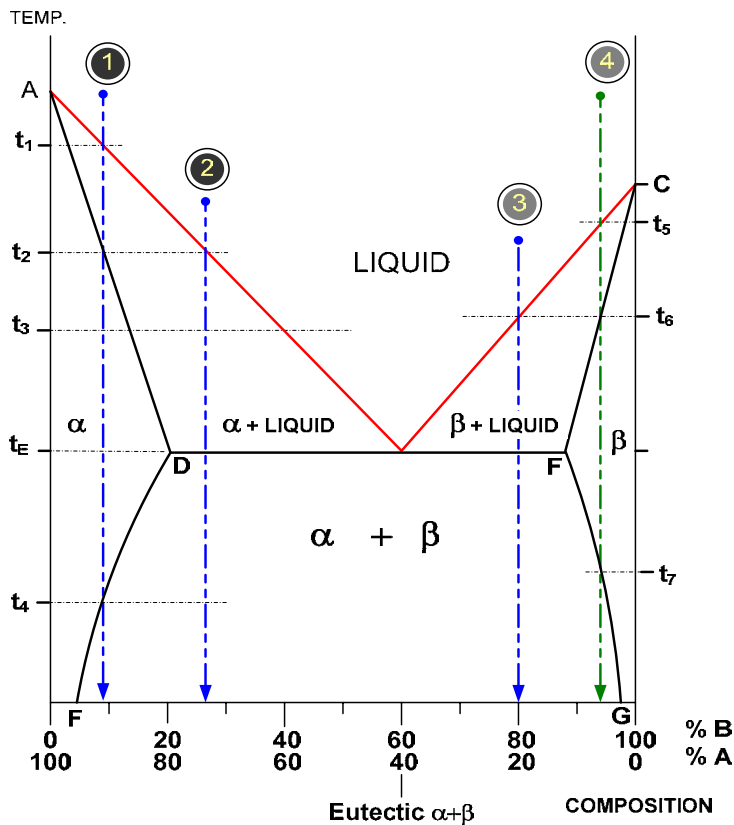
Paduan ini mengawali pematatan pada temperatur  $t_4$  : pematatan yang diperoleh akan berbentuk logam murni B, prosentase sisa dari logam B akan meningkat selama proses pendinginan berlangsung. Hal ini diperlihatkan pada diagram keseimbangan dengan garis liquidus (*liquidus line*). (Gambar 4.7).dimana akan terlihat peningkatannya 90% di  $t_5$  dan 75 % di  $t_6$ .

Selanjutnya komposisi logam cair akan mendekati eutectic selama proses pendinginan, dengan demikian komposisi eutectic akan meningkat pada temperatur  $t_E$ . Jia temperatur meningkat sisa logam cair akan meningkat menjadi padat kepada bentuk eutectic. Struktur akhir yang akan diperoleh ialah logam murni B + eutectic (A+B).

**G. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat**

Diagram keseimbangan ini hampir sama dengan diagram keseimbangan yang telah dijelaskan pada uraian 4.6 kecuali dalam setiap susunan dari beberapa larutan lain. Dua unsur larutan padat justru merupakan logam murni (*pure Metals*). Larutan padat ini ialah (1) Larutan B didalam A (terlihat pada diagram dengan  $\alpha$ ) dan (2) ialah larutan padat dari A didalam B (terlihat pada diagram dengan  $\beta$ ) Untuk sistem ini eutectic berisi lapisan dari dua unsur lapisan padat ( $\alpha + \beta$ ), seperti terlihat pada gambar 4.8; garis 'A-B-C' ialah garis liquidus dan garis 'A-D-C' ialah garis solidus

Beberapa unsur dari logam 'B' akan pecah dan masuk pada logam 'A' yang membentuk larutan padat ' $\alpha$ ' larutan ini akan tergambar sebagai garis Solvus (Solvus line) 'D-F', beberapa larutan dari logam 'A' akan pecah dan masuk kedalam larutan 'B' untuk membentuk larutan padat ' $\beta$ ', larutan ini akan terlihat pada diagram sebagai garis Solvus (Solvus line) 'E-G'



**Gambar 4.8** Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat

Sistem ilustrasi dari diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan 4 unsur paduan sebagaimana kita lihat pada gambar 4.8 , larutan padat dari logam B di dalam logam A berada maximum pada titik  $t_E$  dimana larutan itu terdiri atas 20% logam B (perhatikan titik D pada diagram), penurunan temperatur mengakibatkan penurunan kadar logam B tersebut hingga 3 % yang masuk kedalam larutan padat secara penuh jika temperatur mencapai temperatur ruangan terlihat pada diagram dimana ditunjukkan dengan garis penghubung DF.

Proses yang sama juga terjadi pada larutan padat tersebut untuk logam A yang masuk kedalam logam B (perhatikan pula titik E pada diagram) dimana maksimum terjadi pada titik  $t_E$ , sejalan dengan penurunan temperatur kadar logam A juga akan menurun hingga 10 % perhatikan titik E pada diagram, penurunan temperatur hingga temperatur ruangan juga akan menurunkan kadar logam A pada larutan padat hingga 2%, terlihat pada diagram melalui garis penghubung EG.

#### 1. Pendinginan pada paduan 1

Awal pemadatan dari bahan paduan 1 terjadi pada temperatur dititik  $t_1$ , dan secara berangsur-angsur hingga berakhir dititik  $t_2$  dimana terbentuknya larutan padat secara penuh kedalam larutan padat  $\alpha$  dan tidak terjadi perkembangan hingga temperatur  $t_4$  namun ketika larutan logam B masuk ke dalam larutan logam A yang merupakan awal pemadatan, kelebihan unsur logam B mengendap dari larutan padat  $\alpha$  untuk membentuk larutan padat  $\beta$  bersama dengan sebagian logam A. Pengendapan ini akan berlangsung hingga temperatur turun hingga temperatur ruangan. Struktur akhir yang diperoleh dari proses ini ialah  $\alpha + (\alpha + \beta)$ .

#### 2. Pendinginan pada paduan 2

Bahan paduan ini akan mulai memadat pada tempertur dititik  $t_2$  yang akan menghasilkan larutan padat  $\alpha$  .Selama pemadatan sisa paduan cair akan meningkat dan sisa paduan cair eutectic terbentuk jika temperatur turun hingga  $t_E$  , sisa cairan ini akan memadat dan membentuk eutectic  $(\alpha + \beta)$ , sehingga struktur akhir akan diperoleh  $\alpha + (\alpha + \beta)$ .

#### 3. Pendinginan pada paduan 3

Proses pemadatan untuk larutan ini dimulai pada penurunan temperatur pada titik  $t_6$ , dalam keadaan ini akan dihasilkan larutan padat  $\beta$ , larutan padat ini mengandung prosentase kadar logam B yang cukup besar serta akan tersisa secara meningkat sesuai dengan penurunan temperatur (lihat garis liquidus pada diagram keseimbangan gambar 32) dan penurunan temperatur hingga titi  $t_E$

kelebihan paduan cair ini akan membentuk komposisi eutectic dan eutectic padat. Dari proses ini akan diperoleh struktur  $\beta+(\alpha + \beta)$ .

#### 4. Pendinginan pada paduan 3

Awal proses pemadatan ini terjadi dimana temperatur mencapai titik  $t_5$  dan berlangsung secara berangsur-angsur serta terus menerus hingga temperatur turun ke  $t_6$  namun tidak terjadi perubahan hingga temperatur turun ke  $t_7$ . Ketika larutan logam A masuk kedalam larutan logam B, penurunan dimulai. Kelebihan unsur logam A akan mengendap dari larutan padat  $\beta$  dan membentuk larutan padat  $\alpha$  bersama dengan beberapa unsur logam B. Ini merupakan temperatur akhir dimana terbentuknya struktur  $\beta+(\alpha + \beta)$ . Jika kadar bahan paduan lebih kecil dari 3% logam B atau lebih kecil dari 3% logam A, endapan tidak memiliki tempat sehingga hasil akhir dari struktur bahan

### H. Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound)

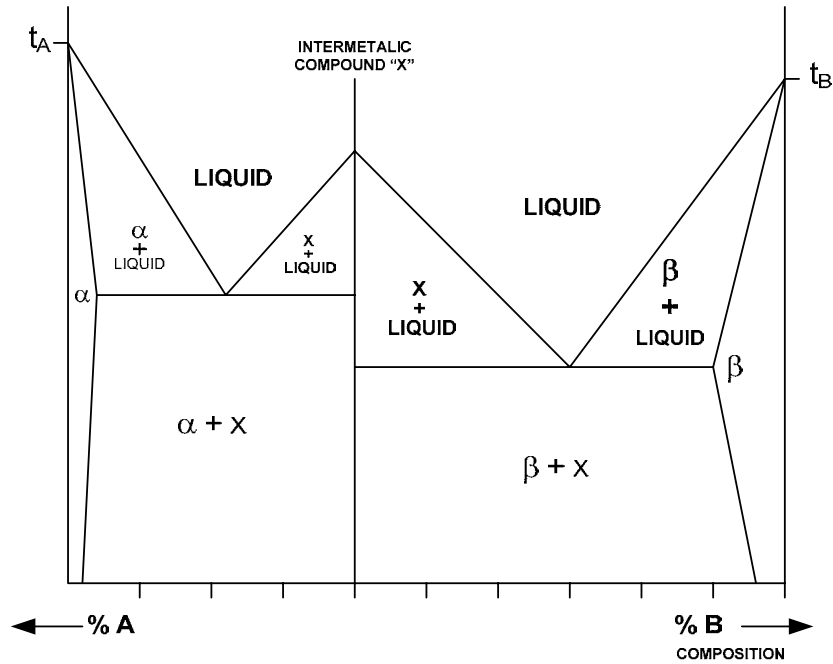
Gambar 4.9 ini merupakan suatu contoh dari diagram keseimbangan untuk paduan dua jenis logam yang menghasilkan bentuk campuran antar logam tersebut atau yang disebut sebagai intermetallic compound.

Bentuk diagram yang rumit secara sederhana kita perhatikan dua diagram keseimbangan berikut, dimana gambar 4.10 merupakan diagram logam A dengan campuran antar logamnya (intermetallic compound) X, dan Gambar 4.11 adalah diagram keseimbangan dari logam B dengan campuran antar logamnya juga X.

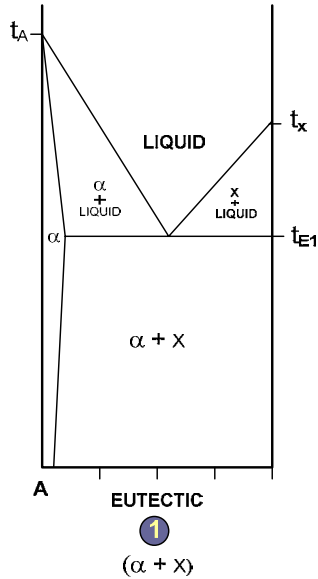
Masing-masing sistem paduan ini mendapatkan eutectic, namun sebagaimana kita lihat bahwa eutectic tidak padat pada temperatur yang sama.

Beberapa jenis logam terbentuk dari paduan antar logam (intermetallic compound) sedangkan paduan antar logam yang lainnya terdiri atas komposisi yang berbeda, dimana sistem yang memiliki tiga komposisi eutectic. Jika demikian ilustrasi diagram keseimbangannya menjadi sangat kompleks, namun dalam menginterpretasi perilaku pencampuran logam dengan logam paduan ini dapat dipecah menjadi diagram yang lebih sederhana.

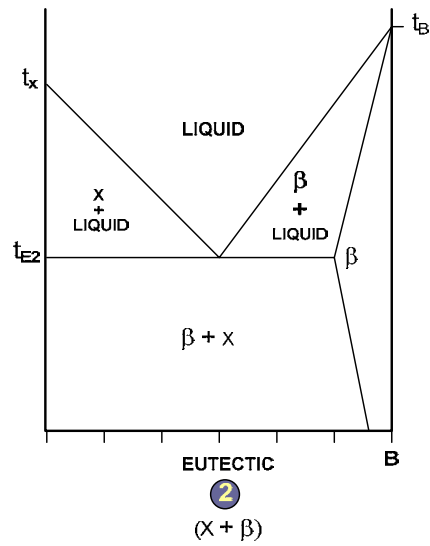




**Gambar 4.9** Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound)



**Gambar 4.10** Diagram keseimbangan logam A



**Gambar 4.11** Diagram keseimbangan logam B

## 1. Reaksi Peritectic

Reaksi Peritectic akan mengambil tempat dalam sistem paduan ketika larutan dalam keadaan padat dengan menyisakan cairan yang bereaksi untuk membentuk phase yang lain (lihat gambar 4.12 ).

Garis 'A' – 'B' – 'C' ialah garis liquidus

Garis 'A' – 'D' – 'F' ialah garis Solidus

Reaksi peritectic mengambil tempat pada temperatur  $t_p$  dimana komposisi paduan berada diantara titik 'D' dan 'B'.

## 2. Pematatan paduan 1

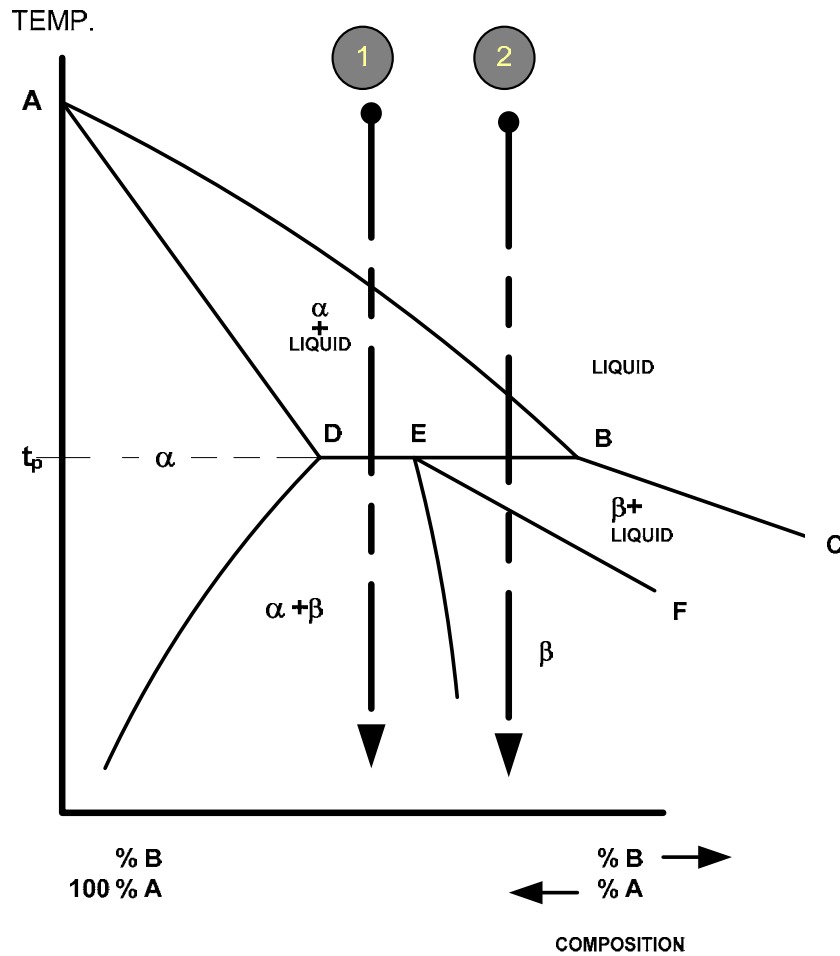
Phase  $\alpha$  dihasilkan dari unsur paduan selama proses pendinginan, dimana komposisi dari phase ini mendekati titik 'D' , pada saat komposisi dari sisa cairan mendekati 'B' komposisi ini meningkat dimana temperatur paduan menurun ke titik  $t_p$  dan pada saat ini reaksi Peritectic mengambil tempat dan menghasilkan phase  $\beta$ . Banyaknya susunan 'B' terdapat didalam paduan ini tidakmencukupi semua phase  $\beta$  dan juga telah terjadi pematatan pada kedua phase  $\alpha$  dan  $\beta$ .

## 3. Pematatan paduan 2

Ketika temperatur paduan ini turun ketitik  $t_p$  reaksi peritectic mengambil tempat untuk menghasilkan phase  $\beta$ , disebabkan oleh tingginya jumlah susunan 'B' tidak semua cairan akan terpakai. Proses pematatan akan terjadi secara menyeluruh ketika temperatur paduan berlanjut turun dan padat kecuali phase  $\beta$ .

## 4. Pematatan paduan 3

Reaksi Peritectic akan mengambil tempat selama pendinginan dalam paduan copper-zinc, cooper-tin dan copper-alumunium alloys.



**Gambar 4.12** Diagram keseimbangan dimana reaksi peritectic mengambil tempat

### Rangkuman

Baja terdiri atas 2 unsur bahan, yakni ferrite dan karbon, ferrite tidak dapat digunakan dan tidak tersedia dalam keadaan murni, kendati. Pada larutan padat dari unsur ferrite mengandung 0,006% karbon pada temperatur ruangan dan akan meningkat hingga 0,03 % jika dipanaskan hingga  $725^{\circ}\text{C}$ .

Kelemahan logam ferro antara lain ialah sangat mudah teroksidasi sehingga bersifat corrosive.

Pembentukan sistem paduan merupakan metoda dalam perbaikan sifat logam sehingga berbeda dengan sifat asalnya termasuk pada baja.

Proses pencampurannya dilakukan dalam keadaan terurai (cair), sehingga menghasilkan larutan unsur paduan yang homogen. sifat free-cutting dari bahan paduan yang dihasilkan diperoleh dengan penambahan lead dan brass ke dalam baja paduan.

Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan unsur sebagai bahan paduan antara lain : Pengaruh unsur paduan dan prilakunya selama pemadatan serta perubahan struktur selama pendinginan hingga temperatur ruangan dan struktur yang dihasilkannya.

Perubahan Struktur pada bahan paduan terdiri dari phase tunggal, serta phase campuran, dimana phase adalah bagian dari perubahan sistem kimia untuk menghasilkan paduan dengan karakter khusus bergantung pada komposisi dan temperatur pendinginannya. Phase berada selama pendinginan dan pada temperatur ruangan serta tergantung pula pada perilaku susunan unsur-unsur lainnya. Perilakunya struktur logam paduan pada temperatur ruangan dapat diklasifikasikan ke dalam : larutan padat penuh, bukan larutan padat, larutan padat terbatas dan membentuk formasi antar campuran bahan logam. Paduan dapat dikelompokkan berdasarkan prilakunya terhadap paduan lain.

**Soal-soal :**

1. Jelaskan apakah yang anda ketahui tentang baja ?
2. Apakah tujuan pembentukan logam paduan ?
3. Jelaskan, bagaimanakah cara pembentukan logam paduan ?
4. Faktor apakah yang perlu diperhatikan dalam menentukan jenis bahan untuk pembentukan logam paduan ?
5. Faktor apakah yang menentukan phase pada perubahan struktur logam ?

## **BAB V**

### **PEMILIHAN LOGAM SEBAGAI BAHAN BAKU**

#### **A. Pembentukan logam menjadi bahan baku**

Logam Ferro ialah logam yang komposisinya terdiri dari logam besi (Fe) sebagai unsur utamanya dan merupakan salah satu jenis bahan teknik yang paling banyak digunakan karena mudah dibentuk serta mudah diperbaiki sifat mekaniknya sesuai dengan kebutuhan kita.

Sifat mekanik yang meliputi kekuatan (tegangan) seperti; tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan geser, tegangan puntir, tegangan lengkung serta berbagai sifat lainnya misalnya ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap pengaruh kimia, ketahanan gesek, ketahanan terhadap perubahan temperatur, ketahanan terhadap teperatur tinggi dan lain-lain yang dipersyaratkan berdasarkan analisis terhadap kemungkinan yang terjadi dimana produk ini ditempatkan atau digunakan. Analisis ini dilakukan dalam proses perencanaan benda kerja untuk menentukan jenis logam apakah yang akan digunakan, bagaimanakah cara dan dengan metoda apakah proses pembentukannya termasuk kemungkinan metoda apa yang dapat dilakukan jika diperlukan perbaikan terhadap sifat mekaniknya. Hampir semua pertanyaan ini dapat dijawab oleh logam Ferro kendati kadang-kadang diperlukan pencampuran dengan logam lain yang digunakan sebagai unsur paduan, bahkan dengan unsur non logam sekalipun.

Produksi bahan-bahan logam pada saat ini telah menghasilkan berbagai jenis logam dari logam ferro dan logam Non ferro, Logam ferro dengan berbagai jenis baja dari baja Karbon hingga baja paduan dengan berbagai bentuk profil serta berbagai sifat dan karakteristiknya, demikian pula dengan logam non ferro tersedia pada berbagai bentuk profill dalam keadaan murni maupun paduan dan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan kita.

Jika kita tinjau kembali bagan struktur atau ikhtisar kelompok logam sebagai bahan teknik akan nampak jelas bahwa berbagai kemungkinan dan merupakan peluang yang besar untuk menggunakan berbagai metoda dalam pembentukan benda kerja dari bahan-bahan logam. Hal ini pula yang menjadi alasan, seperti juga pembahasan dalam buku ini, dimana sangat memiliki kecenderungan untuk menguraikan lebih banyak tentang logam

Ferro dibanding logam non-Ferro, disamping itu karena logam non-Ferro lebih banyak terdapat dalam keadaan murni.

Bahan-bahan logam ferro yang diproduksi oleh fabrikasi seperti Krakatau-steel, Tira-Austenit, Bohlindo dan lain-lain menghasilkan besi tempa (wrought-Iron) dari jenis baja karbon serta baja paduan dan baja perkakas (tool Steel) dengan berbagai tingkatan kualitas, walau pun baja-baja ini digunakan secara luas pada berbagai industri manufaktur namun pembentukannya terbatas pada proses pembentukan dengan mesin atau sebagai baja konstruksi yang difabrikasi melalui pekerjaan las.

Sedangkan baja yang digunakan sebagai baja mesin biasanya diperoleh dari paduan berbagai unsur logam, bahkan non-logam termasuk logam ferro sebagai unsur utamanya dan dibentuk melalui proses penuangan atau pengecoran (lihat bab IV) kendati beberapa produk diperlukan pekerjaan pemesinan (machining). Tentu saja berbagai metoda pembentukan serta berbagai jenis logam ini baik untuk digunakan tergantung ketepatan pemilihan serta kesesuaian dalam pemakaiannya. Untuk kelompok bahan Teknik dari jenis logam dapat dilihat pada gambar 29 tentang bagan/ikhtisar bahan teknik dari jenis bahan logam berikut.

## **B. Pengelompokan dan standarisasi baja**

Pemakaian baja sebagai satu-satunya bahan Teknik baik secara teknis maupun secara ekonomis semakin hari semakin mengkat, hal ini dikarenakan baja memiliki berbagai keunggulan dalam sifat-sifatnya sebagaimana telah kita bahas pada uraian terdahulu, pemakaiannya sangat bervariasi dan hampir mencakup semua aspek kebutuhan bahan teknik seperti industri pemesinan, automotive, konstruksi bangunan gedung, industri pertanian hingga kebutuhan rumah tangga. Hal ini memberikan peluang bagi industri-industri pengolahan baja untuk menyediakan berbagai jenis baja dengan berbagai kualitas dan kuantitasnya. Standarisasi bahan teknik atau baja khususnya menjadi sangat penting untuk memberikan kemudahan bagi konsumen secara luas, terutama dalam memilih dan menentukan jenis baja yang sesuai dengan kebutuhannya, biasanya pemakai bahan dari baja sebagai bahan baku produknya akan mempertimbangkan tiga aspek persyaratan sebagai berikut :

- a) Pelayanan dan ketersediaan (Service Requirement)
- b) Kemudahan dalam pengolahan (Fabrication Requirement)
- c) Ekonomis (Economic Requirement).

### **Pelayanan dan ketersediaan (Service requirement)**

Pelayanan dan ketersediaan jenis bahan yang diperlukan menjadi syarat utama dalam mempertimbangkan pemakaian suatu jenis bahan yang akan digunakan. Peryaratan mutu produk yang direncanakan akan dipenuhi dan mudah untuk diperoleh karena ketersediaan cukup. Baja sebagai bahan baku produk sebagaimana yang telah disebutkan memiliki ketersediaan yang cukup, jika kita melihat diagram ketersediaan unsur mineral didalam perut bumi pada gambar 2.2 halaman 3, Besi memiliki urutan kedua setelah alumunium yakni 5 % dan paling besar ialah alumunium 8,13 % ini merupakan salah satu bukti bahwa baja memiliki persediaan yang cukup.

### **Kemudahan dalam pengolahan (Fabrication Requirement)**

Diagram ketersediaan unsur mineral di dalam perut bumi pada gambar 2.2, alumunium merupakan unsur mineral yang paling banyak terdapat pada perut bumi yakni 8,13 %, akan tetapi penerapannya tidak sebesar baja. Proses fabrikasi yang relatif lebih mahal pada alumunium, sebagai contoh dalam proses penyambungan dengan pengelasan, hal ini menjadi salah satu alasannya disamping sifat mekaniknya yang juga relatif lebih rendah, pada alumunium non-paduan tegangannya hanya mencapai  $60 \text{ N/mm}^2$  (lihat logam non-ferro) sedangkan baja non paduan adalah sebesar  $1000 \text{ N/mm}^2$ , kendati banyak keunggulan alumunium yang tidak dimiliki oleh baja.

### **Ekonomis (Economic Requirement)**

Sifat mekanik yang rendah dari alumunium, menjadikan alumunium tidak digunakan dalam keadaan murni, oleh karena itu sifat yang baik dari alumunium, seperti ketahanan terhadap korosi atmosferic serta dapat bersenyawa dengan unsur lain menghasilkan alumunium paduan (alumunium alloy) sebagai bahan teknik yang bermutu tinggi, namun demikian tentu saja menjadi sangat mahal. Hal ini merupakan salah satu contoh pertimbangan ekonomis dalam pemilihan bahan teknik, sehingga pemilihan alumunium tidak menguntungkan secara ekonomi.

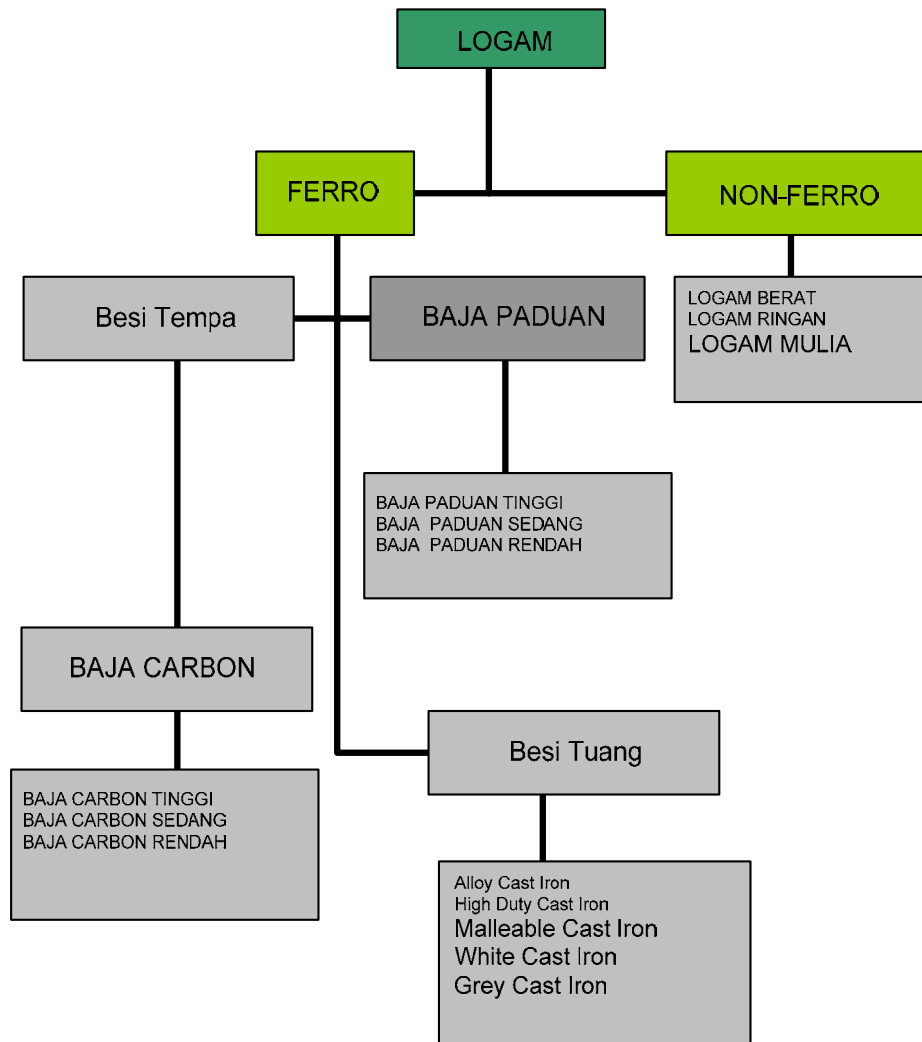
Berdasar kepada pertimbangan-pertimbangan tersebut, salah satu industri baja terkemuka di Jerman " BÖHLER" mengelompokan baja sesuai dengan fungsi pemakaiannya serta kelas (grade) dari baja tersebut menurut standar industri Internasional, antara lain sebagaimana terlihat pada table berikut.

**Tabel 5.1** Spesifikasi Baja " BÖHLER"

<b>COLD WORK TOOL STEEL</b>								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	V	W	M o	Si	
K 460 (Amutit S)	0,95	1,1	0,5	0 , 1	0, 5			Matl.no 1.2510 DIN 100 Mn Cr W4 JIS SKS 21 ASSAB DF-2
K 305 (Special K5)	1,0	5,0	1,0	0 , 2	-	1, 0	-	Matl.no 1.2363 DIN X100 Cr MoV51 JIS SKD 12 ASSAB XW-10
K 100 (Special K)	2,0	-	12	-	-	-	-	Matl.no 1.2080 DIN X210 Cr MoV51 JIS SKD 1 ASSAB XW-5
K 105 (Special KNL)	1,65	-	11,5	0 , 1	0, 5	0, 6	-	Matl.no 1.2601 DIN X165 Cr MoV12 JIS SKD 11 ASSAB XW-41
K 107 (Special KR)	2,1	-	11,5	0 , 1	0, 7	-	-	Matl.no 1.2436 DIN X210 Cr W21 JIS D 6 SIS 2312
<b>Hot work tool steel</b>								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	V	W	M o	Si	
W302 (US Ultra 2)	0,39	-	5,2	1,0	-	1, 3	-	Matl.no 1.2344 DIN X40 Cr MoV51 BS BH 13 JIS SKD 61 ASSAB 8407
W302 Isoblock 2000	TOP Quality							
W335 Isoblock 2000	TOP Quality							

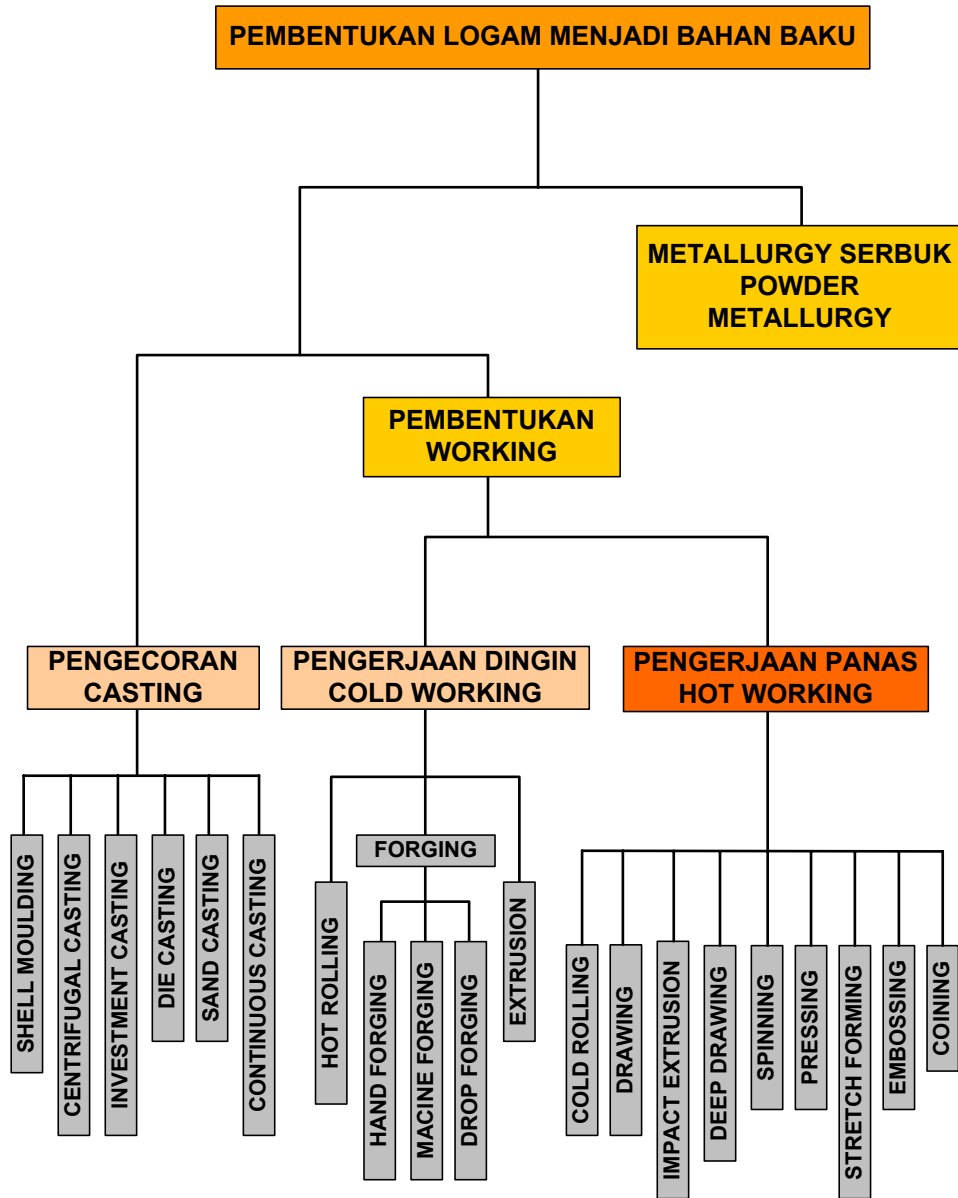


SHOCK RESISTING STEEL								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	V	W	Mo	Si	
K 450 (My Extra)	0,48	0,3	1,0	0,2	2,0	0,3	0,9	Matl.no 1.2542 DIN 45WcrV7 AISI SI BS BSI ASSAB M4
MACHINERY STEEL								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	V	W	Mo	Ni	
V 320 (VCL-140)	0,42	-	1,0	-	-	0,2		Matl.no 1.7225 DIN 42Cr Mo4 AISI 4142 ASSAB 709
V 155 (VCN-50)	0,34	-	1,5	-	-	,2	1,5	Matl.no 1.6582 DIN 34CrNi Mo6 JIS SNCM 1 ASSAB 705
PLASTIC MOULDING STEEL								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	Si	W	Mo	Ni	
N 335 (Antinit KW35M)	0,8	0,7	16,5		-	10	0,8	No.1.2316 No.1.4122 DIN X36CrMn017 Higher than ASSAB Stavax
M 210 (K 456)	0,35	0,8	1,6	0,4	-	0,4	-	Matl.no 1.2312 DIN 40 Cr MnMo5 ASSAB 718
KARBON TOOL STEEL								
Serie	Komposisi (%)							Standars
	C	Mn	Cr	Si	W	Mo	Ni	
K 945 (Ems 45)	0,4	0,7	-	0,3	-	-	-	Matl.no 1.1730 DIN C4 W3 CK45 AFNOR Y345 JIS S45C ASSAB 760
K 945 (Extra Tought and hard)	1,05	-	-	-	-	-	-	Matl.no 1.1545 DIN C 105 W 1 JIS SK 3 ASSAB K 100



**Gambar 5.1** Bagan/ikhtisar bahan teknik dari unsur logam

Memperhatikan kembali bagan/ikhtisar bahan logam seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.1 bahan logam dari jenis logam ferro yang telah diproses menjadi bahan teknik dibedakan menjadi 2 macam dimana adalah besi tempa (wrought iron) dan besi tuang (cast iron), bagaimanakah proses lanjutan dalam pengolahan bahan logam menjadi bahan baku, dapat kita lihat terlebih dahulu skema pembentukan logam pada gambar 5.2 berikut.



**Gambar 5.2** Pembentukan logam menjadi bahan baku produk

## Rangkuman

Logam Ferro ialah logam yang komposisinya terdiri dari logam besi (Fe) sebagai unsur utamanya. Analisis Sifat mekanik dilakukan dalam proses perencanaan benda kerja untuk menentukan jenis logam apakah yang akan digunakan, bagaimanakah cara dan dengan metoda apakah proses pembentukannya termasuk kemungkinan metoda apa yang dapat dilakukan jika diperlukan perbaikan terhadap sifat mekaniknya.

Standarisasi bahan teknik atau baja khususnya menjadi sangat penting untuk memberikan kemudahan bagi konsumen secara luas, terutama dalam memilih dan menentukan jenis baja yang sesuai dengan kebutuhannya, biasanya pemakai bahan dari baja sebagai bahan baku produknya akan mempertimbangkan tiga aspek persyaratan sebagai berikut : Pelayanan dan ketersediaan (Service Requirement)Kemudahan dalam pengolahan (Fabrication Requirement) danEkonomis (Economic Requirement).

## Soal-soal :

1. Sebutkan 2 jenis logam yang memenuhi syarat sebagai bahan teknik ?
2. Apakah perbedaan antara baja karbon dan baja paduan ?
3. Faktor apakah yang dipertimbangkan dalam pemilihan bahan sebagai bahan baku produk ?
4. Apakah perlunya standari baja atau bahan teknik pada umumnya.
5. Faktor apakah dari karakteristik bahan yang terdapat dalam standarisasi bahan logam ?

## DAFTAR PUSTAKA

- As'ad Sungguh, (1983), **Kamus Istilah Teknik**, Kurnia Esa, Jakarta.
- B.J.M Beumer, (1987).**Pengetahuan Bahan Jilid III**, Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- B. Zakharov, (1962), **Heat treatment of metals**, Peace Publishers, Moscow,.
- B.s. Anwir, S. Basir Latif, W. Kaligis, Sidi Bakaroedin, (1953), **Tafsiran Kamus Teknik**, H. Stam-Kebayoran Baru, Jakarta.
- Carroll Edgar, (1965), **Fundamentals of Manufacturing processes and materials**, Addison-weslet publishing company, inc.London.
- Daryanto, (2007), **Energi**, Pustaka Widyatama, Jogjakarta.
- depdiknas RI dirjen pendidikan dasar menengah direktorat pendidikan menengah kejuruan, (2002), **Standar Kompetensi Nasional Bidang Industri Logam dan Mesin**, Jakarta.
- Djiteng Marsudi, (2005), **Pembangkitan Energi Listrik**, Erlangga, Jakarta.
- J.G.C. Hofsteede ir., P.j. Kramer ir. dan S. Zeiruddin,(1977). **Ilmu Mekanika Teknik D**, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Ron Culley (1988), **FITTING AND MACHINING**,TAFE PUBICATION UNIT RMIT Ltd. 37 Langridge Street, Colingwood, Victoria 3066
- Tata Surdia ir.,(1980), **Teknik Pengecoran Logam**, Pradnya paramita, Jakarta.
- Jhon M. Echols dan Hassan Shadily, (1986), **Kamus Indonesia-Inggris**, PT Gramedia, Jakarta.
- **Spesifikasi Geometris Metrologi Industri & Kontrol Kualitas**, Lab. Metrologi Industri-Jurusan Mesin-FTI-ITB.
- MHA Kempster, (1975), **Materials for engineers**, ,hodder and Stoughton, London,.
- W.A.J. Chapman, (1972), **Workshop Technology part 2**, Edward Arnold (publisher) Limited, London.
- , **Bohler Steel Manual**, PT Bohlindo Baja, Jakarta,

## **DAFTAR ISTILAH (GLOSARI)**

### **Adhesive**

Adhesive ialah sifat melekat /menempel/ menyatu dari suatu bahan terhadap bahan lain.

### **Amunisi**

Aminisi ialah perbekalan militer untuk tujuan perang biasanya amunisi ini berupa peluru dan senjata

### **Allowance**

Allowance ialah kelonggaran, Allowance yang digunakan dalam Machine- Allowance dari benda tuangan ini maksudnya adalah kelebihan ukuran dari ukuran nominal yang diberikan bila benda tersebut diselesaikan dengan pekerjaan mesin.

### **Arc**

Arc ialah busur, arc yang dimaksud dalam istilah "arc-welding" adalah las busur atau las listrik dengan menggunakan electrode las , "arc electric furnace" artinya dapur busur nyala api.

### **Atmospheric**

Atmospheric artinya angkasa yang dimaksud dengan Atmospheric pada beberapa paragraph seperti "Atmospheric-corrossion" atau korosi Atmospheric ialah proses persenyawaan beberapa unsur logam dengan berbagai unsur yang terdapat pada udara sehingga membentuk senyawa baru dengan sifat yang lebih buruk dari sifat logam itu sendiri seperti karat.

### **Brazing spelter**

Brazing spelter ialah bahan yang digunakan sebagai bahan pengisi dalam penyambungan dengan sistem patreri keras dengan menggunakan bahan seng.

### **Bijih**

Bijih ialah bahan tambang yang terdiri atas berbagai unsur yang dapat diproses lanjut untuk memperoleh suatu unsur yang diinginkan, misalnya bijih besi ialah bahan mineral yang mengandung unsur besi lebih besar dari unsur-unsur lainnya.

### **Commutator**

Commutator ialah pengatur/pengubah arah pada arus listrik

### **Chips**

Chips atau beram atau tatal yang dihasilkan dari proses penyayatan dari bahan logam dalam pekerjaan mesin

### **Catridge**

Catridge ialah patron yang digunakan sebagai alat pengaman misalnya Sand Catridge ialah alat pemadam kebakaran dengan pasir.

#### Casting

Casting ialah proses pembuatan benda-benda kerja yang dibentuk dengan cara menuangkan bahan (logam) yang telah dicairkan kedalam cetakan, tetapi Casting ini juga sering digunakan sebagai sebutan terhadap benda yang dihasilkan dari proses penuangan.

#### Casting-Bronzes

Casting-Bronzes ialah benda tuangan dimana bahan yang digunakannya adalah perunggu (Bronzes) dengan sifat dan komposisi tertentu sehingga Bronzes ini memiliki sifat mampu tuang.

#### Chemical finishing

Chemical finishing yang dimaksud ialah proses pembentukan benda kerja dengan hasil akhir dari permukaan benda kerja tersebut diberi perlakuan secara kimiawi seperti pelapisan dengan media larutan bahan kimia.

#### Condenser

Condenser ialah alat penerima dan menyimpan biasanya pada peralatan listrik tetapi dapat juga untuk bahan-bahan lain.

#### Container

Container ialah wadah atau tempat yang digunakan untuk bahan biasanya berupa kotak atau kaleng kemasan, toples dan lain-lain seperti buah, susu ikan dan lain-lain.

#### Convertor

Convertor ialah alat pengubah misalnya sistem kerja yang dilakukan dalam proses pembuatan baja melalui dapur convertor atau "Convertor Furnace"

#### Crude-oil

Crude-oil ialah minyak yang dihasilkan dari proses pengolahan awal yang dapat dioleh dengan menambah atau mengurangi berbagai unsur sehingga dihasilkan minyak yang memenuhi syarat kebutuhan Crude-oil disebut sebagai minyak mentah.

#### Destilasi

Destilasi ialah proses penguapan yaitu proses perubahan/pe-misahan/pemurnian dari suatu benda kedalam bentuk lain melalui pemanasan sehingga mengalami penguapan, uap ini akan dikembalikan kedalam bentuk padat dengan jenis tertentu secara murni.

#### Distorsi

Distorsi ialah perubahan bentuk yang disebabkan oleh adanya tegangan dalam yang kuat pada kondisi yang tidak seragam sehingga biasanya distorsi ditandai dengan

adanya keretakan (crack) dibagian tertentu. Distorsi biasanya terjadi dalam perlakuan panas atau terjadi pemanasan yang tidak merata seperti pekerjaan las.

#### Dominant

Dominant ialah yang paling utama, paling menonjol atau paling banyak, misalnya bijih besi artinya pada unsur mineral ini unsur yang dominan ialah unsur besi.

#### Elektrolisa

Elektrolisa ialah proses penguraian dengan cara arus listrik.

#### Electroplating

Electroplating ialah pelapisan dengan menggunakan sistem penguraian dengan tenaga listrik melalui larutan bahan kimia yang dapat berreaksi dengan bahan yang diuraikan dan sebagai media untuk mengalirkannya pada benda yang dilapisi menurut arah gerakan arus listrik.

#### Electrical contact

Electrical Contact ialah sambungan listrik

#### Eksplorasi

Eksplorasi ialah proses penelitian, pemeriksaan, penggalian, yang dimaksud disini ialah yang dilakukan pada bahan-bahan tambang atau bahan mineral.

#### Extraction

Extraction mencabut, atau mengambil dengan suatu gaya atau metoda misalnya proses destilasi.

#### Filament

Filament ialah kawat yang digunakan sebagai alat pijar yang dibuat dari jenis bahan tertentu yang dapat menahan aliran arus listrik dengan membentuk pijar dalam waktu yang lama serta akan kembali kepada sifat asalnya jika arus listrik diputus.

#### Grafiti

Grafiti ialah grafitasi artinya gaya tarik bumi, Grafiti die Casting ialah proses pembentukan benda kerja dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan, logam cair tadi akan turun dan mengalir kedalam rongga cetakan dengan gaya grafitasi.

#### Gasket.

Gasket ialah paking atau bahan yang digunakan sebagai perantara dari gabungan suatu benda dengan benda lain dalam perakitan, gasket digunakan sebagai perapat untuk menghindari kebocoran atau getaran.

Garis solidus ialah garis yang terdapat dalam diagram keseimbangan campuran logam atau proses perlakuan panas yang menunjukkan batas padat dan cair dari logam yang disebabkan oleh pemanasan.



Hacksaw Blades

Hacksaw Blades ialah daun gergaji

Hydrothermal

Hydrothermal ialah panas yang terjadi pada air atau zat cair.

Instrument

Instrument ialah pesawat kerja atau peralatan perlengkapan kerja atau perkakas.

Isolator

Material yang digunakan sebagai pemisah atau penyekat

Kawat Thermocouple.

Logam dengan bentuk kawat yang bereaksi karena pengaruh panas

Komersial

Bersifat dagang atau ekonomi “secara komersial” artinya diperdagangkan.

Konsentrat

Konsentrat yang dimaksudkan adalah kepekatan larutan dari beberapa jenis bahan atau unsur bahan.

Konduktifitas

Konduktif ialah memiliki sifat menghantar, merambatkan. Konduktifitas ialah kemampuan atau daya hantar biasanya panas (thermal) atau arus listrik (electrical).

Korosi

Korosi ialah pengikisan/degradasi pada permukaan logam yang disebabkan oleh reaksi kimia dari unsur yang dibawa oleh udara, air, air laut dan lain-lain atau pengaruh lingkungan pada umumnya.

Liquidus

Liquidus ialah keadaan cair dari logam yang disebabkan oleh pemanasan.

Marine Condenser tubes

Marine Condenser tubes ialah tabung yang biasa digunakan dalam penyelaman dasar laut

Magnetic separation

Magnetic Separation ialah pemisahan bahan logam magnetic dari beberapa beberapa jenis bahan non-magnetik. Dengan energi magnetic ini logam magnetic akan diikat dan dipisahkan dari unsur logam lainnya yang non-magnetic. Logam Magnetic ini pada umumnya adalah logam besi.

**Mereduksi**

Mereduksi ialah meredam, mengurangi atau menurunkan kadar atau derajatnya.

**Natural Ageing**

Natural Ageing dapat diartikan sebagai mendinginkan, membiarkan pada kondisi tertentu atau mengeringkan atau menyimpan.

**Oxidasi**

Oxidasi ialah proses persenyawaan antara suatu zat dengan oxygen atau zat asam yang berlangsung sangat lama.

**Phase**

Phase ialah tingkatan atau tahap atau fasa

**Pipa Bourdon**

Pipa Bourdon ialah pipa dengan bentuk penampang elips dari bahan tembaga yang tipis yang digunakan sebagai pengukur tekanan dimana perubahan tekanan dapat mengakibatkan pemuaian, gerakan pemuaian ini akan diteruskan melalui sebuah mekanisme untuk menggerakkan jarum penunjuk skala ukur.

**Petroleum**

Petroleum minyak yang dihasilkan dari bahan mineral atau bahan tambang seperti minyak tanah (kerosene).

**Permanent**

Permanent ialah keadaan tetap yang tidak dapat diubah

**Perakitan**

Perakitan ialah penggabungan beberapa komponen menjadi sebuah atau satu unit mesin atau pesawat kerja.

**Priming Cap**

Priming Cap ialah lapisan pada bagian atas atau penutup atau topi.

**Quenching**

Quenching ialah proses pendinginan dengan sangat cepat dan tiba-tiba, biasanya dilakukan dalam proses pengerasan baja untuk merubah struktur baja dari Austenite menjadi Martensite. Untuk media pendingin ini biasanya digunakan air.

**Radiator**

Radiator ialah alat pengatur pancaran yang digunakan dalam pesawat pendingin atau pemanas.

**Rare earth-metal**

Rare earth-metal ialah unsur logam yang sangat langka diperoleh didalam bumi

#### Refrigerator

Refrigerator ialah pesawat pendingin

#### Rekristalisasi

Rekristalisasi ialah perubahan bentuk dari larutan kedalam bentuk butiran (kristal atau hablur) untuk pemadatan dan masih dibatasi oleh susunan atom tertentu.

#### Rolling

Rolling ialah pembentukan produk bahan logam ke dalam bentuk tertentu oleh gerakan roll untuk menekan atau mengepres dengan pola tertentu. Bahan yang dibentuk ini dapat dilakukan pada bahan dalam keadaan panas atau dingin.

#### Forging

Forging ialah pembentukan produk bahan logam kadalam bentuk tertentu oleh gerakan Tempa untuk menekan atau mengepres pada kecepatan tinggi (memukul) dengan pola tertentu. Bahan yang dibentuk ini dapat dilakukan pada bahan dalam keadaan panas atau dingin.

#### Solid solution

Solid solution ialah "larutan padat" yakni unsur-unsur yang terdapat didalam logam berada dalam kedaan bebas dengan hanya sedikit ikatan atom, namun bahan tersebut masih dalam bentuk semula, pada baja keadaan ini berada diatas temperatur 723<sup>0</sup>C tergantung dari jenis bajanya.

#### Season crack

Season Crack ialah suatu keadaan yang kritis dimana memungkinkan bahan (Cast) akan mengalami atau biasanya terjadi keretakan.

#### shell case

Shell case ialah tempat yang berbentuk tabung atau bejana.

#### Signifikan

Signifikan ialah sangat berarti atau berpengaruh besar.

#### Switches.

Switches ialah tombol-tombol atau stop kontak atau saklar.

#### Silver solders

Silver solders ialah metode dalam penyambungan pateri dengan menggunakan silver (perak)

#### Sintering

Sintering ialah pembentukan benda kerja dengan cara mencetak bubuk berbagai material dengan komposisi tertentu (Powder-Metallurgy)

Slag

Slag atau terak ialah bagian material yang dihasilkan dari proses peleburan, karena berbeda sifat maka Slag akan mengendap atau terpisah dari unsur lainnya.

Tar

Tar ialah jelaga yang dihasilkan dari proses pengasapan dimana terdapat berbagai unsur yang tidak terbakar dan terbawa oleh asap.

Turning

Turning ialah proses pekerjaan dengan menggunakan mesin bubut.



## DAFTAR GAMBAR

1.1	Polythene yakni polymer yang terdiri atas 1200 atom karbon pada setiap 2 atom hidrogen .....	2
1.2	Panjang rantai ikatan polimerisasi bahan plastik .....	3
1.3	Bentuk Ikatan kuat rantai Atom-atom .....	3
1.4	Poly (Vinyl chloride acetate) .....	4
1.5	Ikhtisar bahan-bahan teknik .....	10
1.6	Diagram titik cair dari beberapa jenis logam .....	25
1.7	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga chrom (Chromium-copper) .....	30
1.8	Diagram keseimbangan dari paduan tembaga-beryllium (Copper-beryllium) .....	31
1.9	Bagian dari diagram keseimbangan dan microstruktur dari paduan tembaga seng .....	33
1.10	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga timah putih (Copper-tin) dan microstrukturnya .....	38
1.11	Bagian dari diagram keseimbangan paduan tembaga-aluminium (Copper-aluminium) .....	41
1.12	Diagram keseimbangan dari paduan tembaga nikel (Cooper-nickel) .....	43
1.13	Proses pembuatan aluminium .....	46
1.14	Diagram keseimbangan dari paduan aluminium-magnesium .....	48
1.15	Bagian dari diagram keseimbangan paduan aluminium-silikon .....	50
1.16	Bagian dari diagram keseimbangan paduan aluminium – copper .....	52
1.17	Diagram paduan nikel .....	62
1.18	Bagian dari diagram keseimbangan paduan seng-aluminium .....	63
1.19	Bagian dari diagram keseimbangan paduan magnesium-aluminium .....	67
2.1	Proses pengolahan bijih besi ( <i>Iron Ores</i> ) pada dapur tinggi ( <i>Blast Furnace</i> ) .....	72
2.2	Diagram kandungan unsur logam di dalam perut bumi(%)	74
2.3	Diagram pengaruh kandungan karbon terhadap pembentukan besi .....	78
2.4	Diagram aliran pembentukan logam sebagai bahan baku produk .....	82
2.5	Persyaratan sifat mekanik dari baja karbon sesuai dengan fungsinya .....	83
2.6	Converter bessemer .....	87

2.7	Proses oksigen pada dapur basa untuk pemurnian besi kasar (pig Iron) .....	88
2.8	LD top blown converter .....	89
2.9	Rotor mixed blown converter .....	90
2.10	Kaldo top blown converter .....	91
3.1	Diagram alur pembuatan besi tuang (cast Iron).....	95
3.2	Dapur cupola type pembakar kokas .....	97
3.3	Dapur udara atau dapur api (reverberatory furnace) .....	97
3.4	Dapur putar (rotary furnace) .....	98
3.5	Electric furnace indirect sistem .....	98
3.6	Electric furnace direct system.....	98
3.7	Diagram Keseimbangan besi – karbon (FeC).....	100
3.8	Menempatkan “Chill-Iron” untuk pengendalian keseragaman struktur besi tuang .....	101
3.9	Potongan atas dari “closed-die forging press” suatu produk tuangan (cross head) yang besar .....	102
3.10	Steel Casting bahan roda gigi .....	102
3.11	Contoh bentuk benda tuangan yang kompleks .....	103
3.12	Penyetelan cor (inti) di dalam pit moulding .....	103
3.13	Penuangan pada pengecoran ukuran besar.....	103
3.14	Ikhtisar besi tuang .....	104
3.15	Penuangan bahan cor seberat 100 ton dari dapur listrik ..	105
3.16	Penuangan bahan cor seberat 190 ton .....	105
3.17	Grey cast iron : flakes graphite pada struktur pearlite .....	108
3.18	White cast iron cementite dan pearlite .....	108
3.19	White Malleable Cast Iron Ferrite (putih) dan Pearlite ....	109
3.20	Black heart malleable cast iron : ferrite (putih) .....	109
3.21	Black heart malleable cast iron ferrite (hitam) .....	110
4.1	Diagram perbandingan antara temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	121
4.2	Diagram perbandingan antara Temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	121
4.3	Diagram perbandingan antara Temperatur dengan waktu pendinginan dalam proses pemadatan .....	122
4.4	Diagram keseimbangan thermal untuk logam “A” dan Logam “B” .....	124
4.5	Diagram keseimbangan thermal untuk Logam “A” dan Logam “B” .....	125
4.6	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam larut secara penuh disetiap proporsi dalam keadaan padat .....	126
4.7	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam tidak larut secara penuh di dalam larutan padat .....	128
4.8	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan batas larutan di dalam larutan padat .....	129
4.9	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam dengan	

	bentuk campuran antar logam (Intermetallic compound) ..	132
4.10	Diagram keseimbangan logam A .....	132
4.11	Diagram keseimbangan logam A .....	132
4.12	Diagram keseimbangan dimana reaksi peritectic mengambil tempat .....	134
5.1	Bagan/lkhtisar bahan teknik dari unsur logam .....	141
5.2	Pembentukan logam menjadi bahan baku produk .....	142
6.1	Cetakan penuangan.....	147
6.2	Penguat cetakan.....	150
6.3	Rangka cetakan kayu .....	151
6.4	Rangka cetakan baja .....	151
6.5	Panci tuang .....	153
6.6	Bentuk benda kerja dan bentuk cetakan .....	155
6.7	Piringan rem (disk brake) .....	156
6.8	Cetakan dengan penguatan untuk model seluruhnya pada drag (cetakan bawah) .....	157
6.9	Cetakan fibre untuk model inti .....	159
6.10	Susunan Model dan inti (teras) untuk pengecoran piringan rem (disk brake) .....	160
6.11	Kedudukan pola Model dan inti didalam cetakan .....	160
6.12	Drag pada kedudukan yang sebenarnya .....	161
6.13	Blank roda gigi lurus .....	163
6.14	Posisi cetakan dari bentuk cetakan blank roda gigi lurus .	164
6.15	Pembentukan pola (pattern) pada Mesin bubut .....	165
6.16	Pembuatan pola Inti (pasir).....	166
6.17	Model (pola) Inti (teras) dari pasir cetak hasil pencetakan	167
6.18	Pembuatan cetakan dan inti (core) .....	167
6.19	Plat (papan) landasan .....	168
6.20	Kedudukan pola dan inti pada cetakan bawah (drag) di dalam rangka cetak.....	168
6.21	Pengisian pasir cetak pada cetakan bawah (drag) .....	169
6.22	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 pada cetakan bawah (drag) .....	170
6.23	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 pada cetakan bawah (drag) .....	170
6.24	Pengisian pasir cetak tahap ke 2 rata pada rangka cetakan bawah (drag) .....	171
6.25	kedudukan pola dan inti pada cetakan bawah (drag) di dalam rangka cetak.....	172
6.26	Penempatan pola dan pola inti pada cetakan atas (cope).	172
6.27	Posisi saluran-saluran pada cetakan atas dengan sistem saluran tidak langsung .....	173
6.28	Posisi cetakan atas dan cetakan bawah serta salurannya.....	174



6.29	Proses penuangan .....	175
6.30	Membuat cetakan dengan menggunakan mesin cetak ...	176
6.31	Diagram hubungan antara kadar karbon dengan temperatur awal pencairan dan ahir pencairan .....	178
6.32	Konstruksi Dapur Kupola .....	180
6.33	Dapur Induksi Krus .....	183
6.34	Dapur Induksi dengan sistem saluran .....	184
6.35	Proses penuangan (pengecoran) .....	187
6.36	Prinsip pengecoran dengan centrifugal secara vertikal dan semi centrifugal .....	188
6.37	Metode pengecoran sentrifugal .....	188
6.38	Prinsip dasar penuangan berlanjut (continouos casting) ..	189
6.39	Prinsip dasar penuangan berlanjut (continouos casting) langkah pembuatan cetakan (mould) pada sistem shell moulding .....	190
6.40	Langkah pembuatan cetakan (mould) pada sistem shell moulding .....	191
6.41	Pressure die casting .....	193
6.42	Skematik diagram dari proses <i>injection molding</i> .....	193
6.43	Electric witch component .....	194
6.44	Tuner housing untuk suku cadang .....	194
6.45	Valve assy .....	195
6.46	Vacum – Furnace .....	196
6.47	“Land-base turbine airfoils” salah satu produk pengecoran dengan metoda investment casting .....	197
6.48	Struktural hardware air-cast alloy salah satu produk pengecoran precision casting dengan metoda lvestment casting .....	197
6.49	Large airfoil component dibuat dari bahan cobalt salah satu produk pengecoran precision casting.....	198
6.50	“Turbine-Nozle” salah satu produk pengecoran .....	198
6.51	Turbine-wheel” salah satu produk pengecoran .....	201
6.52	Tambahan bentuk penguatan untuk pelengkungan .....	202
6.53	Pengurangan ukuran .....	202
6.54	Tambahan keluar .....	202
6.55	Saluran langsung .....	203
6.56	Saluran bawah .....	203
6.57	Saluran cincin .....	204
6.58	Saluran pisah .....	204
6.59	Saluran terompet .....	205
6.60	Saluran pensil .....	206
6.61	Saluran baji .....	207
6.62	Saluran bertingkat .....	208

6.63	Bagian-bagian saluran-saluran tambahan .....	209
6.64	Bagian-bagian saluran bawah .....	211
6.65	Chill batang (chill Jarum) .....	212
6.66	Menentukan ukuran diameter chill batang .....	212
6.67	Menentukan ukuran diameter .....	213
6.68	Chill batang dengan lilitan .....	213
6.69	Benda seperti gambar di atas .....	214
6.70	Chill luar samping .....	214
6.71	Chill luar dasar .....	215
6.72	Pemakaian chill luar dan chill Luar dasar .....	216
6.73	Perbandingan antara ukuran diameter chill dengan ketebalan bahan pada bentuk "T" .....	216
6.74	Pemakaian chil pada bentuk benda bersilang "X" .....	217
6.75	Cetakan logam sebagai chill .....	218
6.76	Alat bantu mekanik (mesin gerinda tangan) .....	218
6.77	Semprotan pasir pasir .....	219
6.78	Water injection method .....	220
6.79	Water shroud method .....	220
6.80	Water curtain .....	221
6.81	Ventury method .....	221
7.1	Pengukuran dengan mikrometer .....	227
7.2	Pengukuran tak langsung .....	227
7.3	Pengukuran tak langsung .....	228
7.4	Pengukuran tak langsung .....	228
7.5	Pengukuran tak langsung .....	228
7.6	Penggores .....	229
7.7	Pemakaian penggores .....	229
7.8	Jangka tusuk .....	230
7.9	Jangka bengkok .....	231
7.10	Penyetelan posisi jangka tusuk pada mistar baja .....	231
7.11	Pemakaian jangka tusuk .....	231
7.12	Jangka banci atau jangka ganjil .....	232
7.13	Jangka banci atau jangka ganjil .....	232
7.14	Jangka banci digunakan untuk menentukan titik pusat ....	233
7.15	Penyetelan dengan jangka ganjil dengan kaki terbalik ....	233
7.16	Menggores sejajar bagian dalam .....	233
7.17	Menggores sejajar bagian luar .....	233
7.18	Trammel (jangka batang .....	233
7.19	Mata penggores (rod) .....	234
7.20	Penyetelan Trammels pada mistar baja .....	234
7.21	Universal surface gauges .....	234
7.22	Surface gauges sederhana .....	235

7.23	Universal surface gauges dalam menyetel ketinggian pada "combination set" .....	235
7.24	Surface gauges dalam pekerjaan melukis garis pada benda kerja .....	236
7.25	Surface gauges dalam pekerjaan mencari titik pusat .....	236
7.26	Surface gauges dalam pekerjaan melukis garis pada benda kerja .....	236
7.27	Surface gauges dalam pekerjaan menentukan posisi alur pasak .....	236
7.28	Prick punch (sudut penitik 90 <sup>0</sup> ) .....	237
7.29	Center punch (sudut penitik 90 <sup>0</sup> ) .....	237
7.30	Automatic Punch .....	238
7.31	Bell punch .....	238
7.32	Mistar sorong (vernier caliper) .....	239
7.33	Mengukur panjang skala Nonius, Contoh panjang skala Nonius 39 mm .....	240
7.34	Harga ukur setiap divisi pada mistar sorong dengan satuan Inchi dan ketelitian 1/1000 .....	242
7.35	Mikrometer luar (Outside mikrometer) .....	245
7.36	Harga ukur dalam setiap divisi mikrometer dengan satuan millimeter .....	246
7.37	Skala ukur mikrometer dengan satuan inchi .....	247
7.38	Skala ukur Mikrometer dengan satuan Inchi .....	247
7.39	Mikrometer luar (outside mikrometer) pada satuan milimeter dengan satuan Inchi .....	247
7.40	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.41	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.42	Membaca mikrometer dengan satuan milimeter .....	248
7.43	Membaca mikrometer dengan satuan inch .....	249
7.44	Membaca mikrometer dengan satuan inch .....	249
7.45	Proses pengukuran dengan Mikrometer .....	249
7.46	Pengukur tinggi (vernier height gauge) dan nama bagiannya .....	250
7.47	Pengukur Tinggi dapat digunakan dalam memeriksa ketinggian lubang senter .....	251
7.48	Pengukur Tinggi dapat digunakan dalam mengukur tinggi permukaan benda kerja .....	251
7.49	Memeriksa kelurusan test bar dengan bantuan dial test Indikator .....	251
7.50	Memeriksa kelurusan test bar dengan bantuan dial test Indicator .....	252
7.51	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.52	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.53	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253

7.54	Penandaan benda kerja (marking out of work) .....	253
7.55	Garis sumbu (centre lines) .....	254
7.56	Sketsa (outlines) .....	254
7.57	Precision cast iron marking-out tabel .....	255
7.58	Precision granite marking-out tabel .....	255
8.1	Penerapan berbagai tipe dari garis .....	260
8.2	Penunjukkan pandangan pada proyeksi sudut ketiga .....	261
8.3	Penunjukkan pandangan pada proyeksi sudut pertama ...	262
8.4	Satu buah pandangan cukup menggambarkan dimensi benda kerja .....	262
8.5	Penunjukkan pandangan pembantu (auxiliary view) .....	263
8.6	Penunjukkan pandangan sebagian .....	263
8.7	Proyeksi Isometrik (Isometric Projection) .....	264
8.8	Jaringan terpotong pada dua posisi .....	266
8.9	Pemotongan setempat .....	266
8.10	Jaringan tidak terpotong sebagian dan lubang diperlihatkan pada bagian bidang .....	266
8.11	Tanda pemotongan bidang dihilangkan .....	267
8.12	Pemotongan setengah bagian .....	267
8.13	Bagian revolved .....	267
8.14	Interposed section .....	268
8.15	Bagian dipindahkan .....	268
8.16	Kelebihan ukuran panjang diberikan (87) tanda bantu (Auxiliary dimension) .....	272
8.17	Ukuran dan champer .....	273
8.18	Gambar dengan dimensi pada tabel .....	274
8.19	Tampilan ukuran gambar pada tabel .....	274
8.20	Tanda sama dengan (=) .....	275
8.21	Tanda dua mata panah (double arrowhead) .....	276
8.22	Garis sumbu (Centrelines).....	276
8.23	Titik khayal hubungan antar bagian ditegaskan dengan titik bagian ujung .....	277
8.24	Pemakaian tanda titik (Dot) referensi ukuran permukaan Curve .....	277
8.25	Ukuran dari garis referensi umum .....	278
8.26	Contoh gambar untuk produk tuangan (Blank roda gigi)...	281
8.27	Bentuk-bentuk sudut dari produk tuangan .....	281
8.28	Disain bentuk produk tuangan .....	282
8.29	Modellriss Skala 1:1 .....	282
8.30	Penentuan posisi gambar menurut proses pemesinannya.....	283
8.31	Penentuan posisi gambar menurut proses perakitannya...	283
8.32	Penentuan posisi gambar menurut Posisi perletakannya	284

	pada cetaka .....	
8.33	Benda tuangan yang tidak akan mengalami proses pemésinan .....	284
8.34	Benda Tuangan dalam bentuk produk sebenarnya .....	285
8.35	Benda Tuangan dengan penambahan ukuran .....	285
8.36	Tanda gambar kekasaran permukaan .....	286
8.37	Pembentukan casting untuk pengerjaan permukaan pada bentuk radius .....	287
8.38	Grafik penambahan ukuran untuk bidang atau lobang untuk bahan cor baja tuang, besi tuang dan logam .....	288
8.39	Contoh penyusutan 1,2 % pada bahan FCD .....	290
8.40	Sudut tuangan .....	290
8.41	Kemiringan pada sirip .....	291
8.42	Bentuk kemiringan pada sirip .....	292
8.43	Jenis sudut tuangan .....	293
8.44	Radius tuangan .....	294
8.45	Radius tuangan R8/R4 .....	295
8.46	Perubahan ketebalan pada benda kerja .....	296
8.47	Ukuran kesatuan bentuk .....	297
8.48	Ukuran bentuk dasar .....	298
8.49	Ukuran posisi komponen .....	297
8.50	Ukuran fungsi, non fungsi dan pembentukan .....	300
9.1	Contoh gambar kerja dari bahan besi tuang (casting) ....	308
9.2	Mesin bubut dengan bagian-bagian utamanya .....	310
9.3	Chuck rahang 3 .....	311
9.4	Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 Universal dengan rahang terbalik .....	311
9.5	Penjepitan benda kerja dengan chuck rahang 3 universal dengan posisi normal .....	311
9.6	Produk pengecoran untuk dikerjakan lanjut pada mesin bubut .....	312
9.7	Penyetelan benda kerja dalam pemasangannya pada chuck rahang 4 independent .....	312
9.8	Chuck rahang 4 (chuck (independent) .....	312
9.9	Melepas chuck dari screw spindle nose .....	312
9.10	Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi normal .....	313
9.11	Benda kerja dicekam dengan jaw pada posisi terbalik .....	313
9.12	Chuck rahang 4 independent .....	314
9.13	Pemeriksaan kebenaran putaran dengan surface gauge. ....	314
9.14	Pengukuran sebelum pembubutan muka .....	314
9.15	Penyetelan benda kerja dengan menggunakan dial indikator .....	316
9.16	Penyetelan akhir dengan pemukulan palu lunak .....	316

9.17	Penyetelan dengan pergeseran rahang .....	317
9.18	Pengetelan benda kerja dengan bantuan palu lunak .....	318
9.19	Posisi ujung benda tuangan pada alur rahang chuck .....	319
9.20	Penandaan .....	319
9.21	Dudukan bearing bahan .....	319
9.22	Jarak kebebasan terhadap permukaan chuck .....	320
9.23	Benda tuangan .....	321
9.24	Boring cover plat .....	321
9.25	Permukaan dalam untuk penyetelan .....	322
9.26	Counter balancing benda kerja pada chuck .....	323
9.27	Pemasangan benda kerja dengan face plate .....	324
9.28	Pemasangan benda kerja dengan menggunakan klem ....	325
9.29	Pemakaian <i>face plate</i> pada yang telah dikerjakan (dimachining) .....	325
9.30	Pemasangan benda kerja pada <i>face plate</i> .....	326
9.31	Pemasangan benda kerja dengan kedudukan blok siku ..	328
9.32	Pemasangan <i>bearing set</i> pada face plate .....	328
9.33	Pahat bubut .....	329
9.34	Pahat bubut menggunakan pegangan .....	330
9.35	Sisi potong tunggal pada kikir .....	330
9.36	Sudut sayat pada pahat bubut .....	331
9.37	Sisi sayat normal .....	332
9.38	Kemiringan pahat bubut .....	333
9.39	Kemiringan sisi sayat terhadap dimensi pahat bubut.....	334
9.40	Bentuk hasil pengasahan pahat bubut .....	335
9.41	Kebebasan sisi pemotong dan kebebasan muka pada pemotongan dengan pahat bubut .....	336
9.42	Pendekatan sudut dan sisi sudut potong .....	337
9.43	Proses pemotongan pahat bubut .....	338
9.44	Sudut sayat dan sudut bebas .....	339
9.45	Sisi potong pahat bentuk radius .....	339
9.46	Kebebasan muka dan tepi pada pahat bubut .....	340
9.47	Proses penyayatan pahat bubut .....	341
9.48	Proses penyayatan pahat sekrap .....	342
9.49	Ilustrasi klasifikasi insert .....	350
9.50	Grafik umur pakai pahat bubut .....	351
9.51	Rentang kecepatan putaran pada spindle .....	353
9.52	Cutting speeds nomogrametric .....	354
9.53	Mesin frais universal .....	356
9.54	Mesin frais vertical .....	357
9.55	Mesin frais vertical .....	358
9.56	Mesin frais horizontal CNC .....	359

9.57	Mesin frais vertikal CNC .....	359
9.58	Mesin frais vertikal CNC .....	358
9.59	Mesin frais vertikal CNC .....	361
9.60	Mesin <i>frais turet</i> .....	362
9.61	Berbagai pengikat (fixture) benda kerja dalam proses pembentukan dengan mesin frais.....	363
9.62	Casting dari <i>bracket</i> dan <i>cup</i> sebagai contoh pekerjaan pengefraisan .....	364
9.63	T- Slots pada meja mesin frais .....	364
9.64	Pemakaian T-Sloot dalam memegang benda kerja .....	366
9.65	Pemasangan benda kerja bulat .....	367
9.66	Pemasangan benda kerja langsung di atas meja mesin .....	368
9.67	Swivel angle plat .....	368
9.68	Cross sliding table .....	369
9.69	Adjustable universal angle plate.....	369
9.70	Ragam mesin frais .....	369
9.71	Ragam mesin frais datar .....	370
9.72	Ragam mesin frais datar .....	370
9.73	Ragam mesin frais dengan posisi yang dapat diputar .....	370
9.74	Ragam mesin frais dengan posisi yang dapat diputar pada posisi datar .....	371
9.75	Pisau frais datar (plain milling cutter) .....	371
9.76	Pisau frais datar .....	372
9.77	Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa 30 <sup>0</sup> .....	372
9.78	Pisau frais datar (plain cutter) sudut kisa 35 <sup>0</sup> .....	373
9.79	Shell end mill cutter .....	373
9.80	Shell end mill cutter .....	374
9.81	Face mill cutter .....	374
9.82	Side face end mill cutter .....	375
9.83	Pemakanan mengangkat (up cut) .....	376
9.84	Down-cut.....	376
9.85	Penggunaan cutter pada dimensi pekerjaan .....	380
9.86	Pengefraisan dua bidang dengan pisau (cutter) yang berbeda .....	380
9.87	Proses pengerjaan benda kerja .....	381
9.88	Pengefraisan bidang datar .....	382
9.89	Casting, bahan benda kerja "Sliding-vee" .....	383
9.90	Proses pengerjaan bidang 1 .....	383
9.91	Proses pengerjaan bidang 2 .....	384
9.92	Proses pengerjaan bidang 3 .....	384
9.93	Proses pengerjaan bidang 4 .....	385
9.94	Pemasangan <i>end mill</i> pada chuck .....	385

9.95	Pengerjaan finishing .....	386
9.96	Pembentukan profil "VEE" dengan menggunakan <i>end mill cutter</i> .....	387
9.97	Pembuatan alur dengan menggunakan <i>side and face cutter</i> .....	388
9.102	Diagram alur sistem pesawat kerja .....	390
9.103	Konstruksi umum mesin EDM serta bagian-bagiannya.....	391
9.104	Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer .....	392
9.105	Mesin EDM yang dikontrol dengan sistem computer .....	393
9.106	Sistem sirkulasi <i>dielectric fluid</i> .....	394
9.107	<i>Electrode holder of machine tool</i> .....	395
9.108	Macam-macam alat ukur kedalaman .....	396
9.109	Metode pembilasan ( <i>flushing-method</i> ) .....	398
9.110	<i>Continouos injection</i> .....	399
9.111	Pengisapan .....	400
9.112	Pengikisan secara elektrik .....	403
9.113	Proses pembilasan .....	404
10.1	Mesin uji kekerasan shore scleroscope. a. tipe SH-D .....	412
10.2	Mesin uji kekerasan shore scleroscope. b. tipe SH-C ...	412
10.3	Mesin uji kekerasan shore scleroscope. c. tipe PHS-3 ...	414
10.4	Mesin uji kekerasan brinell .....	415
10.5	Posisi penekanan dengan indentor dalam pengujian kekerasan brinell .....	417
10.6	Mesin uji kekerasan vickers .....	420
10.7	Mesin uji kekerasan vickers .....	421
10.8	Posisi indentor dalam pengujian kekerasan vickers .....	421
10.9	Posisi indentor dalam pengamatan dibawah mikroscope .	422
10.10	Illustrasi bentuk indentasi pada permukaan spesimen setelah pangujian .....	423
10.11	Bidang-bidang geometris pada diamond indentation .....	426
10.12	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	426
10.13	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	427
10.14	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	427
10.15	Konstruksi pesawat uji kekerasa rockwel .....	429
10.16	Ball Indentor pada posisi siap menekan .....	429
10.17	Diamond Indentor pada posisi siap menekan .....	429
10.18	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan	430
10.19	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan dengan beban Mayor .....	430
10.20	Diamond (a) Ball (b) Indentor pada posisi menekan hanya dengan beban minor .....	431
10.21	Standar bahan uji plat menurut British Standard .....	434
10.22	Standar bahan uji bulat (round) menurut British Standard	434
10.23	Konstruksi umum dari mesin uji tarik .....	438
10.24	Konstruksi umum dari mesin uji tarik .....	438
10.25	Diagram tegangan regangan .....	439



10.26	Prilaku baja lunak dalam proses pengujian tarik .....	441
10.27	Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10 ...	443
10.28	Dimensi standar bahan uji proporsional menurut Dp-10 dibentuk pada mesin perkakas .....	443
10.29	Tanda pembagian sepanjang Lo contoh : pembagian pada 20 bagian .....	443
10.30	Pengukuran panjang setelah patah .....	444
10.31	Pembebanan lengkung dalam pengujian lengkung (bend test) .....	444
10.32	Pengaruh pembebanan lengkung terhadap bahan uji (spesiment) .....	445
10.33	Momen lengkung (Mb) .....	446
10.34	Defleksi .....	446
10.35	Kedudukan bahan uji dalam pengujian lengkung beban ..	448
10.36	Dimensi spesimen pengujian lengkung perubahan bentuk .....	449
10.37	Kedudukan spesimen pada landasan .....	450
10.38	Pembebanan dalam pengujian lengkung .....	451
10.39	Penekanan pada landasan hingga membentuk 180 <sup>0</sup> dengan bantuan balok pengisi.....	451
10.40	Pengujian lengkung tunggal .....	451
10.41	Pengujian bengkokan tunggal .....	452
10.42	Gerak bengkokan 180 <sup>0</sup> .....	452
10.43	Gerak bengkokan 90 <sup>0</sup> .....	452
10.44	Bahan uji "Izod" .....	453
10.45	Kedudukan Bahan .....	454
10.46	Spesifikasi bahan uji charphy .....	454
10.47	Kedudukan bahan .....	455
10.48	Mesin uji puku takik (Impact testing machine) .....	455
10.49	Dasar penentuan daya dalam pengujian pukul takik (Impact test) .....	456
10.50	Sambungan tunggal .....	457
10.51	Sambungan ganda .....	457
10.52	Gaya geser pada sambungan dikeling ganda .....	458
10.53	Pemeriksaan cacat dengan spectromagnetic .....	460
10.54	Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian dalam pipa baja –AISI 52100 .....	461
10.55	Keadaan cacat dari pipa : keretakan pada bagian .....	461
10.56	Pemeriksaan cacat dengan sinar- X pada hydraulic turbin. ....	463
10.57	Pemeriksaan cacat pada pipa dengan spectromagnetic ..	464
10.58	Prinsip dasar pemeriksaan cacat dalam dengan ultra sonic .....	465
10.59	Microstruktur dari besi tuang (cast iron) setelah pemanasan dan didinginkan dengan udara pembesaran 500X ...	467
10.60	Microstruktur ari besi tuang (cast iron)setelah	468

	pemanasan dan di quenching dengan H <sub>2</sub> O pembesaran 500X .....	
10.61	Struktur nodular graphite-iron di etsa dengan nital dengan pemeriksaan mikroskopis pada pembesaran 100X .....	468
10.62	Standar sample untuk besi tuang putih (White cast-iron) dengan pembesaran 200 X .....	469
10.63	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite tinggi diperbesar 1000 X .....	469
10.64	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 1000 X .....	470
10.65	Struktur dari baja AISI 4340 dalam struktur bainite rendah diperbesar 2000 X .....	470
10.66	Struktur martensite dari baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400 <sup>0</sup> F diperbesar 1000 X .....	471
10.67	Struktur martensite dari baja AISI 4340 ditemper dengan temperatur 400 <sup>0</sup> F diperbesar 32000 X .....	471
10.68	Struktur baja SAE 52100 setelah proses hardening diperbesar 10000 X .....	472
11.1	Circular saw .....	476
11.2	Radial arm saw .....	476
11.3	Bench Table Saw.....	476
11.4	Tilting arbor Saw.....	477
11.5	Radian Arm Saw .....	477
11.6	Wood lathe (Mesin bubut kayu).....	478
11.7	Jig Saw .....	478
11.8	Membelah/memotong kayu dengan Jig Saw .....	479
11.9	Hand Grinder .....	479
11.10	Membentuk benda kayudengan hand grinder .....	480
11.11	Casting .....	481
11.12	Wood workers plain screw vice .....	482
11.13	Quick action vice .....	482
11.14	Saw vice.....	483
11.15	"T"-bar clamp .....	483
11.16	Quick action clamp .....	484
11.17	Forged Steel "G"-Clamp .....	484
11.18	Gergaji tangan (handsaws) .....	485
11.19	Memotong menggunakan gergaji tangan (handsaws) .....	485
11.20	Gergaji tangan (handsaws) type busur (bowsaw).....	486
11.21	Pahat tetap (chisel firmer) .....	486
11.22	Palu (mason's club hammer) .....	487
11.23	Pahat bubut kayu (wood turning tool) .....	487
11.24	Pahat ukir (wood carving tool) .....	488
11.25	Bor dengan operasi manual bits brace long twist ring auger .....	489

11.26	Mistar gulung (roll meter) .....	490
11.27	Penyiku (caliber square) dan combination set .....	490
11.28	Marking gauge dan Cutting gauge .....	491
11.29	Screwdrivers .....	491
11.30	Casting .....	492
11.31	Model (pattern) .....	492
11.32	Model bagian 1 .....	493
11.33	Model bagian 2 .....	493
11.34	Gabungan model bagian 1 dan model bagian 2 .....	493
11.35	<i>Casting</i> .....	493
11.36	<i>Model bagian</i> .....	494
11.37	Model bagian 3 .....	494
11.38	Model bagian 1, 2, dan 3 .....	494
12.1	Skematik komponen pada system pesawat.....	496
12.2	Instalasi Pusat Listrik Tenaga Air.....	497
12.3	Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik.....	497
12.4	Proses Konversi energy dari Diesel engine ke energy listrik pada generator listrik.....	498
11.39	Bagian-bagian utama generator listrik.....	498
11.40	Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack dengan konversi pada Hyd.sys.....	499
11.41	Skema pesawat kerja untuk system penerangan mesin Electrical Power pack , Electrical working element .....	500
11.42	Skema pesawat kerja untuk system penggerak utama mesin bubut Electrical Power dengan konversi pada Mechanical Power pack dan Mechanical working element .....	500
12.5	Elemen transmisi dan elemen control system kerja Mekanik.....	501
12.6	Elemen control system kerja mekanik.....	501
12.7	Working elemen pada system kerja Mekanik (mesin bubut) .....	502
12.8	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut) .....	504
12.9	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik (mesin bubut).....	505
12.10	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik yang diperlengkapi dengan system transmisi.....	506
12.11	Elektro motor sebagai pengubah energy listrik menjadi energi Mekanik yang diperlengkapi dengan system transmisi (gear speed reducer).....	506

12.12	Worm gear Transmission reducer.....	507
12.13	Variable speed Worm gear Transmission reducer.....	507
12.14	Transico cicloidal Speed reducer.....	508
12.15	Compression Coupling.....	508
12.16 a	Flexible Coupling-Disk/of driver- type.....	508
12.20b	Bagian-bagian Flexible Coupling-Disk/of driver- type.....	509
12.17 a	Flexible Coupling precision pin and rubber ring-type.....	509
12.21b	Bagian-bagian Flexible Coupling precision pin and rubber ring-type.....	509
12.18	Hercus-gear” Flexible Coupling.....	510
12.19 a	Flexible Coupling-Flexicross – type.....	510
12.23b	Bagian-bagian Flexible Coupling-Flexicross – type.....	510
12.20	Dog-tooth Clutch.....	511
12.21	Universal Joints.....	512
12.22	one-type Clutch.....	512
12.23	Expanding-type clutch.....	513
12.24	Plate-type Clutch.....	513
12.25	Sprag-type Clutch.....	514
12.26	Standar dimensional untuk sabuk “V”.....	518
12.27	Dimensional alur V pada pulley.....	519
12.28	3 Jenis Precision steel roller chains Simple; Duplex dan Triplex.....	521
12.29	Komponen-komponen dari roller chain.....	521
12.30	Sprocket komponen dari roller chain.....	523
12.31	Kesejajaran Permukaan sprocket terhadap porosnya.....	524
12.32	Penyetelan dengan pergeseran poros .....	524
12.33	Penyetelan dengan pergeseran poros.....	525
12.34	Penyetelan dengan Idler.....	525
12.39	Perhitungan jarak kelonggaran.....	525
12.40	Jarak kelonggaran (A) mm.....	526
12.41	Pengukuran rantai (Chain).....	527
12.42	Berbagai jenis dan karakteristik rantai (chains).....	528
12.43	Silent chains.....	529
12.44	<i>Toothed belt</i> .....	529
12.45	Berbagai jenis dan bentuk profil yang diperdagangkan. Macam-macam jenis kaca mata pengaman .....	529 533
13.1	Masker .....	534
13.2	Sarung tangan kulit .....	534
13.3	Penutup telinga .....	535
13.4	Safety Shoes .....	535
13.5	Helmet dengan kaca bening .....	536
13.6	Safety helmet .....	537

13.7	Pakaian tahan api .....	537
13.8	.....	538
13.9	Mengangkat secara manual.....	540
13.10	Baik dan salah cara berpakaian dalam bekerja.....	542
13.11	.....	543
13.12	.....	544
13.13	.....	545
13.14	Keamanan dalam menggerinda serta perlindungan dengan kaca mata .....	546
13.15	.....	547
13.16	.....	548
13.17	Tabung pemadam kebakaran .....	549

## DAFTAR TABEL

Tabel		Simbol dan definisi .....	59
Tabel	1.1	Paduan "A" .....	64
Tabel	1.2	Paduan "B" .....	64
Tabel	3.1	Low temperatur cast Iron .....	114
Tabel	5.1	Spesifikasi baja " BÖHLER" .....	139
Tabel	6.1	Berat Jenis, titik Cair dan koefisien kekentalan .....	179
Tabel	6.2	Batu tahan api dan cara pemasangannya .....	185
Tabel	6.3	Tambahan ukuran penyusutan .....	199
Tabel	6.4	Tambahan ukuran untuk benda tuangan besi untuk penyelesaian mesin (machining).....	200
Tabel	6.5	Tambahan ukuran untuk benda tuangan bukan besi (casting non-iron) untuk penyelesaian mesin (machining) .....	200
Tabel	6.6	Tambahan ukuran untuk benda tuangan baja (casting steel) untuk penyelesaian mesin (machining) .....	201
Tabel	6.7	Perbandingan antra berat tuangan dengan ukuran diameter dan jumlah saluran .....	206
Tabel	6.8	Perbandingan antara berat coran dengan ukuran diameter saluran .....	208
Tabel	6.9	Berat coran dan ukuran saluran .....	210
Tabel	8.1	Tipe garis dan penerapannya .....	259
Tabel	8.2	Simbol dan singkatan dalam penampilan gambar ....	269
Tabel	8.3	Data ukuran untuk gambar benda .....	274
Tabel	8.4	Ukuran kertas gambar .....	275
Tabel	8.5	Toleransi benda pengecoran .....	288
Tabel	8.6	Angka penyusutan dan batas penyimpangan bahan tuangan.....	289
Tabel	8.7	Angka kemiringan sudut tuangan menurut ketinggian bidang .....	292

Tabel	8.8	Toleransi untuk ukuran panjang, lebar tinggi/ tebal dan posisi (mm) .....	301
	8.9	Toleransi ukuran ketebalan sirip .....	302
	8.10	Toleransi kelurusan dan kerataan .....	303
	8.11	Nilai toleransi sudut, ketegak lurus dan kemiringan.....	303
Tabel	9.1	Simbol penunjukkan kualifikasi khusus .....	345
Tabel	9.2	Rekomendasi kecepatan potong untuk bahan-bahan teknik secara umum.....	352
Tabel	9.3	Kecepatan potong (Cutting Speed =Cs)	377
Tabel	9.4	Nilai pemakanan setiap gigi dari berbagai jenis cutter	379
Tabel	9.5	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 1 .....	398
Tabel	9.6	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 2 .....	399
Tabel	9.7	Tekanan Injeksi berdasarkan tipe pengerjaan 3.....	400
Tabel	10.1	Perbandingan ukuran indentor dan tebal bahan.....	416
Tabel	10.2	Perbandingan diameter Indentor (D) terhadap konstanta bahan .....	416
Tabel	10.3	Skala Kekerasan dalam Pengujian kekerasan Rockwell .....	431
Tabel	10.4	Skala Kekerasan dalam Pengujian kekerasan Rockwell .....	435
Tabel	10.5	Bahan uji tarik proporsional menurut standar DP untuk bahan uji persegi empat .....	436
Tabel	10.6	Bahan uji tarik non-proporsional untuk bahan uji bulat .....	436
Tabel	10.7	Ukuran bahan uji tarik non-proporsional untuk pelat	437
Tabel	10.8	Ukuran bahan uji dan perbandingannya terhadap duri pelengkung dan jarak tumpuan .....	448
Tabel	12.1	Dimensi Standar Alur V pada pulley.....	520
Tabel	12.2	Standarisasi roller chain.....	522





# LAMPIRAN-LAMPIRAN

## Tabel Trigonometry

### Natural sines

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	14
5	0872	0889	0906	0924	0941	0958	0976	0993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	11	14
11	1908	1925	1942	1959	1977	1994	2011	2028	2045	2062	3	6	9	11	14
12	2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2233	3	6	9	11	14
13	2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	2924	2940	2957	2974	2990	3007	3024	3040	3057	3074	3	6	8	11	14
18	3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	3907	3923	3939	3955	3971	3987	4003	4019	4035	4051	3	5	8	11	14
24	4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4648	4664	4679	3	5	8	10	13
28	4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	9	12
36	5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10
45	7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	7431	7443	7455	7466	7478	7490	7501	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	7547	7559	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	7880	7891	7902	7912	7923	7934	7944	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8368	8377	2	3	5	6	8
57	8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8453	8462	8471	2	3	5	6	8
58	8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7

Natural sines															
Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
61	.8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	.8829	8838	8846	8854	8862	8870	8878	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	.8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	.8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	.9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	.9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	.9205	9212	9219	9225	9232	9239	9245	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	.9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	.9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	.9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	.9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	.9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	.9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	.9613	9617	9622	9627	9632	9636	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	.9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	.9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	.9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	.9781	9785	9789	9792	9796	9799	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	.9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	.9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	.9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	.9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	.9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	.9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	.9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	.9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	.9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	.9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	.9998	9999	9999	9999	9999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0	0	0	0	0

Natural cosines															
Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	.9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	.9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	.9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	.9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	.9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	.9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	.9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	.9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	.9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10	.9848	9845	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	.9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	.9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	2	3
13	.9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	2	3
14	.9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	.9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	.9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	.9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	.9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	.9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9409	9403	1	2	3	4	5
20	.9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	.9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	.9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	.9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	.9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	.9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
26	.8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	.8910	8902	8894	8886	8878	8870	8862	8854	8846	8838	1	3	4	5	7
28	.8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	.8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30	.8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	.8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	.8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	.8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	.8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	.8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	.8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	.7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	.7880	7869	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7793	7782	2	4	5	7	9
39	.7771	7760	7749	7738	7728	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40	.7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	.7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	.7451	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	.7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	.7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10
45	.7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	.6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	.6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	.6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	.6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50	.6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6320	6307	2	4	7	9	11
51	.6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	.6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	.6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	.5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	.5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	.5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	.5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	.5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	.5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60	.5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	.4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	.4695	4679	4664	4648	4633	4617	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	.4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	.4384	4368	4352	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	.4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	.4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	.3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	.3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	.3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70	.3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	.3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	.3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	.2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	.2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	.2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	.2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	.2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	.2079	2062	2045	2028	2011	1994	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	.1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1854	3	6	9	11	14
80	.1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	.1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	.1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	.1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	.1045	1028	1011	0993	0976	0958	0941	0924	0906	0889	3	6	9	12	14
85	.0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	14
86	.0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	.0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	.0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	.0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15

Natural tangents

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
0	.0000	.0017	.0035	.0052	.0070	.0087	.0105	.0122	.0140	.0157	3	6	9	12	15
1	.0175	.0192	.0209	.0227	.0244	.0262	.0279	.0297	.0314	.0332	3	6	9	12	15
2	.0349	.0367	.0384	.0402	.0419	.0437	.0454	.0472	.0489	.0507	3	6	9	12	15
3	.0524	.0542	.0559	.0577	.0594	.0612	.0629	.0647	.0664	.0682	3	6	9	12	15
4	.0699	.0717	.0734	.0752	.0769	.0787	.0805	.0822	.0840	.0857	3	6	9	12	15
5	.0875	.0892	.0910	.0928	.0945	.0963	.0981	.0998	.1016	.1033	3	6	9	12	15
6	.1051	.1069	.1086	.1104	.1122	.1139	.1157	.1175	.1192	.1210	3	6	9	12	15
7	.1228	.1246	.1263	.1281	.1299	.1317	.1334	.1352	.1370	.1388	3	6	9	12	15
8	.1405	.1423	.1441	.1459	.1477	.1495	.1512	.1530	.1548	.1566	3	6	9	12	15
9	.1584	.1602	.1620	.1638	.1655	.1673	.1691	.1709	.1727	.1745	3	6	9	12	15
10	.1763	.1781	.1799	.1817	.1835	.1853	.1871	.1890	.1908	.1926	3	6	9	12	15
11	.1944	.1962	.1980	.1998	.2016	.2035	.2053	.2071	.2089	.2107	3	6	9	12	15
12	.2126	.2144	.2162	.2180	.2199	.2217	.2235	.2254	.2272	.2290	3	6	9	12	15
13	.2309	.2327	.2345	.2364	.2382	.2401	.2419	.2438	.2456	.2475	3	6	9	12	15
14	.2493	.2512	.2530	.2549	.2568	.2586	.2605	.2623	.2642	.2661	3	6	9	12	16
15	.2679	.2698	.2717	.2736	.2754	.2773	.2792	.2811	.2830	.2849	3	6	9	13	16
16	.2867	.2886	.2905	.2924	.2943	.2962	.2981	.3000	.3019	.3038	3	6	9	13	16
17	.3057	.3076	.3096	.3115	.3134	.3153	.3172	.3191	.3211	.3230	3	6	10	13	16
18	.3249	.3269	.3288	.3307	.3327	.3346	.3365	.3385	.3404	.3424	3	6	10	13	16
19	.3443	.3463	.3482	.3502	.3522	.3541	.3561	.3581	.3600	.3620	3	7	10	13	16
20	.3640	.3659	.3679	.3699	.3719	.3739	.3759	.3779	.3799	.3819	3	7	10	13	17
21	.3839	.3859	.3879	.3899	.3919	.3939	.3959	.3979	.4000	.4020	3	7	10	13	17
22	.4040	.4061	.4081	.4101	.4122	.4142	.4163	.4183	.4204	.4224	3	7	10	14	17
23	.4245	.4265	.4286	.4307	.4327	.4348	.4369	.4390	.4411	.4431	3	7	10	14	17
24	.4452	.4473	.4494	.4515	.4536	.4557	.4578	.4599	.4621	.4642	4	7	11	14	18
25	.4663	.4684	.4706	.4727	.4748	.4770	.4791	.4813	.4834	.4856	4	7	11	14	18
26	.4877	.4899	.4921	.4942	.4964	.4986	.5008	.5029	.5051	.5073	4	7	11	15	18
27	.5095	.5117	.5139	.5161	.5184	.5206	.5228	.5250	.5272	.5295	4	7	11	15	18
28	.5317	.5340	.5362	.5384	.5407	.5430	.5452	.5475	.5498	.5520	4	8	11	15	19
29	.5543	.5566	.5589	.5612	.5635	.5658	.5681	.5704	.5727	.5750	4	8	12	15	19
30	.5774	.5797	.5820	.5844	.5867	.5890	.5914	.5938	.5961	.5985	4	8	12	16	20
31	.6009	.6032	.6056	.6080	.6104	.6128	.6152	.6176	.6200	.6224	4	8	12	16	20
32	.6249	.6273	.6297	.6322	.6346	.6371	.6395	.6420	.6445	.6469	4	8	12	16	20
33	.6494	.6519	.6544	.6569	.6594	.6619	.6644	.6669	.6694	.6720	4	8	13	17	21
34	.6745	.6771	.6796	.6822	.6847	.6873	.6899	.6924	.6950	.6976	4	9	13	17	21
35	.7002	.7028	.7054	.7080	.7107	.7133	.7159	.7186	.7212	.7239	4	9	13	18	22
36	.7265	.7292	.7319	.7346	.7373	.7400	.7427	.7454	.7481	.7508	5	9	14	18	23
37	.7536	.7563	.7590	.7618	.7646	.7673	.7701	.7729	.7757	.7785	5	9	14	18	23
38	.7813	.7841	.7869	.7898	.7926	.7954	.7983	.8012	.8040	.8069	5	9	14	19	24
39	.8098	.8127	.8156	.8185	.8214	.8243	.8273	.8302	.8332	.8361	5	10	15	20	24
40	.8391	.8421	.8451	.8481	.8511	.8541	.8571	.8601	.8632	.8662	5	10	15	20	25
41	.8693	.8724	.8754	.8785	.8816	.8847	.8878	.8910	.8941	.8972	5	10	16	21	26
42	.9004	.9036	.9067	.9099	.9131	.9163	.9195	.9228	.9260	.9293	5	11	16	21	27
43	.9325	.9358	.9391	.9424	.9457	.9490	.9523	.9556	.9590	.9623	6	11	17	22	28
44	.9657	.9691	.9725	.9759	.9793	.9827	.9861	.9896	.9930	.9965	6	11	17	23	29
45	1.000	.0035	.0070	.0105	.0141	.0176	.0212	.0247	.0283	.0319	6	12	18	24	30
46	1.0355	.0392	.0428	.0464	.0501	.0538	.0575	.0612	.0649	.0686	6	12	18	25	31
47	1.0724	.0761	.0799	.0837	.0875	.0913	.0951	.0990	.1028	.1067	6	13	19	25	32
48	1.1106	.1145	.1184	.1224	.1263	.1303	.1343	.1383	.1423	.1463	7	13	20	27	33
49	1.1504	.1544	.1585	.1626	.1667	.1708	.1750	.1792	.1833	.1875	7	14	21	28	34
50	1.1918	.1960	.2002	.2045	.2088	.2131	.2174	.2218	.2261	.2305	7	14	22	29	36
51	1.2349	.2393	.2437	.2482	.2527	.2572	.2617	.2662	.2708	.2753	8	15	23	30	38
52	1.2799	.2846	.2892	.2938	.2985	.3032	.3079	.3127	.3175	.3222	-8	16	24	31	39
53	1.3270	.3319	.3367	.3416	.3465	.3514	.3564	.3613	.3663	.3713	8	16	25	33	41
54	1.3764	.3814	.3865	.3916	.3968	.4019	.4071	.4124	.4176	.4229	9	17	26	34	43
55	1.4281	.4335	.4388	.4442	.4496	.4550	.4605	.4659	.4715	.4770	9	18	27	36	45
56	1.4826	.4882	.4938	.4994	.5051	.5108	.5166	.5224	.5282	.5340	10	19	29	38	48
57	1.5399	.5458	.5517	.5577	.5637	.5697	.5757	.5818	.5880	.5941	10	20	30	40	50
58	1.6003	.6066	.6128	.6191	.6255	.6319	.6383	.6447	.6512	.6577	11	21	32	43	53
59	1.6643	.6709	.6775	.6842	.6909	.6977	.7045	.7113	.7182	.7251	11	23	34	45	56
60	1.7321	.7391	.7461	.7532	.7603	.7675	.7747	.7820	.7893	.7966	12	24	36	48	60

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean differences				
											1'	2'	3'	4'	5'
61	1 8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1 8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1 9626	9711	9797	9883	9970	0057	0145	0233	0323	0413	15	29	44	58	73
64	2 0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2 1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2 2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2 3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2 4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2 6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034	7179	7326	24	47	71	95	119
70	2 7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2 9042	9208	9375	9544	9714	9887	0061	0237	0415	0595	29	58	87	116	145
72	3 0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32	64	96	129	161
73	3 2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3 4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3 7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4 0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972					
77	4 3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646					
78	4 7046	7453	7867	8288	8716	9152	9504	0045	0504	0970					
79	5 1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5 6713	7297	7894	8502	9124	9758	0405	1066	1742	2432					
81	6 3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	0264	Mean differences no longer sufficiently accurate.				
82	7 1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	0285					
83	8 1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	0579	2052	3572					
84	9 5144	9 677	9 845	10 02	10 20	10 39	10 58	10 78	10 99	11 20					
85	11 430														
86		11.66	11.91	12.16	12.43	12.71	13.00	13.30	13.62	13.95					
87	14.301														
88		14.67	15.06	15.46	15.89	16.35	16.83	17.34	17.89	18.46					
89		19.081													
		19.74	20.45	21.20	22.02	22.90	23.86	24.90	26.03	27.27					
		28.636													
		30.14	31.82	33.69	35.80	38.19	40.92	44.07	47.74	52.08					
		57.290													
		63.66	71.62	81.85	95.49	114.6	143.2	191.0	286.5	573.0					

# Conversion tables

**Fractional Sub-divisions of an inch to decimals and to millimetres.**

in	in	milli- metres	in	in	milli- metres
$\frac{1}{16}$	0.015625	0.3969	$\frac{3}{16}$	0.609375	15.4781
$\frac{3}{32}$	0.03125	0.7938	$\frac{5}{8}$	0.625	15.875
$\frac{1}{4}$	0.046875	1.1906	$\frac{9}{16}$	0.640625	16.2719
$\frac{5}{16}$	0.0625	1.5875	$\frac{1}{2}$	0.65625	16.6688
$\frac{3}{8}$	0.078125	1.9844	$\frac{5}{8}$	0.671875	17.0656
$\frac{7}{16}$	0.09375	2.3812	$\frac{11}{16}$	0.6875	17.4625
$\frac{1}{2}$	0.109375	2.7781	$\frac{3}{4}$	0.703125	17.8594
$\frac{5}{8}$	0.125	3.175	$\frac{7}{8}$	0.71875	18.2562
$\frac{3}{4}$	0.140625	3.5719	$\frac{15}{16}$	0.734375	18.6531
$\frac{7}{8}$	0.15625	3.9688	$\frac{3}{4}$	0.75	19.05
$\frac{15}{16}$	0.171875	4.3656	$\frac{15}{16}$	0.765625	19.4469
$\frac{1}{2}$	0.1875	4.7625	$\frac{15}{16}$	0.78125	19.8438
$\frac{9}{16}$	0.203125	5.1594	$\frac{3}{4}$	0.796875	20.2406
$\frac{5}{8}$	0.21875	5.5562	$\frac{1}{2}$	0.8125	20.6375
$\frac{13}{16}$	0.234375	5.9531	$\frac{13}{16}$	0.828125	21.0344

**Millimetres to inches  
Based on 1 inch=25.4 millimetres**


mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in
—	—	0.03937	0.07874	0.11811	0.15748	0.19685	0.23622	0.27559	0.31496	0.35433
10	0.39370	0.43307	0.47244	0.51181	0.55118	0.59055	0.62992	0.66929	0.70866	0.74803
20	0.78740	0.82677	0.86614	0.90551	0.94488	0.98425	1.02362	1.06299	1.10236	1.14173
30	1.18110	1.22047	1.25984	1.29921	1.33858	1.37795	1.41732	1.45669	1.49606	1.53543
40	1.57480	1.61417	1.65354	1.69291	1.73228	1.77165	1.81102	1.85039	1.88976	1.92913
50	1.96850	2.00787	2.04724	2.08661	2.12598	2.16535	2.20472	2.24409	2.28346	2.32283
60	2.36220	2.40157	2.44094	2.48031	2.51969	2.55906	2.59843	2.63780	2.67717	2.71654
70	2.75591	2.79528	2.83465	2.87402	2.91339	2.95276	2.99213	3.03150	3.07087	3.11024
80	3.14961	3.18898	3.22835	3.26772	3.30709	3.34646	3.38583	3.42520	3.46457	3.50394
90	3.54331	3.58268	3.62205	3.66142	3.70079	3.74016	3.77953	3.81890	3.85827	3.89764
<b>100</b>	3.93701	3.97638	4.01575	4.05512	4.09449	4.13386	4.17323	4.21260	4.25197	4.29134
10	4.33071	4.37008	4.40945	4.44882	4.48819	4.52756	4.56693	4.60630	4.64567	4.68504
20	4.72441	4.76378	4.80315	4.84252	4.88189	4.92126	4.96063	5.00000	5.03939	5.07877
30	5.11811	5.1575	5.1969	5.2362	5.2756	5.3150	5.3543	5.3937	5.4331	5.4724
40	5.5118	5.5512	5.5906	5.6299	5.6693	5.7087	5.7480	5.7874	5.8268	5.8661
50	5.9055	5.9449	5.9843	6.0236	6.0630	6.1024	6.1417	6.1811	6.2205	6.2598
60	6.2992	6.3386	6.3780	6.4173	6.4567	6.4961	6.5354	6.5748	6.6142	6.6535
70	6.6929	6.7323	6.7717	6.8110	6.8504	6.8898	6.9291	6.9685	7.0079	7.0472
80	7.0866	7.1260	7.1654	7.2047	7.2441	7.2835	7.3228	7.3622	7.4016	7.4409
90	7.4803	7.5197	7.5591	7.5984	7.6378	7.6772	7.7165	7.7559	7.7953	7.8346



Teknik pengecoran logam

$\frac{1}{4}$	0-25	6-35	$\frac{37}{32}$	0-84375	21-4312	<b>200</b>	7-8740	7-9134	7-9528	7-9921	8-0315	8-0709	8-1102	8-1496	8-1890	8-2283
$\frac{1}{8}$	0-265625	6-7469	$\frac{33}{32}$	0-859375	21-8281	10	8-2677	8-3071	8-3465	8-3858	8-4252	8-4646	8-5039	8-5433	8-5827	8-6220
$\frac{3}{32}$	0-28125	7-1438	$\frac{7}{8}$	0-875	22-225	20	8-6614	8-7008	8-7402	8-7795	8-8189	8-8583	8-8976	8-9370	8-9764	9-0157
$\frac{1}{2}$	0-296875	7-5406	$\frac{31}{32}$	0-890625	22-6219	30	9-0551	9-0945	9-1339	9-1732	9-2126	9-2520	9-2913	9-3307	9-3701	9-4094
$\frac{5}{16}$	0-3125	7-9375	$\frac{39}{32}$	0-90625	23-0188	40	9-4488	9-4882	9-5276	9-5669	9-6063	9-6457	9-6850	9-7244	9-7638	9-8031
$\frac{3}{8}$	0-328125	8-3344	$\frac{59}{64}$	0-921875	23-4156	50	9-8425	9-8819	9-9213	9-9606	10-0000	10-0394	10-0787	10-1181	10-1575	10-1969
$\frac{11}{32}$	0-34375	8-7312	$\frac{15}{16}$	0-9375	23-8125	60	10-2362	10-2756	10-3150	10-3543	10-3937	10-4331	10-4724	10-5118	10-5512	10-5906
$\frac{23}{64}$	0-359375	9-1281	$\frac{31}{32}$	0-953125	24-2094	70	10-6299	10-6693	10-7087	10-7480	10-7874	10-8268	10-8661	10-9055	10-9449	10-9843
$\frac{3}{8}$	0-375	9-525	$\frac{15}{16}$	0-96875	24-6062	80	11-0236	11-0630	11-1024	11-1417	11-1811	11-2205	11-2598	11-2992	11-3386	11-3780
$\frac{23}{64}$	0-390625	9-9219	$\frac{31}{32}$	0-984375	25-0031	90	11-4173	11-4567	11-4961	11-5354	11-5748	11-6142	11-6535	11-6929	11-7323	11-7717
$\frac{13}{32}$	0-40625	10-3188	1	1	25-4	<b>300</b>	11-8110	11-8504	11-8898	11-9291	11-9685	12-0079	12-0472	12-0866	12-1260	12-1654
$\frac{27}{64}$	0-421875	10-7156	2	2	50-800	10	12-2047	12-2441	12-2835	12-3228	12-3622	12-4016	12-4409	12-4803	12-5197	12-5591
$\frac{7}{16}$	0-4375	11-1125	3	3	76-200	20	12-5984	12-6378	12-6772	12-7165	12-7559	12-7953	12-8346	12-8740	12-9134	12-9528
$\frac{29}{64}$	0-453125	11-5094	4	4	101-600	30	12-9921	13-0315	13-0709	13-1102	13-1496	13-1890	13-2283	13-2677	13-3071	13-3465
$\frac{15}{32}$	0-46875	11-9062	5	5	127-000	40	13-3858	13-4252	13-4646	13-5039	13-5433	13-5827	13-6220	13-6614	13-7008	13-7402
$\frac{31}{64}$	0-484375	12-3031	6	6	152-400	50	13-7795	13-8189	13-8583	13-8976	13-9370	13-9764	14-0157	14-0551	14-0945	14-1339
$\frac{1}{2}$	0-5	12-7	7	7	177-800	60	14-1732	14-2126	14-2520	14-2913	14-3307	14-3701	14-4094	14-4488	14-4882	14-5276
$\frac{23}{64}$	0-515625	13-0969	8	8	203-200	70	14-5669	14-6063	14-6457	14-6850	14-7244	14-7638	14-8031	14-8425	14-8819	14-9213
$\frac{17}{32}$	0-53125	13-4938	9	9	228-600	80	14-9606	15-0000	15-0394	15-0787	15-1181	15-1575	15-1969	15-2362	15-2756	15-3150
$\frac{35}{64}$	0-546875	13-8906	10	10	254-000	90	15-3543	15-3937	15-4331	15-4724	15-5118	15-5512	15-5906	15-6299	15-6693	15-7087
$\frac{9}{16}$	0-5625	14-2875	11	11	279-400	<b>400</b>	15-7480	15-7874	15-8268	15-8661	15-9055	15-9449	15-9843	16-0236	16-0630	16-1024
$\frac{17}{32}$	0-578125	14-6844	12	12	304-800	10	16-1417	16-1811	16-2205	16-2598	16-2992	16-3386	16-3780	16-4173	16-4567	16-4961
$\frac{15}{16}$	0-59375	15-0812	13	13	330-200	20	16-5354	16-5748	16-6142	16-6535	16-6929	16-7323	16-7717	16-8110	16-8504	16-8898
			14	14	356-000	30	16-9291	16-9685	17-0079	17-0472	17-0866	17-1260	17-1654	17-2047	17-2441	17-2835
			15	15	382-000	40	17-3228	17-3622	17-4016	17-4409	17-4803	17-5197	17-5591	17-5984	17-6378	17-6772
			16	16	408-000	50	17-7165	17-7559	17-7953	17-8346	17-8740	17-9134	17-9528	17-9921	18-0315	18-0709
			17	17	434-000	60	18-1102	18-1496	18-1890	18-2283	18-2677	18-3071	18-3465	18-3858	18-4252	18-4646
			18	18	460-000	70	18-5039	18-5433	18-5827	18-6220	18-6614	18-7008	18-7402	18-7795	18-8189	18-8583
			19	19	486-000	80	18-8976	18-9370	18-9764	19-0157	19-0551	19-0945	19-1339	19-1732	19-2126	19-2520
			20	20	512-000	90	19-2913	19-3307	19-3701	19-4094	19-4488	19-4882	19-5276	19-5669	19-6063	19-6457
			21	21	538-000	<b>500</b>	19-6850	19-7244	19-7638	19-8031	19-8425	19-8819	19-9213	19-9606	20-0000	20-0394





ISBN 978-979-060-122-2  
ISBN 978-979-060-123-9

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 17.666,00