



# LOGAM & PERLAKUAN PANAS

*Untuk Perguruan Tinggi dan Industri*

**Edi Septe.S**

**Penerbit  
Bung Hatta University Press  
Jl. Sumatera Ulak Karang - Padang**

Judul : LOGAM & PERLAKUAN PANAS

*Untuk Perguruan Tinggi dan Industri*

Penulis : Ir. EDI SEPTE.S., M.T

Sampul oleh : Ir. Edi Septe.S., M.T

Perwajahan : Bung Hatta University Press

Diterbitkan oleh Bung Hatta University Press, April 2009

(LPPM) Universitas Bung Hatta

Jl. Sumatera Ulak Karang, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

Telp. (0751) 7051678, 7052096 fax. (0751) 7055475

e-mail : Lppm-bunghatta@yahoo.com

Hak cipta dilindungi Undang-undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Cetakan pertama : April 2009

Perpustakaan Nasional RI : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Edi Septe.S

LOGAM & PERLAKUAN PANAS

*Untuk Perguruan Tinggi dan Industri*

Oleh Edi Septe.S - Padang,

Bung Hatta University Press, 2009

98 Hlmn + viii : 14,8 cm

**ISBN 978-979-1376-73-0**

## **Sekapur Sirih**

Belum pulih dari pengaruh krisis moneter yang terjadi beberapa tahun lalu, saat ini negara Republik Indonesia kembali terimbas oleh dampak dari krisis ekonomi global. Keadaan ini diperkirakan akan berpengaruh terhadap dunia industri di Indonesia dalam beberapa tahun kedepan. Sebagai perguruan tinggi swasta terbaik di Sumatera Barat, Universitas Bung Hatta berupaya memberi kontribusi terhadap masalah yang dihadapi bangsa Indonesia saat ini. Bentuk kontribusi tersebut adalah menghasilkan lulusan yang mampu membuka lapangan kerja dan menghasilkan karya yang dapat dimanfaatkan masyarakat untuk mengembangkan, meningkatkan serta mengoptimalkan proses produksi suatu produk.

Disadari bahwa salah satu karya dosen Universitas Bung Hatta yang dapat dimanfaatkan masyarakat secara luas adalah pemikiran yang dituangkan dalam bentuk buku. Melalui penerbitan buku tersebut mahasiswa dapat mempelajari suatu bidang ilmu dengan lebih mudah dan berkelanjutan, sehingga mereka dapat menguasai bidang ilmu tersebut dengan baik. Selain itu buku juga dapat digunakan masyarakat sebagai acuan dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang mereka hadapi. Oleh karena itu sejak dua tahun lalu Universitas Bung Hatta telah menerbitkan 56 judul buku hasil karya dosen melalui Bung Hatta University Press dan jumlah tersebut akan terus bertambah sejalan dengan adanya buku-buku baru yang ditulis oleh para dosen sebagaimana halnya buku ini.

Saya menyampaikan penghargaan yang tinggi kepada Saudara Ir. Edi Septe, M.T, yang telah berhasil menulis buku ini disela-sela kesibukannya sebagai dosen dan sebagai Kepala Badan Perencanaan, Pengembangan dan Penjaminan Mutu Universitas Bung Hatta. Saya berharap buku ini selalu ditingkatkan kualitasnya sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di industri, sehingga senantiasa dapat dijadikan sebagai referensi bagi mahasiswa dan praktisi di industri.

Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa meridhoi upaya kita dalam meningkatkan kualitas sumberdaya manusia bangsa Indonesia yang kita cintai ini.

Padang, Juli 2009  
Universitas Bung Hatta  
Rektor,

**Prof. Dr. Ir. Hafrijal Syandri, M.S**

---

## **Kata Pengantar**

Kebutuhan masyarakat umum dan industri terhadap bahan-bahan logam pada saat ini masih relatif banyak, berbagai komponen struktur dan bangunan mesin masih dibuat dari bahan baku logam. Pemilihan tersebut tentunya didasarkan kepada sifat-sifat yang dimiliki logam, seperti kekuatan, kekerasan dan ketahanannya terhadap temperatur yang lebih tinggi dibanding beberapa material lain. Namun dalam praktek, beberapa sifat yang diinginkan dimiliki oleh suatu produk seringkali tidak dimiliki oleh suatu jenis logam tertentu, sehingga perlu dilakukan proses perbaikan sifat untuk mendapatkan sifat yang diinginkan.

Salah satu proses perbaikan sifat logam yang banyak dilakukan di industri dan bengkel-bengkel adalah perlakuan panas. Berbagai peralatan permesinan atau komponen bangunan mesin banyak yang harus dikeraskan agar memiliki kemampuan yang baik terhadap tarikan, tekanan, puntiran, lenturan dan gesekan.

Pada kenyataannya informasi tentang berbagai jenis logam dan metoda peningkatan kekuatan dan kekerasan logam yang ditulis dalam bahasa Indonesia masih sangat terbatas. Oleh karena itu penulis mengupayakan penerbitan buku ini sebagai referensi bagi mahasiswa dan praktisi di industri pengolahan logam.

Buku ini dibagi menjadi lima bab, dimana pada Bab I penulis menjabarkan tentang pengolahan logam, pada Bab II penulis menjelaskan logam ferro yang terdiri dari baja dan besi tuang, pada Bab III menjabarkan berbagai logam non ferro, pada Bab IV diuraikan tentang beberapa metoda perlakuan panas yang sering di terapkan untuk memperbaiki sifat-sifat logam, dan pada Bab V berisi tentang proses pengerjaan akhir setelah perlakuan panas logam.

Penulis menyadari buku ini masih belum sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca untuk perbaikan isi buku ini. Akhirnya penulis berharap buku ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Penulis

**Edi Septe.S**

---

## Daftar Isi

Sekapur Sirih	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	iv
<b>Bab I. Pengolahan Logam</b>	<b>1</b>
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Klasifikasi Logam	3
1.3. Pengolahan Bijih Logam	4
1.4. Pengolahan Besi Kasar	9
1.5. Pengolahan Baja	12
1.6. Pengolahan Besi Tuang	16
1.7. Pengolahan Aluminium	18
1.8. Pengolahan Magnesium	19
1.9. Pengolahan Tembaga	20
1.10. Pengolahan Nikel	21
1.11. Pengolahan Titanium	21
1.12. Pengolahan Seng	22
1.13. Pengolahan Timah	23
1.14. Pengolahan Molibdenum	23
1.15. Pengolahan Emas	23
<b>Bab II. Logam Ferro</b>	<b>25</b>
2.1. Baja	25
2.1.1. Baja karbon	25
2.1.2. Baja Paduan Rendah	27
2.1.3. Baja Tahan Karat	31
2.1.4. Baja Perkakas	40
2.2. Besi Tuang	43
<b>Bab III. Logam Non Ferro</b>	<b>46</b>
3.1. Aluminium dan Paduannya	46
3.2. Magnesium dan Paduannya	52
3.3. Tembaga dan Paduannya	53
3.4. Nikel dan Paduannya	55
3.5. Titanium dan Paduannya	55
3.6. Seng dan Paduannya	56
3.7. Timah Hitam dan Paduannya	57
3.8. Timah Putih dan Paduannya	57
3.9. Molibdenum dan Paduannya	57
3.10. Wolfram	58
3.11. Emas	58

---

3.12	Perak	58
3.13.	Platina	58
3.14	Logam Tanah jarang	59
<b>Bab IV.</b>	<b>Perlakuan Panas</b>	<b>62</b>
4.1.	Perlakuan Panas Baja	64
4.1.1.	Perlakuan Panas Normalisasi	68
4.1.2.	Perlakuan Panas Anil	70
4.1.3.	Perlakuan Panas Pengerasan	71
4.1.4.	Perlakuan Panas Pengerasan Pengendapan	73
4.1.5.	Waktu Tahan	73
4.1.6.	Perlakuan Panas Baja Rol Panas	74
4.1.7.	Perlakuan Panas Baja Tarik dan Rol Dingin	75
4.1.8.	Perlakuan Panas Kawat Baja	75
4.1.9.	Perlakuan Panas Baja Tempa	76
4.1.10.	Perlakuan Panas Poros Tempa	79
4.1.11.	Perlakuan Panas Roda Gigi	80
4.1.12.	Perlakuan Panas Ring Piston	83
4.2.	Perlakuan Panas Baja Tuang	83
4.3.	Perlakuan Panas Besi Tuang	85
4.4.	Perlakuan Panas Logam Non Ferro	88
4.4.1.	Perlakuan Panas Aluminium	88
4.4.2.	Perlakuan Panas Paduan Magnesium	91
4.4.3.	Perlakuan Panas Tembaga	92
4.4.4.	Perlakuan Panas Kuningan	92
4.4.5.	Perlakuan Panas Perunggu	92
4.4.6.	Perlakuan Panas Paduan Tembaga – Berilium	93
<b>Bab V.</b>	<b>Pengerjaan Akhir Setelah Proses Perlakuan Panas</b>	<b>94</b>
5.1.	Perendaman Didalam Zat Asam	94
5.2.	Penembakan Partikel	95
	Daftar Pustaka	98

---

# **BAB I**

## **PENGOLAHAN LOGAM**

### **1.1. Pendahuluan**

Kebutuhan manusia terhadap logam telah dimulai sejak ribuan tahun yang lalu. Manusia primitif di zaman batu atau sekitar 3.500 tahun sebelum masehi, telah belajar menggunakan berbagai logam. Logam-logam seperti tembaga, emas dan perak telah digunakan sebagai perhiasan, sedangkan paduan besi-nikel telah digunakan sebagai senjata.

Kemajuan peradaban telah meningkatkan kemampuan manusia untuk beradaptasi dengan berbagai peralatan dalam memenuhi pelayanan hidupnya. Pada 2.500 tahun sebelum masehi atau pada saat zaman perunggu dimulai, manusia telah mampu memadukan timah putih dan tembaga. Pada 500 tahun sebelum masehi manusia menemukan kuningin yang diperoleh dari hasil peleburan bijih tembaga dan seng.

Perkembangan teknologi pengolahan logam terus berlanjut dan pada tahun 1300 ditemukan tungku peleburan modern di Spanyol. Tungku tersebut dapat menghasilkan besi dalam jumlah besar untuk sekali pemanasan. Dua puluh tiga tahun kemudian, di Jerman dikembangkan tungku peleburan bijih besi dengan metoda hembusan. Tungku ini menghasilkan produk logam dengan kadar karbon yang tinggi, yang kemudian dikenal sebagai besi tuang.

Pada tahun 1855, Henry Bessemer memperkenalkan tungku peleburan besi kasar menjadi baja dan dari tahun 1861 hingga 1864, Siemens - Martin mengikuti langkah Bessemer dengan mengembangkan tungku peleburan baja. Dua belas tahun kemudian Davy mengembangkan elektrometalurgi untuk mendapatkan logam ringan.

Saat ini berbagai teknik pengolahan logam telah diterapkan untuk mendapatkan kualitas logam yang lebih baik, sehingga dapat dibuat menjadi material teknik yang memiliki kekuatan, kekerasan, ketangguhan yang tinggi dan dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang lebih kompleks.

---

Sebagai contoh, baja banyak dipakai sebagai material konstruksi karena kekuatannya dan keuletannya yang sangat baik, serta kemudahannya untuk dibentuk menjadi bermacam-macam produk. Meskipun demikian upaya peningkatan kekuatan baja tetap dilakukan, karena kecenderungan untuk menyederhanakan disain bangunan dan pengurangan berat konstruksi.

Industri otomotif merupakan sektor yang banyak menggunakan logam. Hal ini disebabkan sifatnya yang ulet sehingga dapat dipress menjadi berbagai bentuk sesuai dengan disain mobil yang berlekuk-lekuk.

Bidang lain yang memanfaatkan paduan logam adalah konstruksi bangunan lepas pantai. Standar untuk konstruksi ini sangat ketat karena penggunaannya di laut lepas yang dapat merengut jiwa pekerja apabila terjadi kecelakaan akibat kegagalan desain atau material.

Industri baja Jepang bahkan telah melakukan terobosan baru dalam menghasilkan baja tahan karat yang dapat membunuh bakteri. Baja ini mendapat perhatian industri elektronik rumah tangga seperti lemari es, mesin cuci dan industri yang memproduksi peralatan dapur. Dengan presipitasi tembaga yang dihasilkan melalui perlakuan panas, bakteri-bakteri yang banyak berkembang biak pada mesin cuci menjadi mati. Terobosan ini mengundang perhatian masyarakat Jepang yang terkenal sangat sensitif terhadap kebersihan dan higienis.



Gambar 1. Konstruksi bangunan lepas pantai



---

## 1.2. Klasifikasi Logam

Logam adalah segolongan unsur-unsur yang berasal dari galian tambang yang memiliki sifat-sifat yang dapat mengkilat, dapat menghantar panas dan listrik, berwarna putih seperti perak (kecuali tembaga yang berwarna kemerah-merahan dan emas berwarna kuning). Pada temperatur udara normal, hampir semua logam berada dalam keadaan padat. Semua logam dapat mencair bila dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu (titik cairnya). Logam mempunyai kekerasan yang berbeda-beda, mulai dari yang lunak sekali (seperti natrium dan kalium) sampai yang keras sekali (seperti krom dan nikel), sementara raksa berbentuk cair.

Berdasarkan massa jenisnya logam dikelompokkan sebagai logam berat dan logam ringan. Logam berat adalah logam yang memiliki massa jenis diatas 5, sedangkan logam ringan adalah logam yang massa jenisnya kecil dari 5. Menurut sifat kimianya logam mempunyai oksida pembentuk basa dan berdasarkan sifat logam terhadap oksida ini logam digolongkan menjadi : logam mulia, logam setengah mulia dan logam tidak mulia. Logam mulia adalah logam yang tidak dapat mengalami oksidasi, seperti: emas, platina, perak dan merkuri. Logam setengah mulia adalah logam yang sukar teroksidasi, seperti tembaga. Sedangkan logam tidak mulia adalah logam yang dalam keadaan biasa dan pada perubahan temperatur mudah teroksidasi, seperti: magnesium, aluminium, seng, besi, timah putih, timah hitam dan lain-lain.

Berdasarkan unsur-unsur yang dikandungnya logam dikelompokkan menjadi logam murni dan logam paduan. Logam murni adalah logam yang memiliki satu unsur dan logam paduan adalah logam yang mengandung lebih dari satu unsur. Sedangkan berdasarkan unsur utama yang dikandungnya, logam diklasifikasikan menjadi logam ferro dan logam non ferro. Logam ferro adalah logam yang memiliki kandungan utama besi, seperti: besi dan baja. Sedangkan logam non ferro adalah logam yang memiliki kandungan utama bukan besi, seperti: aluminium, magnesium, tembaga, nikel, titanium dan lain-lain.

---

### 1.3. Pengolahan Bijih Logam

Logam pada umumnya diperoleh melalui penambangan kedalam tanah dengan kedalaman tertentu. Pada umumnya, logam-logam tersebut ditemukan dalam bentuk batu-batuan atau pasir yang disebut bijih logam. Dalam penemuannya, bijih logam selalu bercampur dengan unsur-unsur lain yang bersenyawa dengannya. Senyawa tersebut bisa berupa oksida (untuk bijih-bijih besi, mangan, krom, timah putih), karbonat (untuk bijih-bijih seng, tembaga, besi) atau sulfida (untuk bijih-bijih timah hitam, seng, tembaga).

Untuk mendapatkan logam yang diinginkan, bijih logam harus diolah agar terpisah dari unsur-unsur lain yang terdapat pada bijih logam tersebut. Dengan pemisahan tersebut, akan didapatkan logam murni. Persentase berat dari unsur-unsur yang terkandung didalam bijih logam tersebut tergantung pada kedalaman lapisan tanah dimana bijih logam tersebut diperoleh. Misalnya pada lapisan tanah dengan kedalaman 16 Km akan diperoleh bijih logam dengan 46,59 % oksigen, 27,72 % silikon dan selebihnya unsur lain termasuk logam.

Suatu model terakhir lapisan bumi berikut unsur-unsur dominan pada masing-masing lapisan bumi yang diakui oleh kalangan ilmuwan geofisika memperlihatkan bahwa lapisan bawah kulit bumi didominasi oleh  $MgSiO_2$ , diikuti  $CaS$  dan  $MgS$ , sedangkan pada lapisan atas inti bumi didominasi unsur  $Fe + S$ , lapisan bawahnya berisi  $Ni_xSi_y$  dan pada inti bumi terdapat uranium.

Bijih logam yang diperoleh melalui penambangan biasanya memiliki ukuran yang bervariasi, oleh karena itu sebelum dilakukan pengolahan untuk memisahkan logam tersebut dari unsur ikutannya, bijih logam tersebut terlebih dahulu harus dihaluskan dan dikeringkan.

Bijih logam hasil penambangan pada umumnya mempunyai ukuran melintang antara 1.200 mm hingga 1.500 mm. Dalam pengerjaan metalurgi umumnya dibutuhkan bijih logam yang cukup halus (sampai 0,05 mm), sehingga bijih logam yang diperoleh dari penambangan harus diperkecil ukurannya atau dipecah terlebih dahulu.

---

Proses penghalusan bijih logam dilakukan dua tahap, yaitu proses pemecahan dan proses penghalusan. Proses pemecahan bijih logam dilakukan dalam tiga tahap. Pemecahan tahap pertama dilakukan menggunakan alat pemecah berupa roda baja yang memiliki batang-batang pemukul disekelilingnya. Alat pemecah ini dikenal sebagai *Beater Mill*. Bijih logam berukuran antara 300 mm hingga 1.500 mm dimasukkan kedalam alat pemecah dan bergerak kearah batang pemukul yang bergerak disekeliling roda baja. Ketika mengenai batang pemukul, bijih logam akan mengalami pemukulan dengan gaya yang besar sehingga pecah dan jatuh kesaringan yang berada di bagian bawah alat pemecah. Ukuran bijih yang telah diproses dengan cara ini biasanya berkisar antara 100 - 300 mm.

Pemecahan tahap kedua dilakukan menggunakan alat pemecah berbentuk silindris kerucut yang memiliki alur vertikal disekelilingnya. Alat pemecah ini dikenal sebagai *Gyratory Crusher*. Pada dinding bagian dalam alat pemecah ini juga terdapat alur vertikal. Bijih logam yang berukuran antara 100 mm hingga 300 mm dimasukkan kedalam alat pemecah dan ketika berada diantara dinding dan silindris kerucut yang berputar, bijih logam tersebut akan terjepit dan pecah menjadi beberapa bagian dengan ukuran antara 10 - 50 mm.

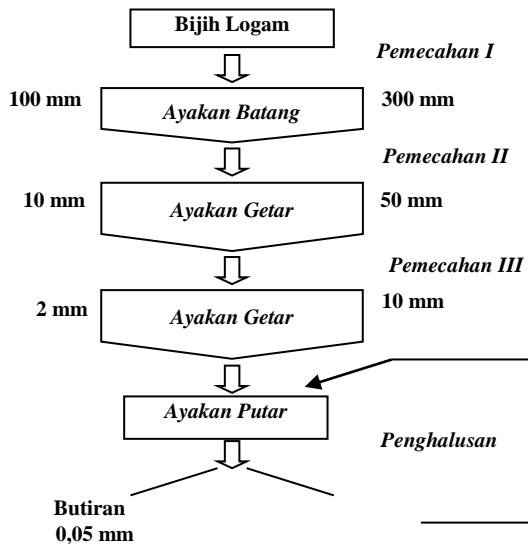
Pemecahan tahap ketiga dilakukan menggunakan *Gyratory Crusher* seperti pada tahap kedua, hanya ukuran celah antara dinding dan silindris kerucut yang lebih kecil. Dengan demikian alat ini mampu memecah bijih logam dari ukuran 10 - 50 mm menjadi ukuran 2 - 10 mm.

Setelah proses pemecahan, bijih logam selanjutnya dihaluskan. Proses penghalusan dilakukan menggunakan *Ball Mill*. Alat pemecah ini berupa tabung silindris yang berisi bola-bola baja didalamnya. Dinding tabung tersebut terbuat dari baja tebal dan pada bagian dalamnya dibuat sekat pemisah untuk membagi tabung menjadi tiga bagian. Pada bagian pertama tabung berisi bola baja berdiameter lebih besar dengan jumlah yang lebih sedikit, sedangkan pada bagian kedua dan ketiga ukuran bola bajanya lebih kecil dan jumlahnya lebih banyak.

Bijih logam berukuran 2 - 20 mm dimasukkan kedalam tabung silindris dan diputar. Bola-bola baja dan bijih-bijih logam yang terdapat didalamnya akan berbenturan. Secara bertahap bijih-bijih logam akan bergerak dari ruang pertama hingga ke ruang ketiga dan akhirnya keluar dari tabung. Proses penghalusan ini mampu menghasilkan bijih-bijih logam hingga berukuran 0,05 mm.

Bijih logam yang sudah dihaluskan kemudian dipisahkan menurut besar atau ukuran butirannya. Proses pemisahan ini dilakukan dengan cara pengayakan. Pengayakan dilakukan untuk menghindari terdapatnya ukuran yang terlalu besar dari ukuran yang diinginkan untuk proses selanjutnya.

Pengayakan biasanya dilakukan menggunakan ayakan berupa batang-batang baja yang berbentuk kisi-kisi, jaring-jaring kawat yang bergetar atau ayakan berbentuk silinder yang berputar. Proses pengayakan bijih logam dan ukuran produknya diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pengayakan bijih logam

---

Bijih-bijih logam yang telah halus selanjutnya dipisahkan dari kotoran atau unsur ikutannya tanpa merubah sifat kimia atau sifat fisiknya, sehingga bijih-bijih logam tersebut akan memiliki persentase konsentrat yang lebih tinggi.

Pemisahan bijih logam dari unsur ikutannya dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti :

1. Pemisahan dengan cara disortir atau dipilih berdasarkan warna atau bentuk bijihnya. Pemilihan biasanya dilakukan pada permukaan yang datar atau menggunakan ban berjalan.
2. Pemisahan berdasarkan perbedaan kekerasan bijih logam.
3. Pemisahan berdasarkan sifat gesekan. Dalam hal ini bijih logam diluncurkan pada bidang miring, sehingga bijih logam yang lebih ringan akan meluncur lebih cepat.
4. Pemisahan secara elektrostatik, yaitu pemisahan bijih logam berdasarkan konduktivitas listrik dan sifat-sifat kelistrikannya.
5. Pemisahan secara magnetis, dimana bijih logam dipisahkan berdasarkan sifat magnetiknya.
6. Pemisahan berdasarkan gravitasi bijih logam hasil penambangan. Dalam hal ini bijih-bijih logam dibedakan berdasarkan kecepatan tenggelam atau jatuhnya bijih logam tersebut dalam suatu cairan atau udara.
7. Pemisahan dengan menggunakan suatu medium berat, dalam hal ini akan terdapat bijih-bijih logam yang mengapung dan tenggelam, tergantung pada massa jenis bijih logam dan medium yang digunakan (cairan organik atau larutan).
8. Flotasi atau pengapungan bijih-bijih logam yang sudah berbentuk bubuk dengan bantuan tiupan udara pada bijih-bijih logam tersebut.

Bijih-bijih logam yang telah dipisahkan dari unsur ikutannya selanjutnya diproses untuk memisahkan logam murni atau senyawanya dari unsur lain yang terdapat pada bijih logam tersebut. Proses pemisahan ini dapat dilakukan dengan dua metoda, yaitu : *Pyrometallurgy* dan *Hydrometallurgy*.

Pada proses *pyrometallurgy* pemisahan logam dilakukan dengan cara menaikkan temperatur bijih-bijih logam tersebut. Proses dasar dari *pyrometallurgy* ini adalah peleburan, pemangangan dan destilasi. Pada proses peleburan, bijih-bijih

---

logam dipanaskan sampai temperatur tertentu sehingga cukup untuk mencairkan logam yang dikehendaki dari bijih-bijih tersebut. Dengan demikian logam yang sudah melebur akan terpisah dengan sendirinya dari bahan-bahan lainnya. Hal ini dimungkinkan oleh perbedaan berat jenis dari bahan-bahan yang terdapat pada bijih-bijih tersebut.

Pada proses peleburan akan terjadi proses reduksi atau oksidasi, bergantung pada jenis bijih logam yang diolah. Bijih logam yang bersifat oksida, seperti : bijih besi, mangan, krom dan timah putih, dipisahkan dengan cara reduksi. Sedangkan untuk bijih logam yang bersifat karbonat dan sulfida, seperti : bijih seng, tembaga dan lainnya, dilakukan dengan cara oksidasi kemudian diikuti dengan reduksi.

Dalam proses persiapan, logam yang akan diproses terlebih dahulu dipanggang. Pemanggangan dilakukan pada temperatur tertentu sehingga tidak sampai melebur logam yang diproses. Tujuan pemanggangan ini adalah untuk menghilangkan gas-gas dan menurunkan kelembaban bijih logam yang akan diproses. Pada pemanggangan dapat terjadi oksidasi, reduksi, sulfatisasi dan reaksi lain, tergantung pada jenis logam yang dipanggang.

Keadaan bijih-bijih logam diantara temperatur pemanggangan dan temperatur peleburan disebut sintering. Dalam hal ini sebagian logam sudah mencair, kemudian jika didinginkan kembali, bagian-bagian yang sudah mencair tersebut akan memadat atau menyatu kembali dengan partikel-partikel yang belum mencair. Tujuan sintering ini adalah untuk merubah bijih-bijih logam yang dipecah terlalu kecil atau halus menjadi gumpalan yang relatif lebih besar. Pada destilasi, logam atau senyawa diuapkan dari bahan tambang yang sukar menguap yang terdapat didalam bijih-bijih tersebut.

Prinsip dasar *hydrometallurgy* adalah pelarutan bijih-bijih logam dengan asam atau basa, sesuai dengan jenis logam yang terdapat pada bijih logam yang dikerjakan. Logam atau senyawanya dipisahkan dari larutan dengan cara elektrolisa atau dengan cara pengendapan. Proses pemisahan seperti ini biasa dilakukan untuk logam-logam ringan, seperti : aluminium, magnesium dan sebagainya.

---

## 1.4. Pengolahan Besi Kasar

Besi kasar diperoleh dari peleburan bijih atau oksida besi didalam tanur tinggi. Bijih besi yang diolah tersebut antara lain adalah bijih besi *hematite* yang mengandung 70 % besi (Fe), bijih besi *magnetite* yang mengandung 72 % Fe dan bijih besi *limonite* yang mengandung 60 % Fe.

Bijih–bijih besi tersebut mula-mula dibersihkan dengan cara mencucinya. Pencucian dilakukan pada saluran goyang yang dialiri air dengan arah yang berlawanan dengan arah datangnya bijih besi, sehingga kotoran dan unsur ikutan pada bijih besi akan terbawa oleh aliran air karena berat jenisnya yang lebih rendah, sedangkan bijih besi akan terus berada di saluran goyang dan terkumpul pada bagian ujungnya. Setelah bersih bijih–bijih besi tersebut kemudian dihaluskan dengan proses pemecahan secara bertahap hingga berukuran 0,05 - 0,15 mm.

Butiran bijih besi halus tersebut selanjutnya dilewatkan pada roda magnetik untuk memisahkan bijih yang mengandung kadar besi yang tinggi dan yang rendah. Pada saat melewati roda magnetik, maka bijih yang memiliki kandungan besi akan bergerak mendekati roda magnetik yang berputar dan jatuh didekat roda magnetik. Sedangkan bijih yang memiliki kandungan besi rendah, tidak terpengaruh pada saat melewati roda magnetik dan jatuh lebih jauh. Bijih besi yang memiliki kandungan besi yang tinggi selanjutnya di sinter untuk mengurangi kadar air, karbon dan zat asamnya.

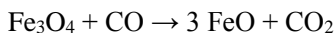
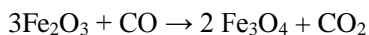
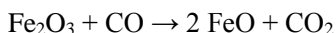
Bijih besi yang telah di sinter kemudian dimasukkan kedalam tanur tinggi yang memiliki ukuran tinggi 9-11 m dan lebar 30–40 m. Kedalam tanur tinggi dimasukkan arang kokas, bijih besi dan batu kapur secara bergantian dengan perbandingan 2 : 1 : 0,5. Kokas berfungsi sebagai bahan bakar, sedangkan batu kapur berfungsi sebagai pengikat terak atau kotoran hasil proses peleburan.

Setelah tanur terisi kira-kira  $\frac{3}{4}$  dari tingginya, kemudian kedalam tanur dihembuskan udara panas dengan bantuan *blower*. Udara panas tersebut mengandung gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO) dan oksigen (O<sub>2</sub>) dengan temperatur

---

kira-kira 1.650 °C. Udara panas yang ditiupkan kedalam tanur itu akan menyebabkan kokas terbakar.

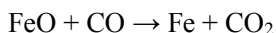
Pada saat kokas terbakar, temperatur didalam tanur meningkat hingga 1.000 °C. Gas CO dari pembakaran itu akan bergerak kebagian atas tanur bersama dengan gas CO dari udara panas. Dalam perjalanannya gas CO tersebut bereaksi dengan bijih besi yang memberikan efek reduksi. Reaksi reduksi yang terjadi pada bijih besi pada saat bereaksi dengan gas karbon monoksida adalah :



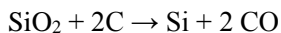
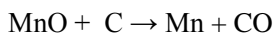
Karbon dioksida yang terdapat didalam tanur bereaksi dengan kokas dan menghasilkan gas CO, reaksinya :



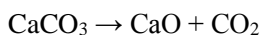
Pada saat sebagian kokas sudah terbakar, oksida besi akan bergerak turun ke bagian bawah tanur. Pada saat mencapai daerah bertemperatur 1.400-1.800 °C, terjadi reaksi reduksi oksida besi (FeO) menjadi besi :



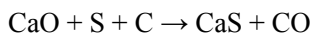
Besi menjadi cair, turun kebagian bawah tanur dan terkumpul didasar tanur. Sedangkan gas CO<sub>2</sub> akan bergerak naik kebagian atas tanur. Pada saat yang bersamaan, sebahagian unsur ikutan MnO dan SiO<sub>2</sub> akan bereaksi dengan C dan tereduksi menjadi Mn dan Si, reaksinya :



Sementara itu pada saat pembakaran berlangsung, batu kapur tereduksi menjadi potasium oksida (CaO) dan karbon monoksida (CO), dengan reaksi :



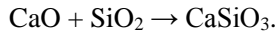
Potasium oksida ini selanjutnya bereaksi dengan sulfur dan karbon membentuk terak, reaksinya :



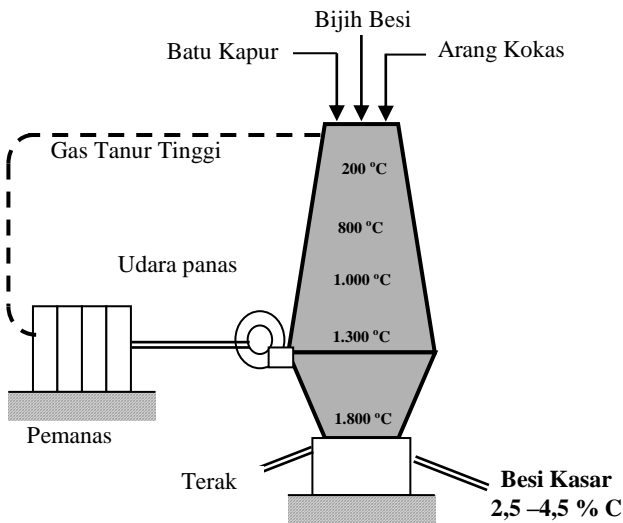


---

Sebagian CaO ini juga bereaksi dengan SiO<sub>2</sub> dan membentuk terak, reaksinya :



Akibat ketidak sempurnaan pembakaran, sebagian karbon yang tidak terbakar akan ikut turun kebagian dasar tanur bersama besi cair dan terak cair dan membentuk dua lapisan. Lapisan bawah adalah besi cair bercampur karbon, sedangkan bagian atasnya terak cair. Terak cair dikeluarkan dari tanur melalui cerat terak, sedangkan besi-karbon cair dikeluarkan dari tanur melalui cerat lainnya, seperti terlihat pada Gambar 3.



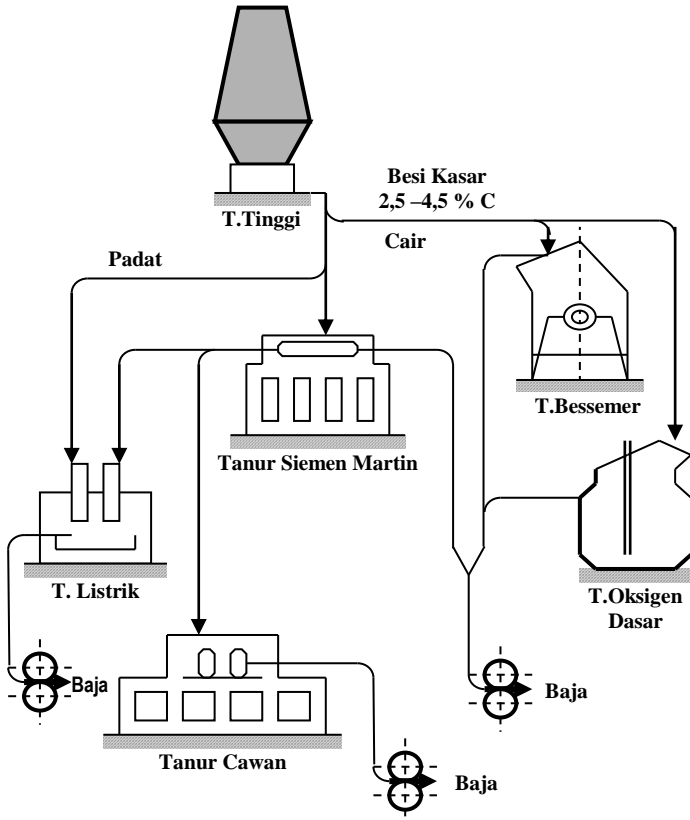
Gambar 3. Pengolahan besi kasar pada tanur tinggi.

Paduan besi-karbon hasil proses reduksi tanur tinggi ini dikenal sebagai besi kasar. Besi kasar tersebut mengandung : 2 - 4,5 % karbon, 0,3 - 1,3 % silikon, 0,5 - 2 % mangan, 0,1 - 1,0 % fosfor dan 0,02 - 0,08 % sulfur. Besi kasar tersebut lebih lanjut dapat diolah menjadi baja atau besi tuang.

---

## 1.5. Pengolahan Baja

Baja diperoleh dari pengolahan besi kasar baik padat maupun cair, besi bekas dan beberapa paduan logam. Sejak pertengahan tahun 1800 berbagai tanur pengolahan baja telah dikembangkan, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses pengolahan baja

---

Tanur Bessemer terdiri dari satu tabung yang berbentuk bulat lonjong yang pada bagian atasnya dibentuk terpotong menghadap kesamping. Tanur ini dapat dimiringkan untuk memasukkan dan mengeluarkan bahan baku. Lapisan bagian dalam tanur terbuat dari batu tahan api yang mengandung kwarsa asam atau oksid asam ( $\text{SiO}_2$ ). Kedalam tanur ini tidak ditambahkan  $\text{CaO}$  karena dapat bereaksi dengan  $\text{SiO}_2$ , yang merusak dinding tanur. Proses pengolahan dilakukan dengan memasukkan besi kasar kelabu cair hingga  $1/8$  dari volume tanur dan dipanaskan dengan kokas hingga temperatur  $1.500\text{ }^\circ\text{C}$ . Kemudian kedalam tanur dihembuskan udara bertekanan  $1,5 - 2$  atm. Setelah  $20 - 25$  menit, baja dikeluarkan dari dalam tanur dengan cara memiringkan tanur tersebut.

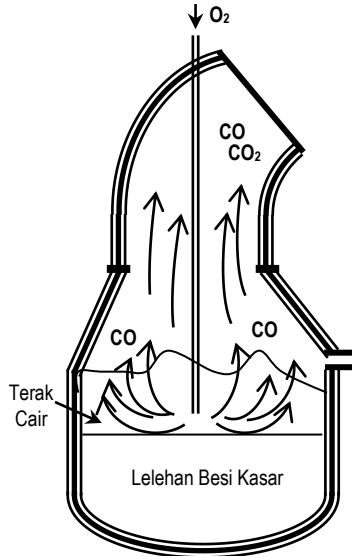
Pengolahan baja pada tanur Siemen Martin, hampir sama dengan proses pada tanur Bessemer, hanya saja tanur ini memiliki dinding yang terbuat dari besi putih yang dilapisi batu dolomit, sehingga dapat mengolah besi kasar kelabu maupun putih. Selain itu tanur ini menggunakan sistem regenerator dengan temperatur hingga  $\pm 3.000\text{ }^\circ\text{C}$ . Regenerator terletak pada bagian bawah tanur, sehingga selain berfungsi sebagai pemanas gas dan udara juga dapat meningkatkan temperatur tanur dan sebagai landasan tanur tersebut.

Pengolahan baja pada tanur Cawan merupakan pengembangan dari tanur Siemen Martin, namun pada tanur cawan dapat ditambahkan baja bekas. Proses pengolahan dilakukan dengan memasukkan besi kasar dan baja bekas kedalam cawan, kemudian ditutup rapat. Selanjutnya dimasukkan gas-gas panas yang memanaskan sekeliling cawan sehingga besi kasar dan baja bekas yang berada didalam cawan akan mencair. Dengan menambahkan unsur-unsur paduan yang diperlukan kedalam baja cair yang terdapat didalam cawan, dapat dihasilkan baja-baja istimewa.

Saat ini dua tanur pengolahan baja yang banyak digunakan di industri, adalah tanur oksigen dasar dan tanur listrik. Proses pengolahan baja yang dilakukan pada tanur oksigen dasar merupakan adaptasi dari proses pengolahan baja pada tanur Bessemer. Perbedaannya adalah jika pada tanur Bessemer proses pengolahan baja dilakukan dengan meniupkan udara melewati

---

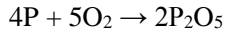
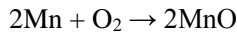
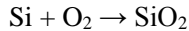
lelehan besi kasar cair untuk mengikat karbon, maka pada tanur oksigen dasar pengurangan kadar karbon dilakukan dengan meniupkan oksigen murni kedalam lelehan besi kasar yang terdapat didalam tanur. Sketsa tanur oksigen dasar diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tanur oksigen dasar.

Kedalam lelehan besi kasar pada tanur oksigen dasar dapat ditambahkan besi bekas maksimum sebanyak 30 % dari kapasitas tanur. Namun apabila dilakukan penambahan besi bekas kedalam tanur harus diikuti dengan penambahan batu kapur. Tanur oksigen dasar yang biasa digunakan berdiameter 5 m dengan kapasitas antara 150 ton hingga 200 ton. Kedalam tanur dihembuskan oksigen murni dengan kecepatan tinggi melalui pipa yang dibalut dengan pendingin air. Kapasitas oksigen yang dihembuskan kedalam tanur adalah  $55 \text{ m}^3$  untuk setiap ton besi cair dengan tekanan  $1.400 \text{ kN/m}^2$ .

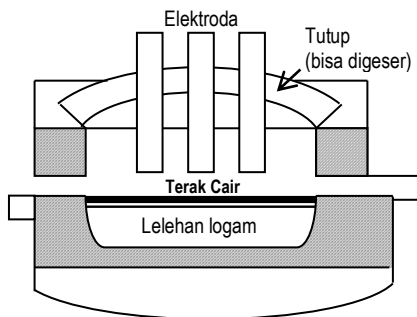
Pada proses pengolahan baja didalam tanur oksigen dasar ini, karbon dan unsur ikutan lain, seperti : silikon, mangan dan fosfor yang terlarut didalam lelehan besi kasar akan teroksidasi, dengan reaksi :



Gas CO dan CO<sub>2</sub> akan bergerak ke bagian atas dan keluar dari tanur, sedangkan SiO<sub>2</sub>, MnO dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> akan diikat oleh batu kapur menjadi terak cair. Setelah proses berlangsung kira-kira 20 menit, baja cair yang terdapat pada bagian bawah tanur di tuang ke dalam wadah khusus melalui saluran keluar yang terdapat pada bagian samping tanur. Kemudian terak cair dikeluarkan melalui bagian atas tanur. Tanur oksigen dasar ini memiliki kemampuan untuk menurunkan kandungan karbon pada baja antara 0,06 – 0,6 %. Baja ini banyak digunakan sebagai baja konstruksi.

Pengolahan baja juga dapat dilakukan pada tanur listrik. Pengolahan baja yang dilakukan pada tanur listrik bukan hanya untuk besi kasar, tetapi juga dapat dicampur dengan besi dan baja bekas. Namun besi bekas yang akan digunakan harus dianalisa terlebih dahulu dan disortir, karena kandungan paduannya akan mempengaruhi komposisi baja yang akan dihasilkan.

Tanur listrik ini menggunakan elektroda yang dialiri arus listrik sebagai sumber panasnya. Pada bagian atas tanur diberi tutup yang dapat digeser, sehingga memungkinkan untuk memasukkan bahan baku dari bagian atas tanur tersebut. Tanur listrik yang banyak digunakan diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tanur listrik.

---

Besi, baja bekas dengan komposisi tertentu dan sejumlah kecil bijih besi serta batu kapur dimasukkan kedalam wadah yang terdapat didalam tanur. Kemudian besi dan baja tersebut dipanaskan menggunakan elektoda yang dihubungkan dengan sumber arus listrik. Pemanasan dilakukan dengan cara mendekatkan elektroda ke permukaan logam. Kemudian arus dialirkan melalui salah satu elektrodanya sehingga membentuk busur (*arc*) pada muatan logam, mengalir melalui logam dan busur kembali ke elektroda selanjutnya. Panas dihasilkan dari tahanan aliran arus dengan muatan. Panas ini bersamaan dengan busur mempercepat peleburan logam. Pemanasan dan pelelehan sebanyak 25 – 100 ton logam yang terdapat didalam tanur membutuhkan waktu sekitar 2 jam.

Pengurangan kandungan karbon dan unsur ikutan lain yang terdapat didalam logam cair, dilakukan pada ruang tanur dimana temperatur dan kondisi lainnya dapat dikontrol secara otomatis. Jumlah oksigen yang masuk ke dalam tanur dapat diatur untuk menghindari reaksi oksidasi yang tidak diinginkan.

Tanur listrik ini biasanya digunakan untuk memproduksi baja paduan, baja perkakas dan baja tahan karat yang harus dibuat dengan spesifikasi yang tepat.

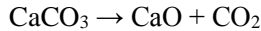
## **1.6. Pengolahan Besi Tuang**

Besi tuang diperoleh dari peleburan besi kasar yang dilakukan didalam tanur kopula. Besi tuang ini mengandung 2 – 4,5 % C. Pada dasarnya pengolahan di tanur kopula hanya untuk peleburan besi kasar padat hingga mencair dan dapat dituang kedalam cetakan.

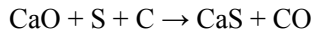
Proses peleburan besi kasar didalam tanur kopula diawali dengan pemanasan pendahuluan agar besi kasar terbebas dari uap air. Bahan bakar berupa arang kayu dan kokas dinyalakan selama lebih kurang 15 jam. Kokas dan udara dihembuskan dengan kecepatan rendah hingga kokas mencapai 700 – 800 mm dari dasar tungku. Besi kasar sebanyak kira-kira 10 – 15 ton per jam dimasukkan kedalam tanur. Setelah 15 menit besi tuang cair dikeluarkan dari lubang pengeluaran dan dapat dituang menjadi bentuk yang diinginkan.

---

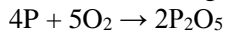
Untuk membentuk terak dan menurunkan kadar fosfor dan sulfur, kedalam tanur ditambahkan batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) dan akan terurai menjadi:



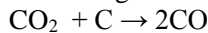
$\text{CaO}$  akan bereaksi dengan sulfur dan karbon dan membentuk terak cair :



Sedangkan fosfor bereaksi dengan oksigen :



$\text{CO}_2$  akan bereaksi dengan karbon :



Gas  $\text{CO}$  dan  $\text{CO}_2$  akan bergerak ke bagian atas dan keluar dari tanur melalui cerobong, panasnya dapat dimanfaatkan untuk pembangkit mesin-mesin lain. Sedangkan  $\text{P}_2\text{O}_5$  akan diikat oleh batu kapur menjadi terak cair.

Karbon dalam besi tuang ditemukan dalam bentuk karbon bebas berupa grafit, karbida besi atau kombinasi keduanya. Karakteristik besi tuang ditentukan oleh perbandingan kedua bentuk karbon yang dikandungnya tersebut. Dalam bentuk grafit : serpihan karbon halus tersebar didalam logam. Sedangkan dalam bentuk karbida : karbon membentuk ikatan kimia dengan besi berupa  $\text{Fe}_3\text{C}$  atau sementit.

Besi tuang merupakan paduan besi dan karbon dengan elemen-elemen lain seperti Si, Mn, P dan S. Silikon yang terdapat dalam besi tuang biasanya kecil dari 3 %. Silikon mempengaruhi grafit agar tetap lunak, sehingga dapat menghindari terjadinya cacat berupa porositas pada coran yang besar. Mangan didalam besi tuang biasanya antara 0,5 – 1,1 %. Mangan mempengaruhi proses pembentukan ikatan karbon dengan besi. Kandungan karbon dalam karbida besi juga dipengaruhi oleh kadar mangan, sehingga untuk besi tuang yang diinginkan memiliki ketahanan aus tinggi, kandungan mangannya harus lebih banyak. Fosfor dalam besi tuang biasanya kecil dari 3 %. Fosfor ini memberi sifat mudah cair pada besi tuang. Sifat ini diperlukan untuk coran yang rumit. Sulfur dalam besi tuang biasanya kecil dari 0,2 %. Sulfur ini mempengaruhi fluiditas dan membuat besi tuang menjadi keras dan getas.

---

## 1.7. Pengolahan Aluminium

Aluminium diperoleh dari bahan baku bauksit, berupa Gibbsit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , Bohmit :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , Nephelin :  $(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , Alunit :  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$ , Kaolin dan Clay :  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

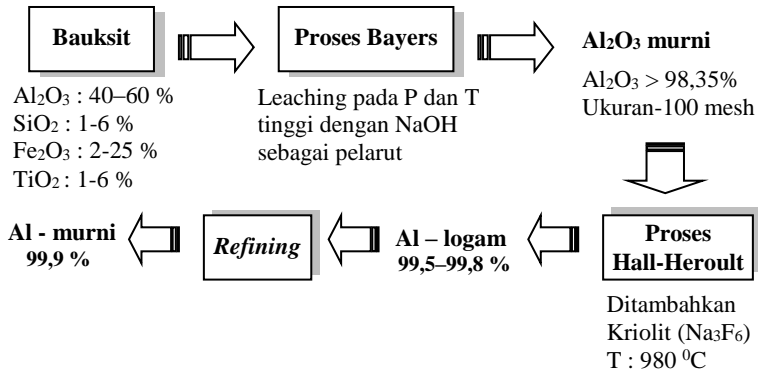
Untuk mendapatkan aluminium, maka unsur-unsur ikutan tersebut harus dipisahkan dari bauksit. Proses pemisahan tersebut dilakukan dengan cara mengekstraksi bauksit dalam tiga tahap, yaitu :

- a. Proses pencucian dan penghalusan bauksit hingga berbentuk serbuk. Pada proses ini bahan baku bauksit yang berupa batuan dihaluskan dengan cara menggilingnya setelah terlebih dahulu dibersihkan.
- b. Proses bayer yang mengubah bauksit menjadi alumina murni atau  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pada proses ini serbuk bauksit dilarutkan dalam cairan soda api :  $\text{NaOH}$  dengan tekanan tertentu pada temperatur  $160\text{ }^\circ\text{C}$ , sehingga menghasilkan sodium aluminate dan sodium silikat dan besi tertinggal dalam bentuk padat. Gas  $\text{CO}_2$  dihembuskan kedalam larutan dan menyebabkan terbentuknya endapan aluminium hidroksida. Sedangkan sodium silikat tetap berada di larutan. Aluminium hidroksida tersebut kemudian disaring dan dipanaskan untuk mendapatkan alumina murni,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Alumina ini mempunyai titik cair yang tinggi, mencapai  $2.200\text{ }^\circ\text{C}$ .
- c. Proses elektrolisa, yaitu proses pemisahan alumina menjadi aluminium dan gas oksigen. Elektrolisa dilakukan dengan melarutkan alumina didalam lelehan kriolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ). Pencampuran alumina dengan kriolit ini dapat menurunkan titik cair alumina hingga  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Proses elektrolisa dilakukan didalam sebuah dapur listrik yang terdiri atas sebuah bak baja plat. Pada bagian dalamnya dilapisi dengan arang murni dan diatasnya terdapat batang-batang arang yang dicelupkan ke dalam campuran tersebut. Arus listrik yang dialirkan melalui kutub katoda dan anoda akan memanaskan larutan alumina dan kriolit hingga mencair. Pada saat mencair aluminium terpisah dari kriolit, dimana aluminium akan berada pada bagian dasar



bak dan kriolit berada pada bagian atasnya. Proses pencairan larutan alumina dan kriolit membutuhkan arus listrik yang besar, yaitu antara 10.000 - 30.000 A dan waktu yang lama.

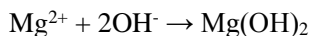
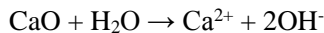
Blok diagram pengolahan bauksit menjadi aluminium, diperlihatkan pada Gambar 7.



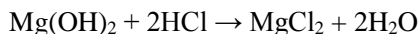
Gambar 7. Bagan proses pengolahan aluminium

## 1.8. Pengolahan Magnesium

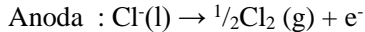
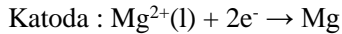
Air laut mengandung sekitar 0,13 % magnesium klorida ( $\text{MgCl}_2$ ) dan ini merupakan sumber untuk mendapatkan magnesium. Untuk mengekstrak magnesium, air laut dicampur dengan cairan kapur atau kalsium hidroksida  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  yang menghasilkan reaksi pengendapan magnesium hidroksida  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  dalam bentuk bubuk.



Bubur magnesium hidroksida tersebut kemudian di saring untuk mendapatkan konsentrasi  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  yang lebih tinggi. Selanjutnya dicampur dengan *hydrochloric acid* ( $\text{HCl}$ ). Reaksi campuran ini akan menghasilkan konsentrat  $\text{MgCl}_2$ .

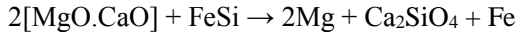


Elektrolisa dilakukan untuk memisahkan konsentrat  $\text{MgCl}_2$  menjadi magnesium dan gas klorin ( $\text{Cl}_2$ ).



Magnesium dituang dalam bentuk batangan atau ingot untuk proses selanjutnya, sedangkan klorin dipakai lagi untuk membentuk  $\text{MgCl}_2$  yang lebih banyak.

Metoda lain yang dapat dilakukan untuk menghasilkan magnesium tanpa elektrolisa adalah dengan menggunakan dolomit :  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ . Pada proses ini mineral magnesium dikalsinasi dengan cara pemanasan untuk membentuk kalsinasi dolomit ( $\text{MgO} \cdot \text{CaO}$ ) dan selanjutnya di reaksikan dengan paduan besi silikon.



Produk hasil reaksi tersebut kemudian disaring untuk mendapatkan magnesium.

## 1.9. Pengolahan Tembaga

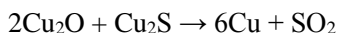
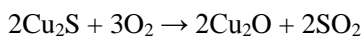
Tembaga merupakan logam tertua yang dikenal manusia, karena telah ditemukan sejak 6.000 tahun sebelum masehi. Pada zaman dulu tembaga ditemukan di alam sebagai unsur bebas, namun saat ini hal itu sangat sulit diperoleh, karena tembaga lebih banyak ditemukan dalam bentuk sulfida, seperti : kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), kalkosit ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), bornit ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_2$ ), kovelit ( $\text{CuS}$ ) dan enargit ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ). Meskipun demikian beberapa batuan tembaga yang ditemukan dalam bentuk oksida, seperti : krisokola ( $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), malasit  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$  dan azurit  $\{\text{Cu}_3(\text{OH})_2\text{CO}_3\}_2$ . Untuk mendapatkan tembaga murni dilakukan beberapa tahapan proses, yaitu proses penghalusan, flotasi dan peleburan.

Penghalusan bijih tembaga dilakukan dengan cara menggilingnya dan mencampurnya dengan air dan zat-zat kimia sehingga menjadi bubur pada suatu bejana berbentuk silindris. Zat-zat kimia atau reagen tersebut berfungsi untuk mempercepat terpisahnya tembaga. Kedalam bubur tersebut kemudian ditiupkan udara atau gas sehingga timbul gelembung udara yang banyak. Butiran logam yang kecil sekali akan menempel pada gelembung udara atau gas tersebut. Bejana tersebut dilengkapi

---

dengan pengaduk yang bergerak dengan kecepatan tertentu, sehingga melempar gelembung udara yang berisi butiran tembaga kebagian pinggir bejana. Butiran tembaga tersebut dikeluarkan dari bejana, dikeringkan dan dipanaskan untuk memisahkan zat asam dan unsur ikutan lainnya.

Pengolahan tembaga selanjutnya adalah proses pencairan yang dilakukan didalam tanur dan dituang ke dalam cetakan, menjadi pelat-pelat anoda. Pelat anoda ini setelah didinginkan dibawa ke bejana beton yang bagian dalamnya dilapisi timbal antimor untuk diolah dengan cara elektrolisa. Pada proses ini batang tembaga dipergunakan sebagai anoda dan lempengan tembaga tipis murni sebagai katoda. Selama proses elektrolisa, anoda akan terurai perlahan-lahan dan tembaga yang memiliki kemurnian tinggi akan menempel pada katoda. Reaksi pemurnian tembaga yang berasal dari bahan baku sulfida adalah :



## **1.10. Pengolahan Nikel**

Nikel diperoleh dari proses pengolahan bijih nikel berupa *pentlandite*  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ . Bijih nikel tersebut terlebih dahulu dicuci dan dihaluskan kemudian di flotasi untuk memisahkan sulfida nikel dengan unsur ikutan lainnya. Nikel sulfida tersebut selanjutnya dipanaskan untuk mengurangi kadar sulfurnya dan diikuti dengan proses pelelehan (*smelting*) untuk memisahkan besi dan silikon. Tahap akhir dari pengolahan bijih nikel adalah proses elektrolisa yang menghasilkan nikel murni.

## **1.11. Pengolahan Titanium**

Titanium terdapat di banyak mineral dengan sumber utama rutil yang mengandung 98 – 99 % titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) dan ilmenite yang merupakan kombinasi  $\text{FeO}$  dan  $\text{TiO}_2$ . Dengan mereaksikan titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) dengan gas klorin pada temperatur tinggi diperoleh titanium tetrachloride ( $\text{TiCl}_4$ ) yang diikuti dengan proses destilasi sehingga diperoleh konsentrat titanium tetraklorida yang lebih tinggi.

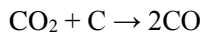
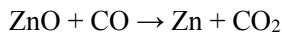
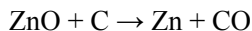
---

Selanjutnya titanium tetraklorida tersebut direduksi dengan magnesium dan menghasilkan titanium spons yang kemudian dilebur didalam tanur listrik dalam kondisi vakum atau dilindungi gas mulia untuk menghasilkan ingot titanium. Ingot titanium tersebut dapat diproses menjadi bentuk tertentu melalui proses tempa pada temperatur 800 – 1.000 °C atau di rol pada temperatur 700 – 800 °C.

### 1.12. Pengolahan Seng

Seng diperoleh dari bijih-bijih seng seperti *sphalerrite* yang mengandung sulfida seng (ZnS), *smithsonite* yaitu seng karbonat (ZnCrO<sub>3</sub>) dan *hemimorphate* yaitu silikat seng (Zn<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>OH-H<sub>2</sub>O). *Sphalerrite* memiliki kandungan seng yang relatif rendah, oleh karena itu pengolahan bijih ini dilakukan dengan terlebih dahulu memecahkannya, kemudian menghaluskannya menggunakan bola-bola baja didalam silinder berputar dan berisi air.

Proses tersebut akan menghasilkan bubuk yang kemudian dicampur dengan media pembuih (*frothing agent*), diaduk sehingga mineral seng akan mengapung ke permukaan sehingga dapat diambil untuk selanjutnya di panaskan hingga temperatur 1.260 °C sehingga diperoleh oksida seng (ZnO). Beberapa proses termokimia dapat digunakan untuk memperoleh seng dari oksida seng. Meskipun terdapat beberapa variasi dalam prosedur pengolahannya, namun semua proses tersebut mereduksi oksida seng menjadi seng murni menggunakan karbon, dengan reaksi :

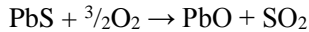


Proses elektrolisa juga dapat digunakan untuk mendapatkan seng murni. Proses ini juga dimulai dengan menghasilkan oksida seng, yang kemudian dicampur dengan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan diikuti dengan elektrolisa untuk memisahkan larutan seng sulfat (ZnSO<sub>4</sub>) menjadi seng murni. Proses elektrolisa ini menggunakan katoda aluminium dan anoda paduan timah hitam – perak. Seng murni akan menempel pada aluminium dan gas oksigen akan dilepaskan melalui anoda.

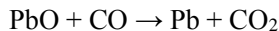
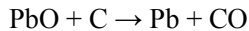
---

### 1.13. Pengolahan Timah

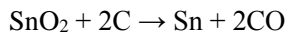
Timah hitam diperoleh dari pengolahan sulfida timah hitam (PbS) yang di panaskan dalam tungku pemanas yang dialiri udara sehingga menghasilkan PbO, dengan reaksi :



Oksida timah hitam tersebut selanjutnya direduksi dengan karbon sehingga diperoleh timah hitam murni, dengan reaksi :



Sedangkan timah putih diperoleh dari pengolahan *cassiterite* (SnO<sub>2</sub>) yang direduksi melalui pembakaran dengan batu bara, dengan reaksi :



### 1.14. Pengolahan Molibdenum

Molibdenum diperoleh dengan cara memanggang sulfida molibdenum (MoS<sub>2</sub>) hingga menghasilkan oksida molibdenum (MoO<sub>3</sub>). Oksida ini kemudian dilarutkan dengan amonium hidroksida untuk mendapatkan *ammonium molybdate* (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> [MO<sub>4</sub>] dan selanjutnya direduksi dengan gas hidrogen untuk memperoleh molibdenum.

### 1.15. Pengolahan Emas

Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan, seperti kuarsa, karbonat, turmalin dan floupar. Emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dari larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan *placer*. Ganesa emas dikategorikan menjadi endapan primer dan endapan *placer*. Ekstraksi emas dilakukan dengan dua cara, yaitu : Amalgamasi dan Sianidasi.

Amalgamasi adalah proses penyelaputan partikel emas oleh air raksa dan membentuk amalgam (Au-Hg). Amalgam

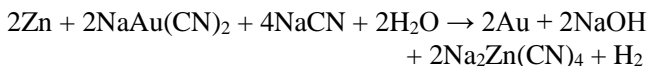
---

merupakan proses ekstraksi emas yang paling sederhana dan murah, namun proses ini efektif untuk bijih emas berkadar tinggi dan memiliki ukuran butir yang besar (lebih dari 74 mikron), serta untuk membentuk emas murni yang bebas (*free native gold*).

Proses sianidasi terdiri dari dua tahap, yaitu proses pelarutan dan proses pemisahan emas dari larutannya. Pelarut yang digunakan adalah NaCN, KCN, Ca(CN)<sub>2</sub> atau campuran ketiganya. Pelarut yang paling banyak digunakan adalah NaCN karena memiliki kemampuan pelarutan yang lebih baik dari pelarut lainnya. Secara umum reaksi pelarutan emas adalah :



Pada tahap kedua pemisahan emas dari larutannya dilakukan melalui pengendapan dengan menggunakan serbuk seng. Reaksi yang terjadi adalah :



Penggunaan serbuk seng merupakan salah satu cara yang efektif untuk larutan yang memiliki konsentrasi emas yang rendah. Penambahan serbuk seng kedalam larutan akan mengendapkan emas. Prinsip pengendapan ini didasarkan pada deret Clenel yang disusun berdasarkan perbedaan urutan aktivitas elektrokimia dari logam-logam dalam larutan sianida, yaitu : magnesium, aluminium, seng, tembaga, emas, perak, air raksa, timah hitam, besi dan platina. Setiap logam yang berada disebelah kiri dari larutan kompleks sianidanya dapat mengendapkan logam yang digantikannya. Jadi sebenarnya tembaga dan aluminium juga dapat digunakan untuk mengendapkan emas, namun biayanya relatif lebih mahal.

---

## **BAB II LOGAM FERRO**

Logam ferro adalah logam yang memiliki kandungan utama besi. Terdapat dua jenis logam yang memiliki kandungan utama besi, yaitu besi murni dan paduan besi yang terdiri dari baja dan besi tuang.

### **2.1. Baja**

Baja merupakan paduan logam dengan unsur utama besi yang memiliki kandungan karbon antara 0,02 hingga 2,11 %. Selain karbon paduan ini juga mengandung unsur lain seperti : mangan, krom, nikel dan perlit dalam jumlah yang relatif kecil. Ratusan jenis baja dengan komposisi yang berbeda terdapat dipasaran, namun secara umum baja dapat diklasifikasikan sebagai :

- (a). Baja karbon (*plain carbon steels*)
- (b). Baja paduan rendah (*low-carbon steels*)
- (c). Baja tahan karat (*stainless steels*)
- (d). Baja perkakas (*tool steels*)

#### **2.1.1. Baja Karbon**

Baja karbon (*plain carbon steels*) mengandung karbon sebagai unsur paduan utama dengan sedikit unsur paduan lainnya, biasanya 0,5 % mangan. Berdasarkan penomoran *American Iron and Steel Institute* (AISI) dan *Society of Automotive Engineers* (SAE), baja karbon dinotasikan dengan empat angka sistem penomoran : 10xx, dimana 10 menyatakan bahan baja karbon dan xx mengindikasikan persentase karbon per seratus. Contoh, 1020 adalah baja karbon yang mengandung 0,20 % karbon. Baja karbon tersebut terdiri dari :

10xx : Baja karbon

11xx : Baja resulturisasi

12xx : Baja refosforisasi dan resulturisasi

---

Berdasarkan jumlah karbon yang dikandungnya, baja karbon dikelompokkan menjadi : baja karbon rendah, baja karbon menengah dan baja karbon tinggi.

**(a) Baja karbon rendah**

Baja karbon rendah memiliki karbon dibawah 0,2 persen. Oleh karena itu baja ini bersifat lunak dan mudah dibentuk. Aplikasi baja karbon rendah antara lain untuk komponen lembaran logam otomotif, pelat baja untuk fabrikasi dan rel kereta.

**(b) Baja karbon menengah**

Baja karbon menengah memiliki karbon antara 0,2 hingga 0,5 persen. Baja ini memiliki kekuatan yang lebih baik dibanding baja karbon rendah. Baja karbon sedang biasanya digunakan sebagai bahan untuk komponen permesinan dan komponen motor penggerak, seperti poros engkol dan batang penggerak.

**(c) Baja karbon tinggi**

Baja karbon tinggi memiliki karbon diatas 0,5 persen. Baja ini memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari kedua jenis baja karbon terdahulu. Baja karbon tinggi biasanya digunakan untuk komponen yang membutuhkan sifat baja yang kuat dan keras, seperti : pegas, perkakas potong dan daun kipas angin serta komponen tahan aus lainnya.

Peningkatan kandungan karbon sampai dengan 0,8 % pada baja karbon akan meningkatkan kekuatan dan kekerasannya, namun menurunkan keuletannya. Baja karbon tinggi dapat diberi perlakuan panas untuk pembentukan martensit, yang membuat baja tersebut menjadi sangat keras dan kuat.

Komposisi kimia baja karbon berdasarkan penomoran SAE – AISI diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia baja karbon.

Tipe	Nama Baja	Komposisi kimia, %			
		Mn	P	S	Si
10xx	Baja karbon	0,4	0,04	0,05	-
11xx	Resulfurisasi	0,9	0,01	0,12	0,01
12xx	Resulfur/fosforisasi	0,9	0,10	0,22	0,01



Kekuatan tarik beberapa jenis baja karbon yang mengalami perlakuan panas, pengerolan panas dan penarikan dingin diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis, perlakuan dan kekuatan tarik baja karbon.

AISI	Perlakuan	Kekuatan Tarik		Perpanjangan
		kg/mm <sup>2</sup>	MPa	%
1010	Rol Panas	31	304	47
1010	Tarik Dingin	37	366	12
1020	Rol Panas	39	380	28
1020	Tarik Dingin	43	421	15
1040	Rol Panas	53	517	20
1040	Tarik Dingin	60	587	10
1055	Perlakuan Panas	92	897	16

### 2.1.2. Baja Paduan Rendah

Baja paduan rendah (*low alloy steels*) adalah paduan besi-karbon yang memiliki unsur pepadu tambahan lain dengan jumlah **maksimum 5 % berat**. Dengan adanya elemen paduan tambahan tersebut, membuat baja paduan rendah memiliki sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon. Sifat mekanik tersebut berupa kekuatan, kekerasan, kekerasan pada saat panas, ketahanan aus, ketangguhan, serta kombinasi dari beberapa sifat tersebut. Perlakuan panas biasanya dilakukan terhadap baja paduan rendah ini untuk mendapatkan sifat-sifat diatas.

Elemen pepadu tambahan pada baja paduan rendah ini pada umumnya adalah salah satu atau kombinasi dari unsur : krom, mangan, molibdenum, nikel dan vanadium. Elemen pepadu tersebut akan membentuk larutan padat dengan besi dan senyawa metalik dengan karbon (karbida) apabila persentase karbon yang terdapat pada baja itu memungkinkan terjadinya reaksi pembentukan karbida tersebut. Berdasarkan elemen pepadunya, SAE dan AISI mengklasifikasikan baja paduan rendah sebagai berikut :

- 13xx : Baja mangan
- 20xx : Baja nikel
- 31xx : Baja nikel - krom
- 40xx : Baja perlit

---

41xx	: Baja perlit - krom
43xx, 47xx, 81xx, 86xx,	
88xx, 93xx, 98xx	: Baja nikel-krom-perlit
46xx, 48xx	: Baja nikel – perlit
50xx, 52xx	: Baja krom
61xx	: Baja krom – vanadium
71xx	: Baja tungsten - krom
92xx	: Baja silikon

Pengaruh dari elemen pemadu tambahan pada baja paduan rendah ini antara lain adalah :

- **Krom (Cr)** : meningkatkan kekuatan, kekerasan, ketahanan aus, dan kekerasan pada saat panas. Salah satu hal yang paling efektif dengan penambahan elemen pemadu ini adalah meningkatkan kemampu kerasan baja dan dalam jumlah yang cukup krom dapat meningkatkan ketahanan korosi.
- **Mangan (Mn)** : meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja. Apabila baja diberi perlakuan panas, kemampu kerasannya akan meningkat dengan bertambahnya jumlah mangan. Oleh karena pengaruhnya itu, maka mangan banyak dimanfaatkan sebagai elemen pemadu pada baja.
- **Molibdenum (Mo)** : meningkatkan ketangguhan, kekerasan pada saat panas dan kekuatan mulur (*creep*). Molibdenum juga meningkatkan kemampu kerasan baja dan membentuk karbida untuk meningkatkan ketahanan aus.
- **Nikel (Ni)** : meningkatkan kekuatan dan ketangguhan. Nikel juga meningkatkan kemampu kerasan baja, namun tidak sebaik elemen pemadu lain. Dalam jumlah yang cukup, nikel dapat meningkatkan ketahanan korosi baja.
- **Vanadium (V)** : menghambat pertumbuhan butir selama proses pada temperatur tinggi dan perlakuan panas, sehingga meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja. Vanadium juga membentuk karbida yang meningkatkan ketahanan aus baja.

Pada penomoran SAE-AISI baja paduan rendah, dua angka pertama menunjukkan jenis bajanya (menurut elemen pemadu utamanya) dan dua angka berikutnya (xx) adalah 1/100 persentase karbonnya. Contoh : 1320, adalah baja mangan yang memiliki kandungan karbon 0,2 persen. Sedangkan kandungan

lain selain 1,7 % mangan adalah 0,04 % fosfor, 0,04 % sulfur dan 0,3 % silikon. Komposisi kimia beberapa baja paduan rendah berdasarkan penomoran SAE – AISI diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi kimia baja paduan rendah.

AISI	Nama Baja	Komposisi kimia, %							
		Cr	Mn	Mo	Ni	V	P	S	Si
13xx	Mangan		1,7				0,04	0,04	0,3
20xx	Nikel		0,5		0,6		0,04	0,04	0,2
31xx	Nikel-krom	0,6			1,0		0,04	0,04	0,3
40xx	Molibdenum		0,8	0,25			0,04	0,04	0,2
41xx	Krom-molibdenum	1,0	0,8	0,2			0,04	0,04	0,3
43xx	Ni-Cr-Mo	0,8	0,7	0,25	1,8		0,04	0,04	0,2
46xx	Nikel-molibdenum		0,6	0,25	1,8		0,04	0,04	0,3
47xx	Ni-Cr-Mo	0,4	0,6	0,2	1,0		0,04	0,04	0,3
48xx	Nikel-molibdenum		0,6	0,25	3,5		0,04	0,04	0,3
50xx	Krom	0,4	0,4				0,04	0,04	0,3
52xx	Krom	1,4	0,4				0,02	0,02	0,3
61xx	Krom-vanadium	0,8	0,8			0,1	0,04	0,04	0,3
81xx	Ni-Cr-Mo	0,4	0,8	0,1	0,3		0,04	0,04	0,3
86xx	Ni-Cr-Mo	0,5	0,8	0,2	0,5		0,04	0,04	0,3
88xx	Ni-Cr-Mo	0,5	0,8	0,35	0,5		0,04	0,04	0,3
92xx	Silikon		0,8				0,04	0,04	2,0
93xx	Ni-Cr-Mo	1,2	0,6	0,1	3,0		0,02	0,02	0,3
98xx	Ni-Cr-Mo	0,8	0,8	0,25	1,0		0,04	0,04	0,3

Sejumlah baja yang tidak mendapat penomoran SAE-AISI namun banyak digunakan dalam aplikasi teknik antara lain : Baja HSLA (*high strength low alloy*), baja *dual phase*, baja *trip* dan baja *high performance*.

Baja HSLA merupakan baja yang dibuat dengan menambahkan elemen paduan dengan tujuan memperlambat rekristalisasi austenit dan menahan pergerakan batas butir austenit melalui pembentukan endapan karbida atau nitrida. Elemen padu ini berupa vanadium, niobium dan titanium. Baja HSLA yang diproduksi untuk bentuk struktur, pelat, batangan dan lembaran memiliki kekuatan luluh antara 290 – 690 MPa. Aplikasi baja ini antara lain untuk konstruksi jembatan, konstruksi bangunan lepas pantai, lambung kapal, pipa gas, menara transmisi listrik dan rangka mobil.

---

Baja *dual phase* dihasilkan melalui pendinginan cepat baja karbon menengah yang mengandung vanadium atau perlit, dari dua fasa ferit + austenit. Austenit akan bertransformasi menjadi endapan - endapan martensit dalam matriks ferit. Sesuai dengan persentase elemen paduannya, endapan - endapan martensit tersebut bisa memiliki austenit yang terbentuk dibawah temperatur transformasinya. Jadi baja *dual phase* juga dapat mengandung martensit dan austenit. Baja *dual phase* diaplikasikan untuk piringan roda dan pelek mobil karena kemampuan penyerapan energinya yang baik.

Baja *trip*, merupakan baja yang kuat dan memiliki kemampuan menyerap energi sama dengan baja *dual phase*. Namun baja ini memiliki persentase penahan pergerakan austenit yang lebih tinggi (10-15%). Transformasi austenit ke martensit selama pembentukan komponen akan meningkatkan mampu bentuk atau mengalami transformasi pada saat impak ketika menerima tumbukan.

Baja *high performance* seperti HY 80 dan HY 100 (merupakan lambang untuk batas kekuatan luluh minimum 80 dan 100 ksi), digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan dan ketangguhan tinggi. Jenis lain dari baja *high performance*, seperti baja dengan elemen padu 2,25 % Cr – 1 % Mo digunakan sebagai material pada alat penukar panas, pipa temperatur tinggi dan ketel uap. Baja Ni – Cr - Mo digunakan sebagai rotor pada generator uap besar dan motor pada pembangkit listrik, dan Baja Ni – Cr – Mo - V digunakan sebagai material bejana tekan pada reaktor nuklir.

Kekuatan tarik beberapa jenis baja paduan rendah yang mengalami perlakuan tertentu, seperti : pengerolan panas, penarikan dingin dan perlakuan panas diperlihatkan pada Tabel 4. Perlakuan panas dalam hal ini diikuti dengan proses temper untuk menghasilkan struktur martensit temper.

Tabel 4. Jenis, perlakuan dan kekuatan tarik baja paduan.

AISI	Perlakuan	Kekuatan Tarik		Perpanjangan
		kg/mm <sup>2</sup>	MPa	%
1315	-	56	545	34
2030	-	58	566	32
3130	Perlakuan Panas	71	697	28
4130	Perlakuan Panas	91	890	17
4140	Perlakuan Panas	94	918	16
4815	Perlakuan Panas	65	635	27
9260	Perlakuan Panas	101	994	18
HSLA	-	60	586	20

### 2.1.3. Baja Tahan Karat

Baja tahan karat (*stainless steels*) adalah baja paduan tinggi yang didisain untuk memiliki ketahanan korosi yang tinggi. Elemen pepadu utama dari baja tahan karat adalah krom dengan jumlah diatas 15 %. Krom yang terdapat didalam paduan baja memiliki sifat yang unik, karena akan bereaksi dengan oksigen yang terdapat di atmosfer dan membentuk lapisan krom oksida tipis yang kedap dipermukaan baja tersebut. Lapisan tersebut akan menghambat penetrasi oksigen ke paduan baja selanjutnya, sehingga melindungi baja tersebut dari korosi. Nikel juga merupakan elemen pepadu utama lain yang digunakan pada berbagai jenis baja tahan karat untuk meningkatkan proteksi terhadap korosi.

Karbon yang terdapat didalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja tersebut, namun peningkatan jumlah karbon didalam baja tahan karat dapat menurunkan ketahanan korosinya, karena karbon dapat bereaksi dengan krom untuk membentuk karbida krom, sehingga akan menurunkan jumlah krom bebas yang terdapat didalam baja tersebut.

Dengan sifat ketahanan korosi, kekuatan dan keuletan yang tinggi, baja tahan karat digunakan untuk berbagai aplikasi. Namun hal itu menyebabkan baja ini menjadi relatif sulit dibentuk dalam proses manufaktur. Selain itu baja tahan karat juga memiliki harga yang relatif mahal dibanding baja karbon atau baja paduan rendah.

---

Secara umum baja tahan karat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok, yaitu baja tahan karat austenitik, feritik, martensitik, dupleks dan pengerasan presipitasi.

### **(a) Baja tahan karat austenitik**

Baja tahan karat austenitik merupakan paduan baja – krom – nikel, yang mengandung 16 – 26 % krom dan 6 – 22 % nikel. Meskipun terdapat 2 jenis baja tahan karat austenitik, yaitu seri 2xx (baja tahan karat dengan kandungan nikel rendah) dan seri 3xx, namun dipasaran jenis baja tahan karat yang banyak digunakan dan populer adalah baja tahan karat 304. Baja ini mengandung 18 – 20 % krom dan 8 – 12 % nikel, namun pada umumnya memiliki komposisi 18 % krom dan 8 % nikel. Berdasarkan komposisinya itu, baja ini dikenal sebagai baja tahan karat 18-8.

Baja tahan karat austenitik bersifat non magnetik dan sangat ulet. Nikel mempunyai pengaruh memperbesar daerah austenit dalam diagram fasa besi - karbon, sehingga membuatnya stabil pada temperatur kamar.

Selain memiliki ketahanan korosi yang baik, baja ini juga memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Berdasarkan sifat-sifat yang dimilikinya, baja tahan karat austenitik banyak digunakan sebagai material pada industri kimia, peralatan proses produksi makanan dan komponen permesinan yang membutuhkan ketahanan korosi yang tinggi. Beberapa jenis baja tahan karat austenitik adalah :

- 201 Ni rendah dan diganti dengan Mn dan N
- 202 Mn lebih banyak dari 201
- 205 Mn dan N lebih banyak dari 202
- 301 Ni dan Cr rendah untuk meningkatkan kemampuan pengerjaan panas
- 302 baja 18-8 dan untuk penggunaan umum
- 302B membatasi pembentukan kerak dengan penambahan Si
- 303 mampu mesin lebih baik dengan penambahan S
- 303Se mampu mesin permukaan lebih baik dengan penambahan selenium
- 304 populer sebagai 18-8, C lebih rendah dari 302

- 
- 304L C lebih rendah dari 304 untuk meningkatkan ketahanan korosi
- 304LN C lebih rendah dari 304 dengan penambahan nitrogen untuk kekuatan
- 304H C lebih banyak dari 304
- 304 Cu penambahan tembaga untuk meningkatkan kemampuan pada pengerjaan dingin
- 304N penambahan nitrogen untuk meningkatkan kekuatan
- 305 Ni lebih banyak untuk menurunkan pengerasan kerja
- 308 Cr dan Ni lebih banyak untuk kemampulan
- 309 Cr dan Ni lebih banyak untuk ketahanan panas
- 309S C lebih rendah dari 309
- 309Cb penambahan Niobium (Columbium)
- 310 Cr dan Ni lebih banyak dari 309 untuk meningkatkan ketahanan panas
- 310S C lebih sedikit dari 310
- 310Cb penambahan Niobium (Columbium)
- 314 Si lebih banyak untuk meningkatkan ketahanan panas
- 316 penambahan Mo untuk meningkatkan ketahanan korosi
- 316F S dan P lebih banyak untuk mampu mesin
- 316L C lebih sedikit untuk meningkatkan ketahanan korosi dan mampu las
- 316LN C rendah dan N tinggi (untuk kekuatan)
- 316H C lebih banyak dari 316
- 316N penambahan N untuk kekuatan
- 316Ti penambahan titanium
- 316Cb penambahan Niobium (Columbium)
- 317 Cr dan Mo lebih banyak untuk meningkatkan ketahanan korosi
- 317L C lebih sedikit dari 317 untuk meningkatkan kemampulan
- 321 penambahan titanium untuk meminimalkan pembentukan karbida Cr.
- 330 Ni banyak untuk meminimalkan karburisasi dan meningkatkan kekuatan kejut saat panas

- 347 penambahan Nb dan Ta untuk meminimalkan pembentukan karbida Cr  
 347H C lebih banyak dari 347  
 348 penambahan Ta dan Co untuk aplikasi nuklir  
 348H C lebih banyak dari 348  
 384 Ni lebih banyak untuk menurunkan pengerasan kerja

Bentuk, perlakuan dan kekuatan tarik beberapa jenis baja tahan karat austenitik diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kekuatan tarik baja tahan karat austenitik

Paduan	Bentuk	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
301	Batangan/Kawat Pelat./Strip	Perlakuan panas anil	515
302	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
302Cu	Batangan	Perlakuan panas anil	450 - 585
303	Batangan	Perlakuan panas anil	585
	Kawat	Perlakuan panas anil	585 - 860
304	Batangan	Pengerjaan dingin	790 - 1000
		Pengerjaan panas dan dianil	515
304L	Batangan	Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
		Pengerjaan panas dan dianil	480
304LN	Batangan	Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 480
		Perlakuan panas anil	550
304LN	Batangan	Perlakuan panas anil	515
305	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
308	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
308L	Batangan	Perlakuan panas anil	550
309	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
310	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
312	Logam lasan		655
314	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
316	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
316F	Batangan	Perlakuan panas anil	585
316L	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	480
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 480



Paduan	Bentuk	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
316LN	Batang	Perlakuan panas anil	515
316N	Batang	Perlakuan panas anil	550
317	Batang	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
317	Batang	Perlakuan panas anil	585
317LN	Batang/Pelat	Perlakuan panas anil	515
321	Batang	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
329	Batang	Perlakuan panas anil	724
330	Batang	Perlakuan panas anil	480
330HC	Batang/Kawat/Strip	Perlakuan panas anil	585
347	Batang	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
348	Batang	Pengerjaan panas dan dianil	515
		Pengerjaan dingin dan dianil (a)/(b)	620 / 515
384	Batang	Perlakuan panas anil	415 - 550
385	Batang	Perlakuan panas anil	415 - 550

(a) Ketebalan hingga 13 mm

(b) Ketebalan lebih dari 13 mm

### (b) Baja tahan karat feritik

Baja tahan karat feritik memiliki kandungan 15 - 18 % krom, karbon yang rendah dan tidak mengandung nikel. Komposisi tersebut menyebabkan pembentukan fasa ferit pada temperatur kamar. Baja tahan karat feritik bersifat magnetik dan memiliki keuletan dan ketahanan korosi yang lebih rendah dibanding baja tahan karat austenitik. Meskipun demikian baja ini memiliki aplikasi yang luas, mulai dari peralatan dapur hingga komponen mesin jet. Beberapa jenis baja tahan karat feritik adalah :

- 405 Cr sedikit dengan penambahan Al
- 409 Cr sedikit, untuk aplikasi exhaust mobil
- 429 Cr lebih sedikit, mampu las lebih baik
- 430 untuk penggunaan umum
- 430F tanpa permesinan dengan S dan P lebih banyak
- 430Se penambahan Se untuk meningkatkan kemampuan mesin permukaan
- 434 penambahan Mo untuk meningkatkan ketahanan korosi

- 
- 436 penambahan Mo, Nb dan Ta untuk meningkatkan ketahanan korosi dan panas
  - 439 C sedikit, penambahan Ti untuk meminimalkan sensitisasi
  - 442 Cr banyak untuk meningkatkan ketahanan terhadap pembentukan kerak oksida
  - 444 C sedikit, Mo untuk ketahanan korosi, Ti dan Nb untuk sensitisasi
  - 446 Cr lebih banyak untuk meningkatkan ketahanan terhadap pembentukan kerak.

Kekuatan tarik beberapa jenis baja tahan karat feritik diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kekuatan tarik baja tahan karat feritik

Paduan	Bentuk	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
405	Kawat	Perlakuan panas anil	480
		Pengerjaan dingin dan dianil	480
409	Batangan	Perlakuan panas anil	450
429	Batangan	Perlakuan panas anil	490
430	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	480
	Kawat	Pengerjaan dingin dan dianil	480
430F	Kawat	Perlakuan panas anil	585–860
434	Kawat	Perlakuan panas anil	545
436	Lembaran/Strip	Perlakuan panas anil	530
442	Batangan	Perlakuan panas anil	550
444	Lembaran/Strip	Perlakuan panas anil	415
446	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	480
		Pengerjaan dingin dan dianil	480

### (c) Baja tahan karat martensitik

Baja tahan karat martensitik memiliki kandungan karbon yang lebih banyak dibanding baja tahan karat feritik, sehingga memungkinkan baja ini untuk diperkuat melalui perlakuan panas. Baja tahan karat martensitik mengandung sekitar 18 % krom dan tanpa nikel. Sifatnya kuat, keras dan memiliki ketahanan fatik yang baik, namun ketahanan korosinya tidak sebaik baja tahan karat austenitik dan feritik. Aplikasi dari baja tahan karat

martensitik adalah untuk perkakas potong dan peralatan bedah. Beberapa jenis baja tahan karat martensitik adalah :

- 403 kualitas khusus untuk komponen tegangan tinggi
- 410 untuk penggunaan umum
- 414 penambahan Ni untuk meningkatkan ketahanan korosi
- 416 P dan S tinggi untuk meningkatkan mampu mesin
- 416Se penambahan Se untuk meningkatkan mampu mesin permukaan
- 420 C lebih banyak untuk meningkatkan kekuatan
- 420F tanpa permesinan dengan S dan P lebih banyak
- 422 penambahan Mo, V dan W untuk meningkatkan kekuatan dan ketangguhan
- 431 penambahan Cr dan Ni untuk meningkatkan ketahanan korosi
- 440A penambahan Cr dan C untuk meningkatkan kekerasan
- 440B penambahan Cr dan C lebih banyak untuk meningkatkan kekerasan / ketangguhan
- 440C penambahan Cr dan C lebih banyak untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan
- 501 Cr sedikit dan ditambah Mo
- 502 C sedikit dan ditambah Mo

Komposisi kimia beberapa jenis baja tahan karat martensitik diperlihatkan pada Tabel 7. Sedangkan Kekuatan tariknya diperlihatkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Komposisi baja tahan karat martensitik.

Paduan	Komposisi Kimia, %					
	Fe	Cr	Ni	C	Mn	Si
<b>403</b>	86	12	0	0,15	1	1
<b>403<sup>b</sup></b>	86	12	0	0,15	1	1
<b>416</b>	85	13	0	0,15	1	1
<b>416<sup>b</sup></b>	85	13	0	0,15	1	1
<b>440</b>	81	17	0	0,65	1	1
<b>440<sup>b</sup></b>	81	17	0	0,65	1	1

<sup>b</sup> diberi perlakuan panas

Tabel 8. Kekuatan tarik baja tahan karat martensitik

<b>Paduan</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Perlakuan</b>	<b>Kekuatan Tarik (MPa)</b>
<b>403</b>	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	485
		Pengerjaan dingin dan dianil	485
		Pengerjaan panas dan ditemper	690–825
		Pengerjaan dingin dan ditemper	690-825
<b>410</b>	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	485
		Pengerjaan dingin dan dianil	485
		Pengerjaan panas dan ditemper	690–825
		Pengerjaan dingin dan ditemper	690-825
<b>410S</b>	Lembaran, Strip	Perlakuan panas anil	415
<b>410Cb</b>	Batangan	Pengerjaan panas dan dianil	485
		Pengerjaan dingin dan dianil	485
		Pengerjaan panas dan ditemper	860
		Pengerjaan dingin dan ditemper	860
<b>414</b>	Batangan	Pengerjaan panas dan ditemper	795
		Pengerjaan dingin dan ditemper	795
<b>414L</b>	Batangan	Perlakuan panas anil	795
<b>416</b>	Kawat	Perlakuan panas anil	585-860
		Perlakuan panas temper	795–1210
<b>420</b>	Batangan	Perlakuan panas temper 205 °C	1.720
	Kawat	Pengerjaan dingin dan dianil	860
<b>422</b>	Batangan	Perlakuan panas temper	965
<b>431</b>	Batangan	Perlakuan panas temper 260 °C	1.370
		Perlakuan panas temper 595 °C	965
<b>440A</b>	Batangan	Perlakuan panas anil	725
		Perlakuan panas temper 315 °C	1.790
<b>440B</b>	Batangan	Perlakuan panas anil	740
		Perlakuan panas temper 315 °C	1.930
<b>440C</b>	Batangan	Perlakuan panas anil	760
		Perlakuan panas temper 315 °C	1.970
<b>501</b>	Batangan, Pelat	Perlakuan panas anil	485
		Perlakuan panas temper 540 °C	1.210
<b>502</b>	Batangan, Pelat	Perlakuan panas anil	485

---

**(d) Baja tahan karat duplex**

Baja tahan karat duplex memiliki struktur campuran austenitik dan feritik dalam jumlah yang sama. Ketahanan korosinya sama dengan baja tahan karat austenitik, namun ketahanannya terhadap korosi retak tegang dilingkungan klorida lebih baik. Berdasarkan sifat yang dimilikinya, maka baja tahan karat duplex banyak diaplikasikan sebagai material pada peralatan penukar panas (*heat exchanger*), pompa dan instalasi pengolahan limbah.

**(e) Baja tahan karat pengerasan presipitasi**

Baja tahan karat pengerasan presipitasi (*precipitation hardening*) adalah paduan baja dengan 17 % krom dan 7 % nikel yang dibuat memiliki kekuatan dan ketangguhan tinggi. Peningkatan tersebut dilakukan melalui penambahan beberapa elemen pepadu lain, seperti: aluminium, perlit, titanium, niobium, vanadium dan atau nitrogen, yang akan membentuk endapan atau presipitat selama perlakuan panas penuaan. Struktur mikro baja tahan karat pengerasan presipitasi ini dapat berupa austenitik atau martensitik, tergantung pada komposisi dan prosesnya. Beberapa jenis baja tahan karat pengerasan presipitasi adalah :

600	Austenitik dengan penambahan Mo, Al, Ti, V dan B
630	Martensitik dengan penambahan Cu dan Nb
631	Austenitik dengan penambahan Al
633	Austenitik dengan penambahan Mo dan N
635	Martensitik dengan penambahan Al dan Ti

Perbedaan baja tahan karat ini dengan jenis lainnya adalah kemampuannya untuk ditingkatkan kekuatannya melalui pengerasan presipitasi. Kekuatan dan ketahanan korosinya dapat tetap terjaga pada temperatur tinggi, sehingga baja tahan karat ini dapat dimanfaatkan sebagai logam paduan untuk aplikasi ruang angkasa. Kekuatan tarik beberapa jenis baja tahan karat pengerasan presipitasi diperlihatkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Kekuatan tarik baja tahan karat pengerasan presipitasi

Paduan	Bentuk	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
PH 13-8 Mo	Batangan, Pelat,Strip	H 950	1.520
		H 1000	1.380
PH 15-5 Mo	Batangan, Pelat,Strip	H 900	1.310
		H 925	1.170
		H 1.025	1.070
		H 1.075	1.000
		H 1.100	965
		H 1.150	930
		H 1.150 M	795
		17-4 PH	Batangan, Pelat,Strip
H 925	1.170		
H 1.025	1.070		
H 1.075	1.000		
H 1.100	965		
H 1.150	930		
H 1.150 M	795		
17-7 PH	Batangan	RH 950	1.275
		TH 1.050	1.170

#### 2.1.4. Baja Perkakas

Baja perkakas adalah baja paduan tinggi yang didisain untuk digunakan sebagai perkakas potong dan cetakan di industri. Untuk dapat memenuhi tujuan tersebut, baja ini harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi, kekerasan yang baik pada saat panas (*hot hardness*), tahan aus dan tangguh terhadap beban kejut. Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut, baja perkakas dipadu dengan unsur tertentu dan diberi perlakuan panas. Tujuan utama dari elemen pepadu pada baja perkakas adalah untuk : meningkatkan kemampukerasan, mengurangi distorsi selama perlakuan panas, memiliki kekerasan yang baik pada saat panas, membentuk karbida logam yang keras untuk menghasilkan ketahanan abrasi dan meningkatkan ketangguhan.

Baja perkakas diklasifikasikan berdasarkan aplikasi dan komposisinya. AISI mengklasifikasikan baja perkakas dengan menggunakan huruf awal, seperti :

- 
- T,M Baja perkakas kecepatan tinggi (*high-speed tool steels*).** Baja perkakas kecepatan tinggi digunakan sebagai perkakas potong pada proses permesinan. Baja perkakas kecepatan tinggi dibuat memiliki ketahanan aus yang tinggi dan memiliki kekerasan yang baik pada saat panas. Baja perkakas kecepatan tinggi (HSS) telah dikembangkan sejak sekitar tahun 1900. Baja ini mempunyai kecepatan potong yang tinggi dibanding perkakas potong yang digunakan sebelumnya, sehingga diberi nama baja kecepatan tinggi. AISI memberi huruf awal sesuai dengan elemen padu utamanya, yaitu : T untuk tungsten dan M untuk molibdenum.
- H Baja perkakas pengerjaan panas (*hot working tool steels*).** Baja perkakas pengerjaan panas digunakan sebagai cetakan pada proses penempaan, ekstrusi dan cetakan pada proses pengecoran.
- D Baja perkakas pengerjaan dingin (*cold work tool steels*).** Baja perkakas pengerjaan dingin digunakan untuk proses pengerjaan dingin, seperti proses pengepresan lembaran logam, ekstrusi dingin, dan berbagai proses penempaan. Huruf D menandakan dies. Lebih lanjut AISI memberi tanda huruf A dan O untuk baja ini. A menyatakan pengerasan dengan udara (*air-hardening*) dan O menyatakan pengerasan dengan oli (*oil-hardening*). Baja perkakas ini memiliki sifat ketahanan aus yang baik dan distorsi yang rendah.
- W Baja perkakas pengerasan dengan air (*water hardening tool steels*).** Baja perkakas pengerasan air mengandung karbon yang tinggi dengan sedikit atau tanpa elemen padu lain. Baja ini hanya dikeraskan dengan pendinginan cepat dengan media pendingin air. Banyaknya penggunaan baja perkakas ini disebabkan harganya yang relatif murah, meskipun temperatur aplikasinya terbatas. Aplikasi dari baja perkakas jenis ini diantaranya adalah untuk kepala cetakan (*cold heading dies*).
- S Baja perkakas tahan kejut (*shock resistant tool steels*).** Baja perkakas tahan kejut digunakan untuk aplikasi yang
-

mempunyai ketangguhan yang tinggi, seperti pada proses pemotongan (*shearing*) lembaran logam, *punching* dan proses pembengkokan.

**P Baja Mold (*mold steels*).** Baja ini digunakan sebagai cetakan pada proses molding plastik dan karet.

**L Baja perkakas paduan rendah (*low-alloy tool steels*).** Baja ini digunakan untuk aplikasi khusus.

Beberapa contoh baja perkakas menurut klasifikasi AISI beserta komposisi kimia dan kekerasannya diperlihatkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Komposisi kimia dan kekerasan baja perkakas.

AISI	Contoh	Komposisi Kimia, %							Kekerasan (HRc)
		C	Cr	Mn	Mo	Ni	V	W	
<b>T</b>	T1	0,7	4,0	-	-	-	1,0	18	65
<b>M</b>	M2	0,8	4,0	-	5,0	-	2,0	6,0	65
<b>H</b>	H11	0,4	5,0	-	1,5	-	0,4	-	55
<b>D</b>	D1	1,0	12,0	-	1,0	-	-	-	60
<b>A</b>	A2	1,0	5,0	-	1,0	-	-	-	60
<b>O</b>	O1	0,9	0,5	1,0	-	-	-	0,5	61
<b>W</b>	W1	1,0	-	-	-	-	-	-	63
<b>S</b>	S1	0,5	1,5	-	-	-	-	2,5	50
<b>P</b>	P20	0,4	1,7	-	0,4	-	-	-	40
<b>L</b>	L6	0,7	0,8	-	0,2	1,5	-	-	45

Sedangkan kekuatan tarik beberapa jenis baja perkakas setelah mengalami perlakuan panas diperlihatkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Kekuatan tarik beberapa jenis baja perkakas.

Jenis	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
<b>L2</b>	Perlakuan panas anil	710
	Pengerasan Oli dari 855°C dan ditemper pada temperatur :	2.000
	315°C	1.790
	425°C	1.550
	540°C	1.275
	650°C	930
<b>L6</b>	Perlakuan panas anil	655
	Pengerasan Oli dari 845°C dan ditemper pada temperatur :	2.000
	425°C	1.585
	540°C	1.345
	650°C	965



---

Jenis	Perlakuan	Kekuatan Tarik (MPa)
S1	Perlakuan panas anil	690
	Pengerasan Oli dari 930°C dan ditemper pada temperatur : 205°C	2.070
	315°C	2.030
	425°C	1.790
	540°C	1.680
	650°C	1.345
S5	Perlakuan panas anil	725
	Pengerasan Oli dari 870°C dan ditemper pada temperatur : 205°C	2.345
	315°C	2.240
	425°C	1.895
	540°C	1.520
	650°C	1.035
S7	Perlakuan panas anil	640
	Pengerasan Oli dari 855°C dan ditemper pada temperatur : 205°C	2.170
	315°C	1.965
	425°C	1.895
	540°C	1.820
	650°C	1.240

## 2.2. Besi Tuang

Besi tuang merupakan paduan logam dengan unsur utama besi yang memiliki kandungan karbon antara 2 hingga 4,5 %. Selain karbon paduan ini juga mengandung unsur lain dalam jumlah yang kecil, seperti : silikon, mangan, molibdenum. Karbon bebas dalam bentuk grafit terjadi selama pendinginan. Pada pendinginan lambat, butiran grafit yang terbentuk besar-besar, sehingga menyebabkan besi tuang memiliki sifat yang ulet dan lebih mudah di bentuk dengan proses permesinan.

Struktur besi tuang secara umum terdiri atas : ferit, sementit, perlit dan grafit. Kekuatan besi tuang dipengaruhi oleh struktur perlit (yang terdiri dari selang-seling lamellar ferit dan sementit). Besi tuang bersifat keras dan rapuh serta tidak dapat dimagnetisasi dan ditemper. Kekuatan tekannya mencapai 78 kg/mm<sup>2</sup>, tapi kekuatan tariknya 31 kg/mm<sup>2</sup> dan titik lelehnya sekitar 1.200 °C.

---

Berdasarkan sifat-sifat yang dimilikinya, besi tuang biasanya diaplikasikan untuk : rangka mesin, tiang, pipa, silinder uap, mesin kendaraan bermotor, rel, roda gila, serta komponen mesin yang menerima beban kejut besar.

Secara umum besi tuang diklasifikasikan menjadi :  
(1) Besi tuang kelabu (2) Besi tuang putih (3) Besi tuang mampu tempa dan (4) Besi tuang nodular.

#### **(a) Besi tuang kelabu**

Besi tuang kelabu diperoleh dari pendinginan lambat lelehan besi cor selama proses pembekuan. Besi tuang ini mengandung 1,7 - 3,5 % C dalam bentuk karbon bebas. Besi tuang kelabu memiliki kekuatan tekan tinggi, mampu mesin baik (karena serpihan grafit berfungsi sebagai pelicin), kapasitas vibrasi tinggi, ketahanan aus tinggi, titik leleh rendah, dan penyusutan kecil. Berdasarkan sifat-sifat tersebut besi tuang ini digunakan sebagai bahan untuk rangka mesin, alas mesin, silinder dan pipa.

#### **(b) Besi tuang putih**

Besi tuang putih dikenal sebagai *chilled cast iron*. Besi tuang ini diperoleh dari pendinginan cepat lelehan besi cor dan komposisi tertentu logam lain. Jika proses pendinginan relatif lebih lambat, maka komposisi logam lainnya harus disesuaikan. Pada besi tuang ini, karbon terdapat dalam bentuk karbida besi. Penambahan krom, vanadium dan molibdenum akan meningkatkan pembentukan karbida besi. Krom dan vanadium merupakan stabilisator karbida. Dengan 0,25 % krom, besi tuang kelabu dapat menjadi besi tuang putih. Sementara itu molibdenum selain sebagai stabilisator juga dapat meningkatkan pendinginan. Sedangkan penambahan silikon dan nikel akan mempengaruhi pembentukan grafit.

Besi tuang putih memiliki sifat yang sulit di-mesin, keras dan memiliki ketahanan aus tinggi, sehingga diaplikasikan sebagai bahan pelek roda mobil angkutan dan blok rem kereta api.

---

### (c) Besi tuang mampu tempa

Besi tuang mampu tempa memiliki sifat yang kuat, ulet dan tangguh. Kekuatan tariknya mencapai 36 kg/mm<sup>2</sup>. Sifat ini diperoleh melalui proses anil dalam waktu yang lama terhadap besi tuang putih. Besi tuang mampu tempa pada umumnya digunakan untuk komponen dengan bentuk yang kompleks, roda gigi, pedal rem, komponen traktor.

### (d) Besi tuang nodular

Besi tuang nodular dikenal juga sebagai besi tuang ulet atau besi tuang kekuatan tinggi. Grafitnya berbentuk bola-bola kecil (*spheroids*). Besi tuang ini diperoleh melalui pengontrolan komposisi pada logam cair (3,2 - 4,1 % C, 1,8 - 2,8 % Si, 0,4 - 0,8 % Mn, kecil dari 0,12 % P dan 0,02 - 0,03 % S) dan menambahkan 15 - 30 % magnesium kedalamnya. Dengan cara itu grafit akan membentuk *spheroids* selama proses pembekuan.

Besi tuang nodular memiliki sifat mampu mesin yang baik dan bersifat seperti baja, sehingga diaplikasikan sebagai bahan untuk silinder hidraulik, kepala silinder, roller dan produk coran yang dibentuk dengan cara sentrifugal. Komposisi kimia dan kekuatan tarik beberapa jenis besi tuang diperlihatkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Komposisi dan kekuatan tarik beberapa jenis besi tuang.

Jenis Besi Tuang	Komposisi Kimia, %					Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Fe	C	Si	Mn	Lain	
<b>Kelabu</b>						
Kelas 20	93,0	3,5	2,5	0,65	-	14
Kelas 30	93,6	3,2	2,1	0,75	-	21
Kelas 40	93,8	3,1	1,9	0,85	-	28
Kelas 50	93,5	3,0	1,6	1,00	0,67 Mo	35
<b>Putih</b>						
Karbon rendah	92,5	2,5	1,3	0,40	1,5 Ni, 1 Cr, 0,5 Mo	28
<b>Mampu Tempa</b>						
Feritik	95,3	2,6	1,4	0,40	-	35
Perlitik	95,1	2,4	1,4	0,80	-	42
<b>Nodular</b>						
ASTM A395	94,4	3,0	2,5	-	-	42
ASTM A476	93,8	3,0	3,0	-	-	56

---

## **BAB III**

### **LOGAM NON FERRO**

Logam non ferro adalah logam dan paduan logam yang memiliki bahan dasar bukan besi. Jenis logam non ferro yang banyak digunakan dalam bidang teknik adalah : aluminium, tembaga, magnesium, nikel, titanium, seng dan paduannya. Meskipun logam non ferro tidak memiliki kekuatan seperti baja, namun sebahagian besar logam non ferro memiliki ketahanan korosi yang baik dan kekuatan per satuan berat yang tinggi, sehingga cukup kompetitif terhadap baja untuk digunakan sebagai bahan dengan tegangan besar.

Sifat-sifat lain yang dimiliki logam non ferro sehingga dipilih sebagai bahan dalam aplikasi teknik adalah **tahanan listriknya yang rendah** (seperti tembaga) sehingga digunakan untuk kawat listrik; **konduktivitas panas yang baik** (seperti aluminium) sehingga digunakan untuk bahan penukar panas dan peralatan memasak; **titik lelehnya rendah** (seperti seng) sehingga digunakan sebagai cetakan. Banyak logam non ferro memiliki kombinasi dari sifat-sifat diatas, sehingga dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang bervariasi.

#### **3.1. Aluminium dan Paduannya**

Aluminium merupakan logam yang mempunyai sifat **ringan**, memiliki **konduktivitas panas** dan listrik yang tinggi, memiliki **ketahanan korosi** yang baik melalui pembentukan lapisan oksida yang keras, tipis dan rapat di permukaannya. Aluminium juga memiliki sifat yang sangat ulet sehingga mudah dibentuk. Secara umum aluminium memiliki berat jenis 2,7 dengan titik leleh 660 °C dan modulus elastis **7.045 kg/mm<sup>2</sup>**.

Alumunium murni memiliki kekuatan yang rendah, namun dapat ditingkatkan dengan cara memadunya dengan logam lain dan memberi perlakuan panas. Dengan demikian paduan aluminium menjadi kompetitif dengan baja sebagai material struktur apabila berat menjadi pertimbangan.

---

Aluminium digunakan untuk berbagai peralatan, seperti kabel listrik tegangan tinggi, struktur bangunan, badan pesawat terbang, peralatan dapur, botol minuman dan sebagainya.

Unsur pepadu tambahan pada paduan aluminium yang biasa digunakan adalah : silikon, tembaga, mangan, besi dan magnesium. Pengaruh masing-masing unsur pepadu tambahan tersebut adalah :

- **Silikon** memiliki pengaruh terhadap kemampuan cair yang baik, ketahanan korosi, ketahanan panas, serta memberikan sifat terhadap kondisi permukaan yang bagus / halus untuk material coran.
- **Tembaga** memberikan sifat kemampuan cair dan mampu mesin yang baik. Namun bila penambahan unsur ini berlebihan akan berpengaruh terhadap ketahanan korosi.
- **Magnesium** memberikan sifat ringan, karena berat jenis magnesium yang rendah, yaitu  $1,89 \text{ g/cm}^3$ . Magnesium juga mampu menahan oksidasi dan retak pada temperatur tinggi.
- **Besi** berfungsi untuk mencegah penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan. Namun bila unsur ini berlebihan akan menurunkan kekuatan tarik dan meningkatkan kekerasan sehingga akan sulit dalam proses permesinan.
- **Mangan** berpengaruh terhadap ketahanan, kekerasan dan ketahanan korosi. Namun bila unsur ini berlebihan akan menurunkan kemampuan tuang dan meningkatkan kekasaran butir partikel sehingga akan berpengaruh terhadap permukaan.
- **Nikel** meningkatkan sifat kekerasan, keuletan, ketahanan terhadap api, panas dan asam.
- **Krom** penambahan unsur krom dapat meningkatkan ketahanan korosi melalui pembentukan karbida krom. Selain itu krom juga dapat meningkatkan kekuatan tarik dan pengerasan inti.

Aluminium dan paduannya dinotasikan dengan empat angka sistem penomoran. Angka pertama menunjukkan kelompok paduan yang terbagi menjadi 9 jenis, yaitu : 1 untuk aluminium murni, 2 untuk paduan aluminium dengan tembaga, 3 untuk paduan aluminium dengan mangan, 4 untuk paduan aluminium dengan silikon, 5 untuk paduan aluminium dengan

magnesium, 6 untuk paduan aluminium dengan magnesium dan silikon, 7 untuk paduan aluminium dengan seng, 8 untuk paduan aluminium dengan timah putih dan logam lainnya, serta 9 untuk paduan aluminium dengan logam lainnya, seperti diperlihatkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Sistem penomoran paduan aluminium tempa dan tuang

Kelompok Paduan	Aluminium Tempa	Aluminium Tuang
Aluminium	1XXX	1XX.X
Tembaga	2XXX	1XX.X
Mangan	3XXX	-
Silikon dan Tembaga/Magnesium	-	3XX.X
Silikon	4XXX	4XX.X
Magnesium	5XXX	5XX.X
Magnesium dan Silikon	6XXX	-
Seng	7XXX	7XX.X
Timah Putih	-	8XX.X
Lainnya	8XXX	9XX.X

Komposisi kimia beberapa paduan aluminium diperlihatkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Komposisi kimia beberapa paduan aluminium

Kode	Komposisi Kimia (%)					
	Al	Cu	Fe	Mg	Mn	Si
1050	99,5		0,4			0,3
1100	99,0		0,6			0,3
2024	93,5	4,4	0,5	1,5	0,6	0,5
3004	96,5	0,3	0,7	1,0	1,2	0,3
4043	93,5	0,3	0,8			5,2
5050	96,9	0,2	0,7	1,4	0,1	0,4
6063	98,5		0,3	0,7		0,4

Oleh karena sifat paduan aluminium sangat dipengaruhi oleh pengerjaan pengerasan dan perlakuan panas, maka proses temper yang dilakukan harus dikodekan sebagai tanda tambahan pada sistem penomoran. Pengkodean proses temper untuk paduan aluminium diperlihatkan pada Tabel 15.

Tabel 15. Notasi proses temper pada paduan aluminium

Temper	Deskripsi
F	Tanpa perlakuan khusus
H	Pengerasan regang (untuk aluminium tempa). H diikuti dengan 2 angka, dimana angka pertama menyatakan perlakuan panas, jika ada dan angka kedua menyatakan derajat pengerjaan pengerasan, contoh : H1X : Tidak ada perlakuan panas setelah pengerasan regang, dan X = 1 – 9 menyatakan derajat pengerjaan pengerasan H2X : Dianil secara parsial, dan X = derajat pengerjaan pengerasan pada produk H3X : Distabilkan (Dipanaskan sedikit diatas temperatur operasi, dan X = derajat pengerjaan pengerasan
O	Dianil untuk menghilangkan pengerasan regang dan meningkatkan keuletan; menurunkan kekuatan ke tingkat yang lebih rendah.
T	Perlakuan panas untuk menghasilkan temper yang stabil selain F, H atau O. Tanda ini diikuti oleh angka yang menyatakan perlakuan khusus, seperti : T1 : Didinginkan dari temperatur puncak dan dilakukan penuaan pada temperatur rendah (15 % dari temperatur jenuhnya). T2 : Didinginkan dari temperatur puncak, dilakukan pengerjaan dingin, dilakukan penuaan pada temperatur rendah (15 % dari temperatur jenuhnya). T3 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan, dilakukan pengerjaan dingin, dilakukan penuaan pada temperatur rendah (15 % dari temperatur jenuhnya). T4 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan, dilakukan penuaan pada temperatur rendah (15 % dari temperatur jenuhnya). T5 : Didinginkan dari temperatur puncak, dilakukan penuaan pada temperatur 15 – 25 % dari temperatur jenuhnya. T6 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan, dilakukan penuaan pada temperatur 15 – 25 % dari temperatur jenuhnya. T7 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan dan dilakukan penuaan pada temperatur diatas 25 % dari temperatur jenuhnya. T8 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan, dilakukan pengerjaan dingin, dilakukan penuaan pada temperatur 15 – 25 % dari temperatur jenuhnya. T9 : Dilakukan perlakuan panas pelarutan, dilakukan penuaan pada temperatur 15 – 25 % dari temperatur jenuhnya dan dilakukan pengerjaan dingin. T10 : Didinginkan dari temperatur puncak, dilakukan pengerjaan dingin, dilakukan penuaan pada temperatur 15 – 25 % dari temperatur jenuhnya
W	Dilakukan perlakuan panas pelarutan, diaplikasikan pada paduan yang mengalami pengerasan penuaan, ini merupakan temper yang tidak stabil.

Kekuatan tarik paduan aluminium setelah mengalami proses temper diperlihatkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Kekuatan tarik paduan aluminium

Aluminium Tuang			Aluminium Tempa			
Paduan	Temper	Kekuatan Tarik, MPa	Paduan	Temper	Kekuatan Tarik, MPa	
201.0	T4	365	1050	0	76	
	T6	485		H14	110	
	T7	460		H16	130	
206.0	T7	435		H18	160	
A206.0	T7	435		1060	0	69
208.0	F	145			H12	83
242.0	T21	185	H14		97	
	T571	275	H16		110	
	T61	325	H18	130		
295.0	T4	220	1100	0	90	
	T6	250		H12	110	
	T62	285		H14	125	
296.0	T4	255	1350	H16	145	
	T6	275		H18	165	
	T7	270		0	83	
308.0	F	195		H12	97	
319.0	F	185		H14	110	
	T6	250		H16	125	
	F	235	H19	185		
	T6	280	2011	T3	380	
336.0	T551	250		T8	405	
	T65	325	2014	0	185	
354.0	T61	380		T4	425	
	355.0	T51		195	T6	485
T6		240	Acd 2014	0	170	
T61		270		T3	435	
T7		265		T4	420	
T71		175		T6	470	
T51		210	2024	0	185	
T6		290		T3	485	
T62		310		T4, T351	470	
T7		280		T361	495	
T71		250	Acd 2024	0	180	
356.0	T51	175		T	450	
	T6	230		T4, T351	440	
	T7	235		T361	460	
	T71	195				



Aluminium Tuang			Aluminium Tempa		
Paduan	Temper	Kekuatan Tarik, MPa	Paduan	Temper	Kekuatan Tarik, MPa
356.0	T6	265	Acd 2024	T81, T851	450
	T7	220		T861	485
357.0	T62	360	2036	T4	340
A357.0	T62	360	2048		455
359.0	T61	330	2124	T851	490
	T62	345		2218	T61
360.0	F	325		T71	345
A360.0	F	320		T72	330
380.0	F	330	2219	0	170
383.0	F	310		T42	360
384.0	F	330		T31, T351	360
A384.0	F	330		T37	395
390.0	F	280		T62	415
	T5	300		T81, T851	455
A390.0	F, T5	180		T87	475
	T6	280	2618	Semua	440
	T7	250	3003	0	110
	F, T5	200	Acd 3003	H12	130
	T6	310		H14	150
T7	260		H16	180	
413.0	F	300		H18	200
A413.0	F	290	3004	0	180
443.0	F	130	Acd 3004	H32	215
B443.0	F	159		H34	240
C443.0	F	228		H36	260
514.0	F	170		H38	285
518.0	F	310	3105	0	115
520.0	T4	330		H12	150
535.0	F	275		H14	170
712.0	F	240		H16	195
713.0	T5	210		H18	215
	T5	220		H25	180
771.0	T6	345		4032	T6
850.0	T5	160	4043	0	145
				H18	285
			5005	0	125
				H12	140
				H14	160
				H16	180
	H18	200			

---

### 3.2. Magnesium dan Paduannya

Magnesium merupakan logam struktur paling ringan. Sebagai logam murni, magnesium relatif lunak dan memiliki kekuatan yang rendah untuk digunakan sebagai bahan teknik. Secara umum magnesium memiliki dengan titik leleh **650 °C** dan modulus elastis **4.932 kg/mm<sup>2</sup>**. Namun magnesium dapat dipadu dengan unsur lain dan diberi perlakuan panas untuk mencapai kekuatan yang mendekati paduan aluminium. Logam padu pada paduan magnesium adalah :

Kode	Logam padu	Kode	Logam padu
A	Aluminium (Al)	P	Timah Hitam (Pb)
E	Logam tanah jarang	Q	Perak (Ag)
H	Thorium (Th)	S	Silikon (Si)
K	Zirconium (Zr)	T	Timah Putih (Sn)
M	Mangan (Mn)	Z	Seng (Zn)

Magnesium memiliki beberapa sifat atraktif yang membuatnya dapat digunakan sebagai material untuk berbagai aplikasi struktur. Sifatnya yang ringan, dengan berat jenis **1,74** membuat logam ini menjadi pilihan untuk komponen yang bergerak dengan kecepatan tinggi dan sebagai bahan untuk komponen yang berukuran kecil.

Paduan magnesium memiliki sifat yang baik pada temperatur tinggi, sehingga menjadi pilihan sebagai material untuk bidang penerbangan dan komponen peluru kendali. Magnesium mudah difabrikasi dengan proses pembentukan seperti : pengecoran, tempa, ekstrusi dan pengerolan. Pengerjaan akhir produk magnesium dapat dilakukan dengan proses permesinan dan penyambungan, sedangkan untuk peningkatan tampak rupa permukaannya dilakukan pengecatan atau pelapisan logam.

Skema pengkodean paduan magnesium menggunakan 3 – 5 karakter kode alfanumerik. Dua huruf pertama merupakan identitas dari elemen padu (dua elemen). Huruf-huruf tersebut diikuti dengan dua angka yang menunjukkan jumlah kedua elemen padu tersebut dalam persen. Selanjutnya huruf terakhir menunjukkan beberapa variasi komposisi atau standarisasi untuk

dapat dikomersilkan, seperti diperlihatkan pada Tabel 17. Paduan magnesium juga mempunyai spesifikasi temper dan sama dengan skema pada paduan aluminium.

Tabel 17. Komposisi kimia dan kekuatan tarik paduan magnesium

Kode	Komposisi Kimia (%)						Proses	Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Mg	Al	Mn	Si	Zn	Lain		
AZ10A	98,0	1,3	0,2	0,1	0,4		Tempa	25
AZ80A	91,0	8,5			0,5		Tempa	34
HM31A	95,8		1,2			3,0 Th	Tempa	29
ZK21A	97,1				2,3	0,6 Zr	Tempa	27
AM60	92,8	6,0	0,1	0,5	0,2	0,3 Cu	Tuang	23
AZ63A	91,0	6,0			3,0		Tuang	20

### 3.3. Tembaga dan Paduannya

Tembaga banyak digunakan sebagai material teknik, karena memiliki tahanan listrik yang rendah, serta ketahanan korosi dan daya hantar panas yang baik. Tembaga memiliki kekuatan dan kekerasan yang relatif rendah namun cukup ulet. Modulus elatis tembaga mencapai 11.273 kg/mm<sup>2</sup> dan titik leleh 1.083 °C. Dengan berat jenis 8,96, membuat tembaga tidak kompetitif sebagai material yang mempertimbangkan sifat ringan.

Peningkatan kekuatan tembaga dilakukan dengan cara memadunya dengan beberapa jenis unsur pemadu, seperti timah putih, seng, nikel dan berilium. Paduan tembaga dengan timah putih (90 % Cu dan 10 % Sn) yang dikenal sebagai perunggu telah dilakukan sejak dahulu, namun saat ini elemen pemadu lain ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Elemen pemadu tambahan yang digunakan adalah aluminium dan silikon. Perunggu memiliki sifat yang mudah di cor, kuat dan tahan korosi, oleh karena itu logam ini lebih banyak dibentuk dengan proses pengecoran.

Kuningan yang merupakan paduan 65 % Cu dan 35 % Zn adalah paduan tembaga yang banyak digunakan sebagai material teknik. Peningkatan kekuatan tarik, ketahanan aus, ketahanan korosi dan sifat mampu mesin kuningan dapat dilakukan dengan menambahkan beberapa elemen pemadu, seperti : 5 % Mn, 2 %

Fe, 2 % Al dan tidak lebih dari 5 % Ni. Pemilihan elemen pemadu yang akan ditambahkan tergantung pada sifat akhir yang diinginkan, namun jumlah elemen pemadu tambahan tersebut tidak boleh lebih dari 10 %. Unsur-unsur pemadu tambahan tersebut akan larut padat dalam paduan Cu-Zn, sehingga tidak membentuk fasa baru, namun hanya mengubah perbandingan fasa.

Paduan tembaga - berilium (dengan 2,5 % Be) memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Setelah diberi perlakuan panas paduan ini memiliki kekuatan tarik hingga 106 kg/mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan sifat yang dimilikinya, tembaga dan paduannya banyak digunakan untuk kumparan motor listrik, sakelar listrik, generator, kabel transmisi, tabung microwave, amunisi, penukar panas, komponen yang digunakan dilingkungan laut, serta pegas (Cu-Be).

Pengkodean paduan tembaga didasarkan pada *Unified Numbering System* (UNS) yang menggunakan 5 angka penomoran dengan didahului oleh huruf C, yang merupakan singkatan dari *Copper*. Tembaga diproses dengan cara ditempa atau dituang, namun pengkodean yang diberikan untuk tembaga telah meliputi keduanya. Komposisi kimia dan sifat mekanik beberapa paduan tembaga diperlihatkan pada Tabel 18.

Tabel 18. Komposisi kimia dan kekuatan tarik paduan tembaga

Kode	Komposisi Kimia (%)					Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Cu	Be	Ni	Sn	Zn	
<b>C10100</b>	99,99					24
<b>C11000</b>	99,95					23
<b>C17000</b>	98,0	1,7				49
<b>C24000</b>	80,0				20,0	30
<b>C26000</b>	70,0				30,0	31
<b>C52100</b>	92,0			8,0		39
<b>C71500</b>	70,0		30,0			39
<b>C71500<sup>a</sup></b>	70,0		30,0			59

<sup>a</sup> Diberi perlakuan panas untuk kekuatan tinggi

---

### 3.4. Nikel dan Paduannya

Nikel merupakan logam non ferro yang memiliki modulus elastis seperti baja. Nikel bersifat magnetik, memiliki ketahanan korosi dan temperatur tinggi yang baik. Berdasarkan sifat ketahanan korosinya tersebut, nikel banyak digunakan sebagai elemen pemuat utama pada baja tahan karat serta sebagai logam pelapis, seperti pada baja karbon.

Secara umum nikel memiliki modulus elastis **21.136** kg/mm<sup>2</sup> dengan titik leleh **1.453** °C. Nikel biasanya dipadu dengan tembaga, krom, besi dan aluminium. Komposisi kimia dan kekuatan tarik beberapa paduan nikel diperlihatkan pada Tabel 19.

Tabel 19. Komposisi kimia dan kekuatan tarik paduan nikel

Kode	Komposisi Kimia (%)							Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Ni	Cr	Cu	Fe	Mn	Si	Lain	
270	99,9							35
200	99,0		0,2	0,3	0,2	0,2	C, S	47
400	66,8		30	2,5	0,2	0,5	C	56
600	74,0	16	0,5	8	1	0,5		67
230	52,8	22		3	0,4	0,4	Co, Mo W, Al	88

### 3.5. Titanium dan Paduannya

Titanium merupakan logam yang ringan, kuat dan tahan korosi (termasuk dilingkungan air laut dan klorin). Titanium memiliki berat jenis **4,54** dan memiliki kekuatan yang sama dengan baja hanya dengan 60 persen dari berat baja. Modulus elastisnya **11.977** kg/mm<sup>2</sup> dengan titik leleh **1.668** °C. Oleh karena itu logam ini digunakan sebagai bahan pada tank dan pesawat ruang angkasa.

Pada dasarnya titanium merupakan logam yang aktif, akan tetapi pada saat mengalami korosi titanium membentuk lapisan oksida pelindung yang tipis pada permukaannya, sehingga mencegah terjadinya korosi selanjutnya.

Meskipun titanium memiliki titik leleh yang tinggi, namun apabila dipanaskan diatas 700 °C dilingkungan udara, pada permukaannya akan terbentuk lapisan TiO, Ti<sub>2</sub>O dan TiO<sub>2</sub>, sedangkan hidrogen dan nitrogen yang terbentuk dari uap air di udara di absorb, sehingga titanium menjadi keras dan getas.

Komposisi kimia dan sifat mekanik beberapa paduan titanium diperlihatkan pada Tabel 20.

Tabel 20. Komposisi kimia dan kekuatan tarik paduan titanium

Kode	Komposisi Kimia (%)						Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Ti	Al	Cu	Fe	V	Lain	
<b>R50250</b>	99,8			0,2			25
<b>R56400</b>	89,6	6,0		0,3	4,0		102
<b>R54810</b>	90,0	8,0			1,0	1,0 Mo	101
<b>R56620</b>	84,3	6,0	0,8	0,8	6,0	2,0 Sn	109

### 3.6. Seng dan Paduannya

Diantara logam non ferro, seng termasuk logam yang memiliki titik leleh yang rendah, yaitu sekitar 419 °C sehingga sangat baik digunakan sebagai logam coran dan sering digunakan sebagai pencampur logam lain yang sukar dituang. Seng memiliki ketahanan korosi yang cukup baik oleh karena itu banyak digunakan sebagai lapisan pelindung karat pada baja. Pelapisan dengan seng dilakukan dengan cara **galvanis**. Dengan tahanan jenis 0,12 ohm.mm<sup>2</sup>/m seng juga di aplikasikan pada bidang kelistrikan. Komposisi kimia dan sifat mekanik beberapa paduan seng diperlihatkan pada Tabel 21.

Tabel 21. Komposisi kimia dan kekuatan tarik paduan seng

Kode	Komposisi Kimia (%)					Kekuatan Tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
	Zn	Al	Cu	Mg	Fe	
<b>Z33520</b>	95,6	4,0	0,25	0,04	0,1	29
<b>Z35540</b>	93,4	4,0	2,5	0,04	0,1	37
<b>Z35635</b>	91,0	8,0	1,0	0,02	0,06	38
<b>Z55840</b>	70,9	27,0	2,0	0,02	0,07	44
<b>Z45330</b>	98,9		1,0	0,01		23

---

### 3.7. Timah Hitam dan Paduannya

Timah hitam adalah logam yang memiliki titik leleh, kekuatan dan kekerasan rendah, keuletan tinggi dan ketahanan **korosi** yang baik. Timah hitam memiliki titik leleh **327 °C**, modulus **elastis 2.114 kg/mm<sup>2</sup>** dan berat jenis **11,35**. Timah hitam biasanya dipadu dengan timah putih dan antimoni. Berdasarkan sifat-sifat yang dimilikinya, timah hitam dan paduannya banyak digunakan sebagai **pipa plumbing, bantalan**, amunisi, baterai dan **peredam getaran**. Timah hitam dan paduannya juga banyak digunakan dalam bidang kimia dan cat. Unsur pepadu utama dari timah hitam adalah timah putih dan antimoni.

### 3.8. Timah Putih dan Paduannya

Timah putih memiliki titik leleh yang lebih rendah dari timah hitam yaitu **232 °C**, namun modulus elastisitasnya lebih tinggi yaitu **2.114 kg/mm<sup>2</sup>**. Timah putih banyak digunakan sebagai paduan tembaga untuk mendapatkan perunggu, sebagai logam pelapis pada lembaran baja kontainer untuk penyimpanan makanan, serta untuk logam solder.

### 3.9. Molibdenum dan Paduannya

Molibdenum merupakan logam yang memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik pada temperatur tinggi. Molibdenum memiliki titik leleh yang tinggi dan relatif padat, kaku dan kuat. Titik leleh molibdenum mencapai **2.619 °C** dan modulus elastisitasnya **33.114 kg/mm<sup>2</sup>**.

Molibdenum digunakan dalam bentuk logam murni maupun paduan. Paduan utama molibdenum adalah TZM yaitu molibdenum yang dipadu dengan kurang dari 1 persen titanium dan zirkonium. Berdasarkan sifat kekuatannya yang baik pada temperatur tinggi, molibdenum dan paduannya digunakan sebagai pelindung panas, elemen pemanas, elektroda las, cetakan untuk pengerjaan temperatur tinggi, komponen roket dan mesin jet. Selain itu molibdenum juga banyak digunakan sebagai elemen pepadu logam lain, seperti baja dan *superalloys*.

---

### 3.10. Wolfram

Wolfram memiliki titik leleh yang tinggi dan sangat padat. Logam ini merupakan logam yang sangat kaku dan keras dibanding logam murni lainnya. Titik leleh wolfram mencapai **3.400 °C**, sedangkan modulus elastisnya **41.568 kg/mm<sup>2</sup>**.

Selain memiliki sifat mekanik yang baik pada temperatur tinggi, wolfram juga memiliki ketahanan korosi yang baik. Oleh karena itu wolfram banyak digunakan sebagai kawat pijar pada bola lampu pijar, komponen roket dan mesin jet, elektroda las listrik, serta sebagai elemen pemadu logam lain seperti baja perkakas dan paduan tahan panas.

### 3.11. Emas

Emas termasuk dalam golongan logam mulia dan memiliki sifat yang lunak dan mudah ditempa. Kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mosh). Emas memiliki titik leleh **1.063 °C**, logam ini digunakan sebagai perhiasan, komponen kontak pada peralatan elektronik serta sebagai bahan pelapis dekoratif pada logam lain.

### 3.12. Perak

Perak juga termasuk dalam golongan logam mulia dan memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Kekerasannya sedikit lebih tinggi dari emas, ulet, mampu tempa dan tahan korosi. Perak memiliki berat jenis 10,5 dan titik lelehnya mencapai **961 °C**. Berdasarkan sifat-sifat yang dimilikinya, perak selain digunakan sebagai perhiasan dan bahan peralatan rumah tangga, juga digunakan sebagai komponen kontak pada peralatan elektronik.

### 3.13. Platina

Platina juga termasuk dalam golongan logam mulia dan memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik. Platina memiliki berat jenis **21,5** dan titik leleh **1.769 °C**. Platina banyak digunakan sebagai perhiasan,



---

termokopel, komponen kontak pada peralatan elektronik serta peralatan kontrol polusi katalitik pada mobil.

### **3.14. Logam Tanah Jarang**

Logam tanah jarang merupakan unsur yang terletak pada golongan lantanida dan termasuk tiga unsur tambahan yaitu : Yttrium, Thorium dan Scandium. Masuknya ketiga unsur ini dalam kelompok logam tanah jarang dikarenakan kesamaan sifatnya. Sesuai dengan namanya, unsur-unsur ini sangat jarang ditemukan, dan apabila ditemukan jumlahnya juga sangat sedikit. Unsur-unsur yang termasuk sebagai logam tanah jarang adalah : Yttrium, Scandium, Lanthanum, Cerium, Praseodymium, Neodymium, Promethium, Samarium, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Thorium.

Logam tanah jarang pertama kali ditemukan pada tahun **1787** oleh Karl Axel Arhenius, seorang letnan angkatan bersenjata Swedia. Pada saat itu di dekat desa Ytterby, Arhenius mengumpulkan mineral hitam Ytterbite dari penambangan **feldspar dan kuarsa**. Kemudian mineral ini dipisahkan oleh J.Gadoli pada tahun **1794** dan memperoleh mineral Ytterbite. Selanjutnya nama mineral tersebut diganti menjadi **Gadolinite**.

Penemuan ini memicu penelitian selanjutnya dan menghasilkan didapatkannya unsur-unsur logam tanah jarang lainnya, yaitu :

- Tahun 1804, Klaproth dan kawan-kawan menemukan Ceria yaitu bentuk oksida dari Cerium.
- Tahun 1828, Berzelius mendapatkan mineral thoria dari mineral thorite.
- Tahun 1842 Mosander memisahkan senyawa Ytria menjadi tiga unsur : Ytria, Terbia dan Erbia, melalui fraksional menggunakan asam oksalat dan hidroksida.
- Tahun 1878, Boisbaudran mendapatkan unsur Samarium
- Tahun 1885, Welsbach memisahkan prasendymium dan neodymium yang terdapat pada Samarium.

- 
- Tahun 1886, Boisbaudran mendapatkan gadolimum dari mineral Yterbia yang diperoleh J.C.G de Marignac pada tahun 1880.
  - Tahun 1907, Boisbaudran berhasil memisahkan Yterbia menjadi Neoyterium dan Lutecium yang diperoleh J.C.G de Marignac. Pada tahun yang sama Cleve mampu memisahkan tiga unsur dari Erbia dan Terbia menjadi Erbium, Holminium dan Thulium. Sedangkan Boisbaudran berhasil menemukan unsur Dysporsia.

Logam tanah jarang tidak ditemukan sebagai unsur bebas, tetapi berupa paduan yang membentuk senyawa kompleks phospat, karbonat dan sulfat. Beberapa mineral logam tanah jarang tersebut adalah :

- **Basmaesite** ( $\text{CeFCO}_3$ ), merupakan fluoro-carbonat cerium yang mengandung 60-70% oksida logam tanah jarang seperti Lanthanum dan Neodymium. Mineral Basmaesite ditemukan dalam baruan Carbonatite, Dolomite breccia, Pegmatite dan Amphibole Skarn.
- **Monazite** ( $\text{Ce,La,Y,Th} \text{PO}_3$ ), merupakan senyawa phospat logam tanah jarang yang mengandung 50-70% oksida logam tanah jarang. Monazite diperoleh dari mineral pasir berat yang merupakan hasil sampingan dari senyawa logam berat lain. Monazite memiliki kandungan Thorium yang cukup tinggi. Thorium memancarkan radiasi berupa sinar dengan tingkat radiasi rendah.
- **Xenotite** ( $\text{YPO}_4$ ), merupakan senyawa Irritium Phospat yang mengandung 54-65% logam tanah jarang termasuk Erbium, Cerium dan Thorium. Xenotite juga merupakan mineral yang ditemukan dalam mineral pasir berat seperti pegmatite dan batuan leleh (*igneous rocks*)
- **Zircon**, merupakan senyawa Zirconium Silicate yang didalamnya ditemukan Thorium, Yttrium dan Cerium.

Mineral-mineral tersebut tidak didapatkan dengan mudah, karena jumlahnya sangat terbatas dan mineral tersebut tidaklah terpisah sendiri, melainkan tercampur dengan mineral lain. Sehingga untuk mendapatkan mineral logam tanah jarang harus terlebih dahulu dilakukan pemisahan mineral lainnya. Mineral

yang mendominasi dalam senyawa logam tanah jarang adalah Lanthanum, Cerium, Neodymium. Dengan demikian mineral ini menjadi lebih ekonomis untuk di ekstraksi dan pemanfaatannya menjadi lebih banyak dibanding mineral logam tanah jarang lainnya.

Logam tanah jarang telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri, karena kemampuannya untuk meningkatkan kualitas produk. Sebagai contoh : neomagnet, yaitu magnet yang memiliki medan magnet yang lebih baik dari magnet biasa, sehingga memungkinkannya untuk menurunkan berat dan volume magnet, dinamo yang kuat yang digunakan pada mobil bertenaga listrik.

Aplikasi logam tanah jarang dalam bidang metalurgi adalah sebagai elemen pepadu tambahan, seperti pada baja kekuatan tinggi paduan rendah (HSLA), baja karbon tinggi, *super alloy* dan baja tahan karat. Karena logam tanah jarang juga dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan panas, maka logam ini juga digunakan sebagai elemen pepadu tambahan untuk paduan magnesium dan aluminium. Logam tanah jarang juga digunakan sebagai bahan untuk pelat, korek gas otomatis, lampu keamanan di pertambangan, perhiasan, cat, lem, magnet, baterai, dan lain-lain. Aplikasi logam tanah jarang diperlihatkan pada Tabel 22.

Tabel 22. Aplikasi logam tanah jarang.

<b>Aplikasi</b>	<b>Unsur</b>	<b>Bidang Aplikasi</b>
Magnet	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm	Motor listrik mobil hybrid, power steering electric, air conditioner, generator, hard disk drive.
Baterai NiMH	La, Ce, Pr, Nd	Baterai mobil hybrid, baterai rechargeable
Auto Catalysis	Ce, La, Nd	Gasilone dan hybrids diesel dual additive untuk peningkatan standar emisi otomotif global
Fluid Cracking Catalysis	La, Ce, Pr, Nd	Produksi minyak
Phosphors	Eu, Y, Tb, La, Dy, Ce, Pr, Gd	LCD TV, monitor TV plasma, lampu flourescent hemat energi
Polishing	Ce, La, Pr	LCD TV dan monitor

---

## **BAB IV PERLAKUAN PANAS**

Perlakuan panas logam adalah proses perubahan sifat mekanik logam melalui perubahan struktur mikronya. Perubahan struktur mikro tersebut dilakukan dengan cara memanaskan dan mendinginkan logam tersebut tanpa merubah komposisi kimianya. Perubahan sifat logam akibat proses perlakuan panas dapat mencakup keseluruhan atau hanya sebagian dari logam tersebut.

Perlakuan panas dilakukan dengan cara memanaskan logam atau paduan logam hingga mencapai temperatur tertentu, kemudian menahannya beberapa saat pada temperatur puncak (dalam fasa padat) dan selanjutnya mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu. Secara umum perlakuan panas logam bertujuan untuk :

1. Meningkatkan kekerasan.
2. Melunakkan.
3. Menghilangkan tegangan sisa.
4. Meningkatkan sifat mampu mesin.
5. Menambahkan unsur kimia tertentu di permukaannya.

Dalam bidang manufaktur perlakuan panas logam dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Melunakkan logam agar mudah dibentuk.
2. Menghilangkan tegangan sisa yang disebabkan pengerasan regang yang terjadi selama pembentukan sebelumnya sehingga logam tersebut dapat dibentuk lebih lanjut
3. Meningkatkan kekuatan dan kekerasan produk akhir dari suatu logam sesuai dengan yang diinginkan.

Keberhasilan suatu proses perlakuan panas dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah :

1. Temperatur pemanasan
2. Waktu tahan pada temperatur puncak pemanasan
3. Laju pendinginan.

Ketiga faktor tersebut dipengaruhi oleh :

---

1. Komposisi logam yang mengalami perlakuan panas.

Pada logam paduan komposisi dari unsur-unsur yang terdapat pada logam tersebut akan mempengaruhi temperatur pemanasan yang akan dilakukan.

2. Sifat mekanik dan sifat termal logam tersebut.

Sifat mekanik dari logam yang akan diberi perlakuan panas akan berpengaruh terhadap metode perlakuan panas dan temperatur pemanasannya, misalnya logam sangat keras yang akan ditingkatkan kekuatannya akan dipanaskan pada temperatur yang relatif rendah, dibanding logam ulet yang akan ditingkatkan kekerasannya. Sedangkan sifat termal logam akan berpengaruh terhadap waktu tahan pada temperatur puncak dan laju pendinginannya. Logam yang memiliki sifat daya hantar panas yang baik akan lebih cepat mencapai keseragaman temperaturnya dibanding logam yang memiliki sifat daya hantar panas yang kurang baik. Oleh karena itu waktu tahan logam tersebut akan lebih singkat dan laju pendinginannya juga akan lebih tinggi.

3. Ukuran dan bentuk logam tersebut.

Ukuran dan bentuk logam yang akan diberi perlakuan panas akan memberi pengaruh terhadap waktu tahan dan laju pendinginan. Logam yang berukuran besar akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai keseragaman temperatur pada temperatur puncak, serta membutuhkan waktu pendinginan yang lebih lama dibandingkan logam berukuran lebih kecil. Demikian juga halnya dengan bentuk logam, dimana logam yang berbentuk lempengan akan lebih cepat mencapai keseragaman panas dan lebih cepat dingin dibanding logam yang berbentuk silindris atau kubus.

4. Pengerjaan yang dialami logam tersebut sebelumnya.

Pengerjaan yang dialami sebelumnya oleh logam yang akan diberi perlakuan panas akan berpengaruh terhadap temperatur pemanasan dan laju pendinginannya. Sebagai contoh, logam yang sebelumnya mengalami proses pengerolan akan memiliki sifat yang keras, sehingga agar dapat dibentuk pada tahap selanjutnya perlu dilakukan pelunakan. Untuk itu logam tersebut akan dipanaskan dengan temperatur pemanasan yang lebih tinggi dan laju pendinginan yang lebih lambat. Hal yang

---

berbeda akan dilakukan terhadap logam yang sebelumnya mengalami proses pembentukan dengan pembubutan yang akan ditingkatkan kekerasannya.

5. Sifat yang diinginkan setelah perlakuan panas.

Sifat yang diinginkan setelah perlakuan panas akan berpengaruh terhadap laju pendinginannya, dimana logam yang diinginkan memiliki kekerasan tinggi akan didinginkan dengan laju pendinginan yang cepat, sedangkan logam yang diinginkan memiliki keuletan yang tinggi akan didinginkan dengan laju pendinginan yang lebih lambat.

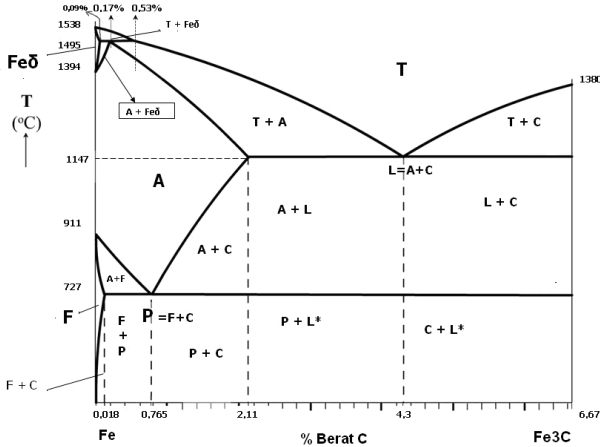
#### **4.1. Perlakuan Panas Baja**

Pada umumnya besi tidak digunakan sebagai material teknik dalam bentuk besi murni, karena sifatnya sangat lunak, ulet serta memiliki kekuatan tarik yang rendah. Namun apabila dipadu dengan sedikit unsur lain, seperti karbon atau logam lainnya, maka besi tersebut menjadi lebih keras dan kuat, sehingga lebih baik untuk digunakan sebagai material teknik.

Paduan besi dengan kecil dari 2,11 % C menghasilkan logam paduan yang dikenal sebagai baja. Meskipun pada dasarnya baja memiliki kekerasan dan kekuatan yang cukup baik, namun oleh karena ruang lingkup penggunaannya sangat luas, maka rentang nilai kekerasan dan kekuatan baja yang diperlukan sangat lebar atau sesuai dengan sifat mekanik yang dibutuhkan.

Perubahan sifat mekanik, khususnya kekerasan dan kekuatan baja diperoleh melalui perubahan struktur mikro yang dilakukan dengan proses perlakuan panas. Sebagai contoh, melalui perlakuan panas dengan pendinginan cepat sepotong baja didalam air akan menyebabkan baja tersebut memiliki kekerasan yang tinggi namun getas, akibat pembentukan martensit. Melalui perlakuan panas temper baja yang telah dikeraskan dengan perlakuan panas dengan pendinginan cepat, akan mencapai tingkat keuletan yang lebih tinggi, karena pembentukan strukturmikro perlit. Sifat mampu bentuk lembaran baja ferit dapat dicapai melalui perlakuan panas anil

Sebelum pembahasan proses perlakuan panas baja, maka terlebih dahulu dilihat diagram fasa besi-karbon, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram fasa besi - karbon

Fasa-fasa yang terdapat pada diagram fasa besi-karbon tersebut antara lain adalah : ferit (F), sementit (C), perlit (P) yang terdiri dari ferit dan sementit, austenit (A), ledeburit (L) yang terdiri dari austenit dan sementit. Fasa-fasa tersebut merupakan gambaran dari strukturmikro baja yang terbentuk pada rentang komposisi dan temperatur tertentu.

Besi akan melewati tiga perubahan fasa apabila dipanaskan dari temperatur kamar hingga mencair. Dari temperatur kamar hingga 911 °C besi murni akan berada dalam fasa ferit, atau disebut besi alfa. Dari temperatur 911 °C hingga 1.394 °C besi berada dalam fasa austenit (besi gamma). Dari temperatur 1.394 °C hingga 1.538 °C besi berada dalam fasa ferit (besi delta) dan diatas temperatur 1.538 °C besi berada dalam fasa cair. Dengan kata lain, apabila dipanaskan, besi akan mengalami transformasi fasa alotropik dari ferit ke austenit pada temperatur 911 °C, austenit ke ferit pada temperatur 1.394 °C dan ferit ke cair pada temperatur 1.538 °C.

Kelarutan maksimum karbon dalam ferit adalah 0,018 % C pada temperatur 727 °C, sedangkan kelarutan maksimum karbon

---

dalam austenit adalah 2,11 % C pada temperatur 1.147 °C. Pada temperatur kamar kelarutan karbon dalam besi hanya 0,005 %. Sejumlah karbon yang melewati batas kelarutan, akan keluar dari larutan padat dan biasanya akan berikatan dengan besi untuk membentuk senyawa besi karbon yang disebut sementit. Senyawa yang keras dan getas ini memiliki rumus kimia  $Fe_3C$  dan kandungan karbonnya adalah 6,67 %.

Apabila kandungan karbon pada baja meningkat, bentuk lain dari sementit akan terlihat sebagai unsur utama yang disebut perlit (yang banyak ditemukan pada sebagian besar baja karbon). Perlit terbentuk pada pendinginan austenit melalui reaksi eutektoid :



Reaksi eutektoid terjadi apabila pada proses pendinginan terjadi perubahan satu fasa padat menjadi dua fasa padat (reaksi eutektik terjadi apabila fasa cair berubah menjadi dua fasa padat). Pada baja reaksi eutektoid terjadi pada temperatur 727 °C dan pada komposisi 0,765 % C.

Baja dengan kandungan karbon lebih rendah dari 0,765 % C disebut baja hipoeutektoid dan mengandung ferit dan perlit, dimana jumlah perlit akan lebih banyak dengan peningkatan kandungan karbonnya. Fasa ferit disebut fasa proeutektoid, karena fasa tersebut lebih dahulu terbentuk pada saat transformasi eutektoid yang terjadi pada temperatur 727 °C. Sedangkan baja yang mengandung karbon antara 0,765 % C hingga sekitar 2 % C disebut baja hipereutektoid dan mengandung perlit dengan proeutektoid sementit

Berdasarkan diagram fasa besi karbon, pada kondisi setimbang baja akan membentuk :

- a. Ferit, pada kadar karbon sangat rendah atau dibawah 0,005% C
- b. Ferit dan partikel sementit, pada kandungan karbon yang lebih banyak atau antara 0,005 – 0,018 % C
- c. Ferit dan sementit pada kandungan karbon 0,018 – 0,765 % C
- d. 100 % perlit pada 0,765 % C
- e. Perlit dan sementit pada 0,765 – 2,11 % C

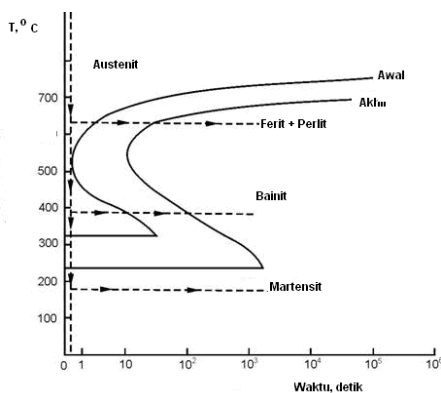


---

Peningkatan persentase sementit akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan, serta menurunkan keuletan dan ketangguhan baja.

Pada umumnya proses-proses di industri tidak terjadi pada kondisi setimbang. Hanya proses pemanasan dan pendinginan dengan laju yang lambat yang dilakukan secara ekstrim yang akan mendekati kondisi setimbang, namun proses tersebut sangat jarang dilakukan. Untuk itu pada kondisi sesungguhnya, diagram besi-karbon hanya dapat digunakan sebagai pedoman umum, karena temperatur transformasi kesetimbangan bergeser ke temperatur yang lebih rendah pada proses pendinginan dan bergeser ke temperatur yang lebih tinggi pada proses pemanasan.

Apabila baja didinginkan dengan laju yang sangat cepat, seperti pada perlakuan panas pendinginan cepat dengan media air, diagram besi karbon tidak dapat digunakan, karena kondisi tersebut jauh dari kesetimbangan. Kenyataannya selama pendinginan cepat baja, fasa baru yang terbentuk tidak terdapat pada diagram fasa besi-karbon. Oleh karena itu pada laju pendinginan cepat, konsep diagram transformasi temperatur – waktu (*time-temperature transformation*) harus dipertimbangkan. Diagram ini dibuat pada temperatur konstan (*isothermal transformation* atau IT diagram) atau *continuous - cooling conditions* (CT diagram)



Gambar 9. Diagram transformasi isothermal

---

Martensit adalah bentuk ferit yang lewat jenuh dengan karbon. Dengan kata lain, oleh karena laju pendinginan yang sangat cepat, maka atom karbon tidak mempunyai waktu untuk berdifusi dari posisi interstisnya dalam sel satuan BCC menjadi partikel sementit.

Baja dan berbagai material logam lainnya dapat di rekayasa melalui proses perlakuan panas untuk menghasilkan strukturmikro yang beragam dan sifat mekanik yang diinginkan. Secara umum perlakuan panas baja dapat dibedakan menjadi proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur seimbang, seperti : perlakuan panas normalisasi dan perlakuan panas anil, serta proses perlakuan panas yang menghasilkan struktur tidak seimbang seperti : perlakuan panas pengerasan dan perlakuan panas temper. Oleh karena itu secara umum metoda perlakuan panas baja dikelompokkan sebagai :

1. Perlakuan panas normalisasi.
2. Perlakuan panas anil.
3. Perlakuan panas pengerasan.
4. Perlakuan panas temper.

#### **4.1.1. Perlakuan Panas Normalisasi**

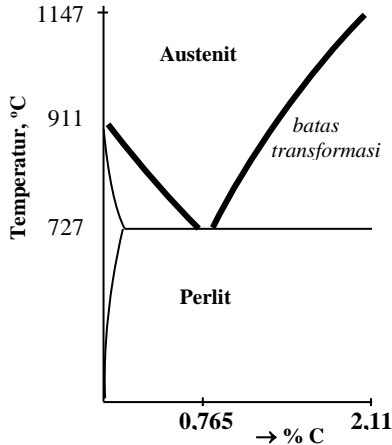
Perlakuan panas normalisasi merupakan proses perlakuan panas baja yang meliputi pemanasan hingga mencapai daerah austenit, kemudian menahannya pada temperatur puncak selama beberapa saat dan didinginkan di udara terbuka pada temperatur kamar. Pemanasan biasanya dilakukan pada tungku pemanas, yang salah satu jenisnya diperlihatkan pada Gambar 10



Gambar 10. Tungku pemanas

---

Batas temperatur pemanasan pada proses perlakuan panas normalisasi baja adalah 56 °C diatas batas temperatur transformasi austenit. Pada komposisi 0,765 % C temperaturnya adalah 783 °C, seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Temperatur pemanasan perlakuan panas normalisasi baja

Perlakuan panas normalisasi pada umumnya dilakukan terhadap komponen hasil penempaan, pengerolan dan pengecoran yang memiliki struktur butir yang besar dan tidak beraturan. Secara umum perlakuan panas normalisasi bertujuan untuk :

- Merubah pengaruh pemanasan dan pendinginan pada pengerjaan sebelumnya terhadap sifat baja.
- Mengurangi tegangan internal yang disebabkan oleh proses : pendinginan dari keadaan leleh, pengerjaan dingin dan proses permesinan yang bervariasi.
- Melunakkan baja agar dapat diproses dengan cara pengerjaan dingin, permesinan atau untuk pengerasan dan penguatan lebih lanjut.

Sedangkan secara khusus perlakuan panas normalisasi bertujuan untuk :

- Menghaluskan struktur butir.

- 
- b. Meningkatkan kekuatan baja.
  - c. Mengurangi komposisi segregasi pada logam hasil pengecoran, penempaan dan menghasilkan struktur yang lebih uniform.

Baja hasil pengelasan kadangkala diberi perlakuan panas normalisasi untuk menghilangkan tegangan pengelasan dan menghasilkan struktur lasan yang lebih baik.

#### **4.1.2. Perlakuan Panas Anil**

Perlakuan panas anil meliputi pemanasan baja hingga diatas temperatur transformasinya dan berada didaerah austenit, menahannya pada temperatur puncak selama beberapa saat dan dilanjutkan dengan pendinginan lambat didalam tungku pemanas. Perlakuan panas anil biasanya di aplikasikan untuk komponen yang sebelumnya telah mengalami pengerjaan dingin atau pengerjaan panas, serta untuk logam hasil pengecoran.

Selama proses pengerjaan dingin atau pengerjaan panas, baja mengalami tegangan yang tinggi dan butirannya mengalami deformasi serta berada dalam kondisi yang tidak stabil. Sedangkan baja hasil pengecoran yang mengalami pendinginan yang tidak seragam akan menyebabkannya mengalami tegangan.

Untuk baja hasil pengerjaan dingin, perlakuan panas anil dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu : penghilangan tegangan sisa, rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Secara umum perlakuan panas anil pada baja bertujuan untuk :

- a. Menurunkan kekerasan dan kegetasan.
- b. Menghilangkan tegangan sisa akibat proses pembentukan sebelumnya.
- c. Rekristalisasi struktur butir baja yang mengalami pengerasan regang pada saat pengerjaan dingin.
- d. Melunakkan baja untuk meningkatkan mampu bentuk dan mampu mesinnya.
- e. Meningkatkan ketangguhan.

Proses perlakuan panas anil pada baja lunak biasanya dilakukan dengan cara memanaskan baja tersebut hingga temperatur antara 430 – 650 °C, kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama beberapa saat dan didinginkan secara

---

lambat. Perlakuan panas ini dilakukan pada baja yang telah mengalami proses : penarikan atau pengerjaan dingin sewaktu pembentukan kawat, pelat strip, pelat lembaran dan baja siku.

Perlakuan panas anil pada baja karbon rendah dan menengah dilakukan dengan cara memanaskan baja tersebut hingga temperatur 30 - 50 °C diatas temperatur transformasinya (berada dalam fasa austenit). Setelah mencapai temperatur puncaknya dilakukan penahanan selama beberapa saat dan dilanjutkan dengan pendinginan secara lambat didalam tungku pemanas. Proses perlakuan panas ini akan menghasilkan struktur butiran perlit yang besar pada baja.

Apabila dibandingkan sifat baja yang mengalami perlakuan panas normalisasi dan anil, maka baja yang mengalami perlakuan panas normalisasi akan memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, akan tetapi memiliki keuletan yang lebih rendah.

#### **4.1.3. Perlakuan Panas Pengerasan**

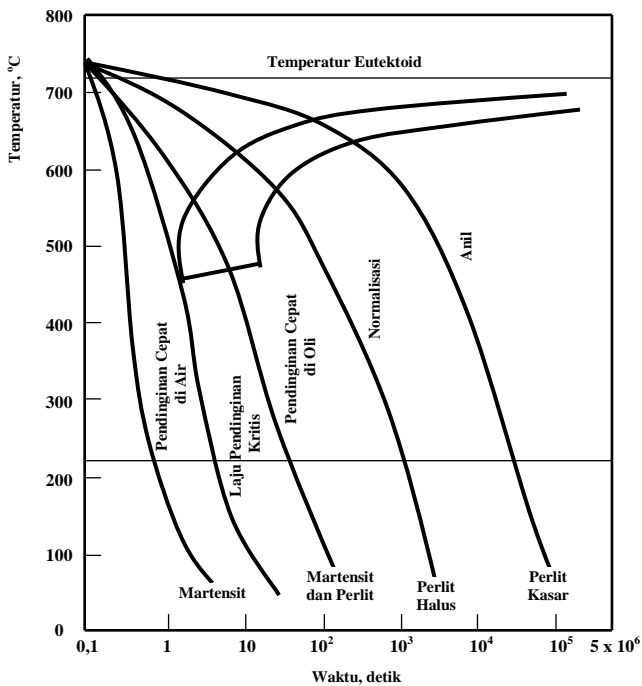
Perlakuan panas pengerasan merupakan proses perlakuan panas yang lebih kompleks. Pada baja atau besi cor, perlakuan panas pengerasan meliputi proses pemanasan hingga temperatur 50 – 100 °C diatas temperatur transformasinya, kemudian pada temperatur tersebut ditahan selama beberapa saat dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat.

Proses pendinginan cepat ini dicapai dengan cara mencelupkan baja yang telah dipanaskan tersebut kedalam media pendingin. Media pendingin yang digunakan antara lain : air, oli atau air garam. Kadangkala pendinginan cepat dilakukan dengan menggunakan udara yang dihembuskan kepada logam panas setelah dikeluarkan dari tungku pemanas. Proses pendinginan cepat dengan media pendingin ini dikenal juga sebagai proses *quenching*.

Oleh karena prinsip pendinginan cepat yang dilakukan adalah untuk memindahkan panas pada benda kerja ke media pendingin, maka volume media pendingin yang digunakan harus cukup untuk terjadinya penyerapan panas. Pada saat pencelupan benda kerja kedalam media pendingin, akan terbentuk lapisan uap

di permukaan benda kerja karena perbedaan temperatur antar muka yang besar (temperatur dipermukaan benda kerja diatas 800 °C sedangkan temperatur air sekitar 27 °C). Lapisan uap ini akan menghambat terjadinya pendinginan, namun keadaan ini lambat laun akan normal oleh karena adanya cairan dingin yang mengelilinginya. Untuk mempercepat penghilangan lapisan uap di antar muka benda kerja dan air dapat dilakukan dengan mengaduk media pendingin atau menggunakan media pendingin yang memiliki kekentalan yang lebih rendah.

Peningkatan kekerasan baja karbon menengah yang didinginkan menggunakan media pendingin air 15–16 % lebih tinggi dari pada yang didinginkan dengan media pendingin oli. Pengaruh kecepatan pendinginan terhadap struktur mikro pada baja diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengaruh kecepatan pendinginan terhadap pembentukan struktur mikro pada baja.

---

#### **4.1.4. Perlakuan Panas Pengerasan Pengendapan**

Secara umum paduan logam yang dapat diperkuat dengan metoda pengerasan pengendapan ini adalah paduan logam yang memiliki dua fasa pada temperatur kamar. Pada baja perlakuan panas pengerasan pengendapan merupakan proses perlakuan panas yang menghasilkan pembentukan partikel-partikel halus atau presipitat, yang diharapkan dapat menghambat pergerakan dislokasi, sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan baja tersebut.

Perlakuan panas pengerasan pengendapan ini diaplikasikan untuk meningkatkan kekuatan baja paduan yang tidak dapat membentuk martensit dengan perlakuan panas pengerasan. Proses perlakuan panas pengerasan pengendapan ini meliputi tiga tahapan, yaitu :

1. Perlakuan pelarutan, berupa pemanasan logam hingga temperatur diatas garis *solvus*, atau berada pada fasa ferit dan ditahan pada temperatur tersebut untuk pelarutan padat karbon dalam besi.
2. Pendinginan cepat, yaitu proses pendinginan dari temperatur pemanasan maksimum ke temperatur kamar dalam waktu singkat, untuk menghasilkan larutan padat lewat jenuh.
3. Perlakuan pengendapan, yaitu pemanasan kembali logam yang telah mengalami pendinginan cepat tersebut, mulai dari temperatur kamar hingga mencapai setengah dari temperatur pemanasan awal, untuk menghasilkan endapan partikel halus dari  $Fe_3C$ .

#### **4.1.5. Waktu Tahan**

Waktu tahan dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu logam pada proses perlakuan panas dengan menahan pada temperatur puncak untuk memperoleh pemanasan yang merata sehingga strukturnya homogen.

Pada baja konstruksi yang terbuat dari baja karbon waktu tahan diperlukan relatif singkat, yaitu antara 5 sampai 15 menit setelah mencapai temperatur puncak pemanasannya. Pada perlakuan panas baja paduan rendah, waktu tahan perlu mendapat

---

perhatian khusus agar diperoleh kekerasan yang diharapkan. Untuk baja ini, waktu tahan yang dianjurkan adalah 0,5 menit per milimeter tebal benda, atau secara umum 10 sampai 30 menit. Namun untuk baja konstruksi yang terbuat dari baja paduan rendah yang mengandung karbida yang mudah larut, waktu tahan setelah mencapai temperatur puncak pemanasannya adalah antara 5 sampai 15 menit. Sedangkan pada baja konstruksi yang terbuat dari baja paduan menengah, waktu tahan yang disarankan adalah antara 15 sampai 25 menit.

Baja perkakas pengerjaan panas mengandung karbida yang sulit larut, karena karbida tersebut baru akan larut pada temperatur 1.000 °C. Pada temperatur ini kemungkinan akan terjadi pertumbuhan butir yang sangat besar, oleh karena itu waktu tahan harus dibatasi antara 15 - 30 menit.

Baja krom paduan tinggi membutuhkan waktu tahan yang lebih lama diantara semua baja perkakas. Waktu tahan yang dibutuhkan juga tergantung pada temperatur pemanasannya. Untuk baja ini dianjurkan melakukan waktu tahan 0,5 menit per milimeter tebal benda, dengan waktu tahan minimum 10 menit dan maksimum 1 jam.

Baja kecepatan tinggi (HSS) juga memerlukan temperatur pemanasan yang sangat tinggi, yaitu antara 1.200 – 1.300 °C. Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya pertumbuhan butir, maka waktu tahan dianjurkan hanya beberapa menit saja.

#### **4.1.6. Perlakuan Panas Baja Rol Panas**

Semua klasifikasi baja rol di produksi melalui proses pengerolan panas. Baja rol panas adalah baja yang dibentuk melalui pengerolan pada saat panas dan tidak ada proses pengerolan pada keadaan dingin. Namun beberapa pengerolan panas batangan, lembaran, tabung dan kawat dilanjutkan dengan penarikan dingin. Baja ini dimasukkan dalam kelompok baja penarikan dingin. Beberapa pengerolan panas lembaran dan pita diikuti dengan pengerolan dingin, dan baja ini disebut baja rol dingin. Baja karbon untuk struktur dan lembaran tidak diberi perlakuan panas secara khusus. Perlakuan panas batang yang di rol dilakukan bersamaan dengan proses pengerolannya.



---

Baja lembaran yang di rol panas untuk penarikan dalam (*deep drawing*) harus diberi perlakuan panas. Lembaran baja karbon menengah diberi perlakuan panas anil atau normalisasi. Baja karbon menengah tersebut diberi perlakuan panas anil untuk pembentukan perlit yang merata. Sedangkan baja lembaran yang tipis harus diberi perlakuan panas anil untuk mendapatkan struktur butir yang halus. Baja lembaran tipis untuk aplikasi dalam bidang listrik di anil dengan temperatur pemanasan antara 850 – 860 °C dengan waktu penahanan yang lama pada temperatur puncak dan didinginkan secara lambat. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan sifat magnetik dari baja tersebut.

Batangan baja karbon tinggi yang di rol panas harus diberi perlakuan panas untuk mendapatkan struktur perlit yang bulat dan membuatnya dapat di mesin. Baja rol panas pada umumnya diberi perlakuan panas anil, sementara itu baja dengan paduan yang lebih tinggi diberi perlakuan panas temper dengan temperatur yang lebih tinggi.

#### **4.1.7. Perlakuan Panas Baja Tarik dan Rol Dingin.**

Baja tarik dingin dan rol dingin diberi perlakuan panas dengan tiga tahap, yaitu : perlakuan panas sebelum proses pengerjaan, selama proses penarikan atau pengerolan dan setelah penarikan atau pengerolan.

Perlakuan panas sebelum proses pengerjaan dingin, berupa perlakuan panas anil untuk mendapatkan struktur perlit yang bulat. Sedangkan perlakuan panas selama proses penarikan atau pengerolan dingin, yaitu perlakuan panas anil untuk rekristalisasi, dengan temperatur pemanasan antara 660 – 820 °C. Sedangkan perlakuan panas setelah proses penarikan atau pengerolan, yang disesuaikan dengan sifat mekanik yang diinginkan. Perlakuan panas yang diberikan biasanya adalah perlakuan panas anil atau normalisasi.

#### **4.1.8. Perlakuan Panas Kawat Baja**

Kawat diperoleh melalui penarikan dingin batangan baja rol panas. Kawat tarik dingin diberi perlakuan panas sebagaimana halnya baja tarik dingin. Sedangkan perlakuan panas kawat

---

pegas adalah proses berupa pemanasan material hingga temperatur diatas temperatur kritisnya dan mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu.

Kawat dipanaskan didalam tungku pemanas berbentuk silindris, dipanaskan hingga mencapai 80 – 100 °C diatas temperatur kritisnya, kemudian didinginkan dengan cara menariknya kedalam bak yang relatif dingin dengan temperatur 450 – 550 °C. Dengan cara ini kawat akan mengalami pengerasan pada temperatur konstan, sehingga dapat menghasilkan kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi dibanding dengan pengerasan dan penemperan setelah penarikan dingin.

#### **4.1.9. Perlakuan Panas Baja Tempa**

Baja tempa adalah paduan logam yang memiliki sifat plastis pada saat dibentuk dan mengalami pemanasan hingga temperatur tertentu pada saat ditempa. Apabila sepotong baja dipanaskan, maka baja tersebut akan menjadi lunak dan kekuatan tariknya menjadi turun, akan tetapi sifat plastis dan sifat mampu tempanya menjadi meningkat.

Tujuan utama pemanasan baja pada proses ini adalah untuk memberikan perubahan terhadap sifat mekanik yang dibutuhkan. Sifat plastis pada baja karbon dan baja paduan menengah akan turun apabila kedua jenis baja tersebut dipanaskan hingga 290 - 400 °C. Baja paduan tinggi akan menunjukkan penurunan sifat plastis apabila dipanaskan pada temperatur 700 - 850 °C. Pada temperatur diatas 850 °C sifat plastis baja menjadi baik dan tegangan antara serta retakan tidak terlihat.

Konduktivitas termal logam yang lebih tinggi, akan menyebabkan penetrasi jumlah panas dari permukaan ke dalam logam dalam satuan waktu menjadi lebih baik, oleh karena itu waktu merupakan salah satu faktor yang menentukan pada saat pemanasan. Selama pemanasan logam mengalami pembentukan oksida dipermukaannya. Kecepatan pembentukan oksida tersebut dipengaruhi oleh :

- a. Temperatur pemanasan
- b. Lama pemanasan
- c. Media gas yang terdapat dilingkungan pemanasan

- 
- d. Komposisi dan sifat logam yang dipanaskan
  - e. Bentuk dan ukuran logam yang dipanaskan

Pada baja, penurunan produksi pembentukan oksida ketinggian minimal, dilakukan dengan cara membiarkan baja tersebut tetap berada didalam tungku pemanas selama beberapa saat pada temperatur diatas 900 °C. Pada temperatur tersebut udara yang terdapat didalam tungku pemanas akan menjadi sedikit, sehingga pembentukan oksida menjadi minimal.

Logam harus dipanaskan sampai mencapai temperatur tertentu, sehingga logam tersebut memiliki sifat plastis yang tinggi pada saat awal dan akhir penempaan. Oleh karena itu pemanasan dengan temperatur yang lebih tinggi akan baik untuk proses penempaan, namun harus dijaga agar tidak terjadi kelebihan pemanasan.

Baja dipanaskan hingga 1.100 °C atau lebih dan strukturnya akan berbentuk butiran kasar. Selama proses penempaan butiran tersebut akan pecah dan menjadi halus. Apabila temperatur penempaan tinggi (didas 900 °C) butiran akan tumbuh lagi selama proses pendinginan diudara. Proses tempa dingin akan menghasilkan butir struktur yang kasar dan sifat mekanik yang tidak diinginkan. Oleh karena itu temperatur akhir proses penempaan harus dapat menjaga agar tidak terjadi pertumbuhan butir selama proses pendinginan. Temperatur akhir proses penempaan yang lebih tinggi akan menyebabkan terbentuknya struktur butir yang kasar.

Proses penempaan yang dilakukan dibawah temperatur optimum sebaiknya tidak dilakukan, karena pada kondisi tersebut baja akan mengalami pengerasan dingin, getas dan dapat mengalami retak. Meskipun pengerasan dingin dapat diperbaiki dengan perlakuan panas anil, akan tetapi retakan yang telah terjadi tidak dapat diperbaiki.

Proses perlakuan panas yang dilakukan pada baja tempa secara umum bertujuan untuk :

- a. Menghilangkan tegangan yang terjadi pada baja selama proses penempaan dan pendinginan
- b. Mendapatkan tingkat kekerasan tertentu pada baja, sehingga mudah untuk di bentuk lebih lanjut dengan pengerjaan mesin

- 
- c. Menormalkan kembali stuktur baja setelah penempaan
  - d. Meningkatkan sifat mekanik baja.

Seperti diketahui bahwa proses penempaan baja dilakukan pada temperatur diatas  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Apabila material yang ditempa telah dingin, maka perubahan bentuk yang terjadi pada baja disertai dengan banyaknya tegangan yang terdapat pada baja tersebut.

Pada saat pendinginan, temperatur permukaan baja akan lebih rendah dibanding temperatur bagian dalamnya. Permukaan baja yang di tempa mulai mengkerut lebih cepat dibanding lapisan dalam baja yang lebih panas. Akibatnya permukaan tersebut akan menekan lapisan antara dan lapisan tersebut akan cenderung untuk mendorong ke luar lapisan permukaan.

Apabila lapisan permukaan yang ditempa hampir dingin, maka baja akan kehilangan sifat plastisnya. Pada saat yang bersamaan, lapisan bagian dalam material yang ditempa masih tetap panas dan lapisan ini akan tetap mengalami perubahan bentuk, sehingga akan terjadi perubahan arah tegangan. Dimana pada lapisan bagian luar akan terjadi tegangan tekan dan pada lapisan bagian dalam akan terjadi tegangan tarik.

Apabila material yang ditempa didinginkan dengan laju pendinginan yang lambat (dari temperatur  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), maka proses tersebut kemungkinan besar tidak akan menimbulkan terjadinya tegangan. Material yang ditempa dapat didinginkan di udara terbuka atau didalam tungku pemanas.

Apabila pendinginan dilakukan di udara, material tempa harus diletakkan pada tempat yang kering dan lokasi pendinginan tersebut harus jauh dari sumber panas. Apabila pendinginan dilakukan didalam tabung, maka tabung tersebut harus diberi lapisan yang memiliki konduktivitas panas rendah, seperti pasir kering atau debu batubara. Baja yang ditempa tidak boleh dipindahkan ke tabung pada temperatur dibawah  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Apabila pendinginan dilakukan didalam tungku pemanas, maka baja tersebut harus dipanaskan hingga  $500\text{ }^{\circ}\text{C} - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

---

#### **4.1.10. Perlakuan Panas Poros Tempa**

Poros tempa dibuat dari jenis baja karbon yang memiliki sifat mekanik yang tinggi karena mengandung elemen padu yang lebih tinggi. Beberapa perlakuan panas yang diaplikasikan pada baja poros tempa adalah :

##### **- Perlakuan Panas Anil**

Melalui perlakuan panas anil akan diperoleh struktur butir yang halus, sehingga dapat meningkatkan keuletan dan membuat baja memiliki sifat mampu mesin yang lebih baik. Perlakuan panas ini diterapkan dengan pemanasan baja hingga di atas temperatur transformasinya dengan laju pemanasan 40 – 60 menit per mm luas penampangnya. Kemudian ditahan pada temperatur puncak dalam waktu beberapa lama dan didinginkan dengan lambat didalam tungku pemanas.

##### **- Perlakuan Panas Normalisasi**

Perlakuan panas normalisasi dilakukan dengan pemanasan baja hingga di atas temperatur transformasinya dengan laju pemanasan 40 – 60 menit per mm luas penampangnya. Kemudian ditahan pada temperatur puncak dalam waktu beberapa lama dan didinginkan di udara.

##### **- Perlakuan Panas Pengerasan**

Untuk mendapatkan sifat mekanik yang lebih baik, bagian yang tebal didinginkan dengan cepat setelah dipanaskan. Baja tempa biasanya diberi perlakuan panas normalisasi atau perlakuan panas anil untuk menghasilkan struktur yang merata sebelum perlakuan panas pengerasan.

Baja tempa didinginkan dengan cepat menggunakan media pendingin oli, air atau hembusan udara. Pada saat mengeluarkan material yang diberi perlakuan panas dari media pendingin harus dilakukan dengan memperhatikan waktu dan temperatur, karena dapat menyebabkan terjadinya retak pada material tersebut. Baja yang telah diberi perlakuan panas pengerasan dengan pendinginan cepat tidak boleh menjadi dingin pada saat akan dilanjutkan dengan perlakuan panas temper.

---

## **- Perlakuan Panas Temper**

Perlakuan panas normalisasi pada baja poros tempa selalu diikuti dengan perlakuan panas temper untuk meningkatkan keuletan atau untuk mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Sedangkan perlakuan panas pengerasan harus selalu dilanjutkan dengan perlakuan panas temper untuk menghilangkan tegangan yang terjadi pada saat proses pendinginan cepat.

### **4.1.11. Perlakuan Panas Roda Gigi**

Gigi pada suatu roda gigi bekerja dibawah kondisi pelayanan yang sangat berat. Gigi-gigi tersebut harus memiliki kekuatan yang sangat tinggi karena harus mampu mentransmisikan torsi yang besar, mengatasi berbagai distorsi pada gigi dan menghasilkan putaran yang lancar dan kontiniu pada roda gigi.

Untuk mendapatkan roda gigi yang memiliki sifat ketahanan aus tinggi dan memiliki kemampuan pembebanan yang besar, baja yang cocok digunakan adalah yang memiliki kandungan 0,1 – 0,25 % karbon dengan elemen padu tambahan cukup untuk dapat dikeraskan. Baja karbon tinggi yang digunakan sebagai roda gigi, memiliki kemampuan yang relatif rendah dalam mentransmisikan daya. Untuk roda gigi yang memiliki ketahanan aus dan kapasitas transmisi beban menengah adalah baja yang memiliki kandungan 0,35 – 0,5 % karbon.

Proses perlakuan panas yang diaplikasikan pada roda gigi adalah :

1. Untuk pembebanan sangat berat digunakan baja karbon paduan rendah yang di karburisasi dengan kedalaman lebih dari 1,524 mm.
2. Untuk pembebanan sedang digunakan :
  - Baja karbon paduan rendah yang di karburisasi dengan kedalaman 0,254 – 0,381 mm.
  - Baja paduan dengan 0,3 % karbon yang di karburisasi dengan kedalaman 0,254 – 0,381 mm.
  - Baja paduan dengan 0,4 % karbon yang di karburisasi dengan kedalaman 0,127 – 0,254 mm.

- 
- Baja karbon menengah yang diberi perlakuan sianidisasi dengan kedalaman 0,0762 -0,254 mm.
  - Baja karbon menengah yang diberi perlakuan panas pengerasan dengan pendinginan cepat menggunakan media pendingin oli.
3. Untuk pembebanan ringan digunakan baja karbon rendah yang diberi perlakuan sianidisasi dengan kedalaman 0,127 - 0,254 mm.

### **- Karburisasi**

Karburisasi adalah proses pembentukan permukaan dengan kandungan karbon yang tinggi pada baja karbon rendah yang dibuat menjadi komponen, untuk mendapatkan komponen yang ulet dan tangguh pada bagian dalam/tengahnya dan keras pada permukaannya. Proses karburisasi dapat dilakukan dengan 3 (tiga) cara, yaitu : karburisasi padat, karburisasi gas dan karburisasi cair.

Karburisasi padat merupakan proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja dengan menggunakan media padat. Baja yang akan dikarburisasi dimasukkan kedalam sebuah kotak yang telah berisi bahan padat yang mengandung kadar karbon yang tinggi (seperti : arang kayu dan batubara). Kotak tersebut kemudian ditutup rapat dan dimasukkan kedalam tungku pemanas. Kotak dipanaskan hingga temperatur 900-950 °C, tergantung pada jenis bajanya. Temperatur pemanasan yang lebih tinggi memungkinkan peningkatan absorpsi karbon ke permukaan baja.

Setelah proses karburisasi, baja tetap dibiarkan di dalam kotak dan didinginkan. Waktu proses yang lebih lama akan menghasilkan persentase karbon yang lebih tinggi. Proses ini hanya mampu menambah 0,85 % C di permukaan baja tersebut.

Untuk paduan baja-nikel-khrom dengan kandungan nikel hingga 5 %, prosedur karburisasinya sama dengan diatas, akan tetapi temperatur pemanasannya berkisar 760 - 780 °C dan dilakukan pendinginan cepat dengan media pendingin air atau oli. Kandungan karbon baja paduan ini dapat ditingkatkan hingga 0,18 %.

Karburisasi gas dilakukan dengan menempatkan material yang akan dikarburisasi didalam tungku pemanas. Kemudian gas

---

yang mengandung unsur karbon (seperti: karbon monoksida, methane, ethane) dimasukkan kedalam tungku pemanas tersebut. Selanjutnya tungku pemanas dipanaskan hingga temperatur 870-950 °C. Hasil karburisasi gas ini dipengaruhi oleh komposisi gas, waktu pemanasan, temperatur dan kecepatan aliran gas.

Karburisasi cair merupakan proses penambahan unsur karbon pada permukaan baja dengan menggunakan media cair yang mengandung *calcium cyanamide* dan *polymerized hydrocyanic acid* atau *sodium/pottasium cyanida*. Temperatur cairan dijaga pada rentang 815 - 900 °C dengan menggunakan pemanas. Proses ini menghasilkan lapisan yang tipis dan keras. Kedalaman 0,08 mm biasanya dicapai dengan waktu proses 3,5 jam.

Setelah dilakukan proses karburisasi, dimana material mengalami proses pemanasan yang cukup lama pada temperatur tinggi, maka kemungkinan material tersebut akan memiliki struktur yang tidak stabil. Untuk memperbaiki struktur material tersebut, maka setelah proses karburisasi material dipanaskan hingga temperatur 760 °C dan di dinginkan dengan cepat menggunakan media pendingin air.

#### **- Sianidisasi**

Sianidisasi merupakan metoda yang cepat dan mudah yang dilakukan untuk membentuk lapisan tipis dan keras pada permukaan baja karbon rendah. Cara ini dilakukan dengan cara menaburkan serbuk sianida pada permukaan baja dan dipanaskan hingga temperatur tinggi sampai melelehkan serbuk sianida tersebut. Metoda ini dikenal dengan istilah “*hardening by case hardening powder*”.

Dalam pengerjaan produksi, komponen yang akan disianidisasi dicelupkan kedalam bak sodium sianida yang panas. Bak tersebut berisi 30 % sodium sianida ditambah sodium klorida dan sodium karbonat. Proses ini biasanya berlangsung selama 15 hingga 90 menit, tergantung ukuran bahan yang akan di proses. Temperatur bak dijaga pada temperatur 850 °C. Pada proses ini ketebalan 0,13 mm diperoleh dengan waktu 15 menit. Proses ini menghasilkan karbida dan nitrida yang terbentuk oleh reaksi besi dengan karbon dan nitrogen dari sianida. Material yang telah



---

dikeraskan kemudian di beri perlakuan panas dengan pendinginan cepat dengan media pendingin air atau oli. Untuk material yang tebal biasanya menggunakan media pendingin oli, sedangkan material yang tipis menggunakan media pendingin air bersih yang dingin.

#### **4.1.12. Perlakuan Panas Ring Piston**

Perlakuan panas pada ring piston dilakukan dengan cara khusus, yang dikenal sebagai *thermal fixing* atau *hot fixing*. Pada proses perlakuan panas ini, ring piston ditempatkan pada mandrel yang memiliki diameter sedikit lebih besar dari diameter dalam ring piston, kemudian dipanaskan didalam tungku pemanas hingga temperatur antara 800 - 850 °C selama 1 - 2 jam. Dengan cara ini akan terjadi peningkatan dimensi diameter piston dan diperoleh sifat pegas yang baik.

#### **4.2. Perlakuan Panas Baja Tuang**

Baja tuang dibuat dari baja karbon atau baja paduan. Sebagain besar baja tuang dibuat dari baja karbon rendah dan baja karbon menengah. Karena beberapa sifat yang dimilikinya setelah proses penuangan, maka baja tuang harus diberi perlakuan panas untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Beberapa kondisi yang terjadi pada baja tuang adalah :

- a. Struktur dasar dari baja tuang selalu berupa butiran kasar akibat pemanasan berlebihan secara intensif, sehingga kekuatan impaknya sangat rendah.
- b. Baja tuang yang tidak mengalami perlakuan panas memiliki sifat mampu mesin yang tidak baik akibat kekerasannya yang tinggi.
- c. Pada baja tuang tegangan internal yang tinggi selalu terjadi selama proses pembekuan dan pendinginan.

Dari ketiga kondisi tersebut, maka perlakuan panas yang diterapkan pada baja tuang adalah :

##### **- Perlakuan Panas Anil.**

Perlakuan panas anil pada baja tuang akan dapat memperhalus struktur butir, menghilangkan tegangan akibat

---

proses pendinginan dan membuat baja tersebut lebih mudah untuk dibentuk dengan proses permesinan.

Baja tuang diberi perlakuan panas anil setelah dikeluarkan dari cetakan dan dibersihkan. Baja tuang didinginkan hingga temperatur 300 – 400 °C. Setelah temperatur baja tuang tersebut merata dalam waktu antara 1 – 2 jam, kemudian dipanaskan secara perlahan dengan laju pemanasan 100 °C per jam sampai mencapai temperatur anil (tergantung pada jenis bajanya). Setelah mencapai temperatur puncaknya di lakukan penahanan dengan waktu yang bervariasi, atau selama 1,5 – 2 menit untuk satu milimeter ketebalannya. Kemudian didinginkan dengan lambat didalam tungku pemanas hingga temperatur diatas 300 °C, dan dilanjutkan dengan pendinginan di udara terbuka.

Baja dengan kandungan maksimum 0,6 % karbon dan kecil dari 5 % elemen padu tambahan (biasanya antara 1 – 4 %) setelah dituang kedalam cetakan harus ditunggu sampai mencapai temperatur transformasi dan dikeluarkan dari cetakan pada temperatur dibawah 260 °C kemudian diberi perlakuan panas anil dan normalisasi.

Pada perlakuan panas anil baja tuang dipanaskan hingga diatas temperatur transformasinya dengan laju pemanasan antara 65 – 95 °C per jam. Baja tuang tersebut ditahan pada temperatur puncak dalam waktu yang cukup lama untuk mencapai kesempurnaan rekristalisasi dan homogenitasnya. Baja tuang berukuran kecil dapat mencapai homogenitas dalam waktu yang relatif pendek, namun untuk baja tuang yang lebih panjang membutuhkan waktu 1 jam per inci luas penampangnya. Setelah ditahan beberapa lama pada temperatur puncak, baja tuang tersebut didinginkan secara lambat di dalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur 540 °C dan setelah mencapai temperatur tersebut pendinginan dapat dipercepat. Perlakuan panas anil tersebut menghasilkan baja tuang yang memiliki keuletan yang baik, serta kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang lebih rendah dibanding proses perlakuan panas lainnya.

#### **- Perlakuan Panas Normalisasi**

Setelah di anil, baja tuang sebaiknya diberi perlakuan panas normalisasi. Setelah mengalami proses anil, baja tuang dipanaskan kembali hingga temperatur yang lebih rendah yaitu

---

antara 600 – 650 °C dan ditahan pada temperatur puncaknya dalam waktu yang cukup lama untuk mencapai kesempurnaan rekristalisasi dan homogenitasnya, kemudian baja tuang dikeluarkan dari dalam tungku pemanas dan didinginkan di udara. Pendinginan dengan hembusan udara tidak direkomendasikan pada proses perlakuan panas normalisasi ini. Perlakuan panas ini dapat menghilangkan tegangan sisa dan meningkatkan sifat mampu mesin dari baja tersebut.

Penghilangan tegangan sisa juga dapat dilakukan dengan memanaskan baja tuang hingga temperatur antara 400 – 540 °C. Pemanasan hingga temperatur 400 °C, mampu menghilangkan tegangan sisa hingga 50 %, sedangkan pemanasan hingga temperatur 540 °C, dapat mengurangi tegangan sisa hingga 90 %.

#### **- Perlakuan Panas Temper**

Perlakuan panas temper adalah proses perlakuan panas lanjutan setelah perlakuan panas normalisasi atau perlakuan panas pengerasan, untuk menghilangkan tegangan yang terdapat pada baja tuang selama pendinginan yang tidak merata. Proses perlakuan panas ini juga dapat meningkatkan keuletan dan ketahanan impak baja tuang.

Baja tuang dipanaskan secara merata pada temperatur 220 – 690 °C, tergantung pada kekerasan dan sifat mekanik yang diharapkan. Baja tuang ditahan pada temperatur dibawah 460 °C dengan rata-rata 1 jam per inci penampangnya (minimum 2 jam) untuk menjamin terjadinya penghilangan tegangan sisa. Pemanasan hingga temperatur diatas 690 °C jarang dilakukan, namun pemanasan dibawah temperatur diatas 690 °C dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dan temperatur yang lebih tinggi dilakukan untuk mendapatkan sifat ulet.

### **4.3. Perlakuan Panas Pada Besi Tuang**

Perlakuan panas pada besi tuang dibagi menjadi empat kategori, yaitu perlakuan panas anil, perlakuan panas pengerasan dengan pendinginan cepat dan perlakuan panas temper.

#### **- Perlakuan Panas Anil**

Kadangkala besi tuang perlu dilunakkan agar mudah untuk dibentuk dengan proses permesinan. Untuk itu besi tuang diberi

---

perlakuan panas anil. Perlakuan panas ini pada umumnya dilakukan dengan cara memanaskan besi tuang hingga temperatur antara 760 – 820 °C, meskipun pemanasan hingga temperatur antara 650<sup>0</sup> – 680 °C juga dapat dilakukan. Sedangkan untuk besi tuang paduan tinggi pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur 980 °C. Pada proses perlakuan panas ini yang perlu dijaga adalah jangan sampai terjadinya oksidasi pada besi tuang.

Besi tuang kelabu banyak diberi perlakuan panas anil untuk meningkatkan sifat mampu mesinnya. Perlakuan panas anil ini dilakukan dengan cara memanaskannya hingga mencapai temperatur 850<sup>0</sup> – 950 °C, ditahan pada temperatur tersebut selama 1 hingga 2 jam dan didinginkan di udara terbuka. Proses perlakuan panas anil pada besi tuang kelabu tersebut akan menyebabkan terjadinya dekomposisi sementit. Pemanasan pada temperatur yang lebih tinggi akan meningkatkan intensifitas grafitisasi dari sementit. Besi tuang yang berukuran kecil yang dipanaskan dalam bak garam hingga temperatur antara 1.050 °C hingga 1.150 °C dengan waktu penahanan yang lebih pendek mampu meningkatkan kekerasannya hingga 150 – 180 BHN.

Untuk meningkatkan sifat mampu bengkok yang lebih baik, besi tuang kelabu dipanaskan hingga temperatur antara 800 hingga 850 °C, ditahan pada temperatur tersebut selama 2 - 5 jam dan didinginkan didalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur 400 - 500 °C.

Perlakuan panas anil pada besi tuang kelabu sebaiknya dilakukan apabila memang diperlukan, karena perlakuan panas tersebut selain menurunkan kekerasan juga akan menurunkan kekuatannya. Namun peningkatan kekerasan besi tuang dapat dilakukan dengan perlakuan panas tempering setelah proses permesinan.

Perlakuan panas yang bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang terdapat pada besi tuang juga banyak dilakukan. Proses perlakuan panas dilakukan dengan cara memanaskan besi tuang hingga temperatur antara 435 – 600 °C, kemudian ditahan pada temperatur tersebut dalam rentang waktu antara 30 menit hingga 5 jam, kemudian didinginkan secara lambat di dalam tungku pemanas. Perlakuan panas ini selain

---

menghilangkan tegangan sisa juga akan menyebabkan terjadinya penurunan kekerasan pada besi tuang. Penurunan kekerasan tersebut disebabkan karena relatif sedikitnya sementit yang terdekomposisi.

Untuk menghilangkan tegangan sisa yang terdapat pada besi tuang kelabu dilakukan dengan cara memasukkan besi tuang tersebut kedalam tungku pemanas, memanaskannya hingga temperatur antara 200 - 250 °C, kemudian dilanjutkan dengan pemanasan lambat dengan laju antara 100 - 150 °C hingga mencapai temperatur 500 - 600 °C. Pada temperatur ini besi tuang dipanaskan selama 3 - 5 jam. Selanjutnya didinginkan secara lambat dengan laju pendinginan antara 25 - 75 °C per jam hingga 150 - 250 °C per jam.

#### **- Perlakuan Panas Pengerasan dan Temper**

Melalui proses perlakuan panas dengan pendinginan cepat setelah dipanaskan hingga diatas temperatur transformasinya, besi tuang akan memiliki sifat yang keras, sehingga besi tuang tersebut akan memiliki ketahanan aus yang tinggi. Pada besi tuang paduan perlakuan panas pendinginan cepat akan memberi hasil yang lebih baik. Untuk hasil yang optimal, lempengan grafit harus berukuran kecil dan terdistribusi merata dengan matriks *perlite* atau *sorbite*. Kekerasan akan meningkat dengan peningkatan laju pendinginan dari atas temperatur transformasi.

Besi tuang yang telah mengalami perlakuan panas dengan pendinginan cepat biasanya memiliki kekuatan yang lebih rendah dibanding logam hasil penuangan. Namun kekuatan tersebut dapat tingkatkan kembali melalui proses perlakuan panas temper. Biasanya rentang temperatur perlakuan panas dengan pendinginan cepat adalah antara 115 – 870 °C dengan media pendingin oli, namun beberapa besi tuang menggunakan media pendingin udara.

Besi tuang kelabu yang lunak tidak direkomendasi untuk diberi perlakuan panas dengan pendinginan cepat, meskipun dapat meningkatkan kekerasannya karena pembentukan struktur martensit. Meskipun demikian perlakuan panas pengerasan yang diikuti dengan perlakuan panas temper dapat diaplikasikan pada beberapa jenis besi tuang untuk mendapatkan sifat ketahanan aus

---

yang tinggi, seperti pada komponen roll, ring, sproket, dan lain-lain.

Pada proses perlakuan panas pengerasan dengan pendinginan cepat, besi tuang tersebut dipanaskan hingga temperatur antara 800 - 900 °C dan didinginkan dengan media pendingin oli. Kemudian besi tuang tersebut ditemper pada temperatur antara 350 - 450 °C selama 1 jam.

## **4.4. Perlakuan Panas Logam Non Ferro**

### **4.4.1. Perlakuan Panas Aluminium**

Aluminium merupakan salah satu logam murni yang memiliki unsur ikutan yang sangat sedikit. Logam ini tidak memberi reaksi terhadap berbagai proses perlakuan panas untuk meningkatkan kekuatan atau kekerasannya.

Perlakuan panas yang dibutuhkan aluminium hanyalah apabila aluminium tersebut baru saja mengalami pengerjaan dingin. Perlakuan panas ini sangat perlu untuk melunakkan aluminium agar proses manufaktur selanjutnya dapat dilakukan. Temperatur pemanasan yang biasa diterapkan adalah antara 330 – 350 °C. Untuk menjaga kemungkinan terjadinya pengaruh akibat proses perlakuan panas tersebut maka proses pemanasan harus dilakukan secara teliti dan cermat, agar tidak terjadi pertumbuhan butir yang tidak diharapkan akibat pemanasan berlebihan selama masa penahanan.

Pada paduan aluminium perlakuan panas merupakan suatu proses yang sangat penting, karena perlakuan panas tersebut dapat meningkatkan sifat mekaniknya. Paduan aluminium merupakan logam kedua terbanyak setelah baja yang digunakan sebagai material struktur melalui proses perlakuan panas. Sebagai material struktur, paduan aluminium memiliki keunggulan dibandingkan baja, yaitu kekuatan tariknya yang lebih tinggi untuk massa jenis yang sama. Perlakuan panas paduan aluminium didasarkan pada kenyataan bahwa daya larut berbagai unsur dalam padatan aluminium menurun dengan meningkatnya temperatur.

Paduan aluminium dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu :

- 
- (1). Paduan aluminium yang memberi reaksi secara langsung seperti aluminium bukan paduan apabila dipanaskan dan didinginkan
  - (2). Paduan aluminium yang apabila diberi perlakuan panas yang sesuai akan memberi reaksi berupa peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan.

Untuk paduan dalam kelompok pertama, proses perlakuan panas dilakukan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan dingin dan untuk memfasilitasi proses pengerjaan panas atau pengerjaan dingin selanjutnya.

Pada paduan kelompok kedua perlakuan panas dilakukan untuk : (1) melunakkan paduan aluminium agar dapat dibentuk lebih lanjut dengan proses manufaktur, seperti penarikan kawat atau batangan (2) untuk persiapan guna proses penempaan atau proses pengerjaan panas (3) untuk memberi kebutuhan perlakuan pelarutan atau pengendapan yang bertujuan mendapatkan kekuatan yang diinginkan.

Perlakuan panas pelarutan yang diterapkan pada paduan aluminium terdiri dari dua tahap, yaitu tahap pemanasan dan tahap pendinginan cepat. Pada tahap pertama proses pemanasan dilakukan secara merata dengan mengontrol temperatur udara didalam tungku pemanas atau bak garam (*salt bath*) yang berisi paduan aluminium. Tahap kedua adalah pendinginan cepat paduan aluminium setelah dipanaskan. Apabila pemanasan dilakukan di udara tungku pemanas, maka pendinginan cepat dilakukan dengan memasukkannya kedalam media pendingin air atau oli atau dengan menghembuskan udara. Sedangkan apabila pemanasan dilakukan pada bak garam, maka pendinginan cepat dilakukan didalam air. Pendinginan cepat didalam air tersebut akan menyebabkan terjadinya penempelan garam pada komponen dan melindungi komponen tersebut dari korosi. Namun apabila setelah proses pendinginan garam masih tetap menempel pada permukaan paduan aluminium tersebut, maka korosi akan dengan cepat dapat terjadi.

Perlakuan panas presipitasi atau dikenal juga dengan istilah penuaan buatan. Proses ini dapat meningkatkan kekerasan yang berdampak terhadap kekuatan logam. Dengan paduan

---

seperti duralumin, proses ini dilakukan pada temperatur kamar dan disebut penuaan.

Pada proses presipitasi, material dipanaskan antara 150 – 175 °C dan didinginkan dengan cepat menggunakan media pendingin air, oli atau udara. Apabila pemanasan dilakukan dalam bak garam, maka pendinginan cepat dilakukan dengan menggunakan media pendingin air.

Apabila resiko terjadinya distorsi diperkirakan akan terjadi, maka proses penuaan alami (*natural aging*) dapat diterapkan atau komponen di masukkan kedalam air mendidih untuk jangka waktu yang lama. Apabila komponen yang terbuat dari lembaran yang telah dilapisi (*clad sheets*) akan diberi perlakuan panas, maka harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari terjadinya pembentukan struktur butir yang terlalu besar.

Paduan aluminium tidak mengalami pembentukan kristal kembali secara sempurna melalui pemanasan. Secara tidak langsung hal ini menunjukkan bahwa apabila paduan aluminium mengalami pemanasan berlebihan (*over heating*), strukturnya akan menjadi butiran kasar dan hal itu tidak dapat di rubah atau diperhalus melalui proses perlakuan panas. Jadi pemanasan yang berlebihan tidak dapat memperbaiki paduan aluminium. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dalam perlakuan panas paduan aluminium, pengontrolan temperatur harus dilakukan dengan sangat baik dan presisi.

Perlakuan panas anil aluminium dan paduannya untuk proses ekstrusi kejut dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

- a. Perlakuan panas anil untuk memberikan pelunakan maksimum serta menjaga struktur butir tetap halus. Temperatur untuk anil ini adalah 340 – 360 °C, sedangkan waktunya dapat disesuaikan untuk menjaga ukuran butir yang diinginkan.
- b. Perlakuan panas anil untuk memberikan pelunakan maksimum dan struktur butir yang besar. Pada proses ini harus diperhatikan jangan sampai terjadi pelelehan pada beberapa bagian aluminium, karena pemanasan dilakukan pada temperatur 550 – 600 °C. Waktu tahan logam didalam tungku



---

pemanas harus di kontrol untuk mendapatkan ukuran butir yang diinginkan.

Pengerjaan cara kedua lebih disukai khususnya untuk perlakuan panas anil logam bundar, karena proses ekstrusi kejut merupakan proses tekanan tinggi yang memotong struktur butir besar. Selain itu perlakuan panas anil pada temperatur tinggi akan menghilangkan sisa minyak pelumas yang menempel pada batang logam.

Komponen berbentuk tabung yang dapat dilipat, seperti yang digunakan untuk kemasan pasta gigi dan lain-lain, di beri perlakuan panas anil setelah ekstrusi. Perlakuan panas dilakukan selama 5 – 15 menit didalam tungku pemanas pada temperatur 550 – 600 °C. Proses ini menghilangkan atau membakar habis sisa minyak pelumas yang digunakan pada saat proses ekstrusi, serta meningkatkan kekerasan logam.

#### **4.4.2. Perlakuan Panas Paduan Magnesium**

Perlakuan panas paduan magnesium pada dasarnya sama dengan perlakuan panas paduan aluminium. Pertama dilakukan perlakuan pelarutan, kemudian dilanjutkan dengan proses pengendapan. Paduan magnesium hasil proses penempaan dan penuangan dapat diberi tiga jenis perlakuan panas, yaitu :

- a. Perlakuan panas anil
- b. Perlakuan panas pengerasan
- c. Perlakuan panas pengerasan yang diikuti dengan penuaan.

Paduan magnesium hasil penempaan di anil agar terjadinya rekristalisasi logam dan untuk meningkatkan sifat plastisnya. Sedangkan paduan magnesium hasil penuangan di anil untuk menghilangkan tegangan internal yang terjadi akibat proses pembekuan dan pendinginan.

Perlakuan panas paduan magnesium yang dilakukan untuk peningkatan kekerasan dalam waktu yang cukup lama pada temperatur 400 – 420 °C. Sedangkan untuk penuaan dipanaskan hingga temperatur antara 170 – 200 °C.

Paduan magnesium juga dapat dipanaskan didalam tungku pemanas vakum yang terproteksi dari gas atmosfer, serta di dalam bak yang berisi lelehan potasium dan sodium bichromates untuk

---

pendinginan cepat. Gas atmosfer yang diproteksi merupakan campuran dari 0,7 – 1,0 persen volume sulfur dioksida.

#### **4.4.3. Perlakuan Panas Tembaga**

Tembaga sebagaimana logam murni hanya dapat diberi perlakuan panas dengan satu cara, yaitu anil untuk rekristalisasi logam. Namun rekristalisasi tembaga murni terjadi pada temperatur 270 °C dan pada temperatur tersebut laju rekristalisasinya relatif lambat. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang baik, tembaga murni di anil pada temperatur yang tinggi, yaitu pada temperatur 500 – 700 °C. Setelah proses anil tembaga harus di dinginkan dengan cepat di dalam air dingin. Pendinginan cepat tersebut akan menghilangkan kerak dan menghasilkan permukaan tembaga yang bersih dan berwarna kemerahan.

#### **4.4.4. Perlakuan Panas Kuningan**

Sebagaimana tembaga murni, kuningan hanya dapat di beri perlakuan rekristalisasi anil pada temperatur antara 700 – 730 °C . Dua fasa kuningan dengan struktur yang terdiri dari campuran dua larutan padat  $\alpha$  dan  $\beta$  mungkin salah satu yang di anil atau dikeraskan. Temperatur proses anil yang rendah akan memberikan dampak terhadap tembaga untuk dapat dibentuk melalui pengerjaan dingin tanpa mengalami retak. Komponen kuningan di anil pada temperatur 300 °C selama 1 jam untuk menghilangkan tegangan internal dan menurunkan kemungkinan terjadinya retak pada saat disimpan. Setelah di anil, komponen kuningan tersebut didinginkan dengan laju pendinginan yang bervariasi.

#### **4.4.5. Perlakuan Panas Perunggu**

Bantalan perunggu tidak boleh dipanaskan melebihi temperatur 450 °C. Secara umum bantalan perunggu tidak boleh di anil, akan tetapi jika komponen yang terbuat dari perunggu membutuhkan peningkatan kekuatan dan komponen tersebut tidak digunakan sebagai bantalan, maka peningkatan kekuatan dan keuletannya dapat dilakukan melalui pemanasan hingga temperatur 550 °C.

---

#### **4.4.6. Perlakuan Panas Paduan Tembaga - Berilium**

Paduan tembaga–berilium pada umumnya digunakan sebagai material untuk bangunan mesin, perkakas dan peralatan proses manufaktur untuk lingkungan temperatur tinggi dan korosif. Paduan tembaga–berilium adalah logam paduan dengan bahan dasar tembaga yang memiliki konduktivitas listrik dan ketahanan korosi yang tinggi. Logam ini juga akan memiliki elastisitas yang tinggi setelah mengalami perlakuan panas.

Perlakuan panas paduan tembaga–berilium dilakukan dengan cara memanaskannya hingga temperatur 800 °C untuk pelunakan dan didinginkan dengan cepat di dalam air. Kemudian dilanjutkan dengan perlakuan panas temper pada temperatur antara 310 - 330 °C selama 2 – 2,5 jam. Perlakuan panas ini dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik paduan tembaga–berilium.

---

## **BAB V**

### **PENGERJAAN AKHIR**

### **SETELAH PROSES PERLAKUAN PANAS**

Proses pemanasan, khususnya pada baja akan selalu menyebabkan terjadinya pembentukan oksida atau lapisan kerak pada permukaannya. Pembentukan lapisan kerak ini hanya dapat dihindarkan apabila proses pemanasan dilakukan dengan menghindari keterlibatan gas atmosfer.

Lapisan kerak harus dihilangkan dari baja yang telah mengalami pengerolan, billet dan komponen-komponen yang tidak mengalami proses permesinan setelah mengalami perlakuan panas, namun kondisi permukaannya harus bersih. Sebagai contoh : lapisan kerak pada pelat strip dan baja lembaran harus dihilangkan agar lebih mudah untuk dilakukan pengecatan atau pelapisan dengan bahan lainnya. Apabila pada saat pengecatan terdapat kerak pada permukaan komponen-komponen tersebut, maka daya lekat cat ke permukaan komponen menjadi lemah dan kemungkinan cat akan cepat mengelupas bersama kerak.

Apabila lapisan kerak terdapat pada perkakas potong, maka masa pakai atau umur perkakas potong tersebut akan dengan cepat menurun setelah digunakan. Oleh karena itu pembersihan kerak pada permukaan baja sangat penting untuk dihilangkan.

Dua metoda yang dapat dilakukan untuk menghilangkan kerak pada permukaan baja setelah mengalami proses perlakuan panas adalah :

- (1) Perendaman didalam zat asam
- (2) Penembakan partikel

#### **5.1. Perendaman Didalam Zat Asam**

Perendaman didalam zat asam biasanya dilakukan dengan merendam baja yang telah mengalami perlakuan panas kedalam 8 - 12 % (volume) larutan asam sulfat. Selain itu perendaman

---

didalam 20 % larutan asam belerang (*hydrochloric acid*) juga dapat dilakukan, namun biayanya lebih mahal.

Untuk mengurangi serangan pada logam induk dan menurunkan terjadinya penggetasan akibat hidrogen (*hydrogen embrittlement*), maka kedalam larutan asam ditambahkan unsur penghambat (*inhibitors*). Penambahan unsur penghambat kedalam larutan asam akan mengendalikan atau memperlambat aksi zat asam terhadap logam induk karena terbentuknya lapisan protektif yang tipis pada permukaan logam tersebut.

Dalam melakukan perendaman, larutan asam dipanaskan hingga temperatur 40 - 50 °C dan apabila keasaman larutan mulai menurun, maka temperatur pemanasan ditingkatkan hingga mencapai temperatur 70 - 80 °C. Namun demikian konsentrasi asam tidak boleh sampai dibawah 4 persen.

Komponen-komponen dikeluarkan dari larutan asam dan dicuci dengan air yang mengalir, kemudian dicelupkan kedalam bak alkali lemah seperti air kapur atau 0,5 % volume larutan sodium hidroksida, dan terakhir dicuci kembali dengan air panas bertemperatur 60 - 70 °C.

Selama proses perendaman, baja kemungkinan akan mengalami penggetasan akibat hidrogen yang disebabkan oleh terjadinya absorpsi hidrogen. Hal tersebut menyebabkan terjadinya penurunan drastis sifat ulet dari baja. Kondisi tersebut dapat dikendalikan dengan cara memanaskan baja tersebut hingga temperatur 120 - 150 °C selama 1,5 hingga 3 jam atau dengan menempatkan baja tersebut didalam ruangan bertemperatur kamar selama kurang dari 2 hari.

## **5.2. Penembakan Partikel**

Pembersihan kerak pada permukaan komponen setelah perlakuan panas juga dapat dilakukan dengan cara menembakkan partikel kwarsa ke permukaan komponen tersebut. Metoda yang dikenal dengan istilah *sand blasting* ini mungkin tidak begitu populer pada saat ini, karena selama pengerjaan operatornya akan menghirup debu kwarsa halus.

Proses ini meliputi pemancaran secara langsung udara yang mengandung butiran kering kwarsa. Butiran kwarsa yang

---

tajam membentur permukaan komponen dan membersihkannya. Proses *sand blasting* akan dengan cepat dapat membersihkan permukaan luar komponen, namun mengalami kesulitan untuk membersihkan bagian permukaan yang memiliki cekungan halus.

Pembersihan kerak dengan cara menembakkan partikel kwarsa ke permukaan komponen tersebut dilakukan di ruangan khusus yang memiliki ventilasi yang dilengkapi alat pembuangan udara. Operator yang berada didalam ruang berdebu harus dilengkapi dengan alat pernapasan dan pakaian khusus agar tidak menghirup debu yang timbul selama proses pengerjaan.

Saat ini metoda *shot blast* banyak digunakan sebagai pengganti *sand blast* karena lebih aman. Pada metoda ini partikel logam keras atau butiran besi putih dengan ukuran 0,5 - 2 mm ditembakkan dengan kecepatan tinggi ke permukaan komponen yang akan dibersihkan. Dalam proses *shot blasting* debu yang timbul jauh lebih sedikit dibanding *sand blasting*. *Shot blasting* tidak hanya mampu membersihkan kerak tetapi juga menghasilkan pengerasan dingin (*cold hardening*) pada permukaan komponen yang dibersihkan.

Pada beberapa kasus pengerasan dingin pada permukaan ini menjadi aplikasi khusus dari proses *shot blasting*. Pengerasan dingin tersebut dapat meningkatkan umur lelah komponen, karena lapisan permukaan yang mendapat tekanan akan memberi kontribusi terhadap peningkatan umur lelah. Oleh karena itu *shot blasting* tidak saja dapat membersihkan permukaan komponen dari kerak tetapi juga dapat meningkatkan kekerasan permukaannya.

Apabila komponen dan perkakas pada saat proses perlakuan panas, dipanaskan dalam bak garam, maka garam yang terdapat didalam bak tersebut akan menusuk dan menempel di permukaan logam. Untuk menghilangkan garam tersebut, komponen direndam didalam air mendidih.

Komponen yang diberi perlakuan panas temper dalam bak oli akan mengalami pembentukan lemak di permukaannya. Lemak tersebut dapat dibersihkan dengan cara mencuci komponen tersebut dengan 10 % larutan soda api ( $\text{Na}_2\text{CO}_2$ ) pada temperatur 80 - 90 °C atau 3 % larutan caustic soda atau sodium

---

hidroksida. Untuk komponen-komponen yang berukuran besar pembersihan lemak dilakukan dengan menggunakan mesin pembersih khusus.

Komponen dan perkakas yang melengkung atau mengalami distorsi selama proses perlakuan panas dapat diperbaiki melalui proses pelurusan (*straightening*). Pada proses ini komponen ditempatkan pada landasan, kemudian diluruskan dengan palu tembaga. Pelurusan ini dilakukan dengan melakukan pemukulan secara perlahan pada bagian komponen yang tidak lurus secara berulang. Untuk komponen dengan bentuk batangan yang panjang diluruskan dengan cara membentangkannya diantara dua tumpuan, kemudian dipukul secara perlahan pada bagian tertentu dengan palu. Semua pengukuran yang memungkinkan dapat dilakukan harus dilakukan untuk mencegah terjadinya *warpage* dan distorsi selama proses perlakuan panas. Pelurusan batang yang di rol dan komponen yang besar dari baja struktur akan lebih mudah. Hal ini dapat dilakukan pada mesin pelurus khusus, seperti mesin rol dan mesin press.

---

## Daftar Pustaka

1. Myer Kutz, 2006, *Mechanical Engineers' Handbook, 3<sup>rd</sup>.ed, Material and Machine Design, Book 1*, John Willey & Sons. Inc., New Jersey.
2. Groover.M.P, 1996, *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes and Systems*, Prentice Hall, New Jersey
3. The Lincoln Electric Company, 1994, *The Procedure Handbook of Arc Welding, 13<sup>rd</sup>.ed*. The Lincoln Electric Company, Cleveland – Ohio.
4. Hill.R.E.R and Abbaschian R, 1992, *Physical Metallurgy Principles*, 3 ed.PWS-Kent Publishing Co, Boston.
5. Porter.D.A and Easterling.K.E, 1989, *Phase Transformation in Metals and Alloys*, Van Nostrand Reinhold, London.
6. Callister.W.D,1985, *Materials Science and Engineering An Introduction*, John Willey & Sons, New York.
7. Rosenquist.T, 1983, *Principles of Extractive Metallurgy*, 2<sup>nd</sup>.ed. Mc.Graw-Hill, Singapore
8. Gupta.J.K and Kaushik.J.P, 1981, *Metals and Heat Treatment with Operations*, New Height, New Delhi.
9. Clark.D.S and Varney.W.R, 1962, *Physycal Metallurgy for Engineers*, 2.ed, Van Nostrand Reinhold, New York.



---

## Tentang Penulis



Edi Septe.S adalah Dosen Tetap Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta. Lahir di Payakumbuh, Sumatera Barat pada tahun 1963. Setelah lulus dari STM Negeri 2 Padang, ia melanjutkan pendidikan di Universitas Bung Hatta dan pada tahun 1990 di wisuda sebagai Sarjana Teknik Mesin. Pada tahun 1994, ia melanjutkan pendidikan pascasarjana di Institut Teknologi Bandung dan memperoleh gelar Magister Teknik bidang Rekayasa Korosi pada tahun 1997.

Jabatan administrasi yang pernah dipercayakan kepadanya adalah : Sekretaris Jurusan Teknik Mesin (1990-1994), Kepala Laboratorium Proses Produksi (1997-1998), Ketua Jurusan Teknik Mesin (1998-2001), Kepala Laboratorium Material Teknik dan Metalurgi Fisik (2001-2005), Direktur *Technological and Professional Skills Development Sector Project* (2003-2008), Kepala Bidang Perencanaan dan Pengembangan Universitas Bung Hatta (2007-2008) dan sejak tahun 2009 sampai sekarang dipercaya sebagai Kepala Badan Perencanaan, Pengembangan dan Penjaminan Mutu Universitas Bung Hatta.

Sejak tahun 1990 sampai sekarang ia mengampu beberapa mata kuliah di Jurusan Teknik Mesin, seperti : Elemen Mesin I, Elemen Mesin II, Pengetahuan Bahan (Material Teknik) dan Metalurgi Fisik. Sedangkan di Jurusan Teknik Industri ia mengampu mata kuliah Pengetahuan Bahan (Material Teknik) dan Elemen Mesin. Ia juga aktif membimbing mahasiswa dalam bidang Perancangan Elemen Mesin pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Bung Hatta. Diluar kampus ia juga aktif sebagai konsultan perencana pada beberapa perusahaan di Sumatera Barat.

