

PROSES MANUFAKTUR

Dira Ernawati
Tranggono
Yekti Condro Winursito
Iffad Rakhmanhuda



PT GHANI PRESS GROUP

PROSES MANUFAKTUR

Penulis:

Dira Ernawati | Tranggono | Yekti Condro Winursito | Iffad Rakhmanhuda

Desain Cover:

Umar Khasan

Layouter:

Rizki Baehtiar Afandi

Editor Naskah:

Harmoko

Anggota IKAPI: No. 468/JTI/2026

Diterbitkan oleh: PT GHANI PRESS GROUP

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Ernawati, dkk.

Proses manufaktur 2026 / penulis, Ernawati, dkk.,
Lamongan: PT. Ghani Press Group, 2026.

V + 126 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISBN 978-634-97192-6-1

1. Proses pabrik I. Judul
670.685 [23]

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- a) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- b) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- c) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- d) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku PROSES MANUFAKTUR ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.

Buku Proses Manufaktur menyajikan pembahasan yang komprehensif mengenai berbagai aspek proses produksi dalam dunia manufaktur modern. Materi diawali dengan sejarah perkembangan proses manufaktur. Selanjutnya, buku ini mengulas karakteristik berbagai bahan teknik, baik logam maupun non-logam, serta menjelaskan secara sistematis proses pembentukan material melalui pengecoran, pengelasan, perlakuan panas, metalurgi serbuk.

Akhir kata, Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan pembelajaran di bidang industri manufaktur.

Surabaya, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1	
SEJARAH PERKEMBANGAN PROSES MANUFAKTUR.....	1
BAB 2	
SIFAT BAHAN DAN PEMILIHAN BAHAN (SADURAN BEGEMEN).....	7
BAB 3	
BESI DAN PADUANNYA	23
BAB 4	
LOGAM BUKAN BESI.....	45
BAB 5	
PROSES PENGECORAN	53
BAB 6	
PROSES PENGECORAN KHUSUS	71
BAB 7	
PERLAKUAN PANAS	79
BAB 8	
PENGELASAN	95
BAB 9	
METALURGI SERBUK.....	109
BIODATA PENULIS	125



PT GHANI PRESS GROUP

Email: ptghanipress@gmail.com

Website: <https://ghanipress.com/>

BAB 1

SEJARAH PERKEMBANGAN PROSES MANUFAKTUR

Zaman permulaan proses produksi modern sering dikaitkan dengan Eli Whitney yaitu dengan diciptakannya “cotton gin” atau ketika mulai diproduksi elemen mampu tukar, ketika diciptakan mesin fris sekitar tahun 1800, ketika terjadi berbagai penemuan lainnya di dunia pada tahun-tahun yang sama. Di Amerika Serikat, perang saudara memacu proses produksi. Percobaan dan analisa di bidang proses produksi dikembangkan oleh Fred. W. Taylor. Ia meletakkan landasan ilmiah pada kemahiran memotong logam. Satu abad setelah Whitney, yang sering dijuluki bapak industri modern. Pengamat, peneliti, dan penemu pada generasi berikutnya, seperti Myron. L. Bemen. dengan cepat menyebarkan informasi baru tentang perkembangan ini di kalangan industriawan.

Mesin pengubah daya seperti roda air, mesin uap, dan motor listrik merupakan sarana utama yang menggantikan tenaga manusia. Disusul dengan pengembangan berbagai bahan besi maupun bukan besi dan plastik serta pembentukannya menjadi produk berguna, mendorong manusia memasuki dunia teknologi.

Pengertian dan pemanfaatan pengatur bola, nok, listrik, elektronika, dan komputer memungkinkan manusia mengendalikan proses pemesinan

Kriteria Produksi Ekonomis

Harga suatu produk tergantung pada harga bahan baku yang dipergunakan, mesin, upah, biaya penjualan, penyimpanan, dan biaya overhead. Biaya mesin dan upah sangat berkaitan erat, di samping harga bahan baku yang merupakan bagian terbesar dari biaya produksi. Bila bahan dasar telah ditentukan, maka proses permesinannya sudah dapat ditetapkan, atau bila dimiliki mesin tertentu, bahan baku yang mungkin digunakan pun dapat ditentukan. Dengan perkataan lain, tujuan produksi ekonomis ialah membuat suatu produk sedemikian rupa sehingga menguntungkan. Hal ini berarti bahwa biaya harus ditekan sehingga dapat diterima dan mampu bersaing, selain itu harus ada kebutuhan akan produk tersebut; atau bila belum ada, perlu diciptakan kebutuhan dan pasaran untuk produk tersebut.

Sejak pemanfaatan mesin perkakas untuk pertama kalinya, secara bertahap namun dengan terencana, didesain mesin yang lebih efisien dengan perpaduan berbagai operasi dan dengan meningkatkan kemampuan mesin, sehingga dapat menghemat waktu dan tenaga. Untuk memenuhi tujuan ini, berdampak pada peralatan mesinyang akan menjadi lebih rumit, baik dalam disain maupun kontrol. Akhir-akhir ini mesin dilengkapi dengan kontrol otomatis, bahkan ada mesin yang menggunakan

sistem otomatis penuh. Perkembangan teknologi seperti ini memungkinkan industri untuk mencapai laju produksi yang tinggi.

Seiring dengan pengembangan mesin produksi, mutu produk merupakan hal yang penting pula. Mutu dan ketelitian operasi pembuatan memerlukan pengendalian dimensi yang ketat sehingga dapat dihasilkan produk yang awet dan memiliki kemampuan jual yang tinggi. Pada produksi besar-besaran, setiap suku cadang harus cocok bila dirakit. Suatu produk yang terdiri dari sejumlah suku cadang yang memiliki kemampuan tersendiri yang dapat dirakit dengan cepat, lebih murah dan mudah perawatannya. Agar kendali dimensi ini berjalan dengan baik, produsen harus menyediakan perangkat inspeksi yang memadai.

Ada tiga kriteria dasar yang melandasi produksi ekonomis, yaitu:

- a. Suatu disain fungsional yang sederhana dan memiliki mutu estetika yang memadai
- b. Pemilihan bahan yang tepat berdasarkan pertimbangan sifat fisis, penampilan, harga, dan pambuatan atau pemesinannya
- c. Pemilihan proses produksi yang mampu menghasilkan produk dengan keuletan dan penyelesaian permukaan yang memenuhi persyaratan dan dengan harga yang serendah mungkin.

Disain Produk

Produk harus didisain sedemikian rupa sehingga harga bahan, ongkos memproduksi, dan biaya penyimpanan dapat ditekan seminimal mungkin. Hampir semua produk dapat dibuat lebih kuat, lebih tahan korosi atau lebih lama daya tahannya, namun si ahli teknik harus dapat menarik batas, sehingga dihasilkan produk yang ekonomis. Suatu disain tertentu mungkin memerlukan bahan yang lebih murah dalam jumlah yang lebih banyak untuk menggantikan bahan yang lebih kuat akan tetapi yang lebih mahal.

Untuk menghasilkan produk dengan ketelitian yang tinggi diperlukan mesin dan operasi yang lebih mahal di samping tenaga trampil yang memenuhi persyaratan, dan kendali yang ketat. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa produk tidak perlu didisain melebihi persyaratan pemakaiannya. Disain yang baik ada kalanya mencakup pemilihan cara penyelesaiannya, karena orang cenderung memilih suatu produk berdasarkan fungsi, cara operasi, dan penampilannya. Produk tertentu dengan warna dan penampilan yang menarik seringkali lebih mudah dipasarkan. Namun tidak dapat disangkal bahwa umumnya fungsi suatu suku cadang merupakan faktor penentu, umpamanya bila disyaratkan kekuatan yang tinggi, ketahanan aus, daya tahan korosi atau batasan berat yang ketat.

Disain untuk produksi besar-besaran harus sedemikian rupa, dengan kecermatan yang tinggi, sehingga dapat dibuat dengan menggunakan mesin-mesin jenis produksi besar-besaran yang ada dengan mudah. Setiap langkah, pemasangan, pengeluaran, dan penyimpanan serta pemasangan kembali pada mesin yang lain akan meningkatkan biaya pembuatan dan mengurangi keuntungan. Oleh sebab itu, desain rancangan harus diperhatikan baik-baik pada proses produksi yang besar.

BAB 2

SIFAT BAHAN DAN PEMILIHAN BAHAN (SADURAN BEGEMEN)

Jenis bahan baku yang digunakan industri saat ini sudah sangat beragam. Masing-masing memiliki keunggulannya masing-masing yang saling berbeda antara satu dengan lainnya. Karena keberagaman bahan inilah alasan diperlukannya pengetahuan dalam pemilihan bahan. Pemilihan tidak lagi berdasarkan pertimbangan teknis belaka, karena pertimbangan ekonomis memegang peran yang sangat penting pula.

Terdapat berbagai macam jenis bahan yang memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda-beda. Karakteristik dan sifat bahan akan menentukan kekuatan bahan tersebut dalam menahan suatu beban. Sifat suatu bahan perlu diketahui karena berperan penting dalam penggunaannya, contoh dalam kehidupan adalah tetang konstruksi dan sifat-sifat materialnya yang digunakan sebagai bahan konstruksi perlu diketahui karena sangata berpengaruh terhadap bangunan yang dihasilkan. Pengetahuan akan sifat bahan sanga penting karena suatu bahan dalam penggunaanya mengalami banyak gaya, gaya suatu bahan serig kali dilami karena adanya beban yang bekerja pada bahan tersebut. Beban-bekan tersebut dapat berupa beban tarik, beban tekan, beban puntir dan lain-lain. Untuk mengetahui sifat dan kekuatan suatu

bahan dapat dilakukan pengujian terhadap bahan tersebut. Pengetahuan mengenai sifat maupun kekuatan bahan yang dapat diharapkan dapat menjadi dasar dalam pertimbangan memilih bahan.

Dalam proses produksi mengenal sifat bahan dalam pemilihan bahan sebagai dasar produksi merupakan suatu hal yang penting. Bahan yang dipilih harusnya dapat sesuai dan mewakili keunggulan produk yang akan dibuat. Beberapa jenis bahan yang tersedia tentu memiliki perbedaan kualitas dan kebutuhan terhadap proses konsumsi. Perbedaan itulah yang mengharuskan para pemeran produksi untuk teliti dalam pemilihan bahan.

Penentuan bahan yang tepat pada dasarnya merupakan kompromi antara berbagai sifat bahan, lingkungan dan cara pemakaian. Serta sampai dimana sifat bahan dapat memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Sifat suatu bahan perlu diketahui karena berperan penting dalam penggunaannya. Pengetahuan akan sifat suatu bahan sangat penting, karena setiap bahan memiliki tujuan penggunaan yang berbeda-beda.

Karena ada beberapa jenis bahan yang masih diimpor, maka masalah pengadaan, persediaan dan harga memegang peranan yang penting. Faktor ini berubah dari waktu ke waktu maupun dari tempat ke tempat dan sangat tergantung dari situasi. Jadi dapat dikatakan bahwa pemilihan bahan merupakan suatu proses berkesinambungan yang perlu ditinjau secara teknis – ekonomis dan objektif

Sifat Bahan

Dalam penentuan bahan yang tepat untuk proses produksi suatu produk, terlebih dahulu kita harus mengenal sifat-sifat dari bahan yang akan digunakan. Sifat bahan ini akan mempengaruhi spesifikasi produk yang akan dihasilkan. Beberapa contoh sifat teknis dari suatu bahan dalam pemilihan bahan yang tepat meliputi:

A. Sifat Mekanik Bahan

- a. Modulus Elastisitas
- b. Batas Mulur
- c. Kekuatan Tarik
- d. Sifat Fatik
- e. Keuletan
- f. Tahan Aus
- g. Daya Tahan Terhadap Tekuk, Torsi, dan Geser
- h. Fatik Takik
- i. Peka Takik
- j. Impak

B. Sifat yang diperlukan Selama Proses Pembentukan

- a. *Machinability*
- b. *Weldability*
- c. Karakteristik Pengerjaan Dingin
- d. Karakteristik Pengerjaan Panas
- e. Mampu Tempa

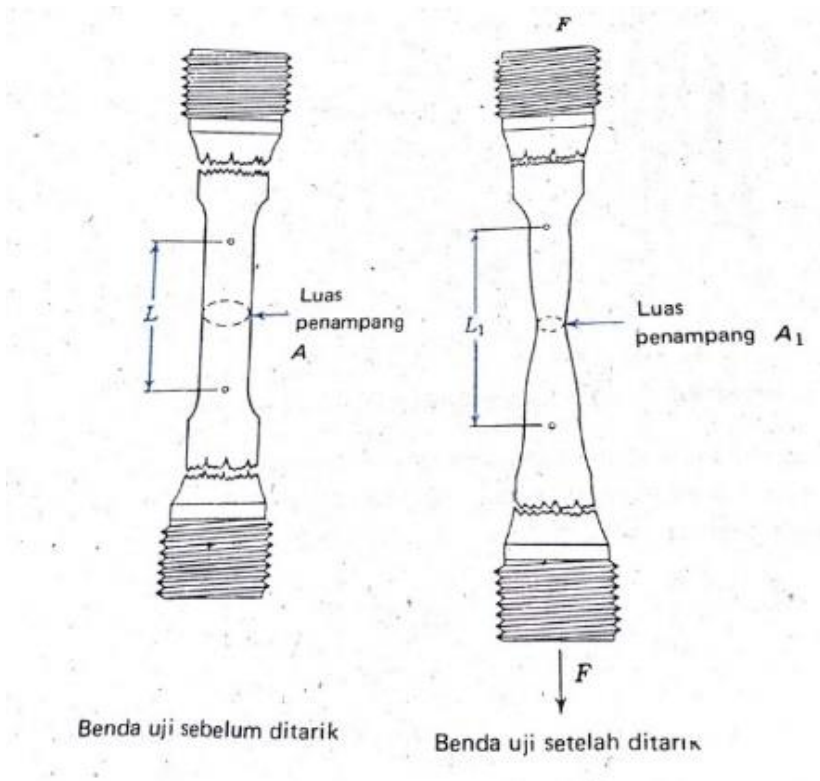
C. Sifat yang Berhubungan dengan Pengaruh Lingkungan

- a. Daya Tahan Korosi
- b. Daya Tahan Panas
- c. Ketahanan Aus
- d. Pelapukan

Sifat bahan mencakup berat jenis, tekanan uap, muai panas, daya hantar panas, sifat listrik dan magnet serta sifat teknik lainnya. Sifat teknik adalah kekuatan tarik, kekuatan tekan, kekuatan torsi, modulus elastisitas dan kekerasan. Kekuatan tarik dan kekerasan adalah sifat utama dari logam. Secara lebih jelas, berikut beberapa penjelasan dari sifat bahan, antara lain:

➡ **Kuat Tarik**

Kekuatan tarik ditentukan pada percobaan tarik. Disini benda uji dengan bentuk terlihat pada gambar di bawah ditarik pada kedua ujungnya. Bila benda uji ditarik perlahan-lahan, bagian tengah yang berpenampang mula A , akan menciut menjadi A_1 sedang panjangnya bertambah dari L menjadi L_1 . Ini merupakan salah satu sifat bahan yang dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik bahan sewaktu mengalami pelenturan dan pemesian.

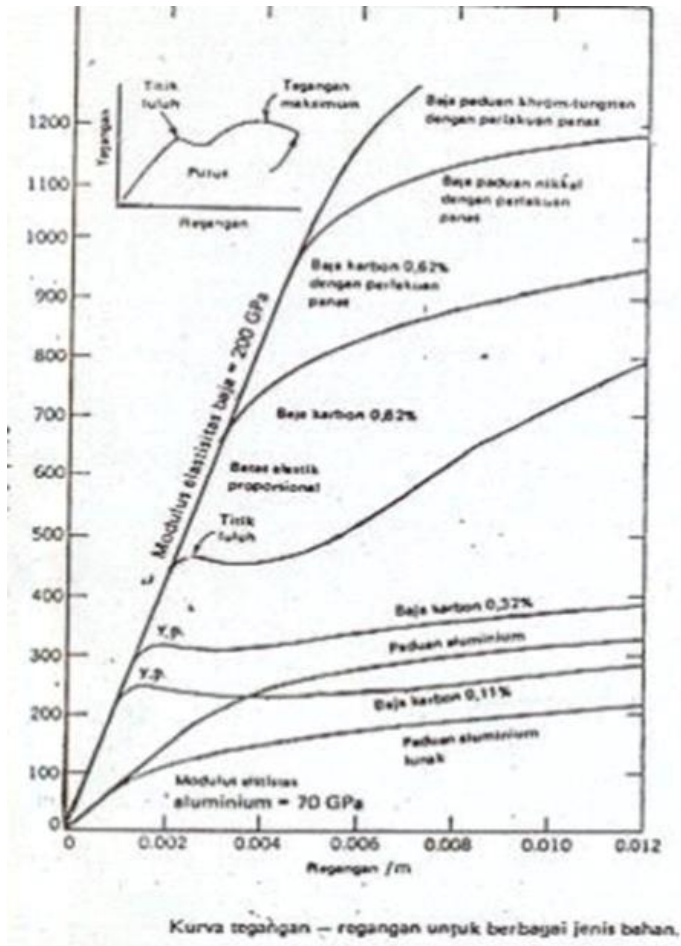


Gambar 1. Uji Tarik Bahan

Dari data yang berhasil dihimpun selama penarikan benda uji, dapat dibuat kurva tegangan – regangan, dimana bentuk kurvanya biasa jadi berbeda-beda, tergantung pada jenis bahan dan perlakuan panas yang diterima logam. Dalam hal ini sebagai berikut:

$$\text{Tegangan} : \frac{\text{gaya}}{\text{luas penampang}}$$

$$\text{Regangan} : \frac{\Delta L}{L}$$



Gambar 2. Kurva Tegangan- Regangan

Awal garis yang lurus akibat besarnya tegangan sama dengan regangan menunjukkan daerah batas sifat elastis logam. Jadi jika pembebanan masih diwilayah ini, maka perubahan bentuk dan ukuran benda tidak bersifat permanen dan dapat kembali kesediakala. Pada daerah inilah terletaknya Modulus Elastisitas.

➤ Kekuatan Geser, Tekan dan Puntir

Kekuatan geser bahan besarnya sekitar 50% dari kekuatan tarik. Sedangkan besarnya kekuatan torsi sekitar 75% dari kekuatan tarik. Kekuatan tekan pada benda yang rapuh mudah ditentukan, karena mudah patah. Tapi pada bahan yang ulet (duktil) kekuatan tekannya baru terlihat bila beban yang diberikan besar. Bahan rapuh seperti besi cor kira-kira 3 – 4 kali kekuatan tarik. Tetapi untuk baja, karena sangat ulet sulit untuk ditentukan.

➤ Keuletan (*Ductility*)

Bahan yang mudah untuk ditebuk, ditarik, diregang dan dibentuk (bentuknya dirubah secara permanen) adalah bahan yang ulet. Bahan yang ulet memiliki sifat yang bertolak belakang dengan bahan yang keras, karena bahan yang keras biasanya rapuh dan gampang patah.

Percobaan tarik dapat digunakan sebagai patokan suatu bahan dengan menentukan besar regangannya (dalam %) saat benda uji putus.

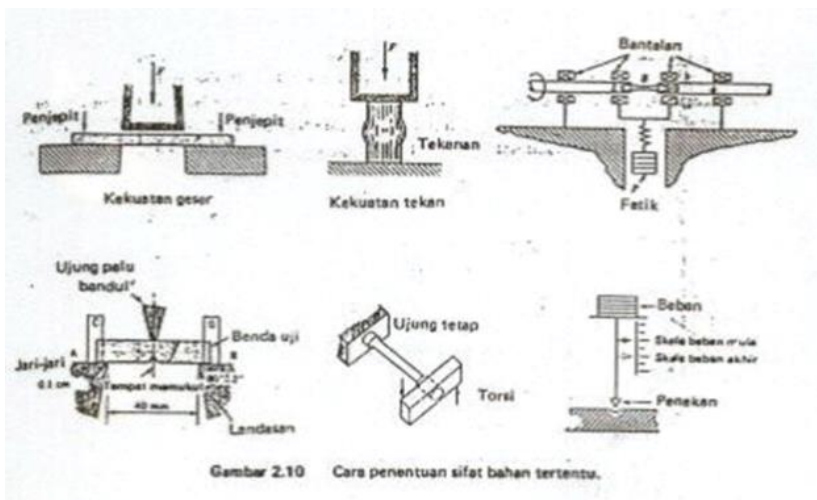
$$\text{Persentase perpanjangan} = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

➤ Percobaan Impak dan Percobaan Fatik

Suatu jenis logam bisa jadi keras dan kuat, namun tidak tahan terhadap beban kejut atau impak. Guna mengetahui ketahanan bahan dari beban kejut, pengujian yang lazim digunakan adalah percobaan *Charpy*. Untuk ini, benda uji yang sudah diberi takik di bagian tengah panjangnya,

diletakkan pada sebuah tumpuan. Ayunan palu bandul kemudian ditimpakan pas dibagian yang bertakik.

Dari besarnya gerakan akhir ayun bandul yang tercatat, akan dapat ditentukan besarnya jumlah energi yang diperlukan untuk mematahkan benda uji, yang menjadi indikasi ketahanan logam terhadap beban kejut.



Gambar 3. Cara Penentuan Sifat Bahan Tertentu

➡ Kekerasan

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan kekerasan bahan. Untuk keperluan industri biasanya digunakan metode pengukuran ketahanan terhadap penetrasi bola kecil, kerucut atau piramida.

Dalam pelaksanaannya, alat tekan yang berujung bola kecil, kerucut atau piramida ditekan kedalam bahan dengan beban mula tertentu. Kemudian beban dinaikkan, sehingga akhirnya kekerasan dapat dibaca dari selisih

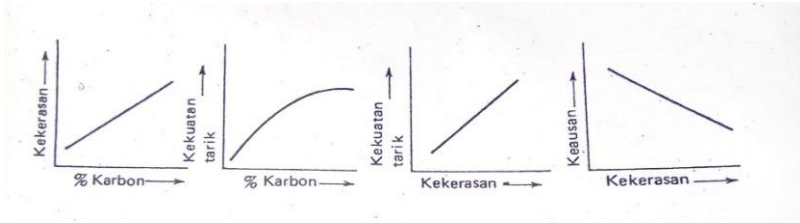
kedalaman yang ditimbulkan oleh beban akhir dikurangi beban mula. Sedangkan skala kekerasan tergantung dari bentuk dan jenis penekan dan beban.

Satu pengujian kekerasan Rockwell dalam hal ini banyak digunakan, karena penekan dan besarnya beban dapat diubah sesuai kebutuhan. Dengan demikian kekerasan dari selaput tipis hingga logam yang paling keraspun dapat diukur oleh alat ini. Bila penekannya terbuat dari intan dan beban yang digunakan besarnya 331 pound, maka disebut kekerasan skala Rockwell C. Skala ini umumnya digunakan untuk baja yang keras.

Pada bahan baja yg lebih lunak dan logam bukan *Ferrous*, digunakan skala B. Disini penekannya berbentuk bola berdiameter 1/16 inci dengan beban sebesar 220 lb. Pada metode kekerasan Brinell digunakan bola berdiameter 10 mm dengan pembebanan sebesar 3000 kg. Diameter jejak diukur melalui mikroskop yang mampu mengukur hingga ketelitian 0,05 mm.

Pengukuran kekerasan dikelompokkan dalam bentuk pengujian tak merusak dan diterapkan untuk inspeksi berbagai suku cadang. Karena mudah ditentukan dan tidak merusak, jenis pengujian ini sering dimanfaatkan untuk pengendalian mutu pada proses-proses perlakuan panas, pembentukan dingin dan panas.

Adapun hubungan antara berbagai cara penentuan kekerasan dan yang menunjukkan nilai ekivalen berbagai skala dan cara penentuan kekerasan



Gambar 4. Hubungan antara Kekuatan Tarik dan Kekerasan untuk Baja

Pemilihan bahan baku akhirnya ditentukan oleh berbagai hal yang telah disebutkan tadi, termasuk cara-cara pembuatan/pembentukannya. Karena untuk beberapa bahan baku, Indonesia masih bergantung dari sumber-sumber negara lain, masalah pengadaan dan persediaan serta harga juga memegang peran yang penting. Faktor-faktor ini berubah dari waktu ke waktu maupun dari tempat ke tempat dan sangat tergantung pada situasi. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa pemilihan bahan yang tepat merupakan suatu proses yang berkesinambungan dan perlu ditinjau secara teknis, ekonomis dan objektif.

Pengelompokan Bahan

Secara garis besar, bahan-bahan yang digunakan dalam suatu proses manufaktur dapat dikelompokkan dalam dua kelompok besar, yaitu:

➡ Bahan Logam

- a. Besi, baja dan paduannya (*Ferrous*).
- b. Seperti : besi (*Fe*), baja karbon (*Fe₃C*), molybdenum (*Fe₂C-Mo*), triple alloy steels (*FeCrNiMo*) dan lain-lain.
- c. Logam selain besi dan paduannya (*non-Ferrous*)
- d. seperti : timah (*Sn*), aluminium (*Al*), tembaga (*Cu*), seng (*Zn*), nikel (*Ni*), mangan (*Mn*), vanadium (*V*), titanium (*Ti*), wolfram (*W*) dan lain-lain.

Umumnya logam jarang digunakan dalam keadaan murni, kecuali untuk hal-hal khusus. Logam yang umum digunakan adalah besi. Umumnya kekuatan tarik bahan baku besi lebih rendah daripada baja, begitu pula dengan daya tahan korosinya. Namun harga dari besi lebih murah dibandingkan dengan baja, sehingga hanya digunakan untuk hal tertentu. Tembaga meskipun lebih mahal dari besi/baja digunakan untuk kabel atau kawat penghantar listrik karena tahanan jenis rendah. Sekarang orang mulai beralih ke aluminium untuk bahan kawat penghantar listrik karena lebih ringan. Nilai perbandingan daya hantar listrik spesifik/berat lebih baik dibandingkan dengan tembaga.

➡ Bahan Bukan Logam

- a. Organik, berasal dari alam (tumbuhan, hewan atau bahan yang mengandung unsur karbon).
- b. Anorganik
- c. Seperti : mineral-mineral, batuan-batuan, semen, beton, keramik, gelas dan grafit (memiliki struktur tersendiri).

Bahan bukan logam, mencakup bahan organik yang berasal dari alam (tumbuh-tumbuhan atau hewan atau bahan yang mengandung unsure karbon). Karet alam, kertas, minyak bumi, gas alam, kayu, kulit dan plastic termasuk kelompok ini. Mineral-mineral, batu-batuan, semen, beton, keramik, gelas dan grafit masuk dalam kelompok bahan anorganik. Bahan organik memiliki perbedaan sifat yang mendasar dibandingkan bahan anorganik. Bahan organik umumnya larut dalam cairan organik, seperti : alkohol, tetapi sukar larut dalam air. Bahan anorganik umumnya lebih tahan terhadap panas dibanding bahanorganik.

Dalam tabel dibawah tercantum beberapa jenis logam yang banyak digunakan dalam sektor industri manufacturing. Logam yang banyak digunakan adalah besi, baja, timah, aluminium, tembaga, seng, nikel dan unsure paduan seperti mangan, vanadium, titanium, dan wolfram. Nilai seperti kekuatan tarik yang dicantumkan merupakan harga rata-rata, karena secara tepat nilai tersebut tergantung pada berbagai faktor seperti kadar unsure paduan, cara pembentukan/pengerjaan dan perlakuan panas. Umumnya logam sangat jarang digunakan dalam keadaan murni kecuali untuk hal-hal khusus.

Tabel 1. Sifat Beberapa Logam atau Paduan

Jenis Logam	Kekuatan Tarik MPa	Keuletan (%)	Titik Cair °C	Kekerasan (Brinell)
Besi dan baja				
Besi cor kelabu	110-207	0-1	1370	100-150
Besi cor putih	310	0-1	1370	450
Baja	276-2070	15-22	1425	110-500
Bukan besi				
Aluminium	83-310	10-35	660	30-100
Tembaga	345-689	5-50	1080	50-100
Magnesium	83-345	9-15	650	30-60
Seng (tuang)	48-90	2-10	785	80-100
Titan	552-1034	-	1800	158-266
Nikel	414-1103	15-40	1450	90-250

Bijih (Mineral) Sebagai Bahan Baku

Untuk memperoleh bahan baku, bijih-bijih yang terdapat dalam alam perlu diolah terlebih dahulu. Pertama biji diolah melalui penggilingan dan pemisah baik secara fisis maupun secara kimia sehingga diperoleh bahan baku dengan kadar yang lebih tinggi. Kotoran-kotoran seperti bahan-bahan organik dan tanah dipisahkan. Pada proses ekstraksi dan peningkatan kadar ini diperlukan energy (panas) atau bahan-bahan kimia. Proses pengolahan besi dari bijih besi pada dasarnya merupakan proses reduksi oksida besi yang terdapat di alam bebas. Besi dan baja

merupakan bahan yang terpenting dalam kehidupan manusia.

Bahan baku logam berasal dari bijih-bijih (Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , FeCO_2) yang ditambang dari alam. Diolah melalui penggiling dan pemisah (secara fisis dan kimia) untuk kadar yang lebih tinggi agar kotoran seperti bahan organik dan tanah terpisah. Pada proses ekstraksi dan peningkatan kadar ini diperlukan energi (panas) atau bahan-bahan kimia. Proses pengolahan ini pada dasarnya merupakan proses reduksi oksida besi yang terdapat di alam bebas.

Proses secara besar-besaran dimulai pada abad 14 dengan dikembangkannya proses dapur tinggi. Disusul dengan penemuan proses pemurnian dan pembuatan baja, antara lain : proses Bessemer dan proses Thomas. Dibidang logam selain besi, alumunium merupakan logam ringan yang cukup menonjol. Diolah dari bauksit dengan energi listrik tinggi. Sehingga meskipun seperdua belas kulit bumi ini terdiri dari alumunium, harganya tetap lebih mahal dibanding besi.

Jenis logam	Bijih dan susunannya	Tempat ditemukan
Aluminium	Bauksit (gibsit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan diaspor $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Indonesia, USA
Besi	Hematit (Fe_2O_3), 70% Fe Magnetit (Fe_3O_4), 72,4% F Siderit (FeCO_3), 48,3% Fe	USA, India, Australia
Timah Putih	Kaserit (Sn O_2)	Indonesia, Malaysia, Boli nia.
Seng	Spalent (Zn S)	USA
Tembaga	Kalkosit ($\text{Cu}_2 \text{S}$) Bornit ($\text{Cu}_3 \text{FeS}_3$)	Zambia, USA, Indonesia
Nikel	Sulfida-sulfida Pentlandit	Canada, Indonesia

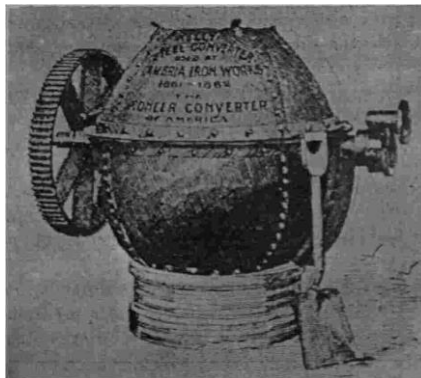
Gambar 5. Bijih Logam

Gambar 5 tersebut hanya mencakup beberapa mineral utama. Di Indonesia timah putih merupakan salah satu logam yang telah dapat diolah sepenuhnya di dalam negeri. Besi/baja juga sudah dapat dihasilkan namun bahan baku berupa pellet masih perlu di impor. Tambang nikel di Sulawesi telah mampu menghasilkan feronikel yang merupakan bahan paduan yang penting dalam pembuatan baja khusus. Dengan selesainya pembangunan pabrik aluminium Inalum di Kuala Tanjung, Asahan, Sumatera Utara maka aluminium murni telah dapat pula dihasilkan.

BAB 3

BESI DAN PADUANNYA

Besi adalah logam transisi yang paling banyak dipakai karena relatif melimpah di alam dan mudah diolah. Besi murni tidak begitu kuat, tetapi bila dicampur dengan logam lain dan karbon didapat baja yang sangat keras. Besi dan baja merupakan logam yang banyak digunakan dalam teknik dan meliputi 95% dari produksi logam dunia. Besi merupakan unsur esensial karena merupakan bagian dari enzim - enzim tertentu dan merupakan bagian dari protein yang berfungsi sebagai pembawa elektron pada fase terang fotosintesis dan respirasi. Untuk penggunaan tertentu, besi dan baja merupakan satu satunya logam yang memenuhi persyaratan teknis maupun ekonomis, namun di beberapa bidang lainnya logam ini mulai mendapat persaingan dari logam bukan besi dan bahan bukan logam.



Gambar 6. Alat Pelebur Logam Pertama

Besi diketahui sebagai unsur yang paling banyak membentuk bumi, yaitu kira-kira 4,7 – 5 % pada kerak bumi. Besi adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, kebanyakan besi terdapat dalam batuan dan tanah sebagai oksida besi, seperti oksida besi magnetit (Fe_3O_4) mengandung besi 65%, hematite (Fe_2O_3) mengandung 60–75% besi, limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) mengandung besi 20% dan siderit (Fe_2CO_3). Dalam kehidupan, besi merupakan logam paling biasa digunakan dari pada logam-logam yang lain. Hal ini disebabkan karena harga yang murah dan kekuatannya yang baik serta penggunaannya yang luas.

Baja pertama di Amerika dihasilkan dalam pelebur kecil ini (perhatikan skala ukurannya dibandingkan dengan sekop di dekatnya). Pelebur ini diisi dengan besi cair yang kemudian dialiri udara dari dasarnya sehingga karbon teroksidasi dan dengan demikian besi diolah menjadi baja.

Proses pembuatan baja diperkenalkan oleh sir Henry Bessemer dari Inggris sekitar tahun 1800, sedang William Kelly dari Amerika pada waktu yang hampir bersamaan berhasil membuat besi mampu tempa (malleable iron). Hal ini menyebabkan timbulnya persengketaan masalah paten.

Bahan utama besi dan paduannya adalah besi kasar yang dihasilkan dalam tanur tinggi. Bijih besi yang dicampur dengan kokas dan batu gamping (batu kapur) dilebur dalam tanur ini. Komposisi kimia besi yang dihasilkan tergantung pada jenis bijih besi yang digunakan.

Jenis biji besi yang lazim digunakan adalah: hematite, magnetit, siderite dan himosit.

Hematit (Fe_2O_3) adalah bijih besi yang paling banyak dimanfaatkan karena kadar besinnya tinggi, sedang kadar kotorannya rendah. Meskipun pirit (Fe_2S_2) banyak ditemukan, jenis biji ini tidak digunakan oleh karena kadar sulfur (belerangnya) tinggi sehingga diperlukan tahap pemurnian tambahan.

Seiring dengan perkembangan zaman banyak teknologi baru yang bermunculan untuk menghasilkan besi. Salah satu sebabnya adalah karena besi memiliki kegunaan yang sangat banyak dan terlebih lagi karena bijih besi yang relatif melimpah dipenjuru dunia. Oleh karena itu penting untuk kita mempelajari lebih lanjut mengenai besi-besi tersebut.

Klasifikasi Logam *Ferrous*

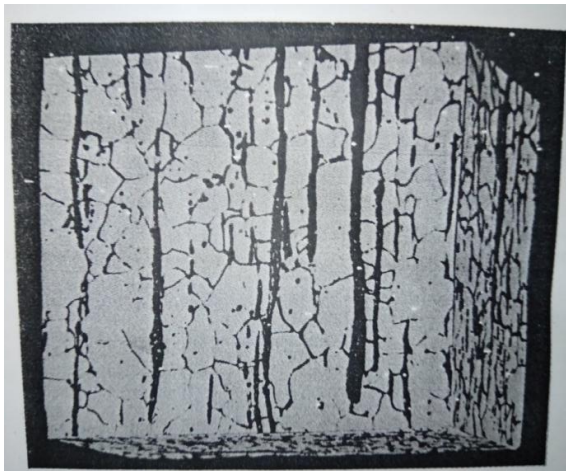
Logam *Ferrous* dapat digolongkan dalam beberapa kelompok berdasarkan komposisi kimia, khususnya kadar karbon, sifat-sifat mekanis/fisis atau tujuan penggunaannya, antara lain:

➡ Besi Karbon Rendah

Besi karbon rendah (wrought iron) mengandung $<0,1\%$ C dengan 1-3% terak halus yang tersebar secara merata didalamnya. Besi ini merupakan hasil proses puddling atau proses aston. Pada proses puddling, besi kasar dicampur dengan besi bekas lalu dilebur dalam dapur puddling manual yang kecil (kapasitas 230 Kg)

dipanaskan dengan kokas, minyak atau gas. Kapasitas dapur kini jauh lebih besar dan proses pengadukan dilakukan secara mekanik. Setelah bebas dari kotoran-kotoran produk yang berbentuk campuran dari besi dan terak dituang dari dalam dapur kemudian digiling untuk memisahkan terak.

Pada proses aston besi kasar dilebur dalam kupola dan dimurnikan dalam bejana Bessemer. Logam murni kemudian dituang ke ladel (disebut shotting) yang mengandung sejumlah terak. Karena suhu terak lebih rendah, logam cair cepat membeku, gas-gas yang larut bebas dengan letupan-letupan sehingga logam pecah menjadi bagian-bagian yang kecil. Kepingan itu menegendap dan menjadi satu membentuk besi spons. Besi karbon rendah yang dihasilkan mempunyai komposisi sebagai berikut: $C < 0,03\%$; $Si \approx 0,13\%$; $S \leq 0,02\%$, $F \approx 0,18\%$ dan $Mn < 0,1\%$.



Gambar 7. Foto Mikro Besi Karbon Rendah

Foto mikro sekeping besi karbon rendah yang dipolis dan diestampak dalam gambar 7. Partikel terak yang merupakan $\approx 2,5\%$ dari seluruh masa, tampak sebagai garis-garis hitam. Logam ini digunakan untuk pembuatan pipa dan produk lain yang harus tahan karat seperti suku cadang tertentu pada industri perkapalan, perkeretaapian, pertanian dan perminyakan. Selain tahan korosi, logam ini juga mudah dilas, sangat ulet dan mempunyai daya lekat lapisan pelindung yang tinggi.

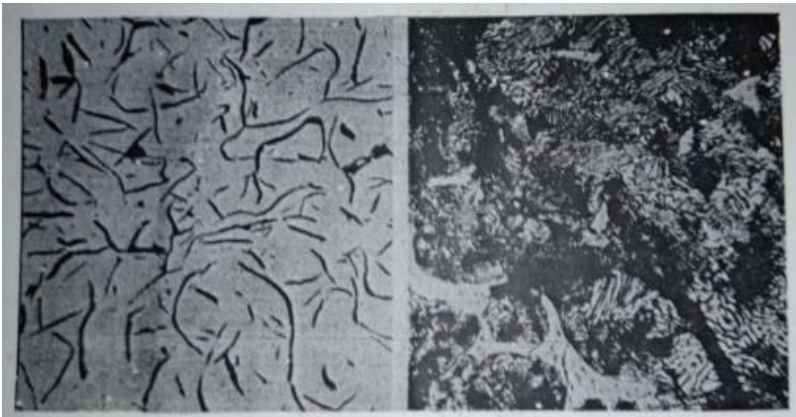
➡ Besi Cor

Besi cor adalah paduan: besi - karbon silikon dengan tambahan lainnya. Kadar karbon tinggi sehingga besi cor bersifat rapuh dan tidak dapat ditempa. Besi cor mempunyai sifat fisis/mekanik yang berbeda-beda, hal ini dipengaruhi oleh unsur paduan yang terdapat di dalamnya seperti karbon, silikon, mangan, fosfor, dan belerang. Kekuatan, kekerasan, kemampuan mesin (machinability), ketahanan aus dan lain seperlu dileburkan dalam dapur kupola atau dapur jenis lainnya. Besi kasar yang dihasilkan oleh tanur tinggi tidak cocok untuk benda coran dan dilebur kembali dalam dapur kupola atau dapur jenis lainnya.

Besi cor kelabu disebut begitu oleh karena patahannya berwarna keabu-abuan. Karbon yang terdapat berbentuk serpih grafit, kekuatan tarik besi cor kelabu berkisar antara 140 sampai 415 MPa akan tetapi keuletannya sangat rendah. Komposisinya adalah sebagai berikut pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Besi Cor

Unsur	Kadar (% Berat)
Karbon (C)	3,00 – 3,50
Silikon (Si)	1,00 - 2,75
Mangan (M)	0,40 – 1,00
Fosfor (P)	0,15 – 1,00
Belerang (B)	0.02 – 0,15
Besi (<i>Fe</i>)	Sisanya



Gambar 8. Sturktur Besi Cor Kelabu

Pada gambar 8 tersebut terlihat struktur besi cor kelabu Serpih grafit tampak seperti garis-garis hitam. Grafit ini memberikan kekuatan pada besi cor, makin halus dan merata serpihannya, makin kuat logamnya. Daerah yang bewarna cerah adalah *streadit*, suatu striktur eutektur antara besi - α dan fosfida besi. *Ferit* atau besi - α .



Gambar 9. Struktur Besi Cor Putih

Besi cor putih mempunyai bidang perpatahan yang putih warnanya, karbon disini terikat sebagai karbida, Fe_3C . Fe_3C atau karbida bersifat keras, sehingga besi cor putih yang banyak mengandung kerbida sulit di mesin. Pada Gambar 9 tampak struktur mikro besi cor yang terdiri dari sementit dan perlit. Daerah yang berwarna putih adalah sementit dan yang berwarna gelap adalah perlit. Besi cor putih dibuat dengan cara menuangkan besi cair ke dalam cetakan logam dan dengan mengatur komposisi kimianya.

Besi cor berintik (mottled). Besi cor berintik adalah suatu produk antara besi cor kelabu dan besi cor putih. Namanya identik dengan penampilan permukaan perpatahannya. Struktur ini dijumpai pada benda cor yang mempunyai permukaan yang didinginkan dengan cepat (chilled).

Untuk pengolahannya dapat digunakan dapur kupola, tanur udara atau dapur listrik kadang-kadang digunakan dua dapur berdampingan, kupola dan tanur

udara. Prosesnya dikenal dengan nama *duplexs*. Dengan cara ini, logam cair dapat dikendalikan dengan menerus, selain itu suhu penuangan dan komposisi logam dapat dikendalikan dengan baik. Benda cor disimpan dalam pot dan diletakkan dalam dapur anil dengan sirkulasi panas disekitarnya. Waktu anil cukup lama yaitu 3 sampai 4 hari dengan suhu antara 815 sampai 1010°C. Pada proses ini karbida besi yang keras berubah menjadi nodul *grafit temper* dalam matriks besi murni.

Besi cor nodular adalah jenis besi cor mampu tempa yang kuat dan ulet. Karbon yang terdapat berbentuk nodul grafit yang diperoleh dengan menambahkan bahan yang mengandung magnesium seperti nikel – magnesium atau magnesium tembaga – Ferrosilikon dalam besi cor kelabu cair. Jumlah magnesium yang diperlukan tergantung pada kadar belerang yang ada. Mula-mula kadar belerang diturunkan dengan cara mengubahnya menjadi sulfida magnesium. Sisa magnesium yang ada dapat merubah bentuk grafit menjadi bentuk nodular. Besi cor nodular umumnya digunakan dalam kondisi tuang (as-cast), meskipun demikian untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu dari benda cor, benda cor dapat dianil sebentar. Waktu anil yang diperlukan jauh lebih singkat dibandingkan dengan waktu anil besi cor mampu tempa. Karena mutu besi cor nodular jauh lebih baik, bahan ini dapat digunakan untuk membuat poros egkol dan berbagai suku cadang mesin lainnya.

➡ Besi Baja

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi, karbon dan unsur lainnya. Baja dapat dibentuk melalui pengecoran, pecanaan atau penempaan. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam teknik, dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang, profil dan sebagainya.

Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% dari berat keseluruhan baja tersebut sesuai grade-nya. Elemen berikut ini selalu ada dalam baja: karbon, mangan, fosfor, sulfur, silikon, dan sebagian kecil oksigen, nitrogen dan aluminium. Selain itu, ada elemen lain yang ditambahkan untuk membedakan karakteristik antara beberapa jenis baja diantaranya: mangan, nikel, krom, molybdenum, boron, titanium, vanadium dan niobium.

Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur pengeras dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal dari atom penyusun besi. Tanpa karbon ini maka struktur kristal dari besi murni tidak memiliki resistensi antar atom dan akan saling melewati satu sama lain, atau menjadi sangat lembek. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Berdasarkan unsur panduannya klasifikasi baja

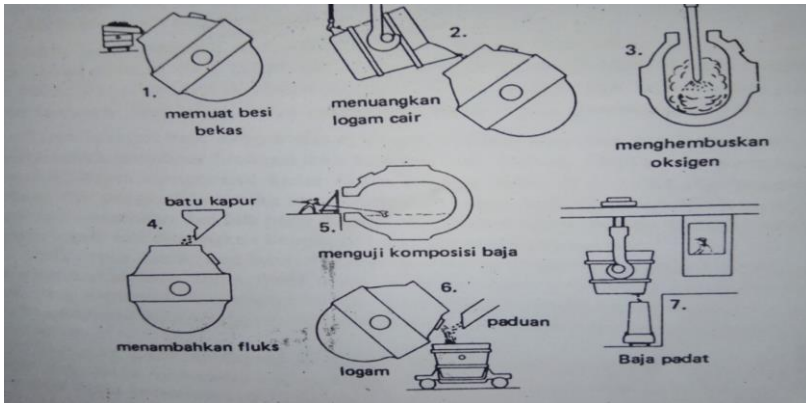
mengikuti SAE (*Society of Automotive Engineers*) dan AISI (*America Iron and Steel Institute*).

Alat – Alat Pembuatan Besi

➡ Tanur Oksigen Basa

Proses tanur oksigen basa (*basic oksigen furace*, BOF) menggunakan besi kasar (65-80%) yang dihasilkan oleh tanur tinggi sebagai bahan dasar utama dicampur dengan besi bekas dan batu kapur. Panas ditimbulkan oleh reaksi dengan oksigen. Gagasan ini dicetuskan oleh Bessemer sekitar tahun 1800.

Besi bekas sebanyak $\pm 30\%$ dimasukkan kedalam bejana yang dilapisi batu tahan api basa, lihat gambar 10. logam panas dituangkan kedalam bejana tersebut. Suatu pipa aliran oksigen yang didinginkan dengan air dimasukkan kedalam, 1-3 m diatas permukaan logam cair. Oksigen yang dihembuskan segera menimbulkan nyala dan suhu akan naik mendekati titik didih besi $\pm 1650^{\circ}\text{C}$. Unsure-unsur karbon, mangan, ikat kotoran-kotoran seperti fosfor dan belerang dan membentuk terak. Setelah proses reaksi pemurnian selesai, bejana dimiringkan untuk menuangkan logam. Waktu antar penuangan untuk menghasilkan 270 Mg baja berkisar antara 45 menit, sedang oksigen yang diperlukan untuk menghasilkan 1 Mg baja adalah 50m^3 .



Gambar 10. Proses Pembuatan Baja dengan Tanur Oksigen Basa

➡ Tanur Listrik

Dalam *dapur listrik* Gambar 11, besi bekas dicampur dengan ingot dan bahan paduan lainnya, diolah menjadi baja paduan umum, baja perkakas, baja tahan panas, dan baja tahan karat. Di samping baja, dapat juga dihasilkan besi cor kelabu bermutu tinggi. Penggunaan dapur tinggi akhir-akhir ini meningkat dengan pesat oleh karena lebih bersih (sedikit polusinya dan mutu baja dapat dikendalikan dengan baik). Dikenal juga dengan dapur listrik.

- a. Dapur busurtak-langsung, busur dipancarkan dari dua elektroda yang terdapat di atas logam, sehingga logam menjadi panas akibat panas berpindah secara radiasi. Logam menjadi panas akibat radiasi. Jenis ini sudah jarang digunakan karena kurang ekonomis.

- b. Dapur busur langsung. Di sini arus mengalir melalui elektroda ke muatan logam atau logam cair dan kembali ke elektroda. Kerana dipandang cukup ekonomis jenis dapur ini masih banyak digunakan.

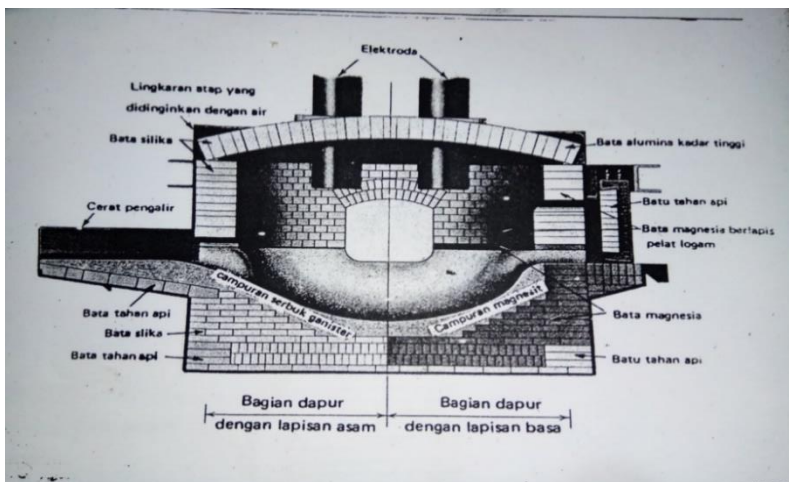
Pada tanur busur langsung, ruang dapur dilapisi dengan batu tahan api jenis basa atau asam. Dapur berlapis batu tahan api asam, beralaskan serbuk ganister dan ber dinding batu silik, digunakan untuk membuat baja karbon rendah, dan baja paduan rendah. Bahan bakunya, besi bekas, harus mempunyai kadar fosfor dan belerang yang rendah.

Tanur berlapis basa dengan alas megnesit, dinding megnesia dan bata alumina digunakan untuk membuat berbagai jenis baja atau baja paduan. Dapur basa, yang banyak digunakan, dapat mengontrol kadar fosfor dengan baik, disamping itu mengurangi belerang dan pengendalian suhu serta komposisi dengan baik. Secara berkala komposisi logam cair ditentukan dan bila perlu dapat ditambahkan unsur paduan tertentu sehingga sewaktu logam cair dituangkan komposisi baja memenuhi persyaratan.

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

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

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



Gambar 11. Penampang Dapur Busur Listrik

➤ Tanur Terbuka

Tanur terbuka merupakan kelompok tanur yang besar. Tanur ini, termasuk salah satu tipe tanur berkapasitas besar, yang mampu memproduksi sampai dengan ratusan ribu ton per tahunnya. Dibawah ini terlihat gambar

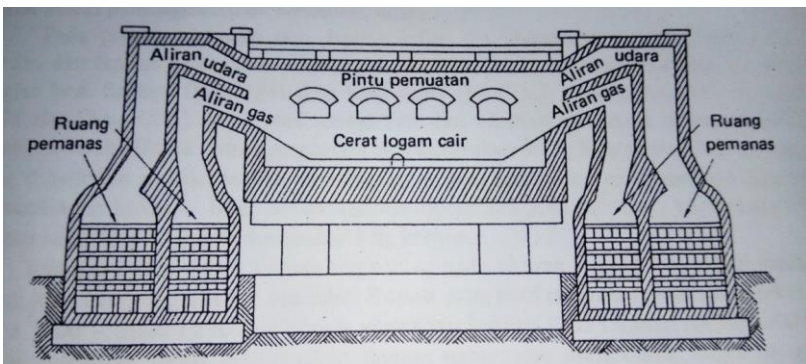
penampang sebuah Tanur Terbuka. Atap dapur yang rendah, dapat memantulkan panas langsung ke tumpukan logam (bahan baku), dimana panas bisa berasal dari gas atau pun nyala minyak. Dapur jenis ini mempunyai efisiensi pembakaran yang tinggi, sebab: ruangan pemanas di ke-2 sisi dapur dapat memanaskan udara dan bahan bakar yang masuk kedalam dapur, itu juga makanya, dapur jenis ini disebut tanur regenerasi. Keunggulan lain dari tanur ini adalah dapat menurunkan kadar fosfor, belerang, silikon, mangan dan karbon, sampai pada persentase yang diharapkan untuk membuat baja dan paduan nya.

Pada gambar 12 tampak tanur terbuka; logam sebanyak 9.9 sampai 540 Mg diletakkan pada dasar tanur. Logam dilebur dengan gas, atau nyala minyak yang diarahkan kepermukaan logam. Atap dapur yang rendah, memantulkan panas tadi ketumpukan logam. Tanur jenis ini termasuk tanur regenerasi oleh karena ruang pemanas dikedua sisi dapur dapat memanaskan udara dan bahan bakar yang masuk kedalam dapur. Dengan demikian efisiensi pembakaran ditingkatkan.

Permukaan tanur dapat dilapisi bahan jenis asam atau basa; namun lebih dari 90% merupakan tanur terbuka bersifat basa. Dalam tanur basa, digunakan lapisan magnesit dan disini, kadar fosfor, belerang, silikon, mangan dan karbon dapat diturunkan. Tanur terbuka asam menggunakan lapisan bata atau pasir asam yang sebagian besar terdiri dari silica. Pada tanur jenis ini kadar silikon, mangan dan karbon dapat diturunkan.

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

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



Gambar 12. Penampang Tanur Terbuka

➡ Kupola

Di sini besi kasar dilebur bersama dengan besi bekas dalam dapur yang disebut *kupola*. Konstruksi kupola sederhana, mudah dibuat, hampir-hampir tidak memerlukan pemeliharaan dan ekonomis. Logam cair bersentuhan dengan bahan bakar dan dinding kupola yang terdiri dari batu tahan api sehingga terdapat kemungkinan kontaminasi. Hal ini akan mempengaruhi komposisi besi cor yang dihasilkan, oleh karena itu perlu pengendalian yang cermat. Besi cor khusus dan besi cor paduan sulit dikontrol komposisinya, demikian pula halnya dengan suhu.

Konstruksi dapur kupola terdiri dari cerobong logam tegak yang dilapisi batu tahan api dibagian dalamnya. Udara dihembuskan melalui lubang tuyer yang terdapat dibagian bawah. Kupola bertumpu pada pelat alas yang bulat, yang disangga oleh empat tiang sedemikian sehingga pintu alas dapat dibuka dengan mudah. Besi bekas, besi kasar, koas dan bahan campuran lainnya dimasukkan melalui sebuah pintu yang terdapat pada pertengahan tanur. Ujung atas kupola terbuka dan hanya tertutup oleh lempeng logam atau penahan bunga api.

Udara dihembuskan ke dalam kupola melalui *tuyer* yang umumnya dipasang dibagian bawah dapur, di atas penampul besi dan terak cair. Fungsi *tuyer* ialah untuk meratakan sirkulasi udara agar pembakaran merata dan sempurna. Jumlah *tuyer* tergantung pada kapasitas dan diameter kupola. Ada empat, delapan atau lebih. Luas

penampang tuyer sekitar seperempat luas penampang kupola Kotak udara untuk pemasukan udara dipasang, mengelilingi kupola dekat tuyer. Selain itu terdapat lubang pengintai mika dibelakang tuyer, untuk mengikuti kondisi dalam dapur. Angin dihembuskan oleh pengehembus sentrifugal melalui lubang-lubang pada kotak udara.

Besi cair dialirkan melalui lubang pengalir. Bersebrangan dengan lubang pengalir besi cair terdapat lubang pengalir terak. Lubang ini berada sedikit dibawah lubang tuyer untuk mencegah masuknya terak ke dalam tuyer dan untuk mencegah pembekuan terak akibat pendinginan oleh hembusan udara.

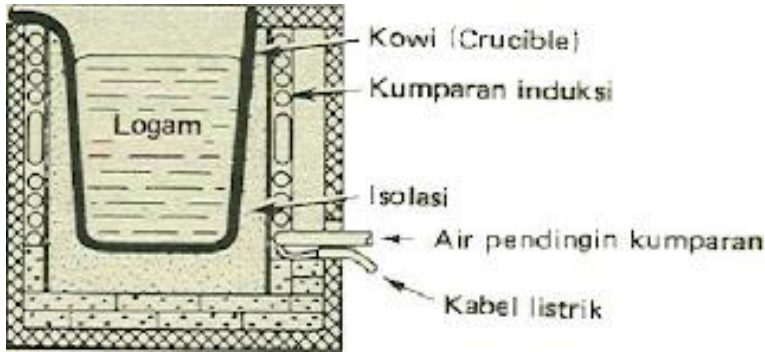
Pada proses peleburan besi, lapisan kokas dinyalakan dan muatan kupola terdiri dari lapisan kokas dan besi dengan perbandingan berat: 1 bagian kokas 8 atau 10 bagian besi. Sebagai fluks digunakan batu kapur (CaCO_3), kalsium fluor (CaF_2) atau soda abu (Na_2CO_3) untuk melindungi besi dari oksidasi dan untuk menurunkan kekentalan terak. Untuk setiap megagram besi diperlukan 40 kg batu kapur. Jumlah udara yang diperlukan untuk melebur 1 megagram besi tergantung pada jumlah kokas dan perbandingan kokas –besi. Secara teoritis diperlukan 5.78 m^3 udara bertekanan 100 dengan suhu $15,5^\circ\text{C}$ untuk membakar 1kg karbon.

Tekanan udara dalam kupola tergantung pada ukuran kupola, kepadatan muatan bahan, jenis besi yang dilebur dan suhu. Kupola yang kecil rata-rata memerlukan tekanan antara 1200-2000 Pa sedang kupola

yang besar bekerja pada tekanan sekitar 7000 Pa. reaksi peleburan dapat ditingkatkan dengan pemanasan mula udara, suatu hal yang terdapat dalam dapur pelebur jenis regenerasi. Dapur semacam ini disebut kupola hembusan udara panas (hot blast cupola). Pada jenis yang lain, sisa pembakaran keluar dari kupola agak dibawah pintu pengisi dan pembakaran sempurna terjadi didalam yang berdekatan dengan kupola. Udara masuk, dipanaskan kedalam pemanas mula didapur tambahan ini sebelum dihembuskan kedalam kotak angin kupola pada $\pm 300^{\circ}\text{C}$. Jenis kupola lainnya menggunakan dapur pemanas mula yang terpisah.

Usaha ini dilakukan untuk meningkatkan daya peleburan dan untuk menghemat bahan bakar yang digunakan. Pengendalian polusi merupakan permasalahan yang perlu diperhatikan di sini. Beberapa pengecoran menggunakan bahan bakar minyak. Disini digunakan pengabut bahan bakar minyak dengan tekanan udara dan kapasitas peleburan dapat mencapai 25 Mg per hari dengan suhu sekitar 1540°C .

Kupola merupakan tanur yang sederhana, murah dalam hal pembuatannya, mudah pemeliharaannya dan dapat melebur bermacam besi bekas. Hanya perlu diingat bahwa pengendalian komposisi kimia agak sulit disini oleh karena besi kasar maupun besi cair berhubungan langsung dengan kokas yang membara.



Gambar 14. Skema Dapur Listrik Induksi

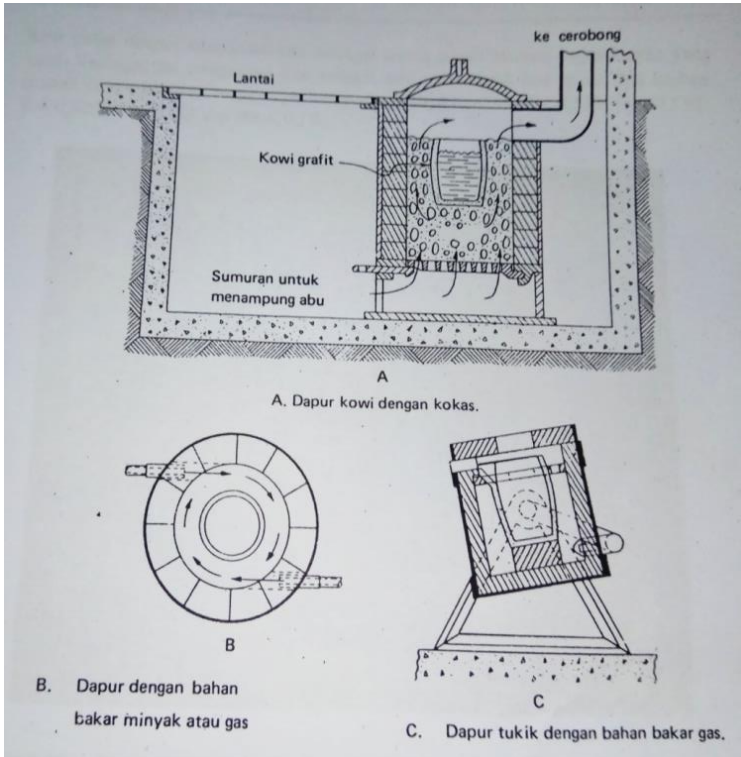
Arus listrik berasal dari sumber arus berfrekuensi sekitar 1000 Hz, dapur diisi logam, logam bekas atau potongan-potongan logam, akibat induksi, pada logam tersebut timbul arus induksi sekunder. Biasanya, logam mencair dalam waktu 90 menit (tergantung banyak nya bahan baku).

Keunggulan dapur ini, kapasitas nya cukup bervariasi (beberapa kg s/d 3,6 ton), harganya relatif murah, tidak menimbulkan polusi, baik udara maupun suara, serta hemat energi. Suhu nya dapat dikendalikan, sehingga tidak terjadi pemanasan yang berlebihan, dan paduan nya dapat dilebur kembali, tanpa kehilangan unsur paduan nya. Oleh karena itu, dapur jenis ini banyak digunakan didalam industri pengecoran logam.

➤ Dapur Kowi

Dapur kowi adalah dapur tertua yang digunakan untuk meleburkan baja kowi (Gambar 15) dibuat dari campuran grafit dan tanah liat mudah pecah dalam keadaan biasa, akan tetapi memiliki kekuatan yang cukup berarti dalam

keadaan panas. Kowi dapat dipanaskan dengan kokas minyak, atau gas alam. Baja karbon rendah, baja bekas, arang kayu dan paduan *Ferro* diunakan untuk membuat baja. Kapasaitas bervariasi antara ± 50 kg.



Gambar 15. Dapur Kowi

Logam non ferro atau logam bukan besi adalah logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Logam non ferro murni kebanyakan tidak digunakan begitu saja tanpa dipadukan dengan logam lain, karena biasanya sifat-sifatnya belum memenuhi syarat yang diinginkan.

Kecuali logam non ferro murni, platina, emas dan perak tidak dipadukan karena sudah memiliki sifat yang baik, misalnya ketahanan kimia dan daya hantar listrik yang baik serta cukup kuat, sehingga dapat digunakan dalam keadaan murni. Tetapi karena harganya mahal, ketiga jenis logam ini hanya digunakan untuk keperluan khusus. Misalnya dalam teknik proses dan laboratorium di samping keperluan tertentu seperti perhiasan dan sejenisnya.

Logam non ferro juga digunakan untuk campuran besi atau baja dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat baja. Dari jenis logam non ferro berat yang sering digunakan untuk paduan baja antara lain, nikel, kromium, molybdenum, wolfram dan sebagainya. Sedangkan dari logam non ferro ringan antara lain: magnesium, titanium, kalsium dan sebagainya. Logam-logam nonferro dan paduannya tidak diproduksi secara besar-besaran seperti logam besi, tetapi cukup vital untuk kebutuhan industri

karena memiliki sifat-sifat yang tidak ditemukan pada logam besi dan baja.

Sifat-Sifat Logam Bukan Besi

Kebanyakan logam bukan besi tahan terhadap korosi (air atau kelembaban), misalnya: zat magnesium, tahan terhadap korosi dalam lingkungan udara biasa, akan tetapi di dalam air laut, ketahan terhadap korosinya dibawah ketahanan baja biasa. Secara umum dapat dikatakan, bahwa makin berat suatu logam bukan besi, maka makin baik daya tahannya terhadap korosi dan salah satu sifat atau ciri khas logam bukan besi adalah: berat jenis nya, oleh karena itu, dibawah ini dapat dilihat table 3 yang menunjukkan berat jenis & titik cair logam.

Salah satu sifat yang menjadi ciri khas adalah berat jenis. Berikut daftar beberapa berat jenis dari logam bukan besi serta titik cairnya

Tabel 3. Berat Jenis Beberapa Logam Bukan Besi

LOGAM	Berat Jenis (kg / m ³)	Titik Cair (°C)
Aluminium	2.643	660
Tembaga	8.906	1080
Kuningan (Brass)	8.570	-
Perunggu (Brons)	8.314	-
Timah Hitam	11.309	325

LOGAM	Berat Jenis (kg / m ³)	Titik Cair (°C)
Magnesium	1.746	650
Nikel	8.730	1450
Seng	7.144	785
Tin (Timah Putih)	7.208	232
Titanium	4.517	1800
Besi	7.897	1540
Baja	7.769	1425

Pemilihan paduan tertentu tergantung pada banyak hal, antara lain kekuatan, kemudahan dalam pemberian bentuk, berat jenis, harga bahan baku, upah pembuatan dan penampilannya. Dari table 4. diperlihatkan perbandingan berat jenis berbagai logam bukan besi. Kebanyakan logam bukan besi tahan terhadap korosi (air atau kelembaban). Secara umum semakin berat suatu logam bukan besi semakin baik daya tahan korosinya. Pengecualian pada aluminium, pada permukaannya terbentuk suatu lapisan oksida yang dapat melindungi logam aluminium tersebut dari korosi selanjutnya.

Warna asli dari logam bukan besi, yaitu kuning, abu-abu, perak, dan lain sebagainya, termasuk teknik pewarnaan, seperti: anodisasi pada aluminium, dapat menambah nilai estetika logam-logam tersebut. Pada umumnya, logam non-besi mempunyai daya hantar listrik lebih baik dibandingkan dengan besi, sebagai

contoh: tembaga, mempunyai daya hantar listrik 5,3 kali lebih baik dibandingkan besi, sedangkan aluminium, 3,2 kali lebih baik. Demikian juga hal nya dengan titik cair, titik cair logam bukan besi berkisar antara 327°C s/d 1800°C , namun untuk penuangan, biasanya suhu nya dinaikan antara 200°C s/d 315°C diatas suhu titik cair nya. Umum nya logam bukan besi, agak sulit untuk dilas, sedangkan kemampuan terhadap pengecoran, permesinan dan pembentukan, berbeda-beda, misalnya: ada logam yang dapat mengalami pembentukan dengan pengerjaan dingin, namun ada pula yang tidak mungkin untuk dibentuk dalam keadaan dingin.

Proses Peleburan Logam Bukan Besi

Dalam membuat produk yang berasal dari logam bukan besi, proses yang umum digunakan adalah proses peleburan. Logam bukan besi tidak ditemukan sebagai logam murni dialam bebas, biasanya masih terikat sebagai oksida dengan berbagai macam kotoran-kotoran yang membentuk bijih-bijih. Ada beberapa tahapan untuk mengolah bijih logam bukan besi, yakni:

- a. Tahap penghalusan mineral
- b. Tahap pencucian
- c. Tahap pemisahan antara logam dengan kotoran
- d. Tahap peleburan

Kadang-kadang, tahap proses peleburan menjadi lebih sulit, misal nya karena bijih tembaga, timah hitam dan seng, hanya di dapat di suatu daerah tertentu saja,

atau bahkan disuatu daerah dijumpai campuran dari 21 jenis bijih logam bukan besi.

Pada mula nya, Tanur Tinggi dengan kapasitas kecil, digunakan untuk melebur tembaga, timah dan beberapa unsur lain nya. Didalam tanur bahan baku dicampur dengan kokas, kemudian di tiupkan udara untuk mempercepat proses pembakaran. Karena tiupan udara nya cukup cepat (kencang), maka ukuran kokas, maupun bijih tidak boleh lebih kecil dari 1 cm. Saat proses peleburan berlangsung, ditambahkan fluks untuk memperoleh logam yang lebih murni, sekaligus untuk mengurangi kekentalan (viskositas) terak cair.

Dapur-dapur yang umum digunakan untuk melebur logam bukan besi, biasanya dari jenis reverberasi. Penambahan fluks (pembentuk terak), bertujuan untuk mengurangi oksidasi, dimana biasanya dapur di lengkapi oleh alat tadah uap maupun tadah debu. Biasanya, disamping menggunakan dapur peleburan, digunakan juga dapur pemanggang untuk meng-oksidasi bijih dari mineral sulfida, gas oksidasi dihembuskan melalui kisi dan mengenai bijih, sedangkan dapur pemanggang digunakan untuk memurnikan tembaga dan seng.

Proses Pengecoran Logam Bukan Besi

Terdapat sedikit perbedaan antara pengecoran logam bukan besi dan pengecoran besi, walau pun cetakan nya secara umum, alat-alat perkakas yang digunakan praktis sama. Pasir yang digunakan biasanya lebih halus, sebab benda kerja yang akan di cetak, umum nya lebih kecil dan

selalu diinginkan suatu permukaan yang rata. Untuk pengecoran besi, maka syarat pasir cetak nya harus yang tahan panas, tetapi pada logam bukan besi, tidak perlu terlalu tahan panas, sebab suhu pengecoran nya lebih rendah. Dapur kowi dengan sumber panas minyak atau kokas ataupun gas, sering digunakan untuk melebur logam bukan besi.

Bila diperlukan pengendalian suhu yang lebih akurat, maka dapat menggunakan beberapa jenis dapur, antara lain: dapur tahanan listrik, busur tak langsung atau dapur induksi. Dengan menggunakan dapur listrik, biasanya sangat sesuai untuk tujuan penelitian ataupun untuk suatu instalasi yang berkapasitas relatif tidak besar. Paduan tembaga yang banyak digunakan atau pemakaiannya adalah: kuningan dan perunggu. Kuningan adalah merupakan paduan antara tembaga dan seng dengan kadar seng nya bervariasi antara 10 % sampai dengan 40 %. Sifat-sifat mekanik paduan, seperti: kekuatan, kekerasan dan keuletan, akan meningkat seiring dengan meningkatnya persentase seng, namun bila kadar seng nya melebihi 40 %, maka umumnya akan terjadi penurunan kekuatan, dan pada saat peleburan, seng akan sangat mudah menguap.

Dengan menambah unsur timah sebanyak 0,5 % sampai dengan 5 %, maka akan menjadikan paduan lebih mampu untuk di mesin (*machinability* yang baik). Kuningan sebagai bahan hasil paduan tembaga dan seng, banyak sekali digunakan di industri, sebab selain kuat, penampilannya bagus, daya tahan terhadap korosi sangat

tinggi serta bila diperlukan, relatif mudah untuk di rol, di tuang dan bahkan di ekstrusi.

Perunggu adalah paduan antara tembaga dengan unsur-unsur lain nya, seperti: timah putih, mangan dan beberapa elemen-elemen lain nya sebagai unsur-unsur tambahan. Unsur-unsur tambahan ini, dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan dan daya tahan terhadap korosi dari perunggu. Tembaga, sering digunakan sebagai salah satu unsur dasar paduan, sebab bila tembaga diatas 8%, dapat menambah kekuatan dan kekerasan bahan. Paduan aluminium yang mengandung unsur silikon, akan memiliki sifat cor yang baik sekali, sekaligus menambah daya tahan terhadap korosi yang lebih baik. Magnesium sebagai unsur paduan dasar, akan meningkatkan sifat mampu mesin yang lebih baik, hasil pengecoran yang lebih halus dan juga dapat meningkatkan daya tahan terhadap korosi. Keistimewaan yang lain dari magnesium ini adalah: massa jenis nya yang rendah (kurang lebih dua per tiga massa jenis aluminium atau seper empat dari massa jenis logam *Ferrous*).

Mangan, bila digunakan dalam jumlah yang kecil, akan meningkatkan ketahanan logam *Ferrous* terhadap air garam. Bahan yang menggunakan magnesium sebagai paduan nya, banyak diguakan untuk membuat peralatan-peralatan portabel, di industri-industri pesawat terbang dan konstruksi-konstruksi lain yang mengutamakan material ringan (teknologi ruang angkasa).

BAB 5

PROSES PENGECORAN

Proses Pengecoran

Pengecoran Logam adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (*cavity*) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga cetak dan tersolidifikasi, selanjutnya cetakan disingkirkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder.

Proses pengecoran meliputi pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Berat coran itu sendiri berbeda-beda, mulai dari beberapa ton dengan komposisi yang berbeda dan hampir semua logam atau paduan dapat dilebur dan dicor. Produk pengecoran disebut coran atau benda cor. Proses pengecoran secara garis besar dapat dibedakan dalam proses pengecoran dan proses pencetakan. Pada proses pengecoran tidak digunakan tekanan sewaktu mengisi rongga cetakan, sedang proses pencetakan logam cair ditekan agar mengisi rongga cetakan. Karena pengisian logam berbeda, cetakan pun berbeda, sehingga pada proses pencetakan cetakan umumnya dibuat dari logam.

Pada proses pengecoran cetakan biasanya dibuat dari pasir meskipun ada kalanya digunakan pula plester, lempung, keramik atau bahan tahan api lainnya. Untuk menghasilkan hasil cor yang berkualitas maka diperlukan pola yang berkualitas tinggi, baik dari segi konstruksi, dimensi, material pola, dan kelengkapan lainnya. Pola digunakan untuk memproduksi cetakan. Pada umumnya, dalam proses pembuatan cetakan, pasir cetak diletakkan di sekitar pola yang dibatasi rangka cetak kemudian pasir dipadatkan dengan cara ditumbuk sampai kepadatan tertentu. Pada lain kasus terdapat pula cetakan yang mengeras/menjadi padat sendiri karena reaksi kimia dari perekat pasir tersebut. Pada umumnya cetakan dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian atas (cup) dan bagian bawah (drag) sehingga setelah pembuatan cetakan selesai pola akan dapat dicabut dengan mudah dari cetakan.

Inti dibuat secara terpisah dari cetakan, dalam kasus ini inti dibuat dari pasir kuarsa yang dicampur dengan Airkaca (Water Glass / Natrium Silikat), dari campuran pasir tersebut dimasukan kedalam kotak inti, kemudian direaksikan dengan gas CO_2 sehingga menjadi padat dan keras. Inti diseting pada cetakan. Kemudian cetakan diasembling dan diklem.

Sembari cetakan dibuat dan diasembling, bahan-bahan logam seperti ingot, scrap, dan bahan paduan, dilebur di bagian peleburan. Setelah logam cair dan homogen maka logam cair tersebut dituang ke dalam cetakan. Setelah itu ditunggu hingga cairan logam tersebut membeku karena proses pendinginan. Setelah

cairan membeku, cetakan dibongkar. Pasir cetak, inti, dan benda tuang dipisahkan. Pasir cetak bekas masuk ke instalasi daur ulang, inti bekas dibuang, dan benda tuang diberikan ke bagian *Fethling* untuk dibersihkan dari kotoran dan dilakukan pemotongan terhadap sistem saluran pada benda tersebut. Setelah *Fethling* selesai apabila benda perlu perlakuan panas maka diproses di bagian perlakuan panas

Macam-macam Cetakan

Cetakan diklasifikasikan berdasarkan bahan yang digunakan

a. Cetakan pasir basah (*green-sand molds*)

Cetakan pasir basah merupakan cetakan yang banyak digunakan dan paling murah. Kata “basah” dalam cetakan pasir basah berarti pasir cetak itu masih cukup mengandung air atau lembab ketika logam cair dituangkan ke cetakan itu. Cetakan ini sebelum dituangkan logam cair terlebih dahulu permukaan dalam cetakan dipanaskan atau dikeringkan. Karena itu kekuatan cetakan ini meningkat dan mampu untuk diterapkan pada pengecoran produk-produk yang besar, dibuat dari campuran pasir, lempung, dan air.

b. Cetakan kulit kering (*Skin Dried molds*)

Cetakan kulit kering, diperoleh dengan mengeringkan permukaan pasir basah dengan kedalaman 1,2 cm sampai dengan 2,5 cm pada permukaan rongga cetakan. Bahan perekat khusus

harus ditambahkan pada campuran pasir untuk memperkuat permukaan rongga cetak.

c. Cetakan pasir kering (*Dry-sand molds*)

Cetakan pasir kering, dibuat dengan menggunakan bahan pengikat organik, dan kemudian cetakan dibakar dalam sebuah oven dengan temperatur berkisar antara 204o sampai 316oC. Pembakaran dalam oven dapat memperkuat cetakan dan mengeraskan permukaan rongga cetakan.

d. Cetakan lempung (*Loam molds*)

Biasanya digunakan untuk benda cor yang besar. Kerangka cetakan terdiri dari batu bata atau besi yang dilapisi dengan lempung kemudian diperhalus permukaannya. Cetakan kemudian dikeringkan agar kuat menahan beban logam cair. Pembuatan cetakan lempung memakan waktu yang lama sehingga jarang digunakan.

e. Cetakan furan (*Furan molds*)

Pasir yang kering dan tajam dicampur dengan asam fosfor yang dalam hal ini merupakan reagens mempercepat. Resin furan ditambahkan secukupnya dan campuran diaduk hingga resin merata. Pasir dibentuk dan dibiarkan mengeras, selama kurang atau lebih 1 atau 2 jam. Pasir resin furan dapat digunakan sebagai dinding atau permukaan pada pola sekali pakai.

f. Cetakan CO₂

Pasir yang bersih dicampur dengan natrium silikat dan campuran dipadatkan di sekitar pola. Kemudian

dialiri gas CO₂ dan campuran tanah akan mengeras. Cetakan CO₂ diterapkan untuk bentuk yang rumit dan menghasilkan permukaan yang licin.

g. Cetakan logam

Cetakan logam terutama digunakan pada proses cetak-tekan (Die casting) logam dengan suhu cair rendah. Coran yang dihasilkan mempunyai bentuk yang tepat dengan permukaan yang licin sehingga pekerjaan permesinan berkurang.

h. Cetakan khusus

Cetakan khusus dapat dibuat dari plastik, kertas, kayu semen, plester, atau karet.

Proses Pembuatan Cetakan

Proses pembuatan cetakan yang dilakukan di pabrik-pabrik pengecoran dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Pembuatan cetakan di meja (*Bench molding*)

Dilakukan untuk benda cor yang kecil.

b. Pembuatan cetakan di lantai (*Floor molding*)

Dilakukan untuk benda cor berukuran sedang atau besar

c. Pembuatan cetakan sumuran (*Pit molding*)

Benda cor yang besar sekali biasanya dituang dalam sumuran. Sumuran tersebut merupakan drag dan diatasnya dibuat suatu kup. Sisi sumuran diperkuat dengan lapisan bata dan alas ditutupi dengan lapisan sinter yang tebal yang dihubungkan dengan pipa pipa pelepas gas ke lantai pabrik. Cetakan sumuran tahan

terhadap tekanan tinggi yang ditimbulkan oleh gas panas dan biaya pembuatannya tidak terlalu mahal.

- d. Pembuatan cetakan dengan mesin (*Machine molding*)
Kini sebagian besar pekerjaan yang tadinya dilakukan dengan tangan, dilakukan dngan mesin. Memadatkan pasir, membalik cetakan, dan membuat saluran masuk dilakukan dengan mesin jauh lebih efisien dibandingkan dengan cara terdahulu.

Prosedur Pembuatan Cetakan

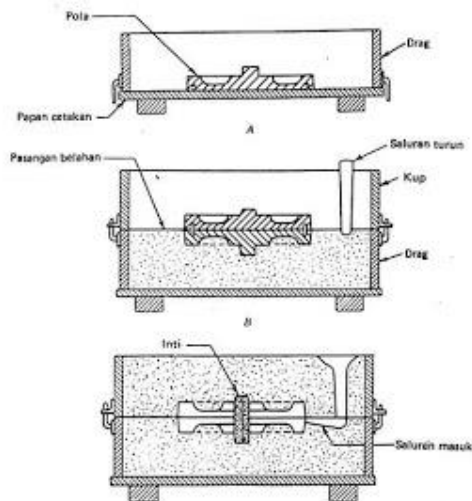
Pertama-tama, belahan pola diletakkan diatas papan kayu yang rata. Kemudian rangka cetak bawah (drag) diletakkan diatas kayu. Drag diisi penuh dengan pasir kemudian dimampatkan dengan cara manual atau mesin. Setelah selesai dimampatkan, pasir yang berlebih diratakan. Untuk memudahkan pelepasan gas sewaktu penuangan, pasir ditusuk-tusuk di beberapa tempat.

Cetakan bagian bawah tersebut kemudian dibalik, dengan demikian kup (cetakan atas) bisa dipasang. Sebelum dibalik, ditaburkan pasir kering dan diatasnya diletakkan papan. Drag dibalik dan permukaan pasir diratakan dan ditaburi pasir kering. Pasir kering yang ditaburkan adalah pasir silika kering yang halus dan tidak ada kekuatannya. Pasir ini mencegah melekatnya pasir dari kedua cetakan.

Setelah itu kup diletakkan diatas drag, pasak pin dipasang supaya tidak terjadi pergeseran. Pada cetakan atas perlu dibuat saluran turun (sprue) yang merupakan saluran pengalir logam cair, suatu pin tirus (sprue pin)

ditempatkan lebih kurang 25 mm di kiri - kanan pola. Kemudian kup diisi pasir, dipadatkan dan diberi lubang pelepasan gas.

Untuk mengambil pola, pertama-tama salura turun dicabut, kemudian dibuat cawan tuang pada ujung saluran turun sehingga memudahkan penuangan logam cair. Kup kemudian dilepas dan dibalik. Sebelum belahan pola dilepas, pasir disekitar rongga cetakan diseka dengan kain lembab untuk menjaga supaya pinggiran rongga cetakan tidak rontok. Belahan pola kemudian dilepaskan. Sebelum cetakan ditutup, perlu dibuat saluran masuk (gate) antara rongga cetakan dengan saluran turun.



Gambar 16. Pembuatan Cetakan

Keterangan :

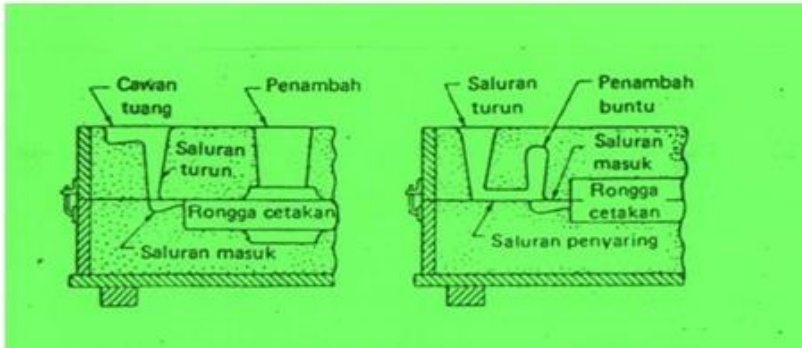
- Belahan pola diletakkan diatas papan cetakan, drag siap untuk diisi pasir.

- b. Drag telah dibalik dan pasangan belahan pola diletakkan di atasnya. Kup siap untuk diisi pasir.
- c. Cetakan telah siap pakai lengkap dengan inti-kering di tempatnya.

Sistem saluran masuk (*gating system*) untuk mengalirkan logam cair ke dalam rongga cetakan, terdiri dari cawan tuang, saluran turun, pengalir dan saluran masuk tempat logam mengalir memasuki rongga cetakan. Fungsi sistem saluran masuk perlu dirancang dengan mantap dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

- a. Aliran logam hendaknya memasuki rongga cetakan pada dasar atau dekat dasarnya dengan turbulensi seminimal mungkin. Hal ini perlu diperhatikan, khususnya pada benda tuang yang kecil
- b. Pengikisan dinding saluran masuk dan permukaan rongga cetakan harus ditekan dengan mengatur aliran logam cair atau dengan menggunakan inti pasir kering.
- c. Aliran logam cair yang masuk harus diatur sedemikian sehingga terjadi solidifikasi terarah. Solidifikasi hendaknya mulai dari permukaan cetakan ke arah logam cair sehingga selalu ada logam cair cadangan untuk menutupi kekurangan akibat penyusutan.
- d. Usahakanlah agar slag, kotoran atau partikel asing tidak dapat masuk ke dalam rongga cetakan.

Semua aspek diatas mohon dilakukan dengan baik dan benar sesuai dengan urutanya agar mendapatkan hasil yang maksimal pula.



Gambar 17. Cara Pengaliran Logam Cair kedalam Cetakan

Pengecoran dengan Cetakan Pasir

➡ Pasir

Kebanyakan cetakan menggunakan pasir silika (SiO_2) karena tersebar di seluruh Nusantara dan tahan suhu tinggi tanpa terjadi penguraian. Selain itu, harganya murah, awet, dan butirannya memiliki bermacam tingkat kebesaran dan bentuk. Namun, angka muainya tinggi dan cenderung melebur menjadi satu dengan logam, juga kurang baik untuk kesehatan karena memiliki kandungan debu yang tinggi. Pasir silika murni biasanya dicampur dengan lempung sebanyak 8 hingga 15% untuk meningkatkan daya pengikatnya. Jenis lempung yang sering digunakan adalah kaolin, illit, dan bentonit.

Pasir cetak alam sudah mengandung sejumlah lempung, sehingga untuk membuat cetakan besi-baja atau nonferro dapat langsung menambahkan air saja. Pasir ini kurang baik digunakan pada suhu tinggi karena mengandung bahan organik. Sedangkan pasir cetak buatan terdiri dari butiran silika dan lempung sebanyak 3 hingga 5%, dan ditambahkan air sebanyak 5% saja, sehingga gas yang dilepaskan juga berkurang.

Cetakan berukuran kecil dan rumit biasanya menggunakan pasir bertekstur halus sehingga dapat menghasilkan cetakan yang baik. Benda cor yang besar menggunakan pasir yang lebih kasar agar lebih mudah melakukan pelepasan gas. Butirannya yang tajam dan berbentuk tidak teratur lebih mudah berkaitan dan meningkatkan kekuatan cetakan.

Pengujian pasir perlu dilakukan secara berkala untuk mengetahui sifat-sifat pasir. Sifat pasir cetak dapat berubah akibat campuran kotoran atau pengaruh suhu yang tinggi. Berikut adalah sifat-sifat pasir :

- a. Permeabilitas, kemampuan pasir untuk melepaskan uap dan gas yang terbentuk dalam cetakan.
- b. Kekuatan, pasir harus memiliki gaya kohesi yang dipengaruhi oleh kadar air dan lempung. Gaya kohesi adalah kemampuan tarik menarik antar molekul.
- c. Ketahanan terhadap suhu tinggi tanpa melebur.
- d. Ukuran dan bentuk butiran, ukuran butiran pasir harus sesuai dengan sifat permukaan yang dihasilkan. Semakin kasar butiran pasir, maka ia memiliki kekuatan ikat yang lebih kuat pula.

Daya ikat dan daya tahan pasir basah maupun pasir kering dapat ditentukan menggunakan percobaan tekan, percobaan tarik, percobaan geser, dan percobaan kekuatan melintang. Umumnya, yang sering digunakan sebagai patokan adalah uji kekuatan pasir.

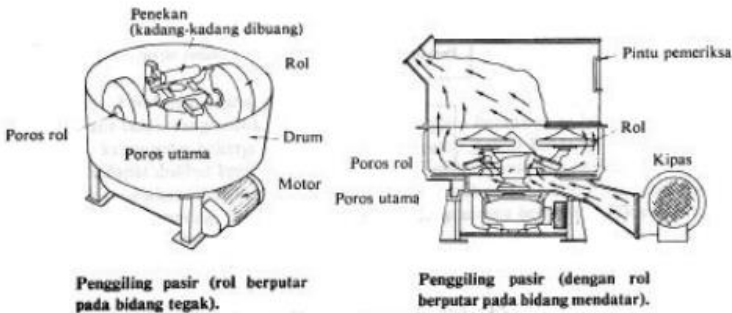


Gambar 18. Mesin Uji Kekuatan Pasir

Pasir memiliki sifat rapuh sehingga dibutuhkan persyaratan pengujian khusus. Pasir cetak harus dipersiapkan dengan baik karena akan berpengaruh pada mutu cetakan yang dihasilkan. Pasir yang baik harus memiliki sifat-sifat berikut :

- a. Bahan pengikat tersebar merata
- b. Kadar air terkendali dan permukaan butiran basah
- c. Pasir bebas kotoran
- d. Pasir tidak menggumpal sehingga baik untuk membuat cetakan
- e. Suhu pasir mencapai ruang

Untuk memperoleh pasir cetak yang baik biasanya digunakan mesin penggiling pasir.



Gambar 19. Mesin Penggiling Pasir Cetak

Mesin ini mempunyai dua roda yang menggelinding pada poros mendatar dan mengitari poros utama vertikal. Pasir ditekan, digiling, dan diaduk beberapa menit hingga pasir dan bahan pengikat tercampur merata.

Pasir cetak bekas dapat dimanfaatkan kembali. Cetakan dibongkar setelah logam cair dituangkan dan membeku. Kotoran dan pasir yang kasar diayak hingga terpisah. Pasir masuk ke dalam pemisah magnetik untuk menyisahkan potongan besi yang terdapat di dalamnya. Kemudian pasir masuk dalam elevator ember, disaring lalu disimpan. Pasir dialiri hembusan udara agar butirannya terlepas dan memudahkan pembuatan cetakan. Pasir siap digunakan kembali.

Untuk menghasilkan benda cetak yang baik diperlukan cetakan dengan pemampatan pasir merata. Untuk cetakan yang besar telah dikembangkan alat yang

disebut pelempar pasir. Pasir ditempatkan dalam kotak yang besar berkapasitas 8,5 m³, yang sewaktu waktu dapat diisi kembali. Pasir diteruskan melalui ban berjalan ke kepala pelempar pasir yang terdiri dari sudu yang berputar cepat. Kapasitas mencapai 0,2 sampai 0,28 m³ atau 450 kg pasir per menit.

➤ Metode Pengecoran dengan Cetakan Pasir

Terdapat dua cara pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. Pembagian dilakukan berdasarkan jenis pola yang digunakan :

- a. Pola yang dapat digunakan berulang-ulang
- b. Pasir dipadatkan di sekitar pola yang kemudian dikeluarkan. Rongga yang terjadi kemudian diisi dengan logam cair yang nantinya menghasilkan benda cor.
- c. Pola sekali pakai
- d. Pola sekali pakai dibuat dari poliesteren atau bahan lain yang setara dan tidak dikeluarkan. Pada waktu logam cair dituang kedalam cetakan, pola tersebut menguap.

Cetakan pasir lebih mudah dibuat daripada cetakan lainnya dan juga lebih murah dan efisien. Cetakan pasir terbuat dari pasir kasar dengan bahan pengikat, tempat cetakan terbuat dari logam. Cetakan ini banyak digunakan di proses pengecoran baja. Keuntungan dan kelebihan cetakan pasir adalah sebagai berikut:

- a. Material murah, mampu menahan detail dan tahan pada deformasi apabila dipanaskan.

- b. Proses sesuai baik untuk besi maupun nonferrous.
- c. Menangani produk yang lebih beragam dari metode pengecoran lainnya.
- d. Menghasilkan coran kecil yang presisi hingga coran besar sampai 1 ton.
- e. Mampu mencapai toleransi yang ketat jika pemadatannya seragam.
- f. Waktu persiapan cetakan relatif pendek dibandingkan dengan proses lainnya.
- g. Sederhana dan cocok untuk dimekanisasi.
- h. Tingkat pemakaian ulang pasir sangat tinggi.

Ada dua cara pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. Pembagian dilakukan berdasarkan jenis pola yang digunakan:

- a. Pola yang dapat digunakan berulang-ulang.
- b. Pola sekali pakai.

Pengujian Cetakan dan Inti

- a. Pengujian Kekerasan
Bola baja 5,08 m ditekan pada permukaan cetakan oleh per dengan gaya 2,3 N. Kedalaman penetrasi yang diukur dalam milimeter menjadi indikasi kekerasan. Cetakan dengan pemadatan sedang memiliki nilai : 75.



Gambar 20. Alat Uji Kekerasan Cetakan

b. Analisa Ayak

Analisa ini digunakan untuk menentukan persentase distribusi butiran. Awalnya, pasir dicuci hingga bebas lempung, keringkan. Untuk analisa, digunakan set ayakan standar NBS dengan ukuran 6, 12, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, 200, dan 270. Ayakan ditumpuk dan diletakkan pada pengguncang. Pasir diletakkan pada ayakan paling kasar di atas, setelah diguncang 15 menit, pasir yang tertinggal ditimbang dan dinyatakan dalam persen berat.

Ukuran ayakan	% Tertinggal	Dikalikan	Hasil perkalian
6	0	3	0
12	0	5	0
20	0	10	0
30	2.0	20	40.0
40	2.5	30	75.0
50	3.0	40	120.0
70	6.0	50	300.0
100	20.0	70	1400.0
140	32.0	100	3200.0
200	12.0	140	1680.0
270	9.0	200	1800.0
Alas	4.0	300	1200.0
Jumlah :	90.5		9815.0

$$\text{Bilangan kehalusan AFA} = \frac{9815}{90.5} = 108$$

Gambar 21. Cara Menghitung Bilangan Kehalusan AFA

c. Pengukuran Kadar Air

Kadar air tergantung pada jenis cetakan dan jenis logam yang akan dicor. Salah satu cara mengukur kadar air adalah dengan menimbang pasir sebelum dan sesudah dikeringkan. Dari selisih berat dapat dihitung persentase kadar air. Kadar air yang baik berkisar antara 2 dan 8%, tergantung jenis cetakan.

d. Pengukuran Kadar Lempung

Alat pengukurannya terdiri dari dapur pemanas, timbangan, dan pencuci pasir. Pasir dikeringkan kemudian dicampur dengan larutan soda kaustik, setelah itu larutan soda kaustik yang mengandung lempung dibuang. Proses diulang sebanyak tiga kali.

Hasil dibandingkan dengan berat awal untuk menentukan kadar lempung.

e. Pengujian Permeabilitas

Pasir cetak yang baik harus dapat mengalirkan uap dan gas yang dilepaskan logam panas. Faktor yang mempengaruhi adalah bentuk butiran pasir, kehalusan, tingkat pemampatan, kadar air, dan jumlah unsur pengikat. Permeabilitas ditentukan oleh jumlah udara yang melalui pasir cetak dalam keadaan standar. Harga maksimum dicapai pada 5% kelembaban. Pasir cetak kasar memiliki permeabilitas yang lebih baik. Pencampuran pasir kasar dan halus dapat memengaruhi nilai permeabilitas.

Penuangan dan Penyelesaian Benda Cor

Pada perusahaan pengecoran kecil dan yang menerima order. Cetakan dibariskan di lantai dan begitu selesai dibuat, logam cair dituangkan dari ladle dengan tangan. Pada perusahaan pengecoran yang lebih besar, cetakan dibariskan pada ban berjalan dan secara bergiliran logam cair dituangkan di tempat penuangan.

Setelah benda cetakan beku dan dingin, sampai suhu penanganan yang wajar, cetakan dibongkar. Tempat pembongkaran mempunyai saran ventilasi yang baik dan penangkap debu. Pasir bekas cetakan akan dikumpulkan dan akan diolah kembali.

Benda coran bukan besi lebih mudah penanganannya, karena suhu penuangan lebih rendah dan pasir umumnya tidak melekat pada benda coran. Saluran masuk dan

saluran turun dipukul atau dipotong dengan gergaji. Pada coran besi mudah ditanggalkan akan tetapi pada coran baja diperlukan pemotongan dengan nyala las atau mesin potong.

Pembersihan benda cor dapat dilakukan dengan berbagai cara, tergantung pada ukuran jenis dan bentuknya. Biasanya digunakan mesin tumbling, mesin putar balik. Selain itu benda coran dapat juga dibersihkan dengan penyemprot pasir. Butiran pasir yang tajam disemprotkan pada benda coran yang kotor dalam lemari semprot, sehingga diperoleh permukaan yang bersih. Pelapisan benda cor sebaiknya melakukan pencucian benda cor pada larutan asam agar mendapatkan pelapisan yang akan merata.

BAB 6

PROSES PENGECORAN KHUSUS

Pengecoran (*Casting*) adalah suatu proses penuangan materi cair seperti logam atau plastik yang dimasukkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan membeku di dalam cetakan tersebut, dan kemudian dikeluarkan atau di pecah -pecah untuk dijadikan komponen mesin. Pengecoran digunakan untuk membuat bagian mesin dengan bentuk yang kompleks. Pengecoran digunakan untuk membentuk logam dalam kondisi panas sesuai dengan bentuk cetakan yang telah dibuat. Pengecoran dapat berupa material logam cair atau plastik yang bisa meleleh (termoplastik), juga material yang terlarut air misalnya beton atau gips, dan materi lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam kondisi basah seperti tanah liat, dan lain-lain yang jika dalam kondisi kering akan berubah menjadi keras dalam cetakan, dan terbakar dalam perapian.

Proses pengecoran khusus adalah Peroses yang terpilih untuk mengecor logam tertentu tergantung pada jumlah benda cor yang akan dibuat logam yang digunakan dan dibentuk itu sendiri. Secara umum semua logam dapat dicor dengan menggunakan cetakan pasir. Namun perlu diingat bahwa cetakan pasir merupakan cetakan sekali pakai yang rusak setelah logam membeku. Oleh karena itu penggunaan cetakan permanen akan dapat menghemat biaya.

Pengecoran Menggunakan Cetakan Logam

Pengecoran jenis ini digunakan untuk membuat benda coran dalam jumlah yang banyak, hal ini dikarenakan biaya yang cukup mahal dalam pengadaan proses ini, sehingga pengecoran dalam jumlah yang banyak dapat meminimalkan biaya. Meskipun cetakan logam kurang menguntungkan bagi benda coran yang besar dan untuk pengecoran dengan titik lebur yang paling tinggi, namun cetakan jenis ini sangat menguntungkan bila untuk benda cor kecil dengan jumlah yang sangat banyak. Pengecoran jenis ini meliputi:

➡ Cetak Tekan (*Die Casting*)

Proses pengecoran cetak logam dilakukan dengan cara menekan logam cair dengan tekanan tinggi ke dalam cetakan. Tekanan berkisar antara 10,3 sampai 14 Mpa. Selama proses pembekuan logam cair tetap diberikan tekanan sehingga benda cor yang dibentuk nanti benar-benar padat, dan permukaannya sesuai dengan permukaan cetakan.

Cetakan terdiri dari dua bagian untuk memudahkan pengeluaran benda cor dan dilengkapi dengan pena pasak agar kedua bagian sebaris. Umur cetakan tergantung pada jenis logam yang dicor, karena jenis logam mempengaruhi masa jenis logam tersebut yang apabila ditekan dan dicetak dapat membuat umur cetakan berkurang apabila masa jenisnya semakin besar. Cetakan sebaiknya mempunyai lubang angin atau sumuran untuk menampung logam

yang berlebihan. Meskipun demikian biasanya terdapat logam lebih yang harus dipotong pada saat penyelesaian.

Cetakan kombinasi terdiri dari dua rongga atau lebih. Seringkali cetakan tersebut terdiri dari beberapa bagian yang dapat diganti. Cetakan umumnya didinginkan dengan air yang dialirkan melalui saluran saluran di dalamnya, agar suhu cetakan tetap. Terdapat 2 jenis mesin cetak tekan yaitu

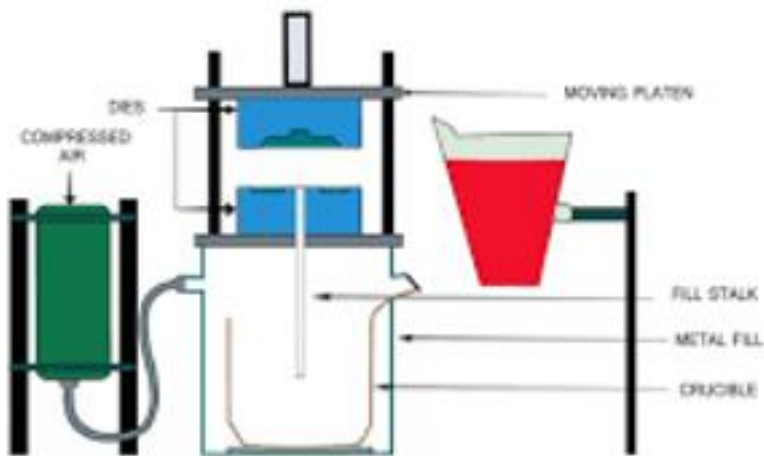
- A. Mesin cetak ruang panas (*Hot Chamber*) :
 - a. Tungku peleburan terdapat pada mesin dan silinder injeksi terendam dalam logam cair.
 - b. Tekanan injeksi berkisar antara 7 sampai 45 Mpa
 - c. Digunakan untuk logam cor dengan titik lebur rendah seperti Sn, Pb dan Zn
 - d. Laju produksi cepat. Bisa mencapai 500 produk/jam
- B. Mesin cetak ruang dingin (*Cold Chamber*) :
 - a. Tungku peleburan terpisah, silinder injeksi diisi logam cair secara manual atau mekanis
 - b. Tekanan injeksi berkisar antara 14 sampai 140 Mpa
 - c. Digunakan untuk logam cair dengan titik lebur lebih tinggi seperti Al, Cu, dan Mg
 - d. Laju produksi lebih lambat dari mesin cetak tekan ruang panas

➡ Cetak Tekan Permanen Bertekanan Rendah

Pengecoran tekanan rendah (*Low Pressure Die Casting*) adalah proses pengecoran logam dengan menggunakan tekanan injeksi yang rendah. Pada proses pengecoran

logam ini logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan (*dies*) dengan menggunakan tekanan yang tidak terlalu tinggi (sekitar 2 sampai dengan 15 psi atau 0,00001 sampai dengan 0,000118 atm atau 0,15 sampai dengan 0,7 kgf/cm²).

Bagian bawah dari alat ini terdapat tungku (*holding furnace*) yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan logam cair yang akan dicor. Cetakan logam berada pada bagian atas, adanya tekanan menyebabkan logam cair dibagian tungku (*holding furnace*) mengalir ke atas menuju cetakan melalui bagian seperti pipa (*fill stalk*) dan akhirnya logam cair mengisi cetakan.



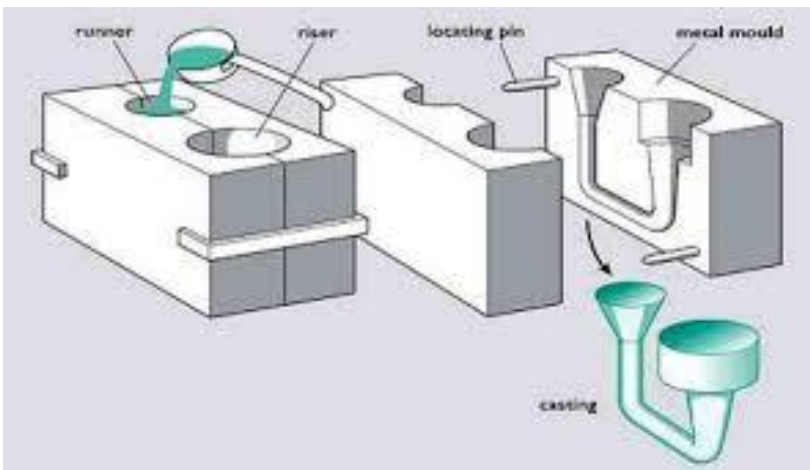
Gambar 22. Proses Pengecoran Tekanan Rendah

Bagian cetakan memiliki dua bagian yaitu cup dan drag dimana bagian cup dapat bergerak naik keatas untuk membuka cetakan sehingga produk cor dapat

dikeluarkan. Proses ini sangat ekonomis bila laju produksi berkisar 5000-50000 buah pertahun.

➤ **Pengecoran dengan Gravitasi**

Pengecoran ini adalah salah satu pengecoran paling sederhana karena hanya mengandalkan gaya gravitasi. Cairan logam yang akan di cor dimasukkan ke cetakan yang sebelumnya telah disiapkan. Setelah seluruh cetakan penuh maka logam cair didinginkan hingga membeku. Setelah benda cor jadi cetakan dilepas (pada umumnya dibelah menjadi 2) dan benda cor dilepas dari cetakan.



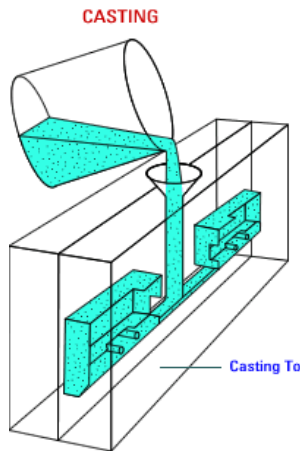
Gambar 23. Proses Pengecoran menggunakan Gravitasi

➤ **Cor Tuang**

Pengecoran tuang digunakan untuk membuat benda cor yang berlubang dengan menggambarkan cetakan logam tanpa inti. Logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang segera dibalik sehingga logam yang masih cair dapat

mengalir keluar. Benda cor yang dihasilkan tipis, dan ketebalan logam tergantung pada efek pendinginan cetakan dan waktu.

Cara ini hanya diterapkan untuk menghasilkan barang-barang kerajinan, patung, mainan dan hiasan. Logam yang digunakan meliputi timbal, seng dan logam lainnya yang memiliki titik lebur yang rendah. Benda benda setelah dicor, dicat atau disepuh sehingga mirip perak, emas atau logam mulia lainnya.



Gambar 24. Proses Cor Tuang

➔ *Corthias Casting*

Cara pengecoran *Corthias* mirip dengan proses gravitasi dan proses tuang. Sejumlah logam tertentu dituangkan ke dalam cetakan terbuka, dan inti yang pas ditekan masuk, sehingga logam cair didesak masuk ke dalam 2 rongga cetakan. Inti dikeluarkan secepatnya setelah logam mulai

membeku, sebagai hasilnya akan diperoleh coran berongga tipis. Proses ini dikembangkan oleh *Corthias* di Perancis mempunyai penerapan terbatas, khususnya untuk benda-benda kerajinan.

BAB 7

PERLAKUAN PANAS

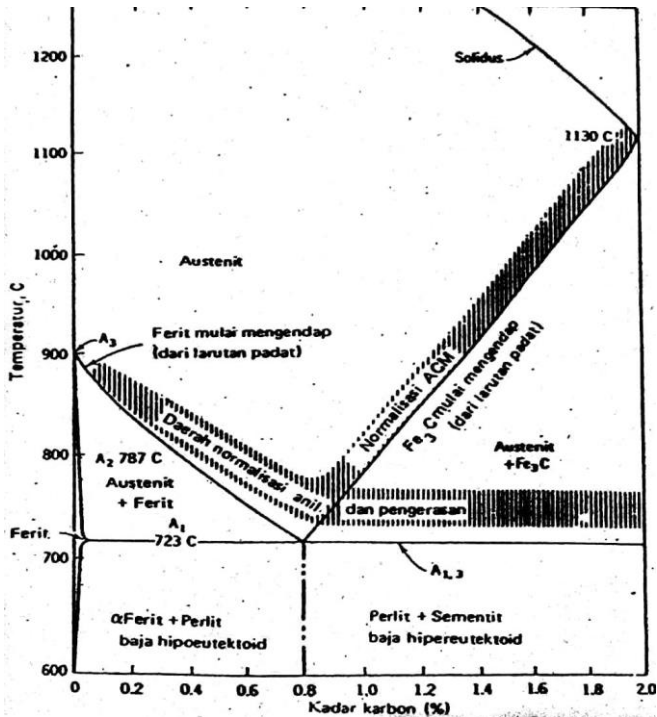
Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis logam tersebut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras di sekeliling inti yang ulet. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat, susunan kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Perlakuan panas biasa diaplikasikan pada logam atau paduan dalam keadaan padat, untuk mendapatkan sifat fisik atau mekanik tertentu. Perubahan sifat yang diperoleh dari perlakuan panas pada logam adalah sifat mekanik seperti kekerasan, kekuatan, keuletan, ketangguhan, dan lain-lain yang merupakan sifat yang paling sering dirubah dengan metoda perlakuan panas.

Secara umum perlakuan panas (*Heat treatment*) diklasifikasikan dalam 2 jenis. Yang pertama ialah Near Equilibrium (Mendekati Keseimbangan). Jenis dari perlakuan panas *Near Equilibrium*, misalnya : *Full Annealing (annealing), Stress relief Annealing, Process annealing, Spheroidizing, Normalizing, Homogenizing*. Kemudian yang kedua ialah Non Equilibrium (Tidak setimbang). Tujuan panas *Non Equilibrium* adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas *Non Equilibrium*, misalnya *Hardening, Martempering, Austempering, Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Cyaniding, Flame hardening, Induction hardening)*.

Diagram Besi – Karbida Besi

Diagram yang menggambarkan hubungan antara temperatur dimana terjadinya perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon disebut dengan diagram fasa. Diagram ini merupakan dasar operasi perlakuan panas.



Gambar 25. Diagram Besi – Karbida Besi

Diagram ini yang disebut diagram besi-karbida besi parsial hanya berlaku untuk kondisi pendinginan yang perlahan-lahan. Suhu pencelupan yang tepat dapat diperoleh dari diagram ini. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon dan ukuran benda. Pada baja paduan, jenis dan jumlah paduan akan memengaruhi kemampuan pengerasan. Perlu dibedakan antara kekerasan dan kemampuan pengerasan. Baja dengan kadar karbon rendah sulit untuk dikeraskan. Dengan meningkatnya kadar karbon sampai sekitar 0,60% kekerasan akan naik pula. Di atas 0,60% C

kenaikan harga karbon hanya sedikit pengaruhnya, karena di atas suhu eutektoid baja dalam keadaan anil terdiri dari perlit dan sementit. Baja yang untuk sebagian besar terdiri dari perlit dapat diubah menjadi baja yang keras.

Besar Butir

Baja cair bila didinginkan mulai membeku pada titik-titik inti yang cukup banyak. Atom-atom yang tergabung dalam kelompok di sekitar suatu inti cenderung memiliki letak yang serupa. Batas butir yang bentuknya tidak teratur tampak dibawah mikroskop, setelah dipolis dan dietsa dan merupakan batas kelompok sel atom yang mempunyai orientasi umum yang sama. Ukuran butir tergantung dari beberapa faktor antara lain adalah laju pendinginan sewaktu pembekuan.

Baja dengan butiran yang kasar kurang tangguh, dan memiliki kecenderungan untuk distorsi, namun baja jenis ini lebih mudah untuk pemesinan dan memiliki kemampuan pengerasan yang lebih baik. Baja berbutir halus disamping lebih tangguh, lebih ulet, dan kurang peka terhadap distorsi atau retak sewaktu perlakuan panas. Besar butir dapat dikendalikan melalui komposisi pada waktu proses pembuatan, akan tetapi setelah baja jadi, pengendalian dilakukan melalui perlakuan panas. Aluminium yang digunakan sebagai deoksidator,

merupakan faktor mengendalikan yang terpenting, karena dapat menekan suhu dimana terjadi pertumbuhan butir dengan cepat.

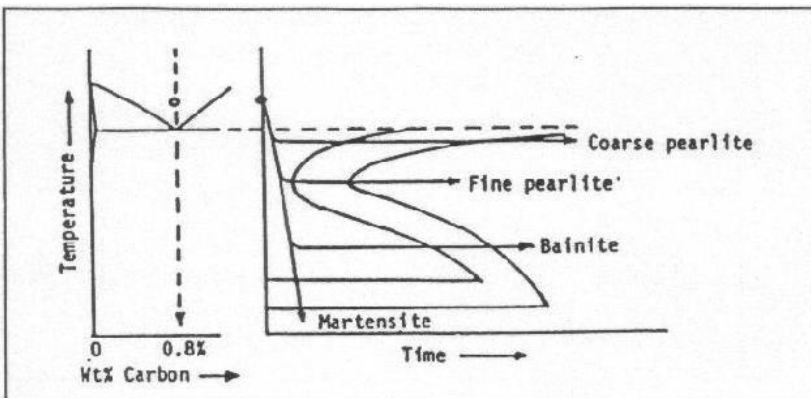
Tidak pada semua jenis baja terjadi pertumbuhan butir yang berarti setelah pemanasan diatas daerah kritis atas. Beberapa jenis baja dapat dipanaskan sampai suhu yang lebih tinggi dapat mengalami perubahan ukuran butirnya. Ini berlangsung sampai tercapai suhu pengkasaran, dan ukuran besar butir mulai meningkat dengan cepat. Hal ini merupakan karakteristik baja karbon sedang, beberapa jenis baja paduan dan baja yang menggunakan aluminium sebagai unsur deoksidasi. Suhu pengkasaran bukanlah suhu yang tetap dan dapat berubah. Pengerjaan panas dilakukan pada suhu diatas daerah kristis, dan baja berada dalam keadaan pastik. Struktur butir menjadi lebih halus dan pengaruh pengkasaran akibat suhu yang tinggi dapat diabaikan. Penempaan panas atau penggilingan jangan dilakukan dibawah suhu kristis.

Besar butir diukur dengan mikroskop, meskipun penaksiran secara kasar dapat dilakukan dengan memeriksa bidang perpatahan. Untuk pengukuran dibawah mikroskop, baja perlu dipolis dan diwarnai agar batas butir tampak dengan jelas. Pada karbon rendah *Ferrit* akan berpresipitasi dari *austenit* setelah didinginkan secara perlahan-lahan. Karena laju pendinginan yang

rendah dapat menghasilkan terlalu banyak *Ferit* primer, yang menyulitkan pengukuran besar butir austenit sebelumnya, maka harus diusahakan agar laju pendinginan sedemikian rupa sehingga struktur *praeutektoid* hanya terjadi pada batas-batas daerah *perlit*.

Diagram Transformasi Isotermal

Diagram transformasi isothermal atau dikenal juga sebagai diagram waktu-suhu transformasi (kurva-S). Dengan mempergunakan diagram ini, dapat dilihat perubahan struktur bila logam dibiarkan pada suhu konstan tertentu. Waktu transformasi mulai terjadi dan berakhir dapat diketahui, begitu pula struktur yang akan diperoleh.



Gambar 26. Diagram Transformasi Isotermal

Bentuk umum dari kurva waktu suhu transformasi berbeda untuk jenis baja yang berlainan, tergantung pada kadar karbon, unsur paduan dan besar butir austenit. Pada baja karbon, kurva akan bergeser ke kiri dengan menurunnya kadar karbon. Oleh karena itu agak sulit untuk memperoleh martensit dengan pencelupan baja hipoeutektoid. Baja karbon dengan butir austenit yang halus akan menggeserkan kurva ke kiri, oleh karena itu baja dengan butir yang halus lebih sulit dikeraskan dibandingkan dengan baja berbutir kasar. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa baja berbutir kasar mempunyai kecenderungan untuk retak atau distorsi sewaktu pencelupan, sehingga peningkatan kemampuan pengerasannya kurang bermanfaat.

Pengerasan (*Hardening*)

Pengerasan adalah proses pemanasan baja sampai suhu didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat. Bila kadar karbon diketahui, suhu pemanasannya dapat dibaca dari diagram fasa besi-karbida. Akan tetapi, bila komposisi baja tidak diketahui, perlu diadakan percobaan untuk mengetahui daerah pemanasannya. Cara terbaik ialah memanaskan dan mencelup beberapa potong baja pada berbagai suhu disusul dengan pengujian kekerasan atau pengamatan mikroskopik.

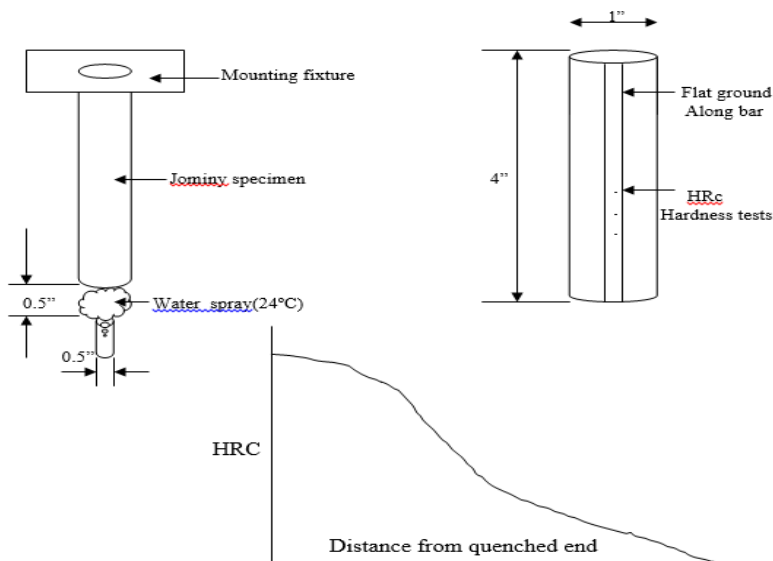
Pada setiap operasi perlakuan panas, laju pemanasan merupakan faktor yang penting. Panas merambat dari luar ke dalam dengan kecepatan tertentu. Bila pemanasan terlalu cepat, bagian luar akan jauh lebih panas dari bagian dalam sehingga tidak dapat diperoleh struktur yang merata. Makin besar potongan benda, makin lama waktu yang diperlukan untuk memperoleh hasil yang merata. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada laju pendinginan, kadar karbon dan ukuran benda. Pada baja paduan, jenis dan jumlah paduan akan mempengaruhi kemampuan pengerasan. Untuk baja karbon rendah dan baja karbon sedang, lazim dilakukan pencelupan dalam air.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui temper, kekerasan, dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Pada saat tempering proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit berarti keuletan (*ductility*) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Sifat-sifat mekanik baja yang telah dicelup, dan di-temper dapat diubah dengan cara mengubah temperatur tempering.

Beberapa jenis logam dapat dikeraskan melalui pendinginan udara akan tetapi untuk baja biasa, laju pendinginan udara terlalu lambat. Baja dengan kadar karbon rendah sulit untuk dikeraskan. Benda dengan ukuran yang lebih besar pada umumnya akan menghasilkan permukaan yang kurang keras meskipun kondisi perlakuan panas tetap sama. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya jumlah panas yang dapat merambat ke permukaan.

➡ Kemampuan Pengerasan Baja

Kemampuan pengerasan logam dapat ditentukan dengan menggunakan percobaan Jominy seperti pada gambar di bawah ini.

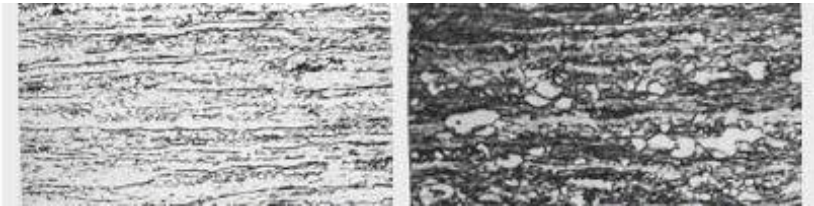


Gambar 27. Kemampuan Pengerasan Baja

Dari hasil percobaan Jimony, dapat dibandingkan kemampuan pengerasan pada berbagai jenis baja. Penambahan unsur paduan menyebabkan adanya pergeseran isothermal ke kanan sehingga baja lebih mudah dicelup tanpa memotong kurva. Oleh karena itu, baja lebih mudah dikeraskan karena memerlukan laju pendinginan yang lebih lambat daripada baja karbon. Baja paduan dapat dikeraskan secara efektif dengan mencelupkannya dalam minyak.

➡ Struktur Baja yang Dikeraskan

Telah diketahui bahwa autensit merupakan larutan padat karbon dalam besi gamma. Bentuk autensit yang dilihat dengan mikroskop dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 28. Struktur Baja Tahan Karat (kiri), Struktur Baja SAE 1095 (kanan)

Dengan pencelupan dari suhu yang tinggi biasanya tidak semua autensit berubah. Bila baja didinginkan lebih cepat, akan dihasilkan susunan yang berlainan, baja akan lebih keras tetapi kurang ulet. Pendinginan yang cepat seperti pencelupan dalam air akan menghasilkan struktur martensit. Martensit adalah struktur yang paling keras, yang merupakan unsur penting dalam pengerasan baja.

Bila baja dicelup lebih lambat daripada kecepatan kritis, terbentuklah struktur hitam yang agak bulat yang disebut Perlit Halus. Perlit halus kurang keras dibandingkan martensit. Bila laju pendinginan diperlambat lagi, maka akan terbentuk perlit kasar.

➤ Kekerasan Maksimum Baja

Kekerasan maksimum baja yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon. Meskipun penambahan unsur paduan seperti khrom dan vanadium dapat meningkatkan kemampuan pengerasan baja paduan, kekerasan maksimal tidak dapat melampaui kekerasan baja karbon dengan kadar karbon yang sama. Untuk dapat mencapai titik kekerasan maksimum karbon harus larut sempurna dalam austenit. Laju pendinginan minimal yang dapat menghasilkan 100% martensit disebut kecepatan pendinginan atau pencelupan kritis. Selain itu, harus diusahakan agar jumlah austenit sisa dapat ditekan karena austenit sisa akan melunakkan struktur.

Kekerasan maksimum dapat dicapai bila austenit seluruhnya berubah menjadi martensit dan nilai kekerasannya 66 sampai 67 Rockwell C. Untuk dapat mencapai nilai ini kadar karbon harus sama dengan atau lebih dari 0,60%.

Temper

Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui temper, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi

persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan naik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses temper terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang telah dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, disusul dengan pendinginan. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lunak, proses ini berbeda dengan proses yang lain karena disini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Struktur akhir hasil temper baja yang akan dikeraskan disebut martensit temper.

Temper dimungkinkan oleh karena struktur martensit tidak stabil. Temper pada suhu rendah antara 1500-2000 C tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti, karena pemanasan akan menghasilkan tegangan dalam terlebih dahulu. Bila suhu temper meningkat, martensit terurai lebih cepat dan sekitar 3150 C perubahan fasa menjadi martensit temper berlangsung dengan cepat.

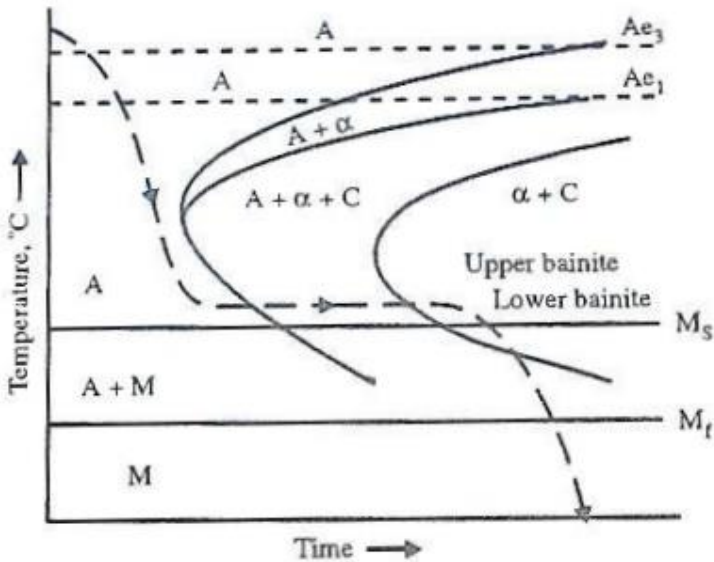
Proses temper terdiri dari presipitasi dan penggumpalan pertumbuhan sementit. Pengendapan sementit terjadi pada 3150 C diiringi dengan penurunan kekerasan. Peningkatan suhu akan mempercepat penggumpalan karbida, sementara kekerasan turun terus. Unsur paduan mempunyai pengaruh yang berarti pada temper, pengaruhnya menghambat laju pelunakan sehingga baja paduan akan memerlukan suhu temper yang lebih tinggi untuk mencapai kekerasan yang tertentu. Pada proses temper perlu diperhatikan suhu maupun waktu. Meskipun pelunakan terjadi pada saat-

saat pertama setelah suhu temper dicapai, selama pemanasan (suhu cukup lama) terjadi penurunan kekerasan. Biasanya baja dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian dibiarkan cukup lama sampai suhu merata.

Ada dua proses khusus dimana diterapkan pencelupan tertunda. Baja yang dikeraskan dicelup dalam garam dapur pada suhu yang lebih rendah sebelum didinginkan lebih lanjut. Proses yang dikenal dengan nama austemper dan martemper memungkinkan diperolehnya sifat fisik khusus.

➡ **Austemper**

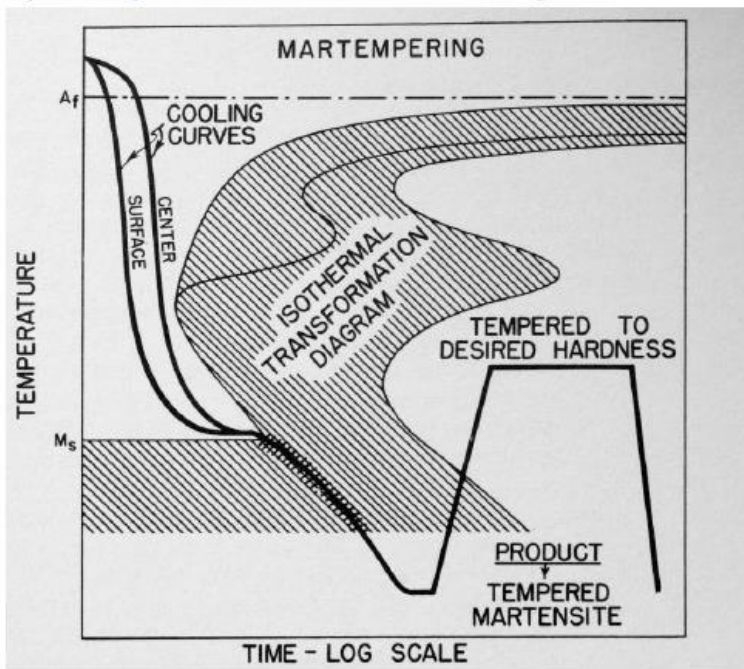
Proses pencelupan tertunda disebut austemper. Austenit mengalami transformasi isothermal dan berubah menjadi bainit (*bainite*) yang keras. Benda atau bagian harus dicelup dengan cepat sampai mencapai suhu yang tepat, tanpa memotong ujung kurva diagram transformasi. Baja dibiarkan di atas garis M_s akan tetapi di bawah 430°C . Bila dibiarkan cukup lama, akan diperoleh struktur bainit. Proses austempering adalah baja CFB dipanaskan hingga temperature 900°C dan ditahan selama 20 menit. Pada proses austempering ini bertujuan untuk membentuk struktur bainit yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu austempering dan waktu penahanan. Setelah itu didinginkan ke dalam larutan campuran garam $\text{KNO}_3(80\%)$ dan $\text{NaNO}_3(20\%)$ pada temperatur 300°C dengan variasi waktu penahanan.



Gambar 29. Proses Austemper

➡ Martemper

Baja didinginkan dengan cepat dari daerah austenit sampai suhu di atas garis M_s . Baja dibiarkan cukup lama sehingga suhu merata, artinya bagian dalam dan luar telah mencapai suhu yang sama. Setelah itu, baja biasanya didinginkan di udara sampai mencapai suhu ruang dan terbentuklah martensit. Baja dipanaskan kembali suhu tergantung pada kadar karbon dan pada unsure paduan, untuk baja karbon dengan $C=0,40\%$, suhu adalah 370°C . Tujuan utama martemper adalah untuk menekan distorsi terjadinya retak atau timbulnya tegangan dalam akibat pencelupan dalam minyak atau air. Struktur yang terjadi sama dengan martensit temper dan biasanya disusul temper lagi.



Gambar 30. Proses Martemper

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Atau dapat di definisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida. Bila dua permukaan yang rata dan bersih di tekan beberapa Kristal akan tertekan atau bersinggungan. Bila tekanan diperbesar, daerah singgung ini bertambah luas. Lapisan oksida yang rapuh, pecah logam mengalami deformasi plastic. Batas antara dua permukaan Kristal dapat menjadi satu dan terjadilah ambungan, proses ini disebut pengelasan dingin. Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Berbagai proses pengelasan telah dikembangkan tergantung pada cara pemanasan dan peralatan yang digunakan.

Para ahli sejarah memperkirakan bahwa orang Mesir kuno mulai menggunakan pengelasan dengan tekanan pada tahun 5500 SM (untuk membuat pipa tembaga dengan memalu lembaran yang tepinya saling menutup). Winterton menyebutkan bahwa benda seni orang Mesir yang dibuat pada tahun 3000 SM terdiri dari bahan dasar tembaga dan emas hasil peleburan dan pemukulan. Jenis pengelasan ini, yang disebut pengelasan tempa (*forge welding*), merupakan usaha manusia yang pertama dalam menyambung dua potong logam. Contoh pengelasan tempa kuno yang terkenal adalah pedang Damascus yang dibuat dengan menempa lapisan-lapisan besi yang berbeda sifatnya.

Tahun 1901-1903 Fouche dan Picard mengembangkan tangkai las yang dapat digunakan dengan asetilen (gas karbit), sehingga sejak itu dimulailah zaman pengelasan dan pemotongan oksiasetilen (gas karbit oksigen), Periode antara 1903 dan 1918 merupakan periode pemakaian las yang terutama sebagai cara perbaikan, dan perkembangan yang paling pesat terjadi selama Perang Dunia I (1914-1918). Teknik pengelasan terbukti dapat diterapkan terutama untuk memperbaiki kapal yang rusak.

Pada periode 1930-1950 terjadi banyak peningkatan dalam perkembangan mesin las. Proses pengelasan busur nyala terbenam (*submerged*) yang busur nyalanya tertutup di bawah bubuk fluks pertama dipakai secara komersial pada tahun 1934 dan dipatenkan pada tahun 1935. Sekarang terdapat lebih dari 50 macam proses

pengelasan yang dapat digunakan untuk menyambung berbagai logam dan paduan

Pada tahun 1903 Thomas A. Edison, salah seorang pelopor di bidang pengembangan teknologi las, mengajukan hak paten untuk deposisi nikel secara elektrolitik diantara pelat yang dipanaskan dalam lingkungan hydrogen. Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Atau dapat didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida.

Penyolderan dan Pematrian

Solder dan patri merupakan proses penyambungan logam dimana dimanfaatkan logam penyambung lainnya dalam keadaan cair yang kemudian membeku.

➡ Penyolderan

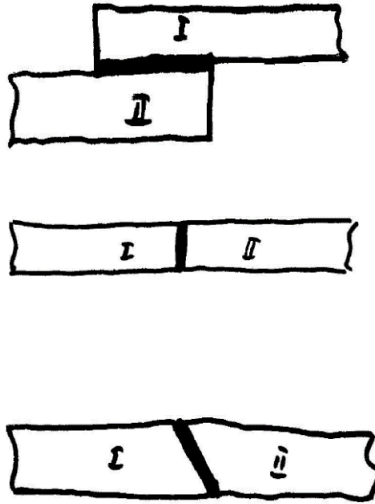
Penyolderan adalah proses penyambungan dua keping logam dengan logam yang berbeda, yang dituangkan dalam keadaan cair dengan suhu tidak melebihi 430°C diantara dua keping tadi. Pada proses ini terjadi paduan terbatas dengan dengan kepingan logam dan terjadi peningkatan ikatan. Kekuatan sambungan penyolderan pun ditentukan oleh gaya adhesi paduannya. Paduan timbal dan timah yang mempunyai daerah cair antara 180

dan 370C banyak digunakan. Komposisi 50-50, paling sering digunakan untuk timah solder, paduan ini meleleh pada 220°C. Untuk memperoleh sifat fisis yang lebih baik, pada timah biasanya ditambahkan unsur lain seperti kadmium, perak, tembaga atau seng.

Meskipun kita dapat menggunakan berbagai cara pemanasan seperti dapur, nyala api atau pemanasan listrik, solder lazim dilakukan dengan menggunakan alat solder yang dipakai untuk menyolder bagian-bagian yang kecil atau lempengan logam yang tipis. Alat solder dipanaskan dan timah dalam bentuk kawat dilelehkan pada ujung alat. Perlu dicatat bahwa permukaan sambungan yang bersih merupakan syarat mutlak dan biasanya diperlukan pula fluks.

➡ Pematrian

Pematrian adalah adanya logam bukan besi cair yang mengisi ruang antar logam yang disambung dan dibiarkan membeku. Pada pematrian logam terdapat beberapa paduan yang digunakan, antara lain adalah tembaga dengan titik cairnya adalah 1083°C, paduan tembaga kuningan dan perunggu yang mempunyai titik cair antara 870°-845°C, dan paduan aluminiumnya dengan titik cair antara 570°-640°C. Jenis sambungan pada pematrian :



Gambar 31. Jenis Sambungan Patri

Keterangan : I. Tindih

II. Temu

III. Serong

Terdapat 4 cara untuk memanaskan logam pada penyambungannya, yaitu :

- Pencelupan, yaitu bila dicelupkan pada fluks cair pada suhu yang cukup tinggi untuk mencairkan logam pengisi, benda-benda akan disambung harus dijepit dalam jig dan sela sudah terisi paduan patri
- Mematri dengan dapur, yaitu benda dijepit dengan jig dan dimasukkan dalam dapur dengan lingkungan yang terkendali pada suhu pencairan logam patri.
- Mematri dengan nyala, yaitu panas dari nyala dan logam pengisi dalam bentuk kawat dicairkan pada

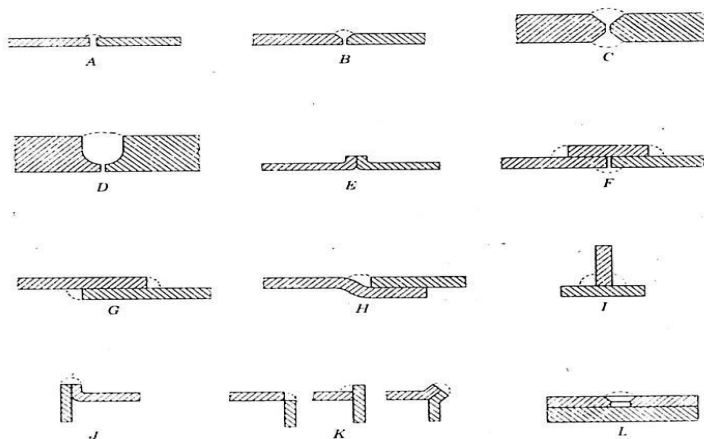
celah sambungan. Fluks ditambahkan dengan cara mencelupkan kawatnya.

- d. Patri listrik, yaitu panas yang berasal dari tahanan, induksi, ataupun busur. Cara pertama dan kedua lebih mudah dikontrol suhu dan kecepatannya.

Keuntungan pada proses pematrian adalah kemungkinan penyambungan logam yang sulit di las, penyambungan logam yang berlainan dan penyambungan bahan yang tipis. Selain itu prosesnya cepat dan menghasilkan sambungan yang rapi yang tidak memerlukan pengerjaan penyelesaian lagi, serta untuk penyambungan pipa, pemasangan ujung karbida pada pahat potong, sambungan pada radiator dan pesawat penukar panas, alat peralatan listrik dan perbaikan coran.

Jenis Sambungan Las

Dalam proses pengelasan terdapat berbagai macam jenis sambungan. Agar sambungan las cukup kuat, sambungan tersebut harus dirancang sesuai dengan cara penggunaannya nanti. Beberapa jenis sambungan yang sering digunakan seperti yang terdapat di bawah ini.



Gambar 32. Jenis Sambungan Las

Proses Pengelasan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam dimana logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan. Atau dapat di definisikan sebagai ikatan ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida. Bila dua permukaan yang rata dan bersih di tekan beberapa Kristal akan tertekan atau bersinggungan. Bila tekanan diperbesar, daerah singgung ini bertambah luas. Lapisan oksida yang rapuh, pecah logam mengalami deformasi plastic. Batas antara dua permukaan Kristal dapat menjadi satu dan terjadilah ambungan, proses ini disebut pengelasan dingin. Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas

untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi. Berbagai proses pengelasan telah dikembangkan tergantung pada cara pemanasan dan peralatan yang digunakan.

Pengelasan Padat

Dalam proses pengelasan padat tidak digunakan logam pengisi, dan penyambungan dapat dicapai dengan tekanan saja, ataupun panas dan tekanan. Bila digunakan panas dan tekanan, jumlah panas yang diberikan dari luar pada umumnya tidak cukup untuk melebur permukaan bendakkerja. Tetapi dalam beberapa kasus baik bila digunakan panas dan tekanan atau tekanan saja, bila energi yang dihasilkan cukup besar, maka dapat terjadi peleburan yang terlokalisir hanya pada permukaan kontak. Jadi dalam pengelasan padat, ikatan metalurgi diperoleh dengan sedikit atau tanpa peleburan logam dasar.

Syarat-syarat agar terjadi ikatan metalurgi yang baik:

- a. kedua permukaan kontak harus sangat bersih,
- b. kedua permukaan kontak satu sama lain harus saling menempel sangat rapat agar dapat terjadi ikatan atom.
- c. untuk beberapa proses pengelasan padat, waktu juga merupakan faktor penting.

Keuntungan pengelasan padat dibandingkan pengelasan lebur:

- a. bila tidak terjadi peleburan, maka tidak terbentuk daerah pengaruh panas (HAZ), dengan demikian logam disekeliling sambungan masih memiliki sifat-sifat aslinya.
- b. kebanyakan proses ini menghasilkan sambungan las yang meliputi seluruh permukaan kontak, tidak seperti pada operasi pengelasan lebur dimana sambungan berupa titik atau kampuh las.
- c. beberapa proses pengelasan padat dapat digunakan untuk menyambung logam yang tidak sama, tanpa memperhatikan ekspansi termal relatif, konduktivitas, dan permasalahan lain yang biasanya terjadi pada pengelasan lebur bila digunakan menyambung logam yang tidak sejenis.

Pengelasan padat antara lain: pengelasan tempa, pengelasan dingin, pengelasan rol, pengelasan ledak, pengelasan gesek, dan pengelasan ultrasonik

➡ **Pengelasan Tempa**

Pengelasan tempa merupakan proses penyambungan tertua yang dikenal manusia, Secara singkat, proses terdiri dari pemanasan logam yang kemudian ditempa. (Tekan) sehingga terjadi penyambungan logam. Pemanasan dilakukan dalam dapur kokas, Kini dikenal dapur minyak atau gas. Penempaan kemudian dilakukan mulai dari tengah menuju ke sisi, dengan demikian oksida-oksida

atau kotoran-kotoran lainnya akan tertekan ke luar. Proses ini disebut "*scarfing*".

Pengelasan tempa merupakan proses yang agak lambat dan ada kemungkinan terbentuknya lapisan oksida pada permukaan. Oksida ini dapat dihindarkan dengan menggunakan bahan pembakar yang berlebih atau dengan menggunakan fluks yang dapat melarutkan oksida.

Baja Karbon rendah dan besi tempa cocok untuk proses ini karena memiliki daerah suhu pengelasan yang besar. Daerah pengelasan berkurang dengan meningkatkannya kadar karbon.

➡ **Pengelasan Dingin**

Pengelasan dingin merupakan cara penyambungan logam dengan cara pada suhu ruang dibawah pengaruh tekanan, akibatnya tekanan permukaan benda kerja mengalami aliran dan menghasilkan sambungan las. Sambungan ini adalah ikatan padat tanpa pengaruh panas. Kawat dan batang dijepit dalam jepitan khusus kemudian ditekan dengan tekanan yang cukup besar sehingga terjadi aliran listrik pada ujung sambungan. Permukaan yang akan disambung disikat dengan kecepatan 900 m/menit sehingga bebas dari lapisan Oksida. Cara pembersihan lain yaitu logam ditekan pada permukaan yang sempit sedemikian rupa sehingga terjadi aliran logam menjauhi kedua sisi lasan. Beban tekan dapat dilakukan dengan perlahan-lahan atau dengan tumbukan (impak). Aluminium memerlukan tekanan sekitar 170 hingga 240 MPa. Las titik biasanya berbentuk persegi dengan luas $t \times t$

5t (t = tebal lembaran). Dapat juga dibuat las cincin atau las kampu kontinu. Suatu contoh, kawat dan batang dijepit dalam jepitan khusus kemudian ditekan dengan tekanan yang cukup besar sehingga terjadi aliran plastik pada ujung sambungan. Sebelum penyambungan permukaan dibersihkan terlebih dahulu dengan sikat sehingga terbebas dari lapisan oksida. Beban tekan dapat dilakukan dengan perlahan-lahan atau dengan tumbukan (impak). Pengelasan dingin ini umumnya diterapkan pada aluminium dan tembaga, namun timah hitam, nikel, seng dan monel dapat juga disambung dengan cara ini

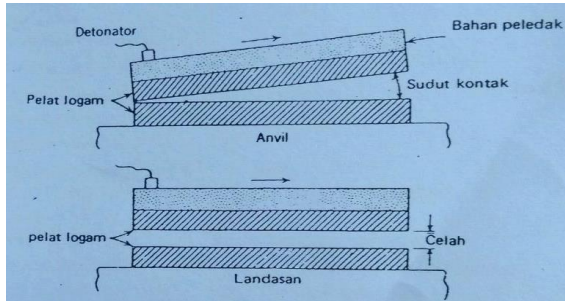
➡ Pengelasan Rol

Termasuk proses pengelasan padat dimana proses penekanannya menggunakan peralatan rol, baik dengan pemanasan dari luar atau tidak. Bila tanpa menggunakan panas dari luar, prosesnya disebut pengelasan rol dingin, sedang bila menggunakan panas dari luar prosesnya disebut pengelasan rol panas. Pengelasan rol biasa digunakan untuk melapisi baja karbon atau baja paduan dengan baja tahan karat agar memiliki ketahanan terhadap korosi, atau untuk membuat dwimetal yang digunakan untuk pengukuran temperatur.

➡ Pengelasan Ledak

Las ledakan atau pebalutan (*cladding*) merupakan proses las dimana dua permukaan logam dijadikan satu dibawah pengaruh impak (tumbuk) dan tekanan. Tekanan tinggi berasal dari ledakan yang ditempatkan dekat logam. Kadang-kadang bahan pelindung seperti karet,

menyelubungi panel atas mencegah kerusakan permukaan, Kegunaan utama pemalutan ledakan adalah menyatukan lembaran dengan permukaan luas.



Gambar 33. Skema Las Peledak

Lapisan oksida yang lazim terdapat pada permukaan logam pecah karena tekanan tinggi atau larut dalam daerah cair. Gaya ledakan menyatukan kedua permukaan yang bersih dan menghasilkan ikatan yang baik. Pada las ledakan, menghasilkan peristiwa yang dinamakan jet. Jet terjadi oleh karena perubahan plastik kedua pelat bergerak mendahului titik tubrukan mengisi sela antara kedua logam. Untuk ini diperlukan tekanan yang besar. Deformasi plastik ekstrim seperti ini menghasilkan ikatan logam.

Bentuk ikatan logam tampak pada profil bergerigi terbentuk oleh efek jet-permukaan dan merupakan perpaduan dari ikatan langsung antara logam-logam dan daerah yang mencair secara periodik. Diutamakan terjadinya ikatan bergelombang karena cacat solidifikasi terlokalisasi. Beberapa jenis logam mempunyai lapisan ikatan yang merata karena daerah permukaan cair yang kontinu membeku dengan cepat.

Kegunaan utama pembalutan ledakan adalah untuk menyatukan lembaran dengan permukaan luas. Permukaan luas utama bisa berkisar antar 0,7 sampai 2 m² berhasil disatukan. Di samping untuk las permukaan, proses pengelasan ledakan dapat dimanfaatkan untuk las kampuh, las titik, las tumpuk dan las sudut, begitu pula untuk pembalutan bagian dalam dari pipa dan bejana tekan. Keuntungan proses ini meliputi kesederhanaan, kecepatan, ketelitian dan kemampuannya untuk menyatukan logam yang berbeda. Logam dengan titik cair yang rendah dan ketahanan impak yang rendah tidak dapat diikat secara efektif dengan proses ini.

➡ Las Gesek

Pada pengelasan las gesek, penyambungan terjadi oleh panas yang ditimbulkan oleh gesekan akibat perputaran logam satu terhadap lainnya di bawah pengaruh tekanan aksial. Kedua permukaan yang bersinggungan menjadi panas mendekati titik cair dan bahan yang berdekatan dengan permukaan plastis. Pergerakan relatif antara kedua logam dihentikan dan kini logam ditekan dalam arah aksial dan terjadilah sambungan lantak. Besar tekanan aksial dapat sama atau lebih besar dari tekanan sewaktu pemanasan, nilainya tergantung pada jenis bahan yang digunakan. Kilat yang terjadi selama proses dapat membersihkan sambungan dari kotoran dan oksida. Kerugian dari proses ini terletak pada keterbatasan bentuk yang dapat dilas, sedang keuntungannya adalah peralatan yang digunakan sangat sederhana, proses berjalan sangat cepat, persiapan benda

kerja sebelum pengelasan minim, dan hemat energi. Selain itu logam tak sejenis dapat disambung pula dan siklus pengelasan dapat diprogramkan dengan mudah. Las gesek banyak digunakan untuk penyambungan plastik.

➔ Las Ultrasonik

Las ultrasonic adalah proses penyambungan padat untuk logam sejenis maupun tak sejenis, umumnya dengan membentuk sambungan tindih, energy getaran berfrekuensi tinggi mengenai daerah las dalam bidang sejajar dengan permukaan sambungan las. Gaya yang ada menimbulkan tegangan geser osilasi pada permukaan las. Tegangan tersebut merusak dan mengelupas lapisan oksida. Slip permukaan ini menghasilkan kontak logam dengan logam, terjadi pencampuran logam dan terbentuklah manik las yang baik. Energi getaran berfrekuensi tinggi mengenai daerah las dalam bidang sejajar dengan permukaan sambungan las. Gaya yang ada menimbulkan tegangan geser osilasi pada permukaan las, tegangan tersebut merusak dan mengelupas lapisan oksida. Slip permukaan ini menghasilkan kontak logam dengan logam, terjadi pencampuran logam dan terbentuklah manik las yang baik. Dalam proses ini tidak diperlukan pemanasan dari luar. Proses pengelasan ultrasonik hanya dapat diterapkan pada logam dengan ketebalan maksimal 3 mm, sedang ketebalan minimum tidak ada. Pada sambungan las terjadi deformasi plastik setempat pada batas permukaan dan kekuatannya lebih baik dibandingkan proses penyambungan lainnya.

BAB 9

METALURGI SERBUK

Dalam pengolahannya, logam atau serbuk logam memiliki berbagai macam cara, salah satunya yaitu metalurgi serbuk, dimana metalurgi serbuk sendiri merupakan teknik pengolahan logam untuk menghasilkan produk komersial dengan menggunakan serbuk logam melalui proses penekanan dan pemanasan (sinter). Serbuk dapat terdiri dari campuran serbuk logam dengan serbuk non-logam.

Proses produksi logam secara metalurgi serbuk sudah cukup dikenal sekitar abad ke 18. Namun pada saat itu logam yang paling banyak diproduksi dengan proses ini sebatas emas dan perak. Hal itu mungkin dikarenakan logam ini memiliki sifat komersial yang tinggi dan membutuhkan waktu yang paling lama dalam prosesnya. Dan ketika mesin press tekan mulai dipergunakan, yakni pada sekitar tahun 1870, metalurgi serbuk berkembang kepada bahan-bahan logam lainnya.

Metalurgi serbuk adalah suatu kegiatan yang mencakup pembuatan benda komersial dari serbuk logam melalui penekanan. Proses ini dapat disertai pemanasan akan tetapi suhu harus berada dibawah titik cair serbuk. Pemanasan selama proses penekanan atau sesudah penekanan yang dikenal dengan istilah sinter menghasilkan pengikatan partikel halus. Dengan demikian kekuatan dan sifat-sifat fisis lainnya meningkat.

Produk hasil metalurgi serbuk dapat terdiri dari produk campuran serbuk berbagai logam atau dapat terdiri dari campuran bahan bukan logam untuk meningkatkan ikatan partikel dan mutu benda jadi secara keseluruhan. Kobalt atau jenis logam lainnya diperlukan untuk mengikat partikel tungsten, sedang grafit ditambahkan pada serbuk logam bantalan untuk meningkatkan kualitas bantalan.

Sifat-Sifat Khusus Serbuk Logam

Ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran serbuk logam mempengaruhi karakteristik dan sifat fisis dari benda yang dimampatkan. Serbuk dibuat menurut spesifikasi, antara lain bentuk, kehalusan, distribusi ukuran partikel, mampu alir (flowability), sifat kimia, mampu tekan (compressibility), berat jenis semu dan sifat-sifat sinter.

- a. Bentuk, Bentuk partikel serbuk tergantung pada cara pembuatannya, dapat bulat, tak teratur, dendritic, pipih atau bersudut tajam.
- b. Kehalusan, Kehalusan berkaitan erat dengan ukuran butir dan ditentukan dengan mengayak serbuk dengan ayakan standar atau dengan pengukuran mikroskop. Ayakan standar berukuran mesh 36 sampai 850 μm digunakan untuk mengecek ukuran dan menentukan distribusi ukuran partikel dalam daerah tertentu.
- c. Distribusi Ukuran Partikel, Dengan distribusi ukuran partikel ditentukan jumlah partikel dari setiap ukuran

standar dalam serbuk tersebut. Pengaruh distribusi terhadap mampu alir, berat jenis semu dan porositas produk cukup besar. Distribusi tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran benda tekan.

- d. Mampu Alir, Mampu alir merupakan karakteristik yang menggambarkan sifat alir serbuk dan kemampuan memenuhi ruang cetak. Dapat digambarkan sebagai laju alir melalui suatu celah tertentu.
- e. Sifat Kimia, Terutama menyangkut kemurnian serbuk, jumlah oksida yang diperbolehkan dan kadar elemen lainnya.
- f. Kompresibilitas, Kompresibilitas adalah perbandingan volume serbuk semula dengan volume benda yang ditekan. Nilai ini berbeda-beda dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir. Kekuatan tekan mentah tergantung pada kompresibilitas.
- g. Berat Jenis Curah, Berat jenis curah atau berat jenis serbuk dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Harga ini harus tetap, agar jumlah serbuk yang mengisi cetakan setiap waktunya tetap sama.
- h. Kemampuan Sinter, sinter adalah proses pengikatan partikel melalui proses pemanasan.

Cara Pembentukan Serbuk

Meskipun semua logam secara teoritis dapat dibuat menjadi serbuk, hanya beberapa jenis logam dimanfaatkan dalam pembuatan benda jadi. Beberapa

jenis logam memang tidak dapat dibuat secara ekonomis. Yang digunakan adalah kelompok serbuk besi dan tembaga. Brons digunakan untuk membuat bantalan poreus, bras dan besi banyak digunakan untuk membuat suku cadang mesin yang kecil-kecil. Serbuk nikel, perak, wolfram dan alumunium banyak juga digunakan dalam metalurgi serbuk.

Berbagai jenis serbuk logam, karena mempunyai ciri-ciri fisis dan kimia tertentu memerlukan cara pembuatan yang berbeda. Prosedur berbeda, begitu pula ukuran dan struktur partikel. Pemesinan akan menghasilkan partikel yang kasar dan digunakan untuk membuat serbuk magnesium. Proses penggilingan dengan memanfaatkan berbagai macam jenis mesin penghancur, mesin giling dan mesin tumbuk dapat menghancurkan berbagai jenis logam. Bahan yang rapuh dapat dihancurkan dan dihaluskan dengan cara ini. Proses ini juga dimanfaatkan dalam proses pembuatan zat pigmen dari bahan yang duktil dan diperoleh partikel berbentuk serpih. Biasanya ditambahkan minyak untuk mengecrah penggumpalan. Shotting adalah operasi dimana logam cair dituangkan melalui suatu saringan atau lubang disusul dengan pendinginan dalam air. Proses ini menghasilkan partikel yang bulat atau lonjong. Logam pada umumnya dapat di "shot" namun kerap kali ukuran partikel yang dihasilkan terlalu besar. Atomisasi atau penyemprotan logam merupakan suatu cara yang baik untuk membuat serbuk dari logam suhu rendah seperti timah hitam, alumunium, seng dan timah putih.

Bentuk partikel tidak teratur dan ukurannya berbeda-beda. Proses ini disebut granulasi tergantung pada pembentukan oksida pada permukaan partikel selama proses pengadukan.

Pengendapan elektrolitik (*Electrolytic Deposition*) adalah cara yang umum ditetapkan untuk mengolah besi, perak, tantalum dan beberapa jenis logam lainnya. Untuk membuat serbuk besi digunakan elektroda pelat baja yang dipasang sebagai anoda dalam tangki yang mengandung elektrolit. Pelat baja tahan karat ditempatkan dalam tangki sebagai katoda dan besi mengendap pada elektroda tersebut. Digunakan arus searah dan setelah ± 48 jam, diperoleh endapat sebesar 2mm. pelat katoda kemudian dikeluarkan dan besi elektrolitik dikeruk. Besi yang sangat rapuh ini dicuci lalu disaring. Serbuk kemudian dianil untuk pelunakan. Pada proses reduksi, oksida logam direduksi menjadi serbuk dengan mengalirkan gas pada suhu dibawah titik cair. Untuk serbuk besi, biasanya digunakan kerak, suatu oksida besi. Oksida ini dicampur dengan serbuk kokas dan dimasukkan kedalam tanur putar.

Pada ujung pelepasan, campuran ini dipanaskan sampai 1050 °C, hal ini menyebabkan karbon bereaksi dengan oksigen yang terdapat dengan oksida besi. Terbentuklah gas yang dialirkan keluar. Besi yang tertinggal cukup murni dan berbentuk spons. Serbuk logam lainnya seperti : wolfram, molibden, nikel dan kobal dibuat dengan proses yang sama.

Cara produksi yang lain meliputi presipitasi, kondensasi dan proses kimia telah dikembangkan untuk menghasilkan serbuk logam. Proses pembuatan serbuk bisa di kategorikan melalui tiga macam cara yaitu: secara fisik, secara kimiawi, dan secara mekanik. Pembuatan serbuk secara fisik dapat diibaratkan sebagai proses atomisasi yaitu proses perusakan arus logam cair yang disemprot dengan bahan pendingin yang dalam hal ini dapat berupa cairan atau gas sehingga logam cair berubah menjadi tetesan padat yang berbentuk butiran. Sedangkan pembuatan serbuk dengan cara kimia melibatkan banyak reaksi dekomposisi kimia terhadap senyawa logam ini juga termasuk reaksi reduksi didalamnya. Pembuatan serbuk secara mekanik secara umum dapat dilakukan pada logam – logam yang bersifat getas sehingga mudah dihancurkan dengan diberikan gaya tekan dan dijadikan serbuk.

Cara Persiapan Serbuk Khusus

➡ Serbuk Paduan

Serbuk yang dihasilkan melalui pencampuran logam murni tidak akan mempunyai sifat yang sama dengan serbuk paduan. Serbuk campuran digunakan karena lebih mudah membuatnya dan memerlukan tekanan yang lebih rendah. Serbuk paduan yang dipadu selama proses pencairan, menghasilkan produk dengan sifat yang hampir sama dengan paduan padat. Hal ini memungkinkan dihasilkannya paduan seperti baja tahan karat dan komposisi paduan tinggi lainnya, yang

sebelumnya tidak mungkin dibentuk melalui pencampuran. Serbuk logam prapaduan mempunyai sifat-sifat seperti daya tahan korosi, kekuatan tinggi atau daya tahan terhadap suhu tinggi.

➡ Serbuk Berlapis

Serbuk logam dapat dilapisi dengan unsur tertentu dengan cara mengalirkan gas pembawa. Setiap partikel tersalur dengan merata, sehingga akan menghasilkan produk serbuk, yang bila disinter akan mempunyai karakteristik tertentu dari bahan pelapis. Hal ini memungkinkan penggunaannya serbuk murah dengan pengikat bahan aktif dibagian luarnya. Produk yang dibuat dari serbuk berlapis disinter, jauh lebih homogen daripada produk yang dihasilkan dari pencampuran.

Keuntungan dan Keterbatasan Metalurgi Serbuk

Keuntungan metalurgi serbuk :

- a. Proses ini dapat menghasilkan karbida sinter, bantalan porous dan produk bimetal yang terdiri dari lapisan serbuk logam yang berbeda
- b. Proses ini dapat menghasilkan produk dengan porositas yang terkendali
- c. Proses dapat menghasilkan bagian yang kecil dengan toleransi yang ketat dan permukaan yang halus dalam jumlah banyak dan mampu bersaing dengan cara pemesanan

- d. Serbuk yang murni menghasilkan produk yang murni pula
- e. Proses ini sangat ekonomis karena tidak ada bahan yang terbuang selama proses produksi
- f. Upah buruh rendah karena tidak diperlukan tenaga dengan keahlian khusus untuk menjalankan mesin pres dan mesin lainnya

Keterbatasan metalurgi serbuk :

- a. Serbuk logam mahal dan terkadang sulit penyimpanannya karena mudah terkontaminasi
- b. Alat peralatan mahal
- c. Beberapa jenis produk tidak dapat dibuat secara ekonomis karena keterbatasan kapasitas mesin pres dan rasio kompresi berbagai jenis serbuk.
- d. Bentuk yang sulit atau rumit tidak dapat dibuat karena selama penekanan serbuk logam tidak mampu mengalir mengisi ruang cetakan
- e. Beberapa jenis serbuk logam yang halus merupakan sumber bahaya ledakan dan kebakaran
- f. Dengan proses ini sulit mendapatkan kepadatan yang merata

Produk Serbuk Logam

- a. Saringan Logam
Saringan logam serbuk yang permanen mempunyai kekuatan dan ketahanan terhadap kejutan yang lebih baik dibandingkan dengan filter keramik dan mempunyai porositas sampai 80%. Dapat dibuat filter

tersebut logam dengan porositas 97%. Filter jenis ini digunakan untuk menyaring cairan dingin atau panas dan udara. Salah satu kegunaan filter serbuk dalam dehydrator di mana udara lembab dialirkan melalui suatu zat pengering seperti silika gel. Penggunaan lain lagi adalah dalam tangki bahan bakar untuk memisahkan air dan kotoran. Filter logam dapat juga dimanfaatkan untuk menjebak nyala dan meredam suara.

b. Karbida Semented

Partikel karbida-tungsten dicampur dengan pengikat kobalt, kemudian ditekan dan dibentuk lalu disinter pada suhu tertentu di atas titik cair logam matriks, sehingga menghasilkan karbida semented yang banyak digunakan sebagai alat pemotong dan cetakan.

c. Roda gigi dan Motor Pompa

Roda gigi dan motor pompa dibuat dari serbuk besi yang dicampur dengan grafit secukupnya agar mempunyai kandungan karbon sesuai dengan yang diinginkan. Dengan proses ini akan diperoleh porositas dengan 20% dan setelah disinter, pori-pori diresapi dengan minyak sehingga kebisingan selama penggunaannya dapat dibatasi.

d. Sikat Motor

Sikat untuk motor dibuat dengan mencampurkan tembaga dengan grafit dengan perbandingan tertentu sehingga benda mentah mempunyai kekuatan mekanik yang memadai. Untuk

meningkatkan daya tahan aus, dapat ditambahkan timah putih atau timah hitam secukupnya.

e. Bantalan Berpori

Umumnya bantalan dibuat dari serbuk tembaga, timah putih dan grafit atau campuran serbuk logam lainnya. Setelah disinter, bantalan diselesaikan sehingga mempunyai ukuran yang tepat kemudian diresapi dengan minyak melalui perlakuan vakum. Porositas dalam bantalan dapat diatur dengan cermat dan berkisar sampai 40%.

f. Magnit

Magnit kecil yang bermutu tinggi dapat dibuat dari campuran serbuk besi aluminium, nikel dan kobal. Magnit alnico yang terdiri dari serbuk besi dan aluminium jauh lebih baik daripada magnit cor.

g. Kontak Listrik

Kontak listrik banyak dibuat secara metalurgi serbuk, karena beberapa jenis serbuk logam dapat dicampurkan dan sekaligus tetap memiliki karakteristik khusus masing-masing. Kontak listrik harus tahan aus dan suhu tinggi dan di samping itu tetap memiliki data hantar listrik yang baik. Telah dikembangkan campuran logam seperti: tungsten – tembaga, tungsten – kobalt, tungsten- perak, perak – moliben dan tembaga nikel– tungsten untuk peralatan/perengkapan listrik.

Berbagai jenis suku cadang lainnya seperti permukaan kopling, tromol rem, panahan peluru (ball retainer) dan kawat las dibuat secara metalurgi serbuk. Penggunaan lain dari serbuk logam mencakup zat warna cat, bahan bakar peluru kendali dan las termit. Pencampuran serbuk logam dengan plastik akan dapat meningkatkan kekuatan dan plastik akan memiliki sifat-sifat yang mendekati logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo Sudjana & EC Sudirman, Teori dan Praktek Kejuruan Dasar Mesin, Pradya Paramita.
- Arifin, Syamsul, Alat-alat Ukur dan Mesin-mesin Perkakas, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1983
- Atabaki M et al, 2013. Welding of aluminum alloys to steels: an overview. OMB No. 0704-0188.
- B.H. Amstead, Phillip F. Ostwald, Myron L. Begeman, Manufacturing Processes, Seventh Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 1979.
- Beeley, P. R. (2001) Foundry Technology. Butterworths-Heinemann, Oxford, England,.
- Black, J., and Kohser, R. DeGarmo's. (2012). Materials and Processes in Manufacturing, 11th ed., John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Boothroyd, G., and Knight, W. A. (2006). Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, 3rd ed. CRC Taylor and Francis, Boca Raton, Florida.
- Buku Pegangan ASM. Vol. 14B: (2006). Pengerjaan Logam: Pembentukan Lembaran. ASM International, Material Park, Ohio.

Carnes, R., dan Maddock, G.(2004). "Pemilihan Alat Baja".
Bahan & Proses Lanjutan, hlm. 37–40.

Cary, H. B., and Helzer, S. C. (2005). Modern Welding
Technology, 6th ed. Pearson/Prentice-Hall, Upper
Saddle River, New Jersey.

Chang, C-H, and Melkanoff, M. A. NC (2003). Machine
Programming and Software Design, 3rd ed. Pearson
Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Colestock, H., (2004). Industrial Robotics: Selection,
Design, and Maintenance, McGraw-Hill, New York.

Craig, J. J., (2004).Introduction to Robotics: Mechanics and
Control, 3rd ed., Pearson Education, Upper Saddle
River, NJ.

Flemings, M.C.Solidification Processing, New York :
McGraw-Hill, 1974,

Goerge Love & Harun AR , Teori dan Praktek Logam,
Edisi ketiga, Penerbit Erlangga.

Harsono Wiryosumarto, Toshie Okumura, Teknologi
Pengelasan Logam, Cetakan Keenam, PT Pradnya
Paramita, Jakarta, 1994.

Kalpakjian, Manufacturing Engineering and Technology, Third Edition, AddisonWesley Publishing Company, New York, 1995. Metal Handbook, 9 th ed. Vol. 14 : Forming and Forging. Metal Park, Ohio: ASM International, 1988.

Mikell P. Groover, Fundamentals of Modern Manufacturing, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey, 1996.

S. I. Karsay, "Ductile Iron III Gating and Riser," Quebec Iron and Titanium Corporation, 1981,

Shimoda Y, Tsubaki M, Yasui T, Fukumoto M. Experimental and numerical studies of material flow during welding by friction stirring. Quart J Jpn Weld Soc 2011;29:114s–8s.

Su H, Wu C, Chen M. Analysis of material flow and heat transfer in friction stir welding of aluminium alloys. China Weld (Engl Ed) 2013;22:6–10.

Surbakty. B., Ketramplan Dasar Kerja Bangku. PT (Persero) Karya Nusantara, Jakarta, 1983

Tata Surdia, Ir., M.S. Met. E., Kenji Chijiwa, Prof. Dr. Teknik Pengecoran Logam, PT. Pradnya Paramita, 2000.

Tata Surdia, Kenji Chijiwa, Teknik Pengecoran Logam, Cetakan Ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

Tutunchilar S, Haghpanahi M, Besharati Givi MK, Asadi P, Bahemmat P. Simulation of material flow in friction stir processing of a cast Al–Si alloy. *Mater Des* 2012;40:415–26.

Wang GX, Zhu LL, Zhang Z. Modeling of material flow in friction stir welding process. *Chin Weld (Engl Ed)* 2007;16:63–70.

Wang H, Colegrove PA, Dos Santos JF. Numerical investigation of the tool contact condition during friction stir welding of aerospace aluminium alloy. *Comput Mater Sci* 2013;71:101–8.

BIODATA PENULIS



Dr. Dira Ernawati, ST., MT

Penulis lahir di Tuban Jawa Timur pada tanggal 2 Juni 1978. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Industri - UPN “Veteran” Jawa Timur, lalu melanjutkan pendidikan S2 dan S3 nya di Program Studi Teknik Industri – Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Saat ini penulis merupakan dosen aktif di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Sains - Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Bidang riset penulis adalah *Logistic and Supply Chain Management* (LSCM).

Email: dira.ti@upnjatim.ac.id



Tranggono, S.T., M.T.

Penulis lahir di Surabaya pada tanggal 22 Desember 1986. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 (Sarjana) pada Program Studi Teknik Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), serta melanjutkan pendidikan S2 (Magister) pada Program Studi Teknik Industri – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Saat ini penulis merupakan dosen aktif di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Sains - Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur (UPNV Jatim).

Email: tranggono.ti@upnjatim.ac.id



Yekti Condro Winursito, S.T., M.Sc.

Penulis lahir di Temanggung pada tanggal 13 Agustus 1992. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Industri - UPN “Veteran” Yogyakarta, serta melanjutkan pendidikan S2 di Program Studi Teknik Industri – Universitas Gadjah Mada (UGM). Saat ini penulis merupakan dosen aktif di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Sains - Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Bidang riset penulis adalah manufaktur.

Email: yekti.condro.ti@upnjatim.ac.id



Iffad Rakhmanhuda, S.ST., M.T.

Penulis merupakan dosen pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Lahir di Surabaya pada 6 September 1990, penulis menempuh pendidikan Diploma IV Teknik Pengelasan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis meraih gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Bidang keilmuan dan penelitian yang ditekuni berfokus pada manufaktur. Dalam pelaksanaan tridarma perguruan tinggi, penulis menjalankan kegiatan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat yang berkaitan dengan bidang Teknik Industri.

Email: iffad.rakhmanhuda.ft@upnjatim.ac.id