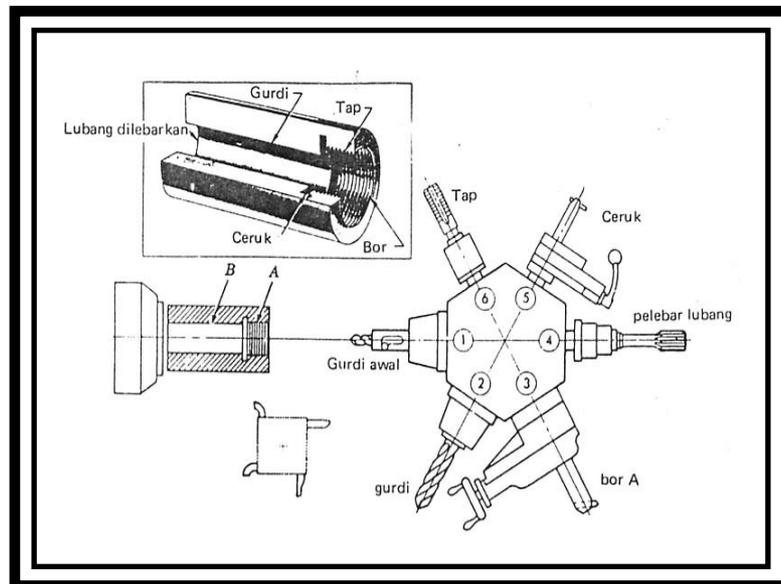


DIKTAT KULIAH
PROSES PRODUKSI I



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
2012

DIKTAT KULIAH
PROSES PRODUKSI I

Disusun :

ASY'ARI DARYUS

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Darma Persada
Jakarta.

KATA PENGANTAR

Untuk memenuhi buku pegangan dalam perkuliahan, terutama yang menggunakan bahasa Indonesia dalam bidang teknik, maka kali ini penulis menyempatkan diri untuk ikut membuat sebuah buku/diktat yang bisa digunakan oleh mahasiswa teknik, terutama mahasiswa jurusan teknik mesin dan teknik industri. Kali ini penulis menyiapkan diktat yang ditujukan untuk mata kuliah Proses Produksi I.

Dalam penyusunan buku ini penulis berusaha menyesuaikan materinya dengan kurikulum di jurusan Teknik Mesin dan Teknik Industri, Universitas Darma Persada Indonesia.

Perlu ditekankan bahwa buku ini belum merupakan referensi lengkap dari pelajaran Proses Produksi, sehingga mahasiswa perlu untuk membaca buku-buku referensi lain untuk melengkapi pengetahuannya tentang materi buku ini.

Akhir kata, mudah-mudahan buku ini bisa menjadi penuntun bagi mahasiswa dan memberikan manfaat sebagaimana yang diharapkan. Tak lupa penulis mengucapkan banyak-banyak terima-kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian pembuatan buku ini.

Jakarta, 14 Juni 2012

IR. ASY'ARI DARYUS SE. MSc.

DAFTAR ISI

BAB 1. Proses Pengolahan Logam.	1
BAB 2. Pengecoran.	25
BAB 3. Pengelasan.	47
BAB 4. Pengerjaan Panas Logam.	67
BAB 5. Pengerjaan Dingin Logam.	87

BAB I

PROSES PENGOLAHAN LOGAM

1.1. Pendahuluan

Secara umum logam bisa dibedakan atas dua yaitu : logam-logam besi (ferous) dan logam-logam bukan besi (non ferous). Sesuai dengan namanya logam-logam besi adalah logam atau paduan yang mengandung besi sebagai unsur utamanya, sedangkan logam-logam bukan besi adalah logam yang tidak atau sedikit sekali mengandung besi.

Logam-logam besi terdiri atas :

- besi tuang (cast iron)
- baja karbon (carbon steel)
- baja paduan (alloy steel)
- baja spesial (specialty steel)

Keempat kelompok besi diatas terbagi lagi atas pengelompokan yang lebih kecil yang diperlihatkan pada tabel 1. Untuk logam bukan besi contohnya adalah logam dan paduan seperti : aluminium, tembaga, timah, emas, magnesium dsb.

Dalam penggunaannya pada bidang teknik diharuskan memilih bahan logam yang sesuai dengan keperluan aplikasi dalam hal kekuatan, kekerasan, kekuatan lelah, ketahanan korosi dan sebagainya sehingga dalam pemakaiannya akan memberikan hasil yang paling optimal.

Sifat-sifat yang diperlukan di dalam aplikasi sangat dipengaruhi oleh struktur bahan tersebut, sedangkan struktur yang terbentuk dipengaruhi oleh komposisi kimia, teknik/proses pembuatan serta proses perlakuan panas yang diberikan kepada logam tersebut. Secara skematik hubungan antara struktur, sifat mekanik dan kualitas yang diberikan logam diperlihatkan pada gambar 1.

Pada produk rekayasa, selain pengaruh faktor-faktor di atas, kualitasnya juga dipengaruhi oleh faktor desain (perencanaan) dan kondisi pengoperasian.

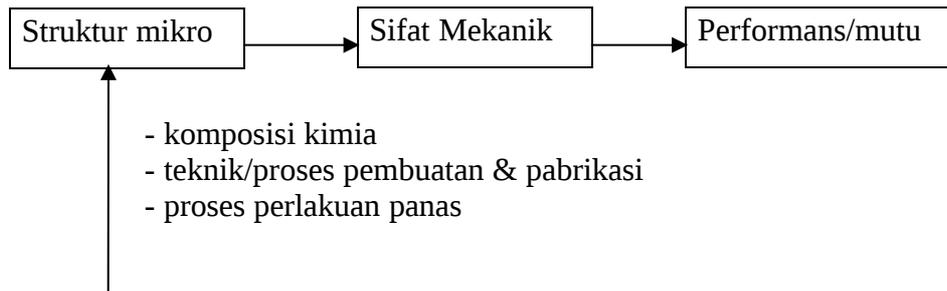
Pada dewasa ini penggunaan logam yang paling banyak masih didominasi oleh logam besi dan paduannya terutama di bidang permesinan. Logam aluminium dan paduannya juga mengalami penggunaan yang meningkat akhir-akhir ini karena beberapa sifat-sifatnya yang disukai yang salah satunya adalah bobotnya yang ringan.

Tabel 1: Pembagian Paduan Besi dan Baja Menurut Komposisinya.

No.	Paduan besi dan Baja	Komposisi kimia (dalam %)
1.	Besi tuang - Besi tuang kelabu - Besi tuang putih - Besi tuang noduler - Besi tuang paduan	2-4 %C, 1-3 %Si, 0,80 %Mn (maks) 0,10 %P (maks), 0,05% S (maks). Disamping terdapat perbedaan yang kecil dari segi komposisi, perbedaan sifat-sifat besi tuang ditentukan oleh struktur mikro karena proses pembuatan atau karena proses perlakuan panas. Unsur-unsur pepadu : Cr, Ni, Mo, Al atau logam-logam lainnya.
2.	Baja karbon : - Baja karbon rendah - Baja karbon sedang - Baja karbon tinggi	0,08-0,35 %C 0,25-1,50 %Mn 0,35-0,50 %C plus 0,25-0,30 %Si 0,55-1,7 %C 0,04 %P (maks) 0,05 %S (maks)
3.	Baja paduan : - Baja paduan rendah - Baja paduan medium	- Seperti pada baja karbon rendah + unsur-unsur pepadu kurang dari 4 % seperti : Cr, Ni, Mo, Cu, Al, Ti, V, Nb, B, W dll. - Seperti pada baja paduan rendah tetapi jumlah unsur-unsur pepadu diatas 4%.
4.	Baja Spesial : - Baja stainless :	a. Feritik (12-30 %Cr dan kadar karbon rendah) b. Martensitik (12-17 %Cr dan 0,1-1,0 % C) c. Austenitik (17-25 %Cr dan 8-20% Ni) d. Duplek (23-30 %Cr, 2,5-7 %Ni, plus unsur Ti dan Mo) e. Presipitasi (seperti pada austenitik, plus

- Baja perkakas

elemen pepadu seperti : Cu, Ti, Al,
Mo, Nb atau N)
General purpose steels
Die steels
High speed steels (0,85-1,25 %C, 1,50-20
%W, 4-9,5 %Mo, 3-4,5 %Cr, 1-4 %V,
5-12 %Co)



Gambar 1: Faktor-faktor yang mempengaruhi hubungan antara struktur, sifat mekanis dan mutu/performans logam.

1.2. Teknologi Pengolahan Logam

Proses pengolahan logam secara garis besar diperlihatkan pada gambar 2. Dari gambar tersebut proses pengolahan logam dibagi atas 3 bagian pokok yaitu :

1. Industri hulu : industri yang mengolah bahan tambang berupa biji logam menjadi logam dasar melalui proses pemurnian dan proses reduksi/peleburan.
2. Industri antara : industri yang mengolah logam dasar baik yang berbentuk ingot primer atau masih berupa logam cair menjadi produk antara seperti *billet, slab, bloom, rod* atau ingot paduan untuk industri pengecoran.
3. Industri hilir : industri yang mengolah lebih lanjut produk industri antara menjadi produk setengah jadi dan selanjutnya melalui proses pabrikasi dan pengerjaan akhir menjadi produk jadi.

Proses pengolahan logam pada ke tiga industri tersebut di atas akan dijelaskan berikut ini, dengan penekanan pada pembuatan besi dan baja serta pembuatan aluminium.

1.2.1. Proses Pembuatan Besi dan Baja

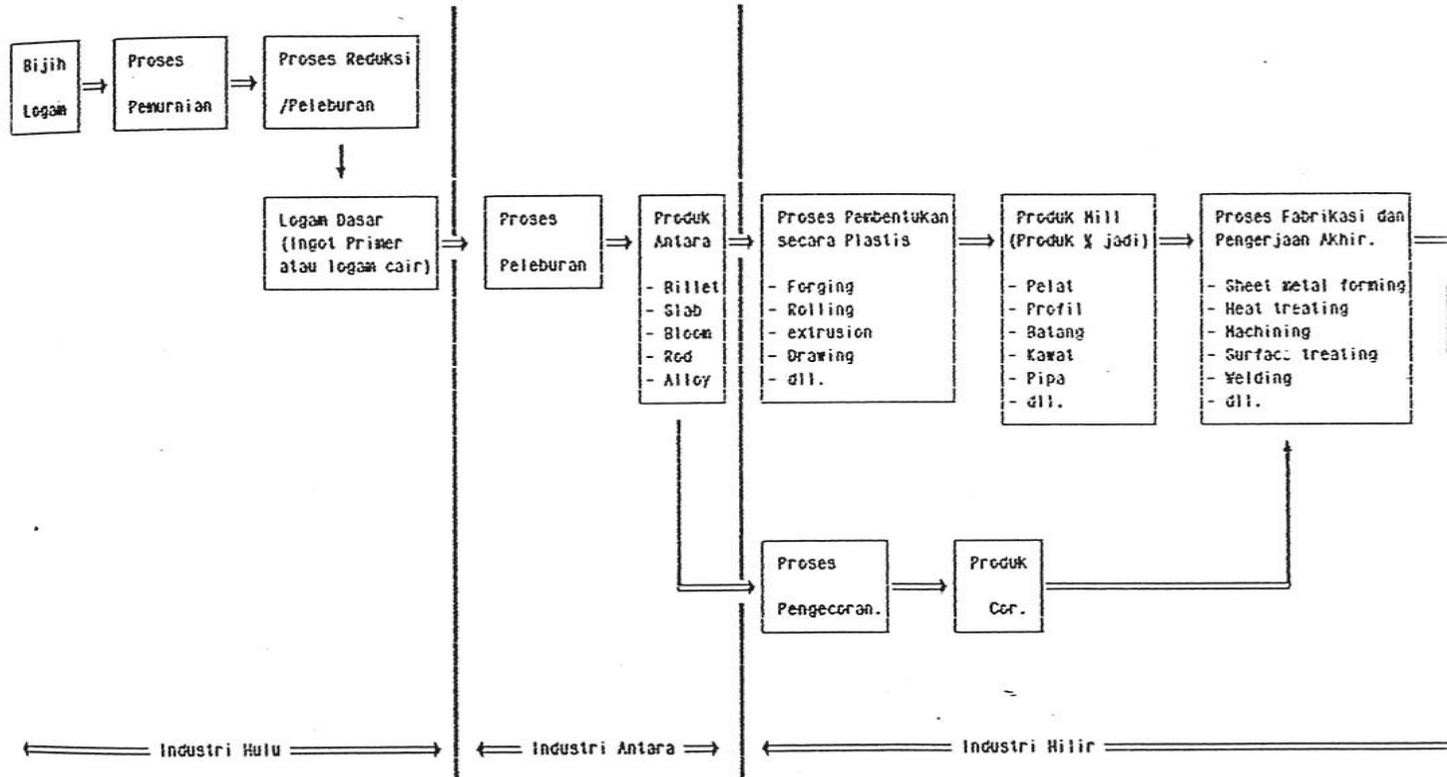
Secara singkat proses pembuatan besi dan baja dapat dilihat pada gambar 3 dan 4. Uraian singkat mengenai tahapan proses pengolahan besi dan baja tersebut diuraikan dibawah ini.

1.2.1.1. Penambangan dan Pengolahan Biji Besi

Terlihat dari gambar 3 dan 4 bahwa bahan baku awal dalam pembuatan besi dan baja adalah biji besi (iron core). Biji besi yang didapatkan dari alam umumnya merupakan senyawa besi dengan oksigen seperti hematite (Fe_2O_3); magnetite (Fe_3O_4); limonite (Fe_2O_3); atau siderite (Fe_2CO_3). Pembentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang terjadi selama beribu-ribu tahun?. Kandungan senyawa besi di bumi ini mencapai 5 % dari seluruh kerak bumi ini.

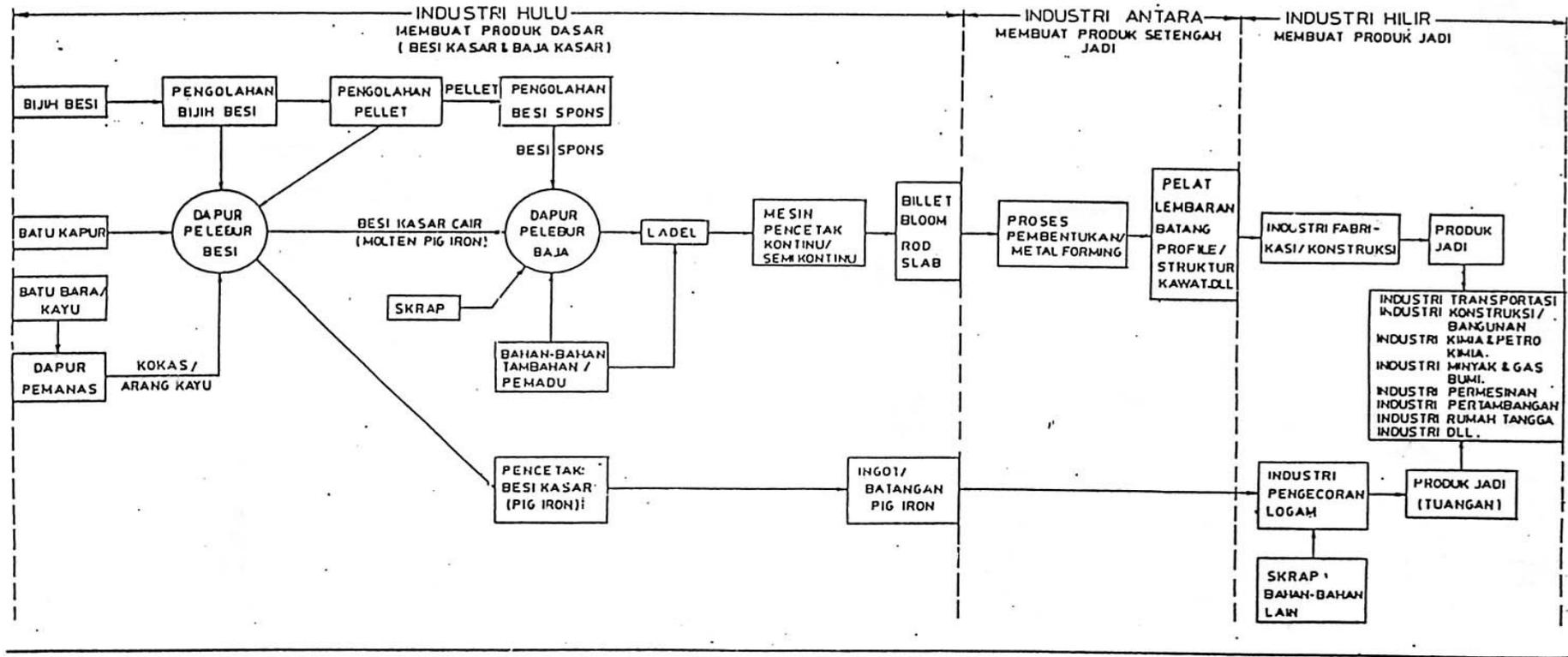
Penambangan biji besi tergantung keadaan dimana biji besi tersebut ditemukan. Jika biji besi ada di permukaan bumi maka penambangan dilakukan dipermukaan bumi (open-pit mining), dan jika biji besi berada didalam tanah maka penambangan dilakukan dibawah tanah (underground mining). Karena biji besi didapatkan dalam bentuk senyawa dan bercampur dengan kotoran-kotoran lainnya maka sebelum dilakukan peleburan biji besi tersebut terlebih dahulu harus dilakukan pemurnian untuk mendapatkan konsentrasi biji yang lebih tinggi (25 - 40%). Proses pemurnian ini dilakukan dengan metode : *crushing*, *screening*, dan *washing* (pencucian). Untuk meningkatkan kemurnian menjadi lebih tinggi (60 - 65%) serta memudahkan dalam penanganan berikutnya, dilakukan proses agglomerasi.

Diagram Alir Proses Pengolahan Logam
Dalam Industri



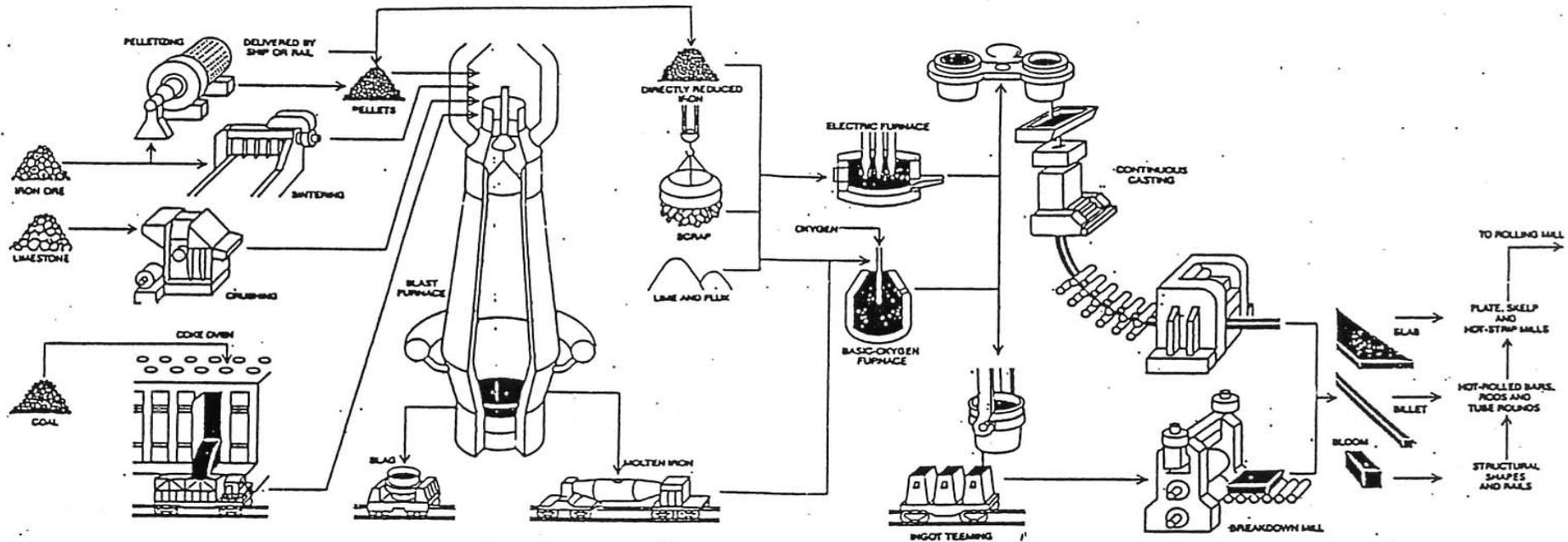
Gambar 2. Diagram alir Proses Pengolahan Logam Dalam Industri.

Gambar II.2 : ALIRAN PROSES / PEMBUATAN BESI & BAJA
MENURUT KELOMPOK
INDUSTRI



Gambar 3. Aliran Proses/Pembuatan Besi & Baja Menurut Kelompok Industri.

Gambar II.3 : PROSES PEMBUATAN BESI DAN BAJA, MULAI DARI BIJI BESI - SAMPAI MENJADI PRODUK JADI DENGAN MENGGUNAKAN DAPUR - TINGGI (BLAST FURNACE).



Gambar 4. Proses Pembuatan Besi dan Baja, Mulai Dari Biji Besi Sampai Menjadi Produk Jadi Dengan Menggunakan Dapur Tinggi (Blast Furnace).

Langkah-langkah proses agglomerasi adalah sebagai berikut :

- Biji besi dihancurkan menjadi partikel-partikel halus (serbuk).
- Partikel-partikel biji besi kemudian dipisahkan dari kotoran-kotoran dengan cara pemisahan magnet (magnetic separator) atau metode lainnya.
- Serbuk biji besi selanjutnya dibentuk menjadi pellet berupa bola-bola kecil berdiameter antara 12,5 - 20 mm.
- Terakhir, pellet biji besi dipanaskan melalui proses sinter/pemanasan hingga temperatur 1300 °C agar pellet tersebut menjadi keras dan kuat sehingga tidak mudah rontok.

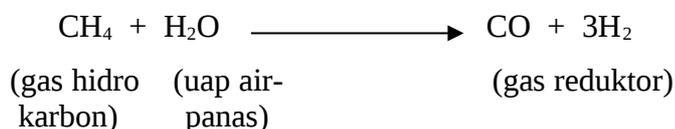
1.2.1.2. Proses Reduksi

Tujuan proses reduksi adalah untuk menghilangkan ikatan oksigen dari biji besi. Proses reduksi ini memerlukan gas reduktor seperti hidrogen atau gas karbon monoksida (CO).

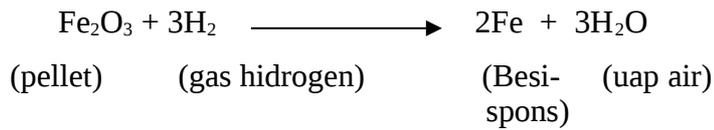
Proses reduksi ini ada 2 macam yaitu proses reduksi langsung dan proses reduksi tidak langsung.

a. Proses Reduksi Langsung

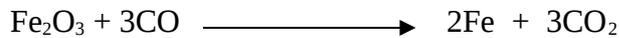
Proses ini biasanya digunakan untuk merubah pellet menjadi besi spons (sponge iron) atau sering disebut: besi hasil reduksi langsung (direct reduced iron). Gas reduktor yang dipakai biasanya berupa gas hidrogen atau gas CO yang dapat dihasilkan melalui pemanasan gas alam cair (LNG) dengan uap air didalam suatu reaktor yaitu melalui reaksi kimia berikut :



Dengan menggunakan gas CO atau hidrogen dari persamaan diatas maka proses reduksi terhadap pellet biji besi dapat dicapai melalui reaksi kimia berikut ini :



atau



b. Proses Reduksi Tidak Langsung

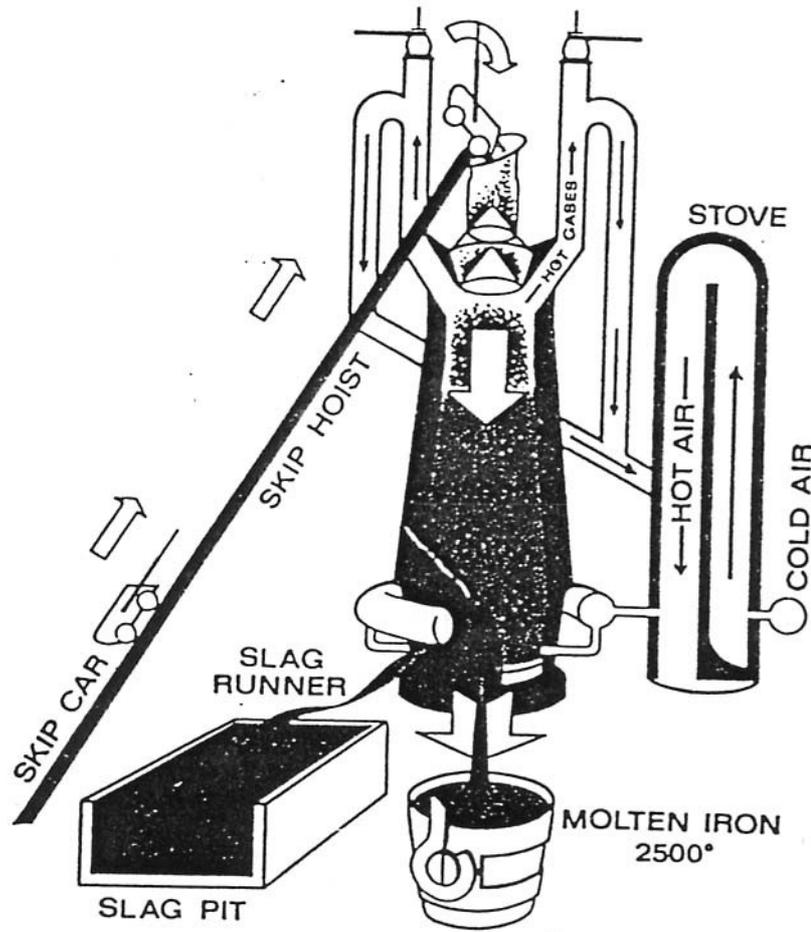
Proses ini dilakukan dengan menggunakan tungku pelebur yang disebut juga tanur tinggi (*blast furnace*). Sketsa tanur tinggi diperlihatkan pada gambar 5. Biji besi hasil penambangan dimasukkan ke dalam tanur tinggi tersebut dan didalam tanur tinggi dilakukan proses reduksi tidak langsung yang cara kerjanya sebagai berikut :

Bahan bakar yang digunakan untuk tanur tinggi ini adalah batu bara yang telah dikeringkan (kokas). Kokas dengan kandungan karbon (C) diatas 80%, tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar, tetapi juga berfungsi sebagai pembentuk gas CO yang berfungsi sebagai reduktor. Untuk menimbulkan proses pembakaran maka ke dalam tanur tersebut ditiupkan udara dengan menggunakan blower (gambar 5) sehingga terjadi proses oksidasi sebagai berikut :



Gas CO yang terjadi dapat menimbulkan reaksi reduksi terhadap biji yang dimasukkan ke dalam tanur tersebut. Sedangkan panas yang ditimbulkan berguna untuk mencairkan besi yang telah tereduksi tersebut.

Untuk mengurangi kotoran-kotoran (impuritas) dari logam cair, ke dalam tanur biasanya ditambahkan sejumlah batu kapur (limestone). Batu kapur tersebut akan membentuk terak (slag) dan dapat mengikat kotoran-kotoran yang ada didalam logam cair. Karena berat jenis terak lebih rendah dari berat jenis cairan besi maka terak tersebut berada dipermukaan logam cair sehingga dapat dikeluarkan melalui lubang terak (lihat gambar 5).



Gambar 5. Konstruksi sebuah tanur tinggi (Blast Furnace).

Besi hasil proses tanur tinggi ini disebut juga besi kasar (pig iron). Besi kasar ini merupakan bahan dasar untuk membuat besi tuang (cast iron) dan baja (steel). Komposisi kimia unsur-unsur pepadu dalam besi kasar ini terdiri dari 3-4 %C; 0,06-0,10 %S; 0,10-0,50 %P; 1-3 %Si dan sejumlah unsur-unsur lainnya, sebagai bahan impuritas. Karena kadar karbonnya tinggi, maka besi kasar mempunyai sifat yang sangat rapuh dengan kekuatan rendah serta menampakkan wujud seperti grafit.

Untuk pembuatan besi tuang, besi kasar tersebut biasanya dicetak dalam bentuk lempengan-lempengan (ingot) yang kemudian di lebur kembali oleh pabrik pengecoran (foundry). Sedangkan untuk pembuatan baja, besi kasar dalam keadaan cair langsung dipindahkan dari tanur tinggi ke dalam tungku pelebur lainnya yang sering disebut : tungku oksigen basa (basic

oxygen furnace, atau disingkat BOF). Dalam tungku BOF ini kadar karbon besi kasar akan diturunkan sehingga mencapai tingkat kadar karbon baja.

1.2.1.3. Proses Peleburan Besi Tuang dan Baja

Dilihat dari komposisi kimia yaitu dari unsur-unsur yang terkandung antara besi tuang dan baja karbon tidak menunjukkan perbedaan (lihat tabel 1). Tetapi perbedaannya terletak pada kadar karbon (C) dan kadar Silikon (Si) dimana kadar dari kedua elemen ini dalam besi tuang lebih tinggi dari baja karbon. Karena itu dilihat dari sistem paduan, maka baja karbon termasuk sistem Fe - C, sedangkan besi tuang termasuk sistem Fe-C-Si.

Karena perbedaan kadar C dan Si tersebut maka struktur dan sifat-sifat besi tuang berbeda dengan struktur dan sifat-sifat baja karbon. Struktur besi tuang pada umumnya mengandung grafit sedangkan pada baja tidak terjadi grafit. Karena adanya grafit ini maka besi tuang mempunyai sifat kurang kuat dan rapuh sedangkan baja pada umumnya mempunyai sifat kuat dan lebih ulet.

Perbedaan kadar C dan Si menyebabkan titik lebur besi tuang lebih rendah dari baja, sehingga proses peleburannya berbeda. Berikut ini dijelaskan secara singkat cara peleburan besi tuang dan baja.

a. Proses Peleburan Besi Tuang

Peleburan besi tuang biasanya dilakukan dalam tungku yang sering disebut: Kupola.

Bentuk dan konstruksi Kupola tersebut hampir sama dengan konstruksi tanur tinggi (blast furnace) seperti yang telah ditunjukkan dalam gambar 4. Bahan baku yang dilebur terdiri dari ingot besi kasar yang dihasilkan dari proses tanur tinggi, ditambah dengan skrap baja ataupun skrap besi tuang (return scrap).

Disamping itu penambahan bahan-bahan seperti ferosilikon (FeSi) dan feromangan (FeMn) sering pula dilakukan. Hal ini dimaksudkan untuk menaikkan kembali kadar Si dan Mn dalam besi tuang karena sebagian dari kedua unsur tersebut biasanya berkurang (hilang) akibat oksidasi pada saat peleburan.

Bahan bakar yang digunakan adalah kokas dan dimasukkan ke dalam Kupola selang seling dengan muatan logam. Proses pembakaran terjadi dengan meniupkan udara ke dalam Kupola dengan menggunakan *Blower*. Untuk mendapatkan proses peleburan yang baik maka perbandingan antara muatan logam, bahan bakar dan kebutuhan udara harus dijaga sebaik mungkin.

Disamping membutuhkan bahan-bahan seperti yang disebutkan diatas, ke dalam Kupola juga ditambahkan sejumlah batu kapur. Bahan ini dapat membantu pembentukan terak (slag) yang dapat mengikat kotoran-kotoran sehingga memisahkannya dari besi cair.

Proses peleburan besi tuang dengan Kupola biasanya terjadi secara kontinyu artinya begitu muatan logam mencair maka langsung mengalir keluar tungku. Logam cair yang keluar dari Kupola ditampung pada alat perapian depan (*forehearth*) yang kemudian diangkut dengan menggunakan ladle untuk dituang ke dalam cetakan. Dengan proses peleburan seperti itu maka sering kali mempersulit untuk melakukan pengaturan komposisi kimia. Hal ini dapat mengakibatkan daerah komposisi kimia yang dihasilkan menjadi lebar sehingga memberikan variasi pula terhadap kualitas produk yang dibuat.

Disamping itu kekurangan lainnya pada proses peleburan dengan Kupola yaitu logam cair mudah mengalami kontaminasi oleh sulfur atau unsur-unsur lainnya yang disebabkan oleh bahan bakar kokas. Pengotoran karena sulfur ini dapat menurunkan sifat-sifat besi tuang.

Karena kekurangan-kekurangan di atas, maka dewasa ini banyak pabrik pengecoran menggunakan tungku listrik untuk menggantikan Kupola. Tungku listrik yang banyak digunakan adalah dari jenis tungku induksi. Bahan baku yang dilebur pada umumnya tidak menggunakan besi kasar melainkan sebagian besar berupa skrap baja atau skrap besi tuang. Peleburan dengan tungku ini dapat menghasilkan logam cair dengan komposisi kimia yang lebih konsisten dengan kadar impuritas yang lebih rendah karena bahan baku yang dilebur biasanya berupa skrap baja, maka untuk menaikkan kadar karbon agar mencapai kadar yang sesuai untuk besi tuang biasanya dilakukan dengan memasukkan sejumlah arang kayu ke dalam tungku.

Dalam pemakaian di industri, ada tiga jenis besi tuang yang banyak digunakan, yaitu: besi tuang kelabu (gray cast iron), besi tuang ulet atau besi tuang nodular (nodular cast iron) dan besi tuang putih (white cast iron). Ketiga jenis besi tuang ini mempunyai komposisi kimia yang hampir sama yaitu : 2,55 - 3,5 %C, 1-3 %Si, Mn kurang dari 1% sedangkan S dan P dibatasi antara 0,05-0,10 % (maksimum).

Walaupun komposisi kimianya hampir sama, tetapi karena prosesnya berbeda maka struktur dan sifat-sifat dari ketiga besi tuang tersebut berbeda.

b. Proses Peleburan Baja

Pada gambar 3 dan 4 ditunjukkan proses peleburan baja dengan menggunakan bahan baku berupa besi kasar (pig iron) atau berupa besi spons (sponge iron). Disamping itu bahan baku lainnya yang biasanya digunakan adalah skrap baja dan bahan-bahan penambah seperti ingot ferosilikon, feromangan dan batu kapur. Proses peleburan dapat dilakukan pada tungku BOF (Basic Oxygen Furnace) atau pada tungku busur listrik (Electric Arc Furnace atau disingkat EAF). Tanpa memperhatikan tungku atau proses yang diterapkan, proses peleburan baja pada umumnya mempunyai tiga tujuan utama, yaitu :

- mengurangi sebanyak mungkin bahan-bahan impuritas.
- mengatur kadar karbon agar sesuai dengan tingkat grade/spesifikasi baja yang diinginkan.
- menambah elemen-elemen padu yang diinginkan.

Proses Peleburan Baja Dengan BOF

Proses ini termasuk proses yang paling baru dalam industri pembuatan baja. Gambar sketsa dari tungku ini ditunjukkan dalam gambar 7. Terlihat bahwa dalam gambar tersebut bahwa konstruksi BOF relatif sederhana, bagian luarnya dibuat dari pelat baja sedangkan dinding bagian dalamnya dibuat dari bata tahan api (firebrick). Kapasitas BOF ini biasanya bervariasi antara 35 ton sampai dengan 200 ton.

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam proses peleburan dengan BOF adalah : besi kasar cair (65-85%), skrap baja (15-35%), batu kapur dan

gas oksigen (kemurnian 99,5%). Keunggulan proses BOF dibandingkan proses pembuatan baja lainnya adalah dari segi waktu peleburannya yang relatif singkat yaitu hanya berkisar sekitar 60 menit untuk setiap proses peleburan.

Tingkat efisiensi yang demikian tinggi dari BOF ini disebabkan oleh pemakaian gas oksigen dengan kemurnian yang tinggi sebagai gas oksidator utama untuk memurnikan baja. Gas oksigen dialirkan ke dalam tungku melalui pipa pengalir (oxygen lance) dan bereaksi dengan cairan logam di dalam tungku. Gas oksigen akan mengikat karbon dari besi kasar berangsur-angsur turun sampai mencapai tingkat baja yang dibuat. Disamping itu, selama proses oksidasi berlangsung terjadi panas yang tinggi sehingga dapat menaikkan temperatur logam cair sampai di atas 1650 °C.

Pada saat oksidasi berlangsung, ke dalam tungku ditambahkan batu kapur. Batu kapur tersebut kemudian mencair dan bercampur dengan bahan-bahan impuritas (termasuk bahan-bahan yang teroksidasi) membentuk terak yang terapung di atas baja cair.

Bila proses oksidasi selesai maka aliran oksigen dihentikan dan pipa pengalir oksigen diangkat/dikeluarkan dari tungku. Tungku BOF kemudian dimiringkan dan benda uji dari baja cair diambil untuk dilakukan analisa komposisi kimia.

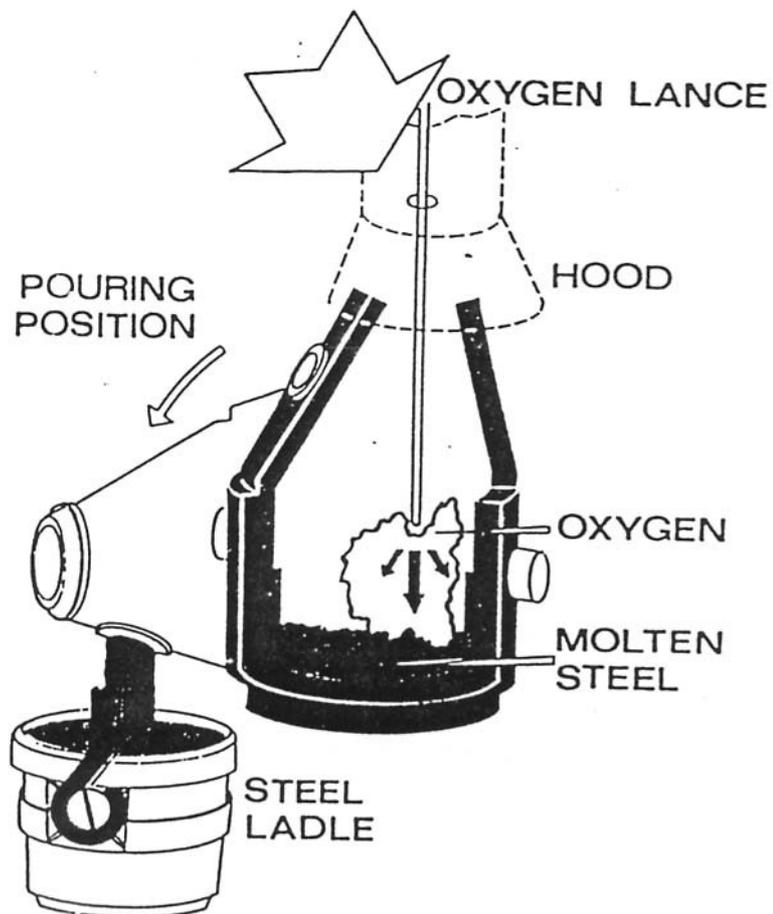
Bila komposisi kimia telah tercapai maka dilakukan penuangan (tapping). Penuangan tersebut dilakukan ketika temperatur baja cair sekitar 1600 °C. Penuangan dilakukan dengan memiringkan perlahan-lahan sehingga cairan baja akan tertuang masuk ke dalam ladle. Di dalam ladle biasanya dilakukan skimming untuk membersihkan terak dari permukaan baja cair dan proses perlakuan logam cair (*metal treatment*). *Metal treatment* tersebut terdiri dari proses pengurangan impuritas dan penambahan elemen-elemen padu atau lainnya dengan maksud untuk memperbaiki kualitas baja cair sebelum dituang ke dalam cetakan.

Proses Peleburan Baja Dengan EAF

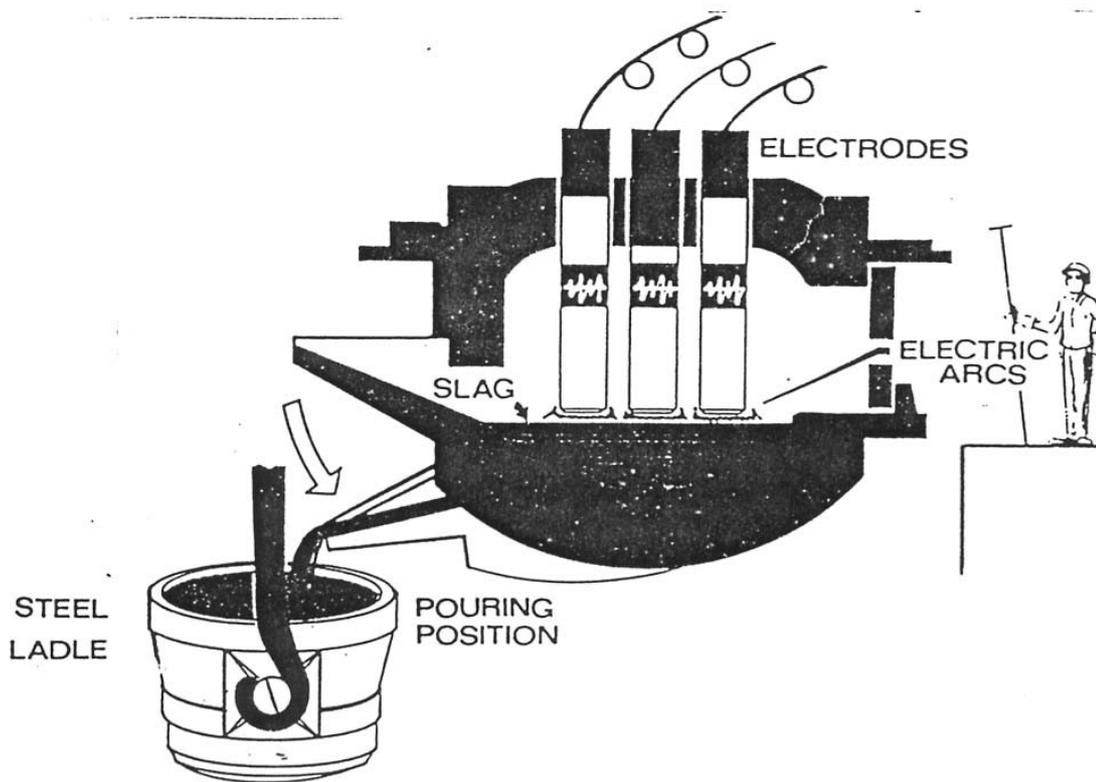
Proses peleburan dalam EAF ini menggunakan energi listrik. Konstruksi tungku ini ditunjukkan dalam gambar 8. Panas dihasilkan dari busur listrik yang

terjadi pada ujung bawah dari elektroda. Energi panas yang terjadi sangat tergantung pada jarak antara elektroda dengan muatan logam di dalam tungku. Bahan elektroda biasanya dibuat dari karbon atau grafit. Kapasitas tungku EAF ini dapat berkisar antara 2 - 200 ton dengan waktu peleburannya berkisar antara 3 - 6 jam.

Bahan baku yang dilebur biasanya berupa besi spons (sponge iron) yang dicampur dengan skrap baja. Penggunaan besi spons dimaksudkan untuk menghasilkan kualitas baja yang lebih baik. Tetapi dalam banyak hal (terutama untuk pertimbangan biaya) bahan baku yang dilebur seluruhnya berupa skrap baja, karena skrap baja lebih murah dibandingkan dengan besi spons.



Gambar 7. Gambar sketsa sebuah tungku BOF.



Gambar 8. Gambar sketsa sebuah tungku listrik dari jenis electric arc furnace (EAF).

Disamping bahan baku diatas, seperti halnya pada proses BOF, bahan-bahan lainnya yang ditambahkan pada EAF adalah batu kapur, ferrosilikon, feromangan, dan lain-lain dengan maksud yang sama pula.

Proses basa dan asam dapat diterapkan dalam EAF. Untuk pembuatan baja berupa produk cor maka biasanya digunakan proses asam, sedangkan untuk pembuatan baja spesial biasanya digunakan proses basa.

Peleburan baja dengan EAF ini dapat menghasilkan kualitas baja yang lebih baik karena tidak terjadi kontaminasi oleh bahan bakar atau gas yang digunakan untuk proses pemanasannya.

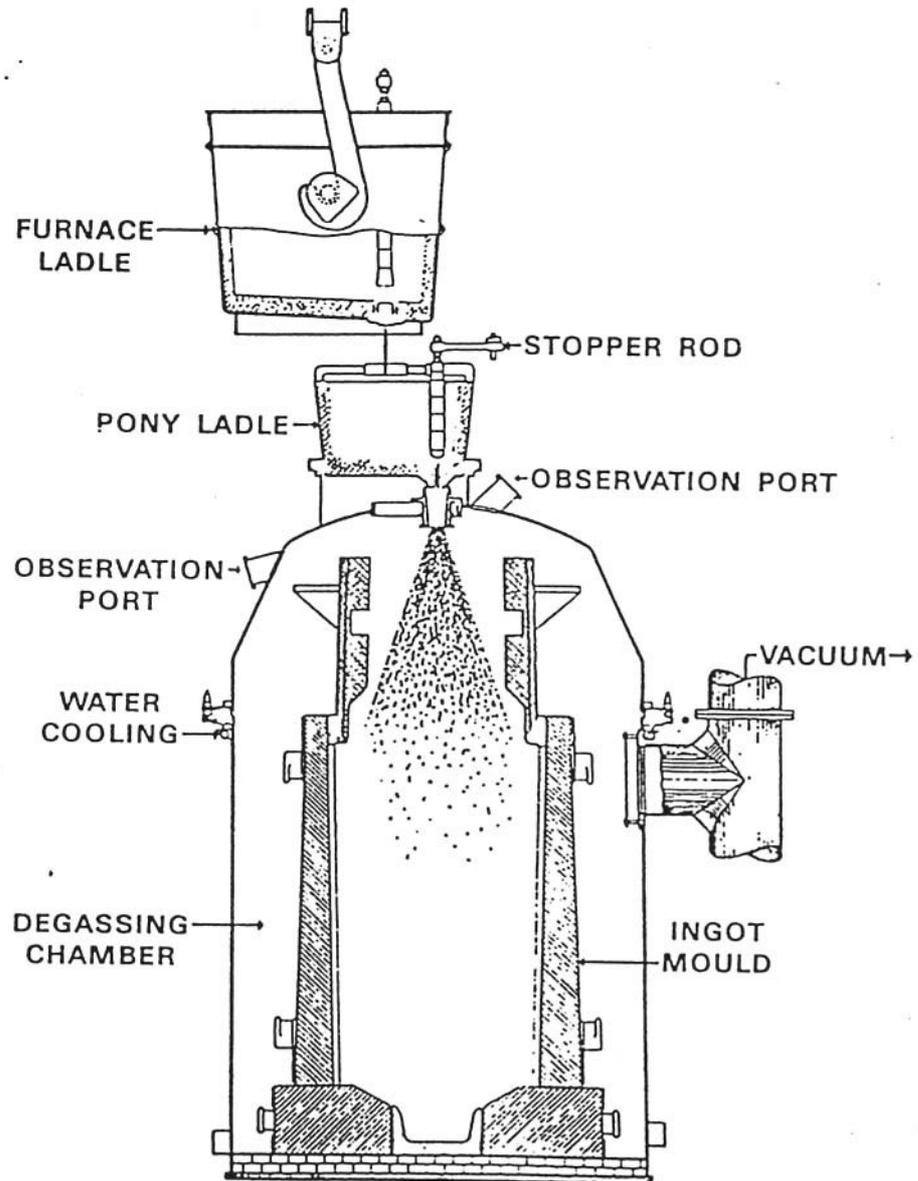
Proses Peningkatan Kualitas Baja

Untuk memperoleh kualitas baja yang tinggi maka sebelum cairan baja dituang membentuk ingot atau bentuk antara lainnya seperti : *billet*, *bloom* atau *slab*, seringkali dilakukan proses-proses seperti :

- proses de-oksidasi, atau
- proses vacuum-degassing.

Proses de-oksidasi dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan deoksidator seperti ferrosilikon dan aluminium ke dalam ladle sesaat sebelum logam cair dituang. Bahan deoksidator tersebut dapat mengurangi pembentukan gas yang disebabkan oleh reaksi karbon dengan oksigen serta mengurangi pembentukan oksida-oksida yang dapat menimbulkan inklusi ketika logam membeku. Berdasarkan tingkat proses deoksidasi yang dilakukan, baja dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu: *rimmed steel*, *semikilled steel*, *killed steel* dan *capped steel*.

Vacuum degassing dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar gas hidrogen dalam baja cair sehingga dapat menghindari terbentuknya rongga-rongga udara di dalam baja ketika proses pembekuan. Disamping mengurangi kadar hidrogen, proses *vacuum degassing* juga dimaksudkan untuk menurunkan kadar oksigen dan nitrogen di dalam baja sehingga baja menjadi lebih bersih, bebas dari inklusi-inklusi seperti oksida-oksida atau nitrida. Teknik *vacuum degassing* ini ditunjukkan dalam gambar 9.



Gambar 9. Teknik Vacuum Degassing untuk menghasilkan baja berkualitas tinggi (baja yang bersih).

1.3. Proses Pembuatan Aluminium

Dalam lima dasawarsa terakhir ini aluminium telah menjadi salah satu logam industri yang paling luas penggunaannya di dunia. Aluminium banyak digunakan didalam semua sektor utama industri seperti angkutan, konstruksi, listrik, peti kemas dan kemasan, alat rumah tangga serta peralatan mekanis.

Penggunaan aluminium yang luas disebabkan aluminium memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari logam lainnya seperti :

- **Ringan:** memiliki bobot sekitar 1/3 dari bobot besi dan baja, atau tembaga dan karenanya banyak digunakan dalam industri transportasi seperti angkutan udara.
- **Kuat:** terutama bila dipadu dengan logam lain. Digunakan untuk pembuatan produk yang memerlukan kekuatan tinggi seperti: pesawat terbang, kapal laut, bejana tekan, kendaraan dan lain-lain.
- **Mudah dibentuk** dengan semua proses pengerjaan logam. Mudah dirakit karena dapat disambung dengan logam/material lainnya melalui pengelasan, *brazing*, *solder*, *adhesive bonding*, sambungan mekanis, atau dengan teknik penyambungan lainnya.
- **Tahan korosi:** sifatnya durabel sehingga baik dipakai untuk lingkungan yang dipengaruhi oleh unsur-unsur seperti air, udara, suhu dan unsur-unsur kimia lainnya, baik di ruang angkasa atau bahkan sampai ke dasar laut.
- **Konduktor listrik:** setiap satu kilogram aluminium dapat menghantarkan arus listrik dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan tembaga. Karena aluminium relatif tidak mahal dan ringan, maka aluminium sangat baik untuk kabel-kabel listrik overhead maupun bawah tanah.
- **Konduktor panas:** sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada mesin-mesin/alat-alat pemindah panas sehingga dapat memberikan penghematan energi.
- **Memantulkan sinar dan panas:** Dapat dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki kemampuan pantul yang tinggi yaitu sekitar 95% dibandingkan dengan kekuatan pantul sebuah cermin. Sifat pantul ini menjadikan aluminium sangat baik untuk peralatan penahan radiasi panas.

- **Non magnetik:** dan karenanya sangat baik untuk penggunaan pada peralatan listrik/elektronik, pemancar radio/TV dan lain-lain, dimana diperlukan faktor magnetisasi negatif.
- **Tak beracun:** dan karenanya sangat baik untuk penggunaan pada industri makanan, minuman, dan obat-obatan, yaitu untuk peti kemas dan pembungkus.
- **Memiliki ketangguhan yang baik:** dalam keadaan dingin dan tidak seperti logam lainnya yang menjadi getas bila didinginkan. Sifat ini sangat baik untuk penggunaan pada pemrosesan maupun transportasi LNG dimana suhu gas cair LNG ini dapat mencapai dibawah $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- **Menarik:** dan karena itu aluminium sering digunakan tanpa diberi proses pengerjaan akhir. Tampak permukaan aluminium sangat menarik dan karena itu cocok untuk perabot rumah (hiasan), bahan bangunan dan mobil. Disamping itu aluminium dapat diberi *surface treatment*, dapat dikilapkan, disikat atau dicat dengan berbagai warna, dan juga diberi proses anodisasi. Proses ini menghasilkan lapisan yang juga dapat melindungi logam dari goresan dan jenis abrasi lainnya.
- **Mampu diproses ulang:** yaitu dengan mengolahnya kembali melalui proses peleburan dan selanjutnya dibentuk menjadi produk seperti yang diinginkan Proses daur ulang ini dapat menghemat energi, modal dan bahan baku yang berharga.

1.3.1. Proses Penambangan Aluminium

Aluminium ditambang dari biji bauksit yang banyak terdapat di permukaan bumi. Bauksit yang ditambang untuk keperluan industri mempunyai kadar aluminium 40-60%. Setelah ditambang biji bauksit digiling dan dihancurkan supaya halus dan merata. Kemudian dilakukan proses pemanasan untuk mengurangi kadar air yang ada. Selanjutnya bauksit mengalami proses pemurnian.

1.3.2. Proses Pemurnian Aluminium

Proses pemurnian bauksit dilakukan dengan metode Bayer dan hasil akhir adalah alumina. Tahapan pemurnian aluminium bisa dilihat pada gambar 10. Pertama-tama bauksit dicampur dengan larutan kimia seperti kaustik soda. Campuran tersebut kemudian dipompa ke tabung tekan dan kemudian dilakukan pemanasan. Proses selanjutnya dilakukan penyaringan dan diikuti dengan proses penyemaian untuk membentuk endapan alumina basah (*hydrated alumina*). Alumina basah kemudian dicuci dan diteruskan dengan proses pengeringan dengan cara memanaskan sampai suhu 120 °C. Hasil akhir adalah partikel-partikel alumina dengan rumus kimianya adalah Al_2O_3 .

1.3.3. Proses Peleburan Aluminium

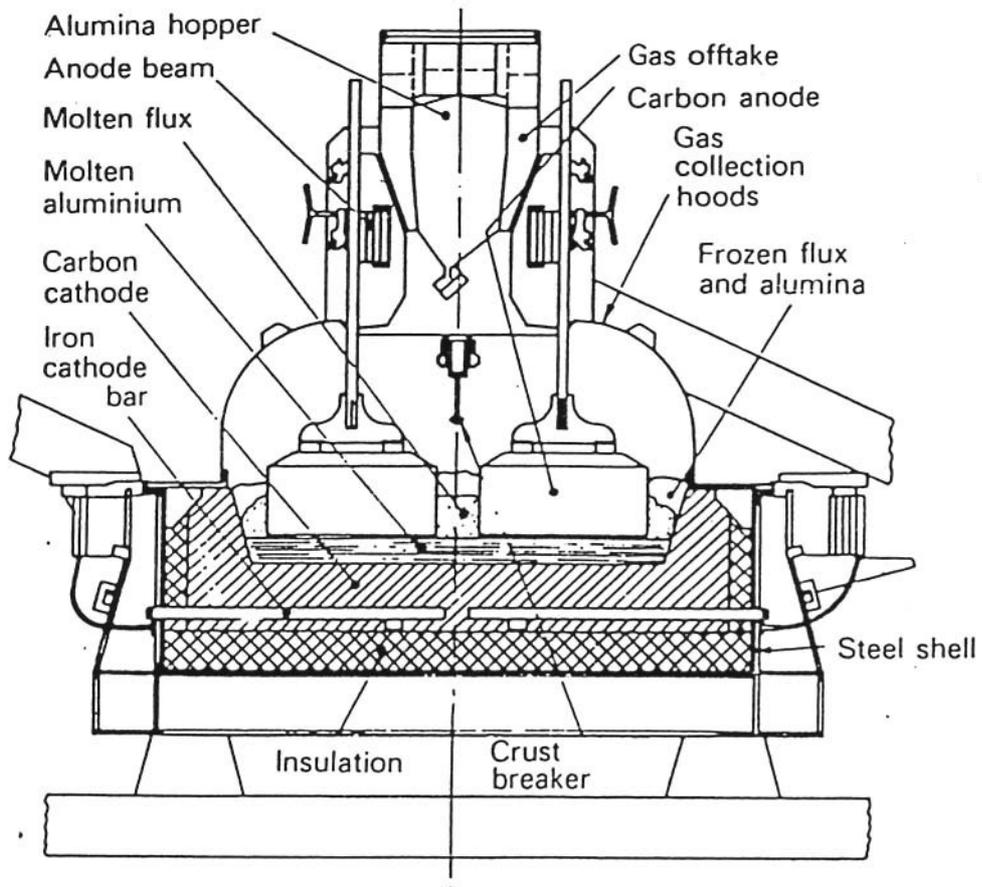
Alumina yang dihasilkan dari proses pemurnian masih mengandung oksigen sehingga harus dilakukan proses selanjutnya yaitu peleburan. Peleburan alumina dilakukan dengan proses reduksi elektrolitik (gambar 11). Proses peleburan ini memakai metode **Hall-Heroult**.

Alumina dilarutkan dalam larutan kimia yang disebut **kriolit** pada sebuah tungku yang disebut **pot**.

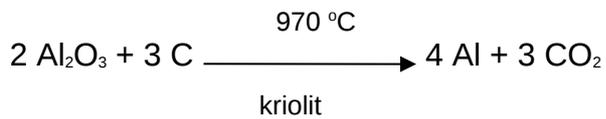
Pot ini mempunyai dinding yang dibuat dari karbon. Bagian luar pot terbuat dari baja. Aliran listrik diberikan melalui anoda dan katoda. Proses reduksi memerlukan karbon yang diambil dari anoda. Pada proses ini dibutuhkan arus listrik searah (DC) sebesar 50 - 150 kiloampere.

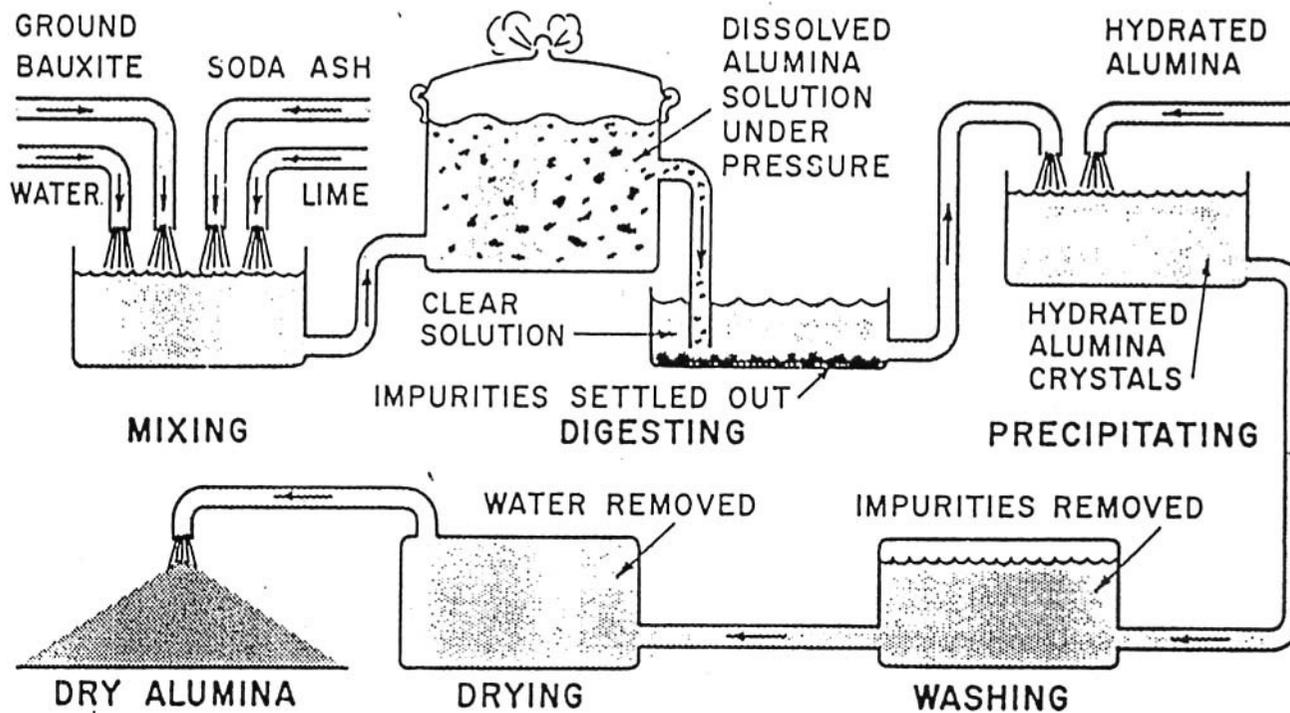
Arus listrik akan mengelektrolisa alumina menjadi aluminium dan oksigen bereaksi membentuk senyawa CO_2 . Aluminium cair dari hasil elektrolisa akan turun ke dasar pot dan selanjutnya dialirkan dengan prinsip siphon ke krusibel yang kemudian diangkat menuju tungku-tungku pengatur (*holding furnace*).

Kebutuhan listrik yang dihabiskan untuk menghasilkan 1 kg aluminium berkisar sekitar 12 - 15 kWh. Satu kg aluminium dihasilkan dari 2 kg alumina dan ½ kg karbon. Reaksi pemurnian alumina menjadi aluminium adalah sbb:



Gambar 11. Proses peleburan alumina menjadi aluminium dengan cara elektrolisis.





Gambar 10. Tahapan proses pemurnian bauksit menjadi alumina.

Soal-soal:

1. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi mutu/performans logam.
2. Apa perbedaan antara industri hulu, industri antara dan industri hilir.
3. Jelaskan tentang Proses Peleburan Besi Tuang dan Baja.
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan proses reduksi langsung dan proses reduksi tak langsung pada pengolahan logam besi.
5. Dalam upaya meningkatkan kualitas baja, maka dilakukan dengan cara *proses deoksidasi* atau *proses vacuum-degassing*. Jelaskan kedua metode/cara tersebut.
6. Coba jelaskan prosedur proses peleburan alumina menjadi aluminium dengan cara elektrolitis.

BAB 2

PROSES PENGECORAN

2.1. Pendahuluan

Proses pengecoran melalui beberapa tahap: pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetakan. Hasil pengecoran disebut dengan coran atau benda cor.

Proses pengecoran bisa dibedakan atas 2 yaitu: proses pengecoran dan proses pencetakan. Proses pengecoran tidak menggunakan tekanan sewaktu mengisi rongga cetakan sedangkan proses pencetakan adalah logam cair ditekan agar mengisi rongga cetakan. Cetakan untuk kedua proses ini berbeda dimana proses pengecoran cetakan biasanya dibuat dari pasir sedangkan proses pencetakan, cetakannya dibuat dari logam.

Cetakan pasir yang digunakan dalam proses pengecoran berdasarkan jenis pola dibedakan atas:

1. pola yang dapat digunakan berulang-ulang
2. pola sekali pakai.

2.2. Jenis-jenis Cetakan

Berdasarkan bahan yang digunakan, cetakan diklasifikasikan atas :

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

Cetakan dibuat dari pasir basah yaitu pasir yang dibasahi dengan air.

2. *Cetakan kulit kering* (skin dried mold)

Ada dua cara pembuatan cetakan kulit kering :

1. Pasir disekitar pola setebal kira-kira 10 mm dicampur dengan pengikat sehingga bila pasir mengering terbentuk permukaan yang keras. Bagian lainnya terdiri dari pasir basah biasa.

2. Seluruh cetakan dibuat dari pasir basah kemudian permukaannya yang bersinggungan dengan pola disemprot atau dilapisi bahan yang mengeras bila dipanaskan. Pelapis terdiri dari minyak cat, molas, sagu atau bahan sejenis. Permukaan harus dikeringkan dengan tiupan udara atau dengan pemanasan.

3. *Cetakan pasir kering*

Cetakan dibuat dari pasir yang kasar dengan menggunakan material untuk pengikat. Tempat cetakan terbuat dari bahan logam. Cetakan pasir kering tidak menyusut sewaktu kena panas dan bebas dari gelembung udara.

4. *Cetakan lempung (Loam mold)*

Cetakan lempung biasanya digunakan untuk cetakan benda yang besar. Kerangka cetakan terbuat dari batu bata atau besi yang dilapis dengan lempung kemudian diperhalus permukaannya. Pembuatan cetakan ini biasanya memerlukan waktu yang lama.

5. *Cetakan furan (Furan mold)*

Pasir yang kering dan tajam dicampur dengan asam fosfor yang dalam hal ini merupakan reagens pemercepat. Resin *furan* ditambahkan secukupnya dan campuran diaduk hingga resin merata. Pasir dibentuk dan dibiarkan mengeras yaitu sekitar 1 atau 2 jam.

6. *Cetakan CO₂*

Pasir yang bersih dicampur dengan natrium silikat dan campuran dipadatkan di sekitar pola, kemudian dialirkan gas CO₂ dan campuran akan mengeras. Cetakan CO₂ digunakan untuk bentuk yang rumit dan permukaan cetakannya licin.

7. *Cetakan logam*

Cetakan ini banyak digunakan pada cetakan *die-casting* (cetak-tekan) logam dengan suhu lelehnya rendah. Cetakan mempunyai permukaan yang licin.

8. *Cetakan khusus*

Cetakan khusus adalah cetakan yang terbuat dari plastik, kertas, kayu, semen, plaster atau karet.

Proses pembuatan cetakan dibedakan atas :

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

Dipakai untuk benda-benda cor yang kecil.

2. *Pembuatan cetakan di lantai*

Dilakukan untuk benda cor yang berukuran sedang atau besar.

3. *Pembuatan cetakan sumuran* (Pit molding)

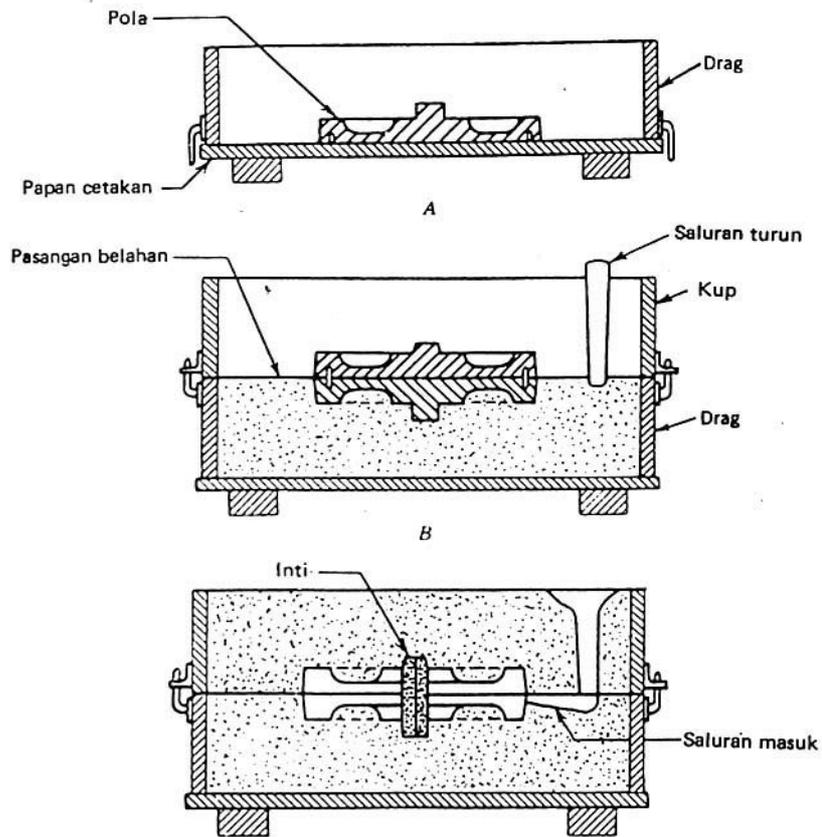
Digunakan untuk benda cor yang besar. Benda cor dituang dalam sumuran. Sumuran terdiri dari *drag* dan *kup*. Sisi sumuran diperkuat dengan bata dan alas ditutupi lapisan sinter yang tebal yang dihubungkan dengan pipa-pipa pelepas gas ke lantai pabrik. Cetakan ini tahan terhadap tekanan tinggi.

4. *Pembuatan cetakan dengan mesin*

Pekerjaan memadatkan pasir, membalik cetakan, dan membuat saluran masuk dilakukan dengan mesin sehingga pekerjaan menjadi lebih cepat dan efisien.

Prosedur pembuatan cetakan pasir

Pertama-tama, belahan pola diletakkan diatas papan kayu yang rata. Kemudian rangka cetak bawah (*drag*) diletakkan diatas kayu (lihat gambar 1). *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.



Gambar 5.2. Prosedur pembuatan cetakan pasir. *A*, Belahan pola diletakkan di atas 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.

Gambar 1. Prosedur pembuatan cetakan pasir.

Cetakan bagian bawah tersebut kemudian dibalik, dengan demikian kup (cetakan atas) bisa dipasang. Sebelum dibalik, ditaburkan pasir kering dan di atasnya 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 (gambar 1b), 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.

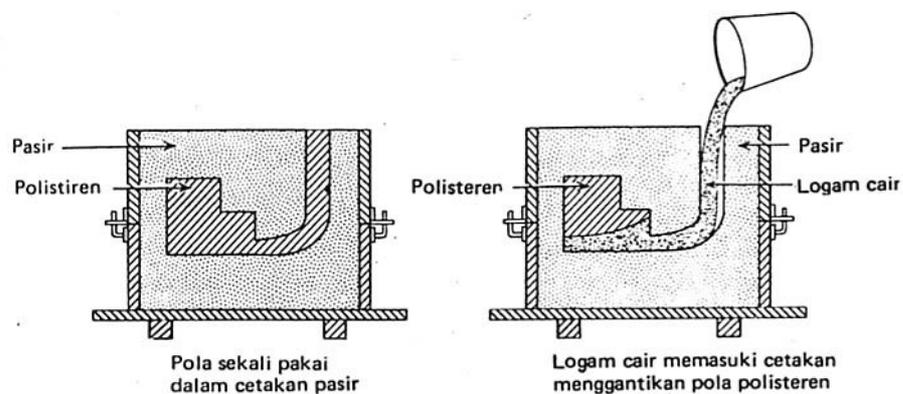
Untuk mengambil pola, pertama-tama saluran turun dicabut, kemudian dibuat cawan tuang pada ujung saluran turun sehingga memudahkan

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.

Cetakan Pola Sekali Pakai

Pola sekali pakai umumnya terdiri dari satu bagian. Umumnya cetakan dibuat dari pasir basah, namun pasir jenis lainnya juga banyak digunakan. Saluran turun dan bagian dari sistem saluran masuk merupakan bagian dari pola. Pola termasuk saluran turun dan saluran tuangnya ditinggalkan dalam cetakan. Pada saat proses pencetakan dimana logam cair dialirkan ke dalam cetakan, pola yang umumnya terbuat dari polistiren akan menguap dan logam cair akan mengisi rongga cetakan. Proses pengecoran pola sekali pakai bisa dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Cetakan pola sekali pakai.

Keuntungan-keuntungan dari proses ini adalah :

1. Sangat tepat untuk mengecor benda-benda dalam jumlah kecil
2. Tidak memerlukan pemesinan lagi
3. Menghemat bahan coran
4. Permukaan mulus
5. Tidak diperlukan pembuatan pola belahan kayu yang rumit

6. Tidak diperlukan inti atau kotak inti
7. Pengecoran lebih sederhana.

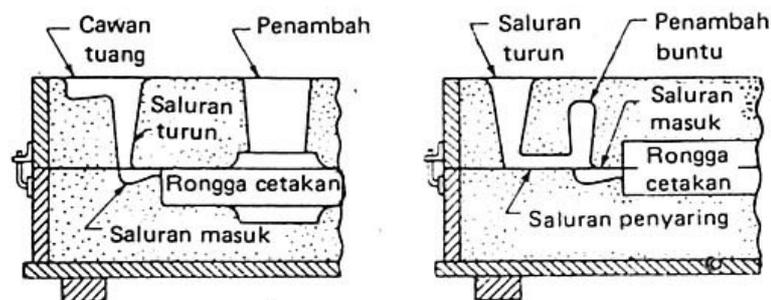
Kerugiannya adalah:

1. Pola rusak/menguap sewaktu dilakukan pengecoran
2. Pola mudah rusak, karena itu butuh penanganan yang hati-hati
3. Pada pembuatan pola tidak dapat digunakan mesin mekanik
4. Tidak ada kemungkinan untuk memeriksa keadaan rongga cetakan.

Saluran Masuk, Penambah Dan Karakteristik Pembekuan

Sistem saluran masuk (*gating system*) bertujuan mengalirkan logam cair ke dalam rongga cetakan. Saluran masuk terdiri dari cawan tuang, saluran turun, pengalir dan saluran masuk tempat logam mengalir memasuki rongga cetakan. Dalam merancang saluran masuk perlu diperhatikan hal-hal berikut :

1. Aliran logam cair hendaknya memasuki rongga cetakan pada bagian dasar atau dekat dasarnya dengan turbulensi seminimal mungkin.
2. Hindarkan terjadinya pengikisan dinding saluran masuk serta rongga cetakan dengan mengatur aliran logam cair.
3. Pembekuan diusahakan terarah yaitu dimulai dari permukaan cetakan ke arah masuknya logam cair.
4. Usahakan agar kotoran, slag, atau partikel lainnya tidak masuk ke rongga cetakan.

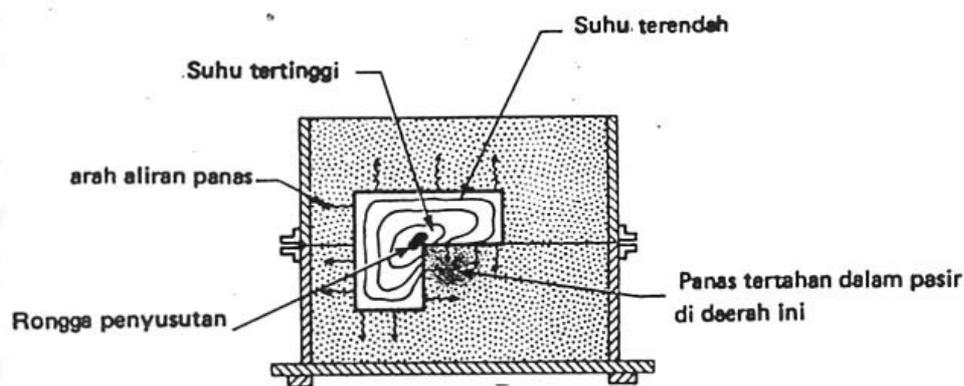


Gambar 3. Cara pengaliran logam cair ke rongga cetakan.

Cawan tuang dibuat untuk memudahkan ketika menuang logam cair dan untuk mencegah masuknya terak ke dalam cetakan. Saluran penyaring untuk mencegah masuknya terak atau partikel lainnya masuk ke dalam saluran turun kedua.

Penambah (*riser*) digunakan sebagai cadangan logam cair untuk menutup rongga karena penyusutan.

Penyusutan selalu terjadi jika logam membeku dan apabila penyusutan tidak diatur dengan baik maka bisa menimbulkan rongga penyusutan yang besar. Umumnya rongga penyusutan terjadi pada daerah dengan temperatur paling tinggi atau di tempat dimana terjadi pembekuan paling akhir.

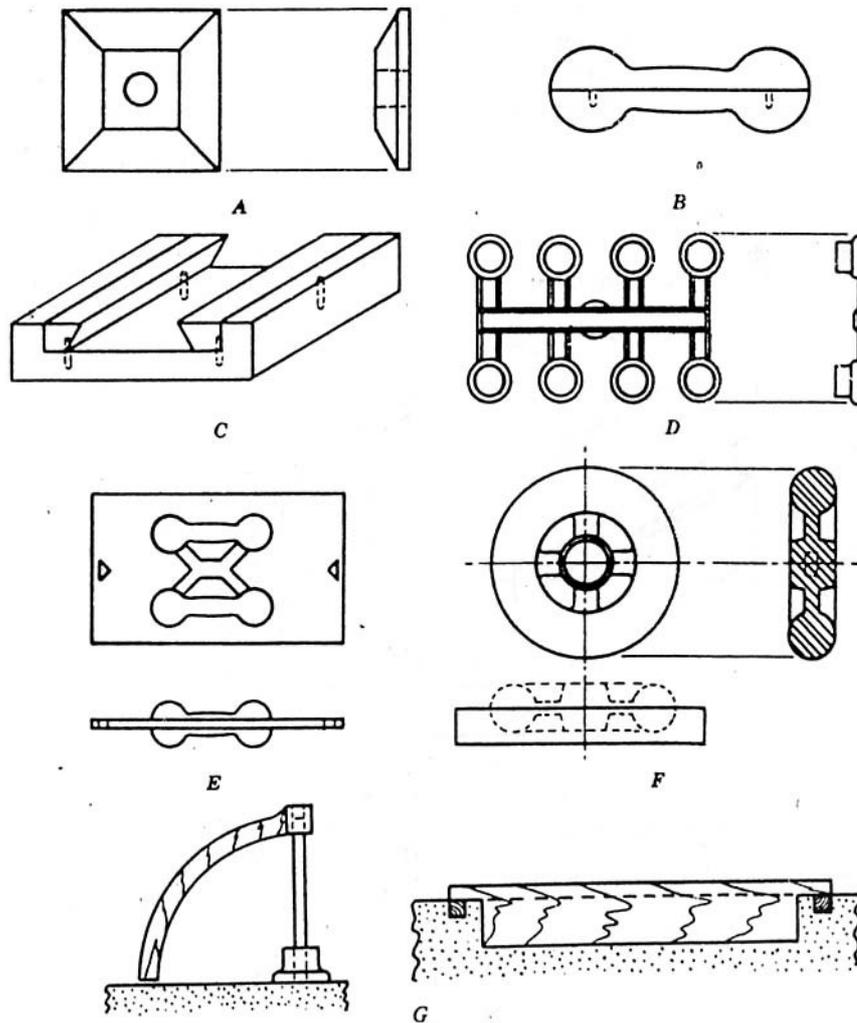


Gambar 4. Isotherm yang menunjukkan daerah dimana mungkin terjadi rongga penyusutan.

2.3. Pola

Pola mempunyai beberapa jenis. Bentuk-bentuk pola bisa dilihat pada gambar 5. Pola yang paling sederhana, A, merupakan pola tunggal. Kadang-kadang pola dibuat dalam 2 bagian untuk memudahkan pembuatan cetakan seperti pola B.

Untuk membuat cetakan dalam jumlah banyak, dapat digunakan pola lengkap dengan sistem saluran, lihat gambar D. Biasanya pola jenis ini dibuat dari logam sehingga lebih kuat sekaligus mencegah pelenturan akibat kelembaban.



Gambar 5. Jenis pola A. Pola tunggal; B. Pola belah atau pola terpisah; C. Pola terlepas; D. Pola dengan sistem saluran; E. Pola dengan papan penyambung; F. Papan penuntun untuk pola roda; G. Pola sipat; sipat lengkung untuk inti pasir bawah yang besar dan sipat datar untuk alur.

Pada pembuatan pola harus diperhatikan beberapa hal antara lain: pengaruh penyusutan logam cair, ketirusan, penyelesaian, distorsi dan kelonggaran, sehingga akan didapat benda cor yang sesuai dengan benda yang akan dibuat.

Penyusutan

Karena logam akan menyusut pada waktu pembekuan, maka perlu ditambahkan ukuran penyusutan. Untuk kemudahan, untuk besi cor dapat digunakan mistar susut yang 1,04% atau 0,0104 mm/mm lebih panjang dari

ukuran standar. Untuk brons/perunggu perlu ditambah 1,56%, baja 2,08%, aluminium dan magnesium 1,30%.

Tirus

Bila pola diangkat maka tepi cetakan pasir yang bersentuhan dengan pola dapat ikut terangkat. Oleh sebab itu sisi miring pola harus dibuat miring. Untuk permukaan luar biasanya dipakai penambahan sebesar 1,04% hingga 2,08%. Untuk lubang sebelah dalam dapat digunakan kemiringan sampai 6,25%.

Penyelesaian

Untuk permukaan coran yang akan mengalami permesinan maka pola pada bagian tersebut harus dipertebal sekitar 3,0 mm. Untuk pola yang besar penambahannya lebih besar lagi.

Distorsi

Distorsi terjadi pada benda coran dengan bentuk yang tidak teratur karena sewaktu membeku terjadi penyusutan yang tidak merata. Hal ini harus diperhitungkan ketika membuat pola.

Kelonggaran

Bila pasir di sekitar pola ditumbuk-tumbuk kemudian pola dilepaskan, umumnya ruangan pola sedikit lebih besar. Bila benda coran tidak dilakukan penyelesaian maka dibuat pola yang sedikit lebih kecil.

Bahan pola

Pola harus diperhitungkan terhadap pemesian dan penyusutan dan penambahan lainnya untuk memudahkan pengecoran. Pola biasanya dibuat dari kayu karena relatif murah dan mudah dibentuk. Sebaiknya pola yang dipergunakan untuk produksi dalam jumlah besar biasanya dibuat dengan bahan logam karena lebih awet dalam penggunaan.

2.4. Pasir

Pasir silika (SiO_2) sangat cocok untuk cetakan karena tahan suhu tinggi tanpa terjadi penguraian, murah dan awet. Namun pasir silika murni tidak bisa digunakan karena tidak mempunyai daya ikat. Pasir silika murni dicampur

dengan lempung sebanyak 8 sampai 15% untuk meningkatkan daya ikatnya. Jenis lempung yang banyak digunakan adalah kaolin, illit dan bentonit.

Pasir cetak alam telah mengandung sejumlah lempung, sehingga untuk membuat cetakan tinggal menambahkan air saja. Pasir cetak buatan terdiri dari butiran silika ditambah lempung sebanyak 3 sampai 5%. Kemudian ditambahkan air sebanyak maksimum 5%.

Jenis cetakan turut menentukan ukuran butir pasir. Untuk cetakan kecil dan rumit digunakan pasir yang halus sehingga didapat cetakan yang baik. benda cor yang besar memerlukan butir pasir yang kasar supaya memudahkan pelepasan gas.

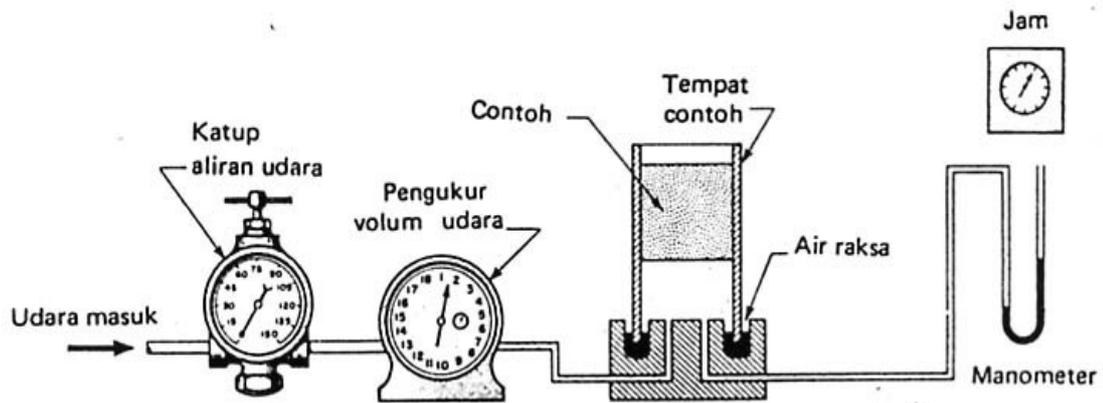
Pengujian Pasir

Pasir cetak harus diuji untuk mengetahui sifat-sifatnya. Pengujian mekanik yang biasa dilakukan adalah :

1. *Permeabilitas*. Porositas pasir akan menentukan pelepasan gas dan uap yang ada dalam cetakan.
2. *Kekuatan*. Pasir harus mempunyai gaya kohesi yang menentukan daya ikatnya.
3. *Ketahanan terhadap suhu tinggi*. Pasir harus tahan suhu tinggi tanpa melebur.
4. *Ukuran dan bentuk butiran*. Ukuran pasir disesuaikan dengan bentuk permukaan yang diinginkan.

Pengujian Permeabilitas

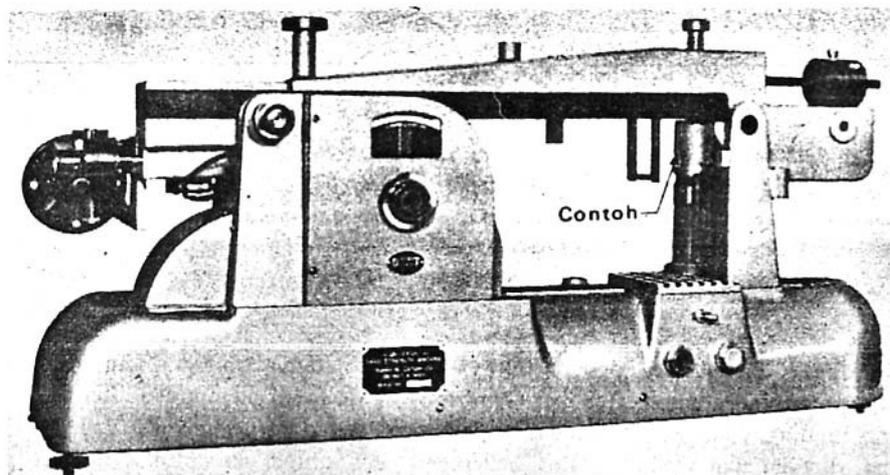
Pasir cetak harus bisa mengalirkan gas-gas yang terperangkap di dalam rongga cetakan. Uji permeabilitas adalah menentukan jumlah udara yang bisa lolos melalui contoh pasir cetak dalam keadaan standar.



Gambar 6. Peralatan untuk mengukur permeabilitas pasir cetak.

Kekuatan Pasir

Untuk mengetahui daya tahan dan daya ikat pasir basah ataupun pasir kering, dilakukan percobaan tekan, tarik, geser atau kekuatan melintang. Yang umum sebagai patokan biasanya kekuatan tekan. Pada gambar 7. tampak mesin pengukur kekuatan pasir.



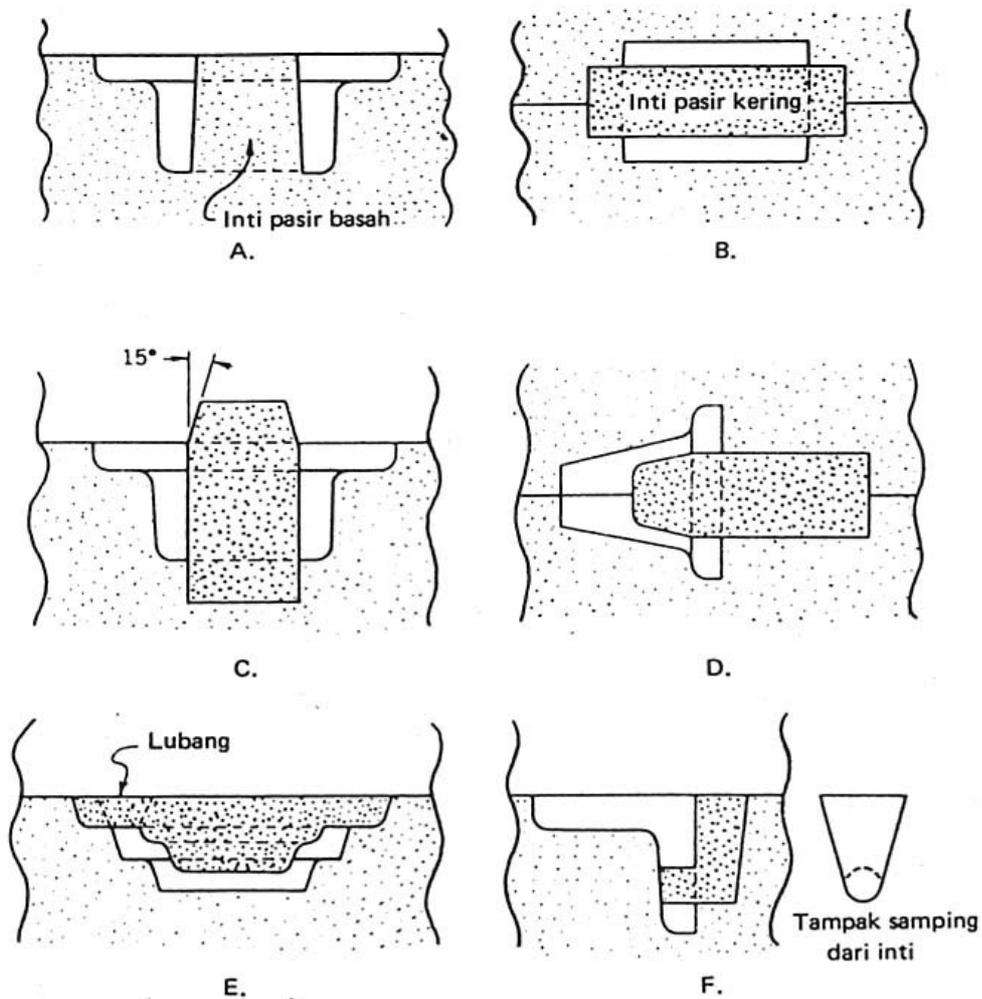
Gambar 7. Mesin pengukur kekuatan pasir.

2.4. Inti (Core)

Inti digunakan bila dalam suatu cetakan perlu dibuat rongga atau lubang, misalnya lubang untuk baut. Inti bisa merupakan bagian dari pola atau dipasang setelah pola dikeluarkan.

Inti bisa dibagi atas: inti pasir basah dan inti pasir kering. Inti basah adalah bagian dari pola dan terbuat dari bahan yang sama dengan cetakan.

Inti pasir kering dibuat secara terpisah dan dipasang setelah pola dikeluarkan. Gambar 8. adalah jenis-jenis inti.

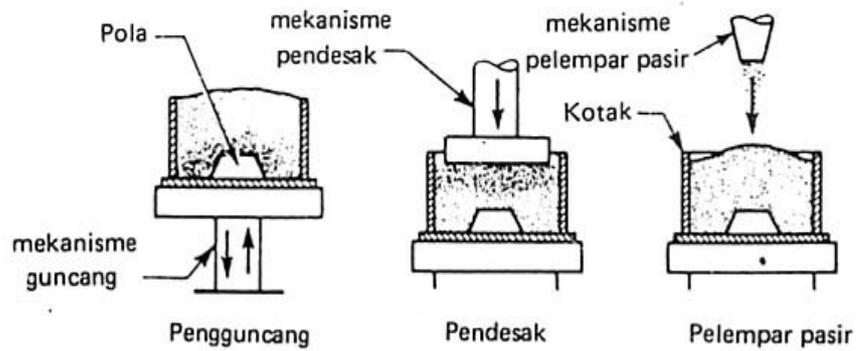


Gambar 8. Berbagai jenis inti. A. Pola dengan inti pasir basah; B. Inti pasir kering yang disangga pada kedua ujungnya; C. Inti pasir kering vertikal; D. Inti pasir kering horisontal; E. Inti pasir kering yang tergantung; F. Inti bawah.

Inti bisa dibuat dengan berbagai jenis mesin pembuat inti seperti mesin guncang, mesin tekan, mesin guncang - tekan dan mesin pelempar pasir.

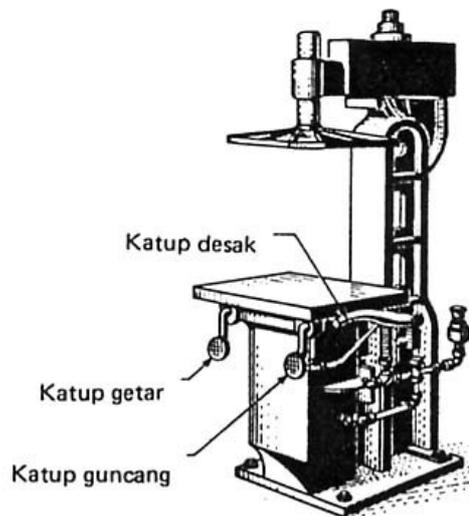
2.5. Mesin Pembuatan Cetakan Secara Mekanis

Dengan memakai mesin bisa didapatkan cetakan dengan mutu baik. Ada beberapa jenis mesin yang digunakan dalam membuat cetakan. Prinsip kerja mesin pembuat cetakan bisa dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Prinsip kerja mesin pembuat cetakan.

Mesin Pengguncang



Gambar 10. Mesin guncang desak.

Pada mesin pengguncang, meja diguncangkan naik-turun dengan tekanan udara yang akan memadatkan pasir. Umumnya pasir lebih padat di sekitar pola dan pada batas permukaan pemisah. Salah satu contoh bentuk mesin pengguncang sekaligus mesin pendesak diperlihatkan pada gambar 10.

Mesin Pendesak

Pada mesin pendesak, pasir dalam kotak yang berada diantara meja dan pelat pendesak dipadatkan. Kepadatan tertinggi diperoleh pada sisi cetakan yang searah dengan gaya.

Mesin Guncang-Desak

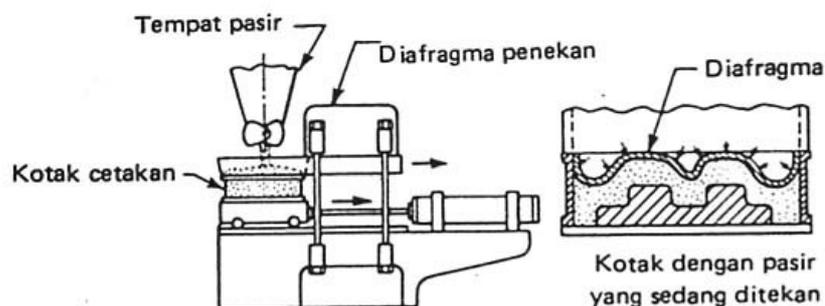
Mesin guncang-desak diperlihatkan pada gambar 10. Cara kerja mesin adalah sebagai berikut: kotak cetakan dipersiapkan, diantara kup dan drag diletakkan papan pasangan, dan keseluruhannya diletakkan dalam keadaan terbalik diatas meja getar. Drag diisi pasir dan diratakan, kemudian ditutup dengan papan alas. Dengan mengguncangkannya, pasir dalam drag dipadatkan. Keseluruhannya kemudian dibalik dan sekarang kup diisi dengan pasir dan diratakan. Cetakan kemudian ditutup dengan papan desak, dan pelat tekan diletakkan diatasnya. Pasir dalam kup tertekan hingga cukup padat. Setelah itu pelat tekan mesin diangkat, kup diangkat dan papan pasangan digetarkan. Setelah itu papan pasangan diangkat dari drag.

Mesin Diafragma

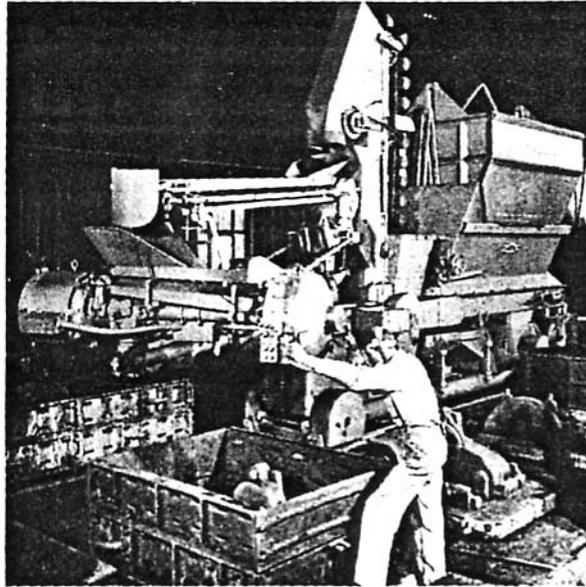
Pada mesin ini pasir ditekan dengan menggunakan diafragma karet seperti diperlihatkan pada gambar 11. Diafragma akan menekan pasir menggunakan tekanan udara. Proses ini cepat, dan bisa diperoleh toleransi yang ketat akibat pemadatan pasirnya rata.

Mesin Pelempar Pasir

Untuk pembuatan cetakan pasir yang besar-besar telah dikembangkan alat yang disebut pelempar pasir.



Gambar 11. Mesin diafragma.



Gambar 12. mesin Pelempar Pasir.

Pada gambar 12. terlihat mesin pelempar pasir yang banyak digunakan. Pasir ditempatkan dalam sebuah kotak dengan kapasitas $8,5 \text{ m}^3$, kemudian pasir diteruskan dengan ban berjalan ke kepala pelempar pasir yang terdiri dari sudu yang berputar cepat. Kepadatan pasir diatur dengan mengendalikan perputaran kepala sudu.

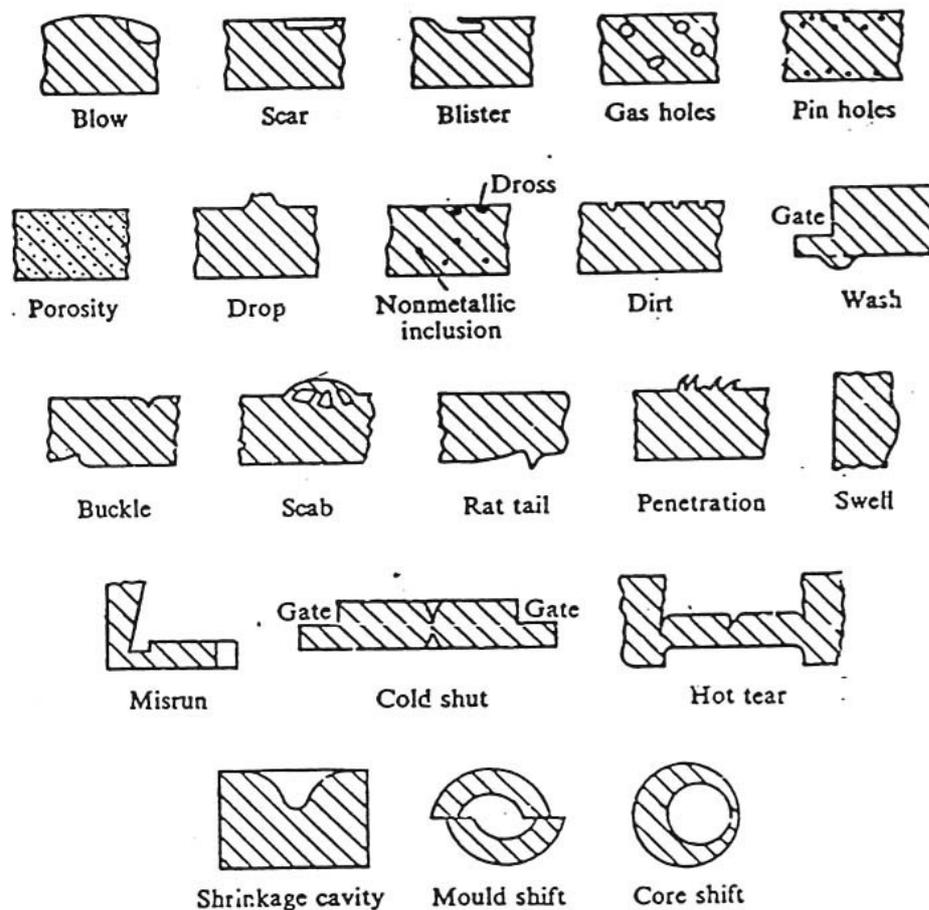
2.6. Cacat-cacat Coran

Cacat yang dijumpai pada coran disebabkan oleh cacat pada hal-hal berikut :

1. Desain pengecoran dan pola
2. Pasir cetakan dan desain cetakan dan inti
3. Komposisi logam
4. Pencairan dan penuangan
5. Saluran masuk dan penambah.

Gambar 13. adalah jenis-jenis cacat yang banyak ditemukan di dalam cetakan pasir :

- (i) Blow yaitu rongga bulat besar yang disebabkan gas karena menempati daerah logam cair pada permukaan kop. Blow biasanya terjadi pada permukaan coran yang cembung.
- (ii) Scar yaitu blow yang dangkal yang biasanya dijumpai pada permukaan coran yang rata.
- (iii) Blister adalah scar yang tertutup oleh lapisan tipis logam.
- (iv) Gas holes (lobang gas) yaitu gelembung gas yang terperangkap yang mempunyai bentuk bola dan terjadi ketika sejumlah gas larut dalam logam cair.
- (v) Pin holes adalah lobang blow yang sangat kecil dan terjadi pada atau dibawah permukaan coran.



Gambar 13. Cacat coran yang umum.

- (vi) Porosity (porositas) adalah lobang sangat kecil yang tersebar merata diseluruh coran.
- (vii) Drop adalah Tonjolan pada permukaan kop yang disebabkan karena jatuhnya pasir dari kop.
- (viii) Inclusion (inklusi) adalah adanya partikel non logam yang ada pada logam induk.
- (ix) Dross adalah impuritas ringan yang berada pada permukaan coran.
- (x) Dirt adalah lobang kecil pada permukaan kop karena jatuhnya pasir ke benda coran. ketika pasir dilepaskan akan meninggalkan lobang kecil.
- (xi) Wash adalah tonjolan pada permukaan drag yang timbul di dekat saluran masuk, hal ini disebabkan oleh erosi pada pasir karena kecepatan logam cair yang tinggi memasuki dasar saluran masuk.
- (xii) Buckle adalah bentuk V yang panjang, dangkal dan lebar yang terbentuk pada permukaan rata coran karena suhu tinggi logam.
- (xiii) Scab adalah lapisan tipis logam, kasar yang menonjol diatas permukaan coran, pada puncak lapisan tipis pasir.
- (xiv) Rat tail yaitu penurunan angular, dangkal dan panjang yang biasanya ditemukan pada pengecoran tipis.
- (xv) Penetration yaitu tonjolan berongga, kasar karena cairan logam mengalir diantara partikel pasir dikarenakan permukaan cetakan begitu lunak dan berongga.
- (xvi) Swell adalah cacat yang dijumpai pada permukaan vertikal pengecoran jika pasir cetakan berdeformasi karena tekanan hidrostatis yang disebabkan kandungan uap air yang tinggi didalam pasir.
- (xvii) Misrun terjadi adanya rongga yang terjadi apabila karena tidak cukup pemanasan logam cair mulai membeku sebelum mencapai titik terjauh dari rongga cetakan.
- (xviii) Cold shut adalah terjadinya misrun pada tengah coran karena pengecoran dilakukan dengan saluran masuk di dua sisi.
- (xix) Hot tear adalah retak yang terjadi karena tegangan sisa yang tinggi.

(xx) Shrinkage cavity (rongga penyusutan) adalah rongga karena terjadinya penyusutan pada logam ketika membeku dimana saluran penambah tidak bisa mengisinya.

(xxi) Shift adalah ketidaklurusan antara kedua bagian cetakan atau inti. .

Soal-soal:

1. Jelaskan jenis-jenis cetakan pasir yang kamu ketahui.
2. Sebutkan jenis-jenis pola yang kamu ketahui.
3. Apa yang dimaksud dengan pola sekali pakai pada cetakan?, jelaskan keuntungan-keuntungannya.
4. Jelaskan tentang: *cetakan pasir basah*, dan *cetakan pasir kering*.
5. Jelaskan fungsi *saluran penambah*, dan *cawan tuang* pada cetakan pasir.
6. Jelaskan apa yang *diperhatikan* dalam merancang saluran masuk cetakan.
7. Coba jelaskan cacat-cacat pada coran (minimal 4).

BAB 3

PENGELASAN

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa pengaruh tekanan atau dapat juga didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom.

3.1. Penyolderan Dan Pematrian

Penyolderan dan pematrian merupakan proses penyambungan logam dimana digunakan logam penyambung lainnya dalam keadaan cair yang kemudian membeku.

Penyolderan

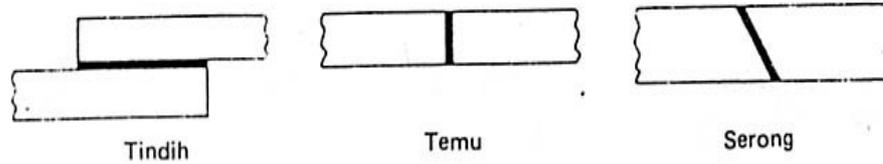
Penyolderan adalah proses penyambungan dua keping logam dengan logam yang berbeda yang dituangkan dalam keadaan cair dengan suhu tidak melebihi 430 °C diantara kedua keping tersebut. Paduan logam penyambung/pengisi yang banyak digunakan adalah paduan timbal (Pb) dan timah (Sn) yang mempunyai titik cair antara 180 - 370 °C. Komposisi 50% Pb dan 50% Sn paling banyak digunakan untuk timah solder dimana paduan ini mempunyai titik cair pada 220 °C.

Pematrian

Pada pematrian logam pengisi mempunyai titik cair diatas 430 °C akan tetapi masih di bawah titik cair logam induk. Logam dan paduan patri yang banyak digunakan adalah :

1. Tembaga: titik cair 1083 °C.
2. Paduan tembaga: kuningan dan perunggu yang mempunyai titik cair antara 870 °C - 1100 °C.
3. Paduan perak: yang mempunyai titik cair antara 630 °C - 845 °C.
4. Paduan Aluminium: yang mempunyai titik cair antara 570 °C - 640 °C.

Adapun jenis sambungan yang lazim pada patri adalah: sambungan tindih, temu, dan serong seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Jenis Sambungan Pada Patri

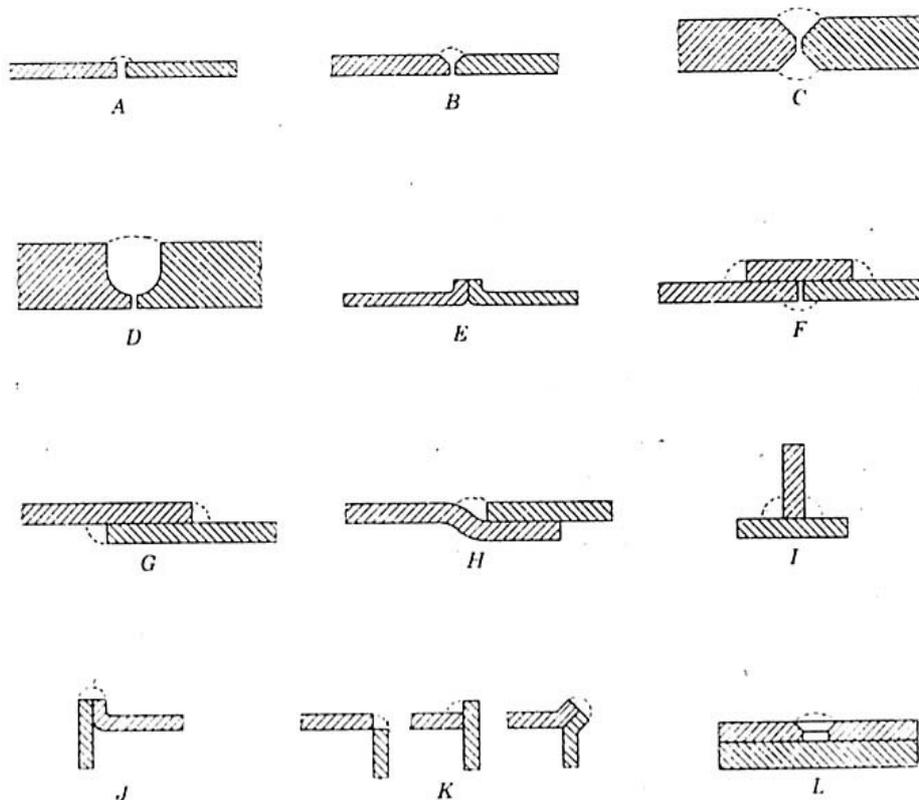
Pada penyambungan patri hal yang paling utama adalah kebersihan, permukaan harus bebas dari kotoran-kotoran, minyak, atau oksida-oksida dan bagian sambungan harus tepat ukuran maupun bentuknya dengan celah untuk bahan pengisi. Proses pematrian dikelompokkan berdasarkan cara pemanasan. Ada empat cara yang dilakukan dalam memanaskan logam pada penyambungan:

1. Pencelupan benda yang akan disambung dalam logam pengisi atau fluks cair.
2. Mematri dengan menggunakan dapur. Disini benda dijepit dengan jig dan dimasukkan ke dalam dapur yang diatur suhunya sesuai titik cair logam patri.
3. Mematri dengan nyala. Panas nyala diambil dari nyala oksi asetilen atau oksihidrogen dan logam pengisi/penyambung dalam bentuk kawat dicairkan pada celah sambungan.
4. Mematri dengan patri listrik. Panas berasal dari tahanan, induksi atau busur listrik.

Keuntungan proses patri adalah kemungkinan penyambungan logam yang sulit di las, penyambungan logam yang berlainan dan penyambungan bahan yang tipis. Selain itu proses patri cepat dan menghasilkan sambungan yang rapi yang tidak memerlukan pengerjaan penyelesaian lagi.

3.2. Sambungan Las

Sambungan las mempunyai beberapa jenis sambungan diantaranya bisa dilihat pada gambar 2. dibawah ini.



Gambar 3.2 Jenis sambungan las. *A.* Sambungan tumpul, *B.* Sambungan tumpul dengan alur V tunggal, *C.* Sambungan tumpul dengan alur V ganda (untuk pelat tebal). *D.* Sambungan tumpul dengan alur U (untuk coran tebal). *E.* Sambungan tekuk (untuk logam tipis). *F.* Sambungan tumpul dengan pita lapis. *G.* Sambungan tumpang (dengan las sudut tunggal atau ganda). *H.* Sambungan tumpul tekuk (tunggal atau ganda). *I.* Sambutan tumpul T. *J.* Sambungan sisi (untuk pelat tipis). *K.* Sambungan sudut (pelat tipis). *L.* Sambungan sumbat.

3.3. Proses Pengelasan

3.3.1. Pengelasan Tempa

Proses pengelasan tempa adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara memanaskan logam yang kemudian ditempa (tekan) sehingga terjadi penyambungan. Pemanasan dilakukan di dalam dapur kokas atau pada dapur minyak ataupun gas. Sebelum disambung, kedua ujung dibentuk terlebih dahulu, sedemikian sehingga bila disambungkan keduanya akan bersambung ditengah-tengah terlebih dahulu. Penempaan kemudian dilakukan mulai dari tengah menuju sisi, dengan demikian oksida-oksida atau kotoran-kotoran lainnya tertekan ke luar. Proses ini disebut *scarfing*.

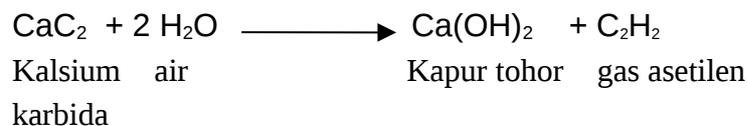
Jenis logam yang banyak digunakan dalam pengelasan tempa adalah baja karbon rendah dan besi tempa karena memiliki daerah suhu pengelasan yang besar.

3.3.2. Pengelasan Dengan Gas

Pengelasan dengan gas adalah proses pengelasan dimana digunakan campuran gas sebagai sumber panas. Nyala gas yang banyak digunakan adalah gas alam, asetilen dan hidrogen yang dicampur dengan oksigen.

a. Nyala Oksiasetilen

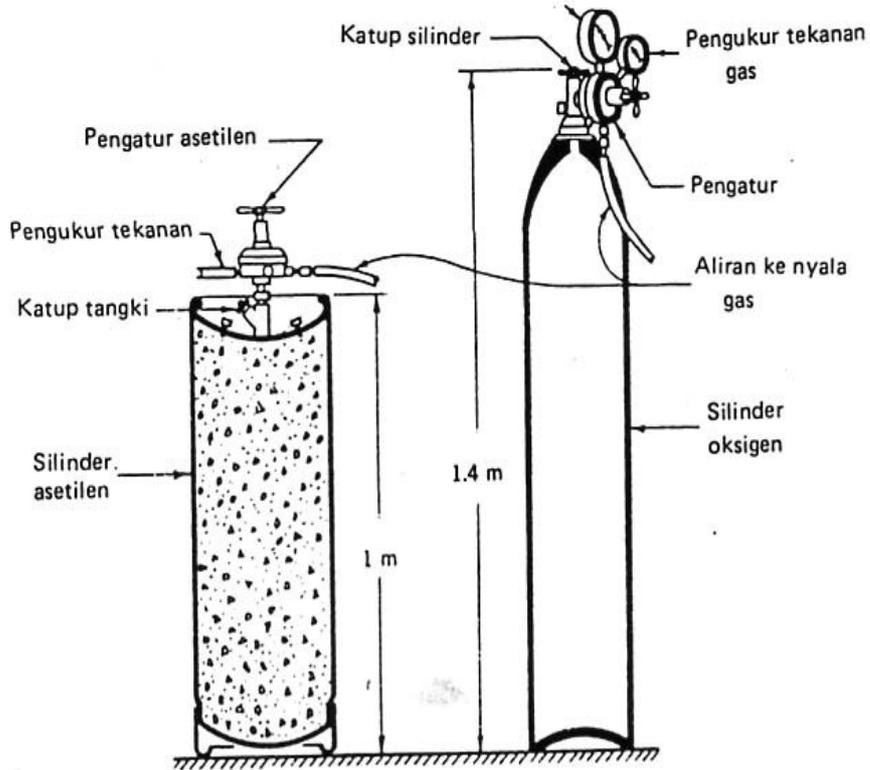
Dalam proses ini digunakan campuran gas oksigen dengan gas asetilen. Suhu nyalanya bisa mencapai 3500 °C. Pengelasan bisa dilakukan dengan atau tanpa logam pengisi. Oksigen berasal dari proses hidrolisa atau pencairan udara. Oksigen disimpan dalam silinder baja pada tekanan 14 MPa. Gas asetilen (C₂H₂) dihasilkan oleh reaksi kalsium karbida dengan air dengan reaksi sebagai berikut:



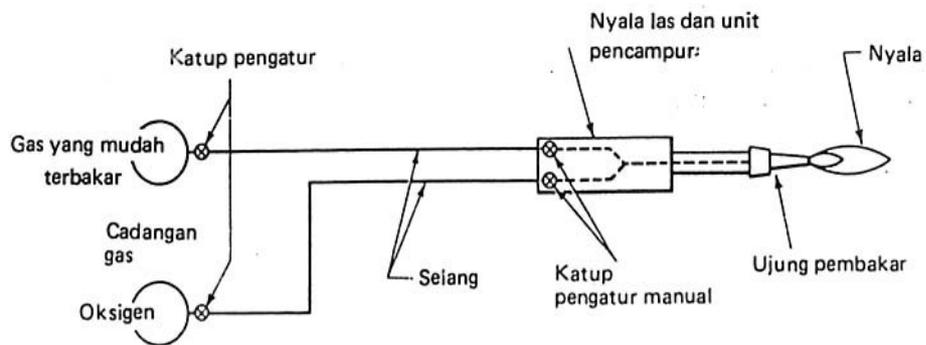
Bentuk tabung oksigen dan asetilen diperlihatkan pada gambar 3.

Agar aman dipakai gas asetilen dalam tabung tekanannya tidak boleh melebihi 100 kPa gauge dan disimpan tercampur dengan aseton. Tabung asetilen diisi dengan bahan pengisi berpori yang jenuh dengan aseton, kemudian diisi dengan gas asetilen. Tabung asetilen mampu menahan tekanan sampai 1,7 MPa. Skema nyala las dan sambungan gasnya bisa dilihat pada gambar 4.

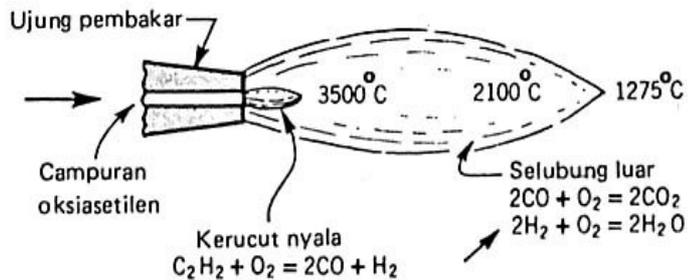
Pada nyala gas oksiasetilen bisa diperoleh 3 jenis nyala yaitu nyala netral, reduksi dan oksidasi. Nyala netral diperlihatkan pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 3. Tabung asetilen dan oksigen untuk pengelasan oksiasetilen.



Gambar 4. Skema nyala las oksiasetilen dan sambungan gasnya.



Gambar 5. Nyala netral dan suhu yang dicapai pada ujung pembakar.

Pada nyala netral kerucut nyala bagian dalam pada ujung nyala memerlukan perbandingan oksigen dan asetilen kira-kira 1 : 1 dengan reaksi seperti yang bisa dilihat pada gambar. Selubung luar berwarna kebiru-biruan adalah reaksi gas CO atau H₂ dengan oksigen yang diambil dari udara.

Nyala reduksi terjadi apabila terdapat kelebihan asetilen dan pada nyala akan dijumpai tiga daerah dimana antara kerucut nyala dan selubung luar akan terdapat kerucut antara yang berwarna keputih-putihan. Nyala jenis ini digunakan untuk pengelasan logam Monel, Nikel, berbagai jenis baja dan bermacam-macam bahan pengerasan permukaan nonferrous.

Nyala oksidasi adalah apabila terdapat kelebihan gas oksigen. Nyalanya mirip dengan nyala netral hanya kerucut nyala bagian dalam lebih pendek dan selubung luar lebih jelas warnanya. Nyala oksidasi digunakan untuk pengelasan kuningan dan perunggu.

b. Pengelasan Oksihidrogen

Nyala pengelasan oksihidrogen mencapai 2000 °C, lebih rendah dari oksigen-asetilen. Pengelasan ini digunakan pada pengelasan lembaran tipis dan paduan dengan titik cair yang rendah.

c. Pengelasan Udara-Asetilen

Nyala dalam pengelasan ini mirip dengan *pembakar Bunsen*. Untuk nyala dibutuhkan udara yang dihisap sesuai dengan kebutuhan. Suhu pengelasan lebih rendah dari yang lainnya maka kegunaannya sangat terbatas yaitu hanya untuk patri timah dan patri suhu rendah.

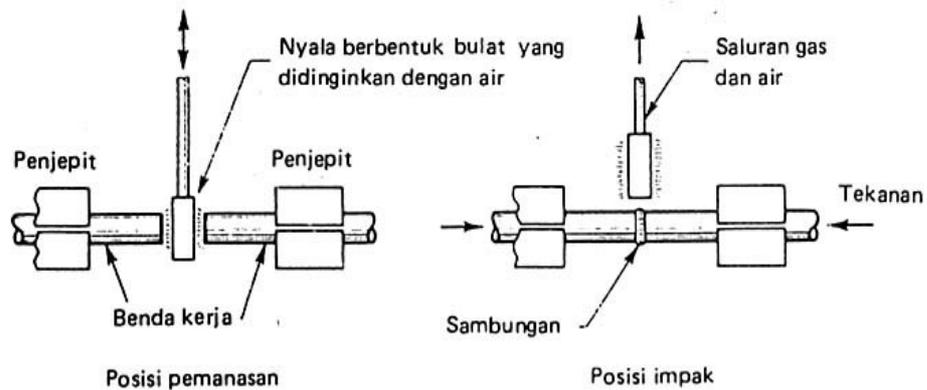
d. Pengelasan Gas Bertekanan

Sambungan yang akan dilas dipanaskan dengan nyala gas menggunakan oksiasetilen hingga 1200 °C kemudian ditekankan. Ada dua cara penyambungan yaitu sambungan tertutup dan sambungan terbuka.

Pada sambungan tertutup, kedua permukaan yang akan disambung ditekan satu sama lainnya selama proses pemanasan. Nyala menggunakan nyala ganda dengan pendinginan air. Selama proses pemanasan, nyala tersebut diayun untuk mencegah panas berlebihan pada sambungan yang dilas. Ketika suhu yang tepat sudah diperoleh, benda diberi tekanan. Untuk

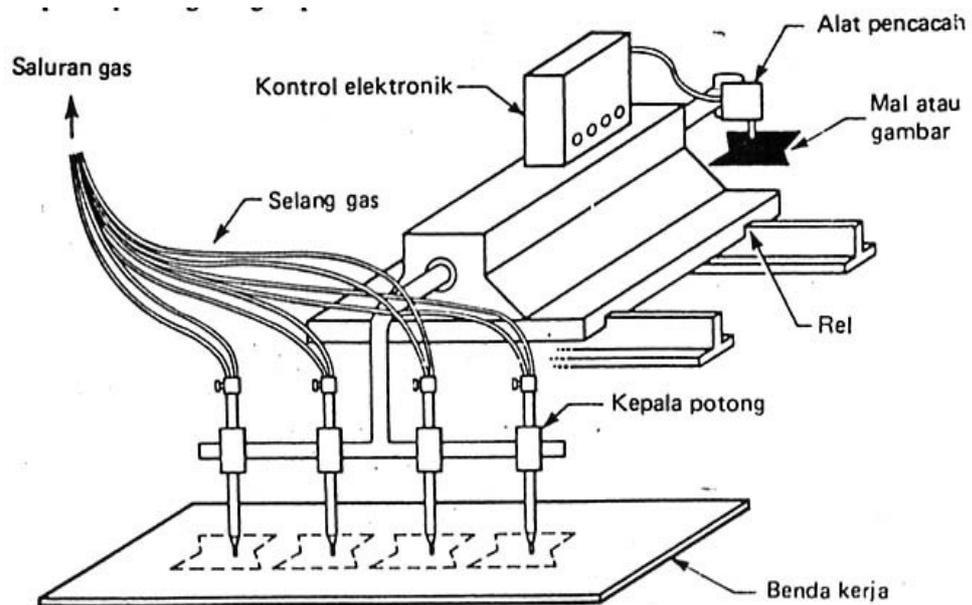
baja karbon tekanan permulaan kurang dari 10 MPa dan tekanan upset antara 28 MPa.

Pada sambungan terbuka menggunakan nyala ganda yang pipih yang ditempatkan pada kedua permukaan yang disambung. Permukaan yang disambung dipanaskan sampai terbentuk logam cair, kemudian nyala buru-buru dicabut dan kedua permukaan ditekan sampai 28 MPa hingga logam membeku. Proses pengelasan terbuka bisa dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Skema cara pengelasan tumpul dengan gas bertekanan.

e. Pemotongan Nyala Oksiasetilen



Gambar 7. Skema mesin pemotong dengan nyala oksiasetilen.

Pemotongan dengan nyala juga merupakan suatu proses produksi. Nyala untuk pemotongan berbeda dengan nyala untuk pengelasan dimana disekitar lobang utama yang dialiri oksigen terdapat lubang kecil untuk pemanasan mula. Fungsi nyala pemanas mula adalah untuk pemanasan baja sebelum dipotong. Karena bahan yang akan dipotong menjadi panas sehingga baja akan menjadi terbakar dan mencair ketika dialiri oksigen. Gambar 7 memperlihatkan skema mesin pemotong nyala oksiasetylen.

3.3.3. Las Resistansi Listrik

Pengelasan ini mula-mula dikembangkan oleh Elihu Thompson diakhir abad 19. Pada proses ini digunakan arus listrik yang cukup besar yang dialirkan ke logam yang disambung sehingga menimbulkan panas kemudian sambungan ditekan dan menyatu. Arus listrik yang digunakan akan dirobah tegangannya menjadi 4 sampai 12 volt dengan menggunakan transformator dengan kemampuan arus sesuai kebutuhan. Bila arus mengalir di dalam logam, maka akan timbul panas ditempat dimana resistansi listriknya besar yaitu pada batas permukaan kedua lembaran logam yang akan dilas. Besar arus daerah sambungan berkisar antara 50 sampai 60 MVA/m² dengan tenggang waktu sekitar 10 detik. Tekanan yang diberikan berkisar antara 30 sampai 55 MPa.

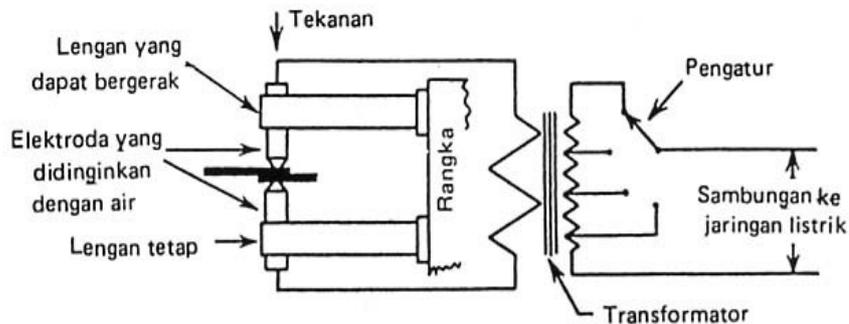
Ada tiga faktor yang perlu diperhatikan sesuai dengan rumus: jumlah panas = $A^2 \Omega t$, dimana A adalah arus pengelasan (dalam Ampere), Ω tahanan listrik antara elektroda (ohm) dan t waktu. Untuk memperoleh hasil lasan yang baik ketiga faktor tersebut perlu diperhatikan dengan cermat dimana besarnya tergantung dari tebal, jenis bahan serta ukuran serta jenis elektroda yang digunakan.

Proses pengelasan resistansi listrik meliputi: las titik, las proyeksi, las kampuh, las tumpul, las nyala dan las perkusi.

a. Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik adalah pengelasan memakai metode resistansi listrik dimana pelat lembaran dijepit dengan dua elektroda. Ketika arus dialirkan maka terjadi sambungan las pada posisi jepitan. Skema las titik bisa dilihat pada gambar 8.

Siklus pengelasan titik dimulai ketika elektroda menekan pelat dimana arus belum dialirkan. Waktu proses ini disebut *waktu tekan*. Setelah itu arus dialirkan ke elektroda sehingga timbul panas pada pelat di posisi elektroda sehingga terbentuk sambungan las. Waktu proses ini disebut *waktu las*.



Gambar 3.8. Diagram alat las titik

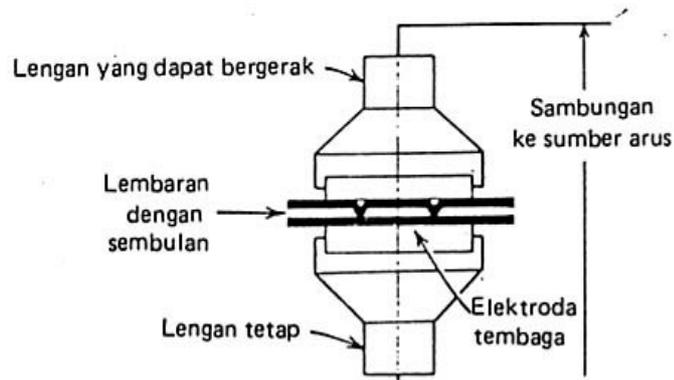
Setelah itu arus dihentikan namun tekanan tetap ada dan proses ini disebut *waktu tenggang*. Kemudian logam dibiarkan mendingin sampai sambungan menjadi kuat dan tekanan di hilangkan dan pelat siap dipindahkan untuk selanjutnya proses pengelasan dimulai lagi untuk titik yang baru.

Peralatan mesin las titik ada tiga jenis yaitu: 1) mesin las titik tunggal stasioner, 2) mesin las titik tunggal yang dapat dipindahkan dan 3) mesin las titik ganda. Mesin las stasioner dapat dibagi lagi atas jenis: lengan ayun dan jenis tekanan langsung. Jenis lengan ayun merupakan jenis yang sederhana dan mempunyai kapasitas kecil. Mesin las titik dengan ukuran besar bisa dilihat pada gambar 9. dibawah ini.

Gambar 9. Mesin las titik fasa tunggal, jenis tekan dan digerakkan dengan udara.

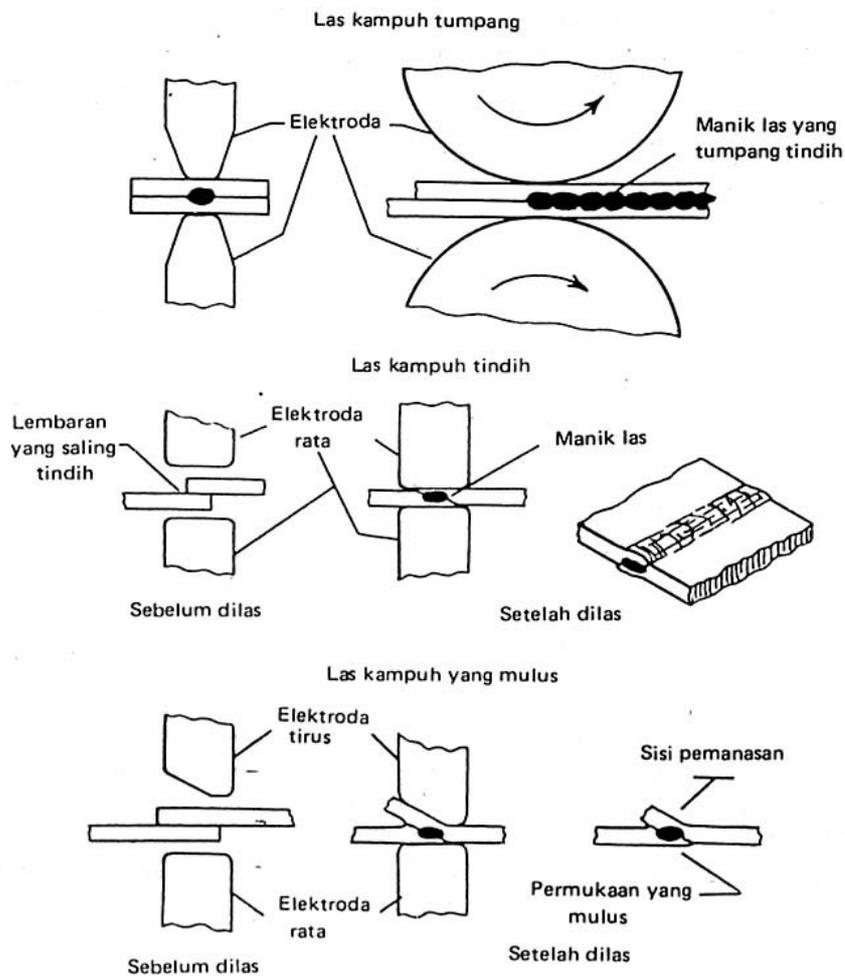
b. Pengelasan Proyeksi

Gambar 10. memperlihatkan skema pengelasan proyeksi. Pengelasan ini mirip dengan pengelasan titik hanya bagian yang dilas dibuat proyeksi/tonjolan terlebih dahulu. Ukuran tonjolan mempunyai diameter yang sama dengan tebal pelat yang dilas dengan tinggi tonjolan lebih kurang 60% dari tebal pelat. Hasil pengelasan biasanya mempunyai kualitas yang lebih baik dari pengelasan titik.



Gambar 10. Pengelasan Proyeksi.

c. Las Kampuh (*seam weld*)



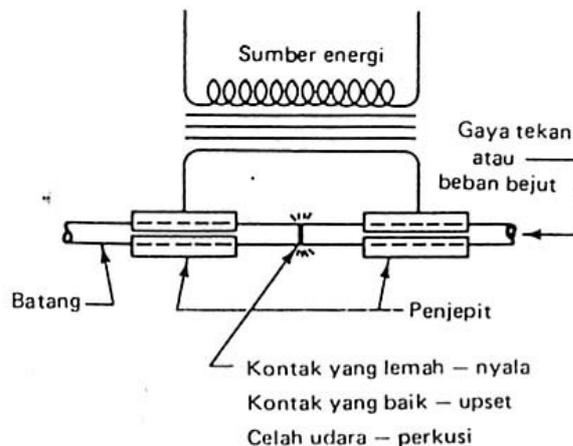
Gambar 11. Jenis-jenis las kampuh resistansi listrik.

Las kampuh merupakan proses las untuk menghasilkan lasan yang kontinyu pada pelat logam yang ditumpuk. Sambungan terjadi oleh panas

yang ditimbulkan oleh tahanan listrik. Arus mengalir melalui elektroda ke pelat sama seperti pengelasan titik. Metode ini sebenarnya merupakan pengelasan titik yang kontinyu. Tiga jenis las kampuh yang sering dilakukan pada industri bisa dilihat pada gambar 11. yaitu las kampuh tumpang, las kampuh tindih dan las kampuh yang mulus.

d. Las Tumpul (*Butt Weld*)

Pengelasan las tumpul bisa dilihat pada gambar 12. Dua batang logam saling tekan dan arus mengalir melalui sambungan batang logam tersebut dan menimbulkan panas. Panas yang terjadi tidak sampai mencairkan logam namun menimbulkan sambungan las dimana sambungannya akan menghasilkan tonjolan. Tonjolan bisa dihilangkan dengan pemesinan. Kedua logam yang disambung sebaiknya mempunyai tahanan yang sama agar terjadi pemanasan yang rata pada sambungan.



Gambar 12. Sketsa pengelasan tumpul.

3.3.4. Las Busur Listrik (*Electric Arc Welding*)

Pengelasan busur listrik adalah pengelasan dengan memanfaatkan busur listrik yang terjadi antara elektroda dengan benda kerja. Elektroda dipanaskan sampai cair dan diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las. Mula-mula elektroda kontak/bersinggungan dengan logam yang dilas sehingga terjadi aliran arus listrik, kemudian elektroda

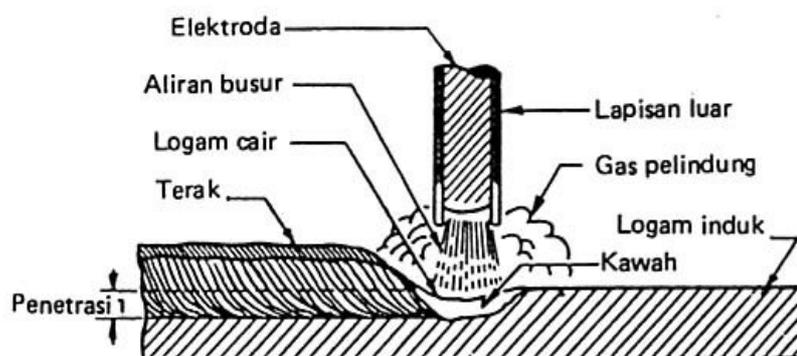
diangkat sedikit sehingga timbullah busur listrik. Panas pada busur bisa mencapai 5.500 °C.

Las busur bisa menggunakan arus searah (DC = *direct current*) maupun arus bolak-balik (AC = *Alternating Current*). Mesin las arus searah dapat mencapai kemampuan arus 1000 amper pada tegangan terbuka antara 40 sampai 95 Volt. Pada waktu pengelasan tegangan menjadi 18 sampai 40 Volt. Ada 2 jenis polaritas yang digunakan yaitu polaritas langsung dan polaritas terbalik. Pada polaritas langsung elektroda berhubungan dengan terminal negatif sedangkan pada polaritas terbalik elektroda berhubungan dengan terminal positif.

Jenis bahan elektroda yang banyak digunakan adalah elektroda jenis logam walaupun ada juga jenis elektroda dari bahan karbon namun sudah jarang digunakan. Elektroda berfungsi sebagai logam pengisi pada logam yang dilas sehingga jenis bahan elektroda harus disesuaikan dengan jenis logam yang dilas. Untuk las biasa mutu lasan antara arus searah dengan arus bolak-balik tidak jauh berbeda, namun polaritas sangat berpengaruh terhadap mutu lasan.

Kecepatan pengelasan dan keserbagunaan mesin las arus bolak-balik dan arus searah hampir sama, namun untuk pengelasan logam/pelat tebal, las arus bolak-balik lebih cepat.

Skema las busur bisa dilihat pada gambar 13. dibawah ini.



Gambar 13. Skema nyala busur.

Elektroda yang digunakan pada pengelasan jenis ini ada 3 macam yaitu:

- *elektroda polos,*

- *elektroda fluks* dan
- *elektroda berlapis tebal*.

Elektroda polos adalah elektroda tanpa diberi lapisan dan penggunaan elektroda jenis ini terbatas antara lain untuk besi tempa dan baja lunak. Elektroda fluks adalah elektroda yang mempunyai lapisan tipis fluks, dimana fluks ini berguna melarutkan dan mencegah terbentuknya oksida-oksida pada saat pengelasan. Kawat las berlapis tebal paling banyak digunakan terutama pada proses pengelasan komersil.

Lapisan pada elektroda berlapis tebal mempunyai fungsi :

1. Membentuk lingkungan pelindung.
2. Membentuk terak dengan sifat-sifat tertentu untuk melindungi logam cair.
3. Memungkinkan pengelasan pada posisi di atas kepala dan tegak lurus.
4. Menstabilisasi busur.
5. Menambah unsur logam paduan pada logam induk.
6. Memurnikan logam secara metalurgi.
7. Mengurangi cipratan logam pengisi.
8. Meningkatkan efisiensi pengendapan.
9. Menghilangkan oksida dan ketidakmurnian
10. Mempengaruhi kedalaman busur.
11. Mempengaruhi bentuk manik.
12. Memperlambat kecepatan pendinginan sambungan las.
13. Menambah logam las yang berasal dari serbuk logam dalam lapisan pelindung.

Fungsi-fungsi yang disebutkan di atas berlaku umum yang artinya belum tentu sebuah elektroda akan mempunyai semua sifat tersebut.

Komposisi lapisan elektroda yang digunakan bisa berasal dari bahan organik ataupun bahan anorganik ataupun campurannya. Unsur-unsur utama yang umum digunakan adalah :

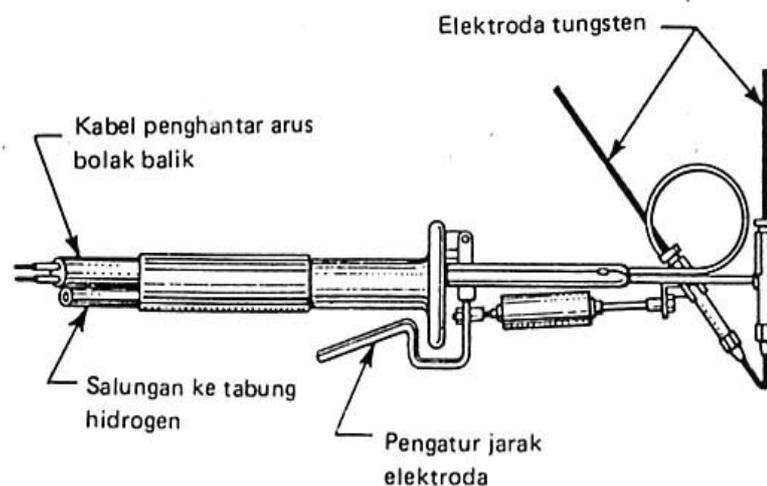
1. Unsur pembentuk terak: SiO_2 , MnO_2 , FeO dan Al_2O_3 .
2. Unsur yang meningkatkan sifat busur : Na_2O , CaO , MgO dan TiO_2 .

3. Unsur deoksidasi : grafit, aluminium dan serbuk kayu.
4. Bahan pengikat : natrium silikat, kalium silikat dan asbes.
5. Unsur paduan yang meningkatkan kekuatan sambungan las : vanadium, zirkonium, sesium, kobalt, molibden, aluminium, nikel, mangan dan tungsten.

Berikut ini dijelaskan beberapa jenis pengelasan dengan menggunakan pengelasan busur listrik.

a. Pengelasan Busur Hidrogen Atomik.

Proses pengelasan ini adalah dimana dua elektroda tungsten dialirkan busur arus bolak-balik /AC, dan hidrogen dialirkan ke busur tersebut. Ketika hidrogen mengenai busur, molekulnya pecah menjadi atom yang kemudian bergabung kembali menjadi molekul hidrogen diluar busur. Reaksi ini diiringi oleh pelepasan panas yang bisa mencapai suhu 6100 °C. Logam lasan dapat ditambahkan dalam bentuk batang/kawat las. Skema dari pengelasan jenis ini diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 14. Las busur hidrogen atomik.

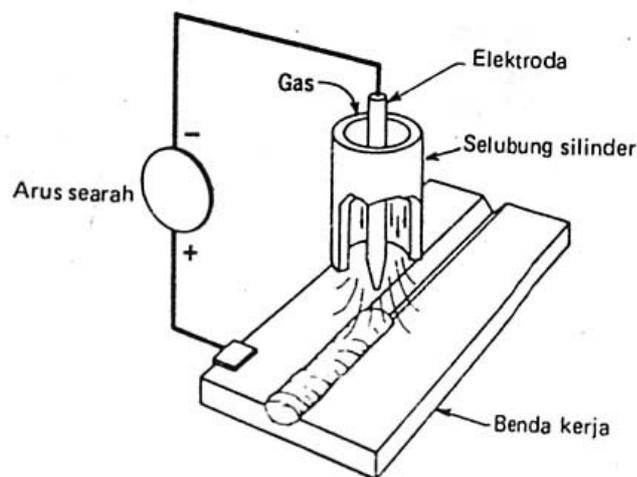
b. Las Busur Gas dengan Pelindung Gas Mulia.

Proses pengelasan ini sambungan dibentuk oleh panas yang ditimbulkan oleh busur yang dibangkitkan diantara elektroda dan benda kerja dimana

busur dilindungi oleh gas mulia seperti argon, helium atau bahkan gas CO₂ atau campuran gas lainnya.

Ada dua jenis pengelasan dengan cara ini yaitu: las TIG (*tungsten inert gas* atau *GTAW = Gas Tungsten Arc Welding*) atau disebut juga pengelasan menggunakan elektroda wolfram dengan logam pengisi, dan las MIG (*metal inert gas* atau *GMAW = Gas Metal Arc Welding*) atau disebut juga pengelasan menggunakan elektroda terumpan. Kedua jenis pengelasan ini bisa dilakukan secara manual ataupun otomatis serta tidak memerlukan fluks ataupun lapisan kawat las untuk melindungi sambungan.

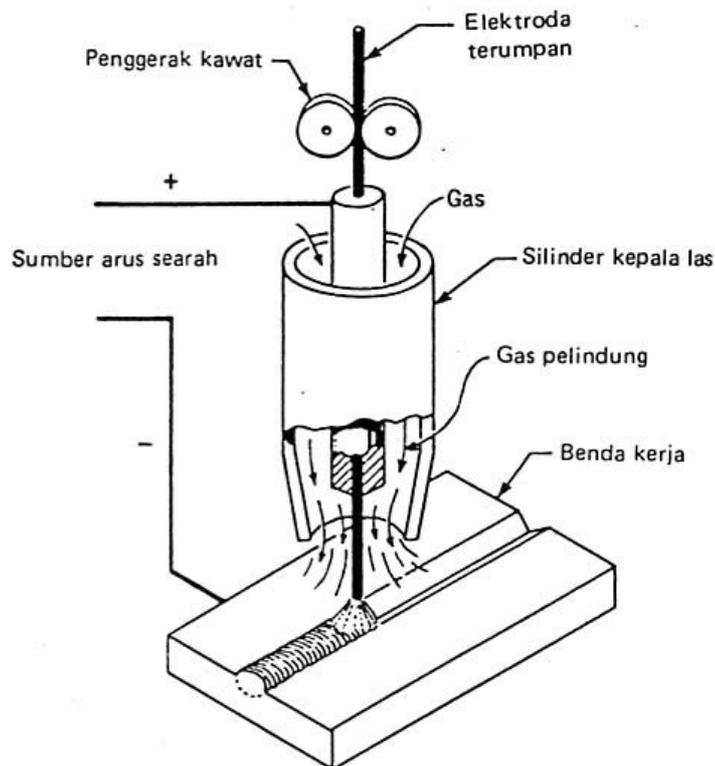
Las busur yang menggunakan elektroda tungsten/wolfram (elektroda tak terumpan) dikenal pula dengan sebutan **las busur wolfram gas/GTAW**. Skema dari pengelasan jenis ini bisa dilihat pada gambar 15. Pada proses ini las dilindungi oleh selubung gas mulia yang dialirkan melalui pemegang elektroda yang didinginkan dengan air.



Gambar 15. Diagram proses las busur wolfram gas mulia.

Pengelasan ini bisa menggunakan arus bolak-balik ataupun arus searah, dimana pemilihan tergantung pada jenis logam yang dilas. Arus searah polaritas langsung digunakan untuk pengelasan baja, besi cor, paduan tembaga dan baja tahan karat, sedangkan polaritas terbalik jarang digunakan. Untuk arus bolak-balik banyak digunakan untuk pengelasan aluminium, magnesium, besi cor dan beberapa jenis logam lainnya. Proses ini banyak dilakukan untuk pengelasan pelat tipis karena biayanya akan mahal jika digunakan untuk pengelasan pelat tebal.

Pengelasan las gas mulia elektroda terumpan bisa dilihat pada gambar 16, dimana antara benda kerja dan elektroda terumpan dilindungi dengan gas pelindung. Efisiensi pengelasan jenis ini lebih tinggi dan kecepatan pengelasan jauh lebih baik. Pengelasan ini umumnya dilakukan secara otomatis.

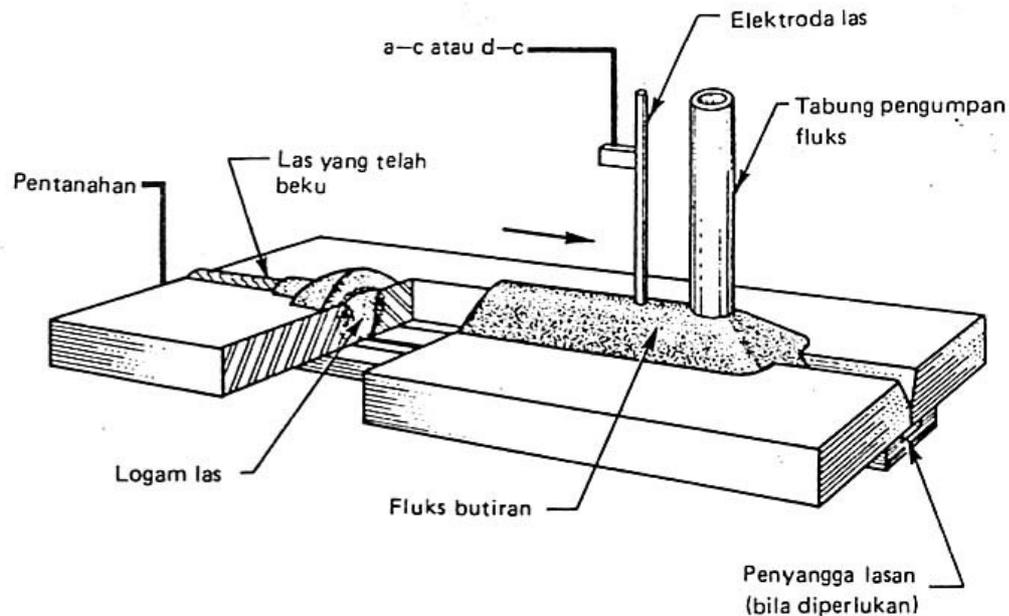


Gambar 16. Diagram las busur gas mulia elektroda terumpan.

Gas karbon dioksida sering digunakan sebagai gas pelindung untuk pengelasan logam baja karbon dan baja paduan rendah.

c. Pengelasan Busur Rendam

Proses pengelasan busur rendam (*submerged arc welding*) adalah proses pengelasan busur dimana logam cair dilindungi oleh fluks selama pengelasan. Gambar 17 memperlihatkan skema pengelasan busur rendam. Busur listrik yang digunakan untuk mencairkan logam tertutup oleh serbuk fluks yang diberikan disepanjang alur las dan proses pengelasan berlangsung didalam fluks tersebut.

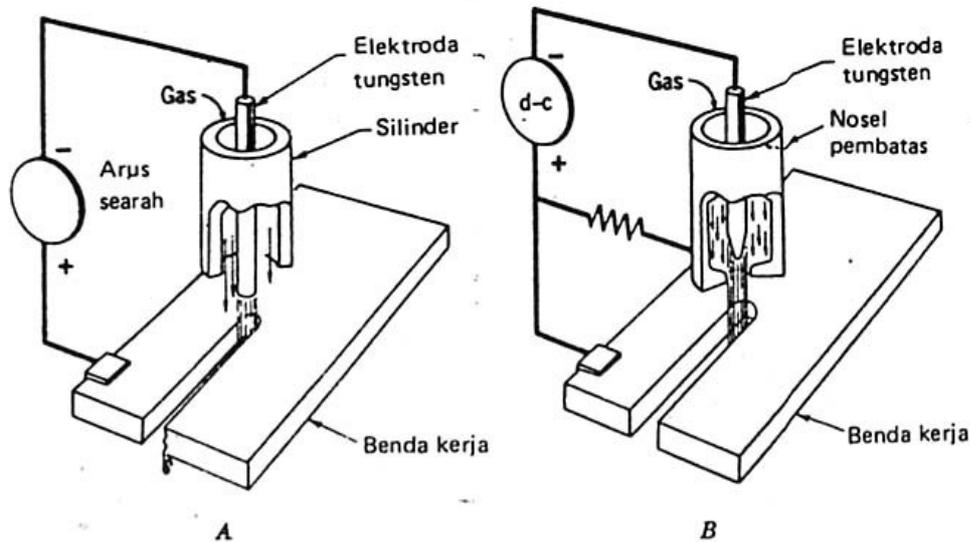


Gambar 17. Skema pengelasan busur rendam.

Pada saat pengelasan, panas yang ditimbulkan busur tidak hanya mencairkan logam namun juga akan mencairkan sebagian dari fluks dimana fluks cair ini akan terapung diatas logam cair sehingga membentuk lapisan pelindung membentuk terak yang mencegah percikan dan terjadinya oksidasi. Ketika logam dan terak sudah dingin, terak bisa dibuang, serbuk fluks yang tidak terpakai dapat digunakan kembali.

d. Pemotongan dengan Busur Plasma.

Pada pengelasan ini, gas dipanaskan oleh busur wolfram hingga suhu sangat tinggi sehingga gas menjadi terion dan menjadi penghantar listrik. Gas dalam kondisi ini disebut *plasma*. Peralatan didesain sedemikian sehingga gas mengalir ke busur melalui lubang halus maka suhu plasma naik dan konsentrasi energi panas pada logam pada area yang kecil akan menyebabkan logam cepat menjadi cair. Ketika gas meninggalkan nosel, gas berkembang dengan cepat dan membawa logam cair, sehingga proses pemotongan bisa berjalan dengan baik. Gambar 18. memperlihatkan skema pemotongan dengan busur plasma.



Gambar 17. Skema perbandingan dua proses memotong dengan busur wolfram gas; A. Pemotongan dengan busur gas helium (non constricted transferred arc). B. Pemotongan dengan plasma (transferred arc).

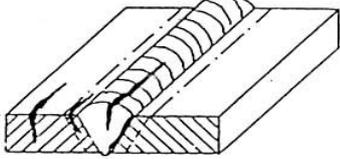
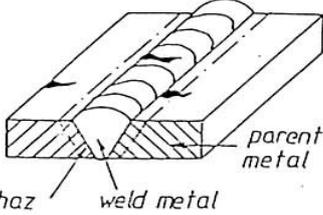
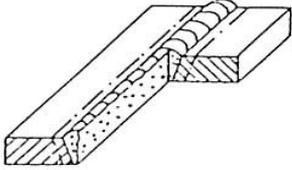
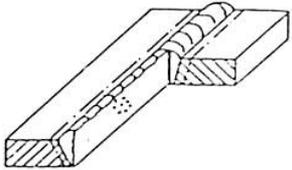
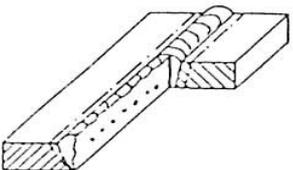
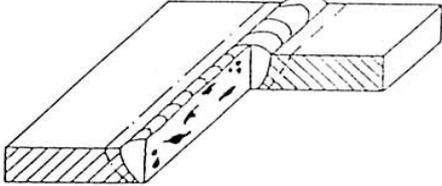
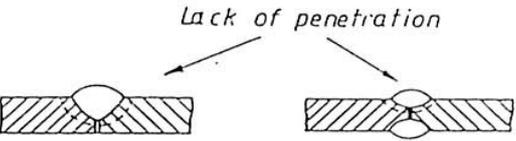
3.3.5. Pengelasan Lainnya

Selain metode pengelasan yang disebutkan di atas masih banyak lagi metode-metode pengelasan yang dilakukan di industri. Ada metode pengelasan listrik berkas elektron, las sinar laser, las gesek, las termit, pengelasan dingin, las ultrasonik, las ledakan dan sebagainya. Metode-metode pengelasan tersebut tidak akan diuraikan disini, untuk itu jika ada pembaca yang berminat untuk mengetahui lebih lanjut silahkan melihat buku-buku referensi dan literatur yang membahas masalah tersebut.

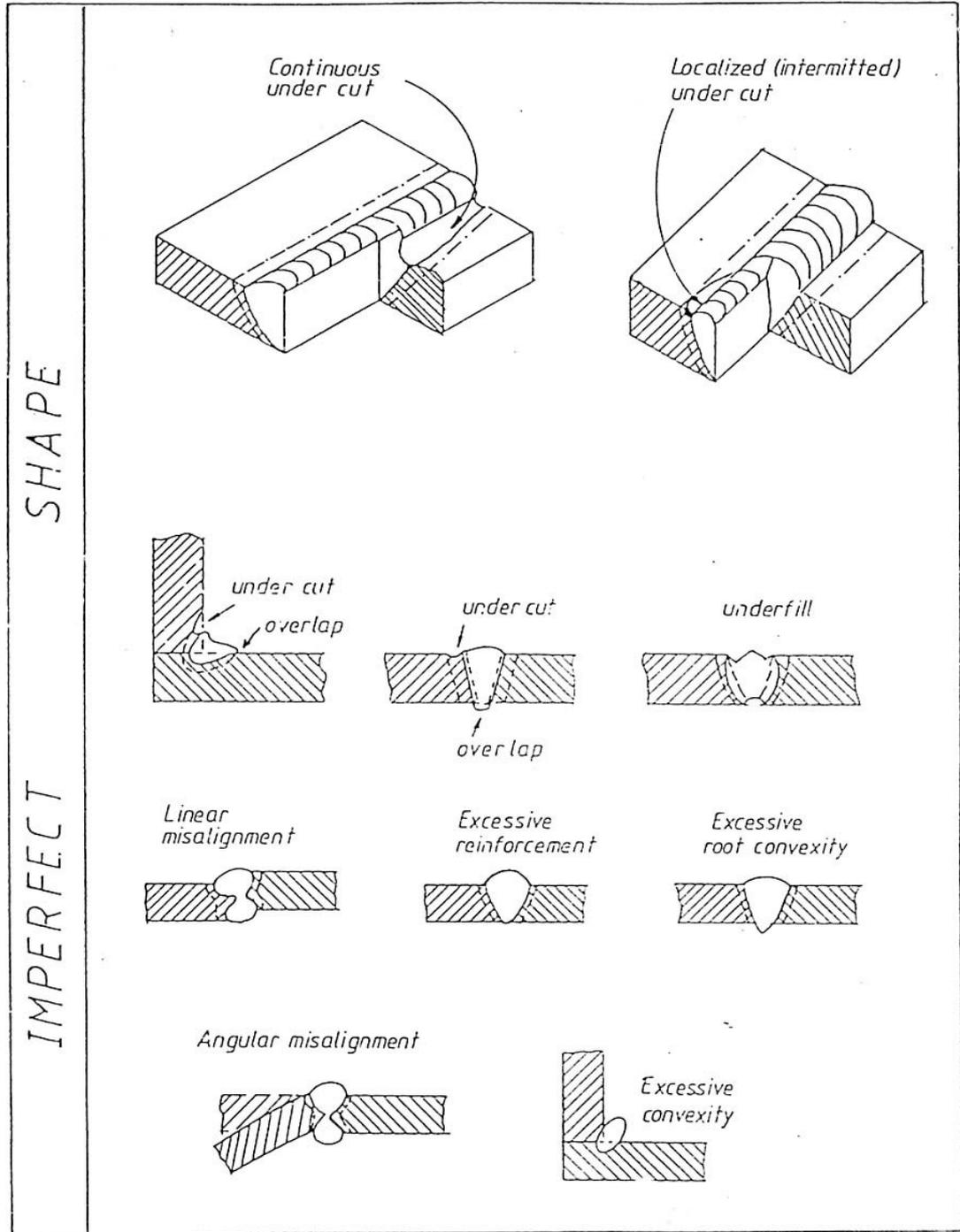
3.3.6 Cacat-cacat Lasan

Berbagai jenis cacat yang dijumpai pada lasan bisa dilihat pada gambar 18. Jenis-jenis cacat yang biasanya dijumpai antara lain:

1. Retak (*Cracks*).
 2. *Voids*.
 3. Inklusi
 4. Kurangnya fusi atau penetrasi (*lack of fusion or penetration*).
- Bentuk yang tak sempurna (*imperfect shape*).

<p>CRACKS</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Longitudinal cracks</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Transverse cracks</p>  </div> </div>
<p>VOIDS. (POROSITY)</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>uniformly distributed porosity</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Localized (clustered) porosity</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Linear porosity</p>  </div> </div>
<p>INCLUSIONS</p>	<p style="text-align: center;">Solid inclusions : - slag inclusions - oxide inclusions - tungsten inclusions</p> 
<p>LACK OF FUSION OR PENETRATION</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Lack of side wall fusion</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Lack of inter-run (interpass) fusion</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Lack of fusion at the root of the weld</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;"> <p>Lack of penetration</p>  </div>

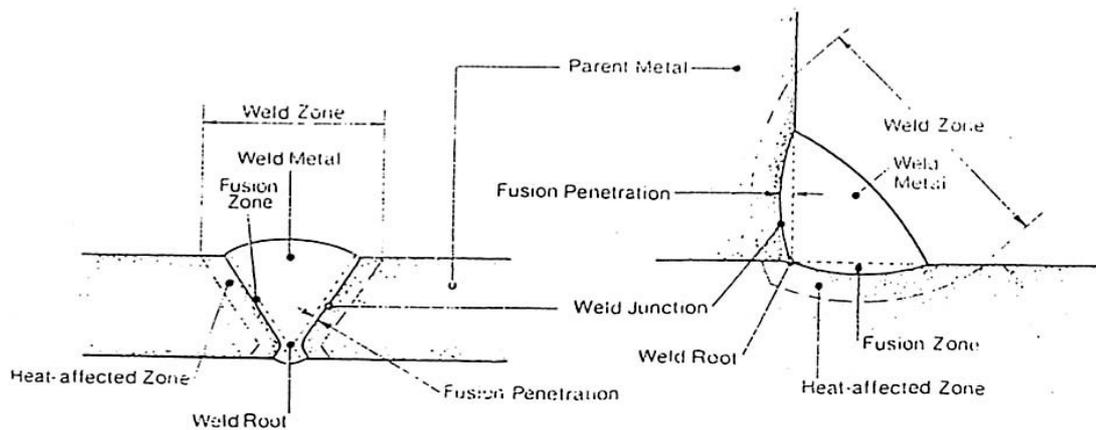
Gambar 18. Cacat-cacat pada lasan.



Gambar 18. (Lanjutan).

Retak

Jenis cacat ini dapat terjadi baik pada logam las (weld metal), daerah pengaruh panas (HAZ) atau pada daerah logam dasar (parent metal).



Gambar 19. Bagian-bagian dari sambungan las.

Cacat retak dibagi atas:

- a. Retak panas
- b. Retak dingin.

Bentuk retakan dapat dibagi menjadi:

- a. Retakan memanjang (longitudinal crack).
- b. Retakan melintang (transverse crack).

Retak panas umumnya terjadi pada suhu tinggi ketika proses pembekuan berlangsung. Retak dingin umumnya terjadi dibawah suhu 200°C setelah proses pembekuan.

Voids (porositas)

Porositas merupakan cacat las berupa lubang-lubang halus atau pori-pori yang biasanya terbentuk di dalam logam las akibat terperangkapnya gas yang terjadi ketika proses pengelasan. Disamping itu, porositas dapat pula terbentuk akibat kekurangan logam cair karena penyusutan ketika logam membeku. Porositas seperti itu disebut: *shrinkage porosity*.

Jenis porositas dapat dibedakan menurut pori-pori yang terjadi yaitu:

- Porositas terdistribusi merata.
- Porositas terlokalisasi.
- Porositas linier.

Inklusi

Cacat ini disebabkan oleh pengotor (inklusi) baik berupa produk karena reaksi gas atau berupa unsur-unsur dari luar, seperti: terak, oksida, logam wolfram atau lainnya. Cacat ini biasanya terjadi pada daerah bagian logam las (weld metal).

Kurangnya Fusi atau Penetrasi

Kurangnya Fusi

Cacat ini merupakan cacat akibat terjadinya "discontinuity" yaitu ada bagian yang tidak menyatu antara logam induk dengan logam pengisi. Disamping itu cacat jenis ini dapat pula terjadi pada pengelasan berlapis (multipass welding) yaitu terjadi antara lapisan las yang satu dan lapisan las yang lainnya.

Kurangnya Penetrasi

Cacat jenis ini terjadi bila logam las tidak menembus mencapai sampai ke dasar dari sambungan.

Bentuk Yang Tidak Sempurna

Jenis cacat ini memberikan geometri sambungan las yang tidak baik (tidak sempurna) seperti: *undercut*, *underfill*, *overlap*, *excessive reinforcement* dan lain-lain. Morfologi geometri dari cacat ini biasanya bervariasi.

Soal-soal:

1. Sebutkan perbedaan antara penyolderan dan pematrian.
2. Gambarkan bentuk-bentuk/jenis-jenis sambungan las.
3. Coba anda jelaskan tentang pengelasan dengan nyala oksiasetilen.
4. Jelaskan cara kerja las busur listrik.
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pengelasan proyeksi.
6. Apa yang dimaksud dengan las busur listrik.
7. Elektroda las busur listrik ada yang mempunyai lapisan. Sebutkan fungsi-fungsi lapisan pada elektroda berlapis tebal.
8. Apa yang dimaksud dengan las busur gas dengan pelindung Gas Mulia.
9. Apa yang dimaksud dengan *Pengelasan busur rendam*, jelaskan.
10. Sebutkan macam-macam cacat lasan yang kamu ketahui.

BAB IV

PENGERJAAN PANAS LOGAM

Ingot baja masih memerlukan pengerjaan lebih lanjut untuk membentuknya menjadi benda yang bermanfaat. Bila ingot lebih dingin, proses pembentukan secara mekanis menjadi batang, dilakukan baik melalui proses penempaan, pres atau tekan, giling atau ekstruksi. Untuk menghilangkan pengaruh negatif akibat pengerjaan pada suhu tinggi, kebanyakan logam ferrous dibentuk lebih lanjut dengan pengerjaan dingin atau penyelesaian dingin agar diperoleh permukaan yang halus, ketepatan dimensi dan peningkatan sifat mekanik.

Dua jenis pengerjaan mekanik dimana logam mengalami deformasi plastik dan perubahan bentuk adalah pengerjaan panas dan pengerjaan dingin. Pada pengerjaan panas, gaya deformasi yang diperlukan adalah lebih rendah dan perubahan sifat mekanik tidak seberapa. Pada pengerjaan dingin, diperlukan gaya yang lebih besar, akan tetapi kekuatan logam tersebut akan meningkat dengan cukup berarti.

Suhu rekristalisasi logam menentukan batas antara pengerjaan panas dan dingin. Pengerjaan panas logam dilakukan di atas suhu rekristalisasi atau di atas daerah pengerasan kerja. Pengerjaan dingin dilakukan di bawah suhu rekristalisasi dan kadang-kadang berlangsung pada suhu ruang. Suhu rekristalisasi baja berkisar antara 500 °C sampai 700 °C. Tidak ada gejala pengerasan kerja di atas suhu rekristalisasi. Pengerasan kerja baru mulai terjadi ketika limit bawah daerah rekristalisasi dicapai.

Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan mudah dibentuk oleh tekanan. Pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan [ingot] setelah dicor umumnya mengandung banyak rongga. Rongga tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
2. Ketidakmurnian dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
3. Butir yang kasar dan butir berbentuk kolom diperhalus. Hal ini berlangsung di daerah rekristalisasi.
4. Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir. Keuletan dalam logam meningkat.
5. Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

Segi negatif proses pengerjaan panas tidak dapat diabaikan. Pada suhu yang tinggi terjadi oksidasi dan pembentukan kerak pada permukaan logam sehingga penyelesaian permukaan tidak bagus. Peralatan pengerjaan panas dan biaya pemeliharaannya tinggi, namun prosesnya masih jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pengerjaan logam pada suhu rendah.

Proses utama pengerjaan panas logam adalah :

- A. Pengerolan/penggilasan [*rolling*]
- B. Penempaan [*forging*]
 1. Penempaan palu
 2. Penempaan timpa
 3. Penempaan upset
 4. Penempaan tekan
 5. Penempaan pres
 6. Penempaan rol
 7. Penempaan dingin
- C. Ekstrusi
- D. Pembuatan pipa dan tabung
- E. Penarikan
- F. Pemutaran panas
- G. Cara khusus

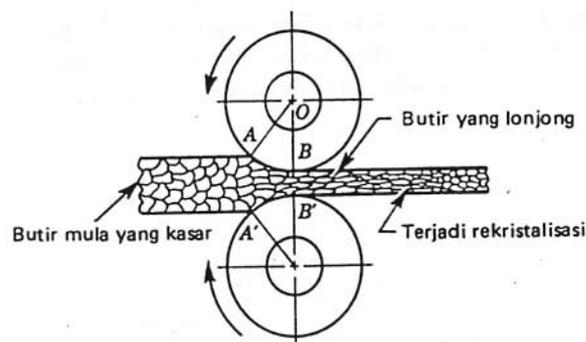
4.1. Pengerolan (ROLLING)

Batang baja yang tidak dilebur kembali dan dituang dalam cetakan diubah bentuknya dalam dua tahap :

1. Pengerolan baja menjadi barang setengah jadi: bloom, bilet, slab.
2. Pemrosesan selanjutnya dari bloom, bilet, slab menjadi pelat, lembaran, batangan, bentuk profil atau lembaran tipis [foil].

Baja didiamkan dalam cetakan ingot hingga proses pembekuan lengkap, kemudian dikeluarkan dari cetakan. Selagi panas, ingot dimasukan dalam dapur gas yang disebut pit rendam dan dibiarkan sampai mencapai suhu kerja merata sekitar 1200 °C. Ingot kemudian dibawa ke mesin pengerolan dimana ingot dibentuk menjadi bentuk setengah jadi seperti *bloom*, *bilet*, *slab*. Bloom mempunyai ukuran minimal 150×150 mm. Bilet lebih kecil daripada bloom dan mempunyai ukuran persegi, ukuran mulai dari 40×40mm sampai 150×150 mm. Bloom atau bilet dapat digiling menjadi slab yang mempunyai lebar minimal 250 mm dan tebal minimal 40 mm. Lebar selalu tiga (atau lebih) kali tebal, dengan ukuran maksimal 1500 mm. Pelat, skelp dan setrip tipis digiling dari slab.

Salah satu efek dari operasi pengerjaan panas pengerolan ialah penghalusan butir yang disebabkan rekristalisasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 1, struktur yang kasar, kembali menjadi struktur memanjang akibat pengaruh penggilingan. Karena suhu yang tinggi, rekristalisasi terjadi dan butir halus mulai terbentuk. Butir-butir tersebut tumbuh dengan cepat sampai limit bawah suhu rekristalisasi tercapai.

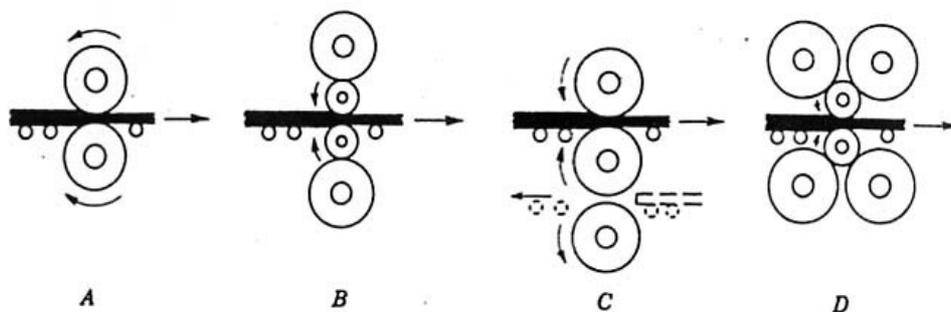


Gambar 1. Pengaruh pengerolan panas pada bentuk dan besar butir.

Busur AB dan A'B' merupakan daerah kontak dengan rol. Aksi jepit pada benda kerja diatasi oleh gaya gesek pada daerah kontak dan logam tertarik diantara rol. Logam keluar dari rol dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan masuk.

Pada titik antara A dan B kecepatan logam sama dengan kecepatan keliling rol. Ketebalan mengalami deformasi terbanyak sedangkan lebar hanya bertambah sedikit. Keseragaman suhu sangat penting pada semua operasi pengerolan karena hal tersebut berpengaruh atas aliran logam dan plastisitas.

Pengerolan primer dilakukan dalam mesin rol bolak-balik bertingkat dua atau mesin rol kontinyu bertingkat tiga. Pada mesin bolak-balik bertingkat dua seperti gambar 2A lembaran logam bergerak diantara rol, yang kemudian dihentikan dan dibalik arahnya dan operasi tersebut diulang lagi. Pada interval tertentu logam diputar 90 derajat agar penampang uniform dan butir-butir merata dalam logam tersebut. Diperlukan sekitar 30 pas untuk mengurangi penampang ingot yang besar menjadi bloom (150×150 mm minimal). Pada rol atas maupun bawah terdapat alur sehingga memungkinkan reduksi luas penampang dalam berbagai ukuran. Mesin rol bertingkat dua adalah mesin serbaguna karena dapat diatur kemampuannya sesuai dengan ukuran batangan dan laju reduksi. Hanya ukuran panjang batangan yang dapat dirol terbatas dan pada setiap siklus pembalikan gaya kelembaman harus diatasi. Kerugian ini diatasi pada mesin rol bertingkat tiga, gambar 2.C, namun disini diperlukan adanya mekanisme elevasi. Selain ini terdapat sedikit kesulitan dalam mengatur kecepatan rol, mesin rol bertingkat tiga lebih murah dan mempunyai keluaran lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bolak-balik.



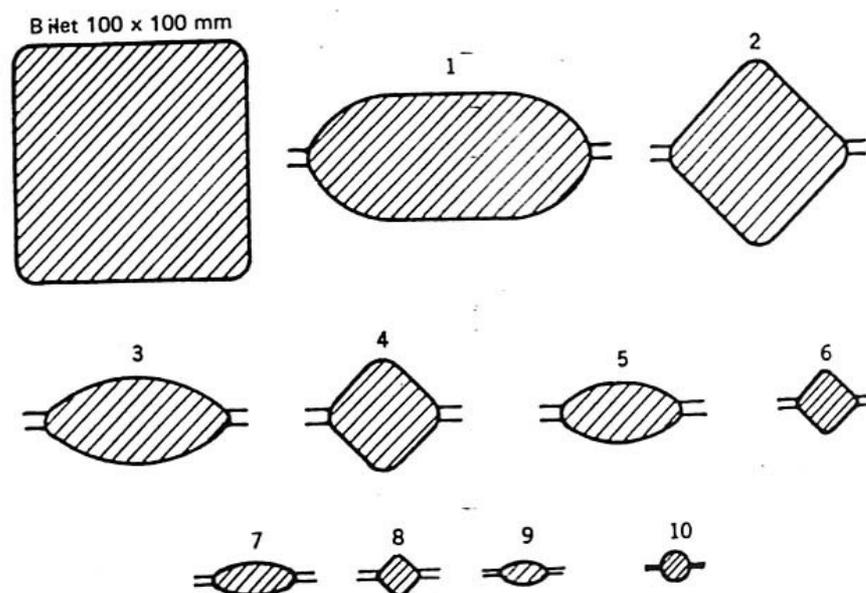
Gambar 2. Berbagai cara penyusunan rol dalam mesin rol. A. Mesin bertingkat dua, kontinu atau bolak-balik. B. Mesin bertingkat empat dengan rol pendukung untuk lembaran yang lebar. C. Mesin bertingkat tiga bolak-balik. D. Mesin rol kelompok dengan empat buah rol pendukung.

Pada gambar 3 terlihat jumlah pas dan urutan reduksi penampang sebuah bilet berukuran 100×100 mm menjadi batang bulat.

4.2. PENEMPAAN (FORGING)

Penempaan palu

Pada proses penempaan, logam yang dipanaskan ditimpa dengan mesin tempa uap diantara perkakas tangan atau die datar. Penempaan tangan yang dilakukan oleh pandai besi merupakan cara penempaan tertua yang dikenal. Pada proses ini tidak dapat diperoleh ketelitian yang tinggi dan tidak dapat pula dikerjakan pada benda kerja yang rumit. Berat benda tempa berkisar antara beberapa kilogram sampai 90 Mg.

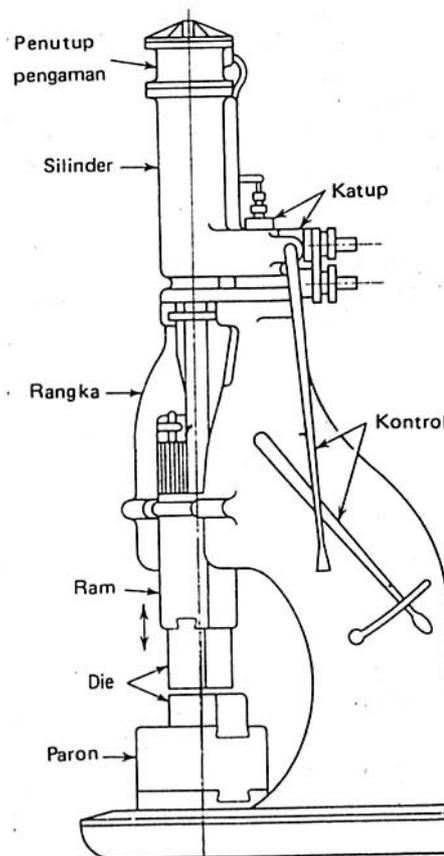


Gambar 3. Diagram yang menggambarkan jumlah pas dan urutan mereduksi penampang bilet 100×100 mm menjadi batang bulat.

Mesin tempa ringan mempunyai rangka terbuka atau rangka sedehana, sedang rangka ganda digunakan untuk benda tempa yang lebih besar dan berat. Pada gambar 4 dapat dilihat mesin tempa uap.

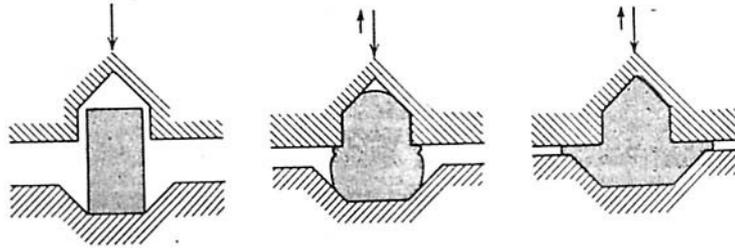
Penempaan Timpa

Perbedaan antara penempaan palu dan penempaan timpa terletak pada jenis *die* yang digunakan. Penempaan timpa menggunakan die tertutup, dan benda kerja terbentuk akibat impak atau tekanan, memaksa logam panas yang plastis, dan mengisi bentuk die. Prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar 5. Pada operasi ini ada aliran logam dalam die yang disebabkan oleh timpaan yang bertubi-tubi. Untuk mengatur aliran logam selama timpaan, operasi ini dibagi atas beberapa langkah. Setiap langkah merubah bentuk kerja secara bertahap, dengan demikian aliran logam dapat diatur sampai terbentuk benda kerja.



Gambar 4. Mesin tempa uap dengan rangka terbuka.

Suhu tempa untuk baja $1100^{\circ} - 1250^{\circ} \text{ C}$, tembaga dan paduannya: $750-925^{\circ} \text{ C}$, magnesium: $370-450^{\circ} \text{ C}$ benda tempa dengan die tertutup mempunyai berat mulai dari beberapa gram sampai 10 Mg.



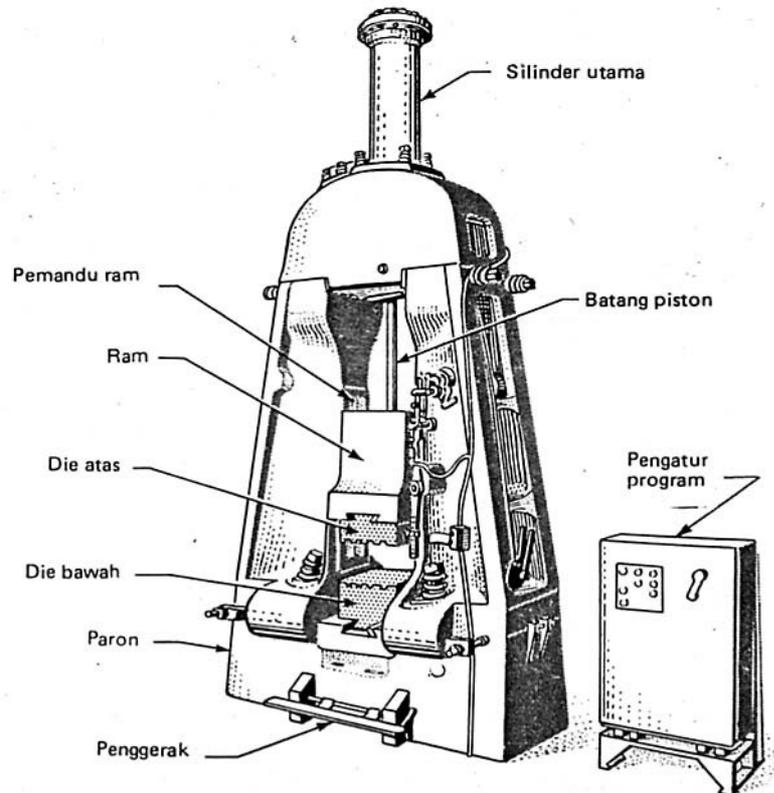
Gambar 5. Penempaan timpa dengan die tertutup.

Dikenal dua jenis mesin penempaan timpa yaitu: palu uap dan palu gravitasi. Pada palu uap pembenturan tekanan impak terjadi akibat gaya palu dan die ketika mengenai die bawah. Pada gambar 6. terlihat palu piston. Untuk mengangkat palu digunakan udara atau uap. Dapat diatur tinggi jatuhnya dengan program, oleh karena itu dapat dihasilkan benda kerja yang lebih uniform. Palu piston dibuat dengan kapasitas mulai dari berat palu 225 kg sampai 4500 kg. Palu piston banyak digunakan di industri perkakas tangan, gunting, sendok, garpu, suku cadang, dan bagian pesawat terbang.

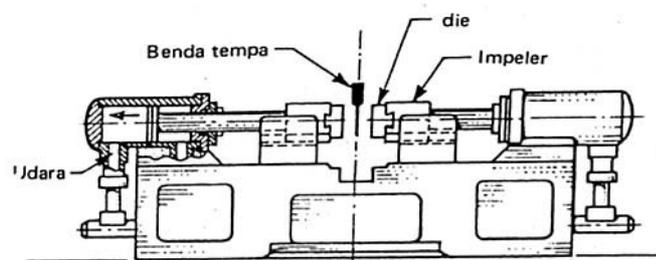
Palu tempa impak seperti gambar 7 terdiri dari dua silinder yang berhadapan dalam bidang horisontal, yang menekan impeler dan die. Bahan diletakkan pada bidang impak dimana kedua bagian die bertemu. Deformasi dalam bahan menyerap energi. Pada proses ini bahan mengalami deformasi yang sama pada kedua sisinya; waktu kontak antara bahan dan die lebih singkat, energi yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dengan proses tempa lainnya dan benda dipegang secara mekanik.

Setelah selesai, semua benda tempa rata-rata tertutup oleh kerak harus dibersihkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mencelupkannya dalam asam, penumbukan peluru atau tumbling, tergantung pada ukuran dan komposisi benda tempa. Bila selama penempaan terjadi distorsi, operasi pelurusan atau menepatkan ukuran dapat dilakukan.

Keuntungan dari operasi penempaan ialah struktur kristal yang halus dari logam, tertutup lubang-lubang, waktu pemesinan dan meningkatnya sifat-sifat fisis. Baja karbon, baja paduan besi tempa, tembaga, paduan aluminium dan paduan magnesium dapat ditempa. Kerugian ialah timbulnya inklusi kerak dan mahalnya die sehingga tidak ekonomis untuk membentuk benda dalam jumlah yang kecil.



Gambar 6. Palu piston.



Gambar 7. Mesin tempa impak.

Penempaan dengan die tertutup mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan penempaan dengan die terbuka, antara lain penggunaan bahan yang lebih ketat, kapasitas produksi yang lebih tinggi dan tidak diperlukannya keahlian khusus.

Penempaan Tekan

Pada penempaan tekan, deformasi plastik logam melalui penekanan berlangsung dengan lambat, yang berbeda dengan impak palu yang

berlangsung dengan cepat. Mesin tekan vertikal dapat digerakkan secara mekanik atau hidrolik. Pres mekanik yang agak lebih cepat dapat menghasilkan tekanan antara 4 sampai 90 MN (Mega Newton). Tekanan yang diperlukan untuk membentuk baja suhu tempa bervariasi antara 20-190 MPa (Mega Pascal). Tekanan dihitung terhadap penampang benda tempa pada garis pemisah die.

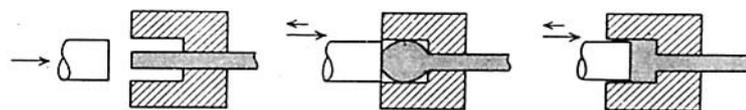
Untuk mesin tekan kecil digunakan die tertutup dan hanya diperlukan satu langkah pembentuk untuk penempaan. Tekanan maksimum terjadi pada akhir langkah yang memaksa membentuk logam.

Pada penempaan tekan, sebagian besar energi dapat diserap oleh benda kerja, sedang pada tempa palu sebagian energi diteruskan ke mesin dan pondasi. Reduksi dan benda kerja jauh lebih cepat, oleh karena itu biaya operasi lebih rendah. Banyak bagian dengan bentuk yang tak teratur dan rumit dapat ditempa secara lebih ekonomis dengan proses tempa timpa.

Penempaan Upset

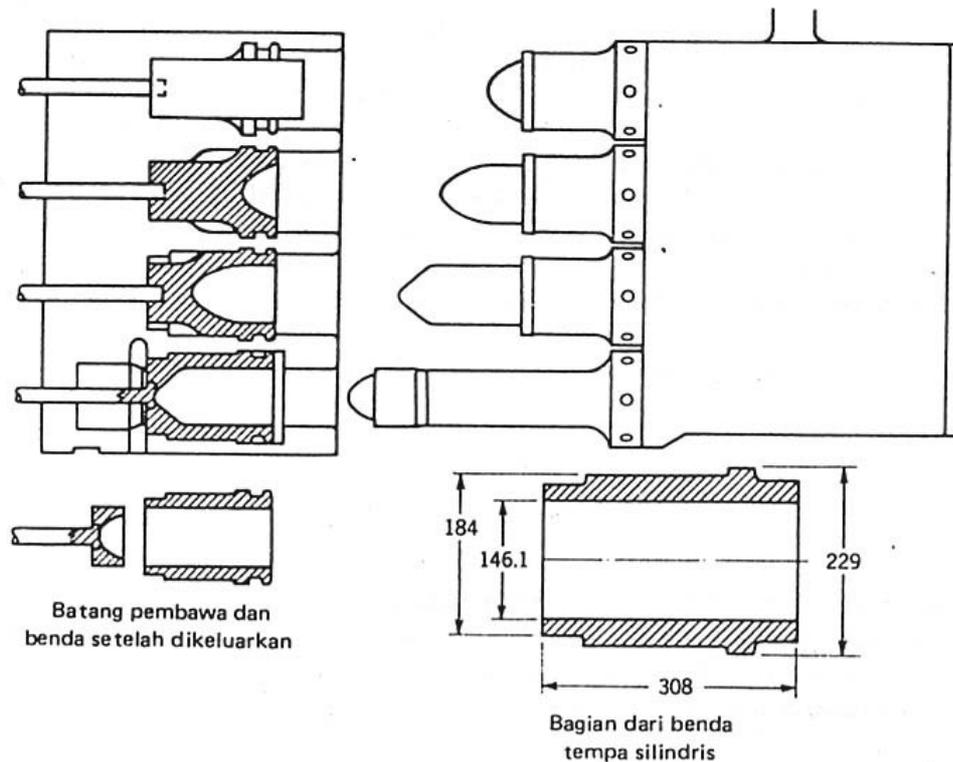
Pada penempaan upset batang berpenampang rata dijepit dalam die dan ujung yang dipanaskan ditekan sehingga mengalami perubahan bentuk seperti terlihat pada gambar 8. Panjang benda upset 2 atau 3 kali diameter batang, bila tidak benda kerja akan bengkok.

Pelubangan progresif sering dilakukan pada penempaan upset seperti untuk membuat selongsong peluru artileri atau silinder mesin radial.



Gambar 8. Penempaan upset.

Urutan operasi untuk menghasilkan benda berbentuk silinder bisa dilihat pada gambar 9. Potongan bahan bulat dengan panjang tertentu dipanaskan sampai suhu tempa, kemudian bahan ditekan secara progresif untuk melobangnya sehingga diperoleh bentuk tabung.

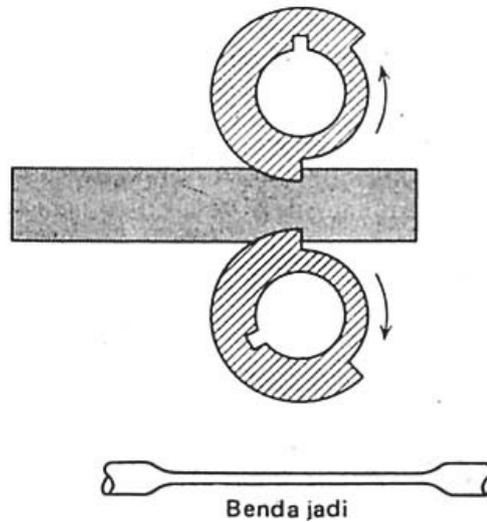


Gambar 9. Urutan operasi penempaan silinder menggunakan mesin tempa upset.

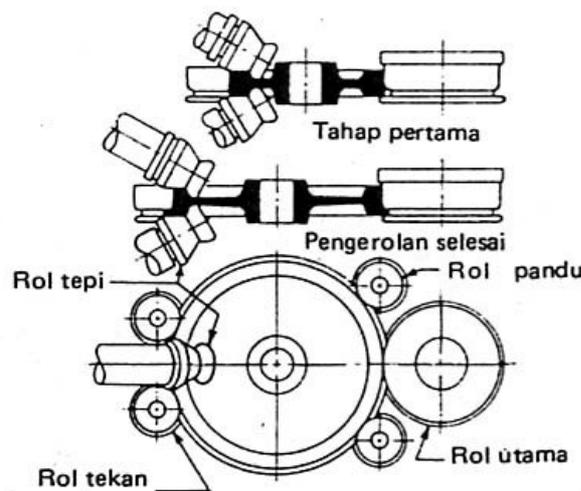
Penempaan Rol

Batang bulat yang pendek dikecilkan penampangannya atau dibentuk tirus dengan mesin tempa rol. Bentuk mesin rol terlihat pada gambar 10 dimana rol tidak bulat sepenuhnya, akan tetapi dipotong 25-75% untuk memungkinkan bahan tebuk masuk diantara rol. Bagian yang bulat diberi alur sesuai dengan bentuk yang dihendakinya. Bila rol dalam berada dalam posisi terbuka, operator menempatkan batang yang dipanaskan di antara rol. Ketika rol berputar, batang dijepit oleh alur rol dan didorong ke arah operator. Bila rol terbuka, batang didorong kembali dan digiling lagi, atau dipindahkan keluar berikutnya untuk lengkap pembentukan selanjutnya.

Untuk mengerol roda, ban logam dan benda-benda serupa lainnya diperlukan mesin rol yang agak berbeda. Pada gambar 11 terlihat proses untuk mengerol roda. Bila roda berputar diameter berangsur-angsur bertambah sedang pelat dan rim makin tipis. Roda dirol sampai mencapai diameter sesuai dengan ukuran kemudian dipindahkan ke mesin pres lainnya untuk proses pembentukan akhir.



Gambar 10. Prinsip penempaan rol



Gambar 11. Pembuatan roda dengan proses penempaan rol panas.

4.3. EKSTRUSI

Ekstrusi merupakan proses dengan deformasi atau perubahan bentuk yang tinggi dan dapat membuat penampang dengan panjang hingga 150 m. Jenis produk ekstrusi: batang, pipa, profil tertentu, patron kuningan, kabel berselongsong timah hitam. Logam timah hitam dan timah putih, serta aluminium dapat diekstrusi dalam keadaan dingin, sedang untuk logam lain harus dipanaskan terlebih dahulu. Ekstrusi logam menggunakan press tipe horisontal dan dijalankan secara hidrolik. Kecepatan tekan bergantung pada suhu dan bahan, mulai dari beberapa meter permenit sampai 275 m/ menit.

Keuntungan dari ekstrusi:

- membuat berbagai jenis bentuk produk berkekuatan tinggi
- ketepatan ukuran
- penyelesaian permukaan yang baik pada kecepatan produksi yang tinggi
- harga die yang relatif rendah

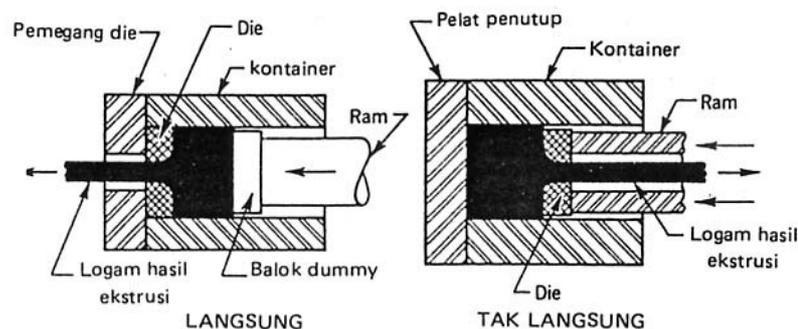
Ekstrusi Langsung

Bilet bulat yang telah dipanaskan, dimasukkan dalam ruang die, balok dummy dan ram diletakkan pada posisinya. Logam diekstrusi melalui lubang pada die. Proses ekstrusi ini bisa dilihat pada gambar 12.

Ekstrusi Tidak Langsung

Hampir sama dengan ekstrusi langsung, namun logam yang diekstrusi ditekan keluar melalui lubang yang terdapat ditengah ram. Gaya yang diperlukan lebih rendah karena tidak ada gesekan antara bilet dan dinding konteiner.

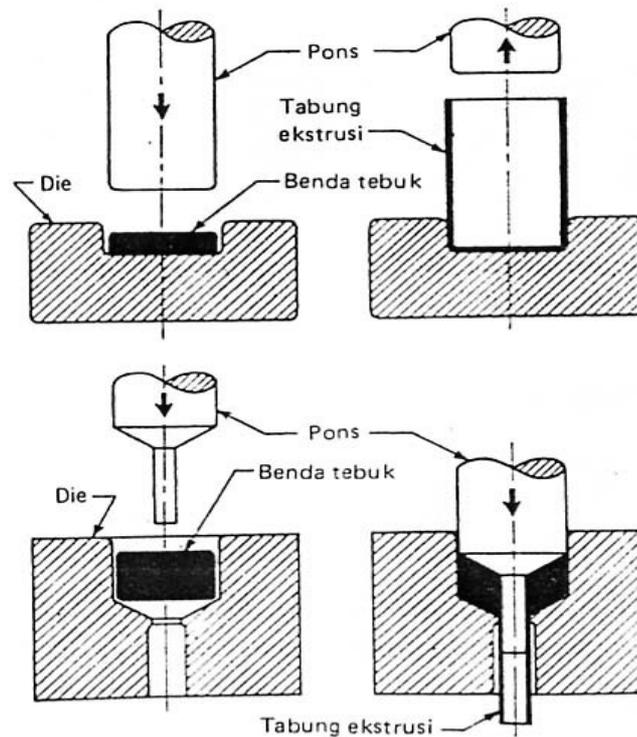
Kelemahannya: ram tidak kokoh karena terdapat lubang ditengahnya dan produk hasil ekstrusi sulit ditopang dengan baik.



Gambar 12. Diagram ekstrusi langsung dan tak langsung.

Ekstrusi Impak

Pada proses ini slug ditekan sehingga bahan slug terdorong keatas dan sekelilingnya. Ekstrusi Impak merupakan proses pengerjaan dingin logam meskipun begitu, pada beberapa jenis logam dan benda kerja, khususnya dengan dinding yang tebal, slug dipanaskan.



Gambar 12A. Ekstrusi impak

4.4. PEMBUATAN PIPA DAN TABUNG

Pipa dan tabung dapat dibuat dengan pengelasan tumpul atau pengelasan listrik lembaran pelat yang dilengkungkan, penusukan tembus, dan ekstrusi. Penusukan tembus dan ekstrusi digunakan untuk pembuatan pipa penyaluran gas atau bahan kimia cair.

Pipa las tumpul digunakan dalam bidang konstruksi, tiang penyangga, saluran air, gas dan limbah. Pipa las listrik digunakan untuk mengalirkan produk minyak bumi atau air.

Las Lantak (*seamweld*)

Proses las lantak terbagi 2, yaitu :

a. Las Lantak Terputus

Baja yang dilas disebut skelp. Skelp dilengkungkan sampai bulat. Sebagai proses awal salah satu ujung skelp dibentuk agar mudah masuk dalam cetakan yang berbentuk lonceng. Setelah skelp dipanaskan sesuai suhu las, skelp ditarik hingga menjadi bulat dan kedua tepinya dilas menjadi

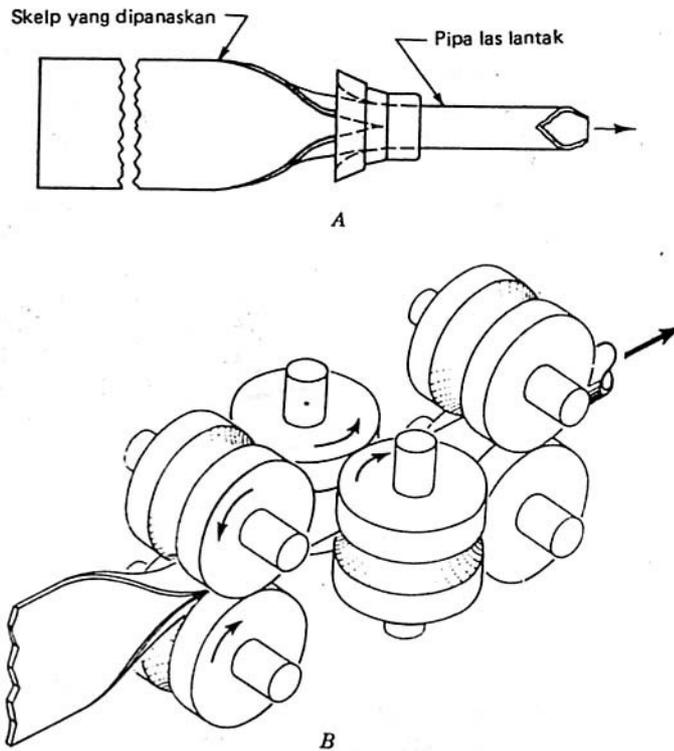
satu. Selanjutnya pipa dilewatkan pada rol penyelesaian untuk memperoleh ketepatan ukuran dan untuk membersihkan teraknya.

b. Las Lantak Kontinyu

Skelp berbentuk gulungan dan pita dilas membentuk pita yang kontinu. Tepi pita dipanaskan pada dapur kemudian setelah dikeluarkan dari dapur skelp memasuki serangkaian rol yang horisontal dan vertikal yang membentuknya menjadi pipa. Ukuran yang dapat dibuat dengan las lantak kontinu berkisar antara diameter 75 mm. Proses pembuatan las lantak bisa dilihat pada gambar 13 berikut ini.

Las Lantak Listrik

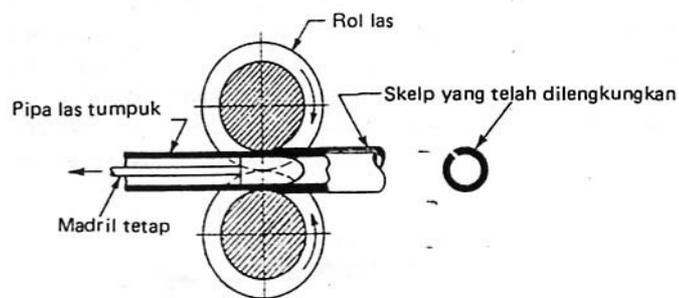
Pembentukan sirkular pada pelat dilakukan dengan melalukan pelat melalui pasangan-pasangan rol secara kontinyu yang secara berangsur-angsur mengubah bentuk pelat. Perangkat pengelasan ditempatkan pada ujung mesin rol yang terdiri dari: 3 rol senter, rol tekan, dan dua elektroda rol yang mengalirkan arus penghasil panas. Setelah dilakukan pengelasan, pipa kemudian melalui rol ukuran dan rol penyelesaian agar pipa betul – betul konsentris dan ukurannya sesuai. Proses ini dapat membuat pipa berdiameter 400 mm dengan ketebalan antara 3 sampai 5 mm.



Gambar 13. Pembuatan pipa las lantak. A. menarik skelp melalui pembentuk lonceng. B. Skelp dibentuk menjadi pipa las lantak kontinyu.

Las Tumpuk

Tepi skelp yang berbentuk agak tirus dipanaskan, lalu skelp ditarik melalui die atau diantara rol sehingga berbentuk silinder dengan tepinya saling tertindih. Diantara rol terdapat mandril yang ukurannya sama dengan diameter dalam pipa. Tepi-tepi dilas dengan tekanan antara rol dan mandril. Pipa las tumpuk dibuat dengan ukuran diameter 50 sampai 400 mm. (gambar 14.).



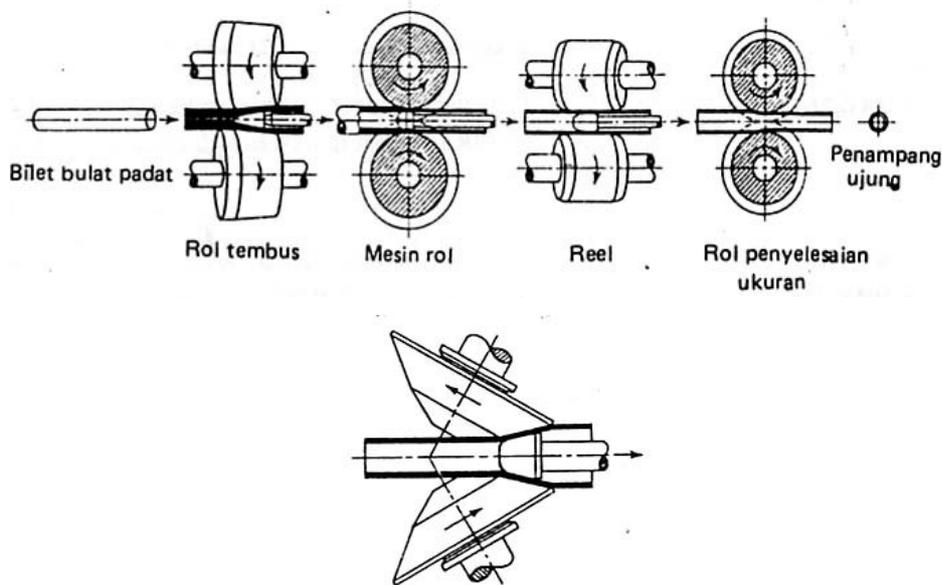
Gambar 14. Cara pembuatan pipa las tumpuk dari skelp.

Pelubangan Tembus

Pada pembuatan pipa atau tabung tanpa kampuh las, bilet baja silindris bergerak diantara dua rol berbentuk konis yang berputar dalam arah yang sama. Diantara kedua rol terdapat mandril yang akan melubangi pipa.

Mula – mula bilet dari lubang senter dipanaskan hingga mencapai suhu tempa, kemudian ditampa masuk diantara kedua rol penembus yang memaksa bilet berputar dan bergerak maju. Proses ini nantinya akan menghasilkan lubang tengah yang besar sesuai dengan mandril. Setelah keluar dari pelubang tembus, tabung yang berdinding tebal bergerak melalui rol yang beralur sedang, ditengahnya terdapat mandril berbentuk sumbat dan pipa bertambah panjang dan tipis sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Kemudian masuk ke mesin pelurus dan pengatur ketepatan ukuran.

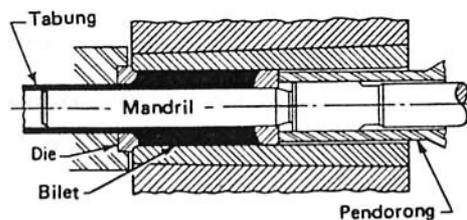
Proses ini dapat membuat tabung tanpa kampuh dengan diameter hingga 150 mm. Untuk tabung yang berdiameter lebih dari 150 mm harus melalui tahap pelubangan tembus kedua dan pelubangan tembus ganda. Kecepatan produksi mesin pelubangan tembus kontinu mencapai 390 m/ menit.



Gambar 15. Proses rol putar untuk tabung tanpa kampuh yang besar.

Ekstrusi Tabung

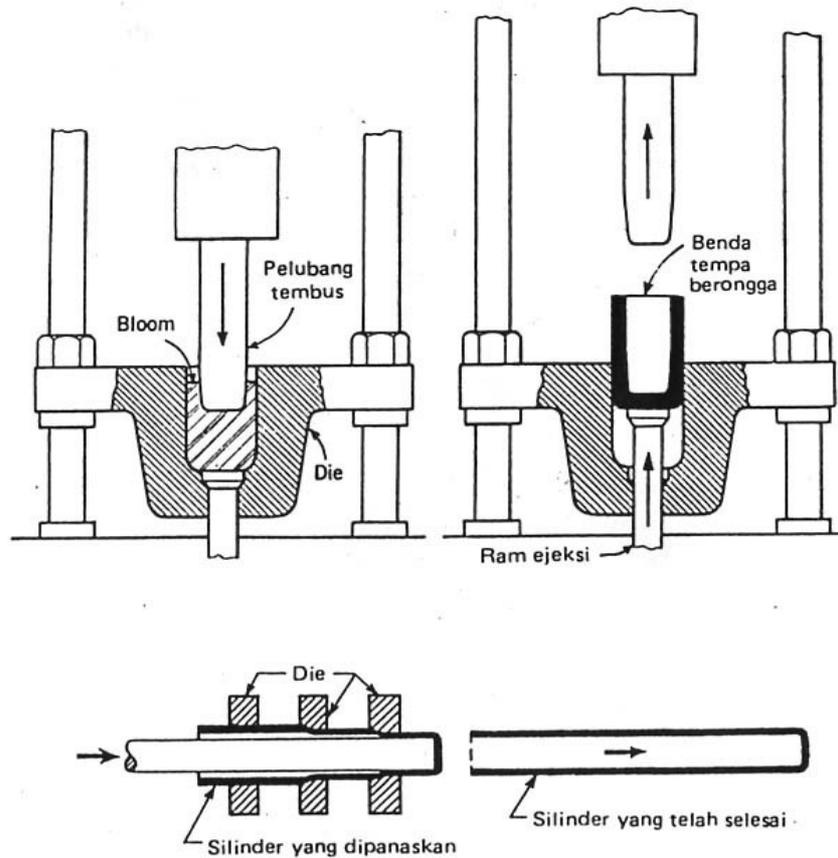
Ekstrusi tabung merupakan bagian dari ekstrusi langsung, tetapi menggunakan mandril untuk membuat lubang bagian dalam tabung. Bilet diletakkan dalam die, mandril didorong melalui bilet dan ram mengekstrusi logam melalui die disekeliling mandril. Kecepatan ekstrusi tabung sampai 180 m/menit, digunakan untuk tabung gas. Proses pembuatan ekstrusi tabung ini bisa dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Ekstrusi tabung dari bilet yang dipanaskan.

4.5. PENARIKAN

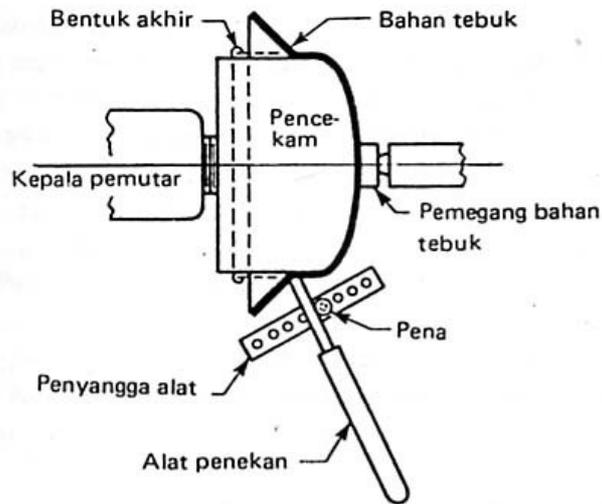
Bloom panas dipasang pada mesin pres vertikal dan dibentuk menjadi benda tempa berongga dengan alas tertutup, lalu benda tempa yang panas kembali dimasukkan dalam pres vertikal dengan die yang semakin kecil. Pelubang yang digerakkan secara hidrolis menekan silinder yang dipanaskan. Untuk silinder berdinding tipis atau tabung pemanas dan penarikan perlu diulang beberapa kali. Untuk ujung pipa tertutup harus dipotong dan dirol kembali agar ukurannya tepat dan hasilnya baik, sedang ujung pipa terbuka ditempa kembali agar membentuk leher silinder atau direduksi dengan pengelolaan panas.



Gambar 17. Penarikan silinder berdinding tebal dari bloom yang dipanaskan.

4.6. PEMUTARAN PANAS

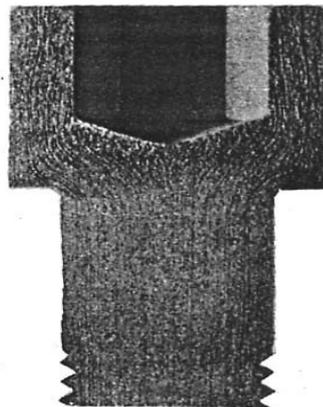
Proses ini dilakukan untuk membentuk pelat bulat yang tebal, besar, mengecilkan, atau menutup ujung dari pipa. Proses ini menggunakan sejenis mesin bubut dan diputar dengan cepat. Pembentukan dilakukan dengan menekan alat yang tumpul pada permukaan benda kerja yang berputar. Logam mengalami deformasi dan menyesuaikan bentuk dengan mandril. Setelah proses berjalan gesekan menimbulkan panas yang dapat melunakan logam.



Gambar 19. Pemutaran panas

4.7. PENEMPAAN PANAS

Thermo – Forging menggunakan suhu kerja antara pengerjaan dingin dan panas. Pada penempaan panas logam tidak akan mengalami perubahan metalurgi dan tidak terdapat cacat-cacat yang biasa ditemui pada suhu tinggi. Suhu logam, tekanan tempa, dan kecepatan tempa harus diatur dengan teliti karena logam berada dibawah suhu rekristalisasi. Pada gambar 18 terlihat gambar penampang suatu kepala sekrup sok. Kelihatan struktur serat yang kontinyu, menunjukkan kekuatan yang tinggi.



Gambar 19. Kepala sekrup sok dibuat dengan proses Thermo-Forging.

Soal-soal:

1. Jelaskan batasan antara pengerjaan panas dan pengerjaan dingin logam.
2. Sebutkan keuntungan-keuntungan pengerjaan panas logam jika dibandingkan dengan proses pengerjaan dingin logam.
3. Jelaskan pengaruh pengerjaan panas terhadap struktur butir bahan.
4. Apa yang dimaksud dengan penempaan upset, dan berikan contoh.
5. Coba anda sebutkan cara-cara pembuatan pipa/tabung pada proses pengerjaan panas logam.
6. Apa yang dimaksud dengan ekstrusi dan jelaskan perbedaan antara ekstrusi langsung dengan ekstrusi tidak langsung.
7. Jelaskan apa yang dimaksud dengan penempaan timpa dengan die tertutup.
8. Jelaskan proses pengerolan pada pengerjaan panas logam, dan gambarkan berbagai cara penyusunan rol dalam mesin rol.

BAB V

PENGERJAAN DINGIN LOGAM

Logam pada umumnya mengalami pengerjaan dingin pada suhu ruang, meskipun perlakuan tersebut mengakibatkan kenaikan suhu. Pengerjaan dingin mengakibatkan timbulnya distorsi pada butir. Pengerjaan dingin dapat meningkatkan kekuatan, memperbaiki kemampuan permesinan, meningkatkan ketelitian dimensi, dan menghaluskan permukaan logam.

Secara umum, proses pengerjaan dingin berakibat:

- 1) Terjadinya tegangan sisa dalam logam, tegangan tersebut dapat dihilangkan dengan suatu perlakuan panas.
- 2) Struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan.
- 3) Kekerasan dan kekuatan meningkat, hal ini seiring dengan berkurangnya keuletan.
- 4) Suhu rekristalisasi baja meningkat.
- 5) Penyelesaian permukaan lebih baik.
- 6) Dapat diperoleh toleransi dimensi yang lebih ketat.

5.1. PROSES PENGERJAAN DINGIN

Secara umum, yang dimaksudkan dengan proses pengerjaan dingin adalah : penggilingan, penarikan, dan ekstruksi.

Operasi pengerjaan dingin secara menyeluruh, yaitu:

- 1) Penarikan
 - a) bahan tebuk (blanks)
 - b) tabung
 - c) cetak-timbul
 - d) kawat
 - e) putar-tekan
 - f) putar-tekan-gunting
 - g) pembentukan-tarik

- h) pembentukan-tarik-tekan
- 2) Penekanan
 - a) koin
 - b) pengerolan dingin
 - c) membuat ukuran dengan tepat
 - d) pemukulan atau tempa dingin
 - e) pembentukan intra
 - f) pembuatan ulir dan alur
 - g) pengelingan
 - h) staking
- 3) Pelengkungan
 - a) pelengkungan sudut
 - b) pengerolan
 - c) pelengkungan pelat
 - d) "curling"
 - e) kampuh
- 4) Pengguntingan
 - a) bahan tebuk
 - b) pons
 - c) pemotongan
 - d) pemangkasan
 - e) perlubangan
 - f) takik
 - g) belah
 - h) tusuk
 - i) serut
- 5) Pembentukan berenergi tinggi
 - a) ledakan
 - b) hidroelektrik
 - c) magnetic
- 6) Hobb
- 7) Ekstruksi
 - a) dingin
 - b) impak

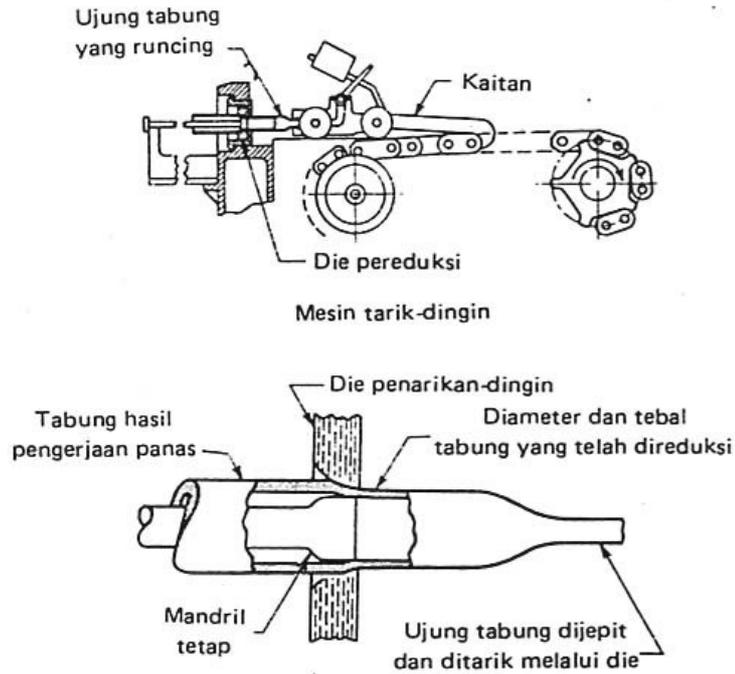
8) Penumbukan peluru

Penyelesaian Tabung

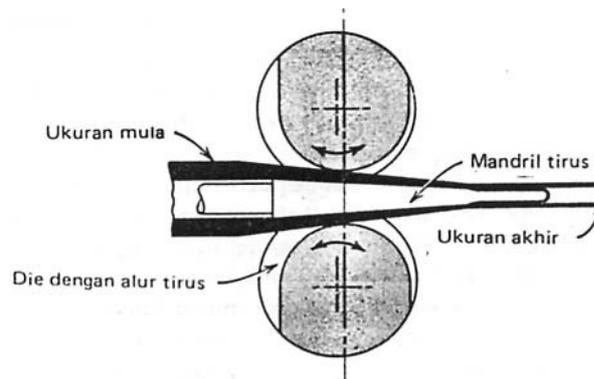
Penyelesaian tabung yang memerlukan ketelitian dimensi, permukaan mulus, dan sifat fisik yang baik dilakukan dengan penarikan dingin atau dengan mereduksi tabung. Tabung yang dibentuk dengan penggilingan panas dibersihkan dengan asam lalu dicuci sampai bebas dari kerak. Sebelum penyelesaian, tabung diberi pelumas untuk mengurangi gesekan dan untuk meningkatkan kehalusan permukaan, kemudian dilakukan penarikan dingin yang dilakukan pada bangku tarik (Gambar 1). Pada salah satu sisi tabung terjadi reduksi diameter akibat pemukulan sehingga dapat masuk ke dalam die, kemudian dijepit dengan penjepit yang dihubungkan dengan rantai penarik. Lubang cetakan lebih kecil dari diameter luar tabung. Permukaan dalam dan diameter ditentukan oleh mandril yang terdapat di dalam tabung. Daya tarik berkisar antara 200 hingga 1300 kN, sedangkan panjangnya dapat mencapai 30 meter.

Dengan penarikan dingin dapat dihasilkan tabung dengan diameter kecil atau tabung yang tipis.

Reduksi tabung dilengkapi dengan die semi lingkaran beralur tirus. (gambar 2). Tabung hasil pengerjaan panas ditarik sambil diputar melalui die ini. Die bergoyang maju – mundur ketika tabung melaluinya. Mandril tirus yang ada di dalam tabung menentukan reduksi dan ukuran akhir tabung.



Gambar 1. Proses penarikan dingin tabung.



Gambar 2. Skema suatu pereduksi tabung.

Tabung hasil penarikan dingin atau tabung hasil mesin pereduksi tabung, memiliki segala kelebihan produk pengerjaan dingin, dan tabung lebih panjang dan lebih tipis dibandingkan dengan pengerjaan panas.

Penarikan Kawat

Batang kawat, dengan diameter 6 mm, berasal dari billet yang digiling kemudian dibersihkan dalam larutan asam untuk menghilangkan kerak dan karat. Batang kawat diberi lapisan pelindung untuk mencegah terjadinya oksidasi, menetralkan sisa-sisa asam dan sekaligus merupakan pelumas atau

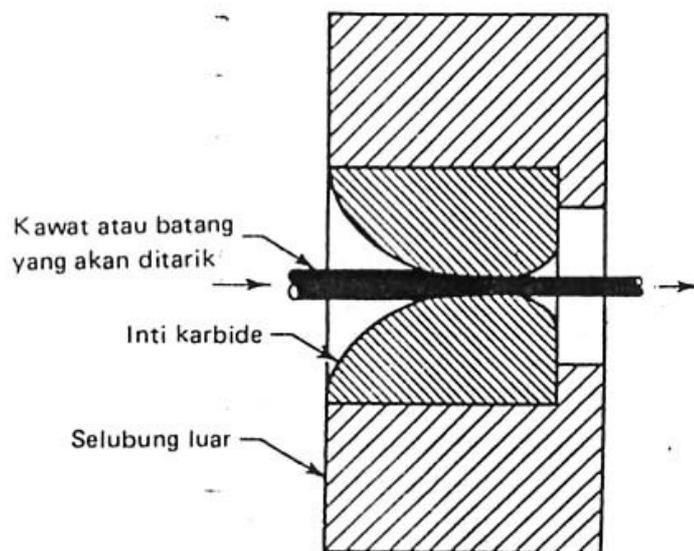
lapisan tempat melekatnya lapisan berikutnya. Proses penarikan dapat bersifat bertahap atau kontinyu.

Proses penarikan bertahap, yakni :

Suatu gulungan kawat dipasangkan di mesin dan salah satu ujungnya dimasukkan ke lubang penarik. Bila ril penarik berputar, kawat ditarik melalui lubang die sambil digulung. Langkah ini diulang beberapa kali, setiap kali digunakan die yang lebih kecil, sampai diperoleh ukuran kawat yang diinginkan.

Proses penarikan kontinyu, yakni :

Kawat yang ditarik melalui beberapa die dan ril penarik disusun secara seri. Sehingga kawat dapat mengalami deformasi maksimal sebelum memerlukan *anil*. Jumlah die tergantung pada jenis logam atau paduan yang sedang ditarik. Die umumnya terbuat dari karbida tungsten, kadang-kadang digunakan die intan.

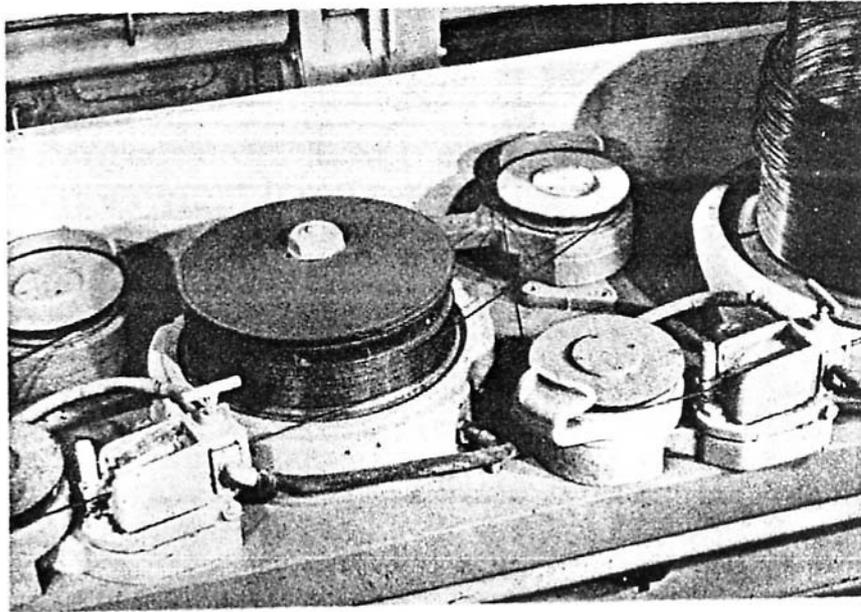


Gambar 3. Penampang die yang digunakan untuk penarik kawat.

Pembuatan Lembaran Tipis

Lembaran tipis, kadang-kadang $\pm 0,02$ cm dibuat dengan cara pengerolan dingin. Bahan baku berupa logam murni atau paduan, memerlukan pengendalian yang sangat ketat. Logam murni atau campuran logam murni dimasukkan secara kontinyu ke dalam tanur peleburan, didinginkan lalu dirol langsung secara kontinyu menjadi

lembaran tipis. Ketebalan lembaran diatur oleh tekanan rol dan tegangan tarik dalam bahan. Permukaan mungkin halus dan mengkilap keduanya atau salah satunya kusam. Efek kusam diperoleh dengan mengerol sepasang lembaran sekaligus. Permukaan yang bersentuhan dengan rol akan mengkilap dan yang bersinggungan satu sama lainnya akan kusam.

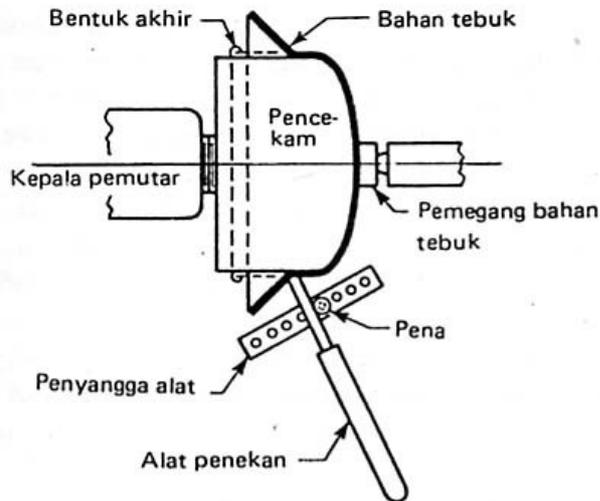


Gambar 4. Mesin penarik kawat kontinyu.

Proses Putar – Tekan

Pada proses ini, lembaran tipis ditekan sambil diputar pada cetakan tertentu (gambar 5.). Benda ditekankan pada cetakan yang berputar berbentuk simetris dan dibuat dari kayu keras dan untuk menghasilkan jumlah yang banyak digunakan cetakan dari baja licin. Bahan tebuk dapat berupa lingkaran datar atau benda hasil linyuk (*deep drawing*). Pekerjaan putar tekan umumnya dilakukan pada permukaan luar meskipun dapat juga diputar tekan dari sisi dalam. Proses putar tekan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses pres; antara lain, peralatan lebih murah, produk baru dapat dihasilkan lebih dini dan untuk produk yang sangat besar jauh lebih murah. Kerugiannya adalah upah tenaga terlatih yang lebih tinggi dan laju produksi lebih rendah. Logam nonferrous setebal 6 mm dan logam ferrous lunak hingga 5 mm dapat dibentuk dengan mudah. Toleransi sebesar $\pm 0,8$ untuk diameter 460 mm

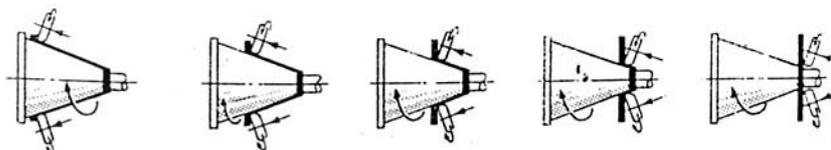
dapat dijamin dengan mudah. Proses ini sering diterapkan untuk membuat alat-alat musik, alat-alat penerangan, *reflector*, corong, bejana besar untuk proses-proses dan alat-alat dapur.



Gambar 5. Operasi putar tekan.

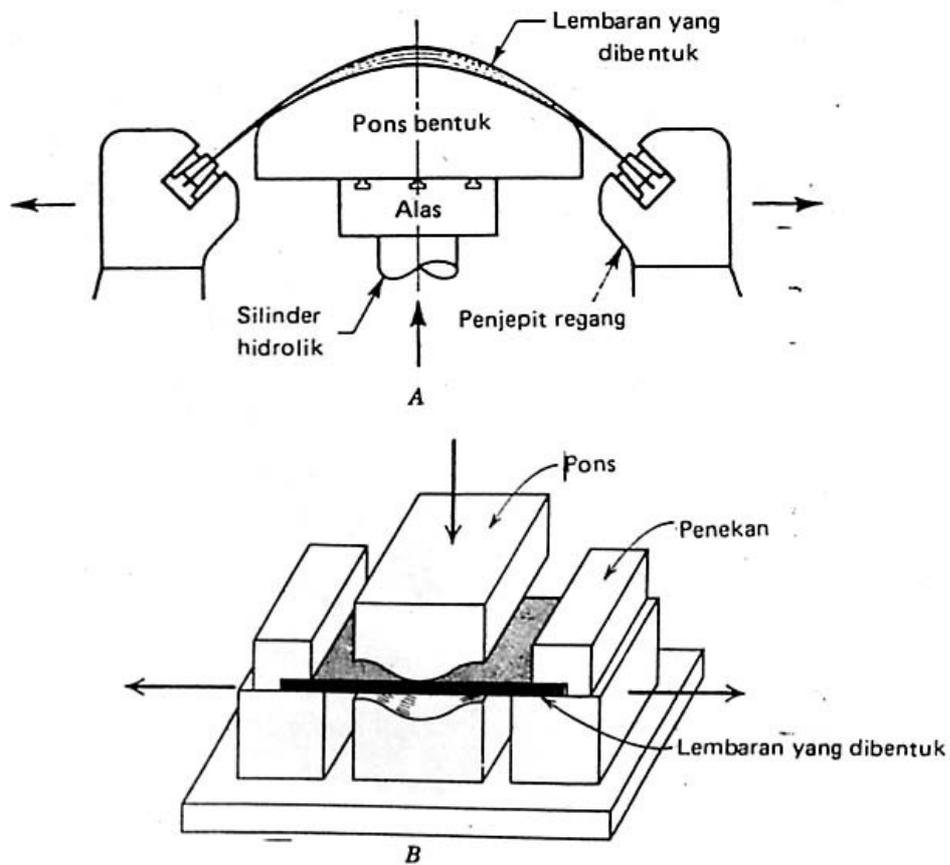
Proses putar–tekan–geser

Untuk membentuk pelat yang tebal diperlukan rol penekan bermotor, menggantikan penekan tangan biasa, operasinya disebut proses putar tekan geser. Langkah-langkah operasi putar tekan geser bisa dilihat pada gambar 6. Mula-mula pelat ditekan pada madril oleh pemegang. Rol ditekan pada pelat sehingga pelat terdesak mengikuti bentuk madril dan tebal untuk keseluruhan benda sama. Tebal benda = tebal pelat mula dikalikan $\sin \alpha/2$, di mana α merupakan sudut puncak konis. Pada proses putar tekan geser, logam menipis secara merata, proses deformasi merupakan kombinasi dari pengerolan dan ekstrusi. Keuntungan dari proses ini adalah : bahan/benda lebih kuat, menghemat bahan, murah biayanya dan penyelesaian permukaan yang mulus.



Gambar 6. Langkah-langkah pembuatan bejana konis dengan proses putar-tekan geser dari benda tebuk berupa pelat.

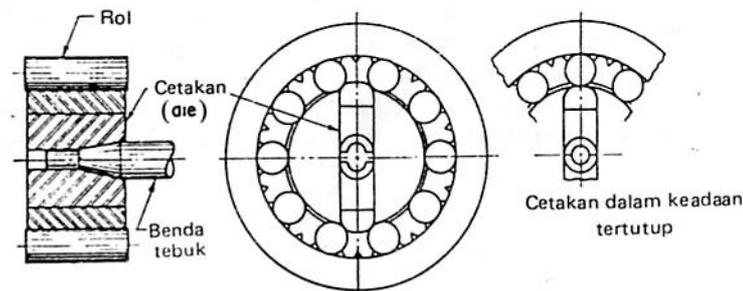
Proses tekan tarik



Gambar 7. Proses tekan tarik.

Lembaran logam dibentuk dengan proses tarik, khususnya untuk bentuk simetris atau lengkung (gambar 7). Die dipasang pada ram dan die dapat bergerak dalam arah vertikal. Lembaran logam dijepit dan penjepit dapat bergerak secara horizontal. Gaya die dan penjepit berkisar antara 0,5 s/d 1,3 MN. Lembaran ditarik dan tegangan dalam lembaran melampaui batas elastis, sementara itu die memberi bentuk pada lembaran. Terjadi penipisan pada lembaran dan selesainya proses pembentukan terjadi aksi pegas balik. Proses ini dapat dimanfaatkan baik untuk jumlah produk yang sedikit maupun banyak dan *die* cetak dapat dibuat dari kayu, plastik atau baja. Cara ini sangat cocok untuk melengkungkan bagian yang besar dari berbagai jenis logam. Kerugian logam cukup tinggi, karena bahan harus dijepit dan tepi harus dipotong. Proses ini dimanfaatkan untuk membuat panel baja, penutup mesin, tutup bagasi dan pintu pada industri kendaraan bermotor. Di samping itu lembaran titanium dan baja tahan karat dapat dibentuk dengan proses tarik tekan.

Penempaan dingin



Gambar 8. Cara kerja mesin tempa dingin.

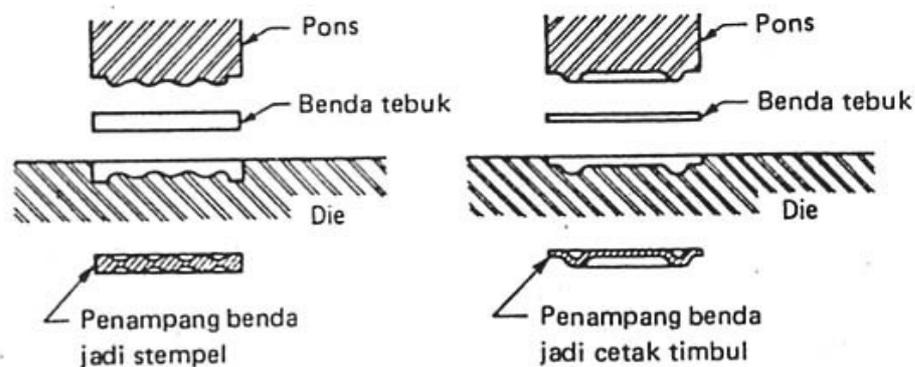
Pekerjaan dingin dengan gaya tekan atau gaya kejut (impak) sehingga dapat mengubah bentuk logam sesuai dengan cetakan disebut penempaan dingin. Logam akan mengisi rongga cetakan atau dapat juga mengalir dalam arah yang membuat sudut tertentu dengan arah gaya. Penempaan ukuran (*sizing*), merupakan bentuk penempaan dingin yang paling sederhana, operasi ini meliputi penekanan benda tempa, benda cor atau potongan baja tertentu, dengan tujuan memperoleh toleransi ukuran permukaan yang rata. Penempaan dingin putar, dimanfaatkan untuk mengurangi ukuran ujung batang dan tabung dengan cetakan putar yang dapat dibuka-tutup dengan cepat. Pembuatan kepala baut, paku keling, dan lain-lain yang dilakukan dengan mesin pembuat kepala, merupakan suatu bentuk penempaan dingin. Penempaan-intra adalah proses pembentukkan dimana mandril ditekan ke dalam logam dengan tekanan 4000 MPa atau kurang untuk menghasilkan konfigurasi intern.

Stempel dan cetak timbul

Operasi stempel dilakukan dalam cetakan sedemikian sehingga logam tidak dapat mengalir dalam arah lateral. Diperoleh konfigurasi pada permukaan benda tebuk yang tipis, seperti mata uang. Untuk itu diperlukan mesin pres khusus bertekanan tinggi, dan diterapkan pada logam-logam tertentu yang lunak.

Cetak timbul sesungguhnya merupakan proses penarikan atau perenggangan dan tidak memerlukan tekanan yang tinggi seperti pada proses

stempel. Pons yang digunakan mempunyai lekukan sehingga hanya menyentuh sebagian dari bahan tebuk. Cetak timbul diterapkan untuk membuat pelat nama, medali, tanda pengenal dan perhiasan atau kerajinan dari lembaran logam yang tipis. Gambar cetak timbul, muncul dari logam yang digunakan. Pons dan die mengikuti konfigurasi yang sama sehingga logam akan tertekan tanpa terjadi perubahan ketebalan yang berarti. Pada cetak timbul rotary digunakan cetakan berupa silinder untuk lembaran dan foil.. Gambar 9 memperlihatkan proses stempel dan proses cetak timbul.



Gambar 9. Proses stempel dan cetak timbul.

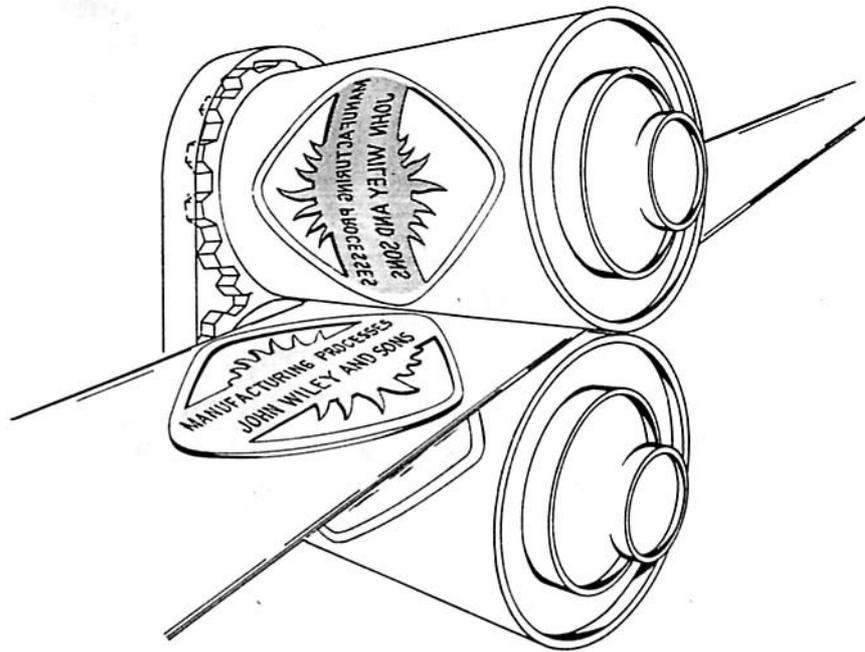
Keling dan Tagan (staking)

Keduanya merupakan proses penyatuan dua bagian atau suku cadang seperti terlihat pada gambar 11. Pada proses keling, bagian yang akan dijadikan satu dibor, kemudian dipasangkan paku keling yang kemudian ditekan dengan pons.

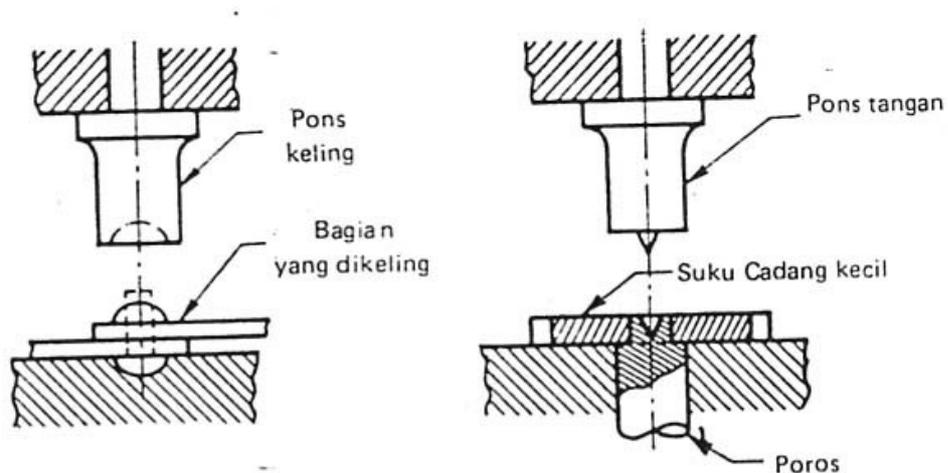
Tagan adalah operasi serupa hanya disini tidak dipergunakan paku keling. Bagian yang satu dengan yang lainnya ditekan sehingga terpasang dengan erat. Pons tagan yang dipergunakan dapat berbentuk tajam seperti pada gambar 11, atau berbentuk cincin dengan tepi yang tajam. Keduanya hanya memerlukan tekanan yang tidak terlalu besar dan dapat dilakukan dengan mesin pres kecil.

Pembentukan Rol

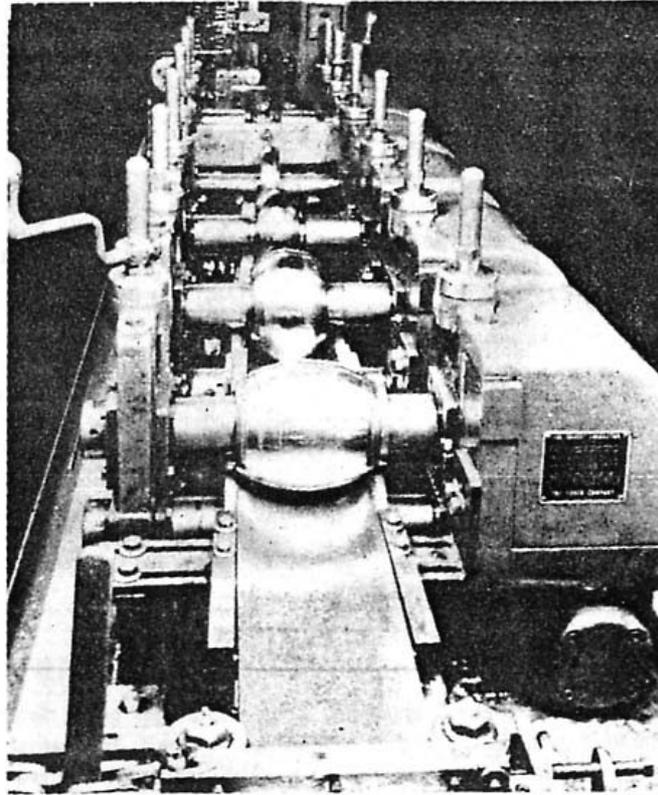
Mesin pembentukan rol dingin terdiri dari pasangan rol yang secara progresif memberi bentuk pada lembaran logam yang diumpankan secara kontinu dengan kecepatan 18 sampai 90 m/menit. Lihat gambar 12.



gb. 10. Cetak – timbul rotasi



gambar 11. Keling dan tangan, dua proses yang berbeda



Mesin rol dingin untuk membuat pipa. Strip logam, berasal dari gulungan (tidak tampak) masuk ke dalam mesin, dan dirol sehingga berbentuk pipa oleh lima pasang rol sebelum dilas.

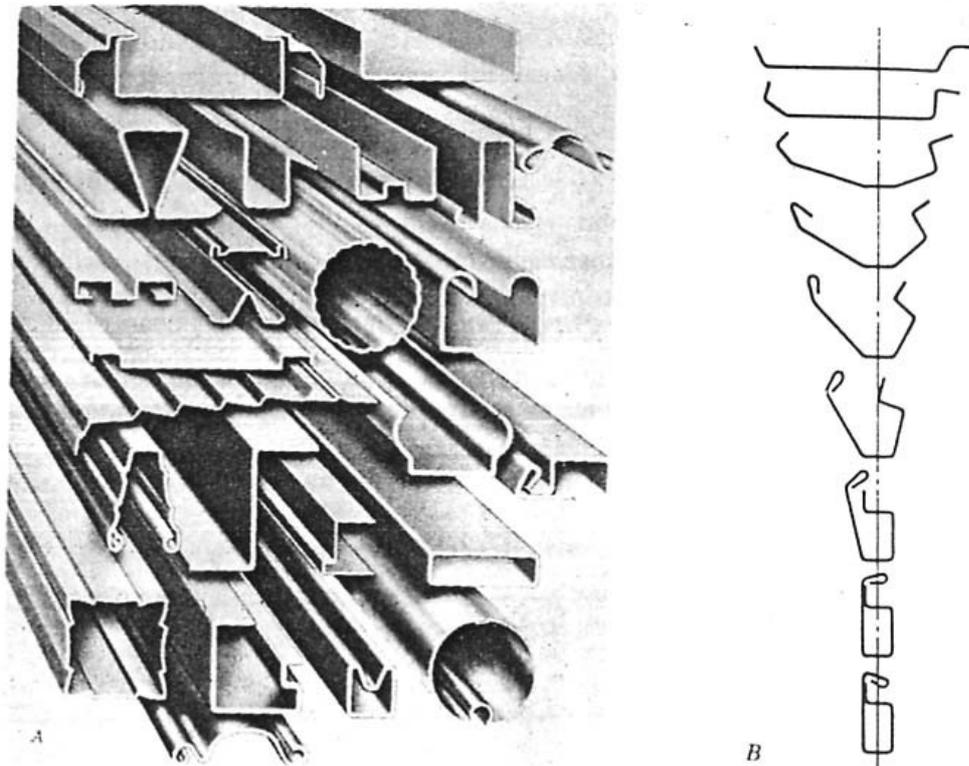
Gambar 12.

Pada gambar 13 tampak berbagai jenis profil logam yang dapat di hasilkan dengan proses pembentukan rol. Pada gambar B tampak tahap pengerolan untuk membentuk rangka tutup jendela. Dan mesin standar, untuk pembentukan baja lunak, umumnya mampu mengerjakan lembar setebal 4 mm dengan lebar 400 mm. Untuk lembaran yang lebih tebal dan lebar di gunakan mesin khusus. Proses ini cepat dan mampu mengasilkan produk dengan tebal yang sama.

Pelengkungan Pelat

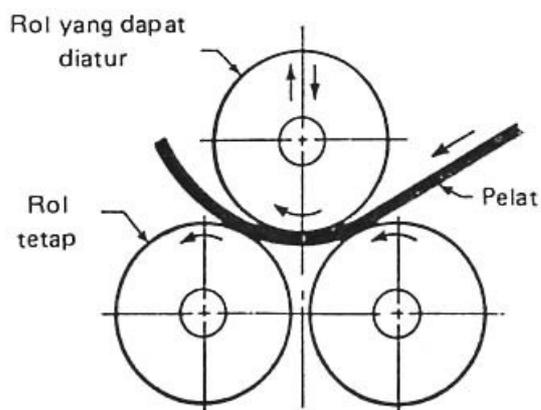
Pada gambar 14 tampak mesin pelengkungan pelat untuk memberikan bentuk silindris. Mesin ini terdiri dari tiga rol yang berdiameter sama. Dua buah diantaranya tetap dan yang satu lagi dapat diatur letaknya. Pelat logam masuk diantaranya dan terjadilah pelengkungan. Diameter akhir dapat diatur dengan

mengatur letak rol ketiga, makin dekat dengan rol tetap, makin kecil diameter akhir. Alat ini sederhana, dan terdapat dalam berbagai ukuran dari yang tipis sampai yang berukuran 30 mm.



r 13.21. Profil yang dapat dibuat dengan proses rol dingin. A. Berbagai profil dari gulungan strip logam. B. Urutan tahap pembuatan rangka jendela.

Gambar 13.



Gambar 14. Pelengkungan pelat

5.2. PROSES PEMBENTUKAN BERENERGI TINGGI

Proses pembentukan berenergi tinggi (*high energy rate forming*, HERF), mencakup beberapa proses berkecepatan tinggi dan bertekanan sangat tinggi. HERF atau pembentukan berkecepatan tinggi meliputi proses pemberian energi dengan kecepatan tinggi pada benda kerja, dengan demikian ukuran peralatan dapat di perkecil.

Tabel 1 kecepatan deformasi untuk berbagai proses.

Proses	Kecepatan m / menit
Pres hidrolik	1,80
Pres rem (brake press)	1,80
Pres mekanik	1,80-44,0
Palu (jatuh)	14,4-258,0
Ram yang digerakan dengan gas	120-4900
Ledakan	540-13800
Magnetik	1600-13800
Hidroelektro	1600-13800

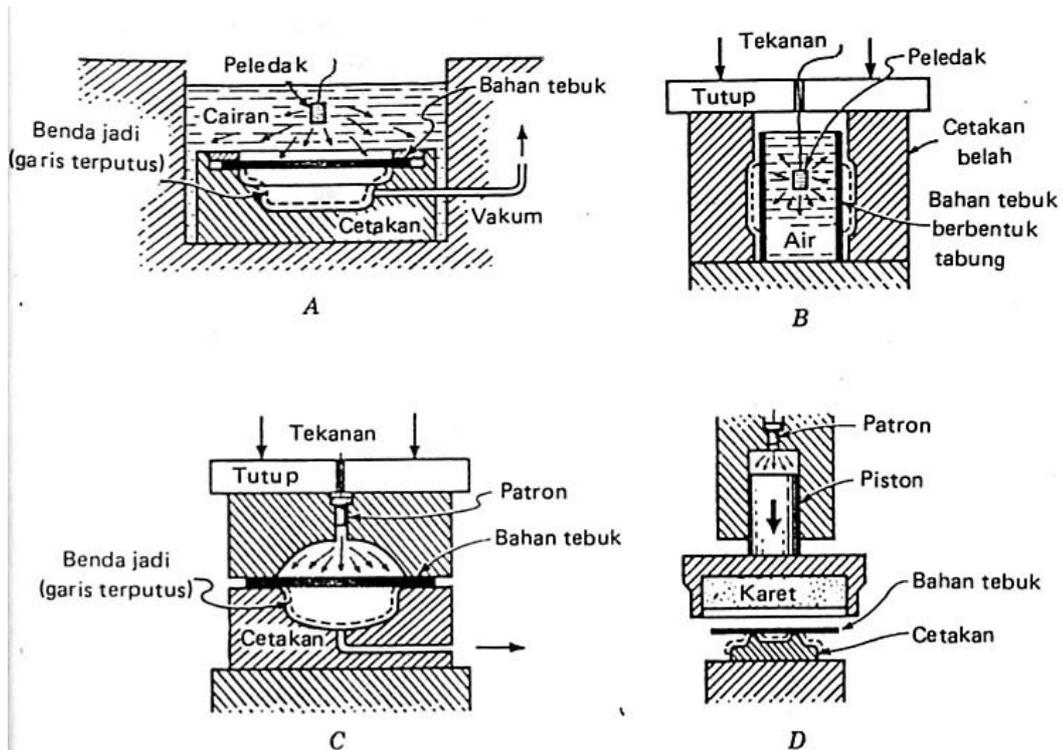
Pembentukan dengan Ledakan

Berbagai cara penerapan energi dengan kecepatan tinggi telah di kembangkan, seperti pada gambar 15. Pembentukan ledakan dapat melepaskan energi dengan laju tinggi dan tekanan gas serta laju peledakan dapat diatur dengan cermat. Bahan peledak berkekuatan rendah ataupun tinggi dapat di gunakan dalam berbagai proses. Dengan bahan peledak berkekuatan rendah atau sistem patron, gas yang mengembang terkurung dan dapat mencapai kekuatan 700 MPa. Sedangkan yang berkekuatan tinggi yang meledak dengan cepat dapat mencapai tekanan 20 kali lebih besar.

Peledakan yang terjadi di udara atau cairan akan menimbulkan gelombang kejut yang merambat dalam media antara bahan peledak dengan

benda kerja. Selain dengan peledakan, tekanan gas yang tinggi dapat dihasilkan dengan ekspansi gas cair, eksplosi campuran gas hidrogen – oksigen, letupan muatan dan pelepasan gas bertekanan.

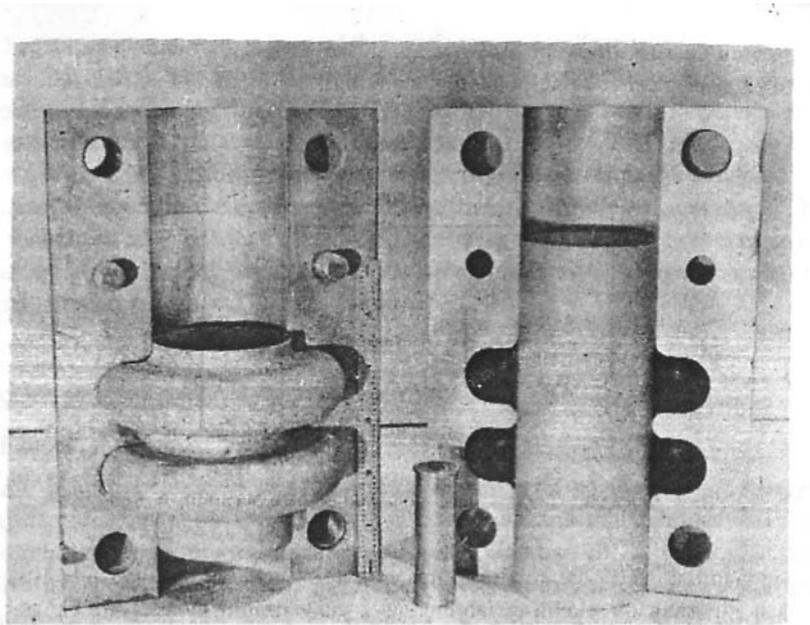
Gambar 15 C dan D menampilkan metoda pemuaian gas. Pada C gas menekan benda kerja dan memaksanya mengikuti bentuk cetakan. Pada D gas menekan piston yang kemudian menekan karet yang menekan bahan tebuk ke cetakan dan proses ini berlangsung sangat cepat.



Gambar 13.24. Cara pembentukan berenergi tinggi. A. Pembentukan dengan penekanan cairan secara langsung, B. Operasi pengembangan, C. Pembentukan dengan tekanan gas secara langsung, D. Palu yang digerakkan oleh gas.

Gambar 15.

Pipa berdidinding tipis dapat dibentuk dengan peledakan dengan menggunakan serbuk yang meletup. Gas yang mengembang terperangkap dalam pipa memaksa pipa mengikuti bentuk cetakan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Pipa yang dibentuk menjadi “bellow” dengan menggunakan peluru kaliber 12.

Pembentukan Elektrohidrolik

Pembentukan elektrohidrolik atau pembentukan dengan busur api listrik adalah suatu proses dimana energi listrik langsung diubah menjadi kerja. Peralatan untuk pembentuk proses ini sama dengan gambar 15 A dan B, dengan catatan tekanan berasal dari busur api listrik. Serangkain kondensator mula-mula diberi muatan tegangan tinggi kemudian dicetuskan busur api antara dua elektroda yang berada dalam larutan bukan penghantar. Ini akan menghasilkan gelombang kejutan yang merambat dalam arah radial dari busur api dengan kecepatan tinggi sehingga terjadi gaya yang cukup besar untuk menekan benda kerja. Proses ini aman, dan pelepasan energi dapat dikendalikan dengan cermat.

Pembentukan Magnetik

Pembentukan magnetik merupakan contoh lain dari konversi energi listrik. Mula-mula cara ini diterapkan pada operasi penempaan memasang fitting pada ujung tabung atau terminal pada ujung kabel. Perkembangan terakhir meliputi:

embos, pemotongan, pembentukan dan penarikan, semuanya menggunakan sumber energi yang sama dengan kumparan yang berbeda.

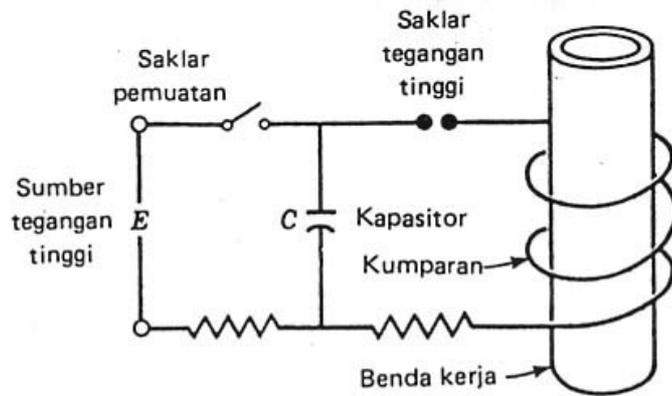
Gambar 17 memberikan gambaran mengenai cara kerja pembentukan elektro magnetik. Mula-mula kondensator yang dirangkai secara paralel diberi tegangan E. Setelah saklar tegangan tinggi dipasang, energi yang terhimpun mengalir melalui kumparan, menghasilkan medan magnet yang sangat kuat. Medan ini menimbulkan arus induksi pada benda kerja yang konduktif yang terletak didalam atau dekat dengan kumparan, dan menghasilkan gaya pada benda kerja.

Pada gambar 18 digambarkan tiga cara kemungkinan perubahan bentuk. Pada A kumparan dipasang sekeliling tabung, gaya yang timbul mendorong bahan menyatu dengan erat di sekeliling tabung. Prinsip yang sama berlaku bila cincin dari bahan pengantar ditempatkan disekitar ujung kawat. Bila kumparan ditempatkan didalam benda kerja seperti di B, gaya yang timbul akan mendesak bahan tabung mengikuti bentuk kelepak (collar). Dengan merubah disain kumparan, lihat C, pelat datar dapat mengalami cetak timbul atau dipotong. Proses ini diterapkan untuk membuat benda-benda halus seperti menekankan skala alumunium pada knop plastik.

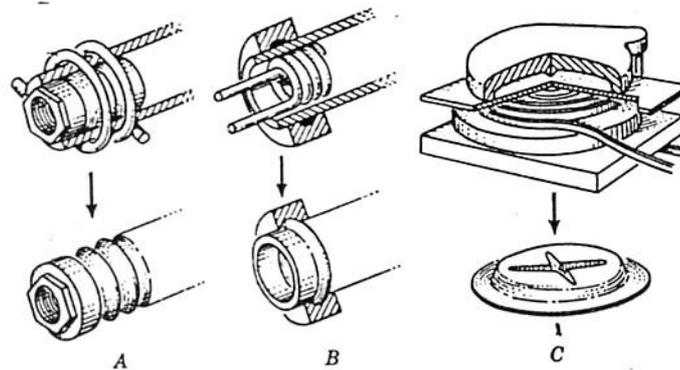
PROSES-PROSES LAIN

Ekstrusi Impak

Salah satu contoh penerapan ekstrusi impak adalah pada pembuatan tube kemasan pasta gigi dan sejenisnya. Tabung yang sangat tipis ini dihasilkan dengan menekan bahan tebuk/baku berbentuk tablet, seperti pada gambar 19. Penekanan dengan sekali jalan mengenai tablet, karena gaya cukup besar, logam tertekan keatas disekitar penekan.



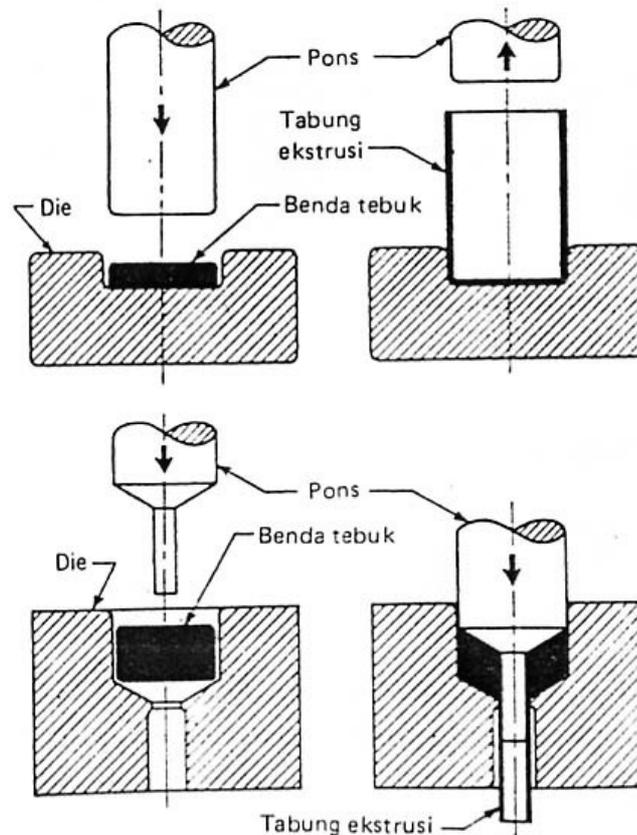
Gambar 17. Skema suatu rangkaian elektro magnetik



Gambar 18. Berbagai cara pembentukan magnetik.

Diameter luar tabung sama dengan diameter cetakan dan tebalnya sama dengan selisih antara penekan dan cetakan. Tabung pada gambar 19 mempunyai ujung yang datar, bentuk yang dapat dibuat tergantung pada rongga cetakan dan ujung penekan. Bahan tebuk untuk kemasan tapal gigi mempunyai lubang yang kecil ditengah dengan rongga cetakan dibentuk sedemikian sehingga membentuk leher tabung. Sewaktu penekan ditarik ke atas tabung/tube dilepaskan dengan udara tekan. Operasi keseluruhannya berjalan otomatis, dalam waktu satu menit dapat dihasilkan 35 sampai 40 tube/tabung. Kemudian tabung diberi ulir, diperiksa, dipotong, diberi cat dan diberi tulisan-tulisan. Biasanya digunakan seng, timah hitam, timah dan paduan

aluminium. Dapat juga dilapisi bahan tertentu, untuk memungkinkan hal tersebut, bahan pelapis dijadikan satu dengan bahan tebuk.



Gambar 19. Ekstrusi impak dingin untuk logam.

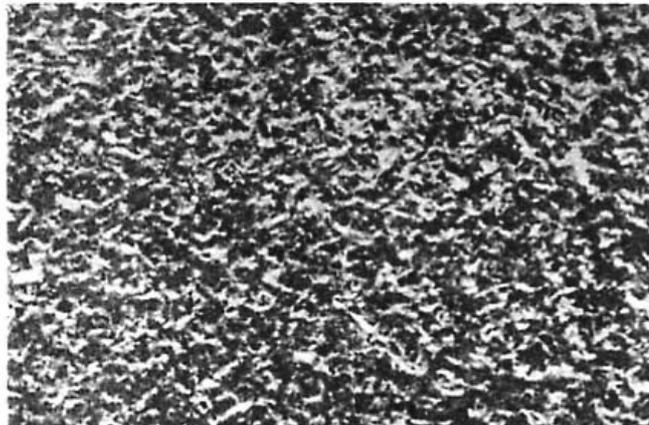
Pada bagian bawah gambar 19 digambarkan proses Hooker untuk membuat tabung kecil dan selongsong peluru. Bahan tebuk terdiri dari silinder kecil, sama dengan proses ekstrusi impak, akan tetapi disini logam didorong kedepan melalui lubang cetakan. Ukuran dan bentuk tabung ditentukan oleh ruang antara penekan dan rongga cetakan. Tabung tembaga dengan ketebalan 0,10 sampai 0,25 mm dengan panjang 300 mm dapat dibuat dengan cara ini.

Penumbukan Peluru (shot peening)

Metoda pengerjaan ini dikembangkan untuk meningkatkan daya tahan *fatigue* logam, dengan memberikan tegangan tekan pada permukaan logam. Peluru halus, disemburkan dengan kecepatan tinggi mengenai permukaan.

Lalu meninggalkan jejak halus yang mengakibatkan terjadinya aliran plastik pada permukaan logam sedalam seperatusan mm. Regangan plastik ini dihalangi lapisan dibawahnya yang cenderung kembali ke keadaan semula dengan demikian dihasilkan lapisan luar dengan tekanan dan dibawahnya lapisan dengan tegangan. Selain itu akibat adanya pengerjaan dingin, permukaan lebih keras dan lebih kuat. Pengaruh adanya tekanan pada lapisan luar membawa pengaruh positif terhadap daya tahan fatig.

Penumbukan peluru dilakukan dengan hembusan udara atau secara mekanik. Pada unit mekanik, peluru kecil dilontarkan oleh gaya sentrifugal ke benda kerja dengan kecepatan yang tinggi. Permukaan hasil penumbukan peluru, dapat dilihat pada gambar 20. Kehalusan permukaan dapat diatur dengan mempergunakan ukuran peluru yang berbeda-beda. Penumbukan peluru yang berlebihan hendaknya dihindarkan oleh karena hal ini justru akan menurunkan kekuatan baja.



Bentuk permukaan baja dengan kekerasan Rockwell C 45 telah mengalami penumbukan peluru. Di sini digunakan mesin Wheelabrator berdiameter 500 mm dengan kecepatan 2250 rpm.

Gambar 20.

Soal-soal:

1. Sebutkan akibat-akibat pengerjaan dingin pada logam.
2. Jelaskan proses ekstrusi impak yang dilakukan pada proses pengerjaan dingin logam.
3. Jelaskan prinsip kerja *proses putar tekan* pada pengerjaan dingin.
4. Apa yang dimaksud dengan penumbukan peluru, dan jelaskan prosesnya.
5. Coba jelaskan cara penyelesaian tabung pada pengerjaan dingin logam.
6. Jelaskan pembentukan logam dengan metode pembentukan magnetik.
7. Terangkan cara pembuatan kawat pada proses pengerjaan dingin logam.
8. Coba anda jelaskan beberapa cara proses pengerjaan dingin logam dengan ledakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adnyana, *Metalurgi Las*, ISTN, 1993.
2. Adnyana, *Logam dan Paduan*, ISTN, 1993.
3. Amstead B.H., P.F. Ostwald, M.L. Begeman, *Manufacturing Processes*. John Wiley & Sons, 1987.
4. Amstead B.H. P.F. Ostwald, M.L. Begeman, *terj. Sriati Djaprie. Teknologi Mekanik*. Jilid 1, Erlangga, 1993.
5. Amstead B.H. P.F. Ostwald, M.L. Begeman, *terj. Bambang Priambodo. Teknologi Mekanik*. Jilid 2, Erlangga, 1993.
6. Gosh A, AK. Mallik, *Manufacturing Science*, Affiliated East-West Press Private Limited, 1996.