

HANDOUT

TEORI PEMBENTUKAN BAHAN



AAN ARDIAN, M.Pd.

ardian@uny.ac.id

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

DAFTAR ISI

Bab 1	PROSES SHEETMETAL.....	1
Bab 2	PUNCHINGTOOL.....	30
Bab 3	PRESS TOOL	48
Bab 4	FORGING.....	94
Bab 5	PLASTIC MOULDING.....	124

Bab 1 **P**ROSES SHEETMETAL

PROSES DEFORMASI DALAM Pengerjaan LOGAM LEMBARAN

Pengerjaan logam lembaran (*sheet*) terdiri dari operasi pemotongan dan pembentukan, dilakukan terhadap logam lembaran yang relatif tipis antara 1/14 in (0,4 mm) dan 1/4 in (1mm). Bila ketebalan bahan tersebut lebih dari 1/4 in disebut pelat.

Industri yang menggunakan lembaran sebagai bahan baku :

- automobile dan truk,
- pesawat terbang,
- *furniture* kantor,
- komputer,
- peralatan kantor,
- dan lain-lainnya.

Karakteristik *part*/produk logam lembaran yang dibutuhkan :

- kekuatan tinggi,
- ukuran dimensi baik,
- permukaan akhir baik,
- biaya rendah.

Tiga katagori utama pengerjaan logam lembaran :

- pemotongan (*cutting*),
- pembengkokkan (*bending*),
- penarikan (*drawing*).

Perkakas yang biasa digunakan dalam pengerjaan logam lembaran :

- pons (*punch*), dan
- cetakan (*die*).

Umumnya operasi logam lembaran dikerjakan dengan mesin kempa (*press*), pada temperatur dingin.

OPERASI PEMOTONGAN

1. Proses Pemotongan (cutting)

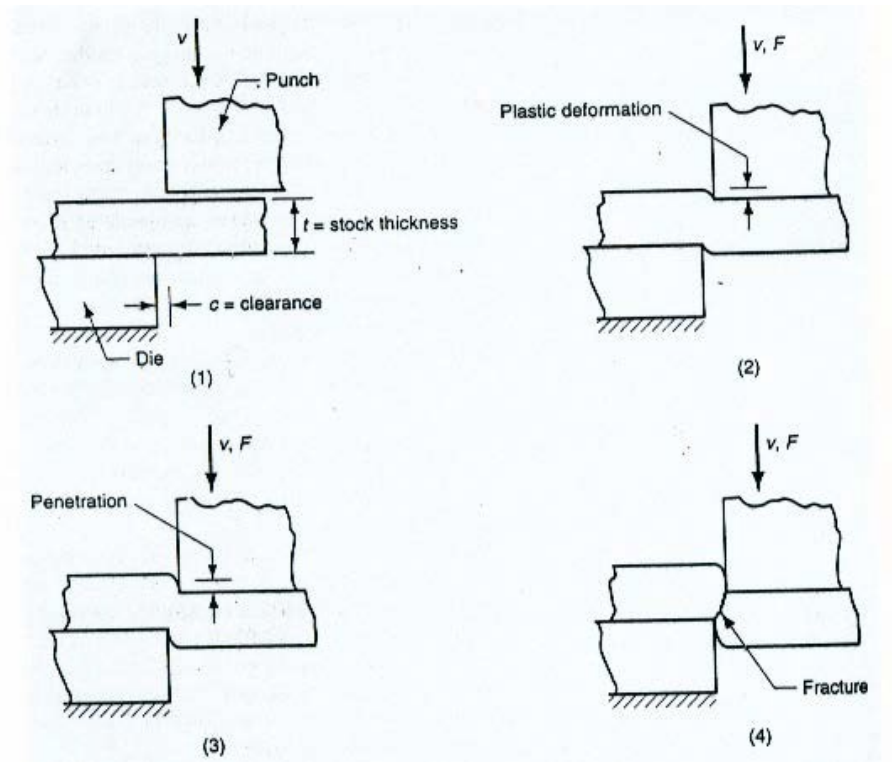
Pada setiap pemotongan benda kerja, akan selalu nampak adanya kesamaan prinsip yang akan cermati bersama. Pada pengerjaan pemotongan kawat, batangan baja, baja profil ataupun sheet metal, pasti terdapat sepasang gaya yang dipergunakan untuk memotong itu. Dan gaya itu akan bekerja secara bersama-sama, berlawanan arah dengan jarak yang relatif kecil, maka gaya tersebut kita sebut dengan *gaya geser*, dan pada material yang dipotong akan terjadi sebuah area yang kita sebut dengan “daerah pergeseran”.

Pada material yang tebal daerah pergeserannya kelihatan nyata dan lebar, sebaliknya pada material yang tipis daerah pergeserannya juga tipis. Sedangkan gambar yang ketiga kita bahwa sisi potongnya merupakan suatu bangunan garis yang tertutup. Maka daerah pergeserannya pun merupakan profil yang tertutup. Untuk itu keadaan demikian sering dinamakan dengan “ die shearing sheet metal”. Dan inilah yang sering digunakan dalam punching tool.

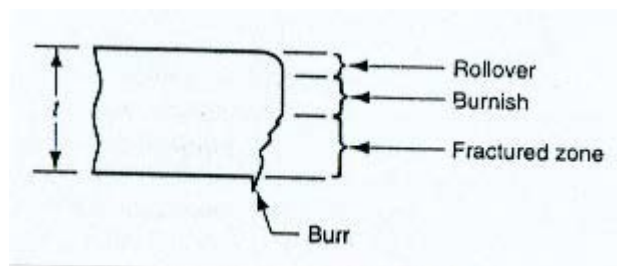
Tahapan pemotongan :

- (1) Logam lembaran diletakkan diantara *punch* dan *die*;
- (2) *Punch* ditekan ke bendakerja (lembaran), sehingga permukaan lembaran mengalami deformasi plastik (permanen);
- (3) *Punch* terus ditekan ke bawah, permukaan mengalami penetrasi (tapak tekan); Daerah penetrasi umumnya sekitar 1/3 tebal lembaran;
- (4) Setelah gerakan *punch* dilanjutkan lagi, dua sisi tajam *punch* dan *die* akan mengakibatkan terjadinya retak dalam bendakerja;

Bila jarak ruang (*clearance*) antara *punch* dan *die* benar, maka dua garis retakan saling bertemu sehingga dihasilkan pemotongan yang baik.



Gambar 1.1 Penggantungan logam lembaran diantara dua tepi potong



Gambar 1.2 Karakteristik tepi guntingan lembaran bendakerja

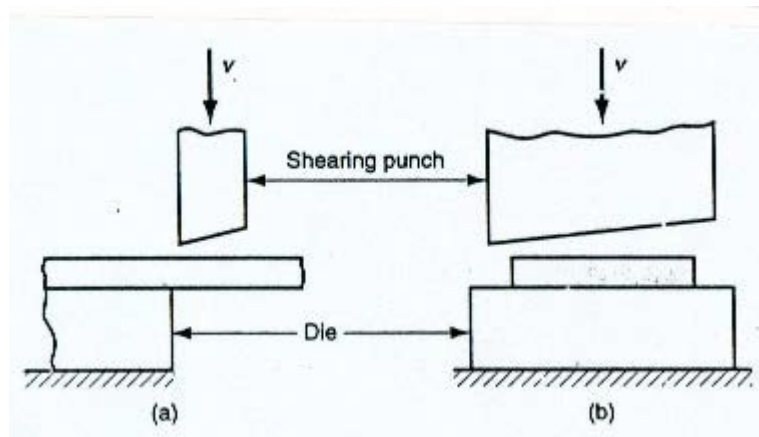
Karakteristik tepi guntingan lembaran seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.2, dibagi atas :

- **Rollover**, daerah bagian atas dari permukaan potong bendakerja yang merupakan daerah awal terjadinya deformasi plastik;
- **Burnish**, daerah yang terletak di bawah *rollover*, merupakan hasil penetrasi *punch* ke bendakerja sebelum keretakan dimulai; Daerah ini memiliki permukaan potong yang halus;
- **Fracture zone**, daerah yang mengalami keretakan yang disebabkan gerakan *punch* ke bawah; Daerah ini memiliki permukaan potong relatif kasar;
- **Burr**, sudut tajam pada tepi potong yang disebabkan karena bendakerja mengalami regangan selama akhir pemisahan bendakerja.

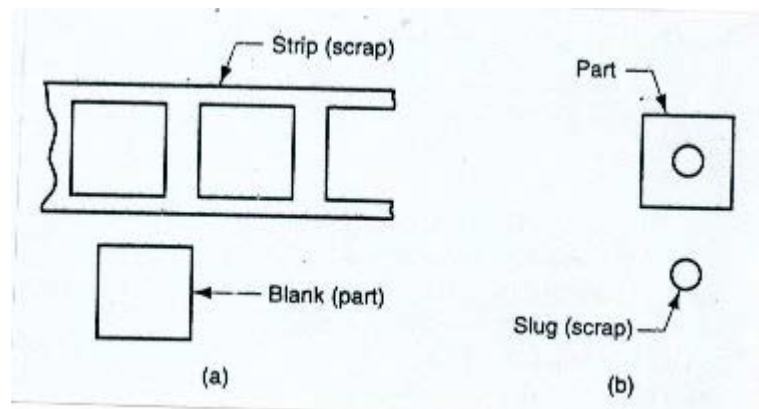
Shearing, Blanking, dan Punching

Tiga operasi dasar dalam pengerjaan kempa adalah : pengguntingan (*shearing*), *blanking*, dan *punching*.

1. **Shearing** adalah operasi pemotongan/pengguntingan logam lembaran sepanjang garis lurus antara dua tepi potong seperti ditunjukkan dalam gambar 1.3.a. *Shearing* khususnya digunakan untuk memotong lembaran yang lebar menjadi potongan-potongan yang lebih kecil, yang merupakan bagian-bagian dari operasi kempa; Pisau potong dalam gambar 1.3.b sering dibuat miring untuk mengurangi gaya potong yang dibutuhkan.



Gambar 1.3 Operasi pengguntingan : (a) pandangan samping, (b) pandangan depan



Gambar 1.4 (a) Blanking dan (b) punching

2. **Blanking** adalah operasi pemotongan logam lembaran sepanjang suatu garis tertutup (misalnya bulat, segiempat, dan sebagainya), dimana potongan yang dipisahkan dari bendakerja merupakan bendakerja untuk operasi berikutnya. Potongan yang dipisahkan tersebut disebut *blank* (lihat gambar 1.4.a)
3. **Punching** mirip dengan *blanking*, tetapi potongan yang dipisahkan merupakan sekrap yang disebut *slug* (lihat gambar 1.4.b)

Analisa Pemotongan Logam Lembaran

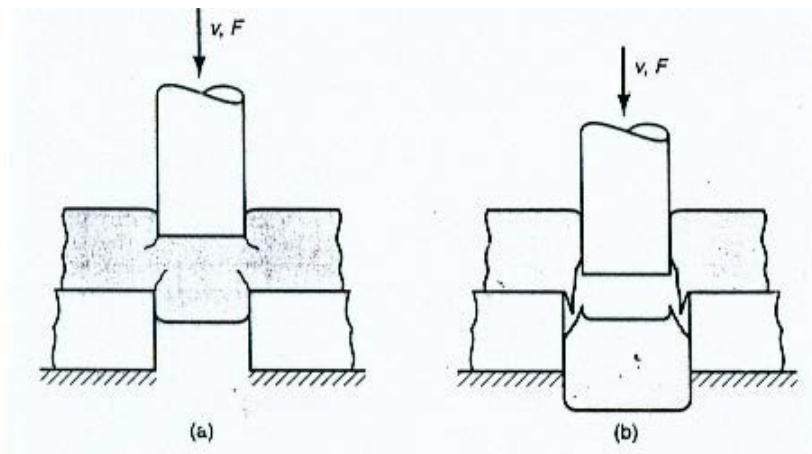
Parameter penting dalam pemotongan logam lembaran adalah :

- jarak ruang (*clearance*) antara *punch* dan *die*.
- ketebalan lembaran,
- jenis logam dan kekuatannya, dan
- panjang potong.

Jarak ruang (*clearance*) :

Clearance c dalam operasi pemotongan adalah jarak antaran *punch* dan *die* (lihat gambar 1.1.1).

Clearance pada umumnya berkisar antara 4% dan 8% dari tebal lembaran t . Akibat dari *clearance* yang tidak sesuai ditunjukkan dalam gambar 1.5 berikut ini.



Gambar 1.5 Akibat dari *clearance* : (a) *clearance* terlalu kecil, (b) *clearance* terlalu besar

- Bila *clearance* terlalu kecil, maka garis keretakan cenderung untuk tidak saling ketemu, sehingga gaya yang dibutuhkan menjadi lebih besar;
- Bila *clearance* terlalu besar, logam akan terjepit antara tepi potong *punch* dan *die*, sehingga terbentuk *burr* yaitu sudut tajam pada tepi potong lembaran.

Clearance yang benar tergantung pada jenis dan ketebalan logam lembaran, yang dapat dinyatakan dengan rumus :

$$c = at$$

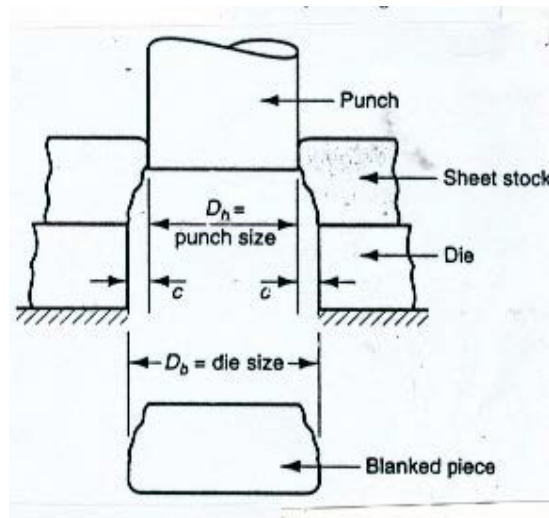
- dimana :
- c = jarak ruang (*clearance*), in (mm),
 - a = kelonggaran (*allowance*), dan
 - t = ketebalan lembaran, in (mm).

Allowance adalah rasio antara *clearance* dengan ketebalan lembaran yang besarnya ditentukan sesuai dengan jenis logam seperti ditunjukkan dalam tabel 1.1.

Tabel 1.1 Nilai *allowance* untuk tiga kelompok logam lembaran

Metal Group	Allowance (a)
1100S and 5042S aluminium alloys, all tempers	0.045
2024ST and 1011ST aluminium alloys; brass, all tempers; soft cold-rolled steel, soft stainless steel	0.010
Cold-rolled steel, half-hard; stainless steel, half-hard and full-hard	0.075

Perhitungan *clearance* persamaan di atas dapat digunakan untuk menentukan ukuran *punch* dan *die* yang cocok dalam operasi *blanking* dan *punching* konvensional. Apakah *clearance* dikurangi dari ukuran *punch* atau ditambahkan pada ukuran *die* tergantung pada lubang yang dibuat apakah untuk menghasilkan *blank* atau *slug* seperti ditunjukkan dalam gambar 1.1.



Gambar 1.1 Ukuran *die* menentukan ukuran *blank* (D_b);
ukuran *punch* menentukan ukuran lubang (D_h)

Ukuran *punch* dan *die* untuk :

(1) ***blank* bulat** (dalam operasi *blanking*) dengan diameter D_b adalah :

$$\text{Diameter } \textit{punch} = D_b - 2c$$

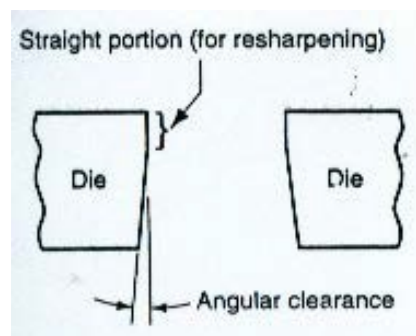
$$\text{Diameter } \textit{die} = D_b$$

(2) **lubang bulat** (dalam operasi *punching*) dengan diameter D_h adalah :

$$\text{Diameter } \textit{punch} = D_h$$

$$\text{Diameter } \textit{die} = D_h + 2c$$

Agar *slug* atau *blank* dapat terlepas dari *die*, maka *die* harus dibuat dengan jarak ruang melebar keluar (*angular clearance*) $0,25^\circ$ hingga $1,5^\circ$ pada setiap sisinya seperti ditunjukkan dalam gambar 1.7.



Gambar 1.7 Jarak ruang melebar keluar (*angular clearance*)

Gaya potong (*cutting force*) :

Gaya potong dalam pengerjaan logam lembaran dapat ditentukan dengan :

$$F = S.t.L$$

dimana : F = gaya potong, lb (N),

S = kekuatan geser (*shear strength*) logam lembaran, lb/in² (MPa),

t = ketebalan lembaran, in (mm), dan

L = panjang tepi potong, in (mm).

Dalam operasi *blanking*, *punching*, dan operasi yang sejenis, L adalah panjang garis keliling *blank* atau lubang yang dipotong.

Bila kekuatan geser tidak diketahui, alternatif lain yang dapat digunakan untuk memperkirakan gaya potong adalah dengan menggunakan kekuatan tarik, sebagai berikut :

$$F = 0,7 TS.t.L$$

dimana : TS = kekuatan tarik maksimum, lb/in² (MPa).

Contoh soal :

Suatu piringan bulat dengan diameter 3,0 in diperoleh dari hasil *blanking* suatu baja strip tebal 1/8 in (0,125 in), *allowance* = 0,075 dan kekuatan geser = 45.000 lb/in².

Tentukan : (a) diameter *punch* dan *die*,

(b) gaya *blanking*.

Jawab :

(a) *Clearance*, $c = a.t = 0,075 \cdot (0,125) = 0,0014$ in

Agar *blank* memiliki diameter 3,0 in, maka :

Diameter *die* = $D_b = 3,0$ in

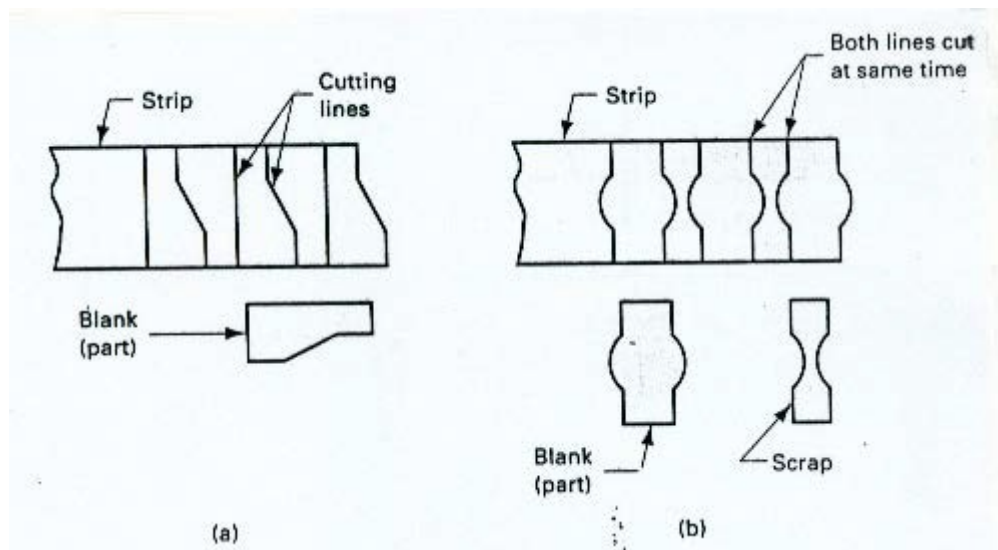
Diameter *punch* = $D_b - 2c = 3,0 - 2(0,0014) = 2,1812$ in

(b) Panjang tepi potong $L = \pi D_b = 3,142(3,0) = 1,421$ in

Jadi gaya *blanking* : $F = S.t.L = 45.000(0,125)(1,421) = 53.021$ lb, atau
 $= 21,51$ ton

Operasi Pemotongan Logam Lembaran yang lain :

(1) ***Cutoff* dan *Parting***



Gambar 1.8 (a) *Cutoff* dan (b) *parting*

Cutoff adalah operasi pengungtingan dimana *blank* dipisahkan dari logam lembaran dengan cara memotong urutan sisi *part* yang berlawanan, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.8.a, sehingga setiap pemotongan akan dihasilkan suatu *part* yang baru.

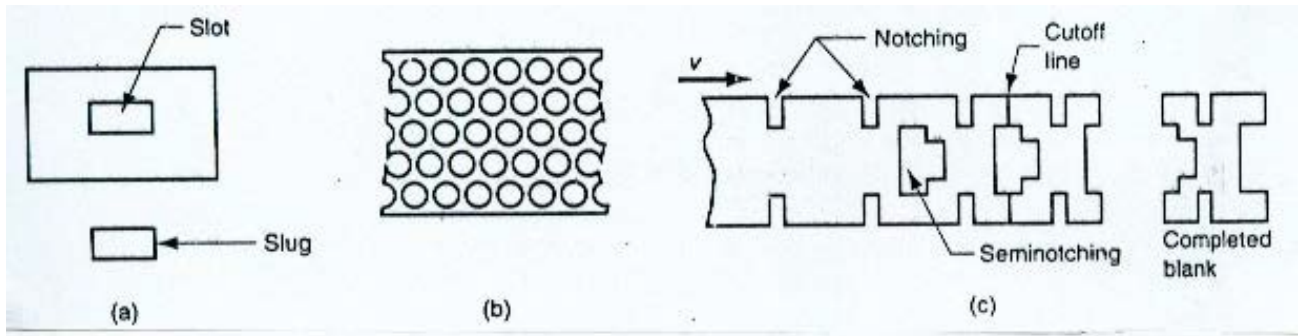
Perbedaan *cutoff* dengan operasi pengungtingan konvensional :

(a) Tepi potong tidak perlu lurus

(b) *Blank* dapat dipisahkan dari strip dengan cara sedemikianrupa sehingga tidak dihasilkan sekrup.

Parting adalah operasi pemotongan logam lembaran dengan menggunakan *punch* yang memiliki dua tepi potong simetri, sehingga dalam sekali *punch* akan memotong dua tepi lembaran dengan dua sisi yang simetri pula seperti ditunjukkan dalam gambar 1.8.b.

(2) **Slotting, Perforating dan Notching**



Gambar 1.1 (a) *Slotting*, (b) *perforating*, dan (c) *notching*

Slotting adalah operasi *punching* dengan lubang potong bentuk memanjang atau persegi seperti ditunjukkan dalam gambar 1.1.a.

Perforating adalah operasi *punching* logam lembaran dalam bentuk pola lubang yang banyak, yang dilakukan secara serentak, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.1.b.

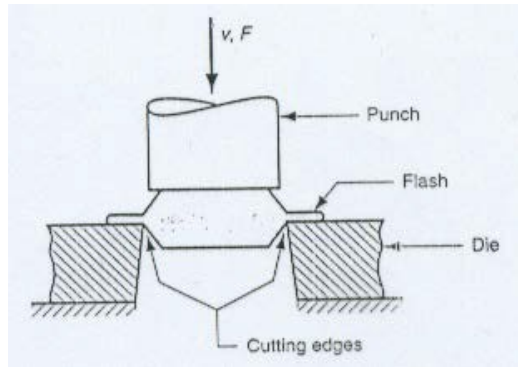
Notching adalah pemotongan logam pada bagian tepi lembaran atau strip, sedang **seminotching** adalah pemotongan logam pada bagian dalam lembaran, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.1.c.

Seminotching hampir sama dengan operasi *punching* atau *slotting*, perbedaannya adalah :

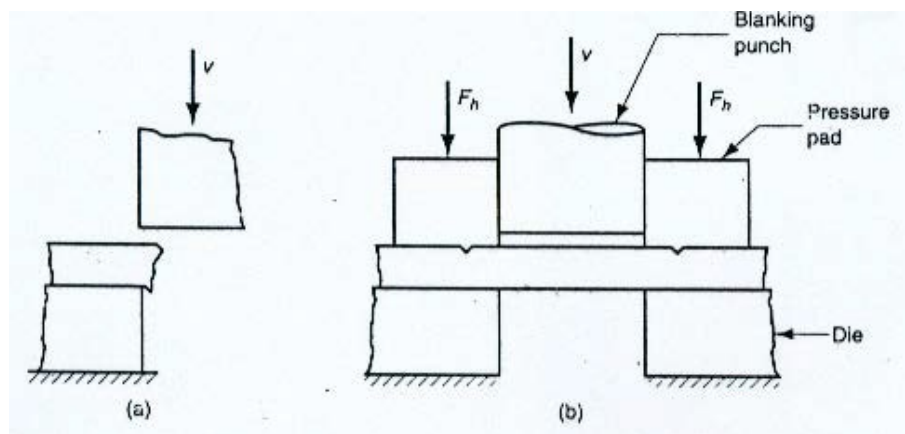
- *seminotching* menghasilkan garis luar dari *blank*, sedang
- *punching* dan *slotting* menghasilkan lubang dalam *blank*.

(3) **Trimming, Shaving dan Fine Blanking**

Trimming adalah operasi pemotongan yang dilakukan untuk memotong kelebihan logam (mis. sirip/*flash* dari hasil operasi *forging*) agar diperoleh ukuran yang tepat, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.10



Gambar 1.10 Operasi *trimming* untuk memotong *flash*



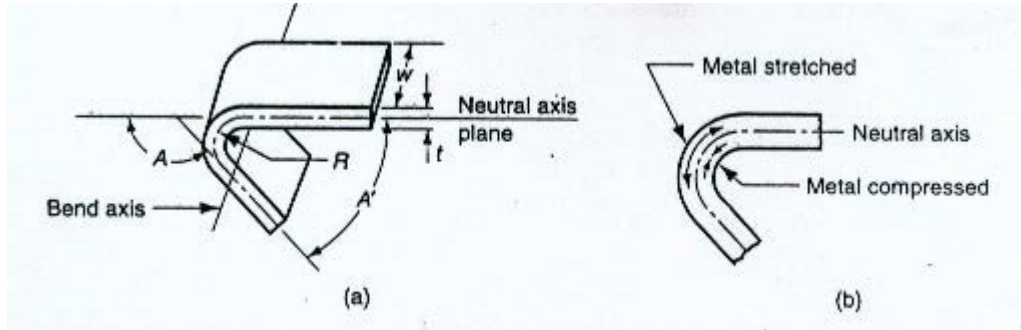
Gambar 1.11 (a) *Shaving* dan (b) *fine blanking*

Shaving adalah operasi pepenggungtingan yang dilakukan dengan *clearance* sangat kecil untuk mendapatkan dimensi yang akurat dan tepi potong yang halus dan lurus, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.11.a. *Shaving* biasanya dilakukan sebagai operasi penyelesaian.

Fine blanking adalah operasi pepenggungtingan yang digunakan untuk membuat *blank* dari bahan lembaran dengan toleransi yang ketat, tepi lurus dan halus dengan sekali tahapan, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.11.b. Pada awal siklus, bantalan tekan (*pressure pad*) yang memiliki proyeksi-V digunakan untuk memegang bendakerja dengan gaya F_h , kemudian *punch* diturunkan dengan kecepatan lebih rendah dari kondisi normal agar tidak terjadi distorsi, dan *clearance* yang lebih kecil agar diperoleh dimensi dan tepi potong sesuai dengan yang diharapkan. Proses ini biasa dilakukan pada lembaran yang tipis.

OPERASI PEMBENGGOKKAN (*BENDING*)

Operasi pembengkokkan dalam bendakerja logam lembaran didefinisikan sebagai peregangan logam pada sekeliling sumbu garis lurus, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.12.

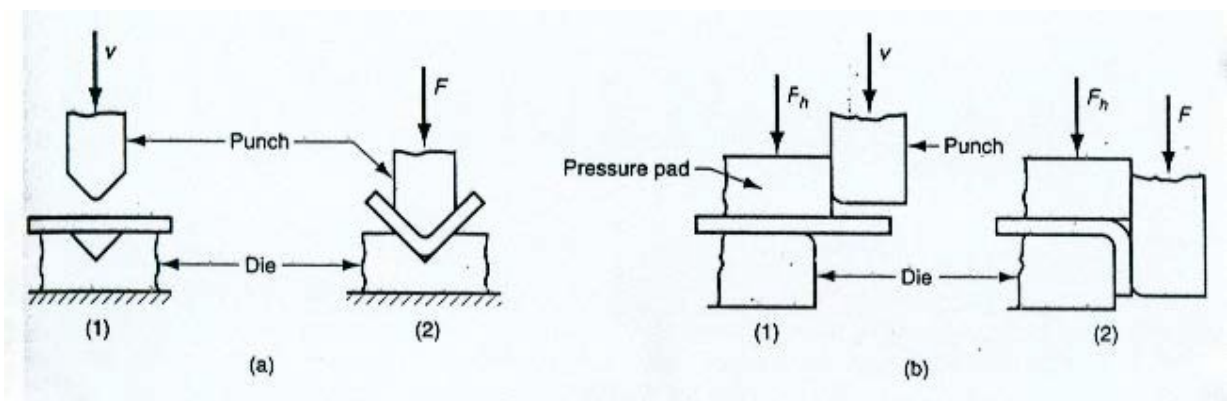


Gambar 1.12 (a) Pembengkokkan logam lembaran, (b) pemampatan dan peregangan tarik logam yang terjadi pada operasi pembengkokkan

Selama operasi pembengkokkan tersebut, logam pada bagian dalam bidang netral dimampatkan (*compressed*), sedang pada bagian luar bidang netral diregangkan (lihat gambar 1.12.b). Pada umumnya pembengkokkan menghasilkan perubahan ketebalan pada logam lembaran kecil atau tanpa perubahan.

Pembengkokkan – V (*V-bending*) dan pembengkokkan tepi (*edge bending*)

Operasi pembengkokkan dilakukan dengan menggunakan perkakas *punch* dan *die*. Metode pembengkokkan yang umum dilakukan adalah : pembengkokkan-V dan pembengkokkan tepi.



Gambar 1.13 Dua metode pembengkokkan yang umum

(a) pembengkokkan-V dan (b) pembengkokkan tepi

- (a) **Pembengkokkan-V**; logam lembaran dibengkokkan dengan *punch* dan *die* berbentuk V, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.13.a.
- (b) **Pembengkokkan tepi**; menggunakan bantalan tekan (*pressure pad*) untuk memegang bendakerja dengan gaya F_h , sedang ujung bendakerja yang lain ditekan dengan *punch* ke tepi *die*, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.13.b. Pembengkokkan dibatasi hanya 10° atau kurang.

Analisa Pembengkokkan

Beberapa istilah penting dalam operasi pembengkokkan logam lembaran ditunjukkan dalam gambar 1.12. Logam yang memiliki ketebalan t dibengkokkan dengan sudut tertentu yang disebut sudut tekuk/bengkok A (*bend angle* A). Tekukan tersebut akan menghasilkan sudut A' pada lembaran, dimana $A + A' = 180^\circ$.

Bend allowance :

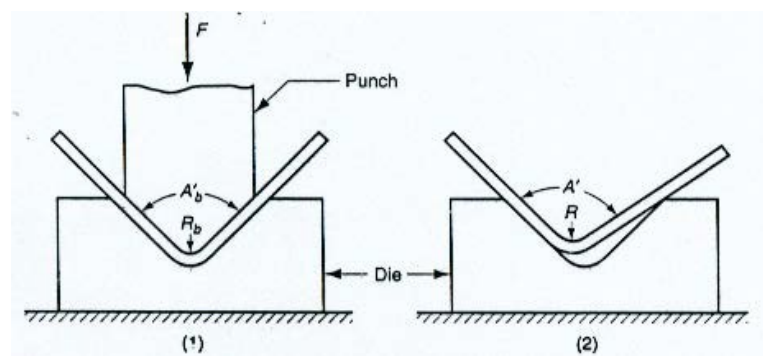
Jari-jari tekuk pada umumnya diukur dari sumbu tekuk (*bend axis*) ke permukaan tekukan bagian dalam (bukan ke permukaan sumbu netral). Jari-jari tekuk ini ditentukan oleh jari-jari perkakas yang digunakan pada operasi tersebut. Tekukan dibuat pada bendakerja yang memiliki lebar w . Bila jari-jari tekuk relatif kecil terhadap ketebalan bendakerja, maka logam cenderung akan mengalami regangan selama proses pembengkokkan. Agar diperoleh dimensi akhir sesuai dengan yang diinginkan, maka perlu menghitung panjang awal bagian lembaran yang akan mengalami peregangan (panjang pada sumbu netral sebelum dibengkokkan). Panjang bagian lembaran tersebut disebut *bend allowance*. *Bend allowance* dapat diperkirakan dengan rumus sebagai berikut :

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t)$$

- dimana : BA = *bend allowance*, in. (mm);
 A = sudut tekuk (*bend angle*), derajat;
 R = jari-jari tekuk (*bend radius*), in. (mm);
 t = ketebalan bendakerja, in. (mm);
 K_{ba} = faktor untuk memperkirakan regangan (bila $R/t < 2$, $K_{ba} = 0,33$; dan bila $R/t \geq 2$, $K_{ba} = 0,50$).

Melenting kembali (*springback*) :

Bila tekanan tekuk dihentikan pada akhir operasi pembengkokkan, maka energi elastik masih tersisa pada tekukan sehingga sebagian tekukan akan kembali ke bentuknya semula. Peristiwa tersebut disebut melenting kembali (*springback*), yang didefinisikan sebagai pertambahan sudut pada logam lembaran yang ditekuk (pertambahan sudut A') relatif terhadap sudut perkakas pembentuk setelah perkakas tersebut dilepaskan. Energi elastik disamping menyebabkan pertambahan sudut A' juga menyebabkan pertambahan jari-jari tekuk R , seperti ditunjukkan dalam gambar 1.14.



Gambar 1.14 Melenting kembali pada pembengkokkan mengurangi sudut tekuk dan menambah jari-jari tekuk

Melenting kembali dapat dinyatakan dengan rumus :

$$SB = \frac{A' - A'_b}{A'_b}$$

dimana : SB = melenting kembali (*spring back*);

A' = sudut pada logam lembaran yang ditekuk, derajat;

A'_b = sudut perkakas pembentuk, derajat.

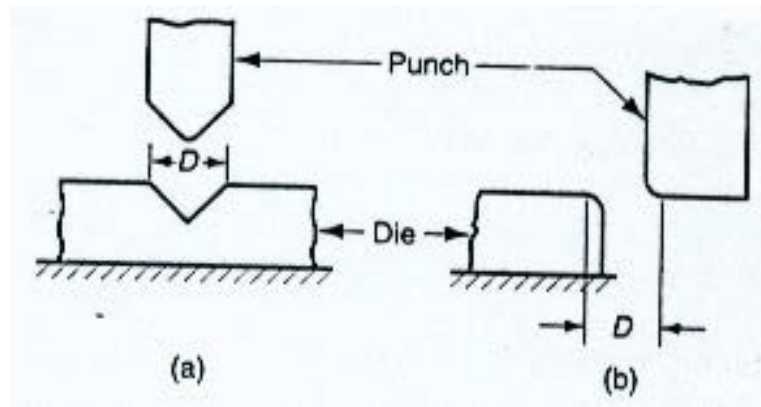
Gaya pembengkokkan :

Gaya yang dibutuhkan untuk membengkokkan logam lembaran tergantung pada geometri *punch* dan *die*, kekuatan, ketebalan, dan lebar logam lembaran. Gaya pembengkokkan maksimum dapat diperkirakan dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{K T S w t^2}{D}$$

dimana : F = gaya tekuk/pembengkokkan, lb (N);

- TS = kekuatan tarik logam lembaran, lb/in² (MPa);
 w = lebar logam lembaran dalam arah sumbu tekuk, in. (mm);
 t = tebal logam lembaran, in. (mm);
 D = dimensi pembukaan cetakan (*die*), seperti ditunjukkan dalam gambar 1.15, in. (mm);
 K_{bf} = konstanta gaya tekuk (untuk pembengkokkan-V, $K_{bf} = 1,33$; dan untuk pembengkokkan tepi, $K_{bf} = 0,33$).



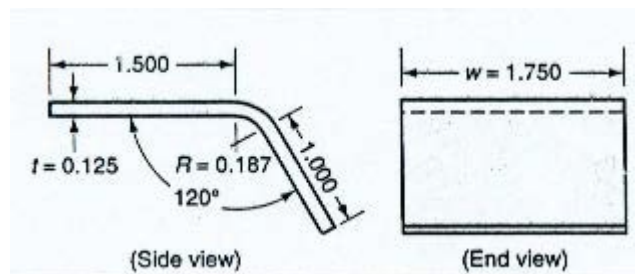
Gambar 1.15 Dimensi pembukaan *die*, (a) *V-die*, (b) *wiping-die*

Contoh soal :

Suatu *blank* logam lembaran dibengkokkan seperti ditunjukkan dalam gambar 1.11. Logam memiliki modulus elastisitas $E = 30 \times 10^1$ lb/in.², kekuatan mulur (*yield strength*) $Y = 40.000$ lb/in.², kekuatan tarik $TS = 15.000$ lb/in.².

Tentukan :

- (a) ukuran *blank* mula-mula,
- (b) gaya tekuk bila digunakan *V-die* dengan dimensi pembukaan *die* $D = 1,0$ in.



Gambar 1.11 Bendakerja (*blank*) logam lembaran

Jawab :

- (a) Dari gambar 1.11 dapat diketahui: lebar *blank* $w = 1,75$ in, panjang *blank* $= 1,50 + 1,00 + BA$, sudut tekuk $A = 180^\circ - A' = 180^\circ - 120^\circ = 10^\circ$. $K_{ba} = 0,33$, karena $R/t = 0,187/0,125 = 1,5$ (kurang dari 2,0).

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba} t) = 2\pi \frac{60}{360} (0,187 + 0,33 \times 0,125) = 0,239 \text{ in.}$$

Jadi panjang *blank* $= 2,500 + 0,231 = 2,731$ in.

- (b) Untuk *V-die* harga $K_{bf} = 1,33$, maka gaya tekuk :

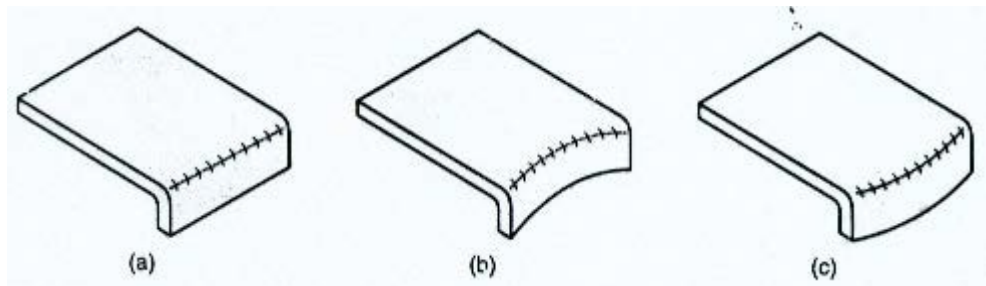
$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D} = \frac{1,33(65.000)(1,75)(0,125)^2}{1,0} = 2364 \text{ lb.}$$

Flanging, hemming, seaming, dan curling

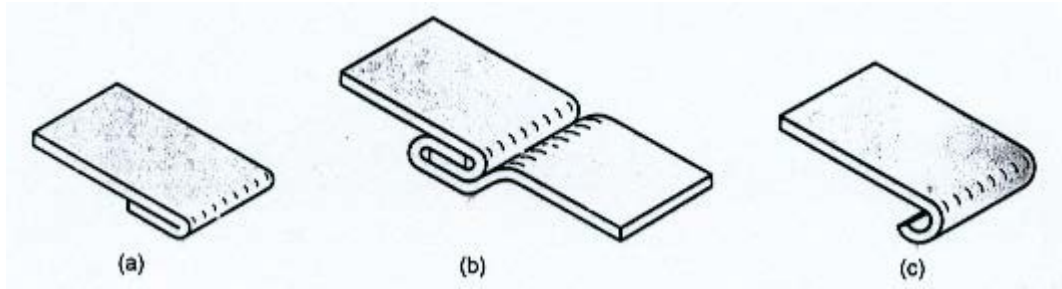
Selain pembengkokkan-V dan pembengkokkan tepi, terdapat beberapa operasi pembengkokkan lembaran yang lain, seperti *flanging*, *hemming*, *seaming*, dan *curling*.

- (a) ***Flanging*** adalah operasi pembengkokkan dimana tepi logam lembaran dibengkokkan dengan sudut 10° untuk membentuk pinggiran/flens (*flange*), sehingga memperkuat atau memperkaku bendakerja lembaran tersebut. Flens dapat dibentuk melalui sumbu tekuk lurus, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.17(a), atau dengan melakukan peregangan atau mengerutan logam seperti ditunjukkan dalam gambar (b) dan (c).

- (b)



Gambar 1.17 *Flanging* : (a) flens lurus, (b) flens regang/mulur, (c) flens kerut



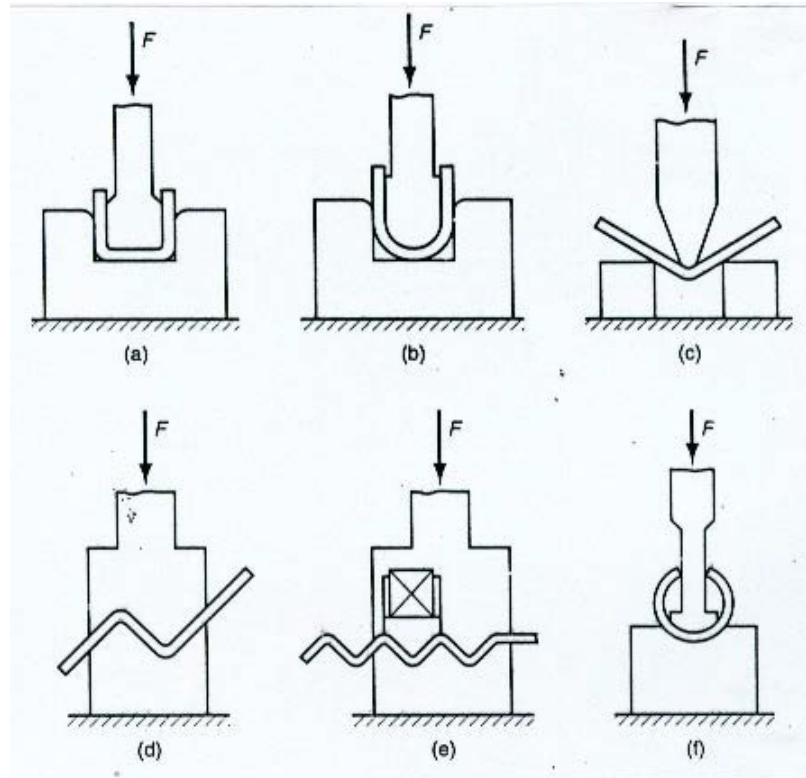
Gambar 1.18 (a) *hemming*, (b) *seaming*, (c) *curling*

- (b) **Hemming** adalah operasi pembengkokkan dalam bentuk lipatan yang biasanya dihasilkan dengan beberapa tahapan pembengkokkan. Operasi ini dilakukan agar tepi tidak tajam, untuk meningkatkan kekakuan, dan memperbaiki penampilan seperti ditunjukkan dalam gambar 1.18(a).
- (c) **Seaming** adalah operasi pembengkokkan yang mirip dengan *hemming*, tetapi dilakukan terhadap dua tepi lembaran yang akan dirakit menjadi satu, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.18(b).
- (d) **Curling** atau disebut juga **beading** adalah operasi pembengkokkan terhadap ujung logam lembaran dalam bentuk bulat dengan tujuan untuk keamanan, memperkuat, dan estetika, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.18(c).

Beberapa operasi pembengkokkan yang lain

Berbagai macam operasi pembengkokkan dilukiskan dalam gambar 1.11 adalah untuk menunjukkan berbagai jenis bentuk yang dapat dibuat dengan pembengkokkan, seperti :

- (a) pembengkokkan kanal (*channel bending*),
- (b) pembengkokkan=U (*U-bending*),
- (c) *air bending*,
- (d) *offset bending*,
- (e) berombak (*corrugating*), dan
- (f) pembentukan tabung.



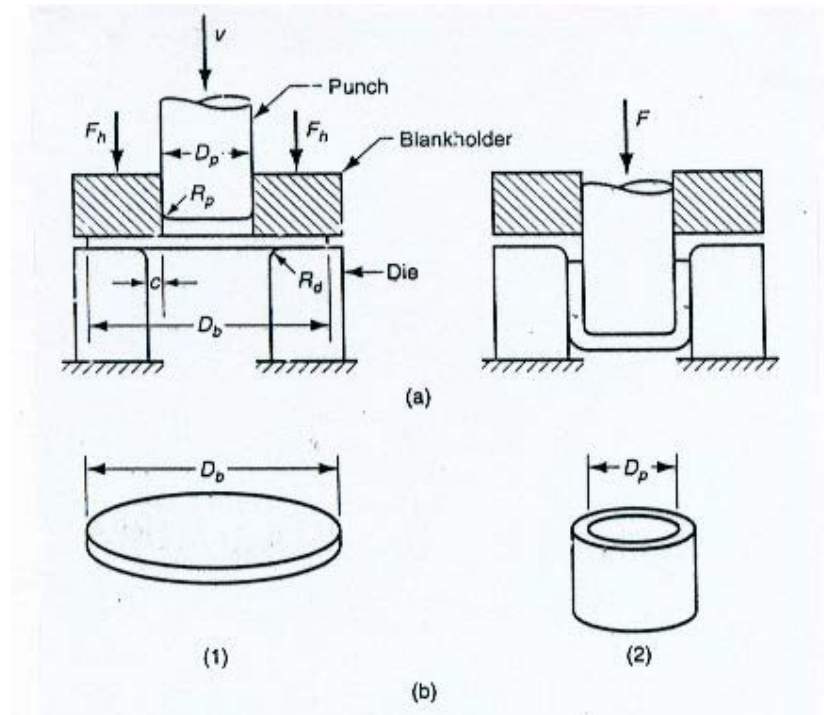
Gambar 1.11 Berbagai operasi pembengkokkan

OPERASI PENARIKAN (*DRAWING*)

Penarikan adalah operasi pembentukan logam lembaran yang digunakan untuk membuat :

- bentuk cawan (*cup-shaped*),
- bentuk kotak (*box-shaped*),
- bentuk kuva yang kompleks, atau,
- bentuk berlubang.

Penarikan dilakukan dengan menempatkan *blank* logam lembaran di atas cetakan (*die*) dan kemudian ke dalam cetakan dengan sebuah *punch* seperti ditunjukkan dalam gambar 1.20.



Gambar 1.20 (a) Operasi penarikan bentuk cawan, (b) bendakerja yang terkait

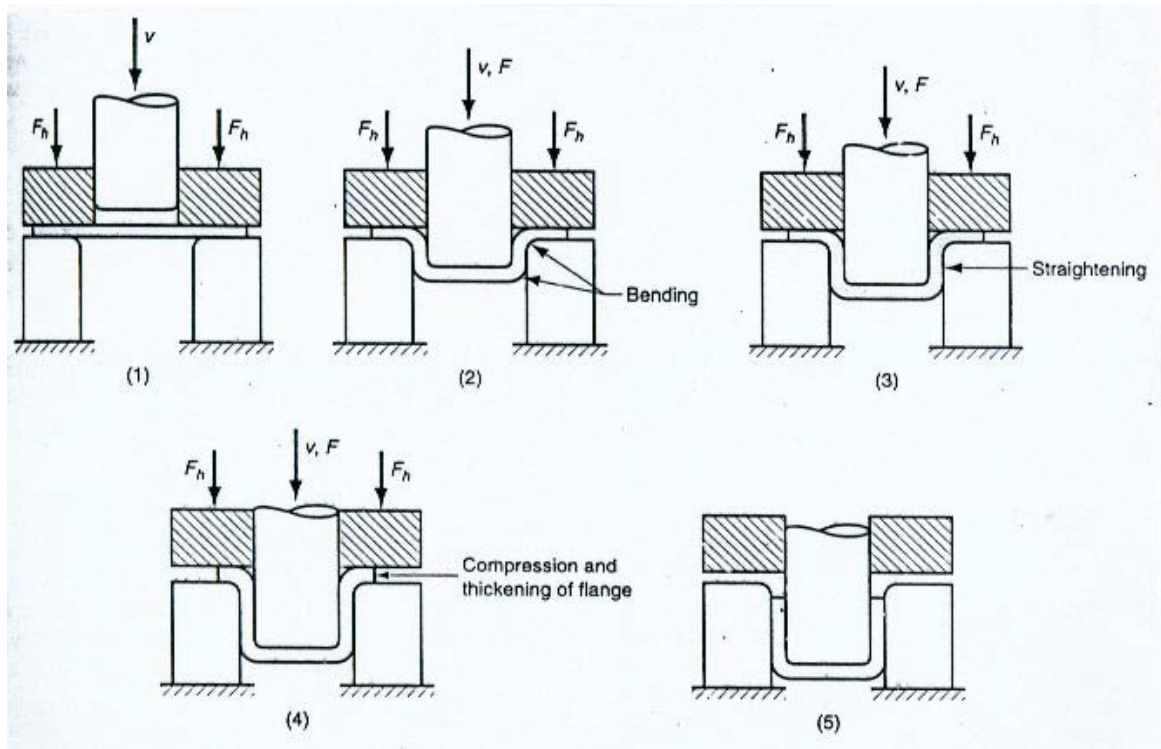
Produk yang biasa dibuat dengan operasi penarikan adalah : kaleng minuman, slongsong amunisi, bak cuci piring, panci, panel body mobil.

Mekanisme penarikan :

Penarikan bentuk cawan adalah operasi dasar penarikan dengan dimensi dan parameter seperti ditunjukkan dalam gambar 1.20.

Mekanisme proses deformasi dalam operasi penarikan dapat dilihat dalam gambar 1.21, dengan tahapan sebagai berikut :

- (1) *punch* membuat penekanan awal bendakerja,
- (2) lembaran mengalami pembengkokkan pada tepi *punch* dan tepi *die*,
- (3) penarikan lurus terhadap logam yang telah dibengkokkan sebelumnya untuk membentuk dinding silinder,
- (4) terjadi gesekan dan kompresi antara logam lembaran dengan permukaan bantalan tekan (*blankholder*) dan flens bergerak masuk ke dalam *die*,
- (5) gerakan *punch* ke bawah menghasilkan aliran logam berlanjut sehingga diperoleh bentuk akhir dari cawan dengan penipisan dinding sesuai dengan *clearance* antara *die* dan *punch*.



Gambar 1.21 Tahapan deformasi dalam operasi penarikan dalam (*deep drawing*)

Analisa Penarikan

Untuk menentukan ukuran *blank* mula-mula, maka sebelumnya perlu diukur batas penarikan dan variabel-variabel penting lainnya seperti gaya penarikan dan gaya pemegangan yang digunakan pada proses ini. Pengukuran sederhana yang dapat dilakukan untuk bentuk silinder adalah pengukuran rasio penarikan (*drawing ratio, DR*) yaitu rasio antara diameter *blank* dengan diameter *punch* :

$$DR = \frac{D_b}{D_p}$$

dimana : D_b = diameter *blank*, in. (mm);

D_p = diameter *punch*, in. (mm).

Rasio penarikan ini memberikan indikasi secara kasar mengenai tingkat kesulitan operasi penarikan yang akan dilakukan. Semakin besar rasio penarikan, semakin berat operasi penarikan tersebut dilakukan. Sebagai perkiraan batas atas nilai rasio penarikan adalah 2,0 ($DR \leq 2,0$). Harga batas sesungguhnya tergantung pada jari-jari sudut *punch* dan *die* (R_p dan R_d), kondisi gesekan, kedalaman tarik, dan karakteristik logam lembaran (mis. keuletan, sifat kekuatan logam, dan lain-lain).

Cara lain untuk mengukur operasi penarikan ini adalah dengan mengukur reduksi r , yaitu dengan rumus :

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b} = 1 - \frac{D_p}{D_b} = 1 - \frac{1}{DR}$$

Sesuai dengan nilai rasio penarikan ($DR \leq 2,0$), maka nilai reduksi $r \leq 0,50$.

Pengukuran yang ketiga dalam penarikan dalam adalah pengukuran rasio ketebalan dengan diameter *blank* (t/D_b) yang dinyatakan dengan persen, dan pada umumnya diinginkan nilai rasio tersebut lebih besar daripada 1% ($t/D_b > 1\%$). Semakin kecil nilai t/D_b , semakin besar kemungkinan terjadinya pelipatan (*wrinkling*).

Dalam hal batasan-batasan di atas tidak terpenuhi, maka *blank* harus ditarik dalam beberapa tahapan dan diantara tahapan-tahapan tersebut harus dilakukan proses penganilan.

Gaya penarikan (*drawing force*) yang dibutuhkan dalam operasi pembentukan ini dapat dinyatakan dengan rumus perkiraan berikut ini.

$$F = \pi D_p t (TS) \left(\frac{D_b}{D_p} - 0,7 \right)$$

- dimana :
- F = gaya penarikan, lb (N);
 - t = tebal *blank* mula-mula, in. (mm);
 - TS = kekuatan tarik, lb/in.² (MPa);
 - D_b = diameter *blank* mula-mula, in. (mm);
 - D_p = diameter *punch* mula-mula, in. (mm).

Gaya pemegangan (*holding force*) yang dibutuhkan dalam operasi pembentukan ini dapat dinyatakan dengan rumus perkiraan berikut ini.

$$F_h = 0,015 \pi \left[D_b^2 + 2,2t + 2R \right]^2$$

- dimana : F_h = gaya pemegangan, lb (N);

Y = kekuatan mulur (*yield strength*) logam lembaran, lb/in.² (MPa);

t = tebal bendakerja mula-mula, in. (mm);

$R_d =$ jari-jari sudut *die*, in. (mm).

Besar gaya pemegangan pada umumnya sekitar $\frac{1}{3}$ dari gaya penarikan.

Contoh soal :

Suatu operasi penarikan digunakan untuk membentuk mangkok silinder dengan diameter dalam = 3,0 in. dan tinggi = 2,0 in. Diameter *blank* mula-mula = 5,5 in. dengan tebal = $\frac{3}{32}$ in. Apakah operasi ini layak untuk dikerjakan ?

Bila ya, hitung :

(a) gaya penarikan, dan

(b) gaya pemegangan.

Diketahui kekuatan tarik logam lembaran = 70.000 lb/in.² dan kekuatan mulur = 40.000 lb/in.².

Jari-jari sudut *die* = 0,25 in.

Jawab :

Untuk mengetahui kelayakan operasi ini, maka kita tentukan rasio penarikan, reduksi, dan rasio ketebalan-diameter.

$$DR = \frac{D_b}{D_p} = \frac{5,5}{3,0} = 1,833 \square DR < 2 \text{ (layak)}$$

$$r = \frac{D_b \square D_p}{D_b} = \frac{5,5 \square 3,0}{5,5} = 0,4545 = 45,45 \% \square r < 50 \% \text{ (layak)}$$

$$t/D_b = \frac{3/32}{5,5} = 0,017 = 1,7 \% \square t/D_b > 1 \% \text{ (layak)}$$

Sesuai dengan hasil perhitungan di atas, maka operasi ini layak untuk dikerjakan .

(a) Gaya penarikan maksimum :

$$F_p = \pi D_p t \left(TS \left(\frac{D_b \square 0,7}{D_p} \right) \right) = \pi \left(\frac{(70.000)}{32} \right) \left(\frac{5,5 \square 0,7}{3,0} \right) = \text{lb.}$$

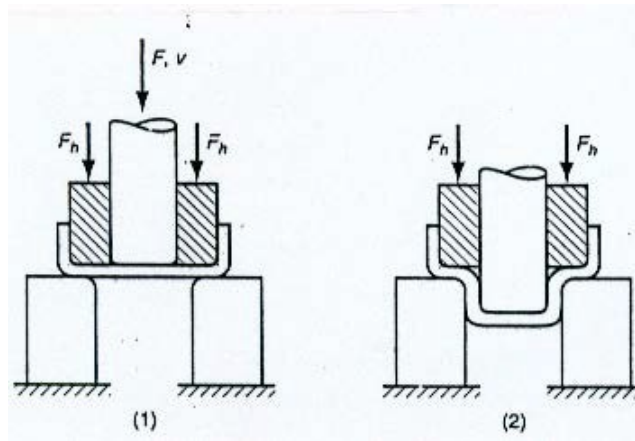
(b) Gaya pemegangan :

$$F_h = 0,015Y\pi \left[D_b^2 \left(D_p + 2,2t + 2R_d \right)^2 \right] = 0,015(40.000)\pi \left\{ (5,5)^2 \left[3,0 + 2,2 \times \frac{3}{32} + 2 \times 0,25 \right]^2 \right\}$$

$$F_h = 31,121 \text{ lb.}$$

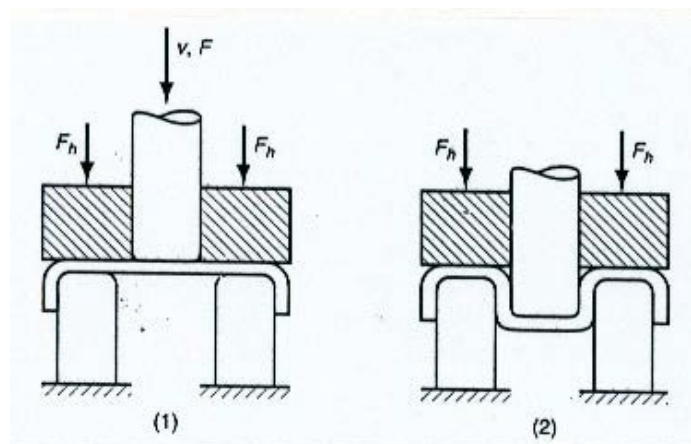
Operasi Penarikan yang lain

Redrawing ; kadang-kadang dalam penarikan diperlukan lebih dari satu tahapan penarikan. Tahapan penarikan yang kedua dan selanjutnya disebut *redrawing*, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.22.



Gambar 1.22 Redrawing sebuah cawan : (1) awal penekanan, (2) akhir penekanan

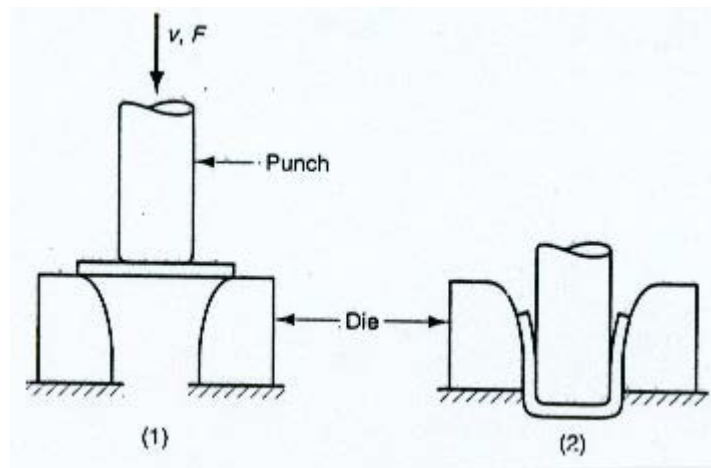
Reverse Drawing adalah operasi *redrawing* dimana bendakerja diletakkan di atas *die* dengan muka menghadap ke bawah kemudian ditekan dengan *punch* ke dalam *die*, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.23.



Gambar 1.23 *Reverse drawing* : (1) awal penarikan, (2) akhir penarikan

Penarikan Tanpa Pemegang Blank (*Blankholder*)

Fungsi *blankholder* adalah untuk memegang blank agar tidak terjadi pelipatan (*wrinkle*) pada flens, pada saat penarikan cawan. Kecendrungan terjadinya pelipatan tersebut dapat dikurangi bila rasio antara ketebalan dengan diameter blank (t/D_b) bertambah. Bila rasio (t/D_b) cukup besar, penarikan dapat dilakukan tanpa *blankholder*, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.24.



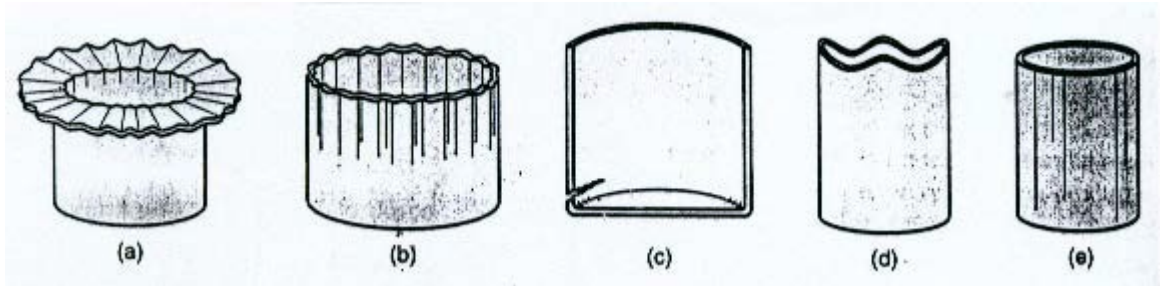
Gambar 1.24 Penarikan tanpa *blankholder* : (1) awal proses, (2) akhir proses

Kondisi batas untuk penarikan tanpa *blankholder* dapat diperkirakan dengan rumus berikut :

$$D_b \square D_p < 5t$$

Cacat pada penarikan

Penarikan merupakan operasi pembentukan yang lebih kompleks dibandingkan dengan pemotongan dan pembengkokkan, sehingga kemungkinan terjadinya cacat lebih besar. Dalam gambar 1.25 ditunjukkan beberapa jenis cacat yang umum terjadi pada proses penarikan.



Gambar 1.25 Cacat-cacat yang umum terjadi dalam produk penarikan

- (a) Pelipatan pada flens yang terjadi akibat adanya pelengkungan (gambar 1.25.a);
- (b) Pelipatan pada dinding cawan, terjadi bila flens yang telah mengalami pelipatan tertarik kebawah (gambar 1.25.b);
- (c) Peretakan (*tearing*) adalah retak yang terbuka pada dinding vertikal dekat dasar cawan, karena adanya tegangan tarik yang besar (gambar 1.25.c);
- (d) *Earing* adalah bentuk cacat pada tepi atas cawan yang terjadi karena logam lembaran tidak isotropi (gambar 1.25.d);
- (e) Guratan pada permukaan (*surface scratches*) terjadi karena punch dan *die* permukaannya tidak halus (gambar 1.25.e).

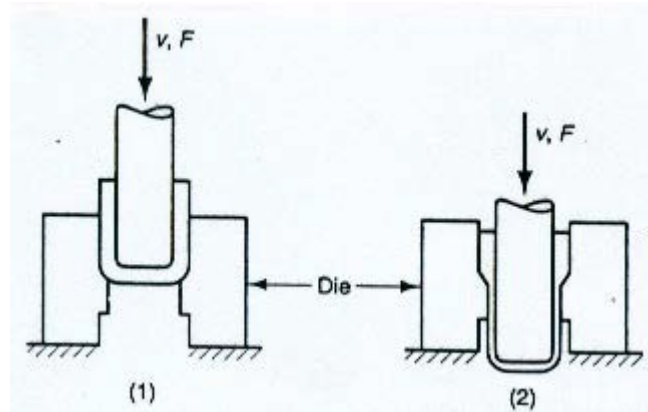
OPERASI PEMBENTUKAN LEMBARAN YANG LAIN

Terdapat beberapa operasi pembengkokkan dan penarikan yang lain, yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- operasi yang dilakukan dengan menggunakan perkakas logam ; dan
- operasi yang dilakukan dengan perkakas karet fleksibel.

Operasi dengan perkakas logam, terdiri dari : *ironing*, stempel (*coining*) dan cetak timbul (*embossing*), *lancing*, *twisting*.

Ironing, merupakan operasi penarikan dalam (*deep drawing*) dimana jarak ruang (*clearance*) antara ujung luar *die* dengan *punch* lebih besar daripada jarak ruang di dalamnya, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.21.



Gambar 1.21 *Ironing* untuk memperoleh ketebalan uniform :

(1) awal proses, (2) akhir proses

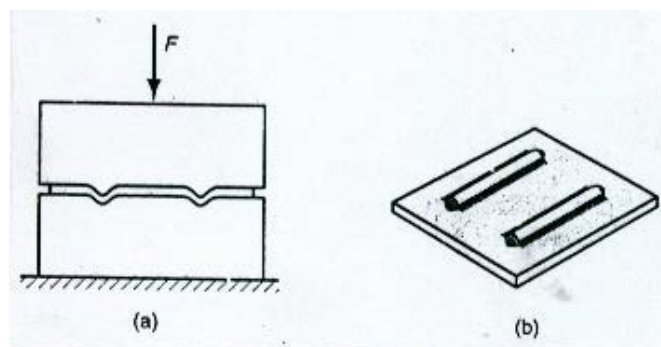
Kelebihan dari cara ini :

- tebal dinding cawan yang dihasilkan lebih seragam (uniform),
- penggunaan material lebih efisien.

Coining, dilakukan dalam cetakan sedemikianrupa sehingga logam tidak bisa mengalir dalam arah lateral.

Penggunaan : untuk pembuatan uang logam, medali, dan sebagainya.

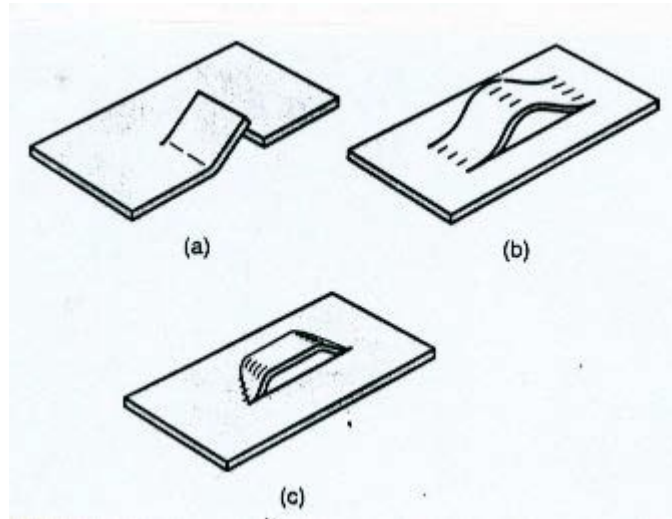
Embossing, merupakan proses penarikan atau peregangan dan biasanya tidak memerlukan tekanan yang tinggi seperti proses *coining*, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.27.



Gambar 1.27 *Embossing* : (a) penampang lintang, (b) produk akhir

Penggunaan : untuk membuat pelat nama, tanda pengenalan, pelat nomor polisi mobil, dan sebagainya.

Lancing adalah kombinasi operasi pemotongan dan pembengkokan atau operasi pemotongan dan pembentukan yang dilakukan dalam satu tahap/bersamaan, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.28.



Gambar 1.28 *Lancing* : (a) potong dan tekuk, (b) dan (c) dua jenis potong dan bentuk

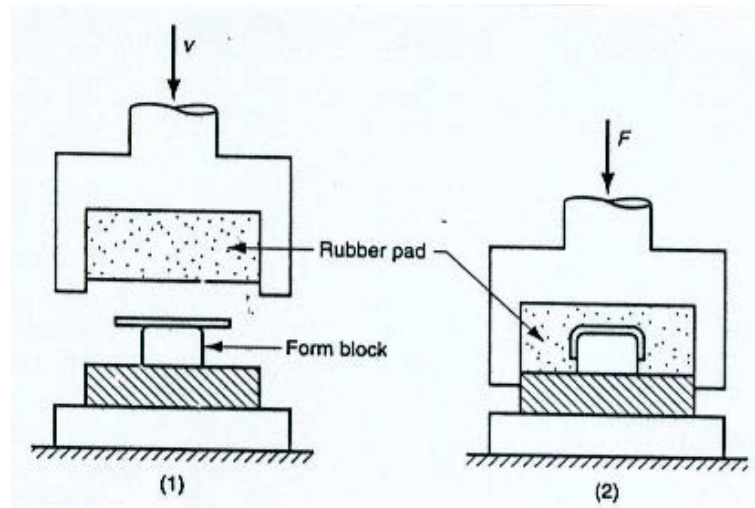
Twisting adalah operasi yang menggunakan beban torsi sehingga terjadi pemuntiran pada seluruh panjang lembaran.

Penggunaan : untuk sudu-sudu kipas dan *propeller*.

Proses Pembentukan Dengan Karet :

- Proses Guerin
- Proses Hidro

Proses Guerin, menggunakan bantalan karet yang tebal (atau bahan fleksibel lainnya) untuk membentuk logam lembaran, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.21.



Gambar 1.21 Proses Guerin : (1) sebelum, dan (2) sesudah proses

Bantalan karet diletakkan didalam bontainer yang terbuat dari baja. Benda kerja diletakkan diatas blok pembentuk dan pada saat punch ditekan bantalan karet akan menyelubungi sheet, dan menekannya hingga sheet mengalami perubahan bentuk mengikuti bentuk blok pembentuk.

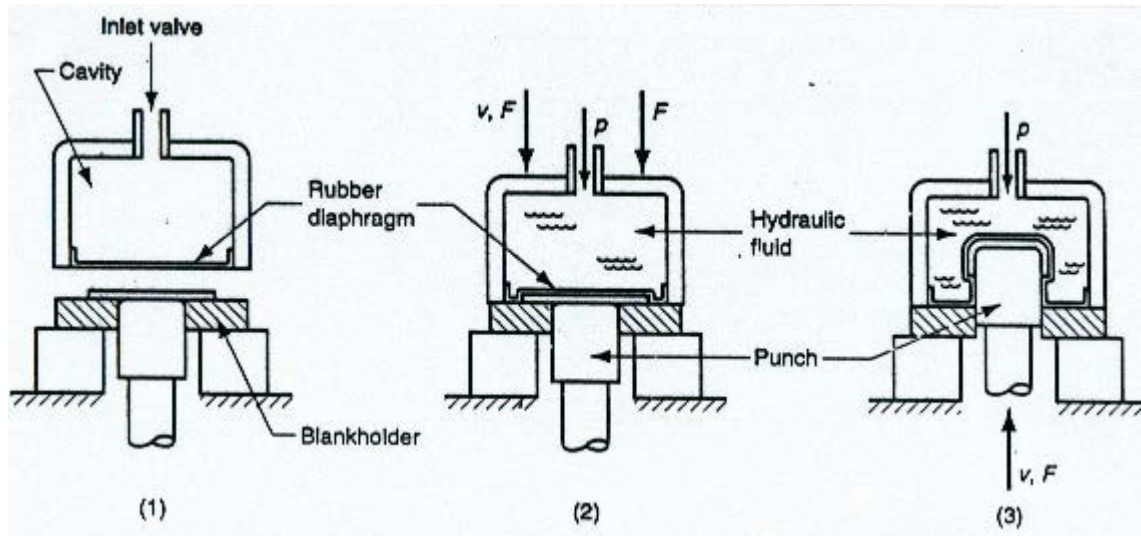
Keuntungan dari proses Guerin :

- Biaya perkakas relatif murah karena blok pembentuk dapat dibuat dari kayu, plastik, atau bahan yang lain yang mudah dibentuk;
- Bantalan karet dapat dipakai untuk blok pembentukan yang lain.

Pembentukan Hirdo, hampir sama dengan proses Guerin hanya pada proses pembentukan hidro menggunakan diafragma karet diisi dengan fluida bertekanan yang digunakan untuk menekan benda kerja sehingga benda kerja tersebut mengalami penarikan dalam mengikuti bentuk punch, seperti ditunjukkan dalam gambar 1.30.

Keuntungan proses pembentukan hidro :

Gaya yang diberikan terhadap benda kerja seragam (uniform), sehingga dapat meningkatkan gesekan (lembaran benda kerja menempel pada punch) dan hal ini akan dapat mengurangi tegangan tarik. Dengan demikian kemungkinan terjadinya robekan pada dasar cawan dapat dihindari.



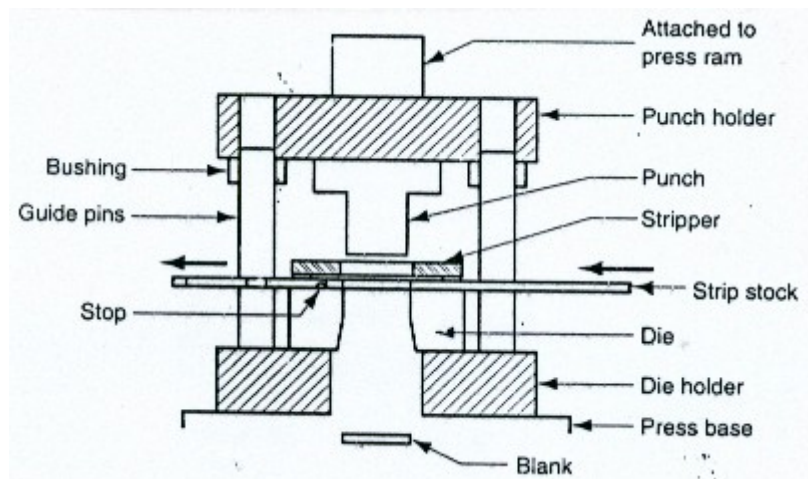
Gambar 1.30 Proses hidro : (1) proses dimulai, tidak ada fluida dalam rongga
 (2) penekan ditutup, rongga ditekan dengan fluida, (3) *punch* ditekan ke bendakerja

Die dan Penekan untuk Proses Pembentukan/Pemotongan Logam Lembaran

Hampir semua operasi penekanan (*press*) dilakukan dengan perkakas *punch* dan *die* konvensional. Istilah *stamping die* sering digunakan untuk produksi *die* besar-besaran.

Komponen *Stamping Die*

Komponen *stamping die* untuk melakukan operasi blanking sederhana ditunjukkan dalam gambar 1.31, terdiri dari :



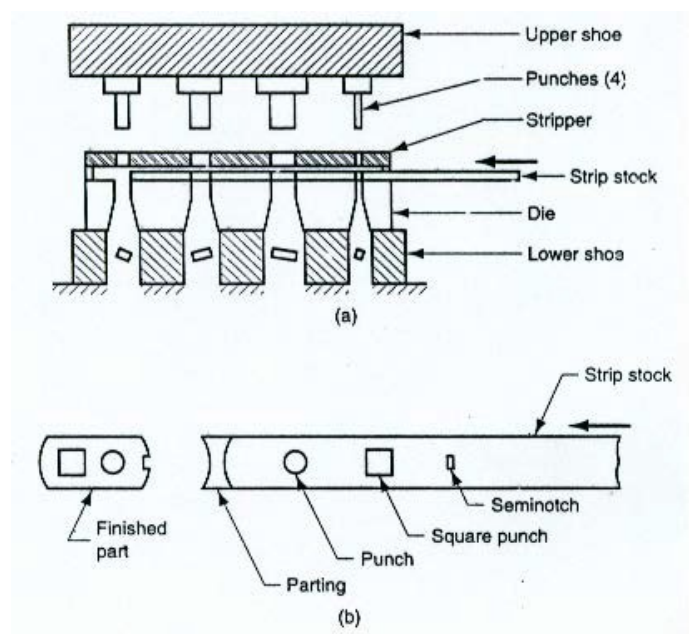
Gambar 1.31 Komponen *punch* dan *die* untuk operasi *blanking*

- *Punch* dan *die* adalah komponen kerja yang digunakan untuk operasi pemotongan;

- *Punch holder* dan *die holder* masing-masing digunakan untuk memegang *punch* dan *die*. *Punch holder* menempel pada ram, sedang *die holder* menempel pada dasar tekan (*press base*);
- *Guide pins* dan *bushing* digunakan untuk memandu kesejajaran antara *punch* dan *die*;
- *Stripper* adalah alat yang digunakan untuk melepaskan logam lembaran yang menempel pada *punch*;
- *Stop* adalah *solid pin* yang diletakkan di bawah *strip-stock* untuk menahan gerakan maju dari *strip-stock*, dan sebagainya.

Jenis Stamping Die

- *Compound die* yaitu *die* yang digunakan untuk melakukan dua operasi pada stasiun tunggal misalnya operasi *blanking* dan *punching* atau operasi *blanking* dan *drawing*;
- *Combination die* yaitu untuk melakukan dua operasi pada dua stasiun yang berbeda, misalnya *blanking* dua *part* yang berbeda atau *blanking* dan kemudian *bending* pada *part* yang sama;
- *Progressive die* melakukan satu atau lebih operasi pada logam lembaran pada dua atau lebih stasion dengan masing-masing langkah penekanan. *Part* dipabrikasi secara progresif. Lembaran dimakamkan/diumpankan dari satu stasiun ke stasiun berikutnya, dalam operasi yang berbeda (misalnya *punching*, *notching*, *bending*, dan *blanking*) , seperti ditunjukkan dalam gambar 1.32.



Gambar 1.32 (a) *Progressive die*, dan (b) strip yang dikerjakan dengan proses ini

Bab 2 **P**UNCHINGTOOL

Press working, yaitu segala proses pengerjaan logam yang menggunakan mesin-mesin press sebagai alat bantu utamanya, yaitu sebagai penggerak atau pemberi gaya.

Dalam *press working* kita mengenal beberapa macam pengerjaan tergantung dari perlakuan gaya – gaya itu terhadap material yang dikerjakan. Misalnya dari material / bahan sheet metal orang bisa memotong secara menggantung, menekuk atau membengkokannya membentuknya menjadi benda berongga 3 dimensi dll. Jadi secara garis besar ada pengerjaan *shearing*, *bending* dan *forming / deep drawing*.

A. Analisa Pemotongan

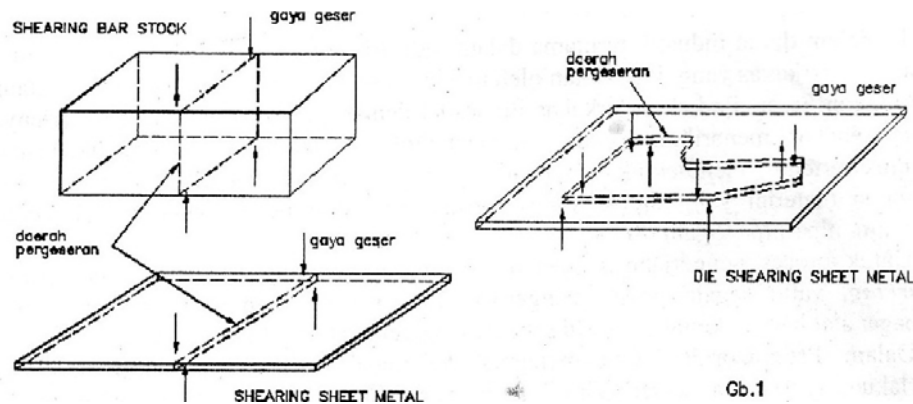
Pada setiap pemotongan benda kerja, akan selalu nampak adanya kesamaan prinsip yang akan kita cermati bersama. Pada pengerjaan pemotongan kawat, batangan baja, baja profil ataupun sheet metal, pasti terdapat sepasang gaya yang dipergunakan untuk memotong itu. Dan gaya itu akan bekerja secara bersama – sama, berlawanan arah dengan jarak yang relative kecil. Karena gayanya berlawanan arah dan berjarak kecil, maka gaya tersebut kita sebut dengan gaya geser, dan pada material yang dipotong akan terjadi sebuah area yang disebut dengan “daerah pergeseran”.

Kita amati gambar – gambar dibawah ini yang menggambarkan 2 macam keadaan dimana yang kita potong adalah sebuah potongan besi yang tebal dan sebuah sheet metal yang relative lebih tipis.

Pada material yang tebal daerah pergeserannya kelihatan nyata dan lebar, sebaliknya pada material yang tipis daerah pergeserannya juga tipis. Sedangkan pada gambar yang ketiga kita lihat bahwa sisi potong merupakan suatu bangunan garis yang tertutup. Maka daerah pergeserannya pun merupakan profil yang tertutup. Untuk itu keadaan yang demikian sering dinamakan dengan “die

shearing sheet metal”. Dan prinsip inilah yang digunakan dalam perkakas punching tool.

Pada kenyataannya di lapangan, gaya – gaya ini akan diberikan oleh sisi potong yang tajam dari alat potong bagian atas dan bagian bawah alat potong yang lain. Sedangkan jarak antara dua gaya tersebut adalah merupakan clearance yang harus ada.



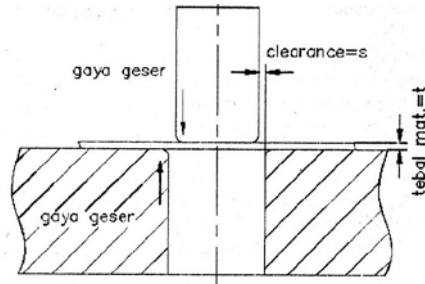
Gambar 2.1: Shearring Forces

Untuk perkakas punching tool maka gaya – gaya tersebut diberikan oleh sisi tajam dari punch maupun die nya. Gaya yang diberikan ini akan menciptakan “tegangan geser” dari materialnya atau batas patah gesernya, maka terjadilah pemotongan tersebut.

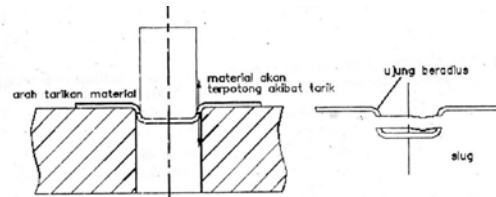
B. Clearance

Seperti telah kita ketahui, bahwa jarak antara dua gaya yang berlawanan yang ditimbulkan oleh sisi – sisi tajam dari punch dan die adalah merupakan clearance yang harus ada, maka dengan demikian ukuran dari punch maupun die merupakan besaran yang perlu diketahui. Selisih ukuran antara punch dan die ini disebut dengan “allowance” sedangkan yang dimaksud dengan “clearance” adalah selisih ukuran yang besarnya diukur hanya pada satu sisi saja. Dengan kata lain sama dengan separoh dari besarnya allowance. Disamping itu besarnya clearance juga menentukan besarnya gaya potong yang kita berikan.

Sebagai gambaran penggunaan clearance yang lebih besar dari tebal material yang akan di punch serta potong sisi punch yang tumpul dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.2

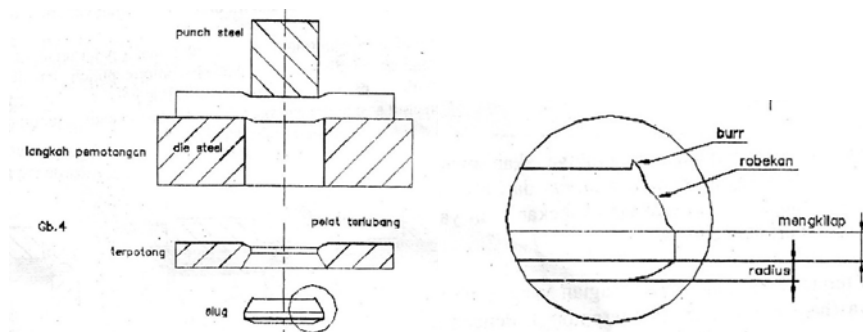


Gambar 2.3

Pada waktu punch ditekan ke bawah, maka pelat akan cenderung membengkok hal ini akibat ujung punch / die yang tumpul. Demikian juga clearance yang besar akan memudahkan bengkoknya pelat tersebut. Apabila tekanan punch ditambah posisi pelat akan menjadi vertikal diantara punch dan die akibatnya pelat akan terpotong karena tarikan. Sehingga pembengkokkan dan regangan mulur karena tarikan.

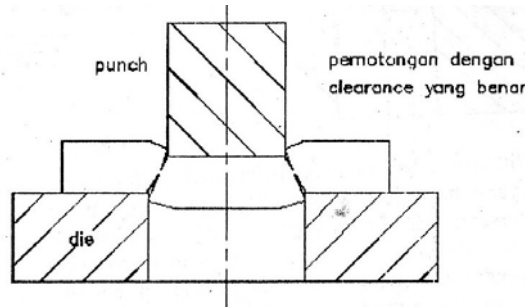
C. Prinsip Pemotongan

Apabila sisi potong dari punch dan die cukup tajam, serta pemilihan besarnya clearance tepat sesuai dengan tebal material, maka material tersebut akan dapat terpotong dengan baik. Jadi hasil potongannya akan baik, tidak kasar dan tidak menimbulkan terbentuknya “burr” yang berlebihan yang sangat mengganggu.



Gambar 2.4.

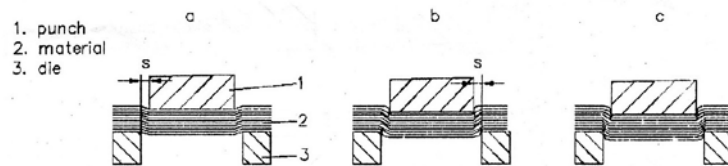
Untuk pemilihan clearance yang tepat ini maka robekan yang dihasilkan oleh punch akan bertemu dengan robekan yang dihasilkan oleh die sehingga potongannya halus.



Gambar 2.5.

Pada dasarnya terpotongnya pelat itu akan mengalami tahap tahap sebagai berikut:

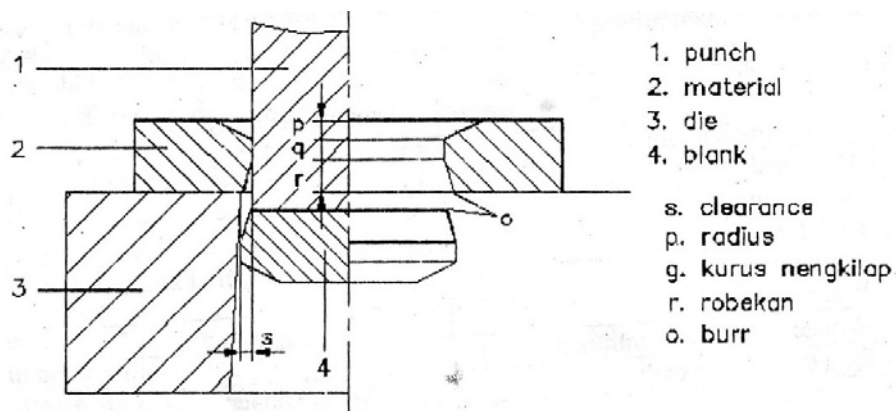
- a. Pada waktu punch menekan benda kerja, sebelum material tersebut mencapai batas lumernya jika beban penekanan dari punch dihilangkan maka material akan kembali seperti semula. hal ini diakibatkan oleh sifat elastis yang dimiliki material.
- b. Apabila penekanan material diteruskan sampai material mencapai batas lumernya maka material tersebut akan mulai retak. Keadaan ini dinamakan "plastis deformation"
- c. Selanjutnya semakin dalam langkah penekanan punch maka pelat tersebut akan semakin retak. Keretakan ini diakibatkan oleh sisi potong punch dan die yang tajam, yang semakin lama semakin panjang sehingga dapat saling bertemu dan dengan demikian terpotonglah pelat tersebut sesuai dengan bentuk kontur dari punch maupun die nya.



Gambar 2.6.

Dari hasil proses tersebut diatas maka permukaan potongnya akan memiliki 4 bentukan yang penting, yang terdiri dari 3 bagian bentukan akibat proses tadi yaitu berturut – turut berupa radius, lurus mengkilap, dan patahan atau robekan dan yang ke 4 adalah apa bagian ujungnya akan terjadi burr atau chips.

Bentuk permukaan potong ini akan terjadi baik pada blank (bagian yang jatuh terlepas dan keluar melalui die) maupun stripnya (bagian yang tersisa / terpotong) dengan posisi yang saling berlawanan.



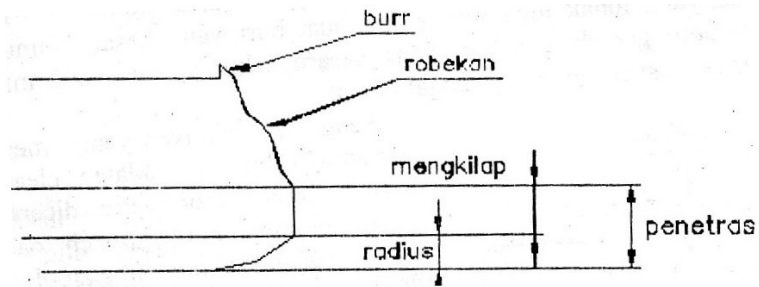
Gambar 2.7.

Bentuk radius merupakan hasil perubahan struktur benda kerja yang ditentukan oleh besarnya clearance, demikian juga akan terjadi pada material yang mempunyai sifat lunak. dengan sisi potong yang tajam pada bagian punch dan die akan menghasilkan permukaan lurus mengkilap, setelah terjadinya radius. Permukaan yang berbentuk patahan sesuai dengan batas patah yang dimiliki oleh material tersebut (Gb.9 hal 5) yang kemudian akan menimbulkan burr / chips pada masing – masing akhir pemotongan.

D. Penetrasi

Panjang langkah punch yang menyebabkan terpotongnya pelat dinamakan penetrasi. Pada dasarnya adalah panjang dari bagian yang berbentuk radius dengan dengan bagian yang berbentuk lurus mengkilap pad permukaan potong.

Besarnya penetrasi ini biasanya dinyatakan dengan prosentase dari tebal material yang akan dipotong. Jadi hal ini sering dipakai sebagai patokan atau dasar untuk menentukan panjang penekanan pada beberapa jenis material. Semakin keras materialnya maka akan semakin berkurang panjang penetrasinya.



Gambar 2.8.

Berikut ini ditunjukkan besarnya penetrasi dari beberapa jenis material berdasarkan pengalaman dalam satuan prosentase.

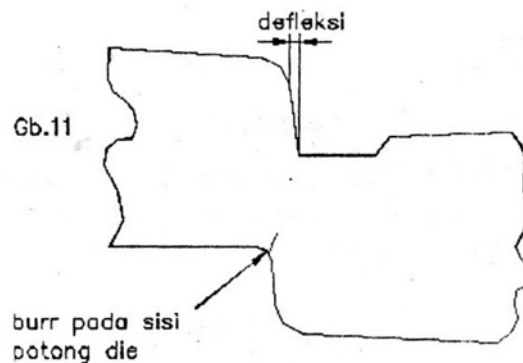
Tabel 2.1. Presentase panjang penetrasi

Jenis Material	Panjang Penetrasi (%)
Led (Timah Hitam)	50
Tin (Timah Putih)	40
Alumunium	60
Zink (Seng)	50
Copper (tembanga)	55
Brass (Kuningan)	50
Bronze (tembaga merah/ perunggu)	25
Baja 0,1 C (baja carbon 0,1)	50 setelah di anneal
	38 pengerjaan roll dingin
Baja 0,2 C	40 setelah di anneal
	28 pengerjaan roll dingin
Baja 0,3 C	33 setelah di anneal
	22 pengerjaan roll dingin
Baja silikon	30
Nickel	55

E. Burr

Burr adalah akibat dari patahan yang ditimbulkan oleh proses potong. Keberadaan burr ini sering tidak kita inginkan atau dalam batas tertentu besarnya tidak bisa

ditolerir. burr makin besar bila sisi punch dan die tumpul. Untuk material lunak membuat burr yang besar. Untuk mendapat potongan dengan burr yang kurang dari 0,22 mm sangatlah sukar walau sisi potong sangat tajam.



Gambar 2.9.

Pengaruh lain terjadinya burr adalah clearance yang terlalu besar. Terjadinya burr pada material potong diakibatkan tumpulnya sisi potong punch, dan burr pada stripnya akibat dari sisi die yang tumpul. Burr sering membahayakan jari tangan dalam pengerjaan pelat

F. Pengaruh Clearance Terhadap Pemotongan

Besarnya clearance akan mempengaruhi proses dan hasil pemotongan misalnya:

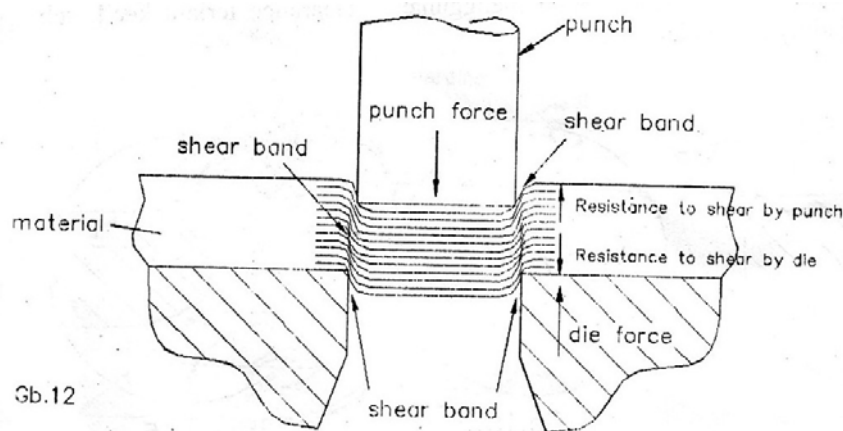
- Besarnya gaya potong yang dipakai semakin kecil clearance yang dipilih akan mempengaruhi besarnya gaya potong yang diperlukan.
- Umur pakai dari punch dan die akan makin pendek bila makin kecil clearance yang dipilih.
- Permukaan hasil pemotongan akan semakin baik bila dipakai clearance yang kecil

G. Menentukan Besarnya Clearance

Besarnya pemilihan tergantung dari tebal dan jenis materialnya. Dengan beberapa pertimbangan berikut:

- Proses blanking pada material yang punya batas patah geser tinggi dipilih clearance kecil.
- Proses blanking dengan mesin otomatis gunakan clearance besar agar umur pakai lama
- Untuk hasil pemotongan yang halus pilih clearance kecil

Pada umumnya pemilihan clearance antara 5% - 7.5% dari tebal material yang akan dipotong hingga dihasilkan bentuk yang diinginkan

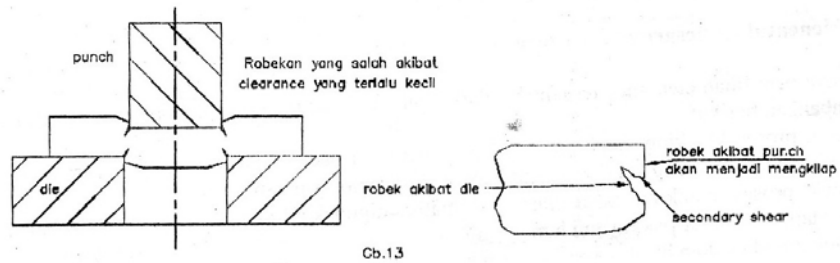


Gambar 2. 2.

H. Secondary Shear

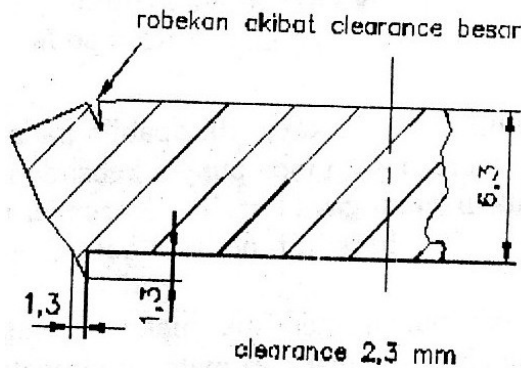
Kualitas dari hasil pemotongan sangatlah ditentukan oleh besarnya clearance antara punch dan die yang dipilih. Bila clearance tepat maka kualitas baik dengan potongan halus. Bila terlalu besar terbentuk burr bila terlalu kecil juga tidak sempurna.

Secondary Shear adalah robekan pada material yang tidak diinginkan, yang terjadi karena pemilihan clearance yang terlalu kecil kalau pemilihannya 3% - 5% dari tebal material. initerjadi karena robekan dari sisi tajam punch dan die tidak saling bertemu dengan sempurna hingga face tidak rata, karena itu ukuran yang dikehendaki berkurang.



Gambar 2. 11.

Jika clearance terlalu besar permukaan potongan bentuk radius. yang sangat ekstrim. Akibatnya robekan luar juga radius. Clearance telalu besar pada material lunak mudah terjadi burr. Dengan clearance 36% dari tebal materialnya didapat burr yang tebalnya kurang dari clearancenya. contoh dibawah percobaan pelat baja paduan carbon rendah pengerejaan roll panas.

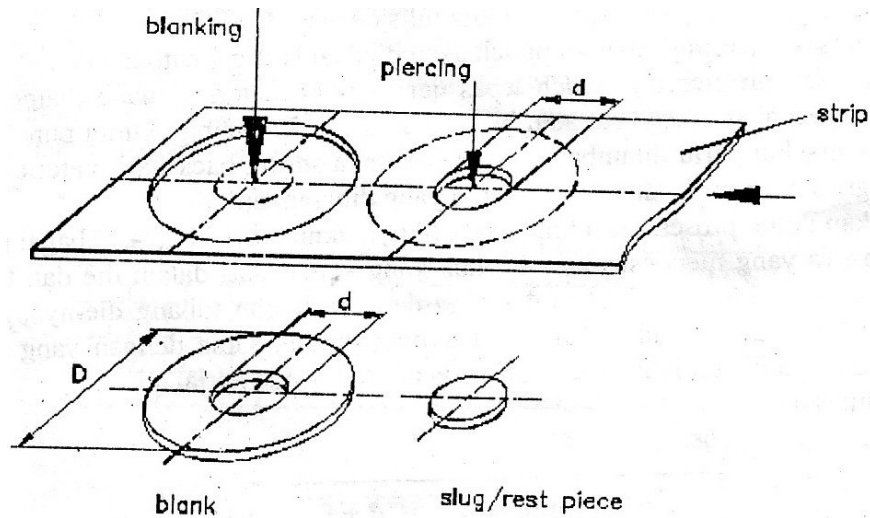


Gambar 2. 12.

I. Menentukan Ukuran Punch dan Die

1. Pemotongan Pierching dan Blanking

Untuk menentukan ukuran punch dan die yang bekerja secara berpasangan, kita harus tahu beberapa jenis pemotonga menurut hasil yang akan didapat. Gambar 2.13 dibawah kedua proses sama – sama melakukan proses pemotongan sepasang punch dan die.



Gambar 2.13.

Cara progressive proses pemotongan itu adalah melubangi pelat dengan diameter yang kecil dulu kemudian pemotongan dengan diameter yang lebih besar. Hasil yang didapat ternyata berbeda. Yang pertama adalah ukuran diameter kecil "d", yaitu ukuran dalam suatu bentuk / produk. Yang kedua ukuran diameter blank "D", yaitu ukuran luar bentuk / produk. Kedua proses ini menghasilkan produk ring washer.

Piercing menghasilkan lubang ukuran dalam, dan Blanking menghasilkan blank / ukuran luarnya. Material yang keluar dari die pada proses piercing disebut "slug / rest piece" karena merupakan sisa yang dibuang.

2. Spring Back

Setiap material bila diberikan gaya punya kecenderungan kembali ke posisi semula. Ini disebut dengan spring back. Besar beda tergantung jenis material dan tebalnya. Pada proses piercing dan blanking terjadi daya spring back.

3. Ukuran Punch dan Die

Bila menentukan punch dan die harus tahu dulu proses pengerjaannya, piercing / blanking. "d" untuk piercing dan "D" untuk blanking. Untuk spring back ditulis f. Untuk proses piercing ukuran punch akan dipakai sebagai patokan dan ukuran die nya menyesuaikan, setelah piercing punch lepas dari

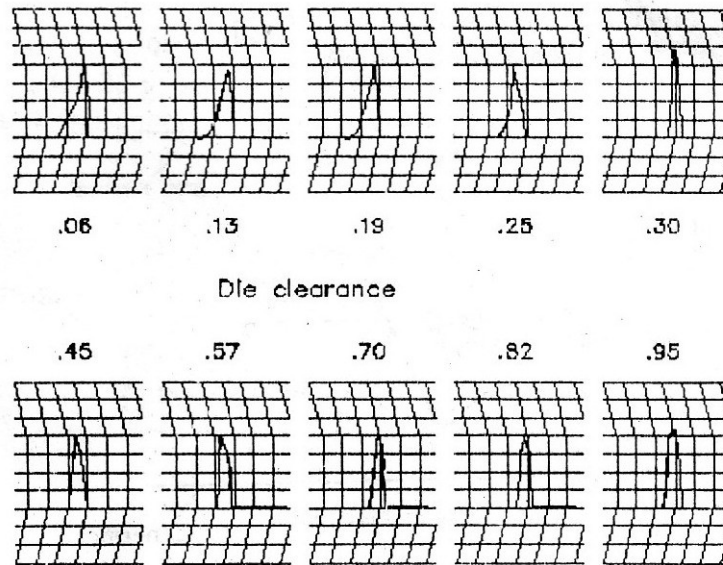
dari jepitan material maka diameter atau lubang akan menyusut daripada punchnya. Maka punch perlu ditambah besar spring back.

Pada blanking sebaliknya die dipakai sebagai patokan untuk menjadikan ukuran yang diharapkan maka ukuran die dibuat lebih kecil dari ukuran benda kerja.

4. Kurva Karakteristik Gaya

Selama proses pemotongan berlangsung besar gaya yang diperlukan tidak akan konstan. Alat untuk mengukur besar gaya dalam suatu pemotongan yaitu electrical resistance strain gauge yang dipasang vertical pada bagia yang berhubungan dengan punchnya.

Untuk mendapat efek clearance dalam bentuk kurva karakteristik maka beberapa punch dengan diameter yang berbeda dipasngi gauge. Sedangkan diameter die tetap selama percobaan, dengan selalu menjaga ketajaman daripada perkakasny.hasilny adapat dilihat pada beberapa kurva di bawah ini.



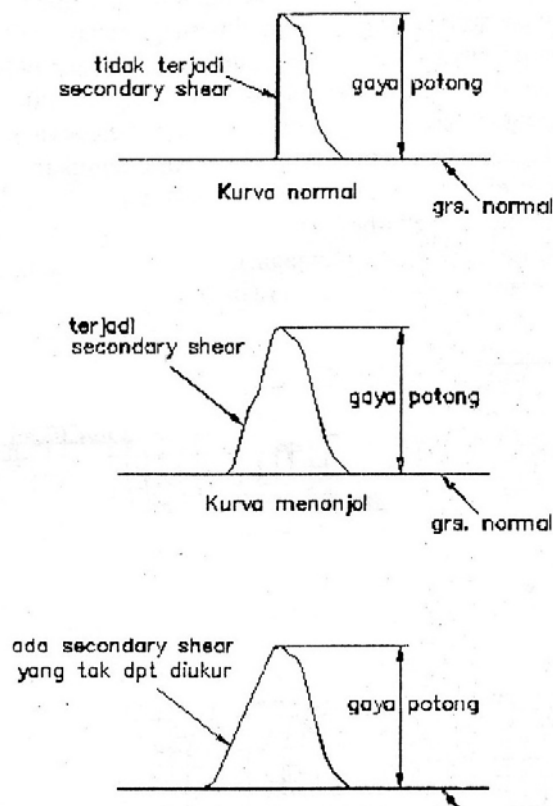
Gambar 2.14

Hal ini dapat dilihat dari bentuk kurva di bagian kiri bawah, kesimpulannya semakin kecil besar clearance , maka secondary shear yang terjadi semakin

besar pula. Untuk mendapatkan hasil yang baik ternyata dapat terlihat pada percobaan yang menggunakan clearance 0,45 mm.

Dari 2 kurva ditarik kesimpulan bahwa ada 3 macam kurva saja yang dapat dilihat dari bentuknya:

- Kurva normal : bentuk ini dihasilkan dari percobaan dengan menggunakan clearance yang sesuai / cocok atau sedikit lebih besar.
- Kurva yang menonjol: bentuk ini dihasilkan dari percobaan dengan menggunakan clearance yang kurang / adanya secondary shear.
- Kurva yang bersudut: hasil ini diakibatkan dari penggunaan clearance yang terlalu kecil.



Gambar 2. 15.

Test lain yang dilakukan yaitu dengan cara membuat variasi kecepatan mesin pressnya antara 40 – 240 stroke/ menit. Hasilnya menaikkan kecepatan mesin

press tidak mengakibatkan stress yang berlebihan pada die nya namun meningkatkan produktivitas.

5. Karakteristik Pemotongan yang lain

Disamping adanya sifat karakteristik pemotongan yang sudah di bicarakan terlebih dahulu, masih ada sifat lain yang perlu diperhatikan yaitu sifat perubahan bentuk material yang sering disebut “distorsi”.

Ada 2 macam distorsi yang terjadi pada blank dan pada stripnya.

- Dish distorsion

Dish distorsion adalah kesalahan dari bentuk produk blank menjadi berbentuk melengkung/ tidak flat. Untuk mengatasinya orang akan melengkapidienya dengan memasang pressure counter/ pressure pad didalamnya. ini akan memberitekanan pada blank yang akan dipotong mengurangi kecenderungan melengkung.

- Spacing distorsion

Sering kita membuat kesalahan bentuk lubang karena jarak lubang blank berdekatan.

Table berikut menunjukkan batas jarak potong minimum yang sering digunakan dari beberapa macam material dan tebal dengan dua macam ukuran lubang. Clearance yang digunakan 2% untuk mengembangkan table ini.

Tabel 2.2. Batas Potong Minimum

Diameter lubang		6,5 mm	13 mm
Alumunium			
t			
3003 – 0	0,8	2t	4t
3003 – H14	0,8	2t	2t
3003 – 0	1,2	2t	2t
3003 – H14	1,2	t	t
5052 – 0	0,8	t	4t
Kuningan			
Lunak	0,8	3t	6t
Setengah lunak	0,8	t	2t
Lunak	1,2	2t	3t
Seperempat keras	0,5	2t	2t
Baja			
CRS AK	0,9	2t	2t
Seperempat keras	0,8	2t	4t
Rim DQ	0,6	2t	2t
HRS	1,5	2t	3t
302-2B	0,6	2t	5t
302-2B	0,9	3t	4t
Rata-rata		2t	3t

Dengan table diatas kita dapat menghindari terjadinya distorsi spancing.

6. Jenis Keausan

Bagian dari punch dan die yang hampir dapat dipastikan selalu akan mengalami keausan karea dipakai sebagian sudut bagian sisi keliling dan juga pada permukaan.

Untuk mengatasinya dilakukan penggrindaan/ pengasahan lagi.jika menggeerinda hanya permukaannya saja.karena jika bagiannkelilingjuga kena maka mempengaruhi ukuran punch dan die nya. Keausan ini terjadi Karen terkikisnya punch/ dieoleh material yang mengalami kalelahan.juga menyebabkan gaya stripper yang semakin besar.

J. Gaya Potong

Square ended yaitu sistem pemotongan dengan punch dan die yang memiliki permukaan rata. Cara ini menyebabkan sheetmetal yang dipotong sedikit / tanpa distorsi dan punya keuntungan mudah dalam pembuatan punch dan die maupun pegasahnya. Gaya – gaya yang berhubungan dengan pemotongan:

- Gaya potong dengan sistem squar face
- Gaya potong dengan sistem shear / gunting
- Gaya stipper
- Kerja / energi

Gaya potong perlu dihitung karena hal ini untuk menentukan konstruk yang akan dibuat, karena ada hubungannya dengan kemampuan tekan yang harus diberikan oleh mesin press.

1. Pemotongan Dengan sistem square face

Besar gaya adalah hasil perkalian luasan dengan tekanan. sehingga perhitungan gaya potong pada logam, sebagai tekanan diperhitungkan sebagai batas patah gaya gesernya yang dimiliki oleh material logam dan diukur dalam satuan

Rumusan berikut ini menggambarkan analogi dari metode ini :

Rumusan dasar : gaya = tekanan x luasan

Untuk pemotongan : gaya = tekanan x luasan bidang potong

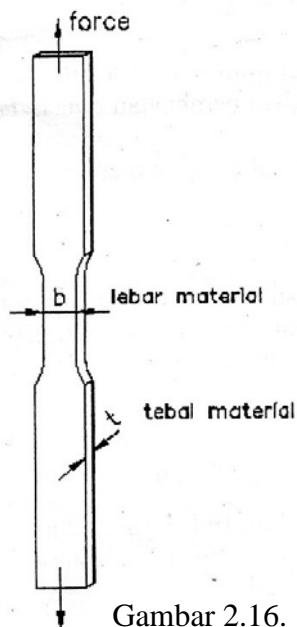
: gaya = kekuatan geser x keliling potong x tebal materi

2. Kekuatan Geser

Kekuatan geser suatu logam/metal adalah kemampuan logam itu untuk menahan gaya dipotong dengan punch dan die. Dengan demikian besarnya kekuatan geser tersebut sama dengan besarnya harga batas harga patah. Untuk menentukan harga batas harga suatu logam dapat dilakukan dengan cara menarika suatu logam yang dibentuk secara khusus sampai logam itu patah, sesuai ilustrasi dibawah ini. Disini kita haraga tegangan batas tarik yaitu gaya

maksimum di bagi dengan luas penampang dari bidang terkecil. Dari seluruh potongan benda kerja.

Pemotongan dengan die adalah suatu cara yang lebih efisien apabila dipilih clearance yang terkecil dan sisi potong yang tajam. Gaya yang dibutuhkan akan lebih kecil untuk setiap satuan luasan, karena sisi yang tajam akan mengkonsentrasikan beban dan tegangan yang besar akan terjadi sini. Gaya potong dapat diukur dengan cukupteliti dengan menggunakan straingauge percobaan menunjukkan bahwa dengan clearance dibawah 50% dan sisi potong yang tajam maka kekuatan geser dari sheetmetal akan jauh dibawah tegangan batas taiknya. Secara umum kekuatan geser ini berkisar antara 50% - 80% dari tegangan batas tarik.



Gambar 2.16.

Perhitungan gaya potong seperti diatas berlaku untuk sistem pemotongan dengan squar face sedangkan untuk pemotongan dengan sistem shear besarnya dapat diambilkan kira – kira 0,67 nya.

3. Kerja pada sistem pemotongan squar faces.

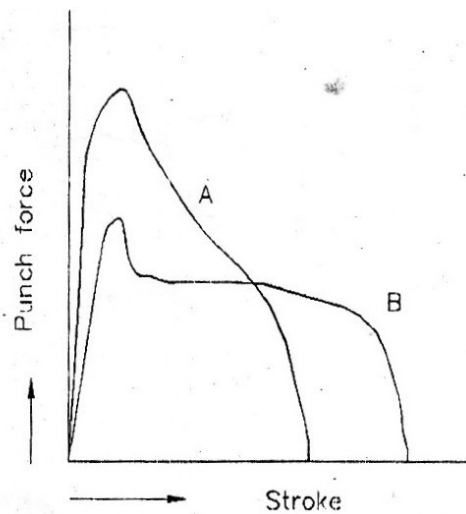
Untuk pemotongan suatu pelat tentunya juga diperlukan suatu kerja yang besarnya adalah merupakan hasil perkalian antara gaya dengan jarak yang ditempuh oleh gaya tersebut.

$$\text{Kerja} = \text{gaya} \times \text{jarak}$$

Yang dimaksud dengan jarak dalam hal ini adalah besarnya langkah punch selama bekerja. Yaitu pada waktu punch mulai menyentuh pelat sampai terpotong. yang dimaksud jarak berarti sama dengan besarnya panjang penetrasi.

$$\text{Kerja} = \text{gaya} \times \% \text{penetrasi} \times \text{tebal material}$$

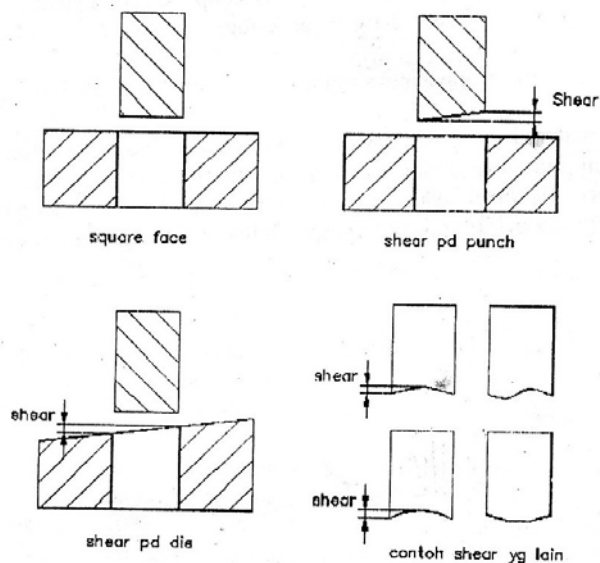
Semakin tebal material yang dikerjakan maka semakin tbesar pula kerja yang diperlukan satuan kerja ini biasanya dihitung dalam satuan ton meter dipakai untuk menentukan kemampuan dari flywheel yang digunakan pada mesin press.kerja dapat disimpulkan dengan gambar grafik berikut yaitu besarnya luasan dari masing – masing permasalahan.



Gambar 2.17.

4. Pemotongan Dengan Sistem Shear

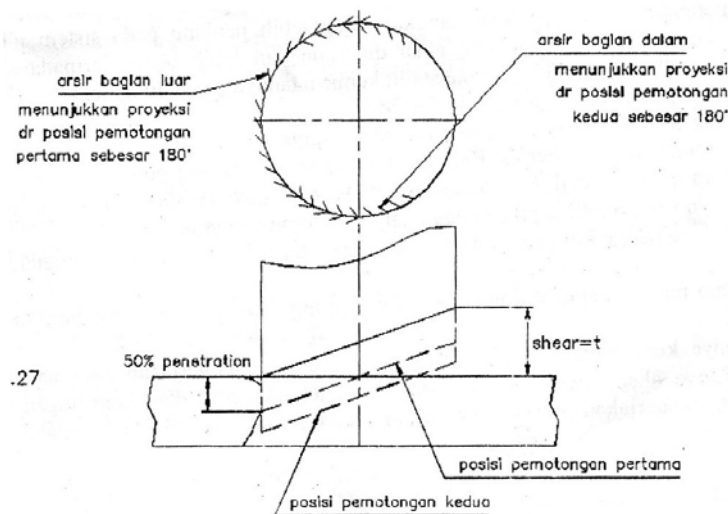
Kadang sering kita lihat bahwa permukaan potong dari punch/die dibuat miring.hal ini dimaksudkan untuk mengurangi gaya potong yang digunakan. Kemiringan punch atau die akan mengakibatkan kebutuhan langkah yang lebih panjang pada sistem ini. Dengan demikian bila gaya potong yang digunakan lebih dari kapasitas tekan dari mesinnya maka sudut kemiringan nya dibuat cukup besar, dimaksudkan untuk mengimbangi kerja dari mesin. Ada beberapa macam pengguntingan yang dapat ditunjukkan pada halaman berikut ini. Pada umumnya kemiringan diberikan pada punch untuk mengerjakan pembuatan lubang karena blank nya akan mengalami lengkungan / distorsi sedang kemiringan pada die dipakai untuk mengerjakan blanking karena dalam hal ini stripnya akan mengalami distorsi.



Gambar 2.18.

5. Kemiringan Pada Punch

Pengurangan besarnya gaya dengan menggunakan sistem potong gunting ini dapat dihitung dan dilihat secara grafis seperti dibawah ini. Kemiringa satu sisi pad punch akan menyebabkan pemotongan yang berkelanjutan , hal ini sesuai dengan gerakan punch sehingga gaya yang diperlukan menjadi lebih kecil. Dengan demikian dapat diketahui besar panjang total pemotongan.



Gambar 2.19.

Bab 2 **P**RESS TOOL

3.1. Tinjauan Pustaka

Pada proses produksi massal sering terjadi permasalahan-permasalahan yang terjadi, antara lain kualitas produk yang tidak seragam yang menyebabkan kerugian yang terjadi pada proses quality control. Selain itu dari sisi kuantitas yang dihasilkan tidak sesuai dengan target karena penumpukan material yang menyebabkan proses produksi terhambat. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan desain jig & fixture, selain dapat dikontrol kualitasnya juga dapat dicapai kuantitasnya karena waktunya mudah diukur. Jig & fixture merupakan salah satu alternatif yang digunakan di industri-industri besar karena ada beberapa kelebihan dibanding dengan sistem konvensional yang lainnya.

Jig and fixture adalah alat pemegang benda kerja selama proses permesinan sehingga diperoleh produk yang seragam. *Jig* adalah alat khusus yang berfungsi memegang, menahan atau diletakkan pada benda kerja yang berfungsi untuk menjaga posisi benda kerja dan membantu / mengarahkan pergerakan pahat. *Fixture* adalah alat khusus yang berfungsi mengarahkan, memegang, menahan benda kerja yang berfungsi untuk menjaga posisi benda kerja selama proses permesinan. (www.Lspitb.org, 2005).

Compound Tool merupakan salah satu jenis press tool yang dapat melakukan dua atau lebih kerja dalam satu stasiun kerja, yang berarti dalam satu langkah kerja dalam stasiunnya dapat terjadi dua atau lebih pemotongan. Prinsip

kerja dari alat ini merupakan proses pengerjaan yang terdiri dari pemotongan maupun pembentukan material. Karena hal tersebut, maka secara umum hasilnya akan efisien, tepat, dan cepat sehingga efisiensi kerja dapat tercapai dengan maksimal. Alat ini sering digunakan untuk memproduksi benda kerja yang besar dan hanya menghasilkan satu jenis produk. (Riandy, 2006).

Jig (pengarah) diartikan sebagai suatu alat untuk mengontrol dan mengarahkan alat potong dalam sebuah proses pembentukan benda kerja. Sedangkan fixture (penepat) adalah alat lainnya yang berfungsi untuk memegang, melokasikan, dan menjamin benda kerja agar tetap berada pada posisinya. Jig & fixture tersusun atas beberapa komponen utama dan elemen-elemen pendukung lainnya agar dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Jig dan fixture yang direncanakan digunakan untuk memproduksi plat dudukan engine mounting yang difungsikan untuk menahan mesin agar tidak bergetar dan selalu fix pada tempatnya. Komponen-komponen dan elemen-elemen pendukung pada rancangan jig & fixture diproses dengan menggunakan mesin CNC, dimana desain komponen digambar dengan software Autocad dan disimulasikan dengan menggunakan software Mastercam versi 9 agar proses manufaktur dapat terkontrol dengan baik. Kemudian data-data gambar kerja diubah menjadi data-data NC. Simulasi manufaktur pada Mastercam berisi gambar 2D & 3D dan data-data yang berubah menjadi data-data NC. (Rezi Mahendra, 2008)

3.2. Jig and Fixture

Perencanaan peralatan *jig & fixture* merupakan proses produksi yang secara teknis memiliki kebebasan tak terbatas dan sekaligus sangat tidak

tergantung oleh proses yang lain. Sebagai gambaran, jika seorang konstruktor mesin bekerja dengan ketergantungan yang tinggi terhadap tuntutan-tuntutan manufaktur secara keseluruhan, maka seorang konstruktor *jig & fixture* hanya tergantung pada tuntutan-tuntutan proses produksi mesin-mesin yang dipakai, tidak pada proses pengerjaan benda kerja sebelum dan setelah menggunakan peralatan *jig & fixture*.

Peralatan *jig & fixture* tidak saja dititikberatkan pada masalah pencapaian fungsi dan kualitas produk yang prima, tetapi juga biaya langsung yang dikeluarkan untuk proses produksi, termasuk biaya tambahan yang selalu muncul pada proses revisi yang harus dihindari atau dipertahankan sekecil mungkin. Demikian pula tuntutan yang sama akan ditujukan kepada perencana produksi dan pelaksana produksi karena mereka secara langsung berhubungan dengan alat dan pengalaman mereka sangat menentukan konstruksi yang optimal.

Sejalan dengan tuntutan kepresisian dan kemudahan penggantian benda kerja serta persaingan yang semakin ketat, ketelitian perhitungan, meningkatnya harga dan biaya tidak langsung mengakibatkan *jig & fixture* berikut pemakaiannya dalam proses produksi memiliki arti yang sangat penting.

Selain itu peralatan *jig & fixture* yang digunakan pada proses produksi benda-benda tunggal dengan jumlah kecil, bahkan dengan jumlah massal akan sangat berperan karena selalu saja ada benda kerja yang membutuhkan biaya yang sangat tinggi apabila dikerjakan tanpa peralatan bantu tersebut. Kurang telitinya produk akan menambah tingkat kegagalan benda kerja, sehingga secara langsung meningkatkan biaya produksi.

Perencanaan proses produksi akan sangat menentukan jumlah dan jenis peralatan *jig & fixture* yang digunakan. Seorang perencana harus mengetahui jenis dan fungsi peralatan *jig & fixture*, bahkan melaksanakan perhitungan biaya maksimal yang diakibatkan oleh penggunaan peralatan tersebut. Selanjutnya dimulailah proses perencanaan yang berawal dari pemesanan, perencanaan konstruksi, manufaktur hingga pengiriman.

Tuntutan dan keinginan pada peralatan *jig & fixture* tidak saja dititikberatkan pada masalah pencapaian fungsi dan kualitas produk yang prima, tetapi juga biaya langsung yang dikeluarkan untuk proses produksi, termasuk biaya tambahan yang selalu muncul pada proses revisi harus dihindari atau dipertahankan sekecil mungkin. Hasil yang dicapai oleh konstruktor akan sangat bergantung pada pengetahuan dan persiapannya. Demikian pula tuntutan yang sama akan ditujukan kepada perencana produksi dan pelaksana produksi karena mereka secara langsung berhubungan dengan alat dan pengalaman mereka sangat menentukan konstruksi yang optimal.

Jig and fixture adalah alat bantu produksi yang digunakan untuk membuat duplikat secara tepat. Hubungan dan kesejajaran antara benda kerja dengan alat potong atau alat lain harus dipertahankan. Untuk melakukannya, *jig and fixture* dirancang dan dibuat untuk menahan, menunjang dan menempatkan setiap bagian guna memastikan bahwa masing-masing akan diproses dalam batas-batas yang ditentukan.

Istilah *jig & fixture* kadang-kadang mempunyai arti dan penggunaan yang berbeda. Di industri pengolahan pelat dan logam, peralatan seperti ini sering

dikelompokkan sebagai salah satu alat bantu produksi, sejajar dengan mesin-mesin perkakas, peralatan potong, dan sebagainya.

Kata *jig* (pengarah) diartikan sebagai suatu alat untuk mengontrol dan mengarahkan alat potong pada sebuah proses pembentukan benda kerja. Sedangkan *fixture* (penepat) adalah alat lainnya yang berfungsi untuk memegang, melokasikan, dan menjamin benda kerja agar tetap berada pada posisinya. Dalam proses kerjanya, kebanyakan *jig* dipasang bersatu dengan *fixture*.

Keuntungan penggunaan *jig & fixture* pada proses produksi adalah sebagai berikut :

1. Memungkinkan penyederhanaan dan pemanfaatan tenaga tidak terampil.
2. Meningkatkan efisiensi penggunaan mesin perkakas sehingga dapat menurunkan biaya produksi.
3. Pekerjaan tambahan seperti boring, drilling, dan sebagainya bisa dikerjakan sekaligus.
4. Mempersingkat atau meniadakan waktu untuk pencekaman, penyetingan dan pengukuran benda kerja yang biasanya dilakukan di atas meja mesin. Sehingga kebutuhan akan peralatan pengukuran menjadi semakin sedikit.
5. Pertimbangan biaya untuk kegagalan produk semakin kecil.
6. Kemudahan dan kesederhanaan konstruksi menurunkan biaya perakitan.
7. Perbaikan kualitas produk akan meningkatkan nilai tambah dan daya saing pasar.
8. Melalui sistem pencekaman benda kerja yang aman akan menghindari keausan alat cekam sehingga secara langsung akan menurunkan biaya alat.

9. Melalui penggunaan sistem pengecaman untuk banyak benda kerja memungkinkan dalam waktu bersamaan beberapa benda kerja dicekam dan dikerjakan bersama-sama.
10. Bersamaan dengan pengerjaan benda kerja, operator dapat mempersiapkan pengecaman benda kerja dan melepas benda kerja yang telah selesai dikerjakan.
11. Penurunan waktu produksi total sehingga mengurangi biaya total produksi.
12. Banyak benda kerja yang sama sekali tidak dapat dikerjakan tanpa peralatan *jig & fixture* karena hasil yang tidak teliti, tidak seragam dan tidak ekonomis.
13. Penurunan kegiatan fisik operator akan meningkatkan efisiensi kerja.

Penghematan yang baik dimungkinkan apabila proses pembuatan peralatan tersebut terencana dengan baik, tentunya dengan mempertimbangkan perhitungan ekonomi (dibahas kemudian) dan metoda pemilihan alternatif konstruksi yang optimal secara teknis dan ekonomis.

3.3.1. Klasifikasi *Jig & Fixture*

1. Klasifikasi umum

Secara umum, *jig & fixture* sebagai bagian dari alat bantu produksi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

A. *Jig & fixture* standar

Digunakan untuk bermacam benda kerja yang umumnya memiliki bentuk geometri sejenis. Benda kerja pelat berbentuk gelombang atau sejenis flens serta

pekerjaan yang terbatas hanya untuk satu proses pemesinan (misalnya pengeboran) merupakan produk-produk yang dapat dihasilkan oleh *jig & fixture* standar.

Biasanya ruang yang tersedia untuk menempatkan benda kerja telah distandarkan. Untuk *jig & fixture* jenis ini memerlukan penyesuaian antara benda kerja dengan proses kerja yang diinginkan (misalnya penyetelan atau penambahan elemen seperti *bush* pengarah mata bor pada proses pengeboran). Termasuk di dalamnya :

a. Alat pengecam umum

Peralatan jenis ini biasanya telah tersedia sebagai komponen standar perlengkapan mesin-mesin perkakas, seperti misalnya ragum, kolet, adaptor, dan lain-lain, yang fungsinya sangat universal mencekam berbagai bentuk dan ukuran benda kerja. Peralatan ini digunakan untuk mencekam produk-produk tunggal maupun massal yang memiliki bentuk-bentuk geometri sederhana.

b. *Jig & fixture* normal

Dapat diklasifikasikan menjadi

- 1) Alat cekam cepat dengan konstruksi tiang, merupakan *jig & fixture* yang banyak kegunaannya karena dimensi benda kerja dan gaya cekam yang dapat diatur.
- 2) Alat cekam pengeboran dengan konstruksi penutup, merupakan *jig & fixture* untuk benda kerja ukuran kecil dengan bentuk geometri balok.

- 3) Alat cekam khusus, merupakan *jig & fixture* yang salah satu fungsinya dapat diputar untuk menempatkan benda kerja dalam berbagai posisi sudut terhadap alat potong.

1. *Jig & fixture* sistem modular

Merupakan penggabungan beberapa komponen standar yang tidak banyak memerlukan proses pengerjaan lanjut guna menyesuaikan bentuk geometri benda kerja dan jenis pekerjaan yang diinginkan, sehingga alternatif ini lebih banyak mengurangi biaya produksi apabila memungkinkan untuk digunakan.

2. *Jig & fixture* khusus

Dikonstruksikan untuk benda kerja tertentu dan pada umumnya digunakan pada proses pengerjaan yang tertentu juga.

Pembagian *jig & fixture* jenis ini adalah sebagai berikut:

a. *Jig & fixture* untuk proses pemakanan

- *jig & fixture* untuk benda kerja panjang

Biasanya peralatan jenis ini dibutuhkan untuk menepatkan posisi dan mencekam benda kerja pada proses frais, gerinda permukaan, ekstrusi, dan lain-lain.

- *jig & fixture* untuk benda kerja bulat

Kelompok ini adalah peralatan yang digunakan pada proses bubut, gerinda putar, dan lain-lain.

- *jig & fixture* khusus yang lain

Digunakan pada proses pemesinan yang menghasilkan benda kerja dengan bentuk mengikuti pola asli yang telah tersedia (mesin-mesin kopi).

b. *Jig & fixture* untuk proses penggabungan

Termasuk di dalamnya adalah jenis *jig & fixture* untuk proses penyambungan komponen dengan las, solder, ikatan baut, perekat dan untuk proses perakitan komponen.

c. *Jig & fixture* untuk proses khusus

Jig & fixture jenis ini khusus digunakan pada proses pemeriksaan, penggulangan, perlakuan panas, atau proses sejenis yang tidak menghasilkan beram.

2. **Klasifikasi ekonomi**

Jika kita mengelompokkan *jig & fixture* dari sudut pandang ekonomi, maka terdapat empat jenis peralatan yang perhitungan ekonomisnya sangat dibatasi oleh biaya rencana yang telah ditentukan sebelumnya. Klasifikasi empat jenis peralatan ini dibuat berdasarkan tuntutan kebutuhan masing-masing, yaitu:

A. **Kebutuhan utama**

Jig & fixture jenis ini mutlak dibutuhkan, karena tanpa peralatan ini proses produksi tidak mungkin bisa dilaksanakan. Alasan yang paling sering dijumpai mengapa peralatan ini mutlak digunakan adalah karena tuntutan bentuk geometri benda kerja, dimana penggunaan sistem pengecam umum tidak memungkinkan. Penelitian faktor ekonomi menunjukkan bahwa konstruksi dan tingkat kerumitannya serta biaya total yang diizinkan untuk digunakan merupakan faktor-faktor pembatas.

Dengan perubahan bentuk benda kerja (usulan konstruktor *jig & fixture*

kepada perancang produk), tidak tertutup kemungkinan bahwa *jig & fixture* bisa menjadi tidak diperlukan.

B. Kebutuhan kepresisian

Semakin presisi benda kerja yang dihasilkan serta semakin mudah, cepat dan tepat tuntutan penggantian elemen pada peralatan *jig & fixture* akan semakin meningkatkan biaya produksi. Adapun kepresisian benda kerja yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut:

- Bentuk geometri, sifat bahan, bidang datum, dan hubungan dimensi diantara benda kerja.
- Konstruksi dan metoda proses yang digunakan serta kualifikasi operator.
- Bentuk geometri, umur, dan perubahan bentuk alat potong akibat perubahan temperatur serta besar dan arah gaya potong.
- Kepresisian, kekakuan, dan ketahanan sifat statis dan dinamis serta ketahanan mesin terhadap perubahan temperatur.
- Kerusakan akibat kelalaian atau kejenuhan operator dalam memasang dan mengeluarkan benda kerja.
- Perubahan bentuk elastis dan getaran yang terjadi pada sistem keseluruhan.
- Pengaruh cairan pendingin dan pelumas.

C. Kebutuhan ekonomi

Kelompok ini adalah peralatan *jig & fixture* yang penggunaannya diharapkan dapat menurunkan biaya produksi. Hasil dari perhitungan biaya merupakan hal yang sangat menentukan.

D. Kebutuhan khusus

Jenis ini hanya diperlukan jika *jig & fixture* yang tersedia dan digunakan tidak lagi memenuhi tuntutan baru ataupun perubahan tuntutan kualitas yang terjadi. Dalam hal ini, perencanaan biaya sangat dipengaruhi oleh konstruksi optimal yang diperoleh dengan pemecahan teknis dan ekonomis yang baik.

3. Klasifikasi gaya

Pengelompokan selanjutnya didasarkan atas jenis dan cara kerja gaya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan peralatan *jig & fixture*, yaitu:

- *Jig & fixture* yang mengandalkan otot manusia sebagai tenaga penggerak.
- *Jig & fixture* yang mengandalkan tenaga penggerak pneumatik, hidrolis, listrik, dan sebagainya.

4. Klasifikasi jumlah produk

Berdasarkan jumlah benda kerja yang tercekam pada saat yang sama atau secara kontinyu, maka *jig & fixture* dapat diklasifikasikan menjadi :

- *Jig & fixture* untuk benda kerja tunggal, dimana termasuk di dalamnya *temporary jig & fixture* untuk kebutuhan pembuatan model atau *prototype*.
- *Jig & fixture* untuk benda kerja banyak.
- *Jig & fixture* untuk proses kontinyu (*progressive*).

Istilah dua klasifikasi terakhir dalam prakteknya sering digabungkan menjadi satu nama, misalnya :

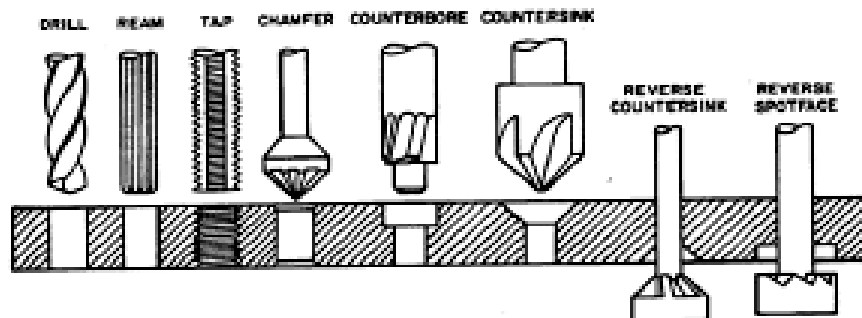
- *Jig & fixture* untuk benda kerja banyak dengan penggerak pneumatik.
- *Jig & fixture* untuk benda kerja tunggal dengan penggerak manual, dan sebagainya.

3.2.2. Jenis dan Fungsi *Jig and Fixture*

3.2.2.1. *Jig*

Secara umum, *jig* dibagi menjadi dua, yaitu *borring jig* dan *drill jig*. *Jig* bor digunakan untuk mengebor lubang-lubang besar untuk dibuat pada ukuran-ukuran tertentu. Sedangkan *jig drill* digunakan untuk melakukan proses *drilling*, *reamer*, *tap*, *chamfer*, dan lain-lain.

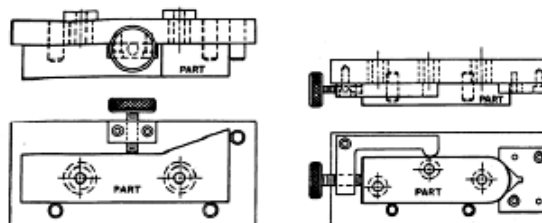
Untuk *jig drill* sendiri dapat dibagi menjadi dua, yaitu *jig* terbuka dan *jig* tertutup. *Jig* terbuka digunakan untuk proses sederhana, dimana benda kerja dibuat hanya di satu sisi bagian saja. Sedangkan *jig* tertutup digunakan untuk bagian yang harus dibuat dengan mesin lebih dari satu sisi.



Gambar 2.1. *Drill Jig*

Jenis-jenis *jig* antara lain adalah sebagai berikut :

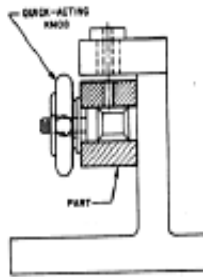
1. *Jig* Piringan (*plate jig*)



Gambar 2.2. *Plate Jig*

Jika diperlukan, dapat ditambahkan penyangga (*leg*) untuk mengangkat benda kerja dari dasar.

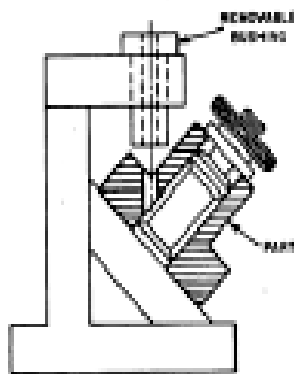
2. *Jig* Piringan Sudut (*angle-plate jig*)



Gambar 2.3. *Angle-plate Jig*

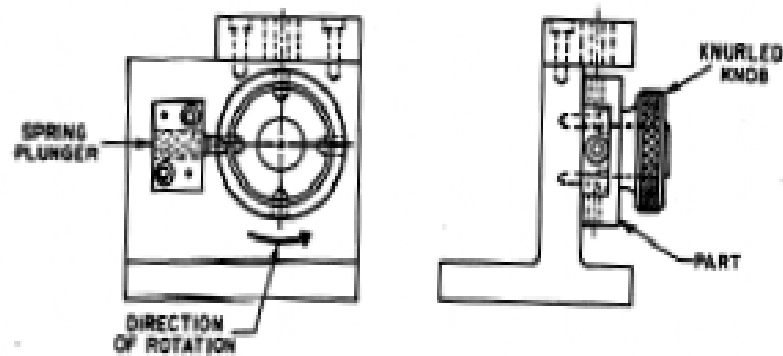
Dipakai untuk benda kerja yang diproses dengan sudut 90° dari *mounting* lokatornya.

Sedangkan untuk *jig* piringan sudut yang telah dimodifikasi (*modified angle-plate jig*) dipakai untuk benda kerja yang diproses dengan sudut yang tidak sama dengan 90° dari *mounting* lokatornya.



Gambar 2.4. *Modified Angle-plate Jig*

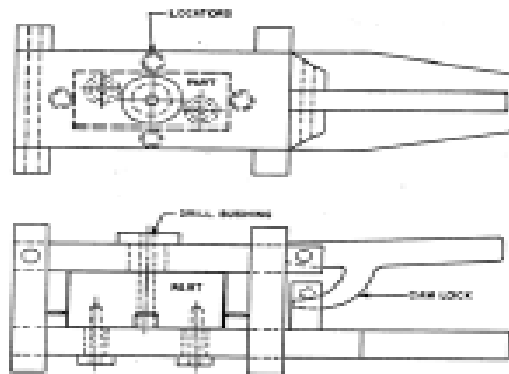
3. *Jig Index (indexing jig)*



Gambar 2.5. *Indexing Jig*

Dipakai untuk menghasilkan jarak antar pemesinan yang akurat. Biasanya menggunakan plat referensi dan *plunger*.

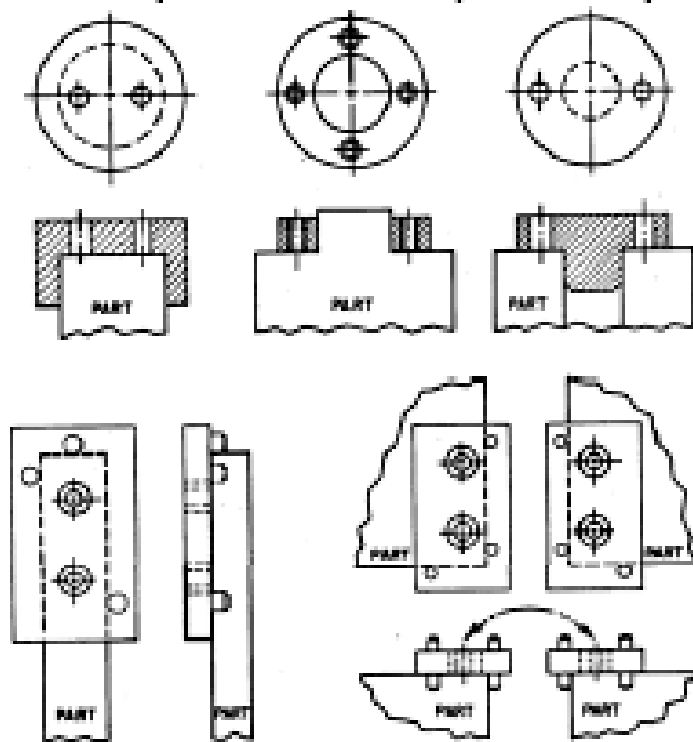
4. *Jig Daun (leaf jig)*



Gambar 2.6. *Leaf Jig*

Merupakan *box jig* ukuran kecil dengan plat yang mudah dibuka dan ditutup untuk mempercepat *loading* dan *unloading*. Perbedaannya dengan *box jig* : lebih kecil, tidak menutup seluruh permukaan benda kerja.

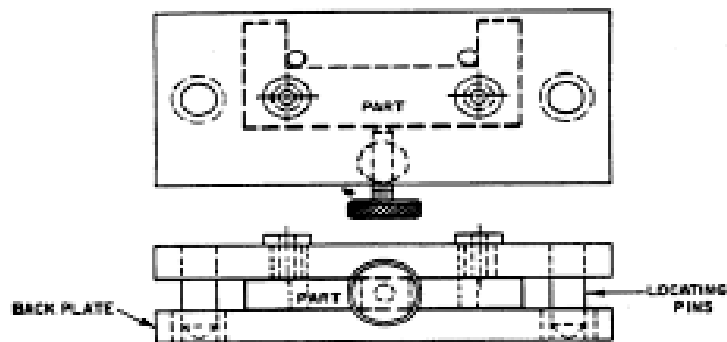
5. *Jig Berbentuk Kuil (templete jig)*



Gambar 2.7. *Template Jig*

Menitikberatkan pada akurasi, biasanya tidak diklem.

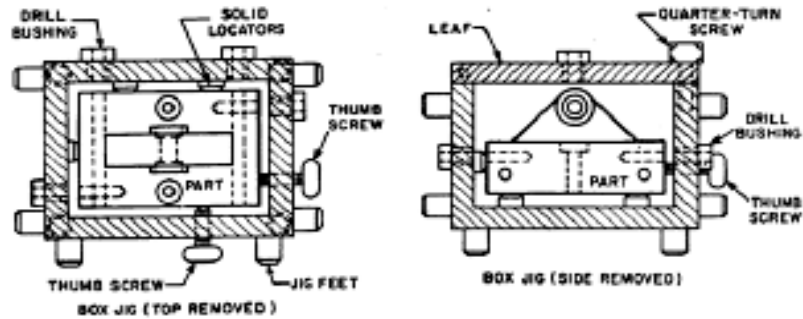
6. *Jig Berlapis (sandwich jig)*



Gambar 2.8. *Sandwich Jig*

Terbentuk dari *plate jig* dan ditambah dengan plat belakang. Ideal untuk benda kerja yang tipis, mudah melengkung atau tertekuk.

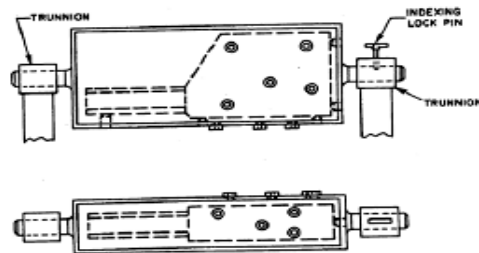
7. *Jig Kotak (box jig atau tumble jig)*



Gambar 2.9. *Box Jig*

Melingkupi seluruh benda kerja untuk pengerjaan beberapa permukaan dalam satu kali pemasangan.

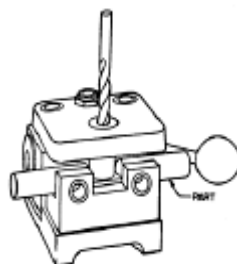
8. *Trunnion Jig*



Gambar 2.10. *Trunnion Jig*

Rotary jig untuk benda kerja berukuran sangat besar atau benda kerja yang memiliki bentuk tidak biasa / rumit.

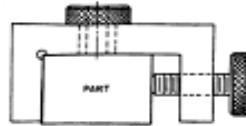
9. *Jig Pompa (pump jig)*



Gambar 2.11. *Pump Jig*

Untuk jenis *jig* ini, pergerakan *plate* diatur oleh pompa. *Jig* ini sangat menghemat waktu *loading* dan *unloading*.

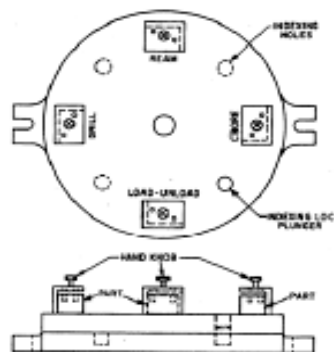
10. Channel Jig



Gambar 2.12. Channel Jig

Jig ini termasuk *box jig* yang paling sederhana. Jika digunakan *jig feet* dapat dilakukan pemesinan pada tiga permukaan.

11. Multi-station Jig



Gambar 2.13. Multi-station Jig

Disusun dari berbagai *jig* di atas. Biasanya digunakan untuk proses pada mesin *multi-spindel*.

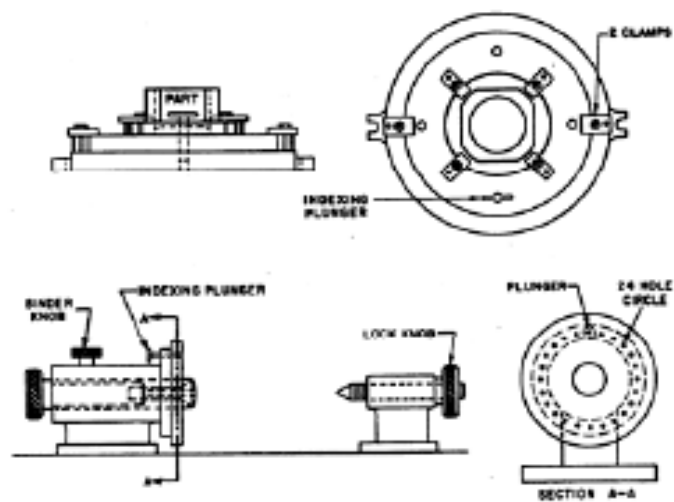
3.2.2.2. Fixture

Perbedaan konstruksi utama dari *jig* dan *fixture* adalah massa, sebab seiring dengan meningkatnya kekuatan alat, *fixture* dibangun lebih kuat daripada *jig* untuk bagian yang sama. Penamaan *fixture* menyatakan bagaimana proses pembentukan *fixture* tersebut.

Fixture diklasifikasikan berdasarkan penggunaannya pada suatu jenis mesin tertentu. *Fixture* yang digunakan pada mesin milling disebut *milling fixture*. *Lathe-radius fixture* adalah *fixture* yang digunakan pada mesin bubut untuk memproses radius / silinder.

Tipe-tipe *fixture* antara lain adalah sebagai berikut :

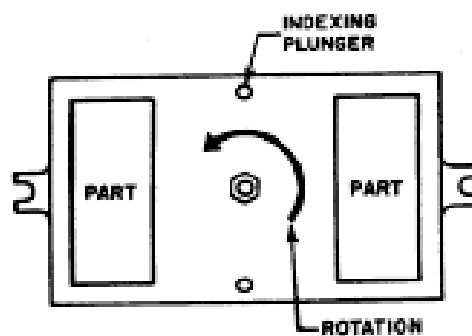
1. *Indexing Fixture*



Gambar 2.14. *Indexing Fixture*

Untuk benda kerja yang harus dikerjakan dengan jarak (*linier/ angular*) antar pemesinan yang sangat presisi.

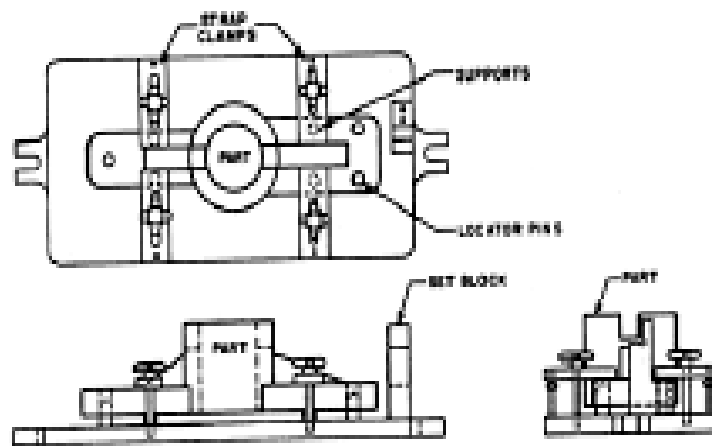
2. *Multistation Fixture*



Gambar 2.15. *Multistation Fixture*

Digunakan untuk proses yang kontinyu. *Fixture* ini memiliki kecepatan tinggi dan volume produksi yang besar. Termasuk *duplex fixture* dengan bentuk *multi station* yang sederhana, menggunakan dua stasion.

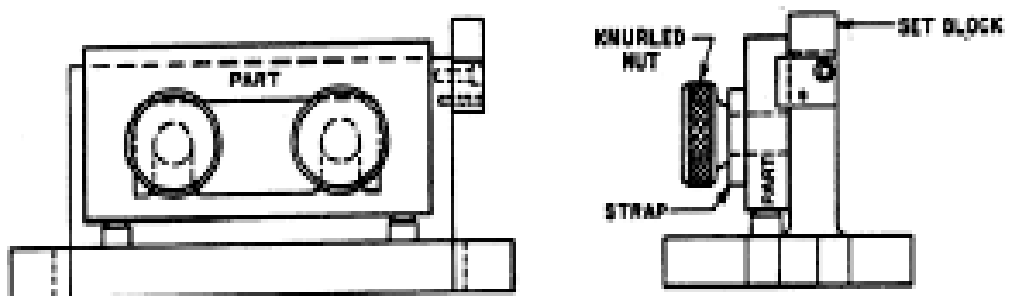
3. *Plate Fixture*



Gambar 2.16. *Plate Fixture*

Bentuk *fixture* yang paling sederhana yang tersusun dari pelat datar dan beberapa *locator* dan klem. Jenis *fixture* ini sederhana dan adaptif, sehingga sangat luas penggunaannya.

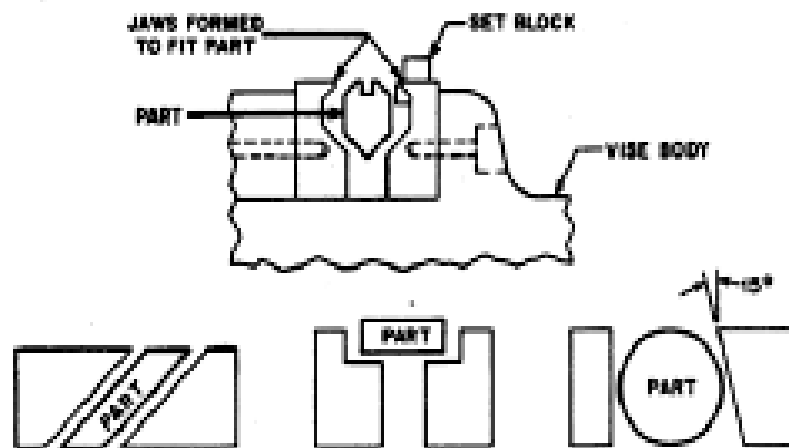
4. *Angle-plate Fixture*



Gambar 2.17. *Angle-plate Fixture*

Merupakan modifikasi dari *plate fixture* yang digunakan untuk pengerjaan yang bersudut 90° terhadap lokator. Untuk sudut pengerjaan yang lain, *angle-plate fixture* dimodifikasi.

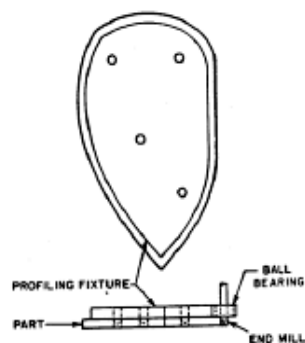
5. *Vise-jaw Fixture*



Gambar 2.18. *Vise-jaw Fixture*

Digunakan untuk memproses benda kerja berukuran kecil, dimana cekam sederhana diganti dengan cekam yang diperlukan.

6. *Profiling Fixture*



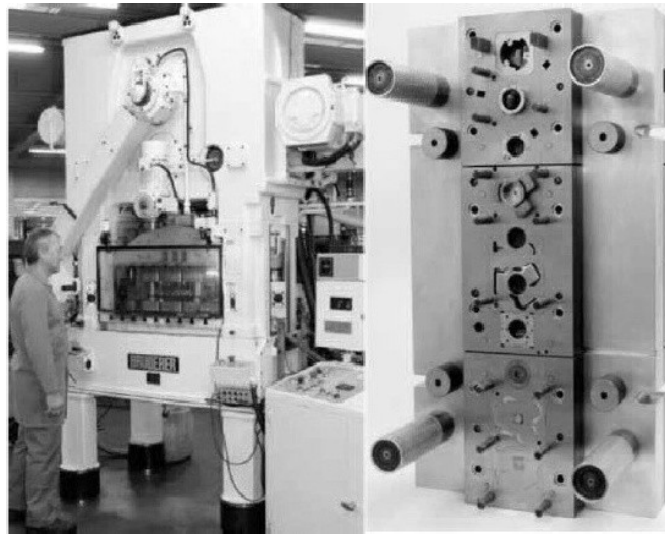
Gambar 2.19. *Profiling Fixture*

Menggunakan pola / profil bagi proses pemesinan permukaan yang rumit.

3.3. Press Tool

3.3.1. Pengertian Press tool

Presstool adalah peralatan yang mempunyai prinsip kerja penekanan dengan melakukan pemotongan pementukan atau gabungan dari keduanya. Peralatan ini digunakan untuk membuat produk secara massal dengan produk output yang sama dalam waktu yang relative singkat.



Gambar 2.20. Jenis Mesin Press Tool

3.3.2. Klasifikasi Press Tool

Press Tool dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam menurut proses pengerjaan yang dilakukan oleh die yaitu :

- Simple tool
- Compound tool
- Progressive tool

a. Simple Tool

Simple tool adalah jenis dari presstool yang paling sederhana, dimana hanya terjadi atau proses pengerjaan dan satu stasiun dalam satu alat. Pemakaian jenis simple tool ini mempunyai keuntungan dan kerugian.

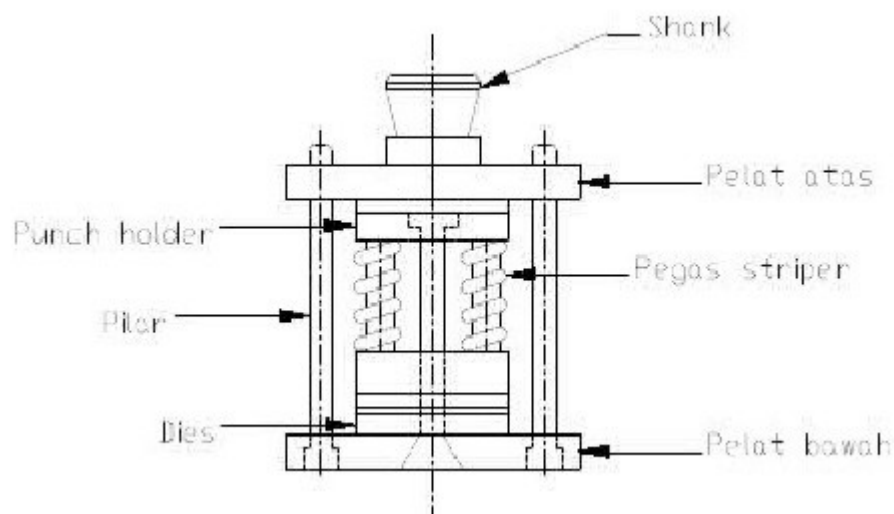
Keuntungan simple tool :

- Dapat melakukan proses pengerjaan tertentu dalam waktu yang singkat.

- Kontruksinya relative sederhana.
- Harga alat relative murah.

Kerugian simple tool :

- Hanya mampu melakukan prosese – proses pengerjaan untuk produk yang sederhana sehingga untuk jenis pengerjaan yang rumit tidak dapat diklakukan oleh jenis press tool ini.
- Proses pengerjaaan yang dapat dilakukan hanya satu jenis saja.



Gambar 2.21. Simple Tool

b. Compound Tool

Pada proses tool jenis ini, dalam satu penekanan pada satu stasiun terdapat lebih satu pengerjaan, dimana proses pengerjaannya dilakukan secara serentak. Pemakaian jenis compound tool ini juga mempunyai keuntungan dan kerugian.

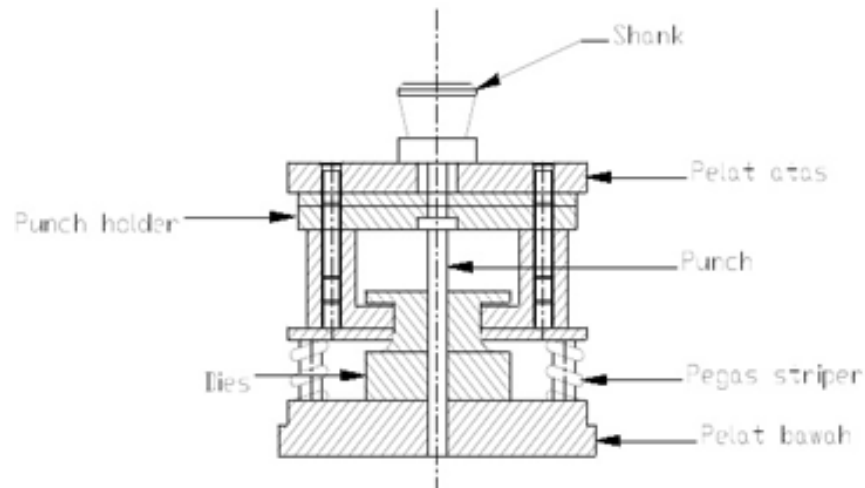
Keuntungan compound tool

1. Dapat melakukan beberapa proses pengerjaan dalam waktu yang bersamaan pada stasiun yang sama.
2. Kerataan dan kepresisian dapat tercapai.
3. Hasil produk yang dicapai mempunyai ukuran yang lebih teliti.

Kerugian compound tool :

1. Kontruksi dies menjadi lebih rumit.
2. Terlalu sulit untuk mengerjakan material yang tebal.

3. Dengan beberapa proses pengerjaan dalam satu stasiun menyebabkan perkakas cepat rusak.



Gambar 2.22. Compound Tool

c. Progressive Tool

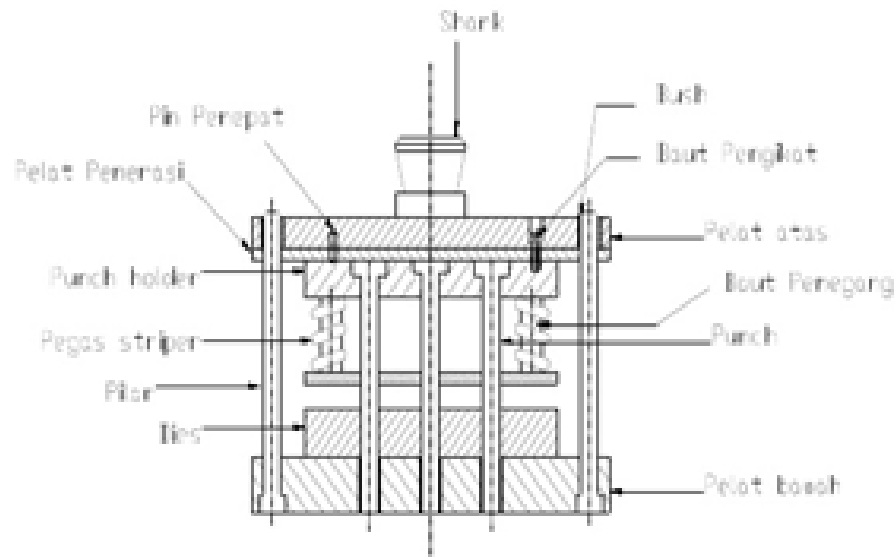
Progressive tool adalah merupakan peralatan tekan yang menggabungkan sejumlah operasi pemotongan atau pembentukan lembaran logam pada dua atau lebih stasiun kerja, selama setiap langkah kerja membentuk suatu produk jadi.

Keuntungan progressive tool :

1. Dapat diperoleh waktu pengerjaan produksi yang relative singkat dibandingkan simple tool.
2. Pergerakan menjadi lebih efektif.
3. Dapat melakukan pemotongan bentuk yang rumit pada langkah yang berbeda.

Kerugian progressive tool

1. Ukuran alat lebih besar bila dibandingkan dengan simple tool dan compound tool.
2. Biaya perawatan besar.
3. Harga relative lebih mahal karena bentuknya rumit.



Gambar 2.23. Progressive Tool

3.3.3. Jenis - Jenis Pengerjaan Pada Press Tool

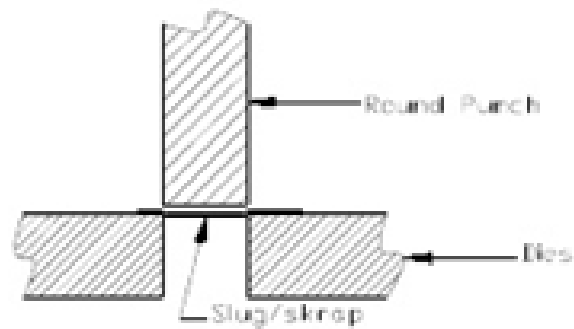
Berdasarkan proses pengerjaannya, press tool dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu :

1. Cutting Tool

Yaitu suatu proses pengerjaan yang dilakukan dengan cara menghilangkan sebagian material atau pemotongan menjadi bentuk yang sesuai dengan keinginan. Adapun proses yang tergolong dalam cutting tool ini adalah sebagai berikut :

a. Pierching

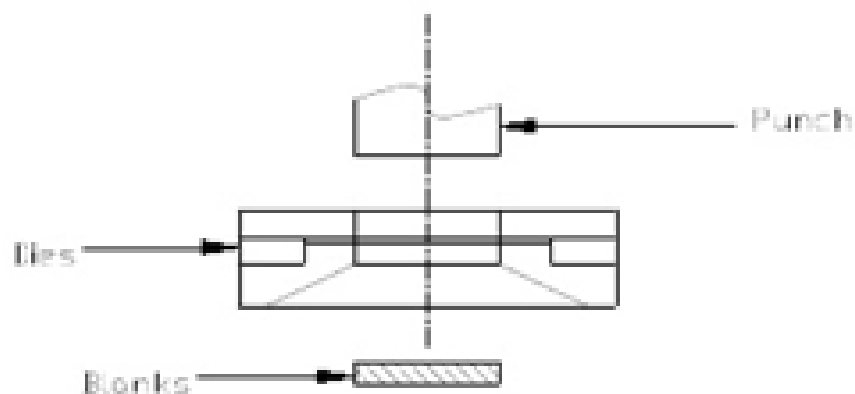
Pierching adalah proses pemotongan material oleh punch dengan prinsip kerjanya sama dengan proses blanking, namun seluruh sisi potong punch melakukan proses pemotongan. Pada alat ini proses pierching adalah punch untuk membuat lubang.



Gambar 2.24. Proses Pierching

b. Blanking

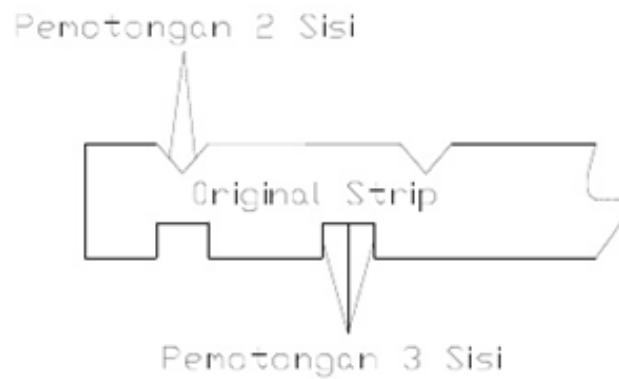
Merupakan proses pengerjaan material dengan tujuan mengambil hasil produksi yang sesuai dengan punch yang digunakan untuk menembus atau dengan system langkah penekanan. Pada umumnya proses ini dilakukan untuk membuat benda kerja dengan cepat dan berjumlah banyak dengan biaya murah.



Gambar 2.25. Proses Blanking

c. Noching

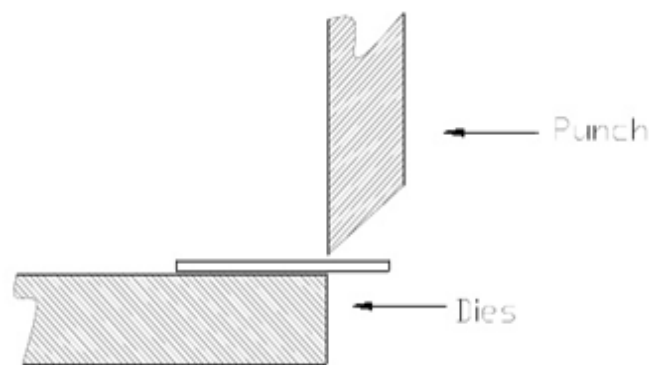
Noching adalah proses pemotongan oleh punch, dengan minimal dua sisi yang terpotong, namun tidak seluruh sisi punch melakukan pemotongan. Tujuan dalam pemotongan ini adalah untuk menghilangkan sebagian material pada tempat-tempat tertentu yang diinginkan.



Gambar 2.26. Proses Notching

d. Parting

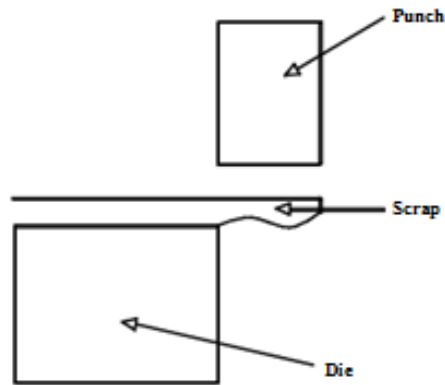
Parting adalah proses pemotongan untuk memisahkan blank melalui satu garis potong atau dua garis potong antara komponen yang satu dengan komponen yang lain. Biasanya proses ini digunakan pada pengerjaan bentuk - bentuk blank yang tidak rumit atau bentuk material yang sederhana.



Gambar 2.27. Proses Parting

e. Shaving

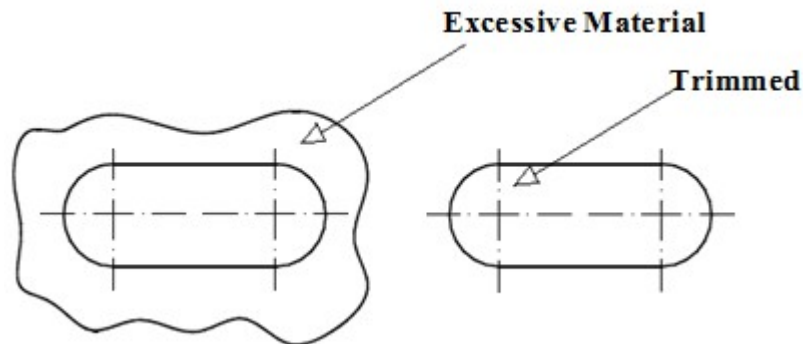
Shaving merupakan proses pemotongan material dengan system mencukur, dengan maksud untuk menghaluskan permukaan hasil proses. Blanking atau pierching guna mendapatkan ukuran teliti dari hasil pemotongan yang dilakukan terlebih dahulu.



Gambar 2.28. Proses Shaving

f. Trimming

Trimming merupakan proses pemotongan sisa, guna mendapatkan finishing ini digunakan untuk memotong sisa penarikan dalam maupun benda hasil penuangan dalam maupun hasil penuangan.

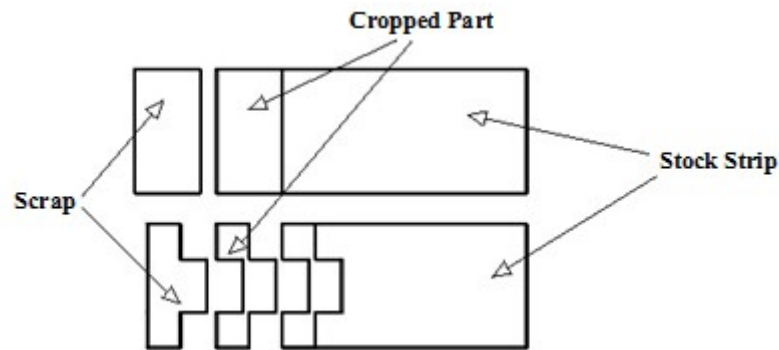


Gambar 2.29. Proses Trimming

g. Cropping

Cropping adalah merupakan proses pemotongan material atau benda kerja tanpa meninggalkan sisa. Proses yang terjadi pada cropping ini sama dengan proses yang terjadi pada blanking, akan tetapi pada cropping tidak ada bagian yang tertinggal. Benda kerja akan terpotong dan cenderung sudah mempunyai ukuran lebar yang sama dengan ukuran yang diminta serta mempunyai panjang material sesuai dengan jumlah komponen yang diminta. Proses cropping ini

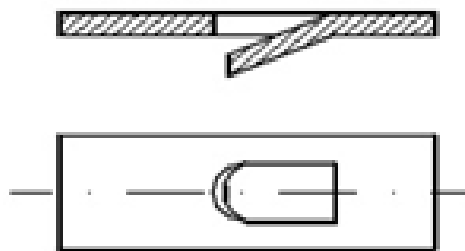
digunakan untuk membuat komponen blanking berbentuk sederhana, tidak rumit dan teratur.



Gambar 2.30. Proses Cropping

h. Lanzing

Lanzing adalah merupakan proses pengerjaan gabungan antara penekukan (bending) dan pemotongan (cutting). Hasil proses ini berupa suatu tonjolan. Sedangkan punch yang digunakan sedemikian rupa, sehingga punch dapat memotong plat pada dua sisi sampai tiga sisi serta pembengkokannya pada sisi punch yang keempat.



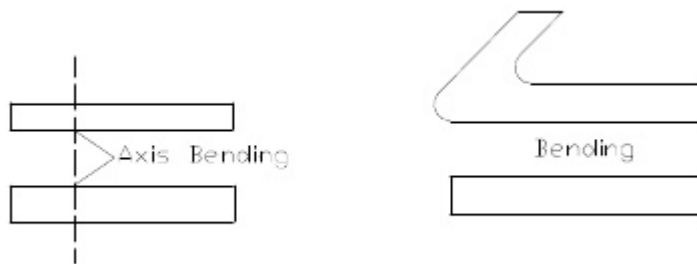
Gambar 2.31. Proses Lanzing

2. Forming tool

Yaitu preoses pengerjaan material yang dilakukan tanpa pengurangan atau penghilangan, akantetapi hanya mengubah bentuk geometris benda kerja. Yang tergolong pada forming tool adalah bending, flanging, deep drawing, curling dan embossing.

a. Bending

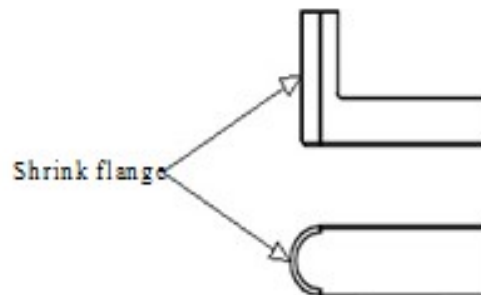
Proses bending merupakan proses pembengkokan material sesuai dengan yang dikehendaki. Proses pembendungan dapat dilakukan pada proses dingin ataupun pada proses panas. Perubahan yang terjadi pada proses ini hanya bentuknya saja namun volume material yang dibendingkan akan tetap.



Gambar 2.32. Proses Bending

b. Flanging

Flanging adalah proses yang menyerupai proses bending hanya perbedaannya terletak pada garis bengkok yaitu bukan merupakan garis lurus namun merupakan radius. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar berikut :

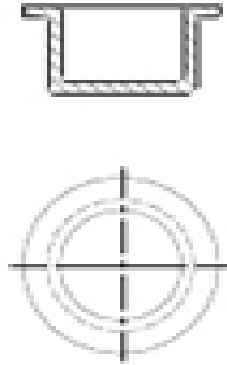


Gambar 2.33. Proses Flanging

c. Deep Drawing

Deep Drawing adalah merupakan proses penekanan benda yang diinginkan dengan kedalaman cetakan sampai dsar deformasi plastis. Tujuannya adalah untuk memperoleh bentuk tertentu dan biasanya tebal

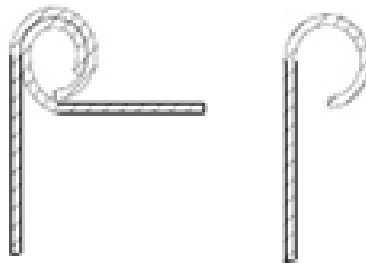
material akan berubah setelah proses ini. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.34. Proses Deep Drawing

d. Curling

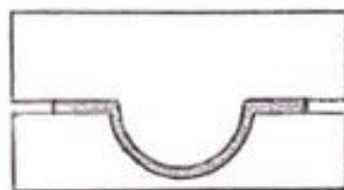
Merupakan pembentukan profil yang dilakukan pada salah satu ujung material.



Gambar. 2.35. Curling

e. Embossing

Embossing merupakan proses pembentukan contour material pada salah satu sisi material tersebut.



Gambar 2.36. Embossing

3.3.4. Prinsip Kerja Press Tool

Press Tool atau Perkakas Tekan atau suatu alat yang digunakan untuk memotong logam dengan cara menekan . Secara operasional press tool ini dapat bekerja sebagai alat potong atau pun sebagai alat pembentuk plat atau lembaran yang dikehendaki. Press tool berfungsi memproduksi ratusan atau bahkan ribuan dan komponen yang sama dalam waktu yang relative singkat.

Terkadang di dalam suatu Press Tool terjadi proses pengerjaan secara bersamaan antara proses pemotongan dan proses pembentukan sekaligus.

Adapun prinsip kerja rancangan adalah sebagai berikut :

- 1) Plat lembaran dimasukkan pada mesin Progressive Tool.
- 2) Progressive Tool akan bergerak turun dengan ditekan secara manual yang kemudian akan membuat Punch bergerak turun dan mampu memberikan tekan atau reaksi terhadap plat.
- 3) Progressive Tool akan terus bergerak turun dan tetap ditekan secara manual sehingga Punch dapat melubangi lembaran plat dengan ukuran yang telah ditentukan. Kemudian Punch berikut langsung membentuk lembaran tersebut menjadi produk yang direncanakan.
- 4) Setelah proses selesai Punch akan bergerak naik kembali ke posisi semula dan secara bersamaan pelontar akan melontar lembaran plat yang telah berbentuk produk jadi.

3.3.4. Bagian - Bagian Dari Presstool

Presstool merupakan satu kesatuan dari beberapa komponen. Komponen - komponen tersebut antara lain :

a. Tangkai Pemegang (Shank)

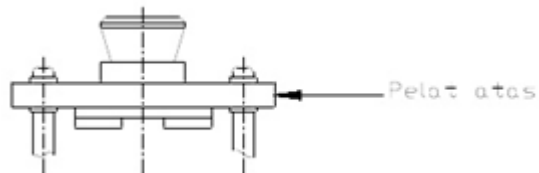
Tangkai pemegang merupakan suatu komponen alat bantu produksi yang berfungsi sebagai penghubung alat mesin penekan dengan plat atas (tool design). Shank biasanya terletak pada titik berat yang dihitung berdasarkan penyebaran gaya – gaya potong dan gaya – gaya pemebentukan dengan tujuan untuk menghindari tekanan yang tidak merata pada plat atas.



Gambar 2.37. Shank

b. Pelat Atas (Top Plat)

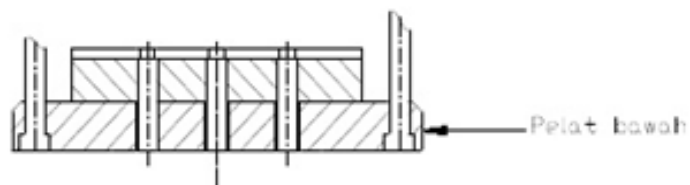
Merupakan tempat dudukan dari shank dan guide bush (sarung pengarah).



Gambar 2.38. Pelat Atas

c. Pelat Bawah (Bottom Plate)

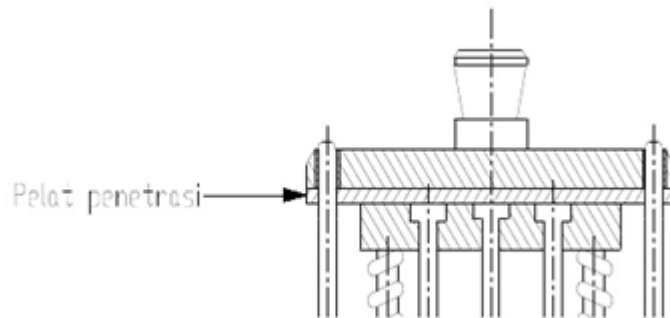
Pelat Bawah merupakan dudukan dari dise dan tiang pengarah sehingga mampu menahan gaya bending akibat dari reaksi yang di timbulkan oleh punch.



Gambar 2.39. Pelat Bawah

d. Pelat Penetrasi

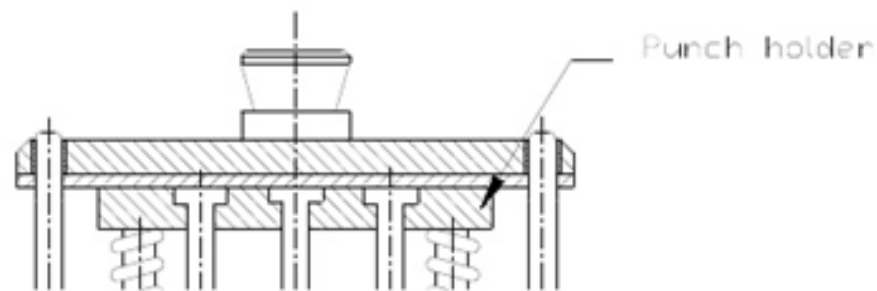
Pelat penetrasi berfungsi untuk menahan tekanan balik saat operasi berlangsung serta untuk menghindari cacat pada pelat atas, oleh karena itu pelat ini harus lebih lunak dari pelat atas.



Gambar 2.40. Pelat Penetrasi

e. Pelat Pemegang Punch (Punch Holder Plate)

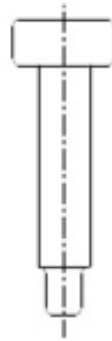
Pelat pemegang punch berfungsi untuk memegang punch agar posisi punch kokoh dan mantap pada tempatnya.



Gmabar 2.41. Punch Holder

f. Punch

Punch berfungsi untuk memotong dan membentuk material menjadi produk jadi. Bentuk dari benda jadi tergantung dari bentuk punch yang dibuat. Bentuk punch dan dise haruslah sama. Punch haruslah dibuat dari bahan yang mampu menahan gaya yang besar sehingga tidak mudah parah dan rusak.



Gambar 2.42 Punch

g. Tiang Pengarah (Guide Pillar)

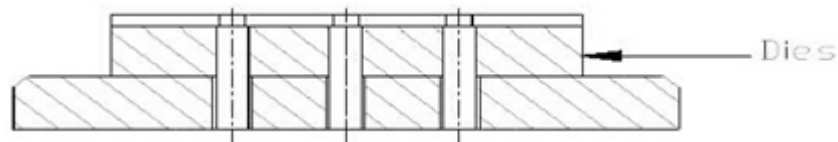
Tiang Pengarah berfungsi mengarahkan unit atas, sehingga punch berada tepat pada dies ketika dilakukan penekanan.



Gambar 2.43 Tiang Pengarah

h. Dies

Terkait pada pelat bawah dan berfungsi sebagai pemotong dan sekaligus sebagai pembentuk.

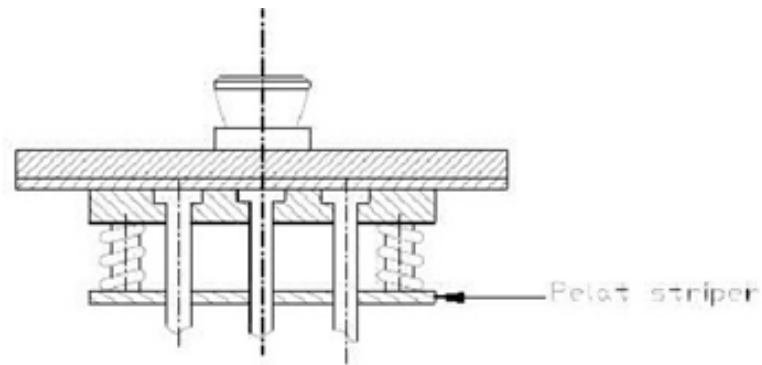


Gambar 2.44 Dies

i. Pelat Stripper

Pelat stripper adalah bagian yang bergerak bebas naik turun beserta pegas yang terpasang pada baut pemegangnya. Pelat ini berfungsi sebagai pelat penjepit material pada saat proses berlangsung, sehingga dapat menghindari

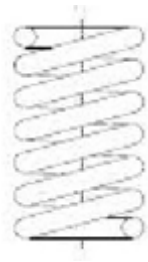
terjadinya cacat pembentukan permukaan benda kerja seperti kerut dan lipatan, juga sebagai pengarah punch.



Gambar 2.45 Pelat Stripper

j. Pegas Stripper

Pegas stripper berfungsi untuk menjaga kedudukan stripper, mengembalikan posisi punch ke posisi awal dan memberikan gaya tekan pada strip agar dapat mantap (tidak bergeser) pada saat dikenai gaya potong dan gaya pembentukan.



Gambar 2.46 Pegas Stripper

k. Baut Pengikat

Baut pengikat berfungsi untuk mengikat dies ke pelat bawah dan pelat pemegang punch ke pelat atas. Baut pengikat dipilih standard baut pengikat dan ketebalan dies.



Gambar 2.47 Baut Pengikat

Tabel 2.1 Standar Baut Pengikat

Ukuran Baut	Jarak minimum	Jarak maksimum	Tebal Dies
M5	15	50	10 ÷ 18
M6	25	70	15 ÷ 25
M8	40	90	22 ÷ 32
M10	60	115	27 ÷ 38
M12	80	150	> 38

1. Pin Penepat

Pin penepat berfungsi untuk menepatkan dies pada pelat bawah dan pelat pemegang punch (punch holder) ke pelat atas, sehingga posisi dies ke pelat bawah dan posisi pelat pemegang punch ke pelat atas dapat terarah dan kokoh.



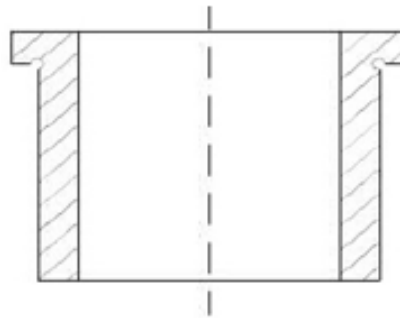
Gambar 2.48 Pin Penepat

Tabel 2.2 Standard Pin Penepat

Tebal Dies	Minimum Baut	Minimum Pena
19	M8	Φ6
24	M8	Φ8
29	M10	Φ10
34	M10	Φ10
41	M12	Φ12
48	M16	Φ16

m. Sarung Pengarah (Bush)

Sarung pengarah berfungsi untuk mengarahkan tiang pengarah dan mencegah cacat pada pelat atas.



Gambar 2.49. Sarung Penapat

3.4. Die

3.4.1. Pengertian Dies

Secara umum dies adalah suatu cetakan yang digerakkan oleh mesin press untuk menekan atau mengepress bahan untuk menghasilkan barang sesuai dengan yang diinginkan.

Berikut ini adalah penggolongan dies :

1. Pembuatannya berdasarkan jenis pekerjaan yaitu sebagai berikut :
 - Dies Making adalah membuat dies baru yang sesuai dengan desain.

- Dies Repair adalah memperbaiki pada bagian yang rusak pada waktu pembuatan part atau proses produksi berjalan, untuk diperbaiki seperti bentuk semula sebelum dies mengalami kerusakan.
- Dies Improvement adalah suatu pekerjaan perawatan atau perbaikan dan penambahan dies. Dies Improvement dapat dibagi menjadi dua yaitu :
 - 1) Improvement untuk meningkatkan produktivitas yaitu suatu pekerjaan yang dilakukan dengan jalan menambah suatu peralatan atau komponen dari dies.
 - 2) Improvement untuk meningkatkan kualitas yaitu untuk perbaikan pada dies untuk meningkatkan kualitas dari part atau bagian yang dihasilkan dan mencegah terjadinya kerusakan dalam proses pengerjaan part supaya tidak menghambat produksi.
- Modifikation adalah perubahan pada bentuk ukuran, profil pada dies. Biasanya pekerjaan dies modification dilakukan apabila ada perubahan model atau untuk menyesuaikan assy.

3.4.2. Struktur Die

Struktur Die adalah komponen atau bagian dari die yang berhubungan satu sama lain agar die tersebut dapat digunakan dengan maksimal sehingga dapat menghasilkan produk yang diinginkan.

Secara umum struktur die, terdiri dari :

- Base bawah dan atas
- Cam
- Guide post
- Insert die dan punch atas
- Pad
- Spring
- Dan lain – lain

2.4.2. Fungsi Komponen – Komponen Die

Berikut ini fungsi komponen – komponen dari die adalah sebagai berikut :

- Base : Menjadi dasar semua penempatan komponen – komponen dies.
- Block : Berfungsi untuk menempatkan komponen insert die, dengan pertimbangan kebutuhan material komponen insert die yang optimum.
- Rib : Penopang base atau block, dengan pertimbangan kebutuhan material komponen insert die yang optimum, die hight.
- Insert Dies : Komponen utama yang berfungsi membentuk profil part yang diinginkan sesuai design, pasangan dari punch die.
- Punch Dies : Komponen utama yang berfungsi membentuk profil part yang diinginkan sesuai design, pasangan dari insert die.

- Pad : Komponen untuk menjepit benda kerja atau material agar tidak bergerak, sebelum fungsi insert dies dan punch bekerja.
- Stopper : Menjaga material agar posisinya sesuai dengan profil yang diinginkan, sebelum insert die dan punch die bekerja.
- Guide post : Berfungsi menjaga agar die upper dan die lower tetap dalam posisi yang presisi. Terdiri dari guide pin dan guide bushing.
- Socket Bolt (Baut L) : Berfungsi mengikat komponen - komponen die. Bentuk dan dimensinya disesuaikan dengan dimensi komponen yang diassy.
- Dowel Pin / knock pin / Location Pin : Pin yang digunakan untuk menjaga agar antar komponen- komponen tidak kebingan datum saat dibuka dan dipasang kembali (assy).
- Coil Spring : Juga disebut per fungsinya untuk menggerakkan Pad agar fungsi Pad bekerja untuk menjepit material.
- Stripper Bolt : Berfungsi memegang Pad agar tidak terlepas atau jatuh saat Pad bergerak.
- Eod Block Stroke : Berfungsi menjaga jarak anatr die upper dan die lower pada posisi yang sesuai dengan thicknes material, biasanya dipasang di Guide post dan dibaut.
- Retainer : Berfungsi untuk memegang Punch.
- Cam unit : berfungsi menggerakkan komponen die dari samping.
- Balaner : Berfungsi menjaga clearance anta komponen die dalam posisi yang diinginkan.

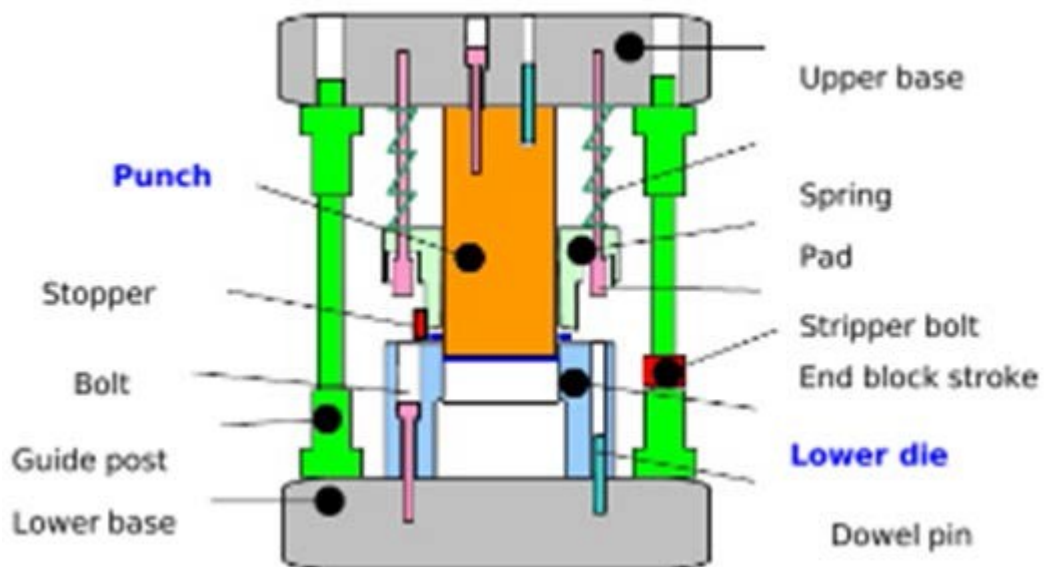
- Scrap shooter : Berfungsi membuat scrap bisa cepat meluncur keluar dari die.
- Hook : komponen die untuk tempat mengkaitkan wire saat moving.
- Lifter, Jack pin : berfungsi untuk mengangkat material, setelah fungsi die bekerja, agar material mudah diambil.
- Screw plug : Bolt untuk melindungi knock pin.
- Finger : Berfungsi memindahkan material dari proses pertama ke proses selanjutnya, pada die transfer.
- Preholding : berfungsi menekan material agar tidak bergerak.
- Location Pin : Pin untuk guide penempatan die di bolster mesin.
- Pilot Pin : Pin yang digunakan untuk menuntun material yang diproses tetap dalam posisi yang presisi.
- Gas Spring : Fungsinya sama dengan spring, tetapi material penggeraknya adalah gas nitrogen (N₂) yang dimasukkan kedalam tabung, tenaganya lebih kuat dari spring.
- Pad Slide : Block paralel yang fungsinya untuk memudahkan komponen bergerak sliding.
- Urethane : Fungsinya sama seperti spring, materialnya bukan metal dan tenaganya lebih kecil dari spring.
- Limit Switch (LS) : Fungsinya seperti sensor, dipakai pada die transfer untuk menjaga material saat loading dan unloading. Posisi LS harus menyentuh/kontak dengan material kerja.

- Last Idle : Finger yang posisinya diawal proses, yang mengambil material dari magnet chain.
- Common Plade : Plate untuk menempatkan die diproses mesin transfer.

2.4.4. Jenis Jenis Die

a. Die Blanking

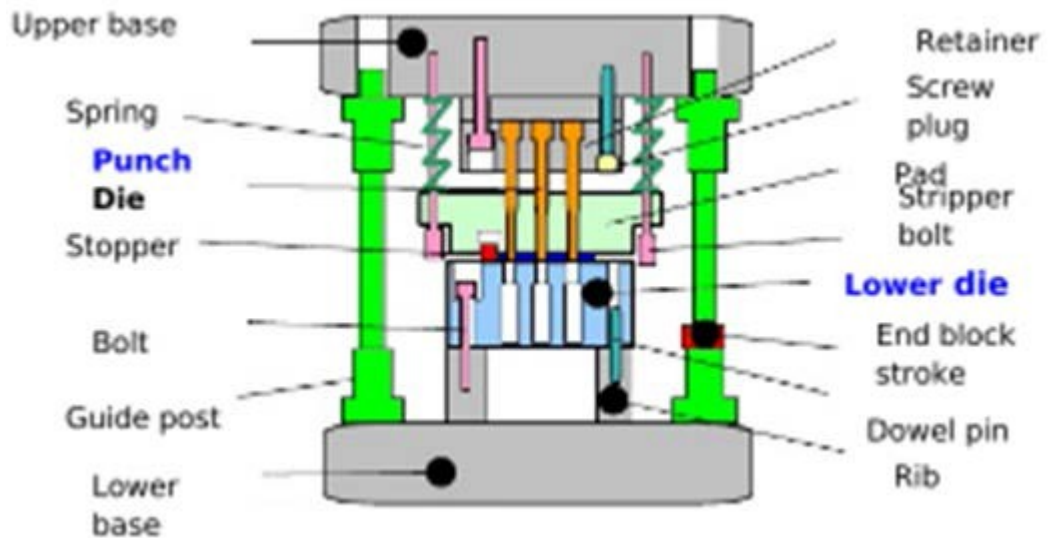
Die yang dipergunakan untuk proses pengerjaan material dengan tujuan mengambil hasil produksi yang sesuai dengan punch yang digunakan untuk menembus atau dengan system langkah penekanan. Pada umumnya proses ini dilakukan untuk membuat benda kerja dengan cepat dan berjumlah banyak dengan biaya murah.



Gambar 2.50 Die Blanking

b. Die Piercing

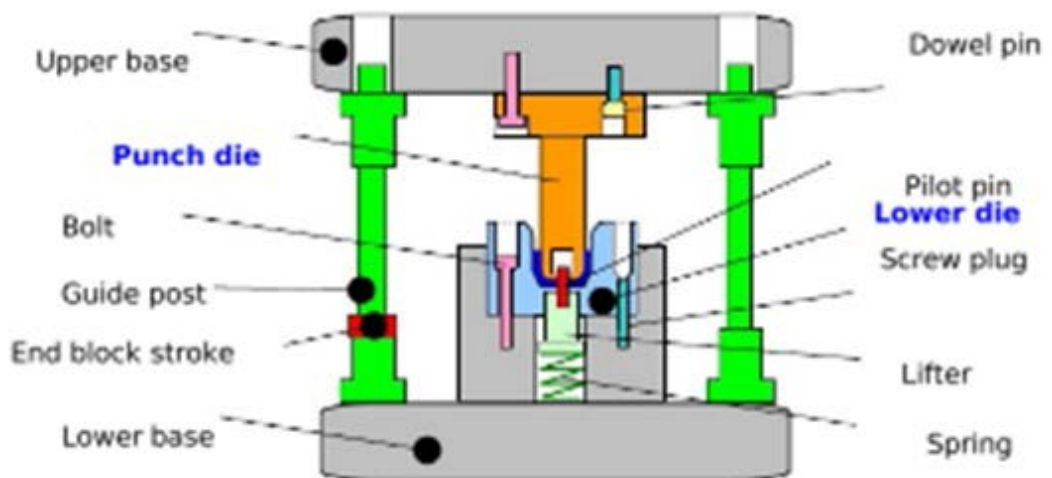
Suatu proses pemotongan yang menghasilkan lubang secara utuh pada lembaran material dengan alat bantu press dan tooling dan seluruh sisinya terpotong serentak.



Gambar 2.51 Die Piercing

c. Die Flange/Bending

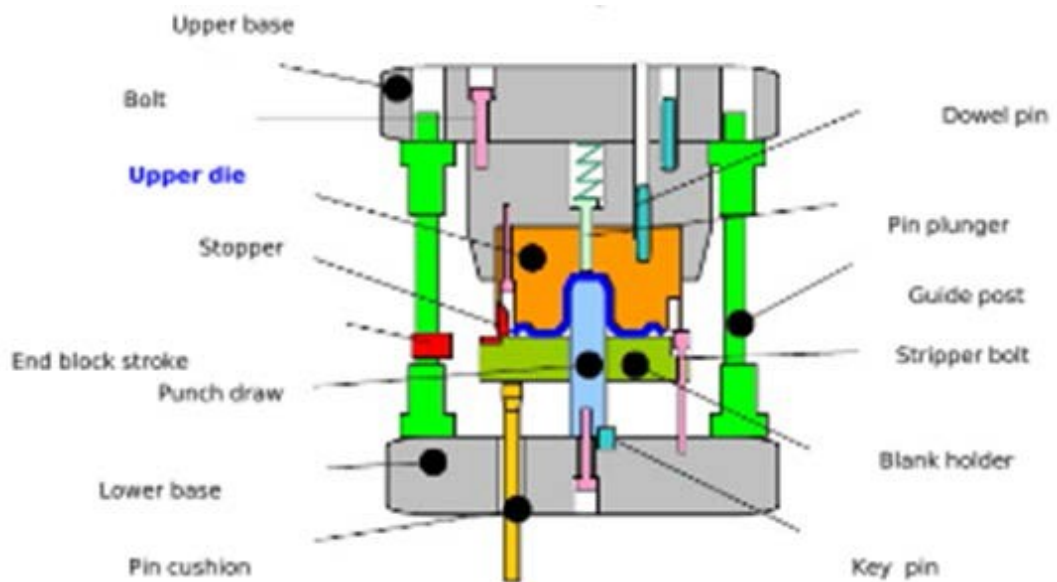
Die yang dipergunakan untuk membuat tekukan (bending).



Gambar 2.52 Die Flange/Bending

d. Die Drawing

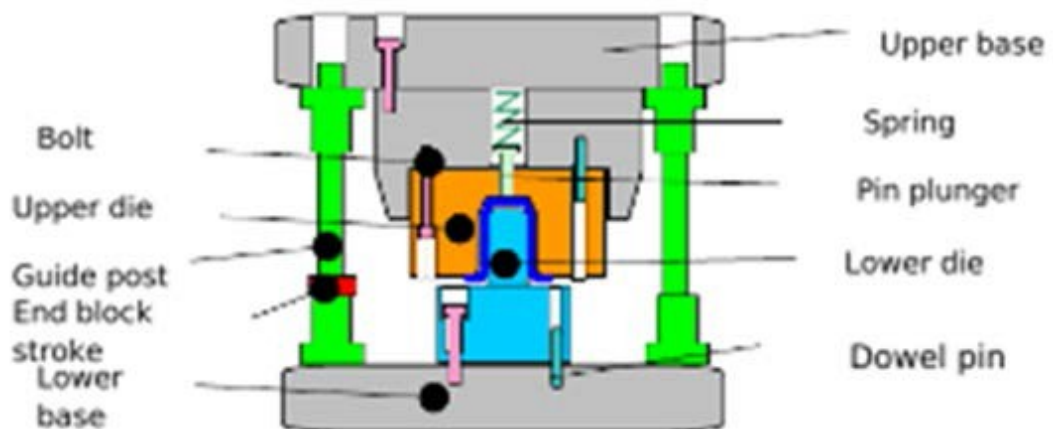
Die yang digunakan untuk membentuk profil part yang rumit dari lembaran material.



Gambar 2.53 Die Drawing

e. Die Restrike

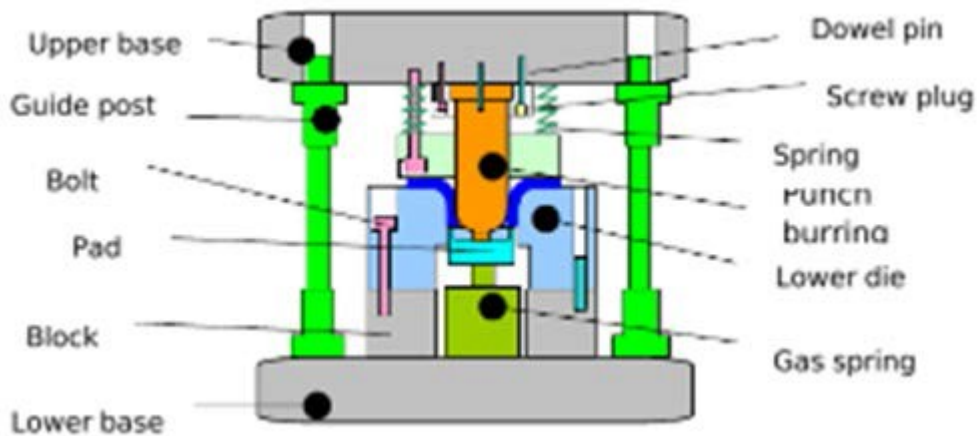
Die yang dipergunakan untuk membentuk ulang yang sesuai profil sebenarnya, yang dikarenakan proses sebelumnya belum maksimal (ada keterbatasan proses).



Gambar 2.54 Die Restrike

f. Die Burring

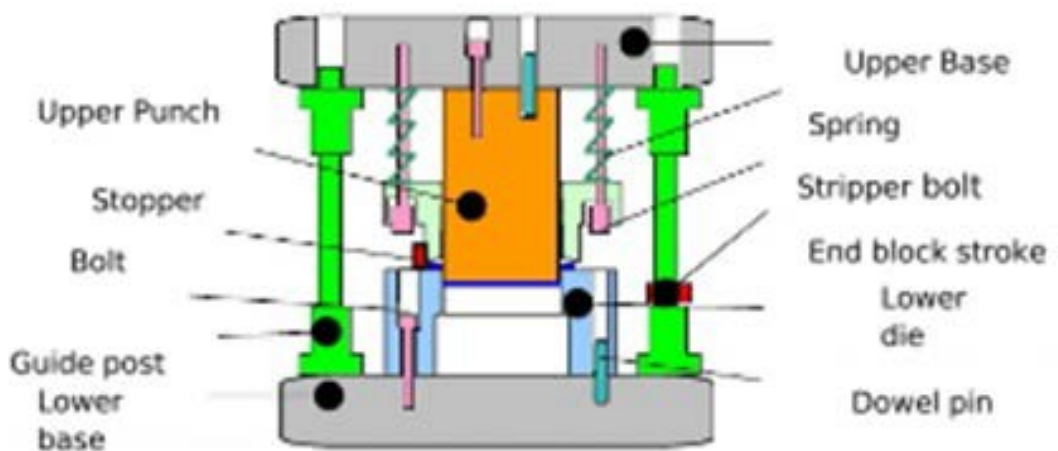
Proses pembesaran hole dari hole yang berdimensi lebih kecil, dimana dinding burring adalah selisih antara hole yang besar dan yang kecil.



Gambar 2.55 Die Burring

g. Die Notching

Proses pemotongan kecil dari tepi material



Gambar 2.56 Die Notching

h. Die Progressive

Proses beberapa die yang terdiri dari banyak proses atau *multiple station* yang saling berhubungan yang berasal dari material yang sama.



Gambar 2.57 Die Progressive

i. Die Trasfer

Proses press dengan menggabungkan beberapa die yang disatukan dengan common plate dan untuk loading dan unloading material.



Gambar 2.58 Die Trasfer

Bab 2 **F**ORGING

2.1 Tinjauan Pustaka

Salah satu proses pembentukan logam yang digunakan oleh industri nasional adalah proses tempa (*forging*), khususnya proses tempa cetakan tertutup (*closed die forging*). Produk hasil penempaan memiliki keunggulan berupa kekuatan dan ketangguhan yang lebih baik dibanding dengan proses lainnya, sehingga sangat cocok untuk membuat komponen yang aplikasinya handal terhadap tegangan yang tinggi (*highly stress*).

Pada industri tempa proses penempaan cetakan tertutup sering ditemukan masalah mampu tempa (*forgeability*) yang dihadapkan pada ketergantungannya pada tipe paduan, temperatur tempa, temperatur cetakan serta kecepatan penekanan dan juga bentuk dan dimensi awal bahan baku.

Kesulitan penempaan yang dihadapi berkaitan erat dengan pola aliran-butir (*grain-flow patterns*) yang tidak sesuai, cetakan yang tidak terisi sepenuhnya (*lack of die fill*) dan kualitas produk (sifat mekanik yang tidak sesuai dengan keinginan enjiniring atau standar).

2.2 Landasan Teori

Proses penempaan logam banyak dipakai pada industri pengolahan logam skala kecil, walaupun tidak tertutup kemungkinan untuk industri besar juga menggunakan teknik tempa dengan alat tempa mekanik. Teknik tempa pada industri

kecil biasanya digunakan pada industri kerajinan logam yang membuat suatu bentuk produk baru dari bahan dasar logam (besi, tembaga, dll.).

Produk tempaan bisa kita nikmati dalam kehidupan sehari-hari kita. Mulai dari yang terkecil misalnya paku dan baut. Sampai dengan produk yang ukurannya lebih besar seperti rangka kursi sampai dengan rangka mobil. Komponen-komponen sepeda motor dan juga mobil, lokomotif, dan benda-benda dengan kepresisian tinggi banyak menggunakan proses close dieforging.

Dalam kerajinan logam, sebagai contoh tembaga, terdapat produk-produk seperti lampu, vas, tempat lilin, hingga bentuk-bentuk ukiran yang semuanya itu tidak lepas dari teknik menempa logam.

Pertama yang dilakukan pada proses menempa adalah memanaskan benda kerja. Pemanasan yang dahulu dilakukan di dalam api yang diopak dengan batu bara, kini telah digantikan dengan dapur-dapur tempa yang diopak dengan gas atau minyak. Keuntungannya adalah suhu yang diinginkan dapat dipertahankan. Selain itu juga dapat memanaskan benda-benda tempaan yang berukuran besar dan jauh lebih bersih

Tabel 2.1. Suhu pemanasan dan warnanya untuk baja

Suhu (°C)	Warna
1300	Putih
1200	Kuning keputih-putihan
1100	Kuning kemerah-merahan
1000	Merah terang
900	Merah jambu
800	Merah
600	Merah gelap
500	Coklat

(Serope Kalpakjian, 2001)



Gambar 2.1. Proses tempa
(www.muellerindustries.com)

Pada dasarnya untuk benda-benda dari baja proses pemanasan akan membawa akibat perubahan struktur, seperti diketahui baja adalah besi yang mengandung 0,2%–1,8% C. pada suhu dibawah 723°C baja hiper ektoid (baja dengan kadar carbon sampai 0,8%) terdiri dari ferrit dan perlit.

Bila baja ini dipanaskan, maka pada daerah transisi struktur perlit berubah menjadi austenit, sehingga susunan di daerah itu adalah ferrit dan austenit. Baja hiper atektoid, ialah baja dengan kadar carbon 0,8% di bawah suhu 723°C terdiri dari perlit dan cementit skunder. Pada pemanasan, perlit dari baja ini akan berubah pula menjadi austenit hingga susunannya di daerah SKE adalah austenit dan cementit sekunder.

Hal ini berarti bahwa bila baja dipanaskan terus susunan strukturnya diatas garis GSE akan berubah menjadi austenit seluruhnya. Struktur austenitis ini mempunyai sifat paramagnetis dan lunak. Kekasarannya berada antara 170-200 hb. keadaan inilah yang harus dicapai pada pemanasan benda kerja yang akan ditempa. Struktur austenit yang mempunyai titik dan pencatatan temperatur yang berbeda-

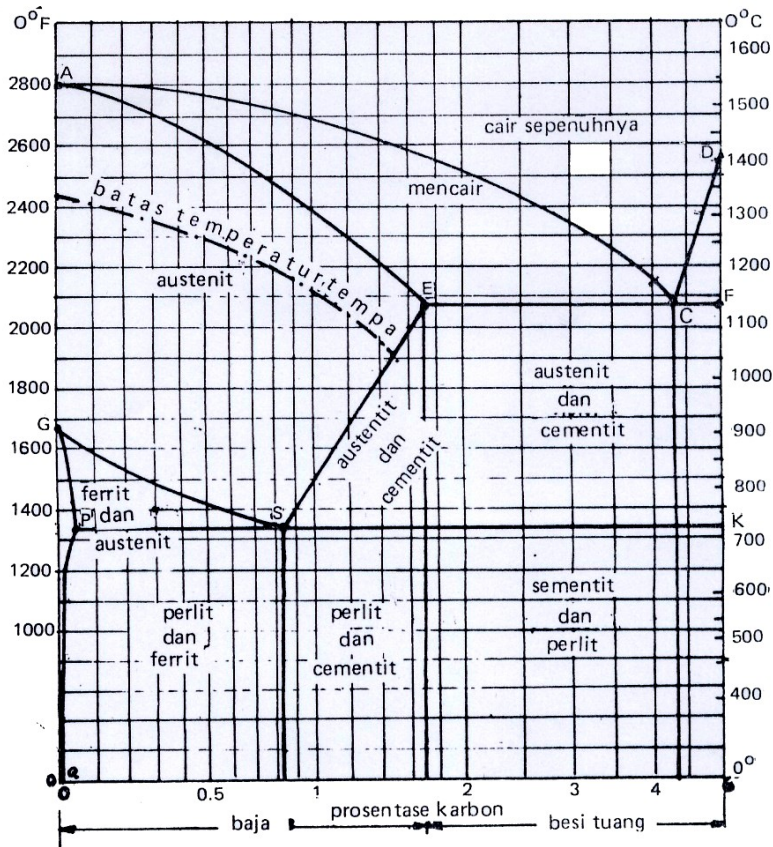
beda sesuai dengan kadar karbonnya memberikan pedoman pengertian pemanasan untuk berbagai macam baja carbon.

Bila baja tersebut dipanaskan terus, akan sampai pada garis AE yang menunjukkan batas temperatur dimana baja itu mulai mencair (melebur). Garis AC menunjukkan batas temperatur dimana baja tersebut akan mencair seluruhnya.

Baja terdiri dari carbon 0,3% dengan garis vertikal (A, B, C, D, E), dipanaskan dari 200° C sampai 720° C (A – B) terdiri dari daerah ferrit dan perlit. dari garis temperatur 720° C (B) keatas sampai perlit berubah menjadi austenit sedangkan ferrit masih terdapat.

Pemanasan dari ± 840° C (titik C ke titik D), ferrit akan dapat melarutkan diri hingga seluruhnya akan menjadi austenit, sebab titik 840° C merupakan batas terakhir ferrit masih dapat memisahkan diri.

Pada temperatur 1470° C baja akan menjadi cair (lebur) dan pada titik C dengan temperatur 1515° C proses melebur akan selesai sehingga baja tersebut akan mencair seluruhnya.



Gambar 2.2. Grafik hubungan suhu pemanasan dan struktur baja (www.muellerindustries.com)

Pada temperatur 1470° C baja akan menjadi cair (lebur) dan pada titik C dengan temperatur 1515° C proses melebur akan selesai sehingga baja tersebut akan mencair seluruhnya.

Jadi pada pembakaran atau pemanasan besi/baja harus diperhatikan betul-betul batas suhu dan warna pembakaran jangan sampai besi/baja tersebut menjadi pijar (cair).

2.3 Klasifikasi Proses Tempa Logam

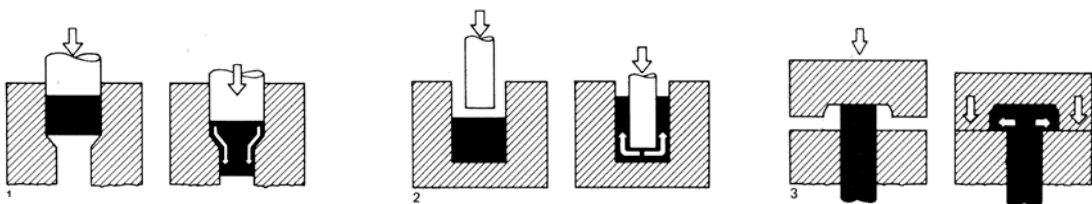
2.3.1 Tempa Konvensional

Tempa konvensional adalah pekerjaan penempaan dengan menggunakan alat-alat konvensional. Alat-alat yang digunakan berupa palu, landasan, dapur tempa, dan

alat-alat lainnya yang menggunakan tenaga manusia. Benda kerja dipukul dan diolah dengan alat-alat tersebut hingga didapatkan suatu bentuk yang diinginkan. Proses dan alat-alat yang digunakan telah dibahas pada bagian atas.

2.3.2 *Open Die Forging*

Open die forging telah menggunakan palu mesin sebagai alat pembentuk. Dengan menggunakan palu mesin ini, dapat dibuat benda kerja dengan ukuran yang lebih besar. Selain itu, tingkat kepresisian dan bentuk dapat diperoleh dengan lebih baik.



Gambar 2.3. Proses *open die forging*
(www.muellerindustries.com)

Palu ini banyak digunakan pada industri atau pabrik logam yang besar. Bila palu mesin mempunyai berat 100 kg, dikatakan bahwa palu mesin itu mempunyai kekuatan 100 kg.

Palu mesin ini dikelompokkan menjadi 3 macam :

1. Palu mesin dengan tuas pegas

Palu tanpa pegas dilengkapi dengan engkol, pegas pancangan palu dan landasan, dengan mempunyai pancangan palu 30 – 250 kg. Kekuatan pancangan palu yang beratnya 100 kg mempunyai kecepatan pukulan 200 per menit. Sedang palu yang beratnya 50 kg mempunyai kecepatan pukulan 300 per menit. Palu mesin

digerakkan oleh sebuah motor, gerakan engkol diteruskan melalui tuas pegas kepada balok pengkat palu sehingga palu akan turun-naik.

Palu pegas biasanya digunakan untuk meregang (mengecilkan) benda kerja, dan juga menempa dengan memakai matres (balok cetakan).

Keuntungan palu ini adalah :

- Konstruksinya sangat sederhana.
- Kecepatan dan kekuatan pukulan-pukulannya dapat diatur.

Kerugiannya adalah :

Pegas pemancangnya sering patah pada waktu bekerja karena getaran-getaran yang diterimanya.

2. Palu mesin pneumatis (ram type)

Palu mesin pneumatik banyak digunakan untuk berbagai pekerjaan tempa dan juga penempaan yang menggunakan matres. Tipe yang umum dari palu ini adalah dengan penggerak motor listrik. Melalui suatu mekanisme motor listrik ini menggerakkan torak yang mendesak udara hingga terjadi hampa udara. Hampa udara ini kemudian menggerakkan palu. Melalui batang pengatur injakan, gerakan dan kekuatan pukulan palu dapat diatur menurut kebutuhan

Keuntungan :

- Palu pneumatik ini sangat sederhana dan praktis.
- Daya pukulan dapat diatur dan disetel sesuai kebutuhan.
- Menjalankannya dengan menginjak pedal.

Kerugian :

- Ausnya torak
- Sering ada tenaga kelebihan

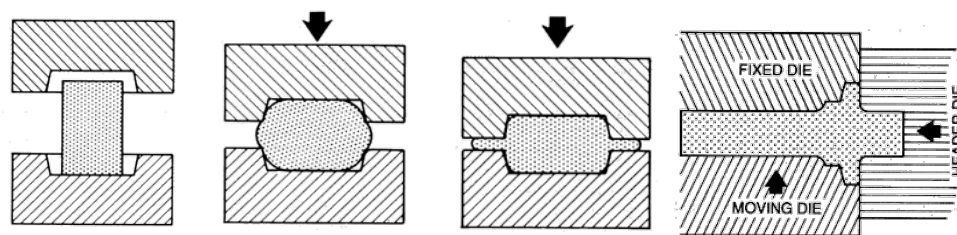
3. Palu mesin dengan tenaga uap atau udara

Prinsip kerja palu ini mirip dengan palu kerja pneumatis, hanya gerakan diperoleh dari gerakan torak yang dijalankan oleh tenaga uap/udara bertekanan.

Pengatur kekuatan dan langkah palu diatur oleh sorong-sorong pemasangan uap/udara yang dihubungkan ke batang pengatur yang dapat diinjak.

2.3.3 Close Die Forging

Gambaran umum dari proses *close die forging* dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.4. Proses *close die forging*
(www.muellerindustries.com)

Prinsip kerja dari *close die forging* adalah dengan menekan benda kerja sehingga diperoleh bentuk yang diinginkan. Logam diletakkan dalam cetakan, kemudian ditekan dengan kepala atas dan kepala bawah. saat terjadi tekanan ini benda kerja akan mengisi cetakan. *Close die forging* dapat membuat benda dengan bagian-bagian yang sangat detail. Ini adalah metode terbaik yang dimana toleransi yang kecil pun dapat dipenuhi dan bagian yang detail dan bebas dari cacat.



Gambar 2.5. *Close Die Forging*
(www.muellerindustries.com)

2.4. Perhitungan Bahan

Sebelum melaksanakan pekerjaan menempa terlebih dahulu harus diperhitungkan bentuk benda kerja dan cara mengerjakan yang harus dilakukan. Banyak bahan baku yang harus diperhitungkan agar tidak terdapat kelebihan atau kekurangan setelah benda kerja selesai dikerjakan. Kalkulasi bahan ini penting untuk menentukan ukuran bahan hingga bahan dapat dipersiapkan tepat sesuai dengan yang dibutuhkan. perhitungan ini umumnya didasarkan pada perhitungan berat atau volume. Cara perhitungan tersebut adalah :

a. Berdasarkan berat

Benda yang akan dikerjakan ditimbang beratnya. Untuk berat bahan bakunya adalah berat benda tersebut ditambah kerugian pengerjaan $\pm 10\%$ dari berat seluruhnya.

Daftar bahan lebih yang harus diperhitungkan, dalam prosen terhadap beratnya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2. Daftar prosentase kelebihan bahan dalam pengerjaan tempa

Jenis pengerjaan tempa	Bahan lebih yang diperhitungkan (%)
1. Bentuk-bentuk yang sederhana (pahat tangan, senter, poros dsb.)	5 – 10
2. Bentuk-bentuk yang agak sukar (poros dengan diameter bertangga poros dengan flens dan sejenisnya)	10 – 20
3. Bentuk-bentuk yang sukar (batang penggerak, dan bentuk-bentuk sejenisnya)	15 – 25
4. Bentuk-bentuk yang sukar sekali	20 - 30

(Serope Kalpakjian, 2001)

b. Berdasarkan volume

Bila perhitungan diatas tidak memungkinkan karena belum ada contoh benda jadi, maka perhitungan dilakukan dengan cara menghitung volume menurut ukuran-ukuran bahan yang akan dibuat. Untuk hal ini kita bertolak dari :

$$V_1 = V_2$$

maka :

$$L_1 \cdot A_1 = V_2$$

Keterangan :

$$V_1 = \text{volume asal}$$

$$V_2 = \text{volume setelah ditempa}$$

$$L_1 = \text{panjang teoritis}$$

$$A_1 = \text{penampang asal}$$

Panjang teoritis L_1 harus ditambah dengan kira-kira 10% untuk mengganti kehilangan karena terjadinya kulit besi.

$$L_k = 1,1 \cdot \frac{V_2}{A_1}$$

Keterangan :

L_k = panjang kasar yang diperlukan

V_2 = volume setelah ditempa

A_1 = penampang awal

Dalam banyak hal proses penempaan benda kerja itu masih akan dikerjakan kembali paada mesin-mesin perkakas, atau setidaknya dengan kerja bangku. Karena itu harus diperhitungkan juga ukuran lebih yang masih diperbolehkan.

2.5. Proses 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, 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 dan 700°C . Tidak ada gejala pengerasan kerja diatas suhu rekristalisasi. Pengerasan kerja baru mulai terjadi ketika limit bawah daerah rekristalisasi dicapai. Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan muda dibentuk oleh tekanan . pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

1. Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan [ingot] setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
2. Ketidakmurnianan dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
3. Butir yang kasar dan butir berbentuk kolum 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. Alat peralatan pengerjaan panas dan biaya

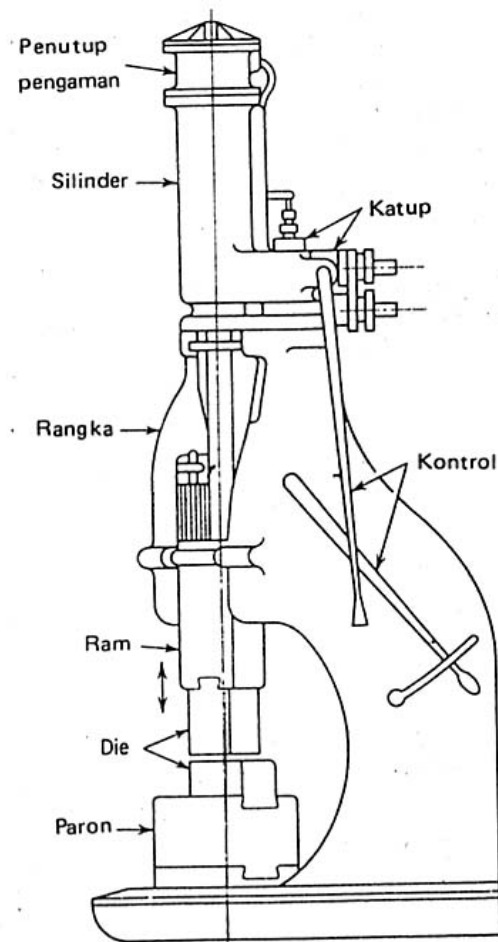
pemeliharaannya tinggi, namun prosesnya masih jauh lebih ekonomis dibandingkan dengan pengerjaan logam pada suhu rendah.

2.6. Penempaan

2.6.1. 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 dengan 90 Mg.

Mesin tempa ringan mempunyai rangka terbuka atau rangka sedehana, sedang rangka ganda digunakan untuk benda tempa yang lebih besar dan berat. Pada gambar 2.6. dapat dilihat mesin tempa uap.

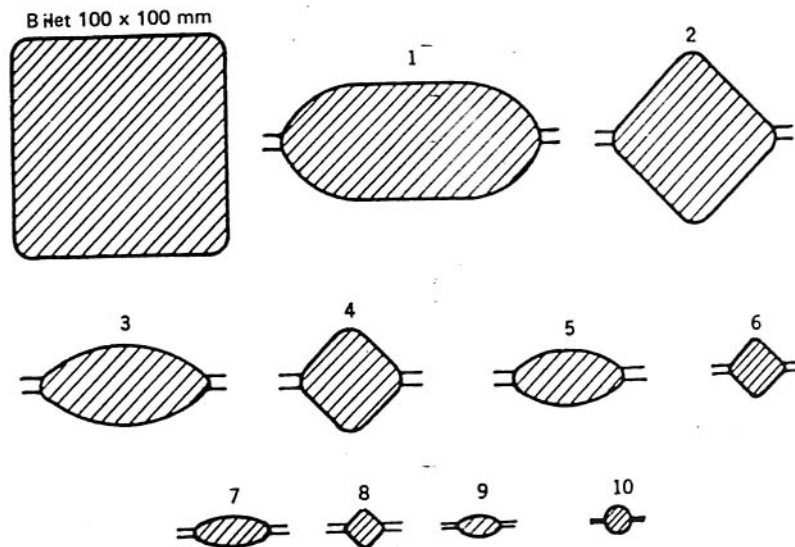


Gambar 2.6. Mesin tempa uap dengan rangka terbuka.
(www.muellerindustries.com)

2.6.2. Penempaan Timpa

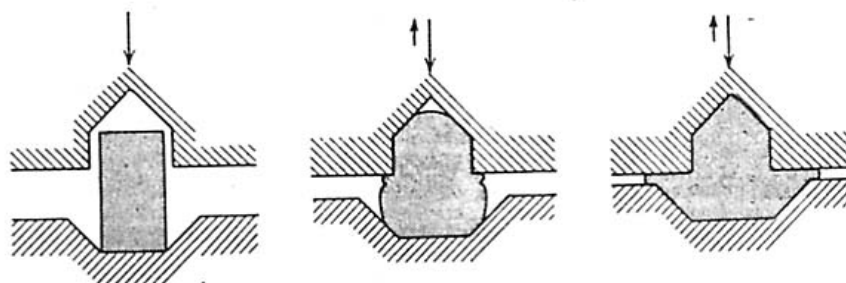
Perbedaan penempaan palu dan penempaan timpa terletak pada jenis die yang digunakan. Penempaan timpa menggunakan die tertutup, dan benda kerja terbentuk akibat impak atau tekanan, memaksa logam panas yang plastis, dan mengisi bentuk die. Prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar 2.7. Pada operasi ini 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 2.7. Diagram yang menggambarkan jumlah pas dan urutan mereduksi penampang bilet 100 x 100 mm menjadi batang bulat
(www.muellerindustries.com)

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



Gambar 2.8. Penempaan timpa dengan die tertutup.

(www.muellerindustries.com)

Dikenal dua jenis mesin penempaan timpa yaitu: palu uap dan palu gravitasi. Pada palu uap pembenturan tekanan impact terjadi akibat gaya palu dan *die* ketika mengenai *die* bawah tetap. Pada gambar 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 impact seperti gambar terdiri dari dua silinder yang berhadapan dalam bidang horisontal, yang menekan *impeller* dan *die*. Bahan diletakkan pada bidang impact 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 menempatkan ukuran dapat dilakukan .

Keuntungan dari operasi penempaan ialah struktur kristal yang halus dari logam, tertutup lubang-lubang, waktu pemesinan yang 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.

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.

2.6.3. Penempaan Tekan

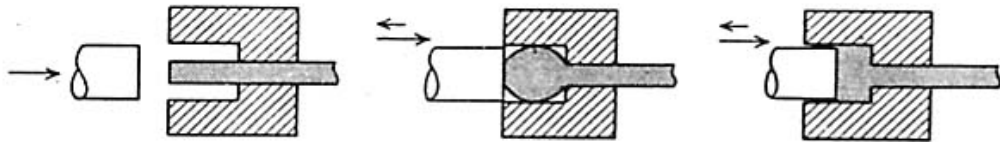
Pada penempaan tekan, deformasi plastik logam melalui penekanan berlangsung dengan lambat, yang berbeda dengan impak palu yang berlangsung dengan cepat. Mesin tekan vertikal dapat digerakkan secara mekanik atau hidrolik. Pres mekanik yang agak lebih cepat dapat menghasilkan antara 4 dan 90 MN (Mega Newton). 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 pada 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.

2.6.4. Penempaan Upset

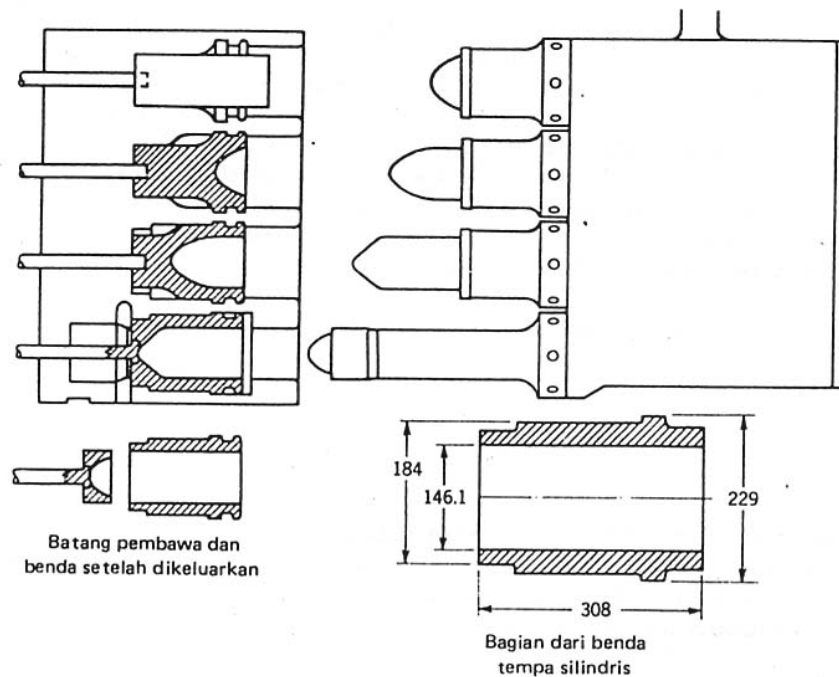
Pada penempaan upset batang berpenampaan rata dijepit dalam *die* dan ujung yang dipanaskan ditekan sehingga mengalami perubahan bentuk seperti terlihat pada

gambar 2.9. 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 2.9. Penempaan upset.
(www.muellerindustries.com)

Urutan operasi untuk menghasilkan benda berbentuk silinder bisa dilihat pada gambar 2.10. Potongan bahan bulat dengan panjang tertentu dipanaskan sampai suhu tempa, kemudian bahan ditekan secara progresif untuk melubanginya sehingga diperoleh bentuk tabung.

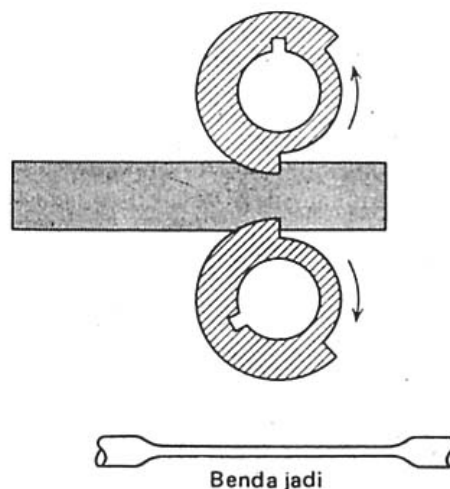


Gambar 2.10. Urutan operasi penempaan silinder menggunakan mesin tempa upset.
(www.muellerindustries.com)

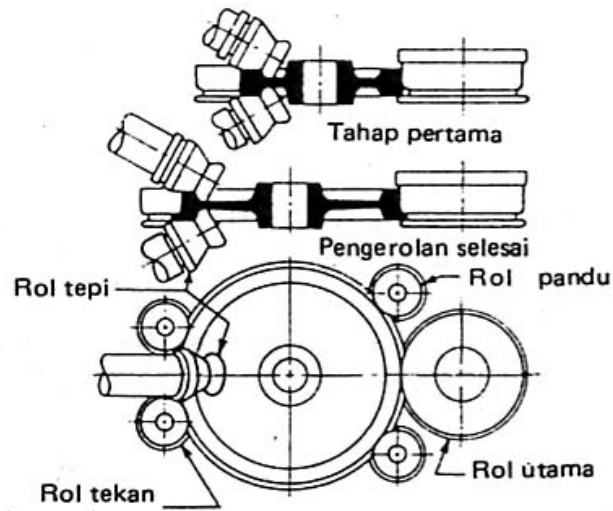
2.6.5. Penempaan Rol

Batang bulat yang pendek dikecilkan penempangannya atau dibentuk tirus dengan mesin tempat rol. Bentuk mesin rol terlihat pada gambar 2.11. 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 2.12. 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 2.11. Prinsip penempaan rol
(www.muellerindustries.com)



Gambar 2.12. Pembutan roda dengan proses penempaan rol panas.

(www.muellerindustries.com)

2.6.6. Penempaan Panas

Penempaan panas 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.



Gambar 2.13. *connecting rod* dibuat dengan proses penempaan panas.

(www.muellerindustries.com)

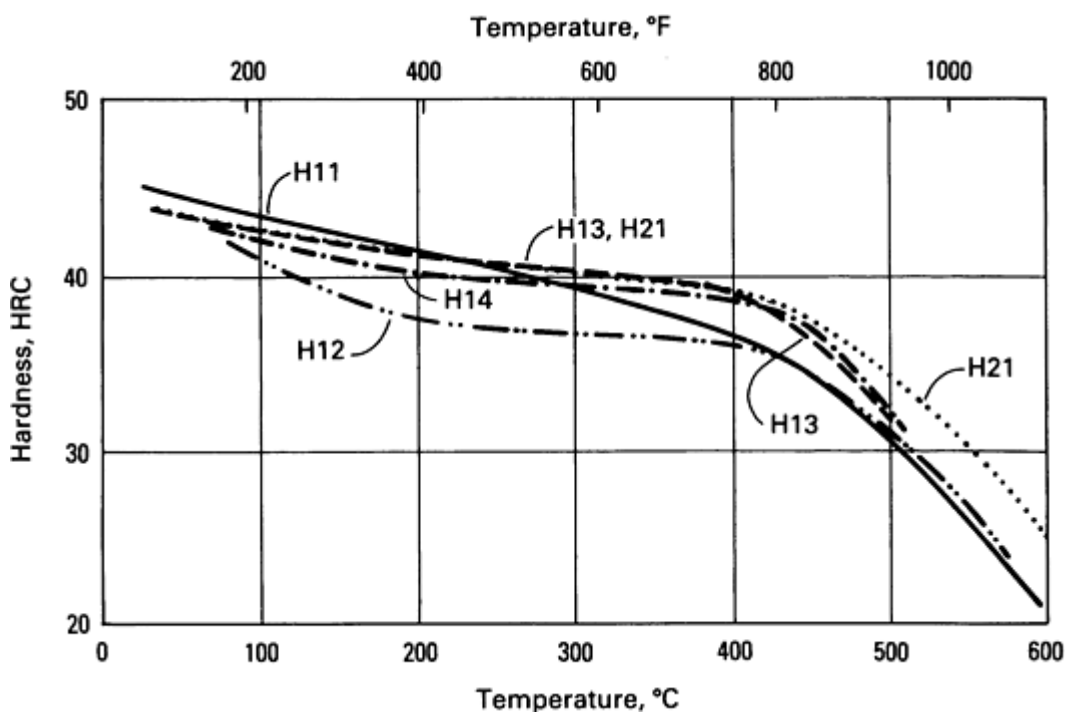
2.7. Material Die Forging

Salah satu faktor yang menentukan kualitas dari produk tempa adalah pemilihan bahan / material untuk *die*. Beberapa kriteria yang harus dimiliki material *die* tersebut adalah sebagai berikut (*ASM Cold & Hot Forging, 2005*) :

- a. Dapat dikeraskan secara merata / seragam
- b. Tahan aus (tahan terhadap abrasi logam panas selama proses tempa)
- c. Tahan terhadap deformasi plastis
- d. Tangguh
- e. Tahan terhadap kelelahan termal dan panas itu sendiri
- f. Tahan terhadap kelelahan mekanik

Sifat mampu keras terbaik dari suatu material adalah yang dapat dikeraskan hingga kedalaman lapisan tertentu dari material tersebut. Mampu keras ini tergantung dari komposisi dari tool steel. Pada umumnya, yang tertinggi dari campuran terdiri dari baja, dalam hal ini adalah tertinggi mampu kerasnya seperti yang terukur dengan faktor mampu keras D1 (dalam inchi). D1 adalah diameter silinder panjang tak terbatas yang bertransformasi menjadi mikrostruktur spesifik (50% martensit) pada bagian tengahnya jika perpindahan panas selama pendinginan berlangsung ideal. Dalam hal ini jika permukaan mencapai temperatur media *quenching* dengan cepat. Faktor mampu keras D1 yang besar berarti bahwa baja akan dikeraskan pada kedalaman yang besar dari *quenching*, dan bukan berarti akan mempunyai kekerasan tertinggi. Misalnya, perkiraan nominal faktor mampu keras D1 (inchi) untuk beberapa baja untuk *dies* adalah sebagai berikut : ASM 6G, 0.6; ASM 6F2, 0.6; ASM 6F3, 1.4; AISI H10, 5; AISI H12, 3.5.

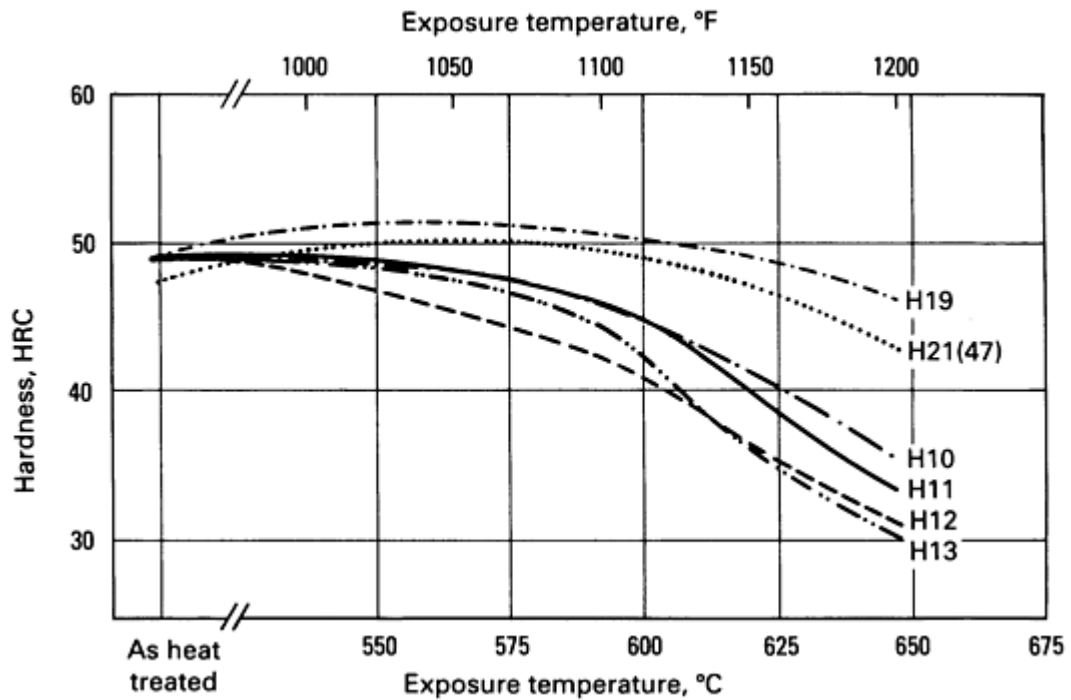
Keausan adalah perubahan tiba-tiba dari dimensi atau bentuk dari suatu komponen karena korosi, patah, abrasi dan pergerakan dari material aus itu sendiri. Abrasi akibat gesekan merupakan hal terpenting yang harus diperhatikan pada kasus keausan *die*. Dalam *hot forming* baja untuk *die* harus mempunyai kekerasan panas yang tinggi dan mampu menahan kekerasan tersebut hingga periode tambahan dari peningkatan temperatur. Gambar 2.14 Menunjukkan kekerasan panas dari lima AISI *hot work die steel* pada suhu yang bervariasi.



Gambar 2.14 Kekerasan panas dari AISI *hot-work tool steels*. Pengukuran didapat setelah penahanan pada temperatur pengujian untuk 30 menit. (ASM Cold & Hot Forging, 2005)

Gambar 2.15 Menunjukkan ketahanan beberapa hot-work die steel untuk pelunakan pada kenaikan temperatur setelah 10 jam dari kenaikan. Semua jenis baja mempunyai inisial kekerasan yang sama setelah perlakuan panas. Untuk die steel menunjukkan, tidak banyak variasi pada ketahanan untuk pelunakan pada temperatur

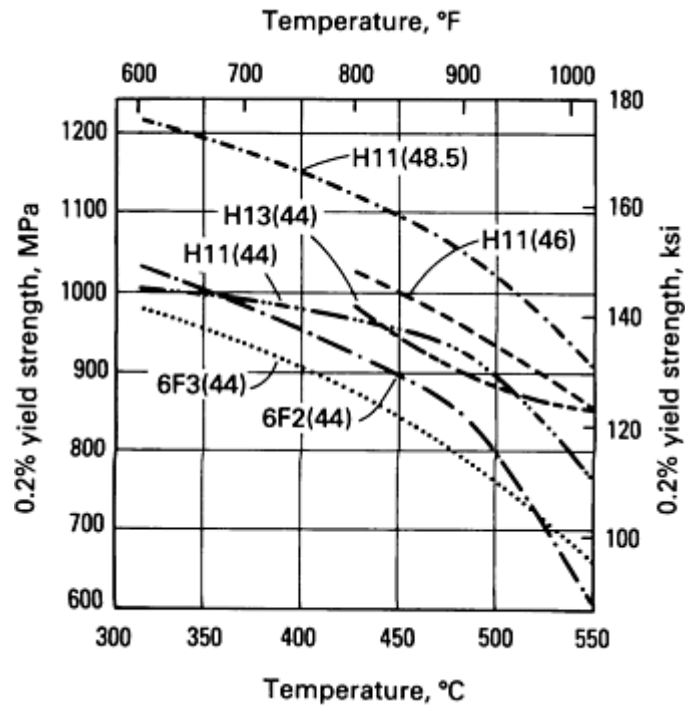
dibawah 540 °C (1000 °F). Akan tetapi, pada periode yang lebih panjang dari kenaikan temperatur, high-alloy hot-work steels, seperti H19, H21, dan H10 mampu mempertahankan kekerasannya lebih baik dibandingkan medium-alloy steels, seperti H11.



Gambar 2.15 Ketahanan dari AISI hot-work tool steels untuk pelunakan selama 10 jam dari kenaikan temperatur.

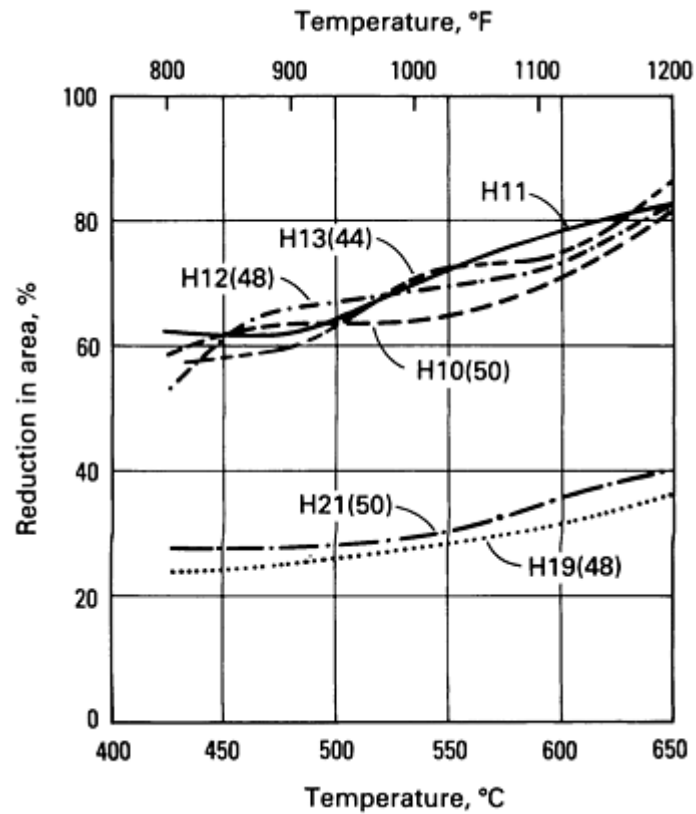
Seperti yang terlihat pada gambar 2.16 , kekuatan luluh dari baja menurun pada temperatur tinggi walaupun kekuatan luluh juga tergantung pada perlakuan panas, komposisi dan kekerasan. Dalam prakteknya, level dari *die steel* yang dikeraskan ditentukan dengan syarat ketangguhan : kekerasan tinggi, ketangguhan rendah dari baja. Dengan demikian, *die* dikeraskan pada level dimana harus cukup tangguh untuk menghindari *crack*. Pada gambar 2.16 Menunjukkan inisial kekerasan

yang sama, 5% Cr-Mo steels (H11 dan seterusnya) memiliki kekuatan panas yang lebih baik dibanding 6F2 dan 6F3 pada temperatur dibawah 370 °C (700 °F)



Gambar 2.16 Ketahanan dari *die steel* terhadap deformasi plastis pada kenaikan temperatur.

Ketangguhan material dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk menyerap energi tanpa merusak. Energi yang terserap sebelum patah adalah kombinasi dari kekuatan dan kelenturan. Kelenturan material terukur dari reduksi area dan persen dari pemuluran dari pengujian tegangan. Gambar 2.17 Menunjukkan kelenturan dari variasi hot-work steel pada kenaikan temperatur, dimana diukur dari persen reduksi area dari spesimen sebelum patah pada pengujian tegangan standard. Seperti yang ditunjukkan grafik, *high-alloy hot-work steels*, seperti H19 dan H21 memiliki kelenturan yang kurang dibandingkan medium-alloy hot-work steel, seperti H11. Hal itu menjelaskan bahwa ketangguhan terendah dari H19 dan H21 pada perbandingan dengan H11.

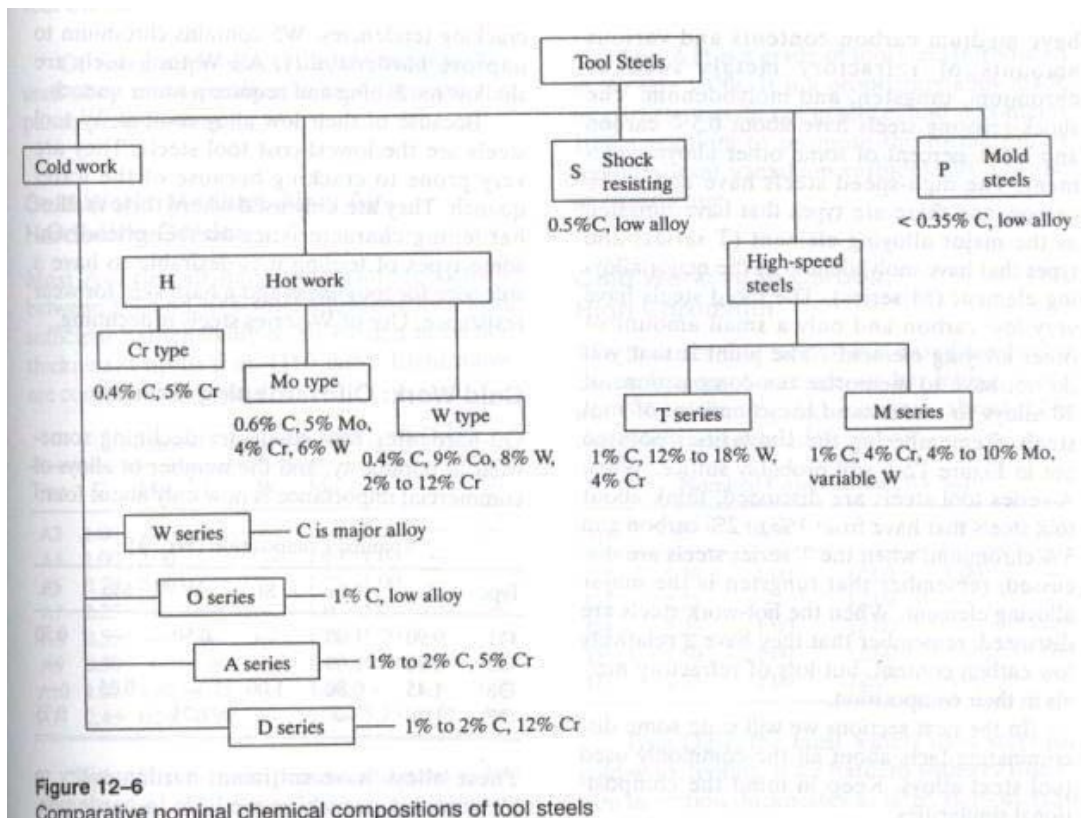


Gambar 2.17 Grafik Keuletan pada kenaikan temperatur dari variasi *hot-work die steel*

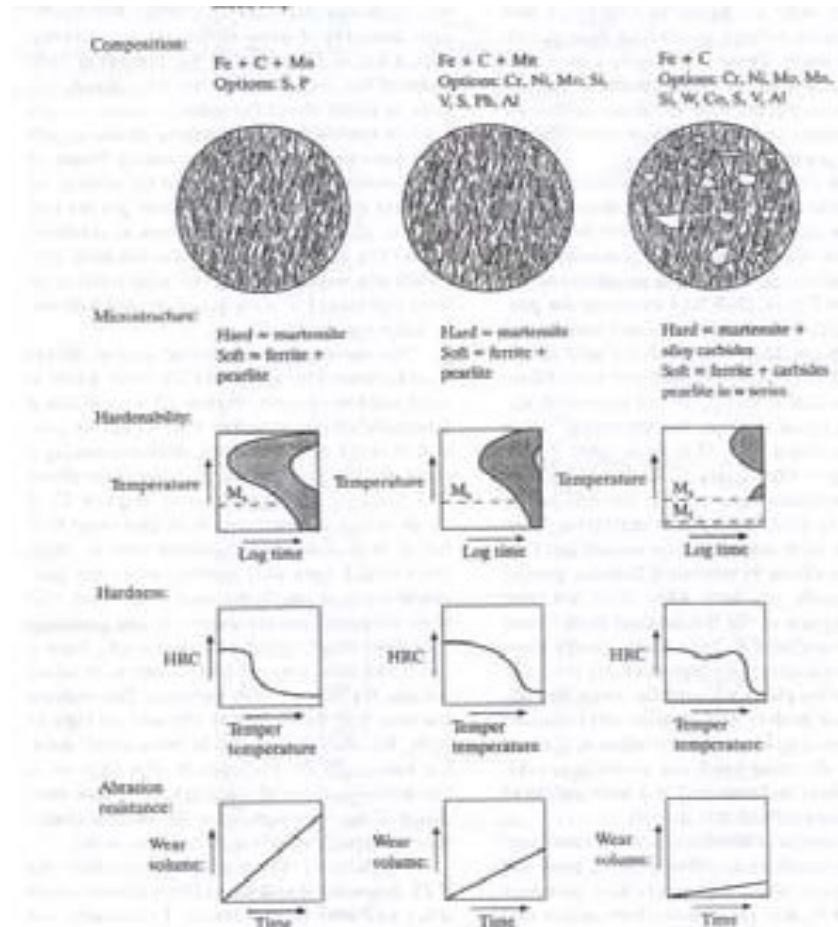
2.7.1 Tool steel

Baja perkakas / tool steel merupakan jenis baja yang sering digunakan untuk bahan dies baik die untuk ekstrusi, die casting, hot shears dan juga hot forging. Tool steel merupakan paduan kompleks yang mengandung sejumlah besar unsur Carbon (C), Tungsten (W), Molybden (Mo), Vanadium (V), Mangan (Mn), dan Chrom (Cr) sehingga tool steel tahan pada pemakaian dengan beban yang tinggi dan tiba-tiba serta tahan pada temperatur operasi yang tinggi. Berikut adalah sifat – sifat penting dari tool steel :

- a. Tahan terhadap *softening* (pelunakan) material pada Temperatur tinggi (Kemampuan mempertahankan *high red hardness* atau *hot hardness*)
- b. Tahan terhadap *wear* (keausan), *deformation* (perubahan bentuk) dan perpatahan.
- c. Tangguh (*toughness*) untuk menyerap beban yang besar dan tiba-tiba.
- d. Sifat mampu mesin (*Machinability*).



Gambar 2.18 Klasifikasi Tool Steel
Dept. of Metallurgy and Materials FTUI



Gambar 2.19 Struktur mikro dan sifat mekanis Tool Steel
Dept. of Metallurgy and Materials FTUI

2.7.2 Hot Work Tool Steel

Baja perkakas jenis ini digunakan pada berbagai jenis pengerjaan panas logam seperti punching, shearing, metal forming (die casting, die forging, ekstrusi dll). Jenis ini memiliki sifat hot hardness yang baik karena memiliki elemen paduan pembentuk karbida yang stabil dan keras (tahan terhadap softening pada temperatur tinggi). Total kandungan Cr, Mo dan W minimal 5%, Chromium Hot Work Steel dapat digunakan untuk logam dengan titik lebur rendah (Al, Mg) sedangkan Tungsten dan Mo Hot Work Tool Steel dapat digunakan untuk logam dengan titik lebur tinggi (Brass, Ni, alloy steel).

Hot work tool steel di klasifikasikan dalam 3 golongan sebagai berikut:

- a. Hot work Cr Base (H11 – H19)

Mengandung minimal 3,25% Cr, sedikit V, W, Mo, C. Umumnya digunakan untuk ekstrusion dies, die casting dies, forging dies.

b. Hot work W Base (H21-H26)

Tahan terhadap high temperatur softening, tahan terhadap brittleness dan digunakan untuk ekstrusion dies (Brass, Ni, Steel)

c. Hot work Mo Base

Mengandung 8% Mo, 4% Cr dan sedikit W & V. Tahan terhadap heat cracking.

Tabel 2.3 Klasifikasi Hot Work Tool Steel

Table 1 (continued)											
AISI	Designations SAE	UNS	C	Mn	Si	Cr	Composition(s), %				
							Ni	Mo	W	V	Co
Chromium hot work steels											
H10	...	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	3.00-3.75	0.30 max	2.00-3.00	...	0.25-0.75	...
H11	H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.60	...	0.30-0.60	...
H12	H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.25-1.75	1.00-1.70	0.50 max	...
H13	H13	T20813	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.75	...	0.80-1.20	...
H14	...	T20814	0.35-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	...	4.00-5.25
H19	...	T20819	0.32-0.45	0.20-0.50	0.20-0.50	4.00-4.75	0.30 max	0.30-0.55	3.75-4.50	1.75-2.20	4.00-4.50
Tungsten hot work steels											
H21	H21	T20821	0.26-0.36	0.15-0.40	0.15-0.50	3.00-3.75	0.30 max	...	8.50-10.00	0.30-0.60	...
H22	...	T20822	0.30-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	1.75-3.75	0.30 max	...	10.00-11.75	0.25-0.50	...
H23	...	T20823	0.25-0.35	0.15-0.40	0.15-0.60	11.00-12.75	0.30 max	...	11.00-12.75	0.75-1.25	...
H24	...	T20824	0.42-0.53	0.15-0.40	0.15-0.40	2.50-3.50	0.30 max	...	14.00-16.00	0.40-0.60	...
H25	...	T20825	0.22-0.32	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	...	14.00-16.00	0.40-0.60	...
H26	...	T20826	0.45-0.55(b)	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	...	17.25-19.00	0.75-1.25	...
Molybdenum hot work steel											
H42	...	T20842	0.55-0.70(b)	0.15-0.40	...	3.75-4.50	0.30 max	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	...

Sifat – sifat dari hot work tool steel tentunya dipengaruhi oleh unsur – unsur pembentuknya. Berikut adalah pengaruh unsur pembentuk hot work tool steel:

- Karbon (C) : Pembentuk karbida yang meningkatkan kekerasan, kekuatan dan keausan.
- Khromium : Carbide former ($Cr_{23}C_6$) meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus.
- Kobalt (Co) : Meningkatkan kekuatan dan kekerasan, meningkatkan hot hardness, weak carbide former.

- d. Molibdenum (Mo) : Carbide former (M_6C / Fe_4Mo_2C), High temperature strength, toughness, hot hardness.
- e. Vanadium (V) : Strong carbide former (VC / V_4C_3), grain refinement (good toughness), hot hardness.
- f. Tungsten (W) : Strong carbide former (M_6C / Fe_4W_2C), abrasion resistance partikel, meningkatkan ketahanan hot hardness.

Beberapa jenis material yang digunakan untuk *die hot forging* adalah dari jenis *hot work tool steel* (AISI Seri H) dan beberapa *alloy steel* seperti AISI seri 4300 atau 4100. Jenis AISI hot work tool steel dikelompokkan ke dalam beberapa kelas sesuai komposisi unsur pembentuknya. Material *dies* untuk tempa panas harus memiliki mampu keras yang baik sebaik ketahanannya terhadap keausan, deformasi plastis, kelelahan panas, *heat checking* dan kelelahan mekanik. Desain *die* juga sangat penting untuk menjamin umur *die* yang cukup. Desain yang buruk akan mengakibatkan keausan dini pada *die* (*ASM Forming & Forging Handbook*, 1993).

Tabel 2.4 Material die untuk *metal working*

Process	Material
Die casting	H13, P20
Powder metallurgy	
Punches	A2, S7, D2, D3, M2
Dies	WC, D2, M2
Molds for plastics and rubber	S1, O1, A2, D2, 6F5, 6F6, P6, P20, P21, H13
Hot forging	6F2, 6G, H11, H12
Hot extrusion	H11, H12, H13, H21
Cold heading	W1, W2, M1, M2, D2, WC
Cold extrusion	
Punches	A2, D2, M2, M4
Dies	O1, W1, A2, D2
Coining	52100, W1, O1, A2, D2, D3, D4, H11, H12, H13
Drawing	
Wire	WC, diamond
Shapes	WC, D2, M2
Bar and tubing	WC, W1, D2
Rolls	
Rolling	Cast iron, cast steel, forged steel, WC
Thread rolling	A2, D2, M2
Shear spinning	A2, D2, D3
Sheet metals	
Shearing	
Cold	D2, A2, A9, S2, S5, S7
Hot	H11, H12, H13
Pressworking	Zinc alloys, 4140 steel, cast iron, epoxy composites, A2, D2, O1
Deep drawing	W1, O1, cast iron, A2, D2
Machining	Carbides, high-speed steels, ceramics, diamond, cubic boron nitride

Notes: Tool and die materials are usually hardened to 55 to 65 HRC for cold working, and 30 to 55 for hot working. Tool and die steels contain one or more of the following major alloying elements: chromium, molybdenum, tungsten, and vanadium. For further details see the bibliography at the end of this chapter.

Bab 5 **P**LASTIC MOULDING

A. PENGERTIAN PLASTIC MOULDING

Ada dua macam / jenis material plastic yang kita kenal yaitu :

- **Thermosetting**, material yang akan mengalami perubahan secara kimiawi (Chemis) apabila dipanaskan dan juga akan mengalami perubahan bentuk. Contohnya : phenol fomaldeyde, melamine formalde-hyde, alkyd, silicon, epoxy dll.
- **Thermoplastic**, material akan menjadi lunak bila dipanaskan, dan akan mengeras bila didinginkan, dan akan dapat dilunakan lagi dengan memeberinya panas lagi. Contohnya: polystyrene, styrene butadiene, polyvinylchloride, polyethylene, nylon (polyamide), polyacetate dll.

Dari kedua material plastik tersebut diatas, maka untuk memprosesnya menjadi satu bentuk yang kita inginkan untuk suatu kebutuhan konstruksi tertentu, kit akan pelajari beberapa cara yang nantinya kita sebut sebagai **plastic moulding**

Secara umum yang dimaksud plastic moulding adalah proses pembentukan benda kerja dengan wujud tertentu dari material kompon (plastic/ compon articles) dengan menggunakan alat Bantu yang berupa cetakan/ mould, yang dalam pelaksanaannya menggunakan perlakuan panas dan pemberian tekanan.

B. JENIS PLASTIK MOULDING

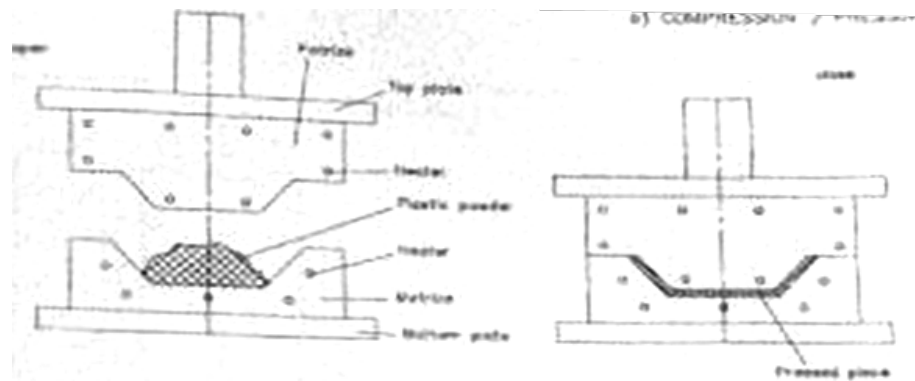
Pemilihan dari proses moulding ini secara umum dipengaruhi oleh pemilihan material untuk mendapatkan sifat-sifat physic yang dinginkan dari benda kerja (Work Piece) yang akan dibuat. Kadang –kadang juga dipengaruhi oleh bentuk desain produknya, misalnya, misalnya berpenampang luas dan tipis, insert yang panjang,serta tuntutan ketelitian ukuran (toleransi) yang harus dipenuhi. Dari dua macam material seperti diatas dikenal ada beberapa macam metode dasar moulding, yaitu: *Compression, transfer, injection, blowing dan extrusion moulding*.

Kerap kali metode yang akn digunakan harus ditentukan sebelum desainya dipaparkan ke dalam gambar. Jadi pilihan material dan teknik pengerjaan harus berdasarkan beberapa faktor yang memepengaruhinya maupun hal-hal yang menjadi tuntutannya.

Material thermosetting biasanya diproses secara compression atau transfer moulding, sedangkan material thermoplastic sering diproses secara injection, blowing, atau extrusion moulding.

1. Compression moulding

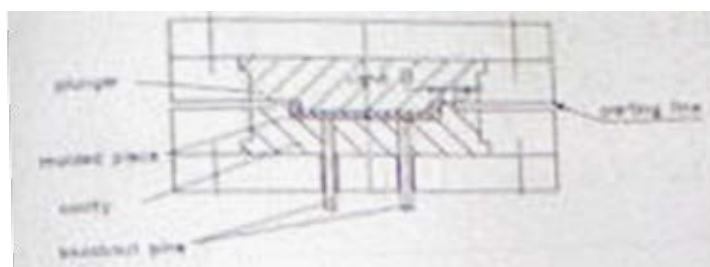
Pada proses ini material plastic diletakan dalam mould yang dipanaskan. Setelah plastic kompon (compound plastic) menjadi lunak dan bersifat plastis, maka bagian atas dari die/mould akan bergerak turun dan menekan material menjadi bentuk yang diinginkan. Apabila panas dan tekanan yang ada diteruskan, maka akan menghasilkan reaksi kimia yang bisa mengerasakan material thermosetting tersebut. Suhu moulding untuk material thermosetting ini antara $300^{\circ} - 359^{\circ} F$ ($\sim 149^{\circ} - 182^{\circ} C$) dan tekanan moulding berkisar antara 155 – 600 bar.



Gambar 9.1: Compression moulding

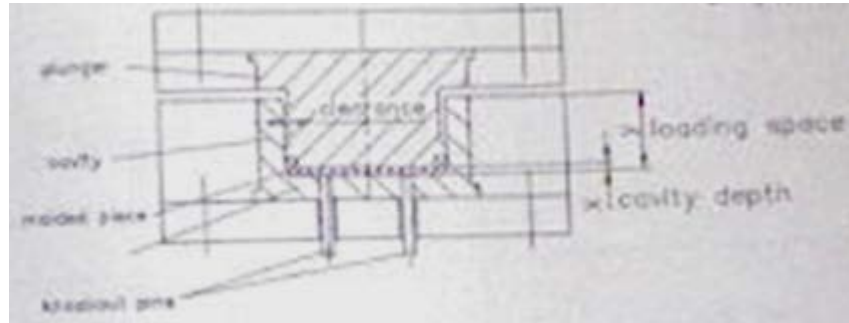
Ada 4 macam mould untuk proses compression moulding yaitu :

- a. **Flash type mould** : bentuknya sederhana, murah. Apabila mould ditutup. Maka kelebihan material yang ada akan meluap dan membentuk lapisan tipis pada *parting line/plain*, dan karena tipisnya akan segera mengeras/beku sehingga menghindari meluapnya material lebih banyak. Jadi biasanya mould akan diisi material sepenuhnya sampai luapan yang terjadi sebanyak yang diinginkan.



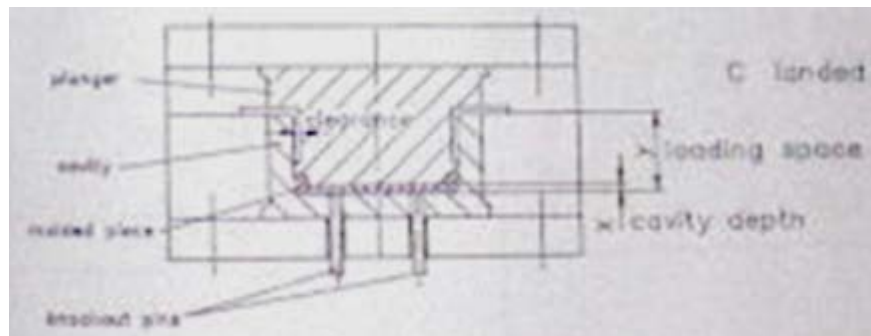
Gambar 9.2: Flash type mould

- b. Positive mould :** terdiri dari suatu rongga / cavity yang dalam dengan sebuah plunger yang mengompresikan / memadatkan material kompon pada bagian bawah mould, disini diperlukan pemberian material yang sesuai dengan yang dibutuhkan, misalnya dengan cara menimbanganya, agar menghasilkan produk yang baik dan seragam kerapatanya (densitasnya)



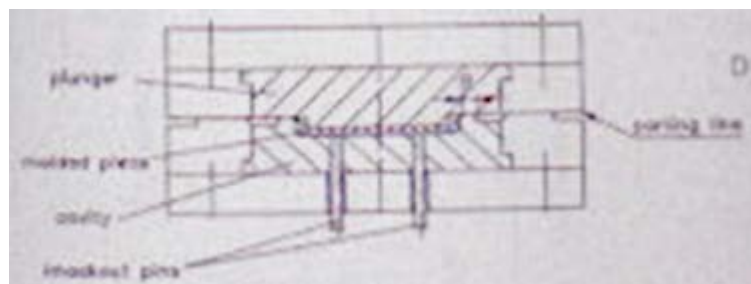
Gambar 9.3: Positive mould

- c. Landed positive mould:** Mirip dengan type diatas, hanya tinggi bidang batas / parting plain dibatasi. Bagian ini bekerja menahan tekanan (Bukan bagian produknya). Karena ketebalan material terkontrol dengan bai, maka kepadatan benda kerja terngtung dari dosis benda kerja yang diberikan.



Gambar 9.4: Landed positive mould

- d. Semi positive mould:** Merupakan kombinasi antara *flash type* dan *landed positive mould*



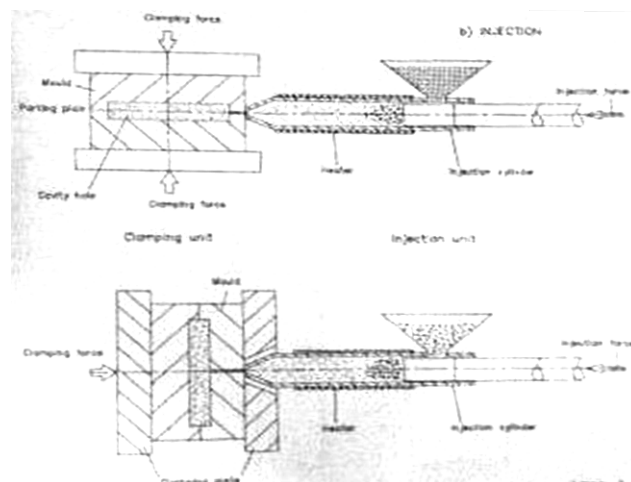
Gambar 9.5: Semi positive mould

2. Injection Moulding

Proses ini sangat sesuai untuk material thermoplastic, karena dengan pemanasan, material ini akan melunak dan sebaliknya akan mengeras lagi bila didinginkan. Perubahan- perubahan disini hanya bersifat fisik, jadi bukan perubahan chemis (kimia), artinya proses pelunakan dan pengerasan kembali bisa dilakukan berulang-ulang material thermoplastic sesuai dengan kebutuhan.

Material plastic yang terbentuk granulat /butiran ditempatkan ke dalam suatu hopper / torong yang memaksanya masuk ke dalam silinder injeksi. Sejumlah material yang akan diproses akan di ukur tepat dan didorong dengan torak piston dalam silinder pemanas. Material yang sudah dipanasi dan berubah menjadi lunak seperti bubur ini akan terus didorong melalui *nozel* dan *sprue bushing* ke dalam rongga (*cavity*) dari mould yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat setelah didinginkan mould akan dibuka dan benda akan sudah jadi mengeras dikeluarkan dengan ejector.

Material yang dipindahkan dari dari silinder pemanas biasanya suhunya berkisar antara $350^{\circ} - 525^{\circ} F$ ($177^{\circ} - 274^{\circ} C$). Semakin panas suhunya, plastik /material itu akan semakin encer (rendah viskositasnya) sehingga semakin mudah di injeksi, di semprotkan ke dalam die / mould. Setiap material memiliki suhu moulding karakteristik. Semakin lunak formulasinya, yang berate memiliki kandungan plastis tinggi, membutuhkan temperature rendah, sebaliknya yang memiliki formulasi lebih keras butuh temperature tinggi. Bentuk-bentuk artikel yang sulit, besar dan jumlah cavity yang banyak serta runner yang panjang menyebabkan tuntutan temperature yang tinggi/naik.



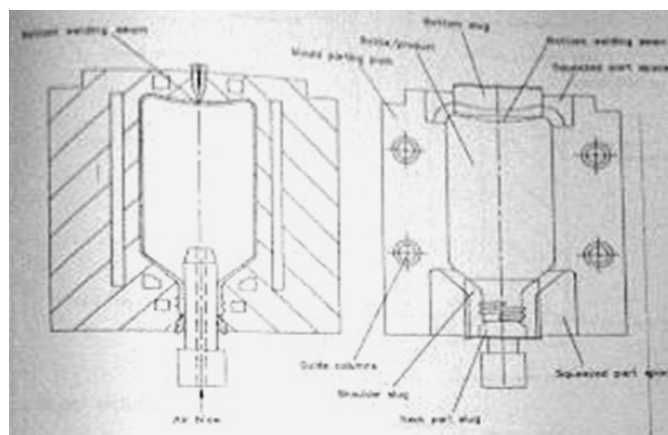
Gambar 9.6: Injection Moulding

Kebanyakan mould selalu didinginkan, karena mempercepat proses pengerasan material yang telah di injeksi ke dalam cavity, sehingga cepat dikeluarkan dari mould tanpa rusak/cacat, berarti memperpendek cycle time-nya. Hal ini dikerjakan dengan mengalirkan air pendingin yang mengelilingi cavity dalam mould frame/plate. Kadang-kadang juga diperlukan pemanasan mould plate (menjaganya pada suhu tertentu) misalnya sampai dengan 340 ° F atau (170 ° C) terutama untuk pekerjaan2 khusus. Untuk menjaga suhu mould ini ada banyak alat yang dijual secara komersial dipasaran.

3. Blow moulding

Pada prinsipnya blow moulding merupakan cara mencetak benda kerja berongga dengan menggunakan cetakan yang terdiri dari belahan mould yang tidak menggunakan inti (core) sebagai pembentuk rongga tersebut. Memang dari segi jenis benda kerja yang bisa diproduksi dengan mould ada dua macam, yang memaksa orang untuk memilih salah satu diantanya, karena teknis pengeluaran ini pembentuk lubang atau rongga.

Pada blow moulding ini rongga yang harus ada pada benda kerja akan dihasilkan dengan cara meniupkan (blowing) udara kedalam material yang telah disisipkan. Material plastic yang akan dibentuk berupa pipa, yang akan keluar secara perlahan turun dari sebuah **ekstruder heat**, dan setelah cukup panjang akan ditangkap oleh kedua belahan mould dan dijepit. Sedangkan bagian bawahnya akan dimasuki sebuah alat peniup (blow pin), yang akan menghembuskan udara kedalam pipa plastic yang masih lunak, sehingga pipa plastic tersebut akan mengembang dan membentuk bangunan seperti mouldnya.



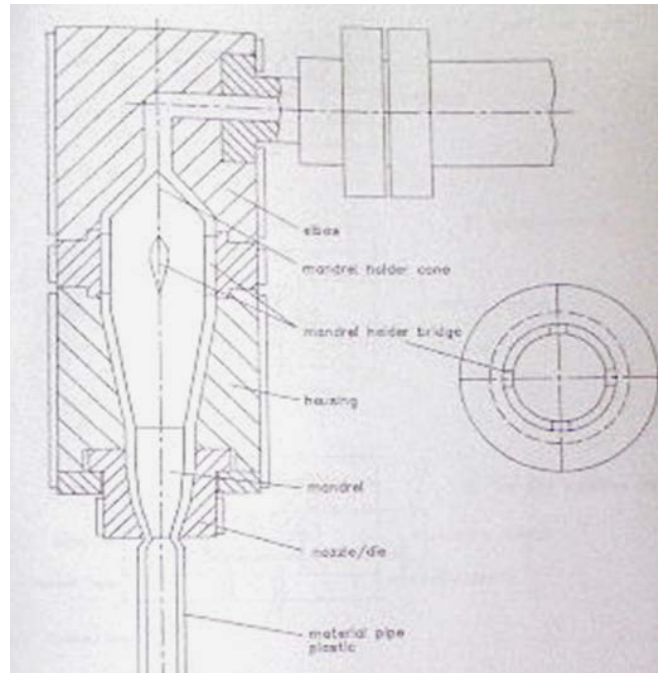
Gambar 9.7: Blow Moulding

Mould ini juga dilengkapi dengan saluran pendingin didalam dua belahan mould, sehingga material yang terbentuk segera mengeras, dan bisa dikeluarkan dari dalam mould. Kemudian mesin akan mempersiapkan bahan (pipa plastic) yang baru lagi, dan proses yang sama akan diulangi lagi sampai terbentuk produk baru lagi, demikian seterusnya. Selain itu juga dilengkapi dengan pisau pemotong pipa plastic yang baru keluar dari ekstruder head, sehingga tidak terganggu pada saat terjadi proses peniupan. Sesuai dengan kapasitas mesinnya, kita juga dapat mencetak dengan beberapa cavity tersebut namun tentu saja harus dilengkapi dengan ekstruder yang sesuai.

4. Extrusion Moulding

Extrusion moulding memiliki kemiripan dengan injection moulding, hanya pada Extrusion moulding ini material akan dibentuk berupa bentukan profil tertentu yang panjang. Pada prinsipnya juga ada bagian mesin yang berfungsi mengubah material plastic menjadi bentuk lunak (semi fluida) dengan cara memanaskan dengan sebuah silinder dan memaksanya keluar dengan tekanan melalui sebuah forming die (ekstruder head/ hole), yaitu suatu lubang dengan bentuk profil tertentu yang didinginkan, yang berada pada ujung silinder pemanas. Material dengan bentuk profil tertentu itu akan keluar dan diterima oleh sebuah conveyor dan dijalankan sambil didinginkan sehingga profil yang terbentuk akan mengeras dan setelah mencapai panjang tertentu akan dipotong dengan pemotong dengan melengkapi mesin ekstrusi tersebut.

Untuk ekstruder head (forming day) ini bisa bermacam-macam sesuai dengan keinginan kita dan bisa dipasang dan bisa diganti-ganti karena dilengkapi dengan holder. Tentu saja bagian ini harus dibuat dari bahan baja pilihan yang dikeraskan yang mampu menahan panas dan gesekan dari material yang diproses. Pendinginan benda kerja dilakukan dengan menyemprotkan udara pada profil yang berjalan, sehingga bisa merata keseluruh bagian profil yang dihasilkan.



Gambar 9.8: Extrusion Moulding

C. KOMPONEN INJECTION MOULD

1. Centering ring, guide bush dan guide pin/column

Pada setiap desain injection mould yang baik pasti mempunyai bagian-bagian, yang disebut dengan *centering ring*, *guide bush* dan *guide pin*, karena mereka adalah merupakan bagian-bagian yang mempunyai fungsi penting dalam penggunaan mould atau proses moulding yang optimal.

Centering ring dipasang melekat pada *top clamping plate*, berfungsi untuk menempatkan posisi lubang *sprue bush* supaya tepat pada lubang *nozzle* (sentris pada saat injeksi), agar penyemprotan material plastic bisa baik dan tidak keluar kemana-mana, karena lubang pada sprue bush relative kecil. Besarnya diameter centering ring ini harus disesuaikan dengan besarnya lubang pada *fixed platen* dari mesin injeksi, biasanya tergantung besarnya kapasitas mesin.

Guide bush dan guide pin / guide column, biasanya terpasang masing-masing pada kedua belahan mould, yaitu bagian sisi cavity dan sisi core. Mereka selalu bekerja berpasangan untuk memandu gerakan kedua belahan mould itu, agar selalu bisa tepat pada saat menutup mould, sehingga posisinya sama pada saat yang dikehendaki. Maksudnya adalah untuk membuat produk yang baik, misalnya *parting line*-nya rapi, tidak terlihat tergeser atau kurang sentris, ketebalan dinding produk yang sama dsb.

Jumlah pasangan guide bush dan guide pin/column pada setiap mould biasanya adalah 4 (empat). Sedangkan besarnya ukuran diameter dan panjangnya disesuaikan dengan besarnya mould yang dipakai. Umumnya ukuran diameter berkisar 15 – 50 mm. Adapun penempatan guide bush pada belahan mould bagian atas (*sprue side*) dan guide pin/ column pada belahan bawah (*ejector side*) atau sebaliknya, bukanlah suatu keharusan, melainkan tergantung dari kondisi dan situasi konstruksi yang akan dibuat sesuai dengan tuntutan produk/benda kerja. Karena tugasnya yang selalu bergesekan dalam frekuensi yang besar, maka material dari guide bush dan guide pin ini harus bisa dikeraskan. Biasanya dipakai baja amutit yang dikeraskan sampai 60 – 62 HRC. Dan fit/suaian yang digunakan adalah H7 – h6 atau H7 – g6 dengan tingkat kehalusan finishing gerinda.

2. Clamping plate, ejector plate, spacer block etc.

Untuk bisa memasang mould pada mesin injeksi, maka mould selalu dilengkapi dengan sepasang *clamping plate* dibagian atas maupun bagian bawah mould (*sprue side* dan *ejector side*). Apabila pemasangan pada mesin menggunakan klem, besarnya clamping plate ditambah secukupnya kedua sisinya, agar punya bidang untuk dipakai mencekam / memegang (jadi lebih besar sedikit dibanding dengan luasan mould plate). Bisa juga diberi lubang yang sesuai dengan besarnya ulir yang disesuaikan oleh mesin untuk mengikatnya. Tebal dari clamping plate ini pun harus mencukupi, supaya ketegaran mould tetap terjaga, sehingga mould bisa bekerja dengan optimal.

Setiap mould harus bisa melepaskan produk hasil cetakan dengan baik, agar bisa menjamin kelancaran produksi. Untuk itu diperlukan ejector yang berfungsi mendorong hasil cetakan dari dalam rongga / cavity mould. Jumlah dan jenis ejector yang dibutuhkan oleh setiap mould tergantung dari produk yang dihasilkan. Mereka akan bekerja mendorong secara bersamaan, agar hasil cetaknya bisa sempurna. Untuk menyatukan gerakan ejector ini diperlukan *ejector plate* yang biasanya terdiri dari dua pelat, yaitu yang disebut dengan “*ejector holder plate dan ejector back plate*”.

Gerakan majunya ejector plate ini dibatasi secukupnya dengan memberikan ruangan (spasi) yang diberikan oleh tingginya *spacer block*, yang dipasang diantara support plate (cavity plate) dengan bottom clamping plate. Kadang-kadang ditengah-tengah

ejector back plate ini dipasang sebuah *ejector plug* yang dilengkapi ulir, supaya dapat disambung dengan kopling, sehingga gerakan ejector bisa diatur maju mundur sesuai dengan kebutuhan dengan sebuah penggerak yang digerakan secara hidrolis.

Setelah bekerja mendorong produk keluar dari rongga/cavity (bergerak maju), maka ejector plate ini harus kembali ke posisi awalnya (kebelakangnya). Maksudnya adalah supaya ejector yang ada pada mould juga kembali siap untuk proses berikutnya, untuk menghindari kerusakan / cacat pada produknya. Untuk itu ejector plate dilengkapi dengan *returner pin*, yang bekerja mendorong kembali ejector plate ke posisi semula, yaitu dengan cara menabrak bagian mould belahan atas (sprue side), bersamaan dengan saat menutupnya mould (yang siap untuk proses selanjutnya).

Namun kadang-kadang hanya returner pin saja yang tidak cukup, apabila gerakan mundurnya gerakan ejector ini dituntut harus cepat dan tidak boleh terlambat. Maka konstruksinya bisa juga ditambah dengan penempatan beberapa **pegas** didepan ejector plate, atau seperti keterangan diatas, ejector plate akan digerakan secara hidrolis. Hal ini terjadi pada kontruksi mould yang menggunakan *slider* , yaitu bagian mould yang harus bergerak menyamping/melintang untuk membentuk lubang yang tegak lurus terhadap sumbu mould / mesin. Karena dengan adanya slider yang kadang-kadang dilengkapi dengan pin-pin yang panjang-, bisa jadi saling bertabrakan dengan ejector yang kebetulan dipasang persisi dibawah slider.

Selain itu karena ejector plate membawa banyak ejector yang kadang-kadang ukuranya relative kecil, maka untuk menjaga gerakannya baik dan terarah perlu dilengkapi dengan pasangan guide bush dan guide pin. Bahkan sering menggunakan bush yang menggunakan roller sehingga gerakannya sangat licin.

3. Mould base

Kalau kita memperhatikan pembuatan injection mould dengan seksama, maka kita harus menyimpulkanya bahwa desain dan konstruksinya pada umumnya selalu hamper sama. Jadi selalu ada bagian-bagian yang samabentuk dan fungsinya, meskipun ukuranya berbeda. Jadi bagian-bagian yang kita bicarakan diatas hampir pasti harus selalu ada. Standarisasi mengenai fungsi dan bentuk dari bagian-bagian mould tersebut diatas telah dibakukan, sehingga dikenal dengan istilah **mould base**. Jadi mould base merupakan pembakuan bagian-bagian dari mould injeksi yang ukuran dan bentuknya selalu sama, sehingga akan mempermudah/ meringankan

pekerjaan konstruktor. Dengan mould base, konstruktor tinggal memusatkan perhatian perencanaannya terhadap bagian cavity dan core dari sebuah mould saja. Selain itu dari segi pembuatan mould (manufacturing), hal ini bisa sangat menghemat pekerjaan, karena bagian pekerjaan yang selalu rutin sudah dihilangkan. Orang tinggal membeli mould base yang ada dipasaran dengan ukuran yang sesuai, dan kalau pembuatan core dan cavity-nya selesai segera bisa dirakit.

Ada juga *standard product* yang dijual bebas dipasaran sebagai pelengkap pekerjaan moulding, misalnya guide bush, guide pin, sprue bush, centering ring, dan berbagai jenis ejector dari yang berbentuk pin sampai ke bentuk lain.