

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Sheet Metal*

Sheet metal pada umumnya berbentuk lembaran dan yang lebih tipis berupa gulungan (*coil*). Dari komposisi kimianya, *sheet metal* dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok ferro dan non-ferro. Contoh *sheet metal* kelompok ferro adalah baja karbon, baja paduan, baja tahan karat. Yang tersedia dipasaran dengan spesifikasi kualitas dan permukaan (*surface finished*) bervariasi. Komponen *sheet metal* yang berada dibagian luar, yang menunjang keindahan produk, harus terbuat dari sheet metal dengan kualitas permukaan yang baik. Contoh *sheet metal* kelompok non ferro adalah aluminium, paduan aluminium, paduan magnesium, paduan zinc, paduan titanium.

Sifat-sifat yang dimiliki *sheet metal* antara lain sebagai berikut:

1. mampu bentuk yaitu sifat dari material *sheet metal* yang mudah atau sulit dibentuk. Mampu bentuk tidak ada korelasi yang pasti antara sifat-sifat mekanik dari *sheet metal*;
2. *sheet metal* dengan mampu bentuk yang baik dapat dipakai untuk membuat produk *sheet metal* yang proses utamanya adalah *drawing* dan *deep drawing*;
3. pada umumnya *sheet metal* yang mempunyai *yield point* rendah dan *elongation* yang baik memiliki mampu bentuk yang baik pula.

Kemudian sesuai dengan fungsi dan kegunaannya maka terdapat berbagai jenis *sheet metal*, antara lain sebagai berikut:

1. *rolled Constructional Sheet*- plat baja konstruksi, dirancang untuk memenuhi fungsi kekuatan –SS34 dan SS41;
2. *hot Rolled Sheet* dan *Cold Rolled Sheet*- plat baja yang dirancang untuk memenuhi persyaratan untuk dibentuk (*formability*) dan kehalusan permukaan (*Cold Rolled Sheet*);
3. *stainless steel Sheet*- baja tahan karat, tetapi dapat terjadi *work hardening*;
4. *electrical Steel Sheet*- digunakan untuk membuat core/ inti dari motor listrik dan trafo dengan ketebalan antara 0,35 s.d 0,5 mm;
5. *open Steel Coil* yaitu *rimmed steel* yang sudah mendapat perlakuan panas khusus untuk meningkatkan mampu bentuk. Namun, mampu bentuknya berada diantara *killed steel* dan *rimmed steel* (Rony Sudarmawan,2009).

B. Teori Pembentukan Logam

Teknik pembentukan logam merupakan proses yang dilakukan dengan cara memberikan perubahan bentuk pada benda kerja. Perubahan bentuk ini dapat dilakukan dengan cara memberikan gaya luar sehingga terjadi deformasi plastis. Aplikasi pembentukan logam ini dapat dilihat pada beberapa contohnya seperti pengerolan (*rolling*), pembengkokan (*bending*), tempa (*forging*), ekstrusi (*extruding*), penarikan kawat (*wire drawing*), penarikan dalam (*deep drawing*), dan lain-lain.

Tahapan yang dilakukan dalam proses pembentukan untuk suatu konstruksi ini meliputi:

1. mendesain alat sesuai dengan fungsi dan kegunaannya;

2. menganalisa konstruksi pelat terhadap dan pembebanan;
3. membuat gambar desain;
4. menentukan jenis bahan pelat;
5. menentukan metode penyambungan dan penguatan;
6. menentukan metode perakitan;
7. membuat gambar kerja konstruksi alat;
8. membuat gambar bentangan;
9. melakukan pemotongan awal (*pre cutting*);
10. melakukan pemotongan bahan pelat;
11. melakukan proses pembentukan;
12. menentukan alat bantu atau model;
13. metode perakitan;
14. pengukuran dimensi konstruksi;
15. uji coba konstruksi;
16. *finishing*;

Teknologi pembentukan dewasa ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan. Konstruksi ini biasanya dibedakan berdasarkan dimensi pembentukan yang diinginkan (Ambiyar dkk,2008).

C. *Stamping*

Stamping adalah proses membentuk huruf, simbol, atau lainnya pada permukaan *sheet metal*, dimana bagian dasarnya tetap rata dan *pressing capacity* yang diperlukan cukup besar (Rony Sudarmawan,2009).

Urutan proses *stamping press* yang lengkap adalah sebagai berikut:

1. *blanking*;
2. *drawing*;
3. *pierching*;
4. *trimming*;

Process blanking adalah proses pemotongan material pelat agar didapat ukuran material sesuai dengan yang diharapkan, dan penggunaan material seefisien mungkin, dengan *waste* material sesedikit mungkin. Yang perlu diperhatikan dalam proses *blanking* adalah sebagai berikut :

1. *design blanking die*;
2. *design blanking punch*;
3. pemilihan material dan proses *hardening* untuk *die* dan *punch*;
4. toleransi antara *die* dan *punch*, harus sesuai dengan perhitungan yang tepat agar tidak timbul *barr* pada produk;
5. jenis, ketebalan, dimensi material yang akan di*blanking* (Diemold,2010).

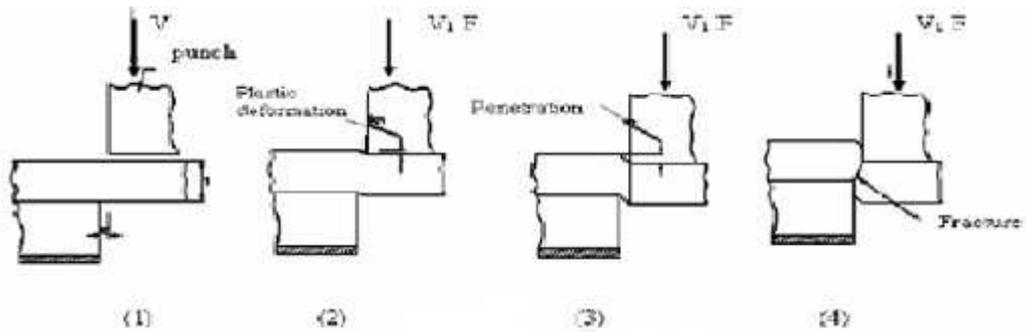
Drawing adalah proses pembentukan *sheet metal* yang dalam dan kontur kompleks sehingga memerlukan *blank holder* dan *air cushion/spring* untuk mengontrol aliran dari material serta diperlukan *bead* atau tahanan untuk menahan aliran material yang terlalu cepat. Untuk menghasilkan produk yang baik, maka harus menggunakan *sheet metal* khusus proses *drawing* dan mesin *press hidrolik*.

Piercing adalah proses pemotongan *sheet metal* untk membuat lubang pada permukaan yang rata ataupun kontur. Lubang yang dihasilkan bisa berbentuk bulat atau bentuk lainnya, tergantung bentuk *punch*. Pada proses *piercing* terdapat *scrap*.

Trimming adalah proses pemotongan bagian yang tidak diperlukan dari proses *drawing* atau *forming* untuk mendapatkan ukuran akhir. Proses *trimming* akan meninggalkan bagian yang tidak berguna atau *scrap* (Rony Sudarmawan,2009).

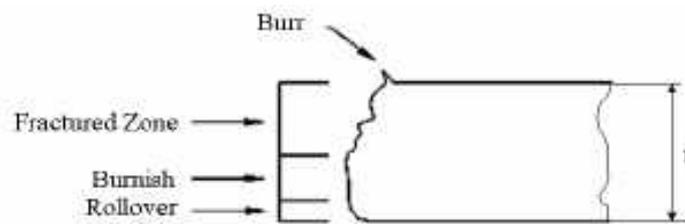
D. Operasi Pemotongan

Pemotongan lembaran pelat disesuaikan dengan aksi pemotongan antara dua buah mata pisau pemotong. Aksi pemotongan ada empat tahapan seperti terlihat pada Gambar 1 yaitu: (1) Sebelum pons (mata pisau bagian atas) menyentuh lembaran pelat (benda kerja) di mana kecepatan pons bergerak dengan kecepatan $v = 0$ tanpa beban; (2) Pons mulai menyusup masuk ke permukaan lalu bergerak menuju cetakan dengan kecepatan v_1 dan gaya sebesar F . Pisau bagian dalam (*die*) yang diam menahan tekanan pons terhadap benda kerja maka terjadilah deformasi plastis pada benda kerja; (3) Berikutnya Pons terus bergerak menekan dan menyusup ke benda kerja, maka bagian ini akan diperoleh permukaan pemotongan yang lebih halus. Secara umum daerah penyusupan diperkirakan sebesar $1/3$ tebal lembaran benda kerja; (4) Bila penekanan diteruskan terhadap benda kerja maka akan terjadi keretakan (*fracture*) terhadap sisi pemotongan benda kerja. Jika kelonggaran (*clearance*) antara pons dengan cetakan ditentukan secara tepat dan benar maka dua garis keretakan akan bertemu, hasil pemisahan kedua benda relatif lebih bersih, atau hanya sedikit sekali terdapat bagian yang tajam pada hasil pemotongan.



Gambar 1. Proses Pemotongan Lembaran Pelat Antara Dua Mata Pisau (Schey J.A., 1987)

Pada Gambar 2 diperlihatkan karakteristik keretakan pada hasil pemotongan pada bagian produk yang terbentuk oleh hasil pemotongan pembuatan koin.



Gambar 2. Karakteristik Sisi Hasil Pembuatan Koin (Lange K. 1985)

Pada bagian bawah permukaan benda kerja dari hasil pemotongan akan membentuk radius dan daerah ini disebut dengan *rollover* atau disebut juga dengan *edge draw in*. Hal ini terjadi akibat adanya penekanan awal yang dilakukan terhadap permukaan pelat/benda kerja terhadap cetakan sehingga terjadi perubahan bentuk terhadap permukaan yang disebut dengan deformasi plastis.

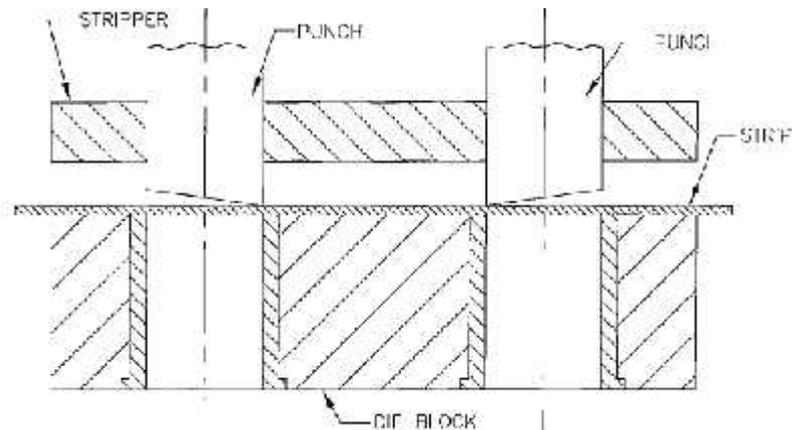
Menurut Lange K, bentuk ini dipengaruhi oleh, (a) jenis material, (b) kelonggaran *blank*, dan (c) ketajaman & bentuk permukaan pons. Bagian atas *rollover* terbentuk hasil pemotongan yang lebih halus, daerah ini disebut *burrnish* atau *smooth-sheared*. Ini dihasilkan karena menyusupnya pelat terhadap cetakan akibat penekanan pons,

dan masih mampu ditahan oleh cetakan (pisau bagian bawah) sehingga terjadi penyayatan/pemotongan bukan karena retak atau dengan kata lain pons mampu menyusup ke benda kerja sebelum terjadi keretakan pada benda kerja. Selanjutnya pada bagian atas *burnish* disebut dengan daerah *fractured*, pada daerah ini terdapat bagian sisi pemotongan yang relatif kasar. Bagian ini tidak terdapat hasil pemotongan namun terpisahnya atau lepasnya benda ini adalah akibat adanya pengaruh tekanan sehingga terjadilah pergeseran akibat adanya keretakan. Pada sisi bagian atas koin hasil pemotongan atau permukaan yang menyentuh pons disebut *burr* yang merupakan sisi tajam yang menonjol. *Burr* adalah cacat pada bagian sisi potong dari produk *sheet metal* yang berupa penajaman sehingga mempengaruhi kualitasnya.

Terbentuknya *burr* dan besar ketinggiannya (*burr height*) ditentukan oleh faktor material produk dan ketajaman alat potong (*tools*), dan juga dipengaruhi oleh akibat keausan pada alat potong (*tool edges wear*) dan kelonggaran antara pons dengan cetakan yang tepat (*optimum clearance*).

Pada prinsipnya untuk semua proses *cutting* gaya-gaya yang terlibat pada dua sisi potong (*cutting edges*) yaitu *punch* dan *die* adalah *shear force*, yang sama besarnya dan saling berlawanan dan jarak antara kedua gaya yang berlawanan sama dengan *clearance* antara *punch* dan *die* tersebut. Gaya berlawanan yang berasal dari material sendiri disebut *metal's shear strength*.

Salah satu jenis pemotongan, yaitu:



Gambar 3. *Edge – Trimming Punch* (Ivana Suchy.2006)

Gaya Pemotongan (*Cutting Forces*)

Perhitungan untuk menentukan gaya pemotongan yang dibutuhkan untuk melakukan pemotongan terhadap satu buah produk dengan bahan tertentu sangatlah penting. Maka untuk menentukan gaya P pada pemotongan pelat dapat ditentukan sebagai berikut:

$$P = A\alpha \cdot S_y \quad (2.1)$$

Dimana : S adalah *yield strength* dari material potong.

$$A\alpha = \frac{L_c \cdot T}{\tan \alpha}$$

Dimana :

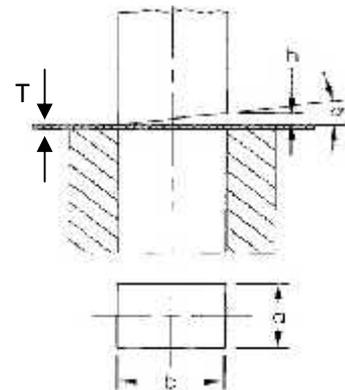
$A\alpha$ = *area of the cut, angular*

T = *thickness of material*

L_c = *length of the cut, linear*

$\tan \alpha$ = *angle of the sheared surface of the punch*

(Groover M.P. 2002)



Gambar 4. Gaya pemotongan

Kelonggaran (*Clearance*)

Kelonggaran atau *clearance* adalah suatu ukuran antara sisi potong pons dengan sisi potong cetakan. Menurut Budiarto ada beberapa fungsi kelonggaran (*clearance*) di antaranya:

1. mencegah terjadinya gesekan antara pons dan cetakan saat operasi pemotongan, gesekan semakin besar bila kelonggaran antara pons dengan cetakan terlalu kecil dan sebaliknya. Gesekan kecil bila kelonggaran besar;
2. menentukan kualitas sisi potong yang diharapkan, kelonggaran yang lebih kecil menghasilkan hasil yang lebih halus dan lebih baik;
3. menentukan ketepatan toleransi produk hasil yang diperoleh, kelonggaran yang lebih kecil dan membentuk beberapa toleransi produk yang lebih baik;
4. berpengaruh terhadap *burr* (Gambar 2) yang terjadi beralur lebih kecil bila kelonggaran lebih kecil;

Kelonggaran (*clearance*) diklasifikasikan ke dalam tiga bagian besar, yaitu:

1. *excessive clearance* (kasar)
 - a. kelonggaran antara pons dan cetakan relatif besar membentuk *burr* yang besar;
 - b. bibir pelat pada permukaan yang terpotong membentuk radius cukup besar;
 - c. permukaan bawah bibir *blank*/sekrap membentuk radius;
 - d. penetrasi pemotongan kecil;
2. *proper Clearance* (normal)
 - a. kelonggaran antara pons dan cetakan normal atau medium;
 - b. bentuk *burr* relatif kecil;
 - c. radius pada bibir pelat terpotong relatif kecil;

- d. penetrasi pemotongan dapat mencapai $\frac{1}{2}$ tebal plat;
- 3. *insufficient Clearance* (halus)
 - a. kelonggaran relatif kecil;
 - b. membentuk dua bidang sisi potongan pada patahan;
 - c. *burr* sangat kecil;
 - d. tahanan pemotongan lebih besar;

Clearance untuk *sheet metal* baja karbon pada umumnya 4% s.d 5% persisi dan material yang lebih lunak dan lebih tipis pada umumnya mempunyai *clearance* yang lebih kecil. *Clearance* pada proses *precision blanking* jauh lebih kecil dibandingkan dengan proses *blanking* pada umumnya. *Clearance* antara *punch* dan *die* mempunyai dampak pada ketelitian ukuran produk serta umur pakai dari cetakan. *Clearance* yang besar akan mengurangi *cutting force*. Sebaliknya apabila *clearance* terlalu kecil, maka *cutting force* akan menjadi sangat besar, mengurangi umur pakai cetakan, proses manufakturnya sulit, dan menyebabkan permukaan potongan kasar karena terjadinya potongan kedua (*secondary fracture*). Faktor-faktor yang menentukan *clearance* yang tepat adalah jenis *sheet metal*, kekerasannya, ketebalannya, dan metode manufaktur yang digunakan (Rony Sudarmawan,2009).

E. *Press Dies*

Press dies adalah peralatan produksi atau cetakan yang berfungsi untuk memotong dan membentuk material *sheet metal* (plat baja), *aluminum sheet* (plat aluminium), *stainless steel sheet* (plat baja tahan karat), berbagai pipa dan baja pejal sehingga hasil akhirnya menjadi suatu produk yang kita sebut sebagai *sheet metal product*. *Press dies* terdiri dari beberapa bagian yaitu, *upper plate* yaitu bagian penyangga *punch*,

punch retainer, *guide bush*, dan *stipper plate*. *Lower plate*, bagian yang menyangga *die*, *die retainer*, *guide pin* dan *blank holder*. *Punch*, pisau pemotong atas atau cetakan laki-laki dari *press dies* yang terikat pada upper plate. *Die*, pisau pemotong bawah atau cetakan perempuan dari *press dies* (Rony Sudarmawan,2009).

Upper die atau punch dan lower die atau die

Die merupakan komponen utama dari konstruksi *press dies* yang pada umumnya selalu berpasangan, yakni *piercing punch* dan *bottom die*, *upper die* dan *lower die*. Fungsi dari *punch* dan *die* terbagi atas dua kelompok, yaitu untuk memotong, misalnya *cutting*, *blanking*, *piercing*, *trimming* dan untuk membentuk, misalnya *bending*, *forming*, *curling*, dan *drawing*.

Beberapa hal penting pada konstruksi *punch* dan *die* proses *cutting* dan *trimming* yaitu:

1. kualitas material yang dipakai dari kelompok *cold work steel*;
2. kekerasan dari *punch* dan *die* tergantung pada kualitas material dan ketebalan dari *sheet metal*. Untuk *sheet metal* yang lebih tebal memerlukan material yang lebih ulet, tetapi tingkat kekerasannya diturunkan. Kekerasan normal untuk *punch/die* sekitar 58 s.d 62HRC;
3. konstruksi *punch* dan *die* untuk *sheet metal* yang relatif tipis dan jumlah produksi yang tidak terlalu banyak dapat menggunakan material SS41 dan membuat sisi potongnya dengan *special welding rod*. Konstruksi *punch* dan *die* juga perlu memperkirakan dimensi yang sesuai dengan titik-titik pengikat yang diperlukan;

4. *clearance* antara *punch* dan *die*, untuk material SPCC *clearance* 4% s.d 5% dari tebal *sheet metal*. Bila *clearance* terlalu besar maka akan terjadi *burr* pada hasil potongnya (Rony Sudarmawan,2009).

Beberapa hal penting dari konstruksi *punch* dan *die* proses bending yaitu:

1. kualitas material *sheet* tergantung pada jenis proses *bending*, jumlah produksi, ketebalan *sheet metal*. Kualitas material steel untuk proses bending pada umumnya dibawah kualitas proses *cutting* dan *blanking*;
2. kekerasan material akan lebih rendah untuk *sheet metal* yang tipis dan lunak (aluminium);
3. konstruksi *bending dies* sederhana hanya terdiri dari *punch* dan *die* saja;
4. bagian terpenting dari *punch* dan *die* proses *bending* adalah pada radiusnya yang berfungsi untuk membentuk dan mengalirnya *sheet metal* yang harus dibuat halus dan baik (Rony Sudarmawan,2009).

F. Heat Treatment

Heat treatment adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik terance (tungku) selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan dengan media pendingin seperti udara,air, oli, dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendingin yang berbeda-beda.

Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan dan proses pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan (Wiryo Sumarto dan Okumura,2000).

a. Jenis-Jenis *Heat Treatment* :

1. *Hardening* (pengerasan)

Proses *hardening* atau pengerasan adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup, selanjutnya secara cepat dicelupkan ke dalam media pendingin tergantung pada kecepatan pendinginan yang kita inginkan untuk mencapai kekerasan

2. *Annealing* (pelunakan)

Proses *annealing* adalah proses pemanasan diatas temperatur kritis selanjutnya dibiarkan beberapa lama sampai temperatur merata disusul dengan pendinginan secara perlahan-lahan sambil dijaga agar temperatur luar dan dalam kira-kira sama hingga diperoleh struktur yang diinginkan dengan menggunakan media pendinginan udara.

Tujuan proses *annealing* yaitu:

- a. melunakkan material logam;
- b. menghilangkan tegangan dalam/sisa;
- c. memperbaiki butir-butir logam;

3. *Normalizing*

Normalizing adalah proses pemanasan hingga mencapai fase austenit yang kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam media pendingin udara. Hasil pendinginan ini berupa perlit namun hasilnya jauh lebih mulus dari *annealing*.

Prinsip dari proses *normalizing* adalah untuk melunakan logam

4. *Tempering*

Proses *tempering* adalah pemanasan sampai temperatur sedikit dibawah temperature kritis, kemudian didiamkan di dalam tungku dan suhunya dipertahankan merata selama 15 menit . selanjutnya didinginkan dalam media pendingin (Wiryosumarto dan Okumura,2000)

b. Tujuan Utama *Heat Treatment*

Tujuan utama dari perlakuan panas adalah sebagai berikut:

1. memperlunak (*to soften*)

Yaitu memperbaiki sifat plastisitas dengan cara mengatur ukuran, bentuk dan distribusi mikrokonstituennya (fasa atau butiran), serta keberadaan dislokasi didalam butiran.

2. menghilangkan tegangan sisa (*to stress relive*)

Yaitu memungkinkan berlangsungnya relaksasi tegangan-tegangan sisa dengan cara meningkatkan temperatur (memanaskan) sehingga diperoleh penurunan kekuatan luluh (*yield strength*) dan meningkatkan *recovery*.

3. melakukan homogenisasi (*to homogenize*)

Yaitu mendapatkan komposisi kimia yang homogen di dalam butiran (*grain*) melalui difusi unsur-unsur yang ada dalam paduan logam pada temperatur tinggi.

4. meningkatkan ketangguhan (*to toughen*)

Yaitu meningkatkan kemampuan paduan logam untuk menyerap energi dari beban impak dalam selang plastisnya tanpa patah, atau dengan kata lain meningkatkan luas di bawah kurva tegangan-regangan.

5. memperkeras (*to harden*)

Yaitu meningkatkan gangguan terhadap slip atau meningkatkan penahanan terhadap pergerakan dislokasi melalui perubahan ukuran, bentuk dan distribusi mikrokonstituen.

6. menambahkan unsur kimia melalui permukaan

Yaitu memperbaiki ketahanan aus (*wear*) dan ketahanan lelah (*fatigue*) pada permukaan melalui pembentukan tegangan sisa kompresif dipermukaan logam yang dihasilkan dari absorpsi atom-atom terlarut intersisi (C, N, dan lain-lain).

7. meningkatkan sifat fisik

Seperti meningkatkan sifat kemagnetan dengan memperbesar butiran melalui pengaturan siklus termal (Wiryo Sumarto dan Okumura, 2000).