

HAND OUT MATA KULIAH:

TEKNIK PERMESINAN I (4 SKS)

SILABUS:

1. KONSEP PROSES MANUFAKTUR.
2. KONSEP PROSES PEMOTONGAN LOGAM (METAL CUTTING PROCESSES).
3. BAHAN PAHAT POTONG DAN CAIRAN PENDINGIN (CUTTING FLUIDS)
4. PROSES PEMESINAN BENDA BULAT (ROUND SHAPES).
5. PROSES PEMESINAN BERBAGAI BENTUK BENDA
6. PROSES ABRASIV DAN FINISHING
7. PROSES PEMESINAN NON-TRADITIONAL
8. PERHITUNGAN EKONOMI/BIAYA PERMESINAN

BUKU SUMBER:

1. Materials And Processes in Manufacturing, Paul DeGarmo, Macmillan Publishing Co, 1990.
2. Introduction to Manufacturing Processes, John A. Schey, International Student Edition, 1977.
3. Manufacturing Engineering and Technology, Serop Kalpakjian, Addison-Wesley Publ. Co., 1992.
4. Manufacturing Processes, B.H. Amstead, John Wiley & Sons, 1977

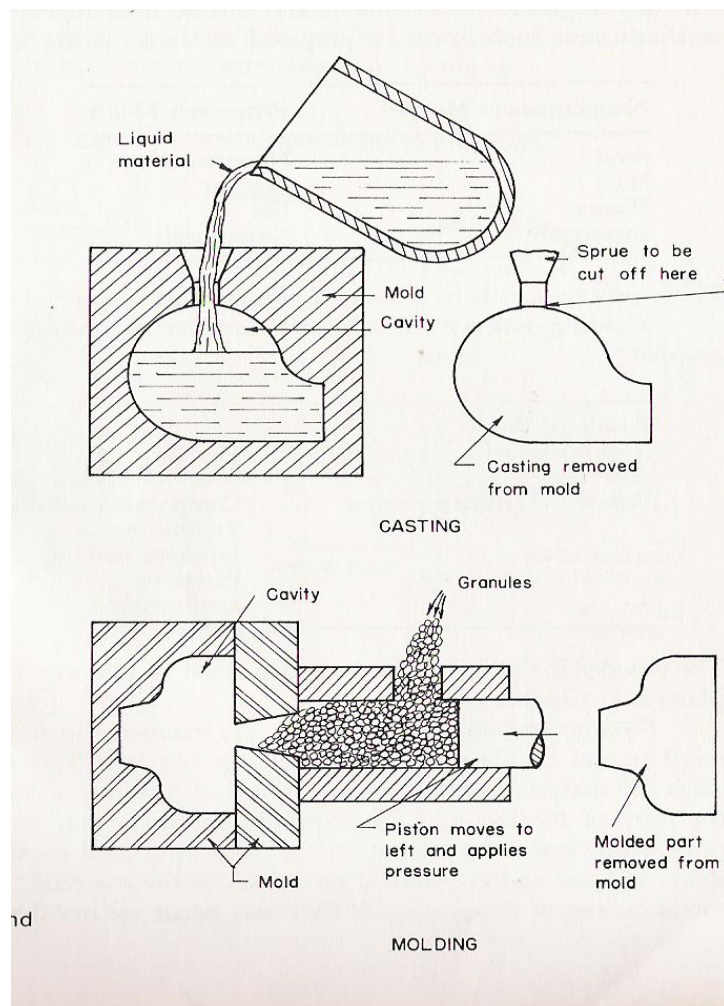
I. KONSEP PROSES MANUFAKTUR

Proses manufaktur suatu produk yang berasal dari bahan logam atau non-logam diklasifikasikan menjadi tujuh katagori, yaitu:

1. Proses pengecoran atau pencetakan.
2. Proses pembentukan
3. Proses permesinan
4. Proses perlakuan panas (heat treatment)
5. Proses pengerjaan akhir (finishing)
6. Proses perakitan (assembly)
7. Proses inspeksi

1. Proses Pengecoran dan Pencetakan

Proses pengecoran dan pencetakan adalah proses pembentukan logam yang berasal dari bentuk cairan, butiran atau serbuk yang dilakukan pada suatu cetakan dimana bentuknya disesuaikan dengan bentuk produk yang diinginkan. Bahan logam cair memenuhi ruang cetakan dan setelah padat maka cetakan dilepaskan sehingga yang tersisa adalah logam dengan bentuk yang sesuai dengan cetakannya. Gambar 1-1 memperlihatkan skematik proses pengecoran dan pencetakan (moulding process).

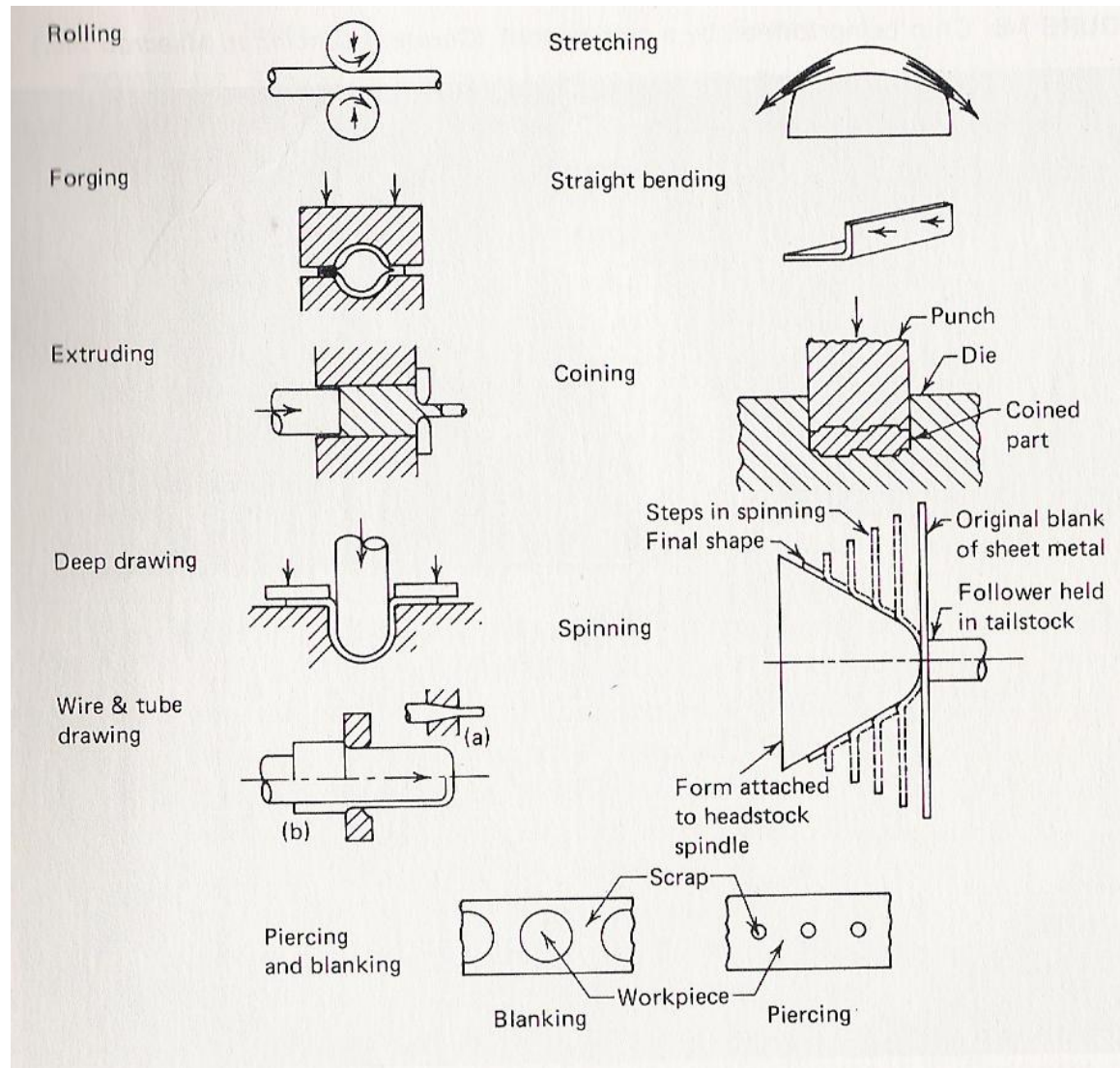


Gambar 1-1 Ilustrasi proses pengecoran dan proses moulding

2. Proses Pembentukan

Proses pembentukan merupakan proses lanjut dari pengolahan bahan hasil pengecoran maupun pencetakan yang biasanya dilakukan untuk produksi massal. Prinsip dari proses pembentukan adalah merubah atau modifikasi bentuk dari suatu benda menjadi bentuk yang diinginkan tanpa melakukan pemotongan sehingga tidak ada serpihan bahan yang dibuang.

Contoh proses pembentukan yang umum dilakukan dapat dilihat pada gambar 1-2 berikut.



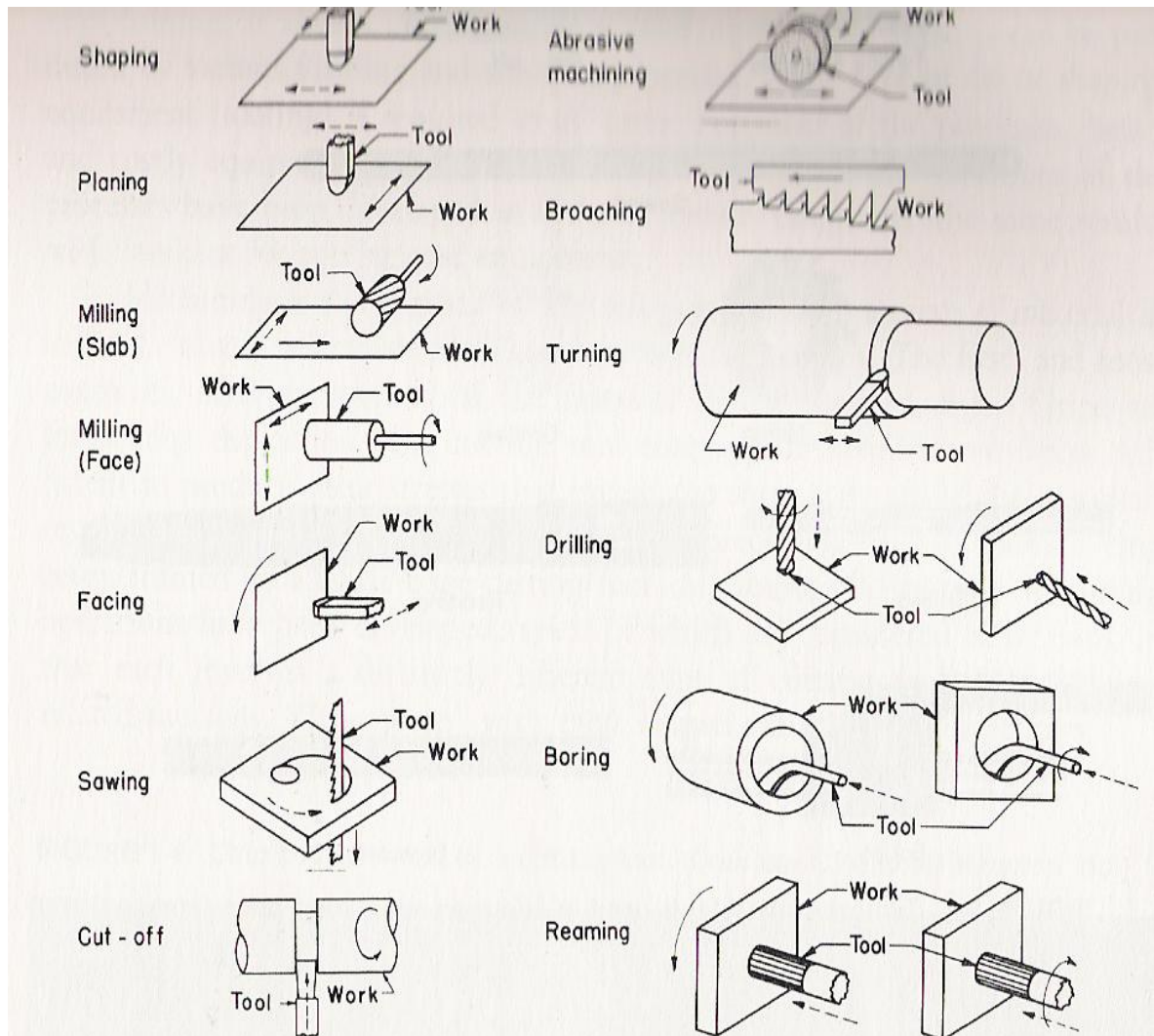
Gambar 2-1 Proses pembentukan

Proses pembentukan dapat dilakukan pada keadaan dingin (cold forming) ataupun pada keadaan panas (hot forming). Bentuk produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan menggunakan cetakan yang sesuai dengan bentuk dan ukuran produk.

3. Proses Permesinan

Proses permesinan adalah proses pemotongan/pembuangan sebagian bahan dengan maksud untuk membentuk produk yang diinginkan. Proses permesinan yang biasa dilakukan di industri manufacture adalah proses penyekrapan (shaping), proses pengeboran (drilling), proses pembubutan (turning), proses frais (milling), proses gergaji (sawing), proses broaching, dan proses gerinda (grinding).

Skematik proses permesinan secara umum dapat dilihat pada gambar 1-3 berikut:



Gambar 1-3 Jenis-jenis proses permesinan

4. Proses perlakuan panas (heat treatment)

Proses perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik maupun sifat metalurgi dari logam tersebut. Proses heat treatment ini menjadi bagian yang penting dalam proses manufacture terutama untuk memproduksi produk-produk yang memerlukan kekuatan dan ketahanan tertentu.

5. Proses pengerjaan akhir (finishing process)

Proses finishing dilakukan untuk tujuan pembersihan (cleaning), penghilangan bagian atau sudut-sudut yang tajam (deburing), dan untuk melindungi atau menghiasi permukaan produk supaya lebih menarik. Diantara proses finishing yang biasa dilakukan adalah: *proses cleaning, deburing, painting, plating, buffing, galvanizing, dan anodizing.*

Proses cleaning dilakukan untuk membersihkan kotoran berupa, debu, oli tau stempet (grease), dan kerak yang merupakan sisa dari proses manufacture ataupun terjadi pada saat handling. Proses permesinan, pengecoran dan proses pengguntingan (shearing) seringkali menghasilkan sisa pemotongan yang tajam dan hal ini biasa dihilangkan dengan proses deburing.

Proses buffing mirip dengan proses pemolesan dimana permukaan produk dipoles secara mekanis untuk menutupi pori-pori permukaan benda sehingga lebih halus.

Galvanizing dan anodizing dilakukan biasanya untuk mencegah timbulnya korosi pada produk dan pula ditujukan untuk keperluan pengecatan.

6. Proses Perakitan (assembling)

Proses perakitan merupakan proses penggabungan/penyambungan komponen-komponen produk/bagian mesin. Proses assembling biasa dilakukan dengan cara: pengencangan mekanis (mechanical fastening) seperti penyambungan baut dan rivet, proses penyolderan, pengelasan, sambungan tekan (press fitting), penyambungan susut (shrink fitting), dan dengan cara pengeleman (adhesive bonding).

7. Proses Inspeksi

Proses pengontrolan atau inspeksi terhadap produk hasil pengerjaan merupakan faktor yang sangat penting walaupun tidak secara langsung mempengaruhi bentuk maupun sifat produk. Oleh karena itu proses ini dikategorikan sebagai rangkaian proses manufactur.

II. KONSEP DASAR PROSES PEMESINAN

2.1 Pendahuluan

Proses pemesinan (machining process) merupakan istilah umum dalam teknik mesin yang pada dasarnya merupakan suatu proses pembuangan/ pemotongan sebagian dari benda kerja sehingga dihasilkan bentuk produk yang diinginkan. Proses pemesinan dibagi menjadi 3 katagori, yaitu:

- Proses pemotongan (cutting) yaitu proses pemesinan dengan menggunakan pisau pemotong (cutting tool) dengan bentuk geometri tertentu.
- Proses abrasi (abrasive process) seperti proses gerinda.
- Proses pemesinan non-tradisional yaitu yang dilakukan secara elektrik, kimiawi, dan dengan bantuan sumber tenaga optic.

Keuntungan-keuntungan proses pemesinan diantaranya adalah:

- Produk yang dihasilkan memiliki ukuran yang lebih akurat dibandingkan dengan produk hasil proses pengecoran dan pembentukan. Disamping itu dimungkinkan untuk membuat bentuk profil pada bagian dalam benda kerja dan membuat sudut geometri yang lebih tajam.
- Proses pemesinan diperlukan pada proses finishing terutama untuk produk yang telah dilakukan perlakuan panas dimana diperlukan proses pemolesan atau gerinda untuk menghaluskan permukaannya.
- Proses pemesinan lebih ekonomis untuk mengerjakan produk yang jumlahnya tidak terlalu banyak.

Kelemahan-kelemahan dari proses pemesinan diantaranya adalah:

- Proses pemesinan akan menghasilkan banyak waste atau bahan produk yang terbuang dan biasanya membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak dan lebih ahli sehingga biaya operasinya menjadi tinggi.
- Proses pemotongan biasanya memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan proses manufacture lainnya.
- Bila proses pemesinan tidak dilakukan dengan tepat, maka proses pemotongan benda kerja dapat mempengaruhi sifat-sifat mekaniknya dan kualitas permukaannya.

Proses pemesinan seperti proses bubut, pengeboran, frais, atau pemesinan baut pada dasarnya merupakan suatu proses pembuangan sebagian bahan benda kerja dimana pada proses pemotongannya akan dihasilkan geram (chip) yang merupakan bagian benda kerja yang akan dibuang. Bentuk dari geram untuk semua proses pemesinan secara umum dapat digambarkan pada model dua dimensi seperti pada gambar 2-1.

Pahat potong bergerak sepanjang benda kerja dengan kecepatan V dan kedalaman pemotongan t_o . Pergerakan pahat ini mengakibatkan timbulnya geram (chip) yang terbentuk akibat proses pergeseran (shearing) secara kontinu pada bidang geser.

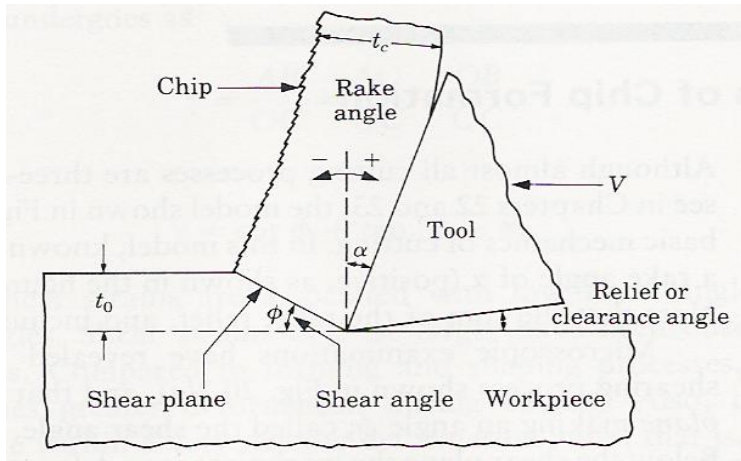
Variabel-variabel independent yang merupakan factor yang mempengaruhi proses pemotongan terdiri dari:

1. Bahan pahat potong.
2. Bentuk pahat dan ketajaman pahat.
3. Bahan benda kerja, kondisi bahan dan temperatur pengerjaan.
4. Parameter pemotongan seperti kecepatan potong dan kedalaman pemotongan.
5. Cairan pendingin (cutting fluid) yang digunakan.

6. Karakteristik mesin yang digunakan seperti kekauan (stiffness) dan sistem damping mesin.

Sedangkan variable-variabel yang merupakan akibat dari perubahan variable-variabel bebas diatas diantaranya adalah:

1. Jenis geram yang dihasilkan.
2. Gaya dan energi yang timbul pada proses pemotongan.
3. Temperature yang timbul pada benda kerja, geram dan pada pahat potong.
4. Keausan dan kerusakan pahat potong.
5. Kehalusan permukaan pada benda kerja setelah pemotongan.



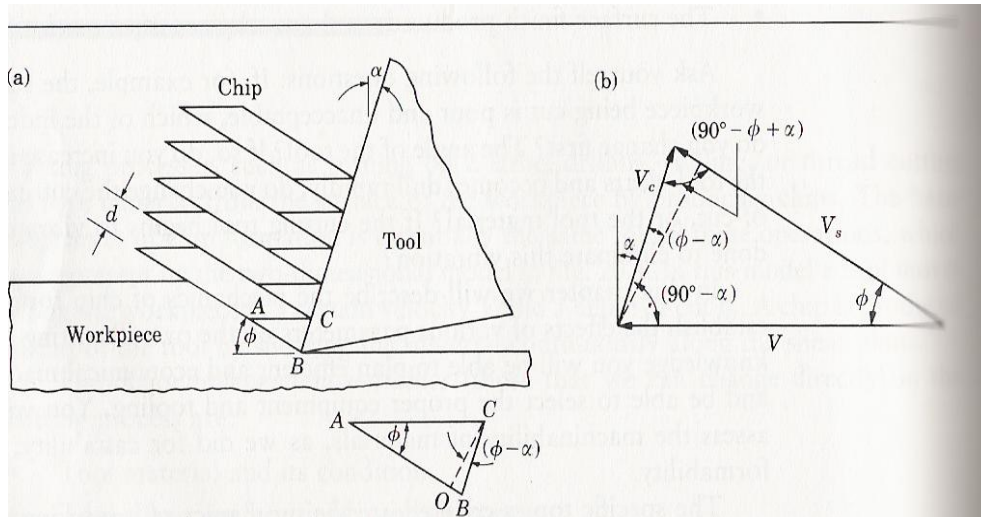
Gambar 2-1 Ilustrasi dua dimensi pada proses pemotongan

Berbagai perubahan dapat dilakukan pada variable-variabel bebas untuk menentukan jenis pemotongan yang diinginkan, misalnya bila ingin mendapatkan permukaan benda kerja yang lebih halus maka kecepatan pemotongan dapat ditingkatkan sedangkan kedalaman pemotongan dikurangi. Berbagai studi dilakukan oleh para ahli teknik manufaktur untuk mencari kombinasi yang tepat pada berbagai pengerjaan dan untuk berbagai jenis bahan benda kerja.

2.2 Konsep Mekanika Pembentukan Geram (Chip Formation)

Walupun pada kenyataannya proses pemesinan dilakukan dengan pisau potong dengan bentuk tiga dimensi namun ilustrasi dua dimensi seperti gambar 2-1 sangat berguna untuk mempelajari dasar dari mekanika pemotongan. Berdasarkan pada gambar di atas pisau potong memiliki sudut potong (rake angle) α dan sudut clearance (sudut bebas).

Dari hasil pengamatan dengan mikroskop diperoleh bahwa geram dihasilkan akibat adanya proses pergeseran (shearing) seperti pada gambar 2-2. Proses pergeseran tersebut berlangsung pada bidang geser membentuk sudut dengan bidang horizontal benda kerja. Dibawah bidang geser ini material mengalami deformasi dan disebelah atas terbentuk geram yang bergerak kearah atas bergesekan dengan permukaan pisau potong selama proses pemotongan berlangsung. Oleh karena adanya kecepatan relative antara pergerakan pisau potong dengan gerakan pembentukan geram maka pada permukaan pisau potong tersebut terjadi gesekan.



Gambar 2-2 Ilustrasi pembentukan bedram pada proses pemotongan

Tebal geram t_c dapat ditentukan dengan mengetahui t_o , α dan Φ . Perbandingan antara t_o dan t_c disebut rasio pemotongan (cutting ratio), yaitu:

$$r = \frac{t_o}{t_c}$$

2.3 Jenis-jenis Bentuk Geram

Bentuk-bentuk geram pada proses pemotongan secara skematik dapat dilihat pada gambar 2-5. Secara garis besar bentuk geram dibedakan menjadi empat, yaitu :

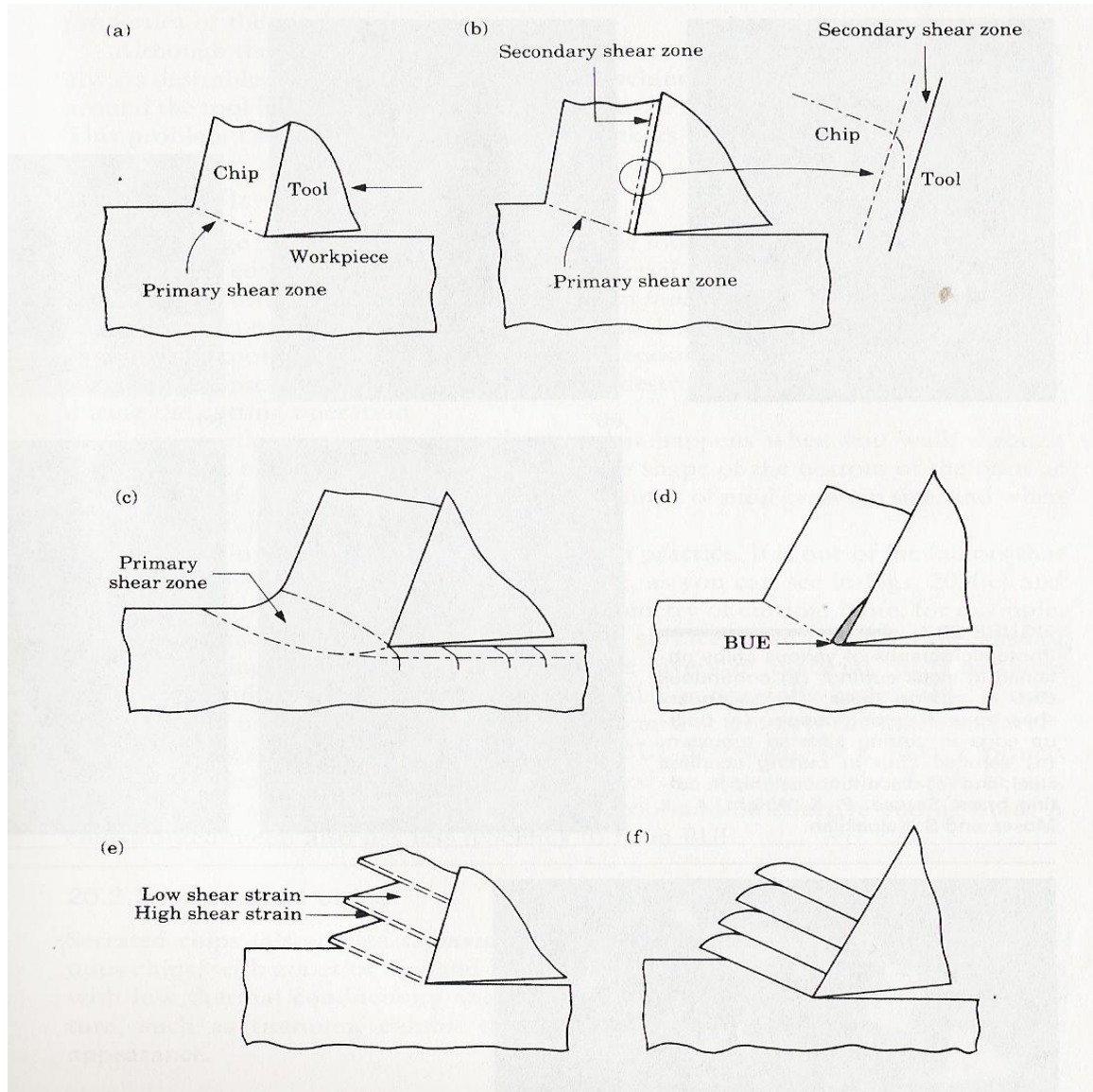
1. Continuous chip (Geram bersambung).
2. Built up edge
3. Serrated
4. Discontinuos

1. Continuos chip

Geram yang bersambung biasanya terbentuk pada pemotongan berkecepatan tinggi atau bila sudut potong pahat besar (gambar 2-3a). Deformasi berlangsung pada daerah geser yang sempit yang disebut zona geser primer. Geram bersambung ini dapat menimbulkan zona geser kedua pada daerah antara pisau potong dan geram itu sendiri (gambar 2-3b) yang disebabkan oleh gesekan. Daerah ini bertambah dalam bila gesekan antara pisau potong dengan geram semakin besar.

Deformasi juga bisa terjadi pada zona geser primer yang lebih lebar yang dibatasi oleh garis melengkung seperti pada gambar 2-3c. Pada gambar terlihat garis batas bawah terdapat di bagian bawah permukaan benda kerja sehingga akan timbul distorsi pada daerah tersebut, situasi ini biasanya timbul pada waktu proses pemotongan logam lunak dengan kecepatan rendah dan sudut rake yang kecil. Hal ini akan menyebabkan permukaan benda kerja menjadi kasar dan menyebabkan timbulnya tegangan sisa pada permukaan yang mempengaruhi properties dari benda tersebut.

Walaupun secara umum geram bersambung dapat menghasilkan permukaan yang bagus, namun hal ini tidak selalu menguntungkan terutama pada mesin otomatis. Geram



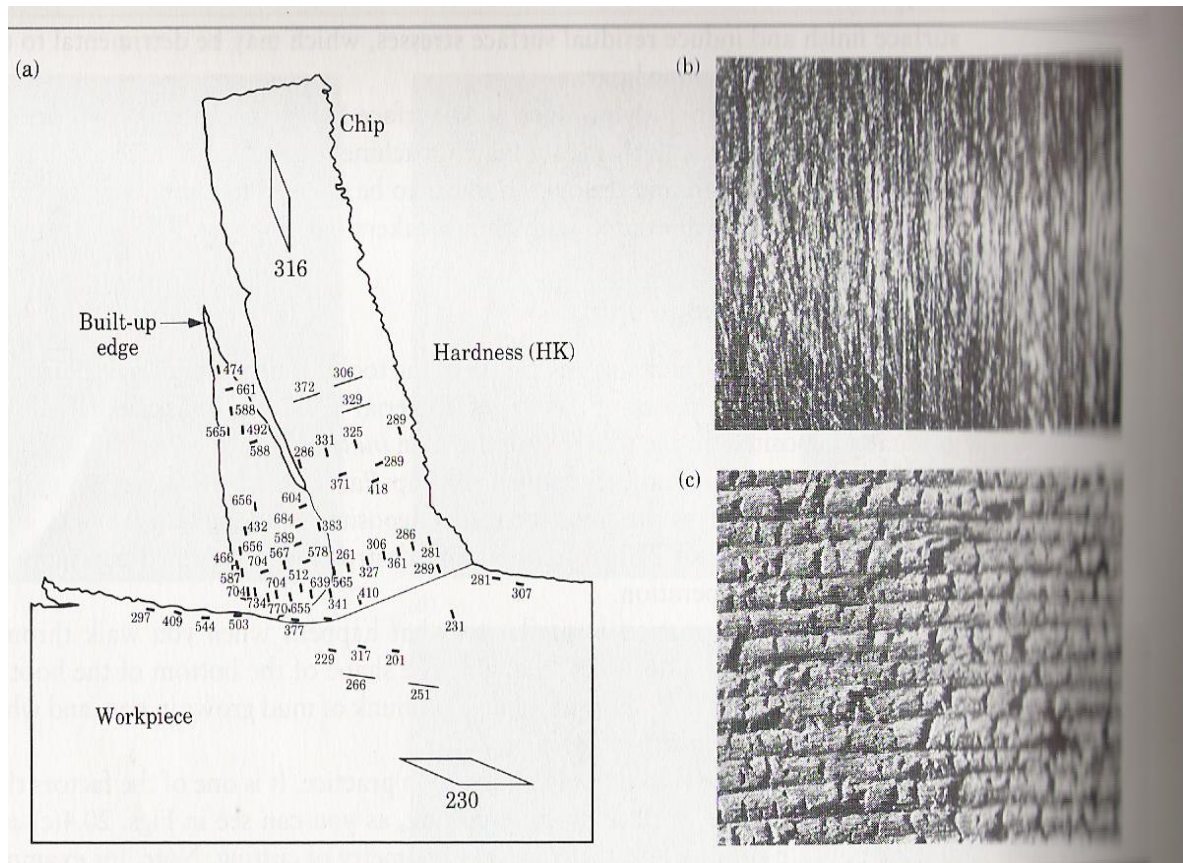
Gambar 2-3 Bentuk-bentuk geram pada proses pemotongan (a) continuous chip dengan zona geser primer yang pendek dan lurus; (b) zona geser kedua; (c) continuous chip dengan zone geser primer yang besar; (d) continuous chip dengan BUE; (e) geram yang tidak homogen; dan (f) geram yang terputus-putus.

tersebut dapat menimbulkan kemacetan pada kedudukan pisau potong, sehingga proses pemotongan harus dihentikan untuk membersihkan geram tersebut.

2. BUE Chip

BUE chip biasanya terbentuk pada ujung pahat potong selama proses pemotongan berlangsung (Gambar 2-3d). Tumpukan geram ini terdiri dari lapisan yang berasal dari bahan benda kerja yang secara terus menerus menempel pada pisau potong. Bila tumpukan lapisan ini semakin banyak maka lapisan ini akan pecah dan sebagian menempel pada benda kerja sehingga mempengaruhi kualitas permukaannya.

BUE dapat ditemui pada hampir semua proses pemotongan dan merupakan salah satu factor yang mempengaruhi kualitas permukaan hasil pemotongan seperti terlihat pada gambar 2-4. Secara umum terjadinya BUE ini akan merubah geometri proses pemotongan, misalnya akibat adanya tumpukan logam ini akan mengakibatkan radius pahat potong menjadi besar sehingga permukaan benda kerja menjadi kasar.



Gambar 2-4 Distribusi kekerasan pada daerah potongan untuk bahan baja 3115; (b) Permukaan hasil proses bubut pada baja 5130 pada saat terjadi BUE dan (c) Permukaan hasil bubut muka pada baja 1018.

Akibat adanya proses pengerasan regangan dan penggumpalan lapisan logam secara terus menerus maka akan menyebabkan BUE menjadi sangat keras (perhatikan nomor kekerasan untuk daerah BUE pada gambar 2-4a). Meskipun secara umum pembentukan BUE ini tidak diinginkan dalam proses pemotongan namun lapisan tipis BUE yang stabil dapat melindungi pahat potong sehingga akan memperpanjang masa pakai pahat tersebut.

Untuk mengurangi timbulnya BUE dapat dilakukan dengan cara meningkatkan kecepatan pemotongan, mengurangi besarnya kedalaman pemotongan, menambah sudut potong pahat (rake angle lebih besar), menggunakan pahat potong yang lebih tajam, dan dengan menggunakan cairan pendingin yang lebih baik.

3. Beram Bergerigi (Serrated Chips)

Beram dengan bentuk bergerigi merupakan beram yang semi kontinyu yang terdiri dari zona regangan geser rendah dan zona regangan geser tinggi (gambar 2-3e). Beram bentuk ini sering terjadi pada pemotongan logam kuat namun konduktivitasnya rendah misalnya titanium.

4. Beram Yang Terputus-putus (Discontinuous chips)

Beram jenis ini adalah beram yang tidak bersambung dan langsung terputus pada saat proses pemotongan (gambar 2-3f). Beram jenis ini biasanya terjadi pada kondisi sebagai berikut:

- Bahan benda kerja yang dipotong bersifat getas dimana bahan getas tidak memiliki sifat yang tahan terhadap regangan tinggi selama pemotongan.
- Bahan benda kerja merupakan campuran bahan-bahan yang keras.
- Bila kecepatan potong terlalu rendah atau terlalu tinggi.
- Kedalaman pemotongan yang terlalu besar dan sudut rake yang kecil.
- Kondisi mesin potong yang kurang stabil (low stiffness).
- Pemakaian cairan pendingin yang kurang efektif.

Oleh karena terjadi pembentukan beram yang terputus-putus maka akan timbul gaya pemotongan yang berubah-ubah, oleh karena itu diperlukan mesin perkakas yang lebih stabil untuk menghindari terjadinya getaran yang berlebihan pada saat proses pemotongan berlangsung. Bila getaran ini tidak bisa ditekan maka hasil pemotongan akan kasar dan akan mengakibatkan kerusakan pada pisau potong.

2.4 Gaya, Tegangan, dan Daya pada Proses Pemotongan

Gaya-gaya yang bekerja pada proses pemotongan dapat dilihat pada gambar 2-4. Gaya pemotongan (cutting force), F_c , bekerja searah dengan arah kecepatan potong V dimana gaya ini diperlukan untuk proses pemotongan. Gaya dorong kebawah (trust force), F_t , bekerja pada garis normal terhadap kecepatan potong yaitu tegak lurus terhadap benda kerja. Kedua gaya tersebut membentuk resultan gaya sebesar R .

Gaya resultan ini dapat diproyeksikan menjadi dua komponen gaya pada permukaan pisau potong yaitu berupa gaya gesek, F , yang bekerja pada interface pahat potong dan beram, dan gaya normal, N , yang arahnya tegak lurus dengan permukaan pahat potong. Dari gambar 2-4 didapat:

$$F = R \sin \beta$$

dan gaya normal N adalah:

$$N = R \cos \beta$$

Gaya resultan R diimbangi oleh dua komponen gaya yang sama namun arahnya berlawanan yang bekerja pada daerah geseran yaitu gaya geser, F_s , dan gaya normal, F_n . Dari hukum keseimbangan gaya maka didapat persamaan antara gaya-gaya tersebut yaitu:

$$F_s = F_c \cos \Phi - F_t \sin \Phi$$

Dan

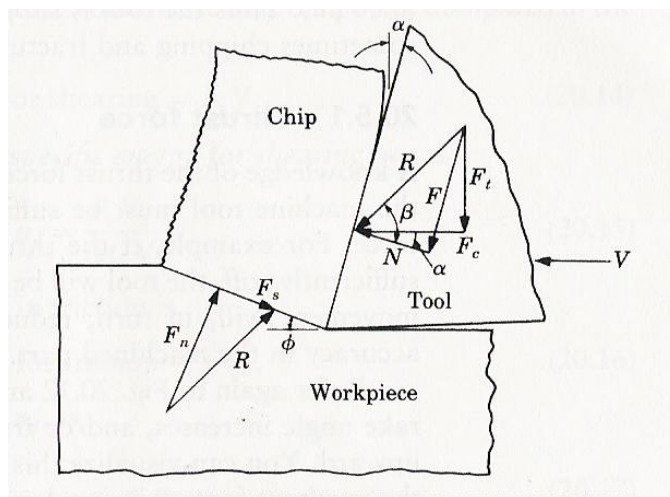
$$F_n = F_c \sin \Phi + F_t \cos \Phi$$

Rasio antara gaya F dan N merupakan koefisien gesek yang terjadi antara permukaan pisau potong dengan permukaan beram, yaitu:

$$\mu = \frac{F}{N} = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \tan \alpha}$$

Koefisien gesek pada proses pemotongan logam berkisar antara 0,5 sampai dengan 2,0. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi gesekan yang besar pada permukaan beram dengan pahat potong.

Meskipun gaya-gaya yang terjadi pada proses pemotongan adalah hanya beberapa ratus Newton namun gaya tersebut dapat menyebabkan tegangan local yang sangat besar pada pahat potong karena kontak areanya sangat kecil, dimana panjang kontakannya rata-rata sekitar 1 mm (0,04 in). Hal inilah yang menyebabkan tegangan yang besar dan mengakibatkan kerusakan pada pisau potong.



Gambar 2-4 Gaya-gaya yang bekerja pada proses pemotongan

Daya pemotongan merupakan perkalian antara gaya potong dengan kecepatan, maka besarnya daya potong dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Daya} = F_c \times V$$

Daya ini terbagi pada daerah geseran (energi diperlukan untuk menggeser material) dan pada permukaan pisau potong (energi akibat gesekan).

Daya yang digunakan untuk menggeser material adalah:

$$\text{Daya Geser} = F_s \times V_s$$

Bila w adalah lebar pemotongan, maka specific energy geser, u_s , adalah:

$$u_s = \frac{F_s V_s}{wt_0 V}$$

Daya yang diperlukan untuk mengantisipasi gesekan adalah:

$$\text{Daya gesek} = F \times V_c$$

Spesific energy untuk gesekan adalah:

$$u_f = \frac{F V_c}{wt_0 V} = \frac{F r}{wt_0}$$

Total specific energy menjadi:

$$u_t = u_s + u_f$$

Pada table 2-1 di bawah ini tertera besarnya energi spesifik yang diperlukan untuk proses pemotongan berbagai jenis bahan benda kerja.

APPROXIMATE ENERGY REQUIREMENTS IN VARIOUS CUTTING OPERATIONS (at drive motor, corrected for 80% efficiency)	
MATERIAL	SPECIFIC ENERGY (W·s/mm ³)*
Aluminum alloys	0.4-1.1
Cast irons	1.6-5.5
Copper alloys	1.4-3.3
High-temperature alloys	3.3-8.5
Magnesium alloys	0.4-0.6
Nickel alloys	4.9-6.8
Refractory alloys	3.8-9.6
Stainless steels	3.0-5.2
Steels	2.7-9.3
Titanium alloys	3.0-4.1

Contoh:

Proses permesinan dilakukan terhadap benda kerja dimana $t_o = 0,005$ in, $V = 400$ ft/min, $\beta = 10^\circ$, dan lebar pemotongan = 0,25 in. Dari hasil pengukuran diketahui $t_c = 0,009$ in, $F_c = 125$ lb dan $F_t = 50$ lb. Tentukan berapa persen energi yang digunakan untuk mengatasi gesekan pada permukaan beram dengan pisau potong.

Penyelesaian:

Prosentasi energi yang digunakan untuk mengatasi gesekan adalah:

$$\frac{\text{Energi untuk gesekan}}{\text{Energi Total}} = \frac{F V_c}{F_c V} = \frac{F r}{F_c}$$

dimana

$$r = \frac{t_o}{t_c} = \frac{5}{9} = 0,555$$

$$F = R \sin \beta$$

$$F_c = R \cos (\beta - \alpha)$$

dan

$$R = \sqrt{F_t^2 + F_c^2} = \sqrt{50^2 + 125^2} = 135 \text{ lb}$$

jadi

$$125 = 135 \cos (\beta - 10) \quad \beta = 32^\circ$$

$$\text{dan } F = 135 \sin 32^\circ = 71,5 \text{ lb}$$

maka

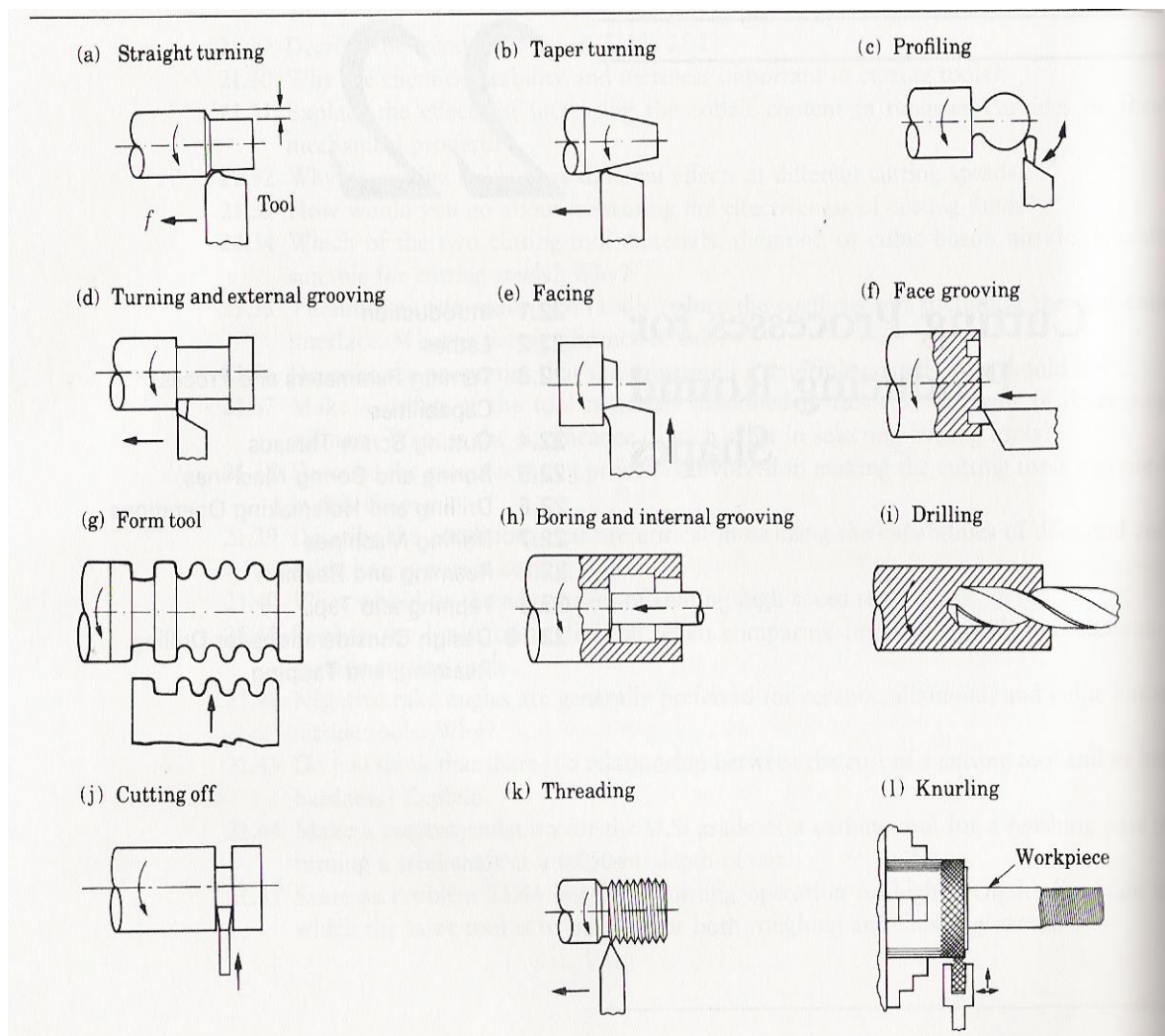
$$\text{Prosentasi} = \frac{(71,5)(0,555)}{125} = 0,32 \quad \text{atau } 32 \%$$

III. PROSES PERMESINAN BENDA BENTUK BULAT

3.1 Pendahuluan

Jenis-jenis produk yang berbentuk silinder atau bulat banyak ditemui pada komponen-komponen mesin dari yang ukuran kecil sampai yang ukuran besar, misalnya dari mulai baut ukuran kecil sampai besar, berbagai jenis poros, piston dan silinder, selongsong senjata, poros turbin, dan sebagainya. Proses pembuatan produk-produk tersebut biasa dilakukan dengan proses pemotongan pada mesin bubut dimana proses berlangsung dengan cara memotong sebagian benda kerja yang berputar pada mesin sementara pisau potongnya diam.

Benda kerja untuk proses bubut merupakan bahan setengah jadi hasil dari proses pengecoran dan pembentukan. Proses bubut dapat dilakukan untuk memotong berbagai bentuk benda kerja seperti pada gambar 3-1.

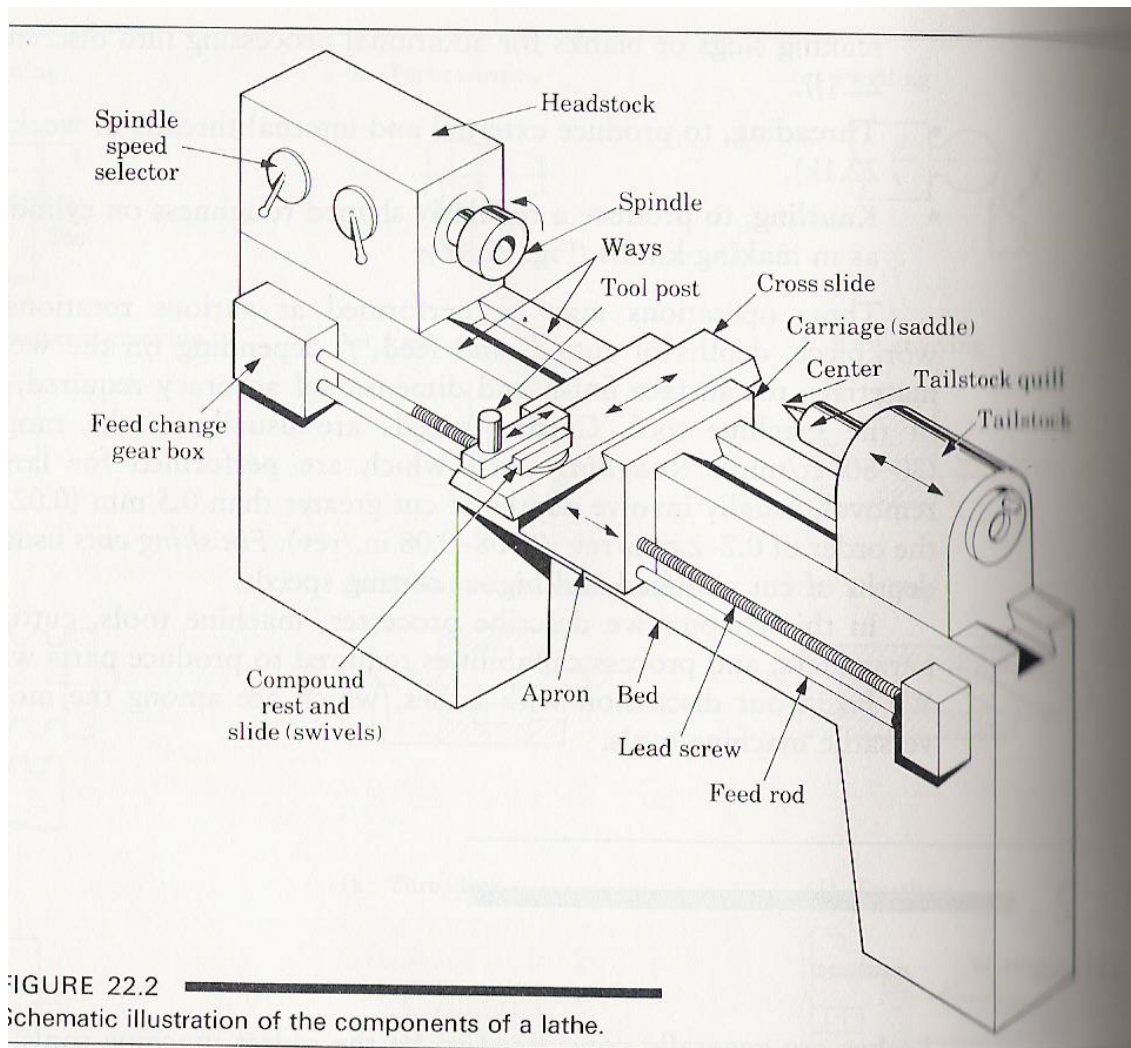


Gambar 3-1 Berbagai jenis proses pemotongan pada mesin bubut.

- Gambar 3-1 a-d merupakan proses bubut lurus, tirus (conical), kurva, dan proses pembuatan alur (grooving).
- Gambar 3-1 e-f adalah proses bubut muka (facing) yaitu meratakan permukaan ujung benda kerja, serta untuk membuat tempat O-ring (oil seal).
- Gambar 3-1 g adalah membuat bentuk benda kerja dengan bentuk tertentu untuk keperluan fungsi maupun penampilan.
- Gambar 3-1 h adalah proses pembesaran lobang dan pembuatan alur pada bagian dalam benda kerja.
- Gambar 3-1 i-j adalah proses pengeboran dan pemotongan benda kerja.
- Gambar 3-1 k-l adalah proses pembuatan baut dan proses knurling.

3-2 Mesin Bubut

Komponen utama dari mesin bubut terdiri dari 5 bagian, yaitu: Landasan (bed), pembawa (carriage), head stock, tailstock, dan poros berulir (lead screw). Komponen-komponen mesin bubut dapat dilihat secara skematik pada gambar 3-2.



Gambar 3-2 Gambar ilustrasi komponen mesin bubut

Landasan (bed) merupakan komponen utama mesin bubut yang berfungsi sebagai penopang/dudukan komponen-komponen lainnya. Landasan ini bersifat kaku dan terbuat dari besi cor dimana pada bagian atasnya dikeraskan supaya tahan gesek dan tahan aus.

Pembawa (carriage) bergerak sepanjang landasan, komponen ini terdiri dari cross-slide, tool post dan apron. Pahat potong dipasang pada tool post dimana posisinya dapat diatur sesuai dengan arah yang diinginkan.

Headstock merupakan tempat dudukan spindle, motor penggerak dan gigi-gigi transmisi pengatur kecepatan. Head stock juga merupakan dudukan tempat pemegang benda kerja (chuck) yang merupakan komponen tambahan pada mesin bubut.

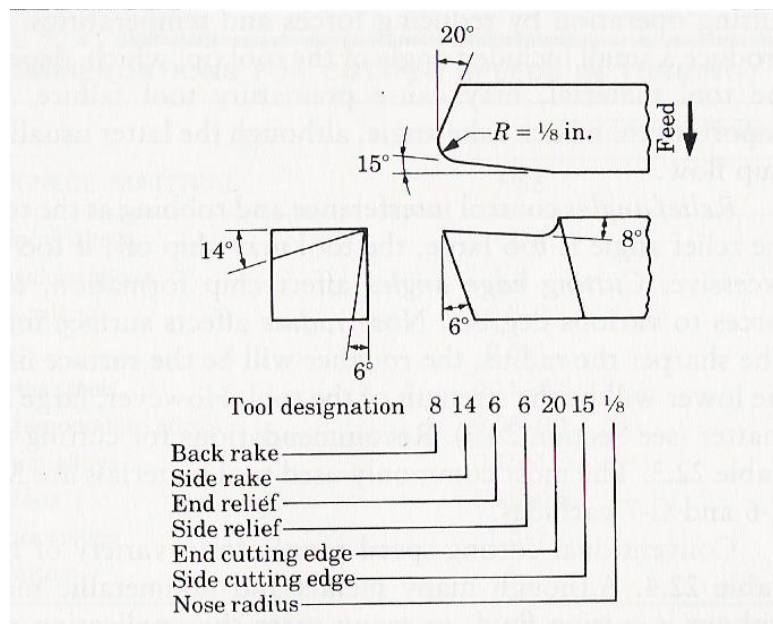
Tailstock merupakan tempat dudukan ujung yang lain dari benda kerja serta berfungsi sebagai titik pusat (center) dari benda kerja.

Poros berulir berfungsi untuk meggerakan carriage (pisau potong) dengan kecepatan yang telah diatur sesuai dengan jenis pemotongan yang diinginkan.

3.3 Parameter Proses Bubut

Parameter-parameter utama yang mempengaruhi proses pembubutan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Bentuk Geometri Pahat Bubut



Gambar 3-3 Sudut-sudut pada pahat bubut

Rake angle, berpengaruh terhadap pengontrolan arah dari aliran beram dan mempengaruhi kekuatan dari mata pisau. Rake angle positif dapat mengurangi gaya yang terjadi dan menurunkan temperature pemotongan.

Cutting edge angle, mempengaruhi pada pembentukan beram, kekuatan pahat, dan gaya pemotongan .

Nose radius, mempengaruhi kehalusan permukaan dan ketahanan mata pisau. Bila radiusnya semakin kecil maka permukaan benda kerja semakin kasar dan ketahanan pahat akan menurun.

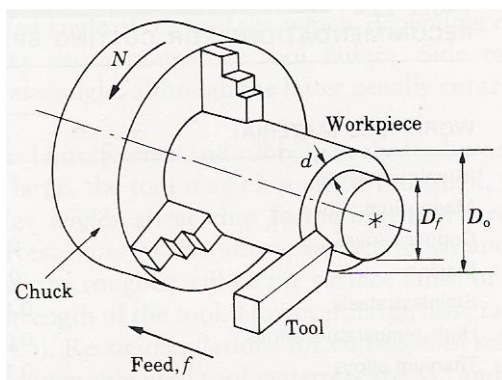
Sebagai patokan dalam menentukan geometri pahat bubut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3-1 Ukuran geometri pahat potong pada proses bubut yang direkomendasikan

MATERIAL	SIDE AND					SIDE AND				
	BACK RAKE	SIDE RAKE	END RELIEF	SIDE RELIEF	END CUTTING EDGE	BACK RAKE	SIDE RAKE	END RELIEF	SIDE RELIEF	END CUTTING EDGE
Aluminum and magnesium alloys	20	15	12	10	5	0	5	5	5	15
Copper alloys	5	10	8	8	5	0	5	5	5	15
Steels	10	12	5	5	15	-5	-5	5	5	15
Stainless steels	5	8-10	5	5	15	-5-0	-5-5	5	5	15
High-temperature alloys	0	10	5	5	15	5	0	5	5	45
Refractory alloys	0	20	5	5	5	0	0	5	5	15
Titanium alloys	0	5	5	5	15	-5	-5	5	5	5
Cast irons	5	10	5	5	15	-5	-5	5	5	15
Thermoplastics	0	0	20-30	15-20	10	0	0	20-30	15-20	10
Thermosets	0	0	20-30	15-20	10	0	15	5	5	15

2. Material Removal Rate (Jumlah Bahan Terbuang)

MMR adalah volume material yang dibuang/dipotong per satuan waktu. Untuk proses turning besarnya MMR dapat dihitung dari gambar berikut:



Gambar 3-4 Ilustrasi proses bubut, dimana d = kedalaman pemotongan, dan f = pemakanan.

$$MRR = (\pi) (D_{avg})(d)(f)(N)$$

Dimana:

$$D_{\text{avg}} = (D_o + D_f)/2$$

f = pemakanan (mm/putaran)

N = jumlah putaran benda kerja per menit (rpm).

3. Kecepatan Potong, Pemakanan, Kedalaman Pemotongan, dan Waktu Pemotongan.

Kecepatan pemotongan (cutting speed) adalah kecepatan pemotongan pada permukaan kontak antara benda kerja dengan pisau potong.

$$V = \pi D_o N \quad (\text{m/s})$$

dimana: D_o = diameter luar benda kerja

N = putaran benda kerja (rpm)

Pemakanan (feed) adalah tebalnya pemotongan setiap satu putaran benda kerja. Besarnya pemakanan ini ditentukan oleh jenis poros berulir pada mesin bubut. Satuan dari pemakanan adalah mm/revolution.

Kedalaman pemotongan (depth of cut) adalah tebal bahan yang dipotong setiap satu siklus pengerjaan, satuannya adalah mm.

Waktu pemotongan (cutting time) waktu yang diperlukan untuk memotong benda kerja sepanjang L dalam satu kali operasi, dinyatakan dengan:

$$t = \frac{L}{fN} \quad \text{dimana } f = \text{pemakanan}$$

Kecepatan pemotongan yang disarankan pada proses bubut dapat dilihat pada tabel 3-2.

Tabel 3-2 Kecepatan pemotongan yang disarankan

WORKPIECE MATERIAL	CUTTING SPEED (m/s)	
	HSS	WC
Aluminum alloys	3–4	5–7
Magnesium alloys	4	10
Copper alloys	0.5–2	1–5
Steels	0.5–1	1–3
Stainless steels	0.15–0.5	1–2
High-temperature alloys	0.05–0.1	0.15–0.3
Titanium alloys	0.15–1	0.5–2
Cast irons	0.15–0.5	0.5–2
Thermoplastics	1.5–2	2–3
Thermosets	1–2	1–4

Note: (a) Depth of cut is usually 4 mm for rough turning and 0.7 mm for finish turning.
 (b) Feeds for rough turning range from 0.2 mm/rev for materials with high hardness, to 2 mm/rev for lower hardness. Finishing cuts require lower feeds.
 (c) Cutting speeds are for uncoated tools. Speeds for coated tools are from 25–75 percent higher.
 (d) Cutting speeds for ceramic tools can be 2–3 times higher than the values indicated.
 (e) Cutting speed for diamond tools is usually 4–15 m/s, depth of cut 0.05–0.2 mm, and feed 0.02–0.05 mm/rev.
 (f) As hardness increases, cutting speed, feed, and depth of cut should be decreased.
 (g) Speeds for free-machining metals are higher than those indicated.
 (h) Speeds for other cutting processes are generally lower by as much as 75 percent.

CONTOH PERHITUNGAN:

Benda kerja terbuat dari stainless steel seri 304 dengan panjang 150 mm dan diameternya 12 mm dibubut menjadi diameter 11,2 mm. Putaran spindle mesin bubut adalah $N = 400$ rpm dan pisau potong bergerak arah aksial dengan kecepatan 200 mm/min. Tentukan:

1. Kecepatan pemotongan
2. Jumlah material terpotong (MRR)
3. Waktu pemotongan
4. Daya yang diperlukan
5. Gaya pemotongan.

SOLUSI:

a. Kecepatan Pemotongan

$$V = \pi D_o N$$
$$= (3,14)(0,012 \text{ m})(400 \text{ rpm}) = 15,072 \text{ m/menit} = 0,25 \text{ m/s}$$

b. MRR

Kedalaman pemotongan adalah: $d = (12 \text{ mm} - 11,2 \text{ mm}) / 2 = 0,4 \text{ mm}$

Pemakanan (feed) adalah: $f = (200 \text{ mm/min}) / 400 \text{ rpm} = 0,5 \text{ mm/putaran}$

Diameter rata-rata: $D_{avg} = (12 \text{ mm} + 11,2 \text{ mm})/2 = 11,6 \text{ mm}$

$$MRR = (\pi) (D_{avg})(d)(f)(N)$$
$$= (3,14)(11,6 \text{ mm})(0,4 \text{ mm})(0,5 \text{ mm/put})(400 \text{ rpm})$$
$$= 2913,92 \text{ mm}^3/\text{minute} = 48,6 \text{ mm}^3/\text{detik}$$

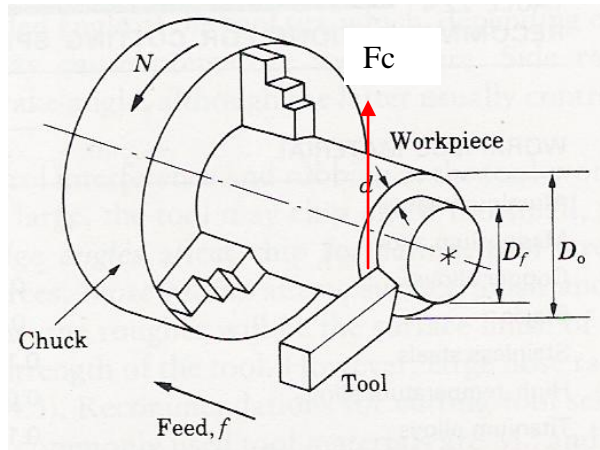
c. Waktu Pemotongan

$$t = L/fN$$
$$= (150 \text{ mm})/(0,5 \text{ mm/put})(400 \text{ rpm}) = 0,75 \text{ menit} = 45 \text{ detik}$$

d. Daya dapat dihitung dengan mengacu ke Tabel dan ambil harga rata-rata spesifik energi untuk bahan stainless steel yaitu:

$$\text{Specific energy} = 4 \text{ W.s/mm}^3$$

$$\text{Daya potong yang diperlukan} = \text{Spesifik Energi} \times \text{MRR}$$
$$= (4 \text{ W.s/mm}^3)(48,6 \text{ mm}^3/\text{s})$$
$$= 194,4 \text{ watt}$$



e. Gaya Pemotongan

Gaya pemotongan adalah gaya tangensial pada titik potong benda kerja yang disebabkan oleh gerakan pahat potong.

Oleh karena daya merupakan perkalian antara torsi T dan besarnya putaran (dalam radian) per unit waktu, maka:

$$T = (\text{Daya}) / (\text{rpm} \times 2\pi)$$

$$= (194,4 \text{ watt}) / (400 \text{ rpm})(2 \times 3,14) = 0,0774 \text{ watt.min} = 4,64 \text{ N.m}$$

Oleh karena $T = (F_c)(D_{avg}/2)$, maka didapat:

$$F_c = (4,64 \text{ Nm}) / (0,0116 \text{ m} / 2) = 800,6 \text{ N}$$

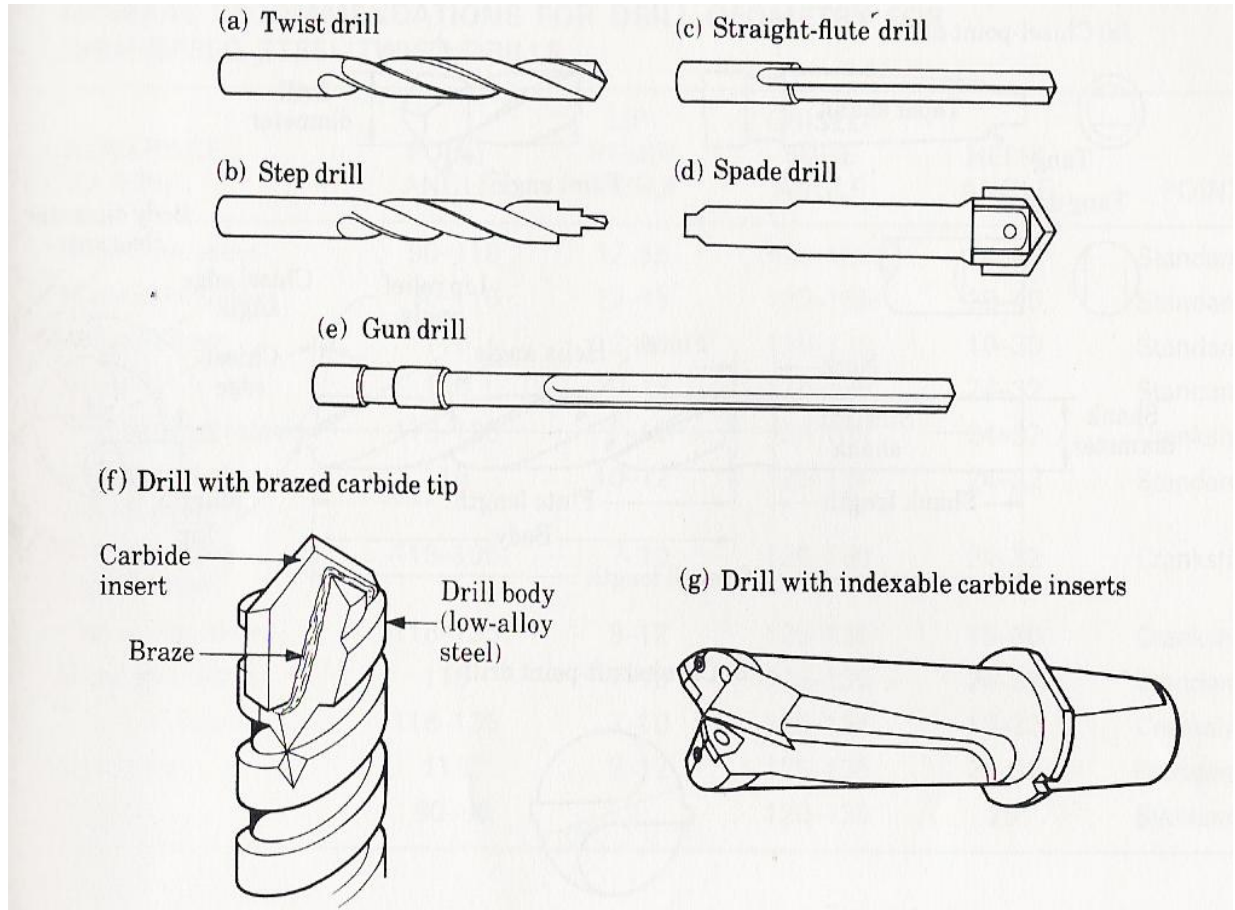
3.4 Hal-hal yang Perlu Diperhatikan Dalam Perencanaan Proses Bubut

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan suatu proses bubut diantara adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang akan dibubut harus dirancang supaya mudah di cekam pada chuck. Benda-benda tipis berbentuk pelat sangat sukar ditempatkan pada chuck sehingga proses bubut untuk bahan pelat supaya dihindari.
2. Toleransi ukuran supaya tidak terlalu kecil sehingga masih memungkinkan dapat diproses dengan proses bubut.
3. Sudut-sudut tajam pada komponen supaya dihindari oleh karena tidak semua bentuk sudut bisa dijangkau oleh pisau potong.
4. Ukuran material yang akan dibubut diusahakan sedekat mungkin kepada ukuran benda kerja supaya jumlah langkah proses pembubutan bisa dikurangi.
5. Bentuk komponen yang akan dibubut harus direncanakan agar bisa menggunakan bentuk pahat standar yang ada di pasaran.
6. Bahan benda kerja harus dipilih dimana bahan tersebut memiliki kemampuan mesin (machinability) yang baik.

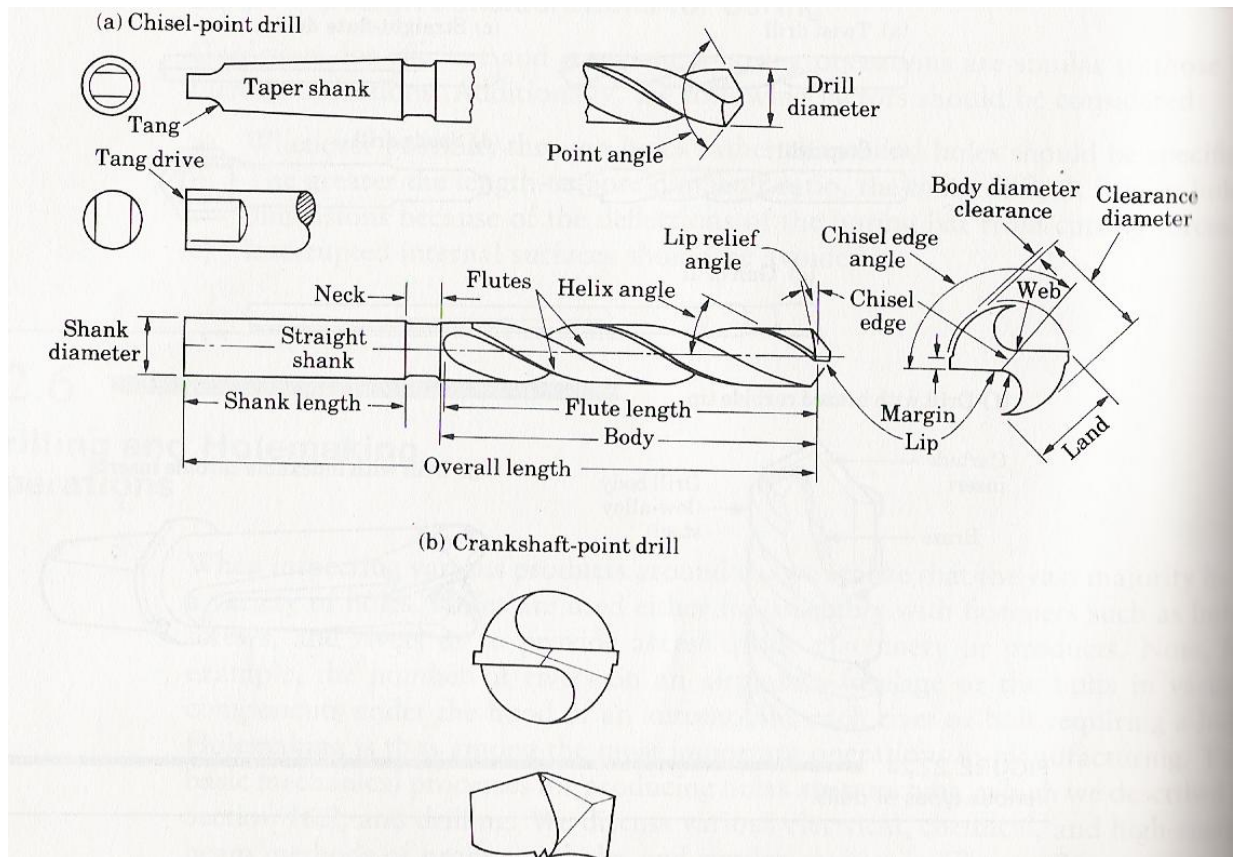
3.5 Proses Drilling

Proses pembuatan lubang pada benda kerja yang biasa dilakukan dengan proses pengeboran (drilling) merupakan proses penting dalam proses permesinan. Proses ini biasa dilakukan dengan menggunakan mata bor (twist drill) dengan berbagai bentuk seperti yang diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3-5 berbagai jenis mata bor.

Mata bor yang paling populer dipergunakan dalam permesinan adalah mata bor jenis standard-point yang digunakan untuk pemakaian biasa. Mata bor jenis ini terdiri dari empat bagian utama yaitu *point-angle*, *lip-relief angle*, *chisel-edge angle*, dan *helix angle* (gambar 3-6). Besarnya ukuran sudut mata bor yang direkomendasikan untuk bahan HSS dapat dilihat pada tabel 3-3.

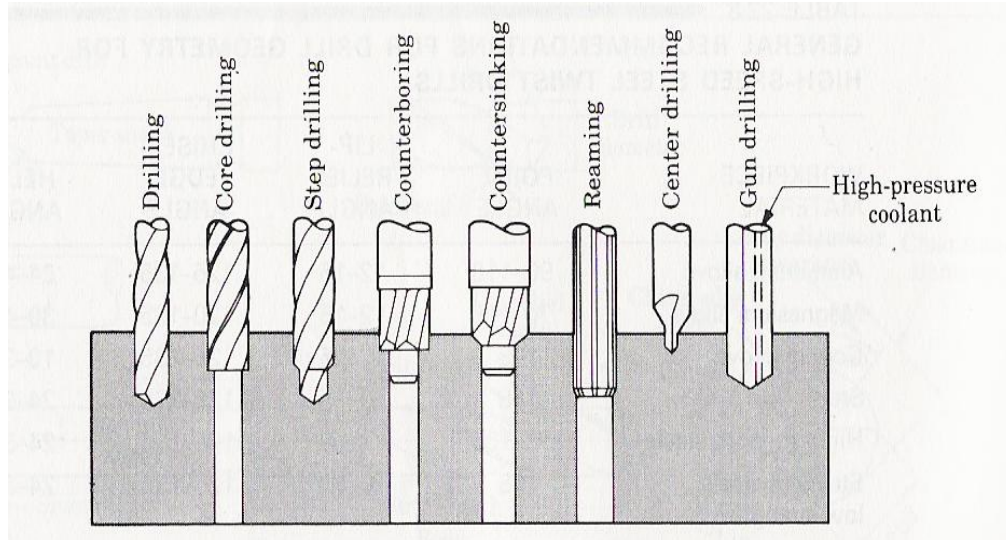


Gambar 3-6 Bagian-bagian utama mata bor standard-point

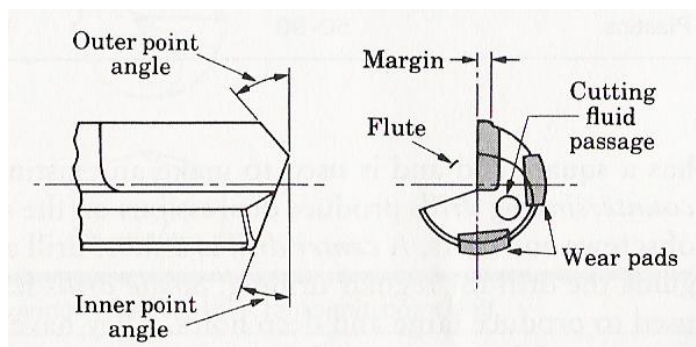
Tabel 3-3 Ukuran sudut mata bor yang direkomendasikan untuk bahan pahat HSS

WORKPIECE MATERIAL	POINT ANGLE	LIP-RELIEF ANGLE	CHISEL-EDGE ANGLE	HELIX ANGLE	POINT
Aluminum alloys	90-118	12-15	125-135	24-48	Standard
Magnesium alloys	70-118	12-15	120-135	30-45	Standard
Copper alloys	118	12-15	125-135	10-30	Standard
Steels	118	10-15	125-135	24-32	Standard
High-strength steels	118-135	7-10	125-135	24-32	Crankshaft
Stainless steels, low strength	118	10-12	125-135	24-32	Standard
Stainless steels, high strength	118-135	7-10	120-130	24-32	Crankshaft
High-temp. alloys	118-135	9-12	125-135	15-30	Crankshaft
Refractory alloys	118	7-10	125-135	24-32	Standard
Titanium alloys	118-135	7-10	125-135	15-32	Crankshaft
Cast irons	118	8-12	125-135	24-32	Standard
Plastics	60-90	7	120-135	29	Standard

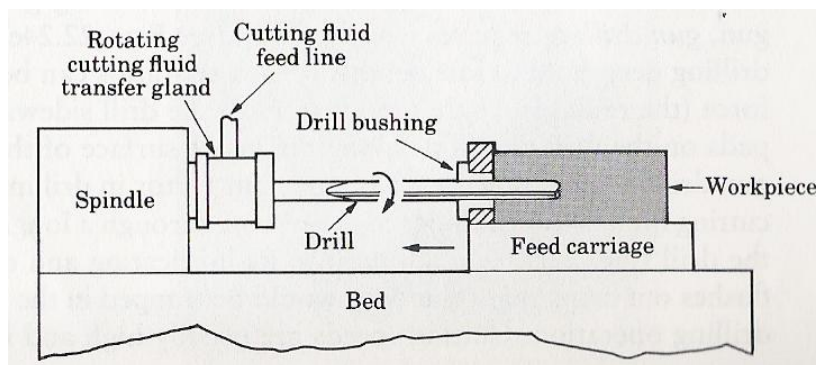
Jenis-jenis mata bor yang lainnya yang biasa dipergunakan pada proses permesinan diantaranya adalah: *Step drill* untuk membuat lubang dengan dua tau lebih diameter yang berbeda misalnya pada proses counterboring dan countersinking drill untuk membuat dudukan kepala baut, *center drill* untuk membuat titik pusat lubang, *spade-drill* adalah mata bor yang dapat digunakan untuk membuat lubang bor yang besar dan dalam, *crankshaft drill* untuk mengebor benda kerja yang lebih kuat misalnya paduan titanium, dan *gun drill* untuk membuat lubang senjata.



Gambar 3-7 Berbagai jenis proses pengeboran



Gambar 3-8 Gun drill



Gambar 3-9 Metode pembuatan lubang pada senjata

Proses gun-drilling:

1. Rasio kedalaman lubang terhadap diameter lubang dapat mencapai lebih dari 300.
2. Bearing pad (bantalan penahan) pada mata bor jenis gun-drill berfungsi untuk menahan gaya radial yang arahnya kesamping sehingga akan dihasilkan lubang yang dalam dengan tingkat presisi yang tinggi.
3. Pada mata bor terdapat lubang untuk mengalirkan cairan pendingin dimana disamping berfungsi sebagai pendingin cairan ini membantu mengeluarkan serpihan dari benda kerja.

MRR Pada Proses Drilling

Material removal rate pada proses drilling adalah perbandingan antara volume material yang terbuang dibandingkan dengan waktu, yaitu:

$$MRR = \frac{\pi D^2}{4} fN$$

dimana: D = diameter bor

f = feed

N = rpm (putaran bor)

Trust Force dan Torsi Pada Drilling

Trust force (gaya pengeboran) pada proses drilling bekerja dengan arah tegak lurus sumbu lubang. Bila gaya yang timbul terlalu besar maka akan mengakibatkan mata bor bengkok atau patah. Untuk menentukan gaya pengeboran dan torsi yang diperlukan dapat dilakukan dengan memakai tabel 2-1 dan besarnya MRR.

Contoh:

Proses drilling dilakukan pada bahan paduan magnesium dengan diameter bor sebesar 10 mm, dengan pemakanan sebesar 0,2 mm/rev. Spindel bor berputar pada kecepatan N = 800 rpm. Tentukan MRR dan besarnya torsi pada bor.

Solusi:

$$\begin{aligned} \text{Material Removal Rate (MMR)} &= (\pi)(10)^2/4 (0,2)(800) \\ &= 12.570 \text{ mm}^3/\text{min} = 210 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Dari tabel 2-1 diperoleh specific energi untuk bahan paduan magnesium adalah: 0,5 watt.s/mm³, maka daya yang diperlukan adalah:

$$\text{Daya} = (210)(0,5) = 105 \text{ watt.}$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi} &= \text{Daya} / \text{rpm} \times 2 \pi = 105 \text{ watt} / (800 \times 3,14 \times 2 / 60) \\ &= 1,25 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Kecepatan putaran mata bor pada proses drilling bisa mencapai 30.000 rpm untuk diameter mata bor kurang dari 1 mm dan untuk kecepatan potong serta besarnya pemakanan pada proses drilling yang direkomendasikan dapat dilihat pada tabel 3-4 dibawah ini:

Tabel 3-4 Besarnya feed dan speed yang direkomendasikan pada proses drilling

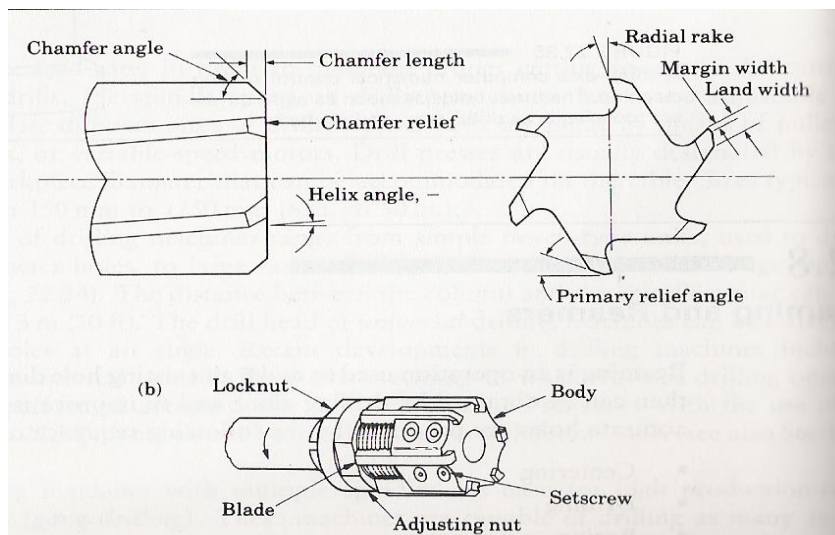
WORKPIECE MATERIAL	SPEED (m/s)	FEED (mm/rev)	
		DRILL DIAMETER (mm)	
		1.5	50
Aluminum alloys	0.5–2	0.025	0.75
Magnesium alloys	0.75–2	0.025	0.75
Copper alloys	0.25–1	0.025	0.65
Steels	0.3–0.5	0.025	0.75
Stainless steels	0.2–0.3	0.025	0.45
Titanium alloys	0.1–0.3	0.01	0.3
Cast irons	0.3–1	0.025	0.75
Thermoplastics	0.5–1	0.025	0.3
Thermosets	0.3–1	0.025	0.4

Note: As hole depth increases, speeds and feeds should be reduced.

3.6 Proses Reaming

Proses reaming adalah proses penghalusan lubang hasil proses pengeboran sehingga ukuran lubang tersebut lebih akurat. Langkah-langkah proses pembuatan lubang yang lebih akurat tersebut dilakukan dengan tahap-tahap mulai dari proses centering – proses drilling – proses boring – proses reaming.

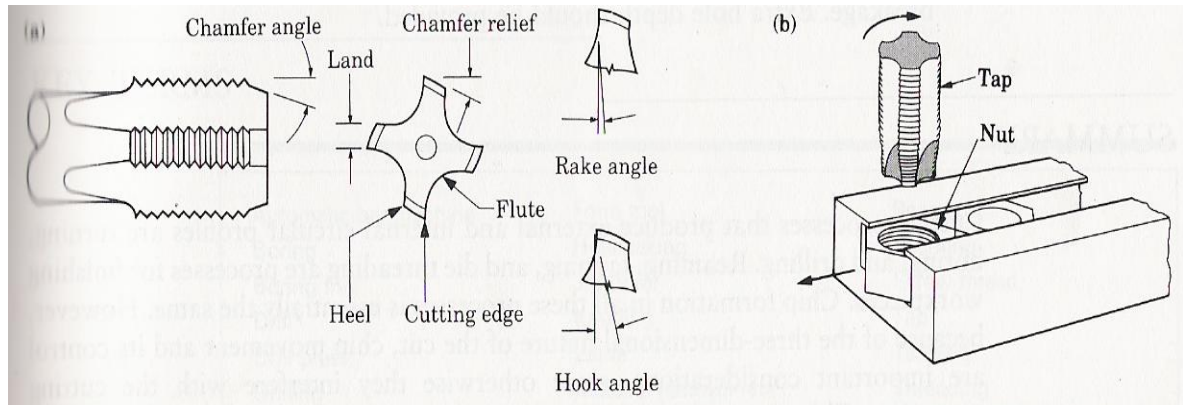
Pisau reamer (gambar 3-8) adalah pisau potong untuk proses finishing pada lubang dengan jumlah mata pisaunya lebih dari satu, baik dengan bentuk lurus maupun helical. Seperti halnya pahat bubut, bahan pisau reamer terbuat dari HSS dan Carbide.



Gambar 3-8 (a) bagian-bagian pisau reamer, (b) pisau reamer yang bisa distel

3.7 Proses Tapping

Proses tapping adalah proses pembuatan ulir pada lubang yang dibuat pada proses drilling. Bentuk ulir sendiri terbentuk mengikuti alur ulir pada pisau taper yang biasa terdiri dari tiga atau empat gigi/flutes (gambar 3-9).



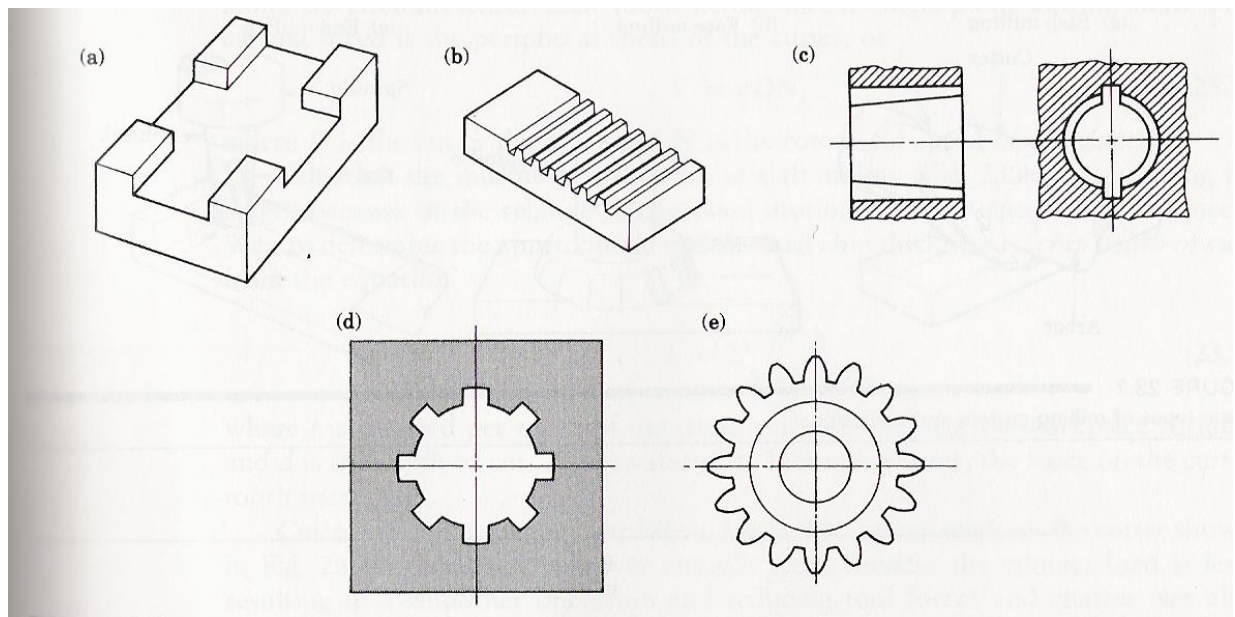
Gambar 3-9 (a) Geometri pisau tap, (b) Produksi baut

IV. PROSES PERMESINAN BERBAGAI BENTUK KOMPONEN

Proses permesinan benda kerja untuk komponen-komponen mesin yang tidak bulat diantaranya dilakukan dengan proses:

- Milling (frais)
- Planing (skrap) and Shapping
- Broaching
- Sawing (gergaji)
- Filling (kikir)

Contoh produk yang diproses dengan cara di atas dapat dilihat pada gambar 4-1 berikut:



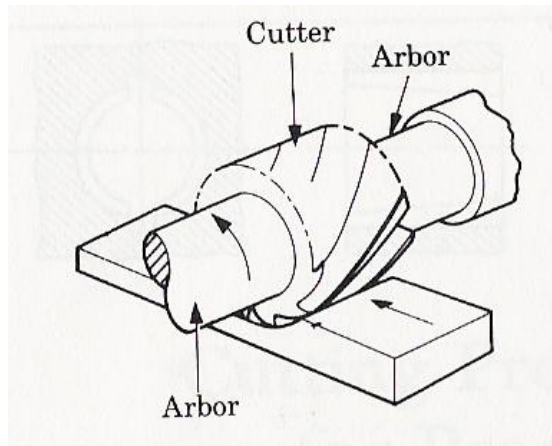
Gambar 4-1 Berbagai jenis bentuk benda kerja hasil proses permesinan.

4.1 Proses Milling

Proses milling terdiri dari beberapa jenis yang dibedakan dari bentuk prses pengerjaannya, diantaranya adalah:

1. Slab milling (frais datar)
2. Face milling (frais muka)
3. End milling
4. Proses milling lainnya seperti : straddle milling, form milling, slotting, dan slitting.

1. Slab Milling



Gambar 4-2 Slab milling

Pada slab milling :

Sumbu putar pisau potong parallel dengan permukaan benda kerja yang akan dipotong.

Pisau potong memiliki jumlah gigi potong yang banyak dimana setiap mata gigi berfungsi sebagai single-point cutting tool.

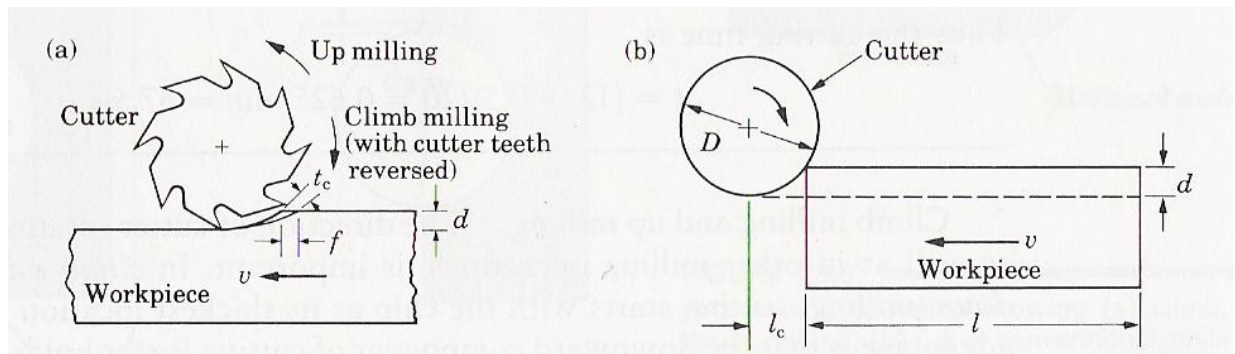
Kecepatan potong pada slab milling dalah kecepatan keliling pisau potong pada diameter terluarnya, yaitu:

$$V = \pi DN \quad \text{-----} \quad \begin{array}{l} D = \text{diameter pisai potong} \\ N = \text{kecepatan putaran pisau (rpm)} \end{array}$$

Tebal beram pada proses slab milling besarnya bervariasi karena adanya gerakan relative antara pisau dan benda kerja (gambar 4-3). Besarnya tebal beram ini dapat dihitung dengan persamaan:

$$t_c = 2f \sqrt{\frac{d}{D}}$$

f = pemakan setiap mata pisau
d = keadalaman pemotongan



Gambar 4-3 (a) Proses slab milling (b) panjang lintasan pisau frais

Besarnya pemakanan setiap mata pisau adalah:

$$f = \frac{v}{Nn} \quad (\text{in, mm/mata pisau})$$

v = kecepatan gerakan benda kerja

n = jumlah mata pisau

Waktu pemotongan adalah:

$$t = \frac{(l + l_c)}{v} \quad (\text{detik, menit})$$

Material removal rate:

$$MMR = \frac{lwd}{t} = wdv \quad (\text{in}^3, \text{mm}^3/\text{det})$$

w = lebar benda kerja

Down-milling ----- pemotongan dimulai dari ketebalan beram yang paling besar. ---- slab-milling benda kerja yang tipis.

Up-milling ----- proses konvensional

CONTOH PERHITUNGAN:

Proses slab milling dilakukan pada benda kerja dari bahan mild-steel (baja menengah) dengan ukuran panjang 12 in dan lebar 4 in. Proses dilakukan dengan besar pemakanan $f = 0,01$ in/mata pisau dan kedalaman pemotongan $d = 1/8$ in. Diameter pisau potong adalah $D = 2$ in dan jumlah giginya adalah 20, berputar pada putaran $N = 100$ rpm. Bila lebar pisau potong lebih lebar dari benda kerja, tentukan:

- MMR (material removal rate).
- Daya yang diperlukan.
- Batu pemotongan.

SOLUSI:

Kecepatan gerakan benda kerja:

$$v = fNn = (0,01)(100)(20) = 20 \text{ in/menit}$$

Material Removal rate:

$$\text{MMR} = wdv = (4 \text{ in})(1/8 \text{ in})(20 \text{ in/menit}) = 10 \text{ in}^3/\text{menit}$$

Dari tabel didapat specific energy untuk baja menengah adalah $3 \text{ watt.s/mm}^3 = 1,1 \text{ Hp.min/in}^3$, sehingga daya yang diperlukan pada proses adalah:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \text{Spesific energy} \times \text{MMR} \\ &= (1,1)(10) = 11 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Waktu pemotongan (lihat gambar 4-3) adalah:

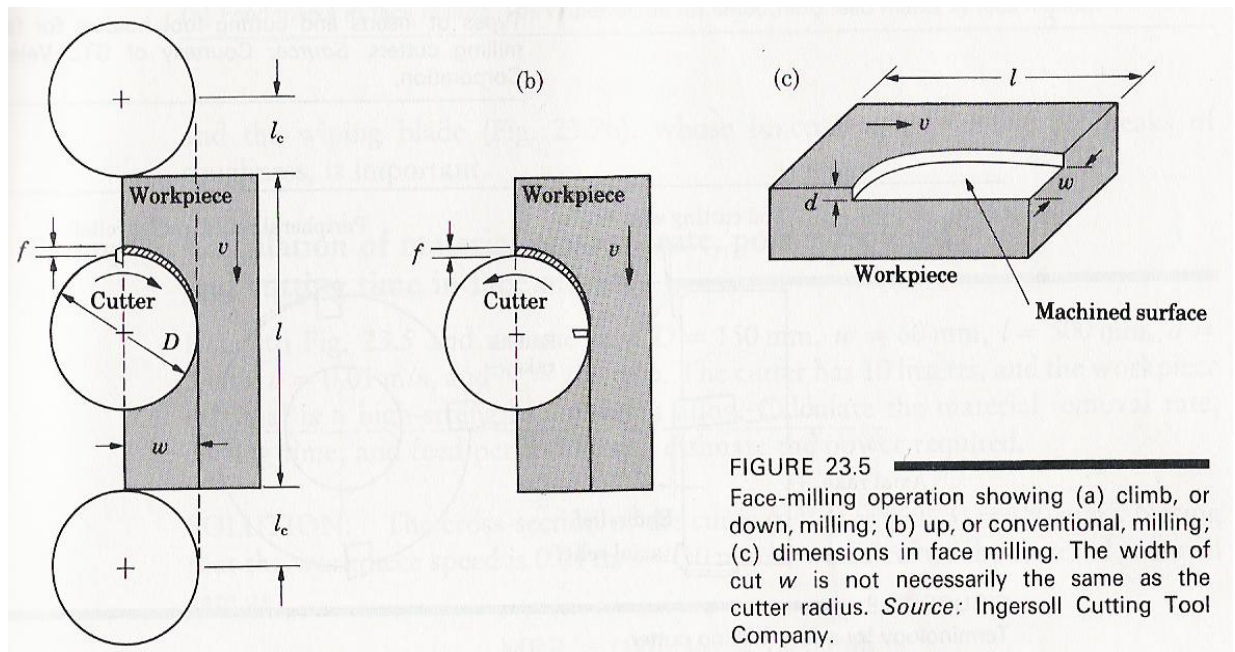
$$l_c = \sqrt{Dd} = \sqrt{(2)\left(\frac{1}{8}\right)} = 0,5 \text{ in}$$

$$t = (12 + 0,5)/20 = 0,625 \text{ min} = 37,5 \text{ detik}$$

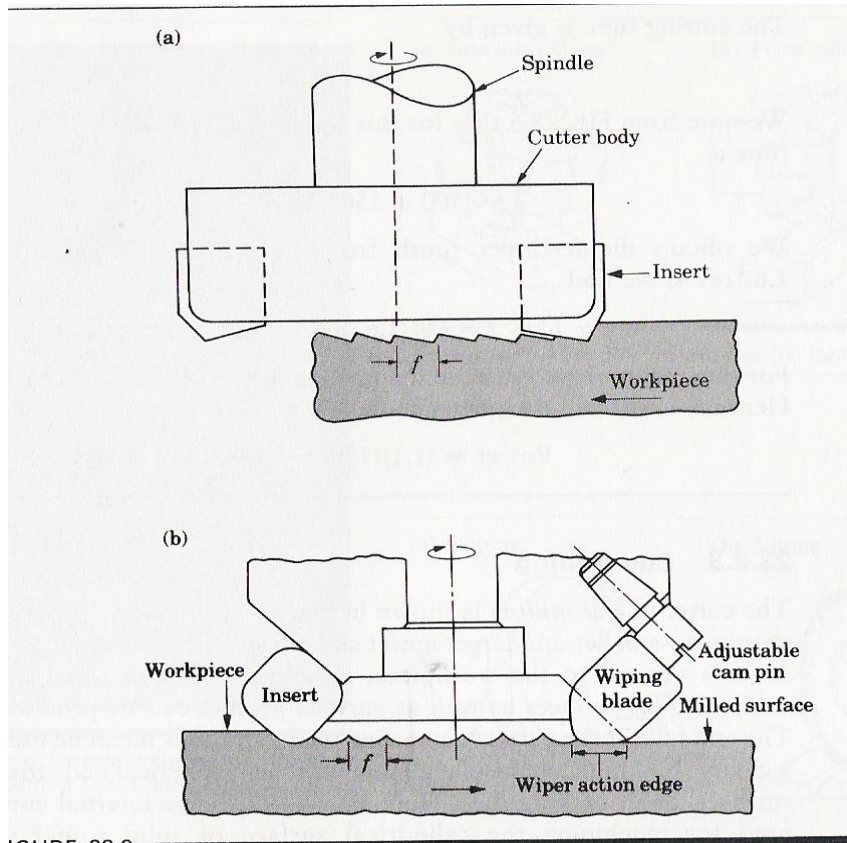
4.2 Face Milling (Frais muka)

Face milling:

- ❖ Sumbu putara pisau potong tegak lurus dengan permukaan benda kerja.
- ❖ Pisau berputar dengan kecepatan putar N dan benda kerja bergerak lurus dengan kecepatan v .
- ❖ Face milling bisa dilakukan dengan down-milling dan up-milling (gambar 4-4).
- ❖ Oleh karena adanya gerakan relative antara mata pisau dan benda kerja maka permukaan benda kerja yang dihasilkan kurang halus (adanya feed mark).(gambar 4-5a). Hal ini dapat diatasi dengan memasang mata pisau penghalus (wiping blade) pada pisau frais (gambar 4-5b).



Gambar 4-4 Proses face milling



Gambar 4-5 (a) Feed mark, (b) wiper blade

CONTOH:

Bila diketahui $D = 150$ mm, $w = 60$ mm, $l = 500$ mm, $d = 3$ mm, $v = 0,01$ m/s, dan $N = 100$ rpm (gambar 4-4). Pisau pemotong memiliki 10 mata pisau (insert) dan bahan benda kerja adalah padua aluminum kekuatan tinggi. Tentukan: MMR, waktu pemotongan, pemakanan per gigi, dan daya yang diperlukan.

SOLUSI:

Luas penampang pemotongan adalah $w \times d = 60 \times 3 = 180$ mm², kecepatan benda kerja bergerak adalah $v = 0,01$ m/s = 10 mm/s, maka material removal rate adalah:

$$\text{MMR} = 180 \times 10 = 1800 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Waktu pemotongan:

$$t = (l + 2lc)/v$$

dari gambar dapat dilihat $l_c = D/2$ yaitu 75 mm, maka waktu pemotongan adalah:

$$t = (500 + 150)/10 = 65 \text{ detik}$$

feed per gigi $f = 10/(1.67)(10) = 0,6 \text{ mm/gig.}$

Daya yang diperlukan berdasarkan tabel specific energy = $1,1 \text{ watt.s/mm}^3$ adalah:

$$\text{Daya} = (1,1)(1800) = 1980 \text{ watt} = 1,98 \text{ kW}$$

4.3 End Milling

Proses end milling (gambar 4-6) :

- Posisi pisau vertical
- Bisa untuk pemotongan permukaan rata atau profil

4.4 Jenis Proses Milling Lainnya

Straddle Milling ---- Dua taulebih pisau potong dipasang secara bersamaan untuk memotong benda kerja secara parallel.

Form Milling ----- proses milling benda kerja dengan bentuk profil tertentu, termasuk proses pembuatan roda gigi.

Slotting ----- membuat alur dengan pisau frais (T-slot)

Slitting ----- memotong benda kerja dengan pisau frais.