

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, bahan baja mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari terutama pada bidang industri yang mengalami kemajuan yang sangat pesat, hal ini sangatlah berpengaruh terhadap industri-industri yang menggunakan bahan besi baja atau logam sebagai bahan utama operasional maupun sebagai bahan baku produksinya. Setiap logam mempunyai karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan kegunaannya, maka diperlukan suatu penanganan yang berbeda pada setiap logam agar setiap elemen-elemen logam tersebut dapat digunakan sesuai yang diinginkan. Logam banyak digunakan terutama untuk membuat alat-alat perkakas, alat-alat pertanian, komponen-komponen otomotif, alat dan komponen pemesinan, hingga kebutuhan rumah tangga. Dalam pengaplikasiannya semua struktur logam akan terkena pengaruh gaya dari luar sehingga beberapa diantaranya dapat menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Dalam beberapa kasus bahan logam juga sering digunakan pada dunia industri, khususnya industri yang bergerak dalam bidang teknik pemesinan.

Kualitas produk manufaktur proses pemesinan selalu dikaitkan dengan dimensi, toleransi, dan nilai dari produk yang dihasilkan. Oleh karena itu, dibutuhkan mesin yang dapat menghasilkan produk dengan kualitas terbaik, salah satunya adalah penggunaan mesin CNC (Computer Numerically Control). Mesin ini memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan mesin konvensional,

diantaranya mempunyai ketelitian tinggi, ketepatan dimensi, waktu produksi yang lebih efektif, dan produktivitas tinggi. Salah satu jenis mesin CNC yang digunakan adalah mesin CNC milling, yaitu mesin milling yang diprogram secara numerik dengan komputer.

Dalam teknik pemesinan nilai kekasaran menjadi salah satu faktor penting, dalam pengolahan bahan logam hingga menjadi sebuah produk yang siap digunakan, hal ini karena dapat mempengaruhi pada lamanya masa pakai atau umur dari komponen yang telah dihasilkan ketika sudah digunakan nantinya, karena komponen yang tidak halus lebih mudah terjadi perubahan struktur ketika terdapat sebuah perlakuan secara langsung.

Dalam memperoleh tingkat kekasaran permukaan terbaik tidak terlepas dari beberapa faktor dan faktor utama yang mempengaruhi tingkat kekasaran yaitu dengan adanya perlakuan mesin terhadap benda yang akan dicapai tingkat kekasaran terbaiknya. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kekasaran yaitu dari kecepatan putaran mesin, ketebalan pemakanan, kecepatan pemakanan, jenis material pahat, geometri pahat dan media pendingin yang digunakan.

Selama proses pemesinan berlangsung terjadi interaksi antara pahat dengan benda kerja, di mana benda kerja terpotong sedangkan pahat mengalami gesekan dan keausan. Keausan pahat ini akan semakin besar sampai batas tertentu, sehingga pahat tidak dapat digunakan lagi. Lamanya waktu untuk mencapai batas keausan ini didefinisikan sebagai umur pahat (tool life). Data mengenai umur pahat sangat diperlukan dalam perencanaan pemesinan suatu produk, contohnya pada produksi komponen beberapa pahat harus diganti. Hal ini dapat diketahui

dengan menghitung waktu total yang diperlukan untuk memotong satu produk, kemudian dibandingkan dengan umur pahat yang dipakai.

Di samping penggunaan pahat, parameter pemesinan yang harus diperhitungkan salah satunya adalah fluida pemotongan atau pendingin (coolant). Aplikasi fluida pemotongan adalah memperbaiki kualitas produk selama proses pemotongan secara terus menerus oleh pahat dan juga memperbaiki umur pahat, sehingga pahat tahan lama. Pendingin berfungsi untuk menurunkan temperature pemotongan dan pelumasan. Penurunan temperatur oleh pendingin ini tergantung pada jenis pendingin yang digunakan, besarnya debit aliran pendingin, dan waktu pemberian pendingin. Pemberian pendingin dengan debit yang sesuai dan waktu yang tepat akan menghemat penggunaan cairan pendingin, sehingga dapat menekan biaya produksi dari sektor penggunaan pendingin.

Pada mesin CNC milling, temperatur dikontrol dengan pemberian pendingin yang akan mengenai benda kerja dan pahat, sehingga temperatur bias dijaga. Temperatur benda kerja yang terjaga dapat memperbaiki kualitas maupun penampilan benda kerja, sedangkan penurunan temperatur pada pahat dapat memperlambat keausan pada pahat. Namun penggunaan pendingin juga bisa menyebabkan masalah di lingkungan, karena pendingin mengandung bahan kimia yang sulit diurai oleh lingkungan.

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka penelitian ini lebih menitik beratkan pada penggunaan variasi parameter pemesinan (kecepatan pemakanan dan pendinginan), serta pengaruhnya terhadap tingkat keausan pahat yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini mengambil judul Analisa Pengaruh

Kecepatan Pemakanan dan Waktu Pemberian Pendingin Terhadap Tingkat Keausan Cutter End Mill HSS Hasil Pemesinan CNC Milling Pada Baja ST 40”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang mempengaruhi tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling, di antaranya:

1. Masalah penggunaan parameter pemesinan CNC milling seperti spindle speed, feedrate, dan depth of cut berpengaruh terhadap kualitas benda kerja dan kondisi cutter yang digunakan, sehingga perlu dicari formula yang tepat untuk pemesinan.
2. Gesekan antara benda kerja dan cutter akan meningkatkan temperature pemesinan, sehingga kualitas produk turun dan umur cutter menjadi singkat.
3. Penggunaan material, karakteristik dan geometri cutter berpengaruh terhadap tingkat ketelitian dan kepresisian benda kerja.
4. Penggunaan cairan pendingin yang berlebihan dapat meningkatkan biaya produksi dan mencemari lingkungan sekitar.
5. Pemberian cairan pendingin yang terlambat menyebabkan temperatur cutter cepat naik, sehingga cutter mudah aus.

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih mengarah pada tujuan yang akan dicapai dan tidak menyimpang dari permasalahan, maka dari beberapa permasalahan yang timbul dibatasi pada:

1. Penggunaan parameter pemesinan yaitu kecepatan pemakanan (feedrate) yang sesuai dengan karakteristik cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40.
2. Penggunaan parameter pemesinan yaitu pemberian pendingin (coolant) pada jangka waktu tertentu guna menurunkan temperatur cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan pembatasan masalah di atas, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, yaitu:

1. Adakah pengaruh kecepatan pemakanan terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40?
2. Adakah pengaruh waktu pemberian pendingin terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40?
3. Manakah variasi yang paling optimal antara kecepatan pemakanan dan waktu pemberian pendingin terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi kecepatan pemakanan terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40.

2. Mengetahui pengaruh variasi waktu pemberian pendingin terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40.
3. Mengetahui variasi yang paling optimal antara kecepatan pemakanan dan waktu pemberian pendingin terhadap tingkat keausan cutter end mill HSS hasil pemesinan CNC milling pada baja ST 40.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Mesin CNC

2.1.1 Pengertian

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian proses pemotongan benda kerja oleh pahat dibantu dengan kontrol numerik komputer atau CNC (Computer Numerical Control). Untuk memindahkan pahat dengan mesin perkakas CNC disepakati menggunakan sistem koordinat. Sistem koordinat pada mesin bubut CNC adalah sistem koordinat kartesian dengan dua sumbu yaitu sumbu X, Y dan sumbu Z. Sistem koordinat mesin (MCS=Machine Coordinate System) tersebut bisa dipindah-pindah titik nolnya untuk kepentingan pelaksanaan seting, pembuatan program CNC dan gerakan pahat. Titik- titik nol yang ada pada mesin bubut CNC adalah titik nol Mesin (M), dan titik nol benda kerja (W).

CNC (Computer Numerical Control) adalah mesin dalam kelompok peralatan mesin, yang dikendalikan oleh komputer dengan menggunakan bahasa digital (mengontrol data dengan angka, huruf dan simbol yang dikodekan) sesuai dengan standar yang telah disepakati. (P. Gadhe, V. Jangir 2017). Sistem kerja dari CNC ini bila dibandingkan dengan mesin perkakas lain, maka perkakas CNC ini bisa dibilang lebih teliti, lebih akurat, lebih fleksibel dan lebih cocok apabila melakukan produksi secara massal. Dengan adanya mesin perkakas ini dapat mempermudah dalam produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi, selain itu dalam mesin ini juga pengoperasian sepenuhnya ada pada pengendali

utama, jadi tidak banyak campur tangan operator selama mesin ini sedang beroperasi. Pada mesin CNC terdapat perangkat komputer yang disebut Machine Control Unit (MCU). Mempunyai fungsi menerjemahkan bahasa kode kedalam bentuk gerakan persumbuan sesuai bentuk benda kerja. Kode-kode bahasa dalam mesin perkakas CNC dikenal dengan kode M dan G, dimana kode tersebut telah distandarkan oleh ISO atau badan Internasional lainnya.

2.1.2 Pengoperasian Mesin CNC

Secara umum cara mengoperasikan mesin CNC adalah dengan memasukkan perintah numerik melalui tombol-tombol yang tersedia pada panel instrumen mesin. Setiap jenis mesin CNC mempunyai karakteristik tersendiri sesuai dengan pabrik yang membuat mesin tersebut. Secara garis besar cara mengoperasikan mesin CNC dapat dilakukan dengan dua macam cara, yaitu :

1) Sistem Absolut

Pada sistem ini titik awal penempatan alat potong digunakan sebagai acuan, yaitu menetapkan titik referensi yang berlaku tetap selama proses operasi mesin berlangsung. Pada mesin CNC bubut titik referensinya diletakkan pada sumbu atau pusat benda kerja yang akan dikerjakan, sedangkan pada mesin CNC frais titik referensinya diletakkan pada pertemuan antara dua sisi pada benda kerja yang akan dikerjakan.

2) Sistem Incremental

Pada sistem ini titik awal penempatan alat potong yang digunakan sebagai acuan adalah selalu berpindah sesuai dengan titik actual yang dinyatakan terakhir.

Pada mesin bubut maupun mesin frais diberlakukan cara yang sama. Setiap kali suatu gerakan pada proses pengerjaan benda kerja berakhir, maka titik akhir dari gerakan alat potong itu dijadikan sebagai titik awal gerakan alat potong pada tahap berikutnya

2.2. Mesin CNC Milling

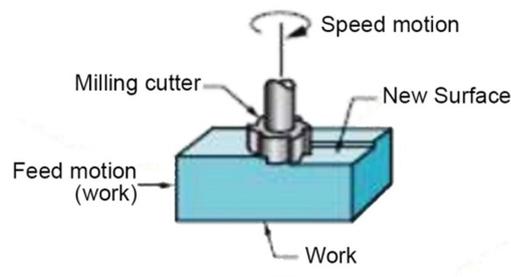
2.2.1 Pengertian

Mesin Milling CNC merupakan mesin yang digunakan dalam operasi pemesinan dan diprogram juga dikelola oleh sistem Computer Numerical Control (CNC) untuk menyayat bahan atau material dari benda kerja secara akurat (Hwacheon). Dalam hal ini, produk yang dihasilkan dari mesin CNC milling ini yaitu komponen yang dibuat dengan menggunakan Computer Aided Design (CAD). Mesin CNC milling ini sebenarnya menggunakan metode dan proses mirip dengan mesin milling yang dioperasikan manual, namun mesin ini dapat melakukan beragam macam proses dengan sistem komputer dan mengefisiensi waktu pemesinan. Prinsip umum dari mesin CNC milling yaitu benda kerja yang dicekam diatas meja dengan alat potong yang berputar bergerak memakan permukaan benda kerja. Benda kerja tersebut diceka di atas ragum(vice) atau fixture. Mesin CNC milling dilengkapi dengan spindle atau poros utama dengan tiga sumbu linear (X-Y-Z) dengan X yang bergerak maju mundur, Y bergerak kanan kiri dan Z mengatur ketinggian. Versi lebih modern terdapat sumbu rotasi ke empat dan ke lima untuk memproses geometri atau bentuk yang lebih presisi dengan berbagai dimensi. Spindle merupakan bagian dari mesin CNC yang

bergerak yang dapat diposisikan baik vertikal mau pun horizontal. Dalam konfigurasinya spindle mampu mencapai beberapa posisi X-Y-Z dalam komponen yang akan dilakukan proses pemotongan. Pada saat proses pemotongan benda kerja yang diposisikan di meja kerja dapat dipindahkan dengan arah linear ke arah poros dari cutting tools. Hal ini memungkinkan benda kerja dipotong sesuai dengan bentuk yang diperlukan (Hwacheon).

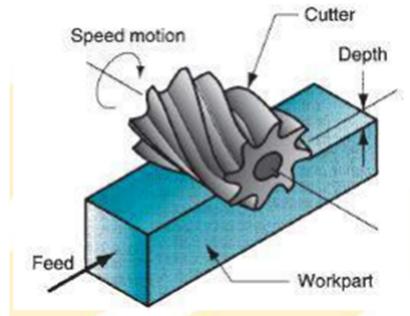
2.2.2 Proses Milling

Proses frais atau milling merupakan proses pengoperasian pemesinan yang komponen atau benda kerja melakukan pemakanan dengan alat potong digunakan berputar dengan beberapa mata potong. Seperti dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Operasi Milling

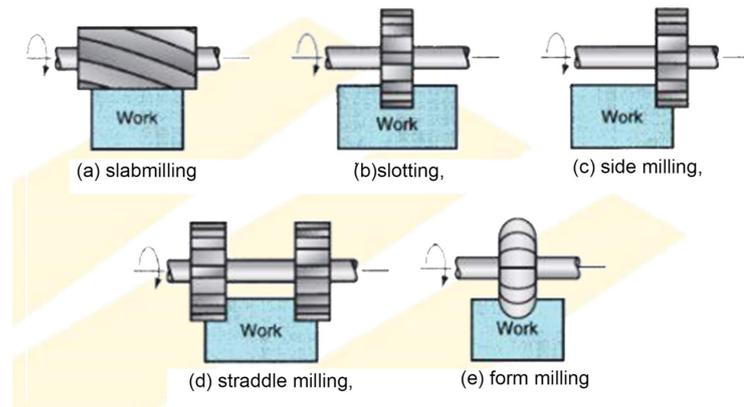
Yang membedakan proses milling dengan pengeboran yaitu proses milling memiliki orientasi antara sumbu alat potong tegak lurus terhadap arah gerak makan sedangkan orientasi alat potong proses pengeboran sejajar dengan sumbu rotasi arah pemakanannya. Dalam hal ini, terdapat dua macam operasi dalam proses milling, diantaranya yaitu peripheral milling dan face milling.



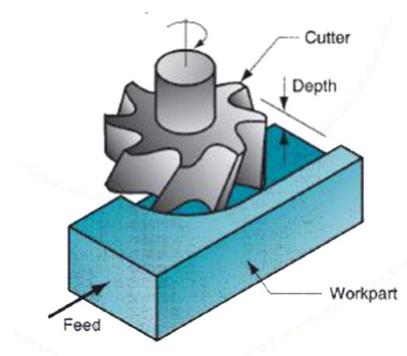
Gambar 2.2 Peripheral Milling

Dalam Peripheral milling proses pemotongannya dilakukan dengan sumbu pahat sejajar dengan permukaan benda kerja, dan dilakukan proses pemotongan di tepi di pinggiran luar pemotong. Berikut merupakan jenis-jenis peripheral milling diantaranya :

- a. slab milling, di mana pemotongnya lebar melewati benda kerja di kedua sisi.
- b. slotting, atau slot milling, yaitu lebar pemotong yang dilakukan kurang dari lebar benda kerja, dan membuat slot di permukaan benda kerja atau komponen. slotting digunakan untuk membuat celah sempit/kecil dan bisa juga untuk memotong komponen menjadi dua, yang disebut saw milling.
- c. Side milling, di mana pemotongannya dilakukan disisi benda kerja
- d. straddle milling, pemotongannya dilakukan di kedua sisi tempat kerja.
- e. Form milling, dengan mata potong yang khusus digunakan untuk slot milling.



Gambar 2.3 Periperal Milling

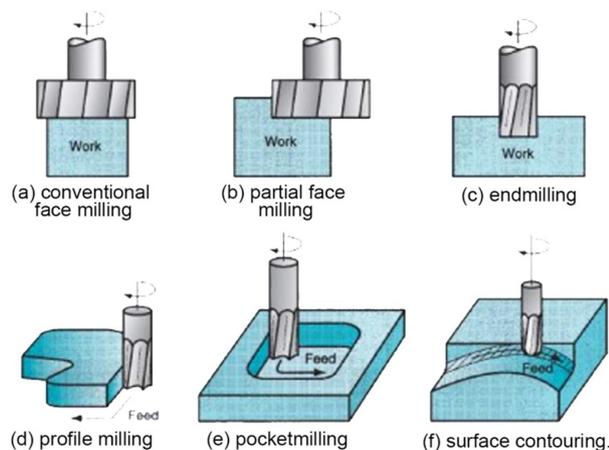


Gambar 2.4 Face Milling

Dalam proses face milling atau proses frais permukaan, sumbu potong tegak lurus dengan permukaan yang dimilling. Cutting edge memotong di kedua sisi dan diluar dari alat potongnya. Terdapat beberapa proses face milling, diantaranya :

- Conventional face milling, dimana diameter cutter atau alat potong lebih besar dibandingkan lebar permukaan benda yang akan dipotong, sehingga alat potong bisa memotong seluruh bagian permukaan. Dan langsung menghasilkan satu permukaan.
- Partial face milling, yaitu proses pemotongan dimana hanya ada satu sisi luar yang memotong permukaan benda kerja.

- c. End milling, dimana diameter alat potong lebih kecil dibanding permukaan yang dipotong yang juga bisa menghasilkan slot. - Profile milling, mirip dengan proses end milling tetapi dilakukan di bagian terluar dari permukaan benda kerja.
- d. Pocket milling, bagian dari proses end milling yang menghasilkan pocket atau bagian lebih dalam di tengah permukaan benda kerja yang dipotong.
- e. Surface contouring, yang menggunakan ball-nose cutter dengan gerak pemakanan yang bolak-balik di sepanjang jalur lengkung pada interval dekat untuk menghasilkan bentuk permukaan tiga dimensi. Kontrol pemotong dasar yang sama diperlukan untuk mengerjakan kontur cetakan dan rongga cetakan, dalam hal ini operasi ini disebut die sinking.

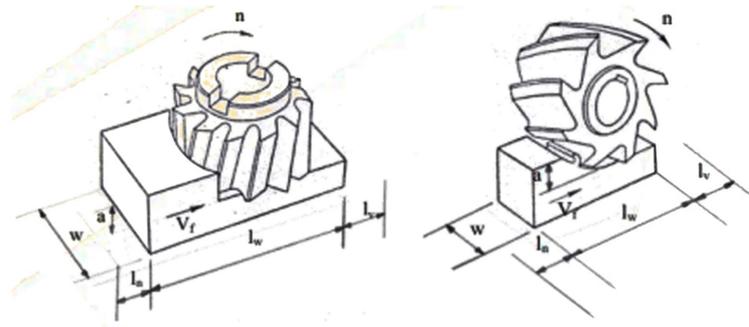


Gambar 2.4 Face Milling

2.2.3 Parameter Pemotongan pada CNC Milling

Dalam proses pemesinan, parameter dalam proses pemotongan sangat penting supaya proses produksi dapat dilakukan sesuai dengan prosedur perencanaan. Beberapa parameter pemesinan diantaranya putaran spindle,

kedalaman pemakanan, kecepatan potong (V_c), putaran spindle (n), gerak makan per gigi (f_z), kecepatan penghasilan geram (MRR) dan waktu pemesinan (t). Rasio kecepatan antara gerak benda dan putara pisau sangat penting diperhatikan penentuannya karena kualitas kekasaran benda kerja dipengaruhi oleh rasio tersebut.



Gambar 2.5 Skematik Proses Frais Vertikal dan Horizontal

Keterangan :

Pada produk atau benda kerja :

a = kedalaman potong (mm)

$l_t = l_v + l_w + l_n$ (mm)

l_w = panjang pemotongan (mm)

w = lebar pemotongan (mm)

Pahat Frais :

d = diameter luar (mm)

z = jumlah gigi (mata potong)

χ_r = sudut potong utama (90° untuk pahat frais selubung)

Mesin frais :

n = putaran poros utama (rpm)

v_f = kecepatan makan ; mm/putaran

2.2.4 Bagian-Bagian Utama Mesin CNC Milling

1) Motor Utama

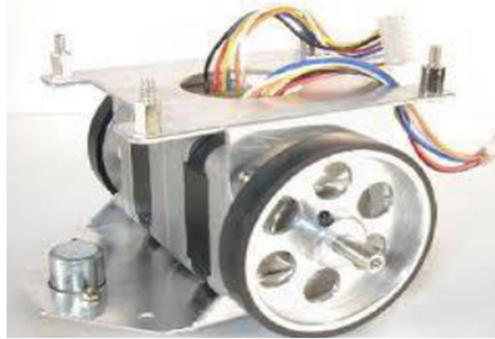
Motor utama adalah motor penggerak rumah alat potong yang berfungsi memutar alat potong (cutting tool). Motor ini menggunakan jenis arus searah (DC) dengan kecepatan yang dapat berubah-ubah. Gambar 2.6 menunjukkan bentuk motor utama pada CNC milling



Gambar 2.6. Motor Utama CNC Milling

2) Motor Step

Motor step adalah motor penggerak eretan, yaitu gerak persumbuan jalannya mesin. Mesin 3 axis mempunyai tiga fungsi gerakan kerja, yaitu posisi horisontal (sumbu X), melintang (sumbu Y), dan vertikal (sumbu Z). Bentuk step motor dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7. Motor Step

3) Meja Mesin

Meja mesin CNC milling bisa bergerak dalam dua sumbu yaitu sumbu X dan sumbu Y. Pada masing-masing sumbunya dilengkapi dengan motor penggerak, ball screw plus bearing dan guide way slider untuk akurasi pergerakannya. Gambar 2.8 menunjukkan gambar meja mesin CNC milling.



Gambar 2.8. Meja Mesin

4) Rumah Alat Potong (Spindle)

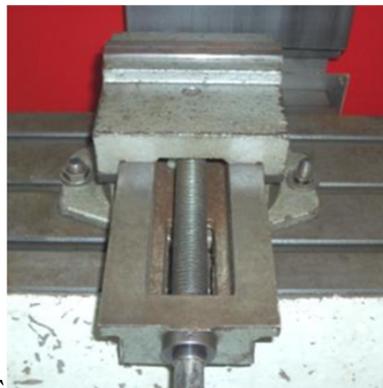
Rumah alat potong digunakan untuk menjepit pemegang alat potong (tool holder) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Pada mesin CNC milling hanya memungkinkan menjepit satu alat potong. Bentuk spindel mesin CNC milling ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Spindle

5) Ragum

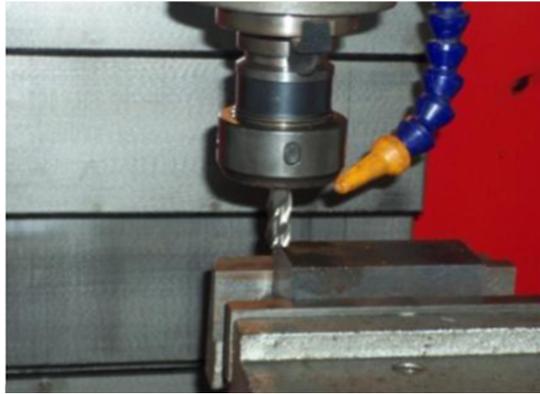
Ragum pada mesin CNC milling digunakan untuk menjepit benda kerja. Biasanya ragum dilengkapi dengan stopper yang fungsinya untuk batas pegangan benda kerja. Gambar 2.10 menunjukkan bentuk ragum pada mesin CNC milling



Gambar 2.10. Ragum

6) Coolant Hose

Setiap mesin pasti dilengkapi dengan sistem pendinginan untuk cutter dan benda kerja. Pendingin yang paling umum digunakan yaitu coolant dan udara bertekanan melalui selang yang dipasang pada blok spindle. Bentuk coolant hose dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Coolant Hose

7) Bagian Pengendali (Controll)

Bagian pengendali merupakan panel kontrol mesin CNC milling yang dilengkapi dengan monitor. Panel kontrol adalah kumpulan tombol- tombol panel yang terdapat pada bagian depan mesin dan berfungsi untuk memberikan perintah-perintah khusus pada mesin, seperti memutar spindel, menggerakkan meja, mengubah setting parameter, dan lain-lain. Bagian pengendali mesin CNC milling ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12. Bagian Pengendali (Controll)

2.2.5 Pemrograman CNC Milling

Pengoperasian mesin CNC milling dilaksanakan melalui kontrol komputer secara otomatis dengan memasukkan data numerik. Program CNC milling terdiri

atas sejumlah kode-kode perintah yang tersusun dalam bentuk kombinasi huruf dan angka, serta tanda (titik dan minus).

Mesin CNC mempunyai perangkat komputer yang disebut Machine Controll Unit (MCU), yaitu suatu perangkat yang berfungsi menerjemahkan bahasa numerik ke dalam bentuk gerakan persumbuan. Tabel 2.1 di bawah ini merupakan salah satu contoh blok program NC.

Tabel 2.1. Susunan Pemrograman CNC

	N	G/M	X	Y	Z	F	S
Blok I	N01	M03	-	-	-	-	S1000
Blok II	N02	G01	20	10	-1	100	
Dan seterusnya							

Dari Tabel 2.1 dapat dijelaskan bahwa pada blok I, kode M03 memerintahkan spindel mesin berputar dan S1000 artinya spindel berputar dengan kecepatan 1000 rpm. Pada blok II, kode G01 artinya memerintahkan spindel bergerak dengan penyayatan., X20 menunjukkan arah gerakan penyayatan ke sumbu X sejauh 20 mm, Y10 menunjukkan arah gerakan penyayatan ke sumbu Y sejauh 10 mm, Z-1 menunjukkan kedalaman pemakanan 1 mm, dan F100 menunjukkan kecepatan pemakanan sebesar 100 mm/rev.

2.2.6 Parameter Pemesinan CNC Milling

Dalam proses pemesinan, parameter dalam proses pemotongan sangat penting supaya proses produksi dapat dilakukan sesuai dengan prosedur perencanaan. Beberapa parameter pemesinan diantaranya :

1) Kecepatan Potong

Kecepatan potong adalah suatu harga yang diperlukan dalam menentukan kecepatan pada proses penyayatan atau pemotongan benda kerja. Harga kecepatan potong ditentukan oleh jenis dan ukuran alat potong, seperti pada rumus berikut:

$$V_s = \frac{\pi \times d \times S}{1000} \text{ (m/menit)}$$

Dimana :

V_s = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter cutter (mm)

S = putaran spindel (rpm)

2) Putaran Spindel

Kecepatan potong digunakan untuk menentukan kecepatan putaran spindel. Semakin cepat putaran spindel, maka akan berpengaruh terhadap tingkat keausan cutter. Putaran spindel utama mesin merupakan putaran cutter dalam satuan rpm. Dari kecepatan potong dan diameter benda kerja, kecepatan spindel bisa dihitung dengan rumus:

$$S = \frac{V_s \times 1000}{\pi \times d} \text{ (rpm)}$$

Dimana :

S = putaran spindel (rpm)

d = diameter cutter (mm)

V_s = kecepatan potong (m/menit)

3) Pemakanan (Feed)

Pemakanan (feed) adalah kecepatan gerak dari cutter dalam satuan mm/put atau in/rev. Rata-rata kecepatan pemakanan merupakan kecepatan linier dari cutter panjang benda kerja dalam satuan mm/menit atau inch/menit. Kecepatan pemakanan berhubungan dengan ketebalan geram yang dihasilkan. Feeding untuk proses CNC milling dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu :

- a) Feed per minute, yaitu pergerakan meja dalam mm pada waktu 1 menit (mm/menit)
- b) Feed per cutter revolution, yaitu pergerakan meja dalam mm pada 1 kali putaran cutter (mm/rev).
- c) Feed per tooth, yaitu pergerakan meja dalam mm selama waktu cutter yang berputar pada benda kerja dari satu mata potong ke mata potong berikutnya (mm/tooth).

Dalam penelitian ini penentuan feedrate didasarkan pada Gambar 2.9 yang menggunakan mm/rev dengan rumus sebagai berikut:

Tabel 2.2 Speed dan Feed Cutter End Mill

Work Material	Mild Steel Carbon Steel, Cast Iron Tensile Strength: $\sim 750\text{N/mm}^2$		Alloy Steel, Tool Steel, Tensile Strength: 735 $\sim 980\text{N/mm}^2$		Stainless Steel, Hardened Steel, Prehardened Steel: 30 ~ 38 HRC	
	Speed (rpm)	Feed (mm/min)	Speed (rpm)	Feed (mm/min)	Speed (rpm)	Feed (mm/min)
1	12,450	58	11,150	51	7,950	25
2	6,250	70	5,550	51	3,950	25
3	4,450	90	3,740	58	2,600	40
4	3,500	101	2,600	58	1,950	45
5	2,750	107	2,190	70	1,550	51
6	2,310	120	1,850	85	1,270	51
8	1,750	135	1,350	101	950	58
10	1,350	150	1,070	101	750	58
12	1,150	150	900	107	620	58
14	950	145	750	95	510	58
16	850	145	620	85	450	58

18	750	135	580	85	400	58
20	660	135	510	80	350	58
22	580	120	450	70	325	51
24	550	107	425	70	285	45
25	510	107	400	66	285	45

4) Kedalaman Pemakanan (Depth of Cut)

Kedalaman pemakanan (depth of cut) merupakan ketebalan pemakanan yang dilakukan oleh cutter dalam satuan mm atau inchi.

$$a = L_o - L_i \text{ (mm)}$$

Dimana :

L_o = ukuran atau panjang awal (mm)

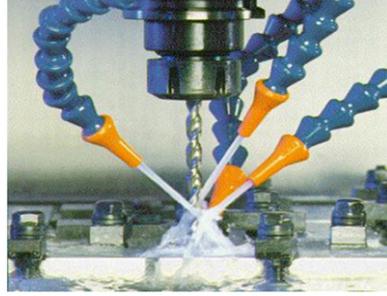
L_i = ukuran atau panjang akhir (mm)

a = kedalaman pemakanan (mm)

2.3 Pendingin (Coolant)

Fungsi pendingin adalah untuk mengontrol temperatur pemotongan dan pelumasan. Aplikasi pendingin adalah memperbaiki kualitas benda kerja selama mengalami proses pemotongan (material removal) secara terus menerus oleh cutter dan memperbaiki umur cutter.

Pada permesinan dikenal adanya dua macam kondisi pemotongan yaitu kondisi kering (dry machining) dan kondisi basah (wet machining). Pada kondisi kering pemotongan benda dilakukan tanpa pemberian cairan pendingin, sedangkan pada kondisi basah pemotongan dilakukan dengan memberi cairan pendingin pada permukaan benda kerja dan cutter. Gambar 2.13 menunjukkan pemotongan dalam kondisi basah.



Gambar 2.13. Pemotongan dengan Pendingin

Cairan pendingin pada proses pemesinan memiliki fungsi langsung dan tak langsung. Fungsi langsung pendingin yaitu fungsi yang dikehendaki oleh perencana pemesinan atau operator mesin perkakas. Fungsi tak langsung pendingin yaitu fungsi yang menguntungkan dengan adanya penerapan cairan pendingin tersebut.

a. Fungsi langsung cairan pendingin adalah :

- 1) Melumasi proses pemotongan pada kecepatan potong rendah.
- 2) Mendinginkan benda kerja khususnya pada kecepatan potong tinggi.
- 3) Membuang geram dari daerah pemotongan.

b. Fungsi tak langsung cairan pendingin adalah :

- 1) Melindungi permukaan yang disayat dari korosi.
- 2) Memudahkan pengambilan benda kerja, karena bagian yang panas telah didinginkan.

Pemakaian cairan pendingin biasanya mengefektifkan proses pemesinan. Ada beberapa karakteristik pendingin, walaupun dari beberapa produsen mesin perkakas masih mengizinkan pemotongan tanpa cairan pendingin. Berikut ini merupakan beberapa karakteristik pendingin, yaitu:

a. Pendingin dari Bahan Utama Minyak (Oil Based)

1) Straight Oil (100% Petroleum Oil)

Disebut minyak bumi (straight oil), karena tidak ada kandungan air di dalamnya. Kelebihan straight oil adalah kemampuan pelumasan yang sangat baik atau menciptakan lapisan sebagai efek bantalan antara benda kerja dan pahat, melindungi dari karat, dan memperbaiki umur cutter. Kekurangannya adalah sifat melepaskan panasnya buruk dan meningkatkan resiko kebakaran.

2) Soluble Oil (60 s/d 90% Petroleum Oil)

Soluble oil (hampir sama dengan minyak emulsi atau minyak larut air) terdiri dari campuran 60 s/d 90% minyak bumi, emulsifier, dan bahan tambahan lain. Minyak ini dicampur dengan air untuk menjadi cairan pendingin yang dipakai dalam pengerjaan logam. Kelebihannya adalah kemampuan pendinginan dan pelumasan yang baik. Kekurangannya adalah karena bercampur dengan air maka akan menimbulkan masalah karat atau korosi, timbulnya bakteri, dan kabut asap yang dibentuk bisa menciptakan lingkungan tidak sehat.

Waktu pemberian pendingin merupakan kapan atau waktu ke berapa pendingin akan diberikan pada proses pemesinan. Dalam hal ini pemotongan atau penyayatan tanpa pendingin (dry machining) dilaksanakan terlebih dahulu, baru dalam jeda waktu penyayatan tertentu pendingin baru diberikan. Waktu pemberian pendingin diberikan sesuai dengan karakteristik cutter dan benda kerja, serta parameter pemesinan yang digunakan.

b. Pendingin dari Bahan Kimia

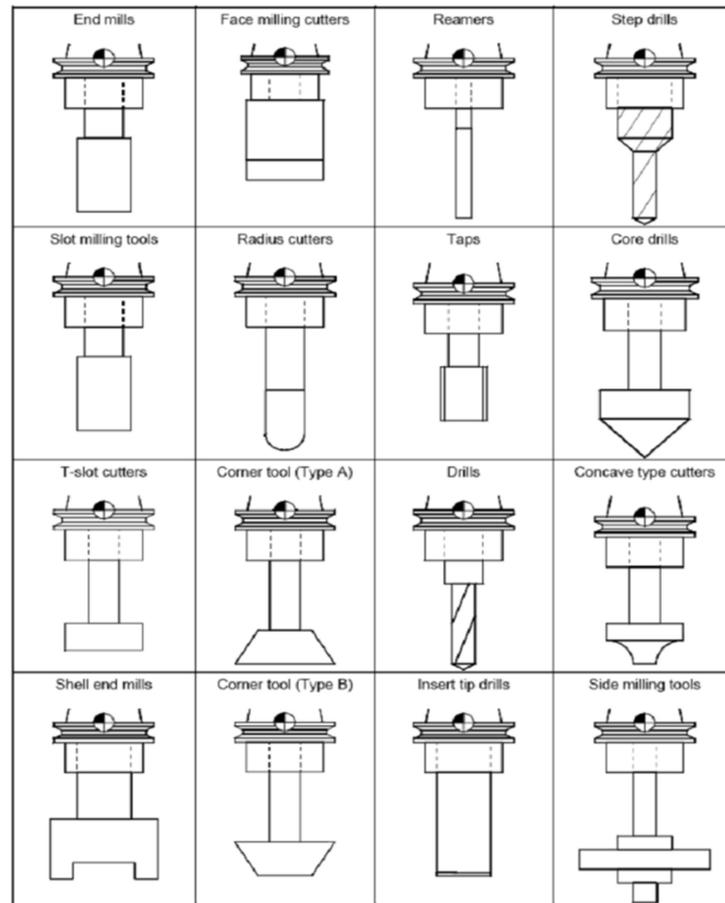
Cairan pendingin dari bahan kimia pertama kali dikenalkan sekitar tahun 1945. Terdapat dua jenis cairan pendingin, yaitu sintetis dan semi sintetis yang memiliki sifat lebih stabil dan kemampuan untuk melumasi (wettability).

c. Waktu Pemberian Pendingin

Waktu pemberian pendingin merupakan kapan atau waktu keberapa pendingin akan diberikan pada proses pemesinan. Dalam hal ini pemotongan atau penyayatan tanpa pendingin (dry machining) dilaksanakan terlebih dahulu, baru dalam jeda waktu penyayatan tertentu pendingin baru diberikan. Waktu pemberian pendingin diberikan sesuai dengan karakteristik cutter dan benda kerja, serta parameter pemesinan yang digunakan.

2.4 Cutter Mesin CNC Milling

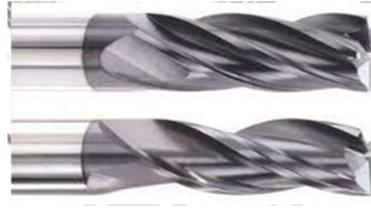
Cutter atau alat potong mesin CNC milling terdiri dari beberapa bentuk dan berbagai ukuran. Ada yang memiliki pelapis, serta bersudut pembuang geram dan jumlah sisi potong yang banyak. Pemilihan cutter dilakukan berdasarkan pada bentuk benda kerja, serta mudah atau kompleksnya benda kerja yang akan dibuat. Adapun jenis-jenis cutter mesin CNC milling dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut:



Gambar 2.14. Jenis-Jenis Cutter untuk Pemesinan CNC Milling

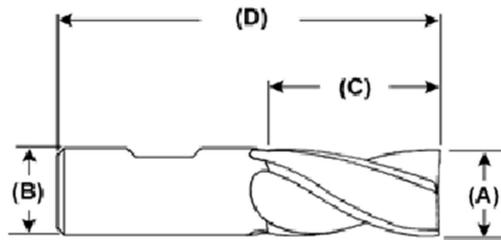
a. Pisau Jari (End Mill)

Pisau jari (end mill) merupakan salah satu jenis cutter mesin CNC milling yang banyak digunakan. Ukuran cutter jenis ini sangat bervariasi, mulai ukuran kecil sampai ukuran besar. Biasanya cutter ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (flute). Cutter ini dipakai untuk membuat alur pada bidang datar atau pasak dan umumnya dipasang pada posisi tegak (vertikal), namun pada kondisi tertentu dapat juga dipasang pada posisi horisontal. Gambar 2.15 merupakan salah satu jenis cutter end mill yang banyak digunakan.



Gambar 2.15. Cutter End Mill

Gambar 2.16 berikut ini merupakan kriteria bagian utama dari cutter end mill



Gambar 2.16. Desain Cutter End Mill

Keterangan :

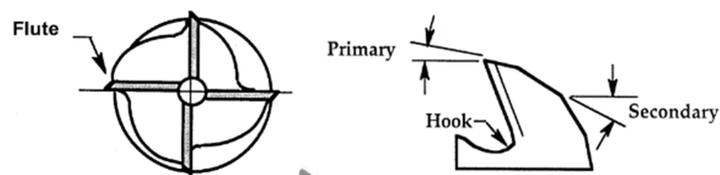
A : ukuran diameter pemotongan

B : diameter batang cutter

C : panjang sisi potong atau panjang flute

D : panjang keseluruhan

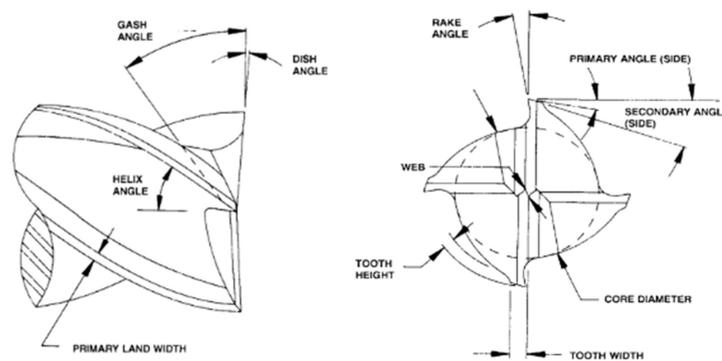
Sedangkan Gambar 2.17 dan Gambar 2.18 menunjukkan kriteria desain cutter end mill.



Gambar 2.17. Desain Sisi Potong Cutter End Mill

Keterangan :

- 1) Flute, ruang antara gigi pemotong chip dan regrinding capabilities. Flute mempunyai alur heliks sepanjang cutter, sedangkan bagian tajam sepanjang tepi cutter dikenal sebagai gigi. Hampir selalu ada satu gigi per flute, tetapi beberapa pemotong memiliki dua gigi per flute.
- 2) Angle Clearance, sudut yang dibuat untuk pembersihan permukaan dari geram dan garis singgung ke tepi pemotongan.
- 3) Primary Angle (5° s/d 9°), sudut pada gigi/ujung potong.
- 4) Secondary Angle (14° s/d 17°), sudut dekat dengan gigi/ujung potong.
- 5) Hook, bagian ujung pemotong yang dibentuk untuk membantu pembersihan dan berdekatan dengan sudut secondary.



Gambar 2.18. Geometri Sisi Potong Cutter End Mill

- 6) Dish Angle, sudut yang dibentuk oleh tepi pemotongan dan tegak lurus dengan sumbu pemotong. Dish angle digunakan untuk menghasilkan permukaan datar.
- 7) Gash Angle, sudut yang digunakan untuk menghilangkan fitur bekas sayatan pada benda kerja.

- 8) Helix Angle, sudut yang dibentuk oleh garis singgung heliks dan sisi potong primary. Alur pisau pemotong CNC milling hampir selalu heliks. Jika alurnya lurus, maka akan berdampak pada pemakanan material sekaligus atau serentak yang menyebabkan getaran dan mengurangi akurasi kualitas permukaan.
- 9) Rake Angle, sudut pemotong antara muka gigi atau bersinggungan dengan muka gigi dengan suatu titik referensi.
- 10) Core Diameter, diameter inti dari cutter end mill.
- 11) Tooth Width, lebar gigi/ujung potong cutter end mill.
- 12) Tooth Height, tinggi gigi/ujung potong cutter end mill.

b. Bahan Pahat HSS

Pada tahun 1898 ditemukan jenis baja paduan tinggi yang diberi nama High Speed Steels (HSS). HSS merupakan paduan dari 0,75% s/d 1,5% Carbon (C), 4% s/d 4,5% Chromium (Cr), 10% s/d 20% Tungsten (W) dan Molybdenum (Mo), 5% lebih Vanadium (V), dan lebih dari 12% Cobalt (Co).

Mulai dari proses penuangan (molten metallurgy), kemudian diikuti pengerolan dan penempaan baja ini dibentuk menjadi batang atau silinder. Dalam kondisi lunak baja ini dapat diproses secara pemesinan menjadi berbagai bentuk pahat. Setelah proses perlakuan panas dilakukan kekerasannya cukup tinggi, kemudian dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi sampai 3 kali kecepatan potong pahat CTS (Carbon Tool Steels) yang dikenal pada saat itu sekitar 10 m/min, sehingga dinamakan baja kecepatan tinggi.

Berikut ini komposisi campuran penyusun pahat HSS:

1) Tungsten (T) atau Wolfram (W)

Tungsten dan wolfram dapat membentuk karbida, yaitu paduan yang sangat keras melalui proses hardening dan tempering.

2) Chromium (Cr)

Krom merupakan salah satu komposisi pembentuk karbida, tetapi menaikkan sensitivitas overheating.

3) Vanadium (V)

Vanadium juga merupakan elemen pembentuk karbida yang dapat menurunkan sensitivitas overheating.

4) Molybdenum (Mo)

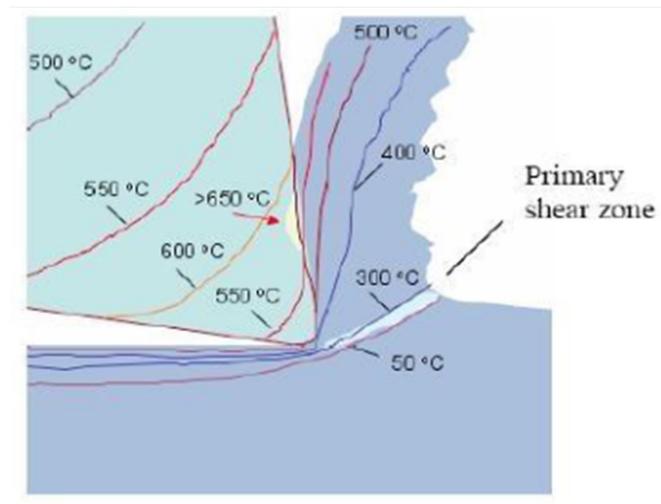
Molybdenum memiliki efek yang sama dengan Wolfram, tetapi 2% W dapat digantikan 1% Mo. Selain itu Molybdenum dalam HSS lebih liat, sehingga mampu menahan beban kejut. Kekurangannya adalah sensitive terhadap overheating (hangusnya ujung yang runcing) pada waktu dilakukan heattreatment.

5) Cobalt (Co)

Cobalt bukan elemen pembentuk karbida. Cobalt ditambahkan dalam HSS untuk menaikkan hot hardness dan tahan aus. Besar butir pahatr menjadi lebih halus, sehingga ujung yang runcing tetap terpelihara selama heattreatment pada temperatur tinggi.

c. Keausan Pahat

Gesekan yang dialami pahat dengan permukaan benda kerja yang terpotong mengakibatkan pahat mengalami keausan. Keausan pahat ini semakin membesar sampai batas tertentu pahat tidak dapat dipergunakan lagi atau mengalami kerusakan karena temperatur yang tinggi, maka permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan. Keausan tergantung juga pada jenis material pahat, benda kerja yang dipilih, geometri pahat dan fluida yang digunakan sebagai pendingin



Gambar 2.19. Kondisi Distribusi Suhu

Tahapan keausan pahat dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Keausan bagian muka pahat yang ditandai dengan pembentukan kawah/lekukan (crater) sebagai hasil dari gesekan serpihan (chip) sepanjang muka pahat.
- 2) Keausan pada bagian sisi pahat (flank) yang terbentuk akibat gesekan dengan benda kerja pada feeding tertentu.

Tipe keausan pahat dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, di antaranya:

1) Aus Tepi (Flank Wear)

Aus tepi yaitu keausan pada bidang mayor atau utama. Keausan tepi dapat diukur dengan menggunakan mikroskop dengan mengatur bidang mata potong, sehingga tegak lurus dengan bidang optik. Dalam hal ini besarnya keausan tepi dapat diketahui dengan mengukur panjang VB (mm), yaitu jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan sampai ke garis rata-rata bekas keausan bidang utama.

2) Aus Kawah (Crater Wear)

Keausan pada bidang geram disebut keausan kawah (crater wear). Keausan kawah hanya dapat diukur dengan menggunakan alat ukur kekasaran permukaan. Dalam hal ini sensor alat ukur digeserkan pada bidang geram.

3) Deformasi Plastis

Aus pahat berupa deformasi plastis disebabkan tekanan temperature yang tinggi pada bidang aktif pahat, di mana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur.

4) Pengelupasan (Flaking)

Pengelupasan merupakan bentuk aus pahat yang letaknya sama dengan aus tepi (flank wear), tetapi bentuknya lebih kecil dan halus.

5) Penyerpihan (Chipping)

Penyerpihan merupakan bentuk cacat kecil pada pahat yang terletak pada sisi mata pahat (cutting edge).

6) Built Up Edge

Built up edge terjadi karena material benda kerja menyatu dengan mata pahat

Kriteria pahat dapat digunakan untuk memprediksi umur pahat jika konstanta dan kecepatan potong diketahui. Umur pahat ditentukan oleh batas keausannya. Keausan tepi (VB) dianggap sebagai fungsi pangkat (power function) dari waktu pemotongan (T) dan bila digambarkan pada skala dobel logaritma, maka mempunyai hubungan linier. Persamaan kriteria umur pahat ditemukan oleh F.W. Taylor dan sering disebut dengan “Taylor’s tool life equation”. Persamaan tersebut dapat dilihat pada rumus berikut:

$$V_c \cdot T^n = CT$$

Keterangan:

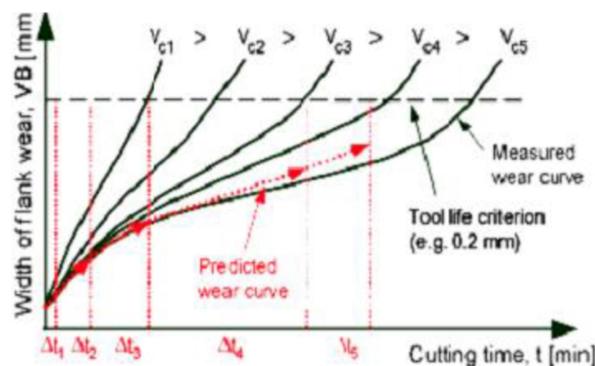
CT = konstanta umur pahat Taylor (mm atau μm)

V_c = kecepatan potong (mm/menit)

T = Lama waktu pemotongan (menit)

n = harga eksponen

Grafik pertumbuhan keausan tepi pahat ditunjukkan pada Gambar 2.20 berikut:



Gambar 2.20. Pertumbuhan Keausan Tepi untuk Gerak Makan

Tertentu dan Kecepatan Potong yang Berbeda

Harga eksponen untuk persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini :

Tabel 2.3 Harga Eksponen n pada Persamaan Taylor

Tool Material	Taylor exponent n	Density (Kg/m ³) p	Thermal conductivity (W/m ⁰ K) k	Specific heat capacity (J/Kg ⁰ K) c
High speed steel	0.08-0.15	7800	38.9-62.5	343-574
Cast cobalt or satellite	0.10-0.16	9130	113	385
Cemented carbides ceramics	0.50-0.70	3800-3970	6.74-46	765
Cubic boron nitrides	0.50-0.70	3450	20-130	810
Analysis of material removal processes R. deVries "1992 Springer-Verlag				

Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan pahat antara lain :

- a) Pemakanan pahat pada benda kerja yang bahannya lebih keras.
- b) Kecepatan putar pahat dan gerakan benda kerja yang terlalu tinggi.
- c) Penggunaan fluida pendingin yang tidak efisien.
- d) Adanya kerak-kerak pada permukaan benda kerja.