

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pemesinan *CNC*



Gambar 2.1 Mesin *CNC Milling* makino
(Relvelation machinery, 2024)

Pertumbuhan sektor manufaktur dan meningkatnya permintaan konsumen akan barang harus dibarengi dengan peningkatan kualitas produk. Ketepatan dimensi dan kekasaran permukaan menentukan kualitas hasil produksi agar komponen tersebut tahan lama. Untuk mencapai kapasitas produksi yang tinggi waktu yang kita butuhkan untuk membuat komponen melalui proses pemesinan harus seefisien mungkin (Bohari & Ramdani & Prasetyo 2022). Parameter proses pemesinan mesin *CNC* harus diatur ke kondisi maksimum untuk mencapai waktu yang paling singkat (Arfendi & Napitupulu & Pranandita., 2021).

CNC Milling merupakan mesin perkakas yang dapat membuat produk berbentuk persegi, roda gigi, kontur mesin dan lainnya secara otomatis. Mesin *CNC Milling* bekerja dengan *system control computer* menggunakan bahasa mesin. Proses permesinan pada memotong benda kerja dengan alat potong yang berputar dikenal dengan istilah *CNC milling*. Kecepatan potong, yang dipengaruhi oleh putaran motor dan diameter pahat potong, serta kedalaman potong, adalah beberapa variabel (kedalaman pemakanan) (Bohari & Ramdani & Prasetyo., 2022).

Pemanfaatan teknologi permesinan modern pada saat ini terkoneksi pada mesin *CNC* untuk membantu proses produksi pekerjaan pekerja. Salah satu metode dalam Proses pemesinan *milling* menggunakan mesin *milling* dalam pengerjaannya. Sebuah operasi dalam proses pemesinan yang sering digunakan untuk membuat komponen adalah Mesin *CNC milling* (Bohari & Ramdani & Prasetyo 2022). Setiap operator teknik manufaktur harus mahir dalam kontrol numerik komputer (*CNC*), salah satu elemen kunci dalam proses manufaktur yang tepat (Prianto & Pramono, 2017) Menurut Budiyanto & Yuono & Rohman (2020) Mesin *CNC* harus memiliki kode yang telah dibuat selama beberapa fase proses agar mesin dapat beroperasi dalam tiga sumbu. Perencanaan diperlukan pada semua level pemrograman agar mesin dapat membuat produk yang diinginkan sesuai dengan rencana dan rangkaian sistem kontrol dapat beroperasi.

2.2 Alat Potong (*cutting tool*)



Gambar 2.2 Alat Potong (*Cutting Tool*)
(Frugo.com, 2024)

Alat potong (*cutting tool*) merupakan alat yang digunakan untuk penyayatan benda kerja. Alat potong digunakan pada setiap mesin produksi, seperti mesin bubut (*turning*), mesin frais (*milling*), mesin bor (*drilling*) dan lain-lain. Dalam pembuatan benda kerja dengan mesin tersebut alat potong sangat berperan aktif dalam menentukan hasil pengerjaan yang dibuat (Ripai, 2020).

Menurut Elkan, (2016) sifat-sifat alat potong ada 4, yaitu sebagai berikut:

1. Keras

Sifat paling utama yang dibutuhkan oleh alat potong adalah keras. Agar dapat memotong/ menyayat bahan benda kerja/ material dengan baik, alat potong harus memiliki sifat lebih keras dari benda kerja/row material. Pemotongan/penyayatan dengan alat potong keras, selain dapat melakukan pemotongan dengan baik juga alat potong tidak lentur/ stabil.

2. Ulet/liat

Sifat ulet sangat diperlukan pada suatu alat potong, terutama untuk mengatasi/ menetralsir adanya beban kejut dan getaran yang mungkin muncul sewaktu pemotongan/ penyayatan terjadi. Sifat ulet ini menyebabkan pahat mampu untuk mengalami pelenturan atau defleksi yang bersifat elastis. Meskipun dapat melentur pahat diharapkan tetap stabil dan kokoh, defleksi hanya diperlukan untuk mengurangi efek dari beban kejut. Sifat ulet dan keras memang saling bertolak belakang, semakin keras material itu maka akan semakin getas, dan sebaliknya, sehingga jarang di temukan material yang mempunyai tingkat kekerasan dan keuletan yang baik.

3. Tahan panas

Setiap alat potong pada saat digunakan untuk melakukan pemotongan/ penyayatan akan timbul panas, hal ini terjadi karena adanya gesekan akibat pemotongan. Besarnya panas yang ditimbulkan secara dominan tergantung dari kecepatan potong (*cutting speed*), kecepatan pemakanan (*feed*), kedalaman pemakanan (*depth of cut*), putaran mesin (*Revolution per menit-Rpm*), jenis bahan benda kerja yang dikerjakan dan penggunaan air pendingin.

4. Tahan aus

Penampang ujung pahat bubut yang kecil dan runcing, mudah sekali untuk mengalami keausan. Sifat ini tidak bisa terlepas/ erat kaitanya dengan sifat

yang lain yaitu kekerasan, keuletan dan tahan panas, akan tetapi merupakan hal yang berdiri sendiri. Umur pakai pahat secara normal menunjukkan tingkat ketahanan terhadap keausan. Keausan yang timbul pada mata sayat pahat bubut, dapat disebabkan terjadinya gesekan maupun getaran yang terjadi pada saat pemotongan/penyayatan. Sifat tahan aus dapat diperbaiki dengan penambahan unsur paduan ataupun perbaikan pada geometri pahat bubut.

2.3 Jenis-Jenis Alat Potong

Menurut Ramadhan, 2018 jenis-jenis alat potong di bagi menjadi dua seperti dibawah ini:

1. *High Speed Steel (HSS)*



Gambar 2.3 Alat potong endmill HSS

High Speed Steel merupakan *medium alloyed high speed steel* yang memiliki sifat *machinability* dan *performance* yang baik. Dengan tingkatkekerasan dan kekuatan yang tinggi serta *wear resistance characteristic* yang membuat material tersebut digunakan dalam skala yang luas sebagai alat potong. Seperti mata bor dan tap.

a. *Vanadium High Speed Steel (HSSV)*



Gambar 2. 4Alat potong HSSV

Vanadium merupakan material yang tahan aus, keras, serta mempunyai *performance* yang baik. Biasanya digunakan untuk bahan Tap.

b. *Cobalt High Speed Steel (HSSCo)*



Gambar 2.5 Alat potong HSSCo

Cobalt digunakan untuk mempertahankan kekerasan pada temperature tinggi. Kombinasi kedua jenis bahan mampu meningkatkan kemampuan alat potong terhadap tingkat ketegaran dan kekerasan. Digunakan untuk bor, tap, milling cutter, juga reamer.

c. *Non Cobalt Powder Metallurgy Steel (HSXS1)*

Mempunyai struktur logam yang lebih halus dan rapat bila dibandingkan dengan HSCO. Umur pakai dan tingkat keausan yang dimiliki lebih baik dari HSCo. Utamanya digunakan untuk *Milling* cutter dan tap

d. *Sintered Cobalt High Speed Steel (HSCo XP)*



Gambar 2.6 Alat potong HSCo XP

Merupakan HSCo yang diproduksi dengan Powder Metallurgy technology (Sinter). Metode ini digunakan untuk mendapatkan Grindability dan Superior toughness.

e. *Chromium Steel (CS)*

Merupakan tool steel yang dicampur dengan chromium. Tidak tahan dengan temperature yang tinggi tetapi keras pada temperature rendah, biasanya untuk bahan tap dan dies.

Dibawah ini terdapat beberapa struktur material alat potong HSS (*High Speed Steel*):

Tabel 2.1 Struktur Material HSS (Ramadhan, 2018)

	Grade	Hardness (HV 10)	C %	W %	Mo %	Cr %	V %	Co %	ISO Standard
HSS	M2	810-850	0.9	6.4	5.0	4.2	1.8	-	HSS
HSSV	M9V	830-870	1.25	3.5	8.5	4.2	2.7	-	HSS-E
HSCo	M35	830-870	0.93	6.4	5.0	4.2	1.8	4.8	HSS-E
	M42	870-960	0.8	1.5	9.4	3.9	1.2		HSSE
HSS XS1		830-870	0.9	6.25	5.0	4.2	1.9	-	HSS-E- PM
HSCo XP	ASP 2017	860-900	0.8	3.0	3.0	4.0	1.0	8.0	HSS-E- PM
CS		775-825	1.03	-	-	-	-		-

2. Carbide



Gambar 2.7 Alat Potong *Carbide*

Dihasilkan dari proses sinter (beberapa bahan serbuk yang dikombinasikan menjadi satu) yang dikombinasikan dengan binder metal

(pengikat). Material utama yang digunakan adalah Tungsten *Carbide* (WC). Dimana tungsten / wolfram ini menambah kekerasan material. Bahan lain dalam proses sinter adalah Tantalum *Carbide* (TaC), Titanium *Carbide* (TiC), Niobium *Carbides* (NbC). Material tersebut kemudian ditambahkan dengan Cobalt (Co) sebagai pengikatnya.

Tabel 2.2 Pengaruh karakteristik material terhadap prosentase hard particle (WC) dengan binder Metal (Co) (Ramadhan, 2018)

Characteristic	Higher WC content give	Higher Co content give
Hardness	Higher hardness	Lower hardness
Compressive strength (Cs)	Higher CS	Lower CS
Bending strength (BS)	Lower BS	Higher BS

Tabel 2.3 perbandingan HSS dan *Carbide* (Ramadhan, 2018)

Properties	HSS Materials	Carbide Materials
Hardness (HV 30)	800 - 950	1300 – 1800
Density (g/cm ³)	3.0 - 9.0	7.2 - 15
Compressive strength (N/mm ²)	3000 - 4000	3000 - 8000
Flexural strength (bending), (N/mm ²)	2500 - 4000	1000 - 4700
Heat resistance (C)	550	1000
E-module (KN/mm ²)	260 - 300	460 - 630
Grain size	-	0.2 – 10

2.4 Material S50C



Gambar 2.8 Material S50C

Baja S50C merupakan baja karbon sedang dengan kandungan karbon berkisar 0,47 - 0,53 % dan termasuk golongan baja karbon menengah. Baja ini banyak digunakan di pasaran karena memiliki banyak keunggulan salah satunya adalah pada komponen automotif sebagai contoh untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Baja ini memiliki karakteristik sifat mampu mesin yang baik (machinability), wear resistance-nya (keausan) baik dan sifat mekaniknya menengah (Iqbal, 2022).

Komposisi kimia dari S50C yaitu, C 0,47-0,53%, Cr Max 0,25%, Mn 0,60-0,90%, Si 0,15-0,35%, P Max 0,035%, S 0,035%, Ni 0,25%, dan Cu 0,25%. Baja karbon menengah tersebut banyak digunakan sebagai gear, crankshaft, chain link

dan komponen lainnya yang membutuhkan kekuatan tinggi serta ketahanan aus yang baik dalam aplikasinya (Iqbal, 2022).

Tabel 2.4 komposisi Material S50C (Nugroho, 2022)

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
0,4-0,53	0,15- 0,35%	0,60- 0,35 %	Max 0,035 %	0,035	Max 0,25	0,25	0,25

2.5 Keausan Alat Potong

Keausan pahat merupakan suatu data pemesinan yang sangat penting dalam perencanaan pemesinan. Keausan pahat dapat dipengaruhi oleh berbagai macam variabel proses, seperti jenis proses pemesinan, material benda kerja 21 dan pahat, geometri pahat, kondisi pemotongan, dan cairan pendingin yang digunakan. Pada proses pemesinan berlangsung, mata pahat mengalami gesekan dengan permukaan benda kerja, akibat dari gesekan tersebut, pahat mengalami keausan dan semakin membesar hingga mata pahat tidak dapat digunakan lagi atau mengalami kerusakan. Selama proses pemesinan berlangsung pahat dapat mengalami kegagalan seperti keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat, retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat, dan deformasi plastis yang akan mengubah bentuk / geometri pahat (Yessiksa & Ari & Yudiono, 2020).

Menurut Yudiono, (2020) Keausan dapat terjadi pada bidang geram atau pada bidang utama pahat. Karena bentuk dan letaknya yang spesifik, keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (crater wear) dan keausan pada

bidang utama dinamakan sebagai keausan tepi (*flank wear*). Ada beberapa contoh kasus keausan yang sering terjadi diantaranya :

1. Aus tepi (*flank wear*) Aus tepi adalah bentuk aus pada sisi (*flank*) pahat potong disebabkan perubahan bentuk radius ujung pahat oleh gesekan antara permukaan pemesian benda kerja dengan sisi pahat karena kekakuan benda kerja.
2. *Crater Wear* (Keausan Kawah) Crater merupakan keausan pahat yang berbentuk seperti kawah atau lubang, lokasinya dimulai dari beberapa jarak dari tepi potong sampai area kontak geram. Jika keausan ini semakin lama semakin bertambah, crater menjadi makin lebar, panjang, dan dalam, bahkan bisa mencapai tepi pahat. Crater menyebabkan tepi potong pahat menjadi lemah dan rusak. Keausan jenis ini lebih cepat terjadi pada pahat dengan material ulet.
3. Deformasi Plastis (*Plastic Deformation*), aus pahat berupa deformasi plastis disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur.
4. pengelupasan Pengelupasan (*Flaking*), 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*, terjadi karena material benda kerja menyatu dengan mata pahat.
7. Aus Takikkan (*Notch Wear*), terjadi akibat takikkan pada dalamnya pemotongan yang dapat menyebabkan terjadinya memicu terjadinya kawah pada bagian pahat. Aus ini terjadi pada bidang kontak (*Side Cutting Edge* and *Cutting Edge*) antara benda kerja dan pahat.
8. Aus Ujung Pahat (*Nose Wear*), saat pemesinan dilakukan, abrasif dan deformasi pada ujung pahat dapat terjadi. Pada aus ujung pahat ukuran berubah dan permukaan finishing benda kerja memburuk.
9. Retak (*Cracking*), perbedaan temperature yang tinggi antara sudut potong (*Cutting Edge*) menyebabkan meratanya tempat retak melingkar pada sudut potong pahat. Retak berkelanjutan perlahan, mengarah terjadinya penyerpihan (*Chipping*) dan selanjutnya akan menyebabkan pahat menjadi patah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Nugroho, dkk (2019) keausan alat potong dapat terjadi melalui beberapa mekanisme yang berbeda seperti adhesi, abrasi atau oksidasi. Selain itu, keausan juga mempengaruhi kualitas permukaan yang mengalami proses pemesinan secara signifikan. Aus terjadi karena adanya perubahan energi mekanik pemotongan menjadi energi panas. Berdasarkan hasil penelitian mengenai keausan pahat, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya aus pahat diantaranya adalah proses kimiawi, oksidasi, adhesi, dan beberapa proses lainnya. Faktor ini sangat berpengaruh dan hal ini dipicu oleh

beban mekanik atau termal sehingga terjadi keausan tepi (*Flank Wear*), aus kawah (*Crater Wear*), maupun terjadinya penumpukan geram.

Menurut Dolinsek dan Kopac, (2006) temperature didaerah kontak antara pahat dan benda kerja akan meningkat hingga melebihi batas tingkat ketahanan material pahat, yang akan menghasilkan peningkatan keausan kawah (*crater wear*), penyerpihan (*chipping*) pada mata sayat pahat, atau bahkan kerusakan pahat. Semakin tinggi temperature *endmill cutter*, maka akan semakin mudah mengalami keausan. Selanjutnya adanya pengaruh berat cutter yang hilang atau aus karena bergesekan dengan benda kerja. Pengukuran berat cutter dilakukan sebelum dan sesudah pemesinan dengan timbangan digital.

Selanjutnya adanya perubahan sudut pada mata *endmill cutter* pada penelitian yang dilakukan oleh Ansyori (2015) tentang pengaruh kecepatan potong dan makan terhadap umur pahat pada pemesinan frais paduan magnesium. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, kenaikan sudut meningkatkan umur pahat, semakin besar kecepatan potong (V_c) maka semakin cepat laju keausan pahat yang terjadi, yang disebabkan oleh temperature tinggi sebagai hasil dari gesekan antara pahat dan benda kerja.

Secara umum mekanisme keausan pahat berupa *Abrasion*, *Diffusion*, *Attrition*, *Thermal Fatigue*, *Plastic Deformation*. Sebagian penulis menjelaskan seperti (Shaw, 1984 dan Trent, 2000) sebagian besar menjelaskan mekanisme keausan pahat akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan pemotongan yang lebih tinggi dan naiknya temperatur pemotongan. Menurut buku Metal Cutting, 2013 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Diffusion Wear* Proses difusi atau peresapan terjadi karena ada penambahan temperature pada pahat, ketika memotong baja dengan kecepatan tinggi dan laju umpan, 25 sebuah carter dibentuk pada permukaan rake pada alat tungsan karbidakobalt, dengan flat yang tidak rata pada tepi pahat, pengukuran temperature pada alat karbida tidak dimungkinkan dengan teknik ini.
2. *Attrition Wear* terjadi pada saat pemakaian alat potong pada baja dengan kecepatan pemakanan yang tinggi, dan dapat terjadi juga ketika pemotongan pada kecepatan yang relatif rendah, dimana temperature tidak cukup tinggi dan terjadi keausan. Selama pemotongan, tepi bawah terus berubah, sementara bagian tepi yang berdekatan dengan pahat tetap melekat dan tidak berubah, pahat terus memotong untuk jangka waktu yang lama tanpa aus.
3. *Abrasive wear* Proses pengikisan atau efek gesekan antara material benda pada bidang geram dan utama pahat, karena kekerasan tungsan karbida yang tinggi, keausan abrasif jauh lebih kecil kemungkinannya untuk menjadi proses keausan yang signifikan dengan semen karbida dibandingkan dengan baja kecepatan tinggi.
4. *Thermal Fatigue* Dimana pemotongan terputus sangat frequently, seperti dalam milling, retakan ini disebabkan oleh ekspansi bolak – balik dan kontraksi lapisan permukaan pahat saat dipanaskan selama pemotongan, dan didinginkan dengan konduksi ke dalam tubuh pahat selama interval antar pemotongan. Retakan biasanya dimulai pada posisi terpanas di permukaan menyapu agak 26 jauh dari *edge*, kemudian menyebar melintasi tepi dan

menuruni sisi. Oleh karena itu, banyak manufaktur memilih karbida sebagai komposisi dan struktur yang paling tidak sensitif terhadap kelelahan termal sebagai dasar untuk kadar yang direkomendasikan untuk *milling*. Kelelahan adalah kegagalan yang terjadi pada suatu material pada keadaan beban dinamis. Kegagalan merupakan hal yang sangat membahayakan, karena terjadinya tanpa adanya petunjuk awal, Yudiono (2009).

5. *Plastic Deformation* Aus pahat berupa deformasi plastis disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur. Beban tekan dan beban geser yang tinggi pada bidang geram, hal ini sering terjadi pada keausan bawah, dan biasanya berpengaruh pada kecepatan potong yang tinggi.