

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Proses Bubut

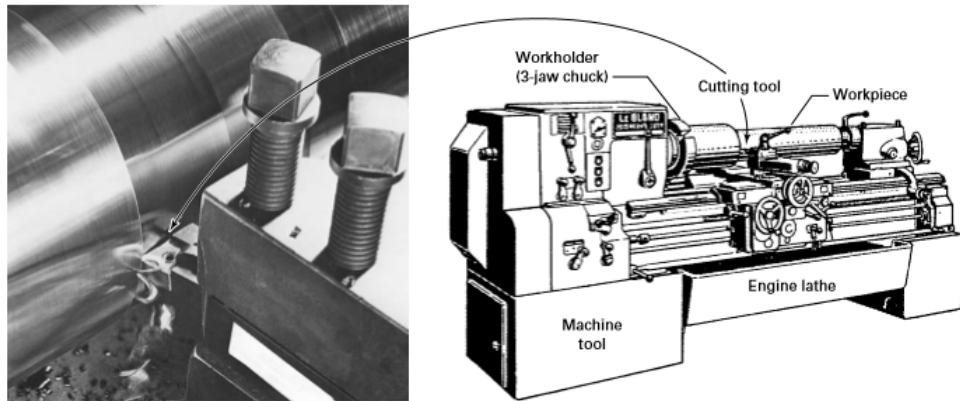
Proses bubut adalah suatu proses pemesinan terhadap permukaan benda kerja berbentuk silinder dan kerucut. Hal ini biasanya dilakukan oleh mesin perkakas disebut mesin bubut. Benda kerja dijepit pada cekam, lalu mesin dinyalakan dan benda kerja berputar. Pada saat benda kerja berputar, pahat bergerak secara longitudinal menuju ke benda kerja sesuai dengan pemakanan dan kedalaman potong tertentu, lalu terjadi proses pemotongan benda kerja oleh pahat.

Benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang poros utama (*spindle*), dengan mengatur lengan pegatur, yang terdapat pada kepala diam, putaran poros utama (n) dapat dipilih. Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat, dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800 dan 2000 rpm. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variable, ataupun dengan system transmisi variable, kecepatan putaran poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (*continue*). Pahat dipasangkan pada kedudukan pahat dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter, dengan demikian kedalaman gerak translasi bersama sama dengan kereta dan gerak makannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut bermacam macam dan menurut tingkatannya, misalnya, 0.1, 0.112, 0.125, 0.14, 0.16, ... (mm/rev).

Proses bubut merupakan proses yang paling penting dan sangat sering dilakukan dalam industri manufaktur komponen mesin. Hal ini didasari oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Kebanyakan dari bagian konstruksi mesin (poros, tabung, sekrup, dll) dan juga perkakas (bor, kikir, dll) menurut bentuk dasarnya merupakan benda putar (benda rotasi), sehingga proses pembuatannya dilakukan melalui proses bubut.

2. Perkakas mesin bubut relative sederhana dan murah.
3. Proses pembubutan dengan daya sayat yang baik dan mudah dicapai.



Gambar 2.1 Ilustrasi Proses Pembubutan

2.1.1 Mesin Bubut CNC

Mesin CNC bubut biasa disebut juga mesin CNC *Lathe* atau *CNC Turning* yang termasuk mesin perkakas yang sering dipakai pada proses pemesinan. Mesin CNC banyak sekali dipakau di industry manufaktur diantaranya industri otomotif dan industri kedirgantaraan.

Produk hasil pemesinan CNC bubut dikatakan berkualitas jika memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. ukuran produk tepat atau presisi sesuai dengan permintaan Gambar kerja, dan
2. tingkat kekasaran yang sesuai dengan permintaan Gambar kerja.

2.1.2 Kondisi pemotongan

Kondisi pemotongan adalah kondisi yang diterapkan pada benda kerja saat dilakukan pembubutan, berikut ini adalah parameter kondisi pemotongan (Rochim, 1993):

- a. Kecepatan potong (*cutting speed*)

Cutting speed atau kecepatan potong adalah kecepatan benda kerja yang dilalui oleh pahat atau jarak yang harus ditempuh pahat tiap putaran benda kerja, dengan kata lain, kecepatan potong adalah panjang total 1 putaran.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} ; \text{ mm/min} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

n = putaran poros utama (benda kerja) ; rpm

d = diameter rata – rata, yaitu :

$$d = \frac{d_o + d_m}{2} ; \text{ mm} \dots\dots\dots(2.2)$$

d diameter rata-rata atau diameter mula d_o , karena perbedaan d_o dengan d_m relatif kecil.

Dimana :

d_o = diameter awal benda kerja ; mm

d_m = diameter akhir benda kerja ; mm

b. Kecepatan pemakanan (*feeding*)

Kecepatan pemakanan pada mesin bubut adalah gerakan pemakanan oleh pahat dalam proses pembubutan.

$$v_f = f . n ; \text{ mm/min} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

f = gerak makan ; mm/rev

n = putaran poros utama (benda kerja) ; rpm

c. Kedalaman pemotongan (*depth of cut*)

Kedalaman pemotongan adalah dalamnya masuk alat potong menuju sumbu benda kerja.

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} ; \text{ mm} \dots\dots\dots(2.4)$$

d. MRR (*Material Removal Rate*)

MRR atau laju pembuangan geram adalah kecepatan pembuangan geram per menit yang dipengaruhi oleh pemakanan, kedalaman potong dan kecepatan pemotongan.

$$\text{MRR} = f . a . v ; \text{ mm}^3/\text{min} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

f = kecepatan pemakanan; mm/min

a = kedalaman potong; mm

v = kecepatan potong; m/min

e. Waktu pemotongan (*Cutting time*)

Waktu yang digunakan untuk pembubutan benda kerja dipengaruhi oleh kecepatan pemakanan dan dalamnya pemakanan.

$$t_c = \frac{l_t}{v_f}; \text{ min} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

l_t = panjang pemesinan ; mm

v_f = kecepatan pemakanan; mm/min

2.2 Pembubutan Kering

Untuk kondisi ekonomi dan lingkungan, telah dilakukan proses berkelanjutan yang masih tren sejak pertengahan tahun 1990 untuk mengurangi atau menghilangkan penggunaan cairan pemotongan. Tren ini mengajak industri manufaktur untuk melakukan proses pemesinan kering. Berikut ini adalah keuntungan melakukan pemesinan kering, yaitu:

1. Mengurangi dampak kerusakan lingkungan akibat dari penggunaan cairan pemotongan, meningkatkan kualitas udara dalam pabrik dan mengurangi resiko pada kesehatan,
2. Mengurangi ongkos produksi, terutama ongkos pemeliharaan, daur ulang dan pembuangan cairan pemotongan,
3. Meningkatkan kualitas permukaan produk.

Selama proses pemesinan, sebanyak 70% dari panas yang terjadi, timbul melalui deformasi plastis dari benda kerja yang terpotong oleh pahat. Sisa panas yang lain timbul melalui gesekan antara pahat dengan geram atau pahat dengan benda kerja. Tanpa cairan pemotongan, keausan pahat akan meningkat dan kualitas dari permukaan benda kerja terutama pada proses *finishing* akan menjadi rendah. Kedua faktor ini tentu saja menyebabkan peningkatan ongkos produksi dan menurunkan produktifitas.^[8]

Kualitas dari permukaan benda kerja berperan penting untuk menghindari terjadinya keausan pahat. Sifat dari permukaan mata pahat terutama kekerasan, stabilitas termal, koefisien gesekan yang rendah dan komposisi kimia ditingkatkan saat dilakukan pelapisan (*coating*). Cara umum yang dilakukan untuk memodifikasi permukaan lapisan dari pahat, yaitu menggunakan cara pelapisan CVD (*Chemical Vapor Deposition*) dan PVD (*Physical Vapor Deposition*).^[5]

Akhir-akhir ini, teknologi PVD lebih disukai daripada CVD, karena tempertaur proses yang rendah dan ramah lingkungan. Perkembangan terakhir

dari teknologi PVD adalah HPPMS (*high power pulsed magnetron sputtering*), yang mana proses tersebut mempengaruhi kemampuan yang jelas untuk memproduksi lapisan pahat yang tebal dan ikatan yang baik. Ini merupakan suatu keuntungan yang baik bagi pahat yang digunakan pada kondisi pemesinan kering terutama pelapisan pada bagian sisi tajam.

N.L. Coppini, dkk., menyimpulkan untuk proses pembubutan kering dan pertimbangan dari hasil eksperimen, bahwa kekasaran dari permukaan benda kerja meningkat ketika laju pemakanan meningkat untuk harga kecepatan potong tertentu. Oleh karena itu kekasaran permukaan sangat sensitif terhadap variasi dari laju pemakanan, daripada proses gerinda silinder.^[1]

2.3 Pembubutan Keras

Proses pembubutan keras merupakan proses pemesinan terhadap material ferrous dengan kekerasan lebih dari 45 HRc untuk mencapai penyelesaian benda kerja secara langsung setelah dilakukan proses perlakuan panas. Perkembangan dari proses pembubutan keras muncul ketika ditemukannya bahan baru seperti CBN (*Cubic Boron Nitride*), PCBN, CVD, PVD dan keramik sejak tahun 1970. Pengurangan ongkos produksi, menghilangkan cairan pemotongan, meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi, peralatan dan perkakas dan mengurangi waktu pemasangan serta penyetelan ulang benda kerja ketika dibandingkan dengan proses gerinda. Keuntungan dari proses pembubutan keras adalah lingkungan yang kering serta tidak menggunakan pelumasan atau cairan pemotongan.^[7]

Berdasarkan pengertiannya, proses pembubutan keras merupakan proses *finishing* yang efektif terhadap material yang dikeraskan hingga nilai kekerasan 45HRc (besaran kekerasan Rockwell C) atau lebih dengan menggunakan pahat mata potong tunggal. Baja dikeraskan hingga 34HRc dan pahat tungsten carbide dengan kekerasan 68HRc telah berhasil dilakukan pada proses pembubutan. Benda kerja dengan kekerasan 45HRc mampu dilakukan proses pembubutan keras, yang mana kekasaran permukaan, dimensi dan toleransi bentuk sama dengan yang dilakukan pada proses gerinda.^[3]

2.4 Material Pahat

Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung, dengan cara mempertemukan dua jenis material. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas diperlukan material pahat yang lebih unggul daripada material benda kerja. Keunggulan tersebut dapat dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan berbagai segi, yaitu:

1. Kekerasan; yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperature ruang melainkan juga pada temperature tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung.
2. Keuletan; yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemecinan dengan interupsi maupun sewaktu memotong benda kerja yang mengandung partikel/bagian yang keras (*hard spot*).
3. Ketahanan beban kejut termal; diperlukan bila terjadi perubahan temperatur yang cukup besar secara berkala/periodic.
4. Sifat adhesi yang rendah; untuk mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan.
5. Daya larut elemen/komponen material pahat yang rendah; dibutuhkan demi untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme difusi.

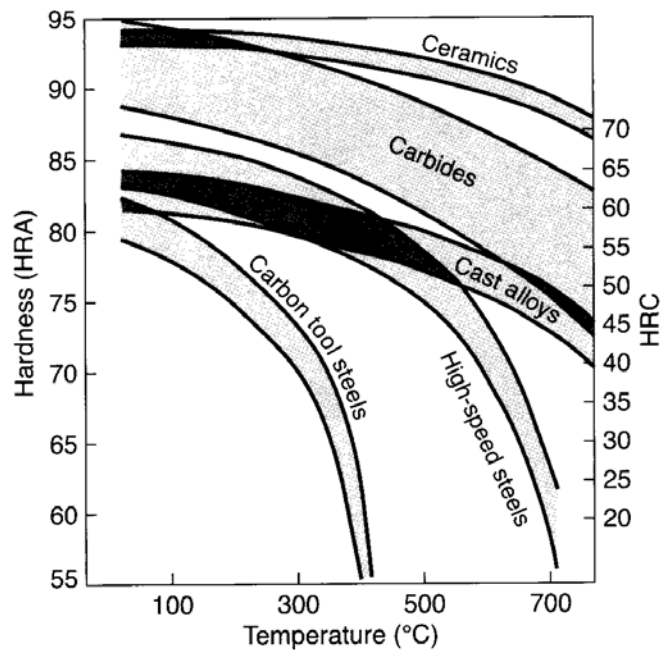
Kekerasan yang rendah dan daya adhesi yang tinggi tidak diinginkan sebab mata potong akan terdeformasi, terjadi keausan tepi dan keausan kawah yang besar. Keuletan yang rendah serta ketahanan beban kejut termal yang kecil mengakibatkan rusaknya mata potong maupun retak mikro yang menimbulkan kerusakan fatal. Sifat-sifat unggul seperti diatas memang perlu dimiliki oleh material pahat. Akan tetapi tidak semua sifat tersebut dapat dipenuhi secara berimbang. Pada umumnya kekerasan dan daya tahan termal yang dipertinggi selalu diikuti oleh penurunan sifat keuletan dari pahat. Berbagai penelitian dilakukan untuk mempertinggi kekerasan dan menjaga keuletan tidak terlalu rendah sehingga pahat tersebut dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi. Dengan adanya peningkatan pada kecepatan potong benda kerja menunjukkan hasil produktifitas semakin meningkat.

Recovery Hardness yaitu kekerasan pada temperature ruang setelah material yang bersangkutan mengalami temperature kerja yang tinggi selama beberapa saat.

Pada mulanya untuk memotong baja digunakan baja karbon tinggi sebagai bahan perkakas potong dimana kecepatan potong pada waktu itu hanya bisa mencapai sekitar 10 m/menit. Berkat kemajuan teknologi, kecepatan potong ini dapat dinaikkan sehingga menjadi sekitar 700 m/menit yaitu dengan menggunakan CBN (*Cubic Boron Nitride*). Kecepatan potong yang tinggi tersebut dapat dicapai berkat kekerasan yang tetap relatif tinggi meskipun temperatur kerjanya cukup tinggi.

Tingkat kekerasan yang rendah dan adhesi yang tinggi tidak diharapkan karena memungkinkan distorsi atas profil pahat, membulatkan moncong pahat, berangsur-angsur menyebabkan keausan pada telapak pahat. Ketangguhan dan resistansi terhadap kejutan termal kurang baik akan mengakibatkan terkelupasnya tepi sisi potong atau bahkan patah. Sayangnya tingkat kekerasan dan resistansi terhadap panas bahan, secara umum hanya dinaikkan dengan mengorbankan ketangguhan bahan, karena itu, tidak ada alat iris yang benar-benar paling baik. Sejumlah perkembangan terakhir secara umum didasarkan pada penggabungan sifat-sifat yang diinginkan dari bahan dasar dan pelapis. Berikut ini adalah material-material yang sering digunakan untuk proses pemesinan mulai dari yang paling lunak tetapi ulat sampai dengan yang paling keras tetapi getas yaitu:

1. Baja Karbon (*High Carbon Steels; Carbon Tool Steels; CTS*),
2. HSS (*High Speed Steels; Tool Steels*),
3. Paduan Cor Nonferro (*Cast Nonferrous Alloys; Cast Carbides*),
4. Karbida (*Cemented Carbides; Hardmetals*),
5. Keramik (*Ceramics*),
6. CBN (*Cubic Boron Nitrides*), dan
7. Intan (*Sintered Diamonds & Natural Diamonds*).



Gambar 2.2 Grafik Kekerasan dari material Pahat

2.4.1 Material Karbida

Material karbida ditemukan pada tahun 1923 merupakan bahan pahat yang dibuat dengan cara menyinter (sintering) serbuk karbida (nitride, oksida) dengan bahan pengikat yang umumnya dari cobalt (Co). Dengan cara carburizing masing-masing bahan dasar (serbuk) tungsten (wolfram, W), titanium (Ti), tantalum (Ta) dibuat menjadi karbida yang kemudian digiling (ball mill) dan disaring. Salah satu campuran serbuk karbida tersebut kemudian dicampur dengan bahan pengikat (Co) dan dicetak tekan dengan memakai bahan pelumas (lilin). Setelah itu dilakukan presintering (1000°C pemanasan mula untuk menguapkan bahan pelumas) dan kemudian sintering (1600°C) sehingga bentuk keeping (sisipan) sebagai hasil proses cetak tekan (*Cold* atau HIP) akan menyusut menjadi sekitar 80% dari volume semula.

Hot hardness karbida ini hanya akan menurun bila terjadi perlunakan elemen pengikat. Semakin besar persentase pengikat Co maka kekerasannya menurun dan sebaliknya keuletannya membaik. Modulus elastisitasnya sangat tinggi demikian pula berat jenisnya (*density*, sekitar 2 kali dari baja). Koefisien

muainya setengah daripada baja dan konduktifitas panasnya sekitar dua atau tiga kali konduktifitas panas HSS. Ada tiga jenis utama pahat karbida sisipan, yaitu:

1. Karbida tungsten yang merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang (*cast iron cutting grade*)
2. Karbida tungsten paduan merupakan jenis pahat karbida untuk pemotongan baja (*steel cutting grade*)
3. Karbida lapis (*coated cemented carbide*) merupakan jenis pahat karbida tungsten yang dilapis (satu atau beberapa bagian) karbida, nitrida atau oksida lain yang lebih rapuh tetapi *hardnessnya* tinggi.

Karbida berlapis, coated cemented carbide pertama kali diperkenalkan oleh KRUPP WIDIA (1968) dan sampai saat ini jenis karbida lapis semakin berkembang dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai proses pemesinan (di Negara-negara maju, pemakaiannya sekitar 40% dari seluruh jenis pahat karbida yang digunakan).

Umumnya sebagai material dasar adalah karbida tungsten (WC + Co) yang dilapis dengan bahan keramik (karbida, nitride, dan oksida yang keras tahan temperature tinggi serta nonadhesif). Lapisan setebal 1 s.d. 8 mikron ini diperoleh dengan cara PVD atau CVD. Pelapisan secara CVD (chemical Vapour deposition) menghasilkan ikatan yang lebih kuat daripada PVD (physical vapour deposition).

Metode physical vapour deposition (PVD) dan chemical vapour deposition (CVD) termasuk ke dalam tipe surface coating yang merupakan proses pendepositan lapisan yang keras pada permukaan material menggunakan senyawa yang berbeda secara struktur kimia dan sifatnya.

PVD merupakan proses yang melibatkan pembentukan lapisan coating pada permukaan material pahat dengan prinsip deposisi atau pengendapan secara fisik partikel-partikel atom, ion atau molekul dari bahan pelapis (coating).

CVD merupakan proses yang menghasilkan lapisan coating secara kimiawi atau dengan reaksi kimia pada permukaan material yang dipanaskan. CVD dilaksanakan dengan mengendapkan elemen atau paduan elemen (keramik) yang terjadi akibat reaksi pada fasa uap antara elemen/paduan tersebut dengan gas pereaksi sehingga menempel dengan kuat pada material yang dilapis. Pelapisan dapat diulang untuk kedua atau ketiga kalinya dengan menggunakan elemen

pelapis yang berbeda. Baik PVD dan CVD dapat digunakan untuk menambah ketahanan aus pada material pahat karbida.

CVD merupakan proses pengendapan senyawa / unsur terjadi akibat reaksi dekomposisi kimia akibat aktivasi termal di seputar komponen yang dilapisi. Pada proses CVD, substrat diletakkan di depan pada satu atau lebih prekursor yang bereaksi pada permukaan substrat untuk menghasilkan deposit yang diinginkan, kemudian dikeluarkan oleh aliran gas melalui reaksi ruangan.

PVD merupakan proses pengendapan senyawa / unsur terjadi akibat peristiwa kondensasi fisika. PVD digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan daya tahan terhadap keausan, mengurangi efek gesekan, dan meningkatkan daya tahan terhadap oksidasi. Mekanismenya target material ditembak dengan energi agar atom-atomnya lepas kemudian ditransferkan dan didepositkan pada material yang ingin dilapisi. Namun, PVD juga memiliki kelemahan yaitu beberapa proses memerlukan tekanan dan temperatur yang tinggi, proses pada suhu yang tinggi memerlukan sistem pendinginan yang mahal, dan biasanya kecepatan deposisi cukup lambat.

Pelapisan PVD dilakukan dalam ruang hampa dimana material pelapis diubah ke fase uap dan didepositkan pada permukaan material dasar sehingga terjadi lapisan yang sangat tipis (thin film). Terdapat 3 jenis mekanisme PVD :

1. Penguapan dalam ruang hampa (vacuum evaporation)
2. Pemercikan/pancaran partikel atom (sputtering)
3. Pelapisan ion (ion plating)

2.5 Keausan Pahat

Keausan pahat memiliki pengaruh ekonomis dalam operasi pemesinan dan hubungan kepada integritas permukaan. Dan keausan pahat mempengaruhi umur pahat dan kualitas produk yang dihasilkan.

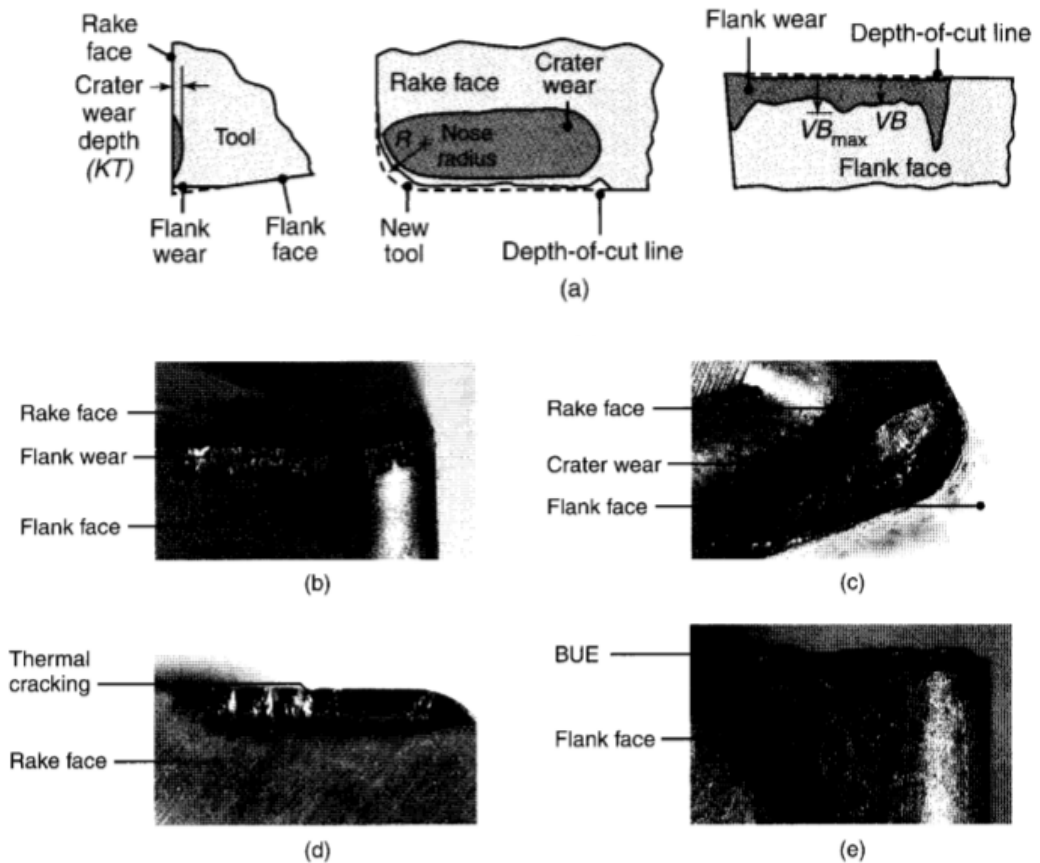
Pahat potong memiliki stress lokalisasi yang tinggi, temperature yang tinggi, pergesekan antara chip dengan sudut buang, dan pergesekan antara pahat dengan permukaan saat proses pemotongan. Kondisi ini mempengaruhi keausan pahat yang mana mempengaruhi umur pahat, kualitas hasil pemesinan dan akurasi

dimensi dan nilai ekonomis dari pemesinan. Nilai dari keausan pahat dipengaruhi dari pahat, material benda kerja, bentuk pahat, cairan pemotongan, parameter pemesinan, dan karakteristik pahat.

Telah kita ketahui bahwa pada pahat terjadi stress pada ujung pahat, temperatur yang tinggi pada gesekan antara permukaan pahat dengan benda kerja, gesekan antara chip dengan sudut bebas pada pahat. Kondisi ini merupakan keausan pada pahat, yang merupakan pertimbangan utama pada proses pemesinan. Keausan pahat mempengaruhi pada umur pahat, hasil permukaan pada benda kerja, akurasi dimensi dan ongkos produksi pada pemesinan.

Ketika pemesinan, pahat berada dalam lingkungan yang terjadi kontak stress yang tinggi dan temperatur yang tinggi, maka dengan itu keausan pahat merupakan konsekuensi yang tidak dapat dihindarkan. Pada kecepatan dan temperature yang rendah, keausan pada pahat biasa terjadi di bagian tepi. Kriteria lain yang bisa digunakan untuk mendefinisikan kerusakan pahat sebagai tambahan dari keausan yaitu:

- Ketika permukaan hasil benda kerja tidak dapat diterima
- Ketika toleransi dimensi benda kerja tidak didapat.
- Ketika konsumsi listrik atau gaya pemotongan meningkat hingga limit.
- Waktu pemotongan atau kuantitas komponen



Gambar 2.3. Keausan pada pahat

Keausan adalah proses bertahap, kurang lebih seperti ujung pada pensil. Laju pada keausan pahat tergantung kepada pahat dan material benda kerja, geometri pahat, parameter proses, cairan pemotongan dan karakteristik dari pahat yang digunakan. Keausan pahat dan perubahan pada geometry selama permesinan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu: keausan tepi (*flank wear*), keausan kawah (*crater wear*), keausan ujung (*nose wear*), *Notching*, deformasi plastik dari ujung pahat (*plastic deformation of tool tip*), *chipping* dan *gross fracture*.

Keausan tepi (*flank wear*) terjadi pada bagian sisi dari pahat. Keausan ini memiliki tanda seperti gesekan antara pahat dengan permukaan benda kerja yang menyebabkan keausan abrasi dan adhesive, dan temperatur yang tinggi dan menyebabkan perubahan property dari pahat dan juga benda kerja.

Keausan kawah terjadi pada permukaan beram pada pahat. Dapat terlihat bahwa keausan kawah mempengaruhi kotak pada geometry pahat dengan chip. Faktor yang mempengaruhi keausan kawah adalah temperatur antara chip dengan

pahat, pengaruh kimia antara pahat dengan benda kerja dan juga faktor yang mempengaruhi keausan tepi juga mempengaruhi keausan kawah. Keausan kawah biasanya dikaitkan dengan mekanisme, yaitu perpindahan antara atom-atom dari kontak antara pahat dengan geram benda kerja. Nilai difusi akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Mengaplikasikan lapisan pada pahat akan mengurangi proses difusi dan mengurangi keausan pahat. Lapisan yang umum digunakan adalah: *titanium nitride*, *titanium carbide*, *titanium carbonitride*, dan aluminium oxide.

Nose wear yaitu pembulatan dari pahat yang tajam dikarenakan efek dari temperature dan mekanis. *Nose wear* ini membuat pahat tumpul, mempengaruhi formasi chip, menyebabkan gesekan berlebih antara pahat dengan benda kerja sehingga terjadi kenaikan temperature dan mungkin terjadi stress sisa pada permukaan benda kerja.

Takik (Notches) atau alur (grooves) juga biasanya terlihat pada pahat biasanya terjadi ketika chip tidak lagi terjadi kontak dengan pahat. Chipping juga merupakan keausan pahat yang berart terjadi pecahan dari sudut potong pahat. Fenomena ini biasanya terjadi pada material pahat yang getas seperti ceramics, sama dengan terpecahnya ujung pensil jika terlalu tajam. Bagian pahat yang terpecah bisa menjadi sangat kecil (microchipping / macrochipping) ataupun bisa menjadi ukuran yang relative besar yang disebut gross chipping, gross fracture dan catastrophic failure.

Chipping bisa juga terjadi pada bagian pahat yang retak ataupun cacat. Tidak seperti aus, yang mana adalah proses bertahap. Chipping terjadi kehilangan material dari pahat secara tiba tiba dan berubah sesuai dengan bentuknya. Chipping bisa menjadi efek kerugian utama dalam hasil permukaan benda kerja, integritas permukaan, dan akurasi dimensi dari benda kerja

Dua penyebab utama daripada chipping adalah:

- Shock mekanis (mechanical shock) : akibat proses pemotongan yang terputus.
- Kelelahan thermal (thermal fatigue) : variasi dari temperature pahat pada saat pemotongan terputus.

Retak thermal biasanya tegak lurus dari pada sudut pemotongan dari pahat. Variasi utama dari komposisi atau struktur/material benda kerja juga bisa menyebabkan chipping. Chipping bisa dikurangi dengan memilih material yang memiliki nilai impact yang tinggi dan tahan terhadap shock temperature.

2.6 Baja AISI 4340

Baja AISI 4340 merupakan baja paduan rendah yang tersedia di pasaran setelah mengalami proses pengerolan hitam atau kondisi normalisasi. Baja tersebut memiliki kekuatan tarik sebesar 930 – 1080 MPa, densitas 7,85 g/cm³ dan melting point 1427°C. Baja AISI 4340 memiliki karakteristik mampu dilas, mampu ketemesinan, kekuatan yang tangguh serta ketahanan impak. Aplikasi penggunaan baja AISI 4340 digunakan pada pembuatan poros, pin, baut pengunci, roda gigi dan semua jenis komponen umum yang digunakan dalam teknik mesin.

Pada penelitian ini, baja AISI 4340 dibeli dari PT.Suminsurya Mesindolestari yang sudah dikeraskan (*Heat-Treatment*) sampai kekerasan 45 – 50 Hardness Rockwell dengan sertifikat. Data komposisi kimia dari baja AISI 4340 dapat terlihat pada tabel 2.1. Baja AISI 4340 memiliki sifat kekerasan yang rendah terutama pada ukuran diameter sebesar 60mm. Data sifat mekanis dari baja AISI 4340 dapat terlihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 4340

Elemen	Kadar
Karbon, C	0,410 %
Silika , Si	0,220 %
Cu	0,050 %
Mangan, Mn	0,650 %
Fosfor, P	0,015 %
Sulfur, S	0,006 %
Nickel, Ni	1,790 %
Chromium, Cr	0,790 %
Molibdenum, Mo	0,220 %
V	0,020 %
Aluminium, Al	0,021 %

Sumber: Sertifikat uji bahan PT. SUMINSURYA MESINDOLESTARI

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Baja AISI 4340

Sifat Mekanis	Besaran
Kekuatan Tarik, Maks	935 MPa
Kekuatan Tarik, lulur	795 MPa
Elongasi pada saat patah (dalam ukuran 50mm)	22.0%
Reduksi Area	55,0 %
Modulus Elastisitas	190GPa – 210GPa
Modulus Bulk	140GPa
Modulus Geser	80Gpa

Sumber: Sertifikat uji bahan PT. SUMINSURYA MESINDOLESTARI

2.7 Kriteria dan Prediksi Umur Pahat

Umur pahat berpengaruh pada pemilihan pahat, kondisi proses pemesinan, nilai ekonomis dan kemungkinan otomatisasi dan pengendalian komputer. Sayangnya tidak ada definisi sederhana mengenai umur pahat. Umur pahat harus ditentukan dengan mempertimbangkan tujuan proses pemakaiannya. Jadi, dalam pengerjaan finishing, kualitas permukaan dan ketepatan dimensional yang tidak terlalu tinggi masih dapat diterima demi pertimbangan laju pembuangan logam yang tinggi, batas umur pahat dicapai bila gaya potong meningkat cukup tinggi hingga menyebabkan pahat retak atau patah. Semua pertimbangan ini biasanya diwujudkan dalam nilai-nilai yang dapat diukur dengan mudah dengan batas keausan tepi 0,3 mm.

Kriteria lain termasuk keausan jenis bentuk kawah, yakni jumlah rugi-rugi pada tepi sisi potong atau moncong mata pahat, atau jumlah volume keausan (di bagian telapak dan kawah). Umur pahat biasanya ditentukan sebagai berapa lama (dalam menit) mata pahat tersebut mencapai criteria keausan tertentu dalam kondisi pemakaian tertentu meskipun untuk produksi missal umur pahat dalam satuan jam lebih sesuai.

Keausan pahat memiliki pengaruh ekonomis dalam operasi pemesinan dan hubungan kepada integritas permukaan. Dan keausan pahat mempengaruhi umur pahat dan kualitas produk yang dihasilkan.

Keausan tepi (*flank wear*) terjadi pada bagian sisi dari pahat. Keausan ini memiliki tanda seperti gesekan antara pahat dengan permukaan benda kerja yang menyebabkan keausan abrasi dan adhesi, dan temperatur yang tinggi dan menyebabkan perubahan properti dari pahat dan juga benda kerja.

Meskipun ada beragam mekanisme keausan yang mempengaruhi, namun keausan selalu akan terjadi secara berangsur-angsur yang disebabkan oleh mekanisme-mekanisme yang bergantung pada suhu (bahkan keausan abrasive juga dipercepat oleh suhu karena kekuatan dan ketahanan mata pahat akan turun pada suhu yang tinggi). Kita telah melihat bahwa suhu sangat dipengaruhi oleh kecepatan potong dan telah diketahui pula bahwa keausan bertahap merupakan fungsi dari jarak pergesekan, untuk kecepatan potong tertentu adalah sebanding dengan waktu. Selanjutnya, dapat diperkirakan bahwa untuk kriteria keausan tertentu seperti keausan bagian telapak, umur pahat akan turun sebagai sebuah fungsi dari kecepatan. Taylor pertama kali menemukan bahwa hubungan ini mengikuti dalil perpangkatan

$$vt^n = C \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

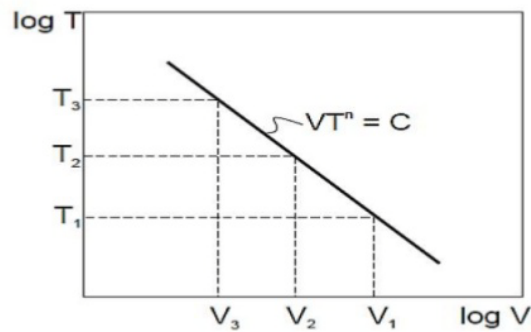
- v = kecepatan potong (m/menit)
- t = umur pahat (menit)
- C = kecepatan potong untuk umur pahat selama 1 menit.

Jadi persamaan di atas seharusnya ditulis,

$$vt^n = Ct_{ref}^n \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana $t_{ref} = 1$ menit. Dengan demikian ada hubungan garis lurus bila umur pahat dilukiskan terhadap kecepatan dalam sebuah skala logaritma. Eksponen Taylor "n" adalah karakteristik dari bahan pahat berdasarkan hasil yang diperoleh dalam praktek pemotongan baja yang dilunakkan terlihat pada tabel 2.3. tapi perlu dicatat bahwa dalam proses pengerjaan dengan kecepatan tinggi, umur pahat dapat jauh lebih panjang dibandingkan dengan yang diprediksikan oleh persamaan Taylor.

Tool Life vs. Cutting Speed



Log-log plot of cutting speed Vs tool life.

As cutting speed is increased, wear rate increases, so the same wear criterion is reached in less time, i.e., tool life decreases with cutting speed

Prod Tech Prof. Naman M. Dave

Gambar 2.4 Grafik Persamaan Kurva Taylor

Tabel 2.3 Harga Nilai n untuk Persamaan Taylor

Material Pahat	Harga n
HSS	0.08 – 0.2
Paduan Cor	0.1 – 0.15
Karbida	0.2 – 0.5
Karbida Lapis	0.4 – 0.6
Keramik	0.5 – 0.7

2.8 Perluasan Persamaan Umur Pahat Taylor

Perluasan persamaan Taylor^[10] dilakukan berdasarkan dari data hasil penelitian terhadap umur pahat karbida PVD berlapis pada proses pembubutan kering dan pembubutan keras. Umur pahat Taylor hanya bergantung kepada variabel kecepatan potong. Sedangkan untuk penelitian sekarang, umur pahat dikembangkan menjadi fungsi yang terdiri atas variabel kecepatan potong (v_c), pemakanan (f), kedalaman potong (a), sehingga membentuk persamaan berikut:

$$T_L = f(v, f, a, \dots) \dots \dots \dots (2.9)$$

Untuk mendapatkan perluasan fungsi persamaan Taylor, maka persamaan 2.8 dapat dimodifikasi menjadi:

$$v \cdot T^n a^x f^y = C \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

v = kecepatan potong (m/min)

TL = Umur pahat (menit)

a = kedalaman potong (mm)

f = laju pemakanan (mm/rev)

C = kecepatan potong untuk umur pahat selama 1 menit

Eksponen x/n dan y/n didapat dari hasil eksperimen dengan menggunakan kondisi pemotongan yang telah ditentukan. Maka persamaan 2.10 dapat diubah menjadi persamaan umur pahat, yaitu:

$$T = C^{\frac{1}{n}} \cdot v^{\frac{-1}{n}} \cdot a^{\frac{-x}{n}} f^{\frac{-y}{n}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Persamaan 2.11 dapat diubah menjadi persamaan logaritma yang terlihat pada persamaan 2.12

$$\log T = \log C^{\frac{1}{n}} - n^{-1} \log v - \frac{y}{n} \log f - \frac{x}{n} \log a \dots(2.12)$$

Koefisien-koefisien dari persamaan 2.12 dapat diganti pelambangannya menjadi lebih singkat agar tidak terjadi kekeliruan dan sekaligus memudahkan dalam menganalisa regresi, serta $\log C^{\frac{1}{n}} = \beta_0$. Koefisien dari persamaan tersebut akan didapat dengan analisa regresi secara statistic dari hasil data eksperimen, maka persamaan 2.12 menjadi:

$$T = \beta_0 + \beta_1 \log v + \beta_2 \log f + \beta_3 \log a \dots\dots\dots (2.13)$$

2.9 Design of Experiment

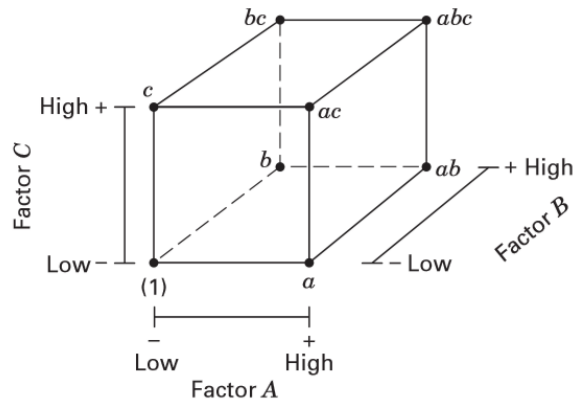
Eksperimen adalah bagian yang penting dalam metode *science* pada saat ini. Aplikasi teknik *design of experiment* pada awal pengembangan eksperimen dapat mengurangi waktu pengembangan, ongkos, variable yang digunakan.

Banyak eksperimen yang melibatkan studi dari efek dari dua faktor maupun lebih. Desain factorial merupakan yang paling efisien untuk eksperimen ini. Dengan desain faktorial, kita menyelesaikan pengulangan dari eksperimen dengan semua kemungkinan kombinasi dari level factor yang diinvestigasi.

Pada kasus special adalah factor k , yang mana ada pada 2level. Level ini bisa kuantitatif seperti dua nilai temperatur, tekanan, dan waktu; ataupun kualitatif seperti dua mesin, dua operator, level "high" dan "low" pada faktor. Replikasi

yang sempurna pada desain tersebut memerlukan observasi $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ yang disebut 2^k factorial design.

Pada desain 2^3 menggunakan 3 faktor, A, B dan C, setiap factor memiliki 2 level. Desain ini disebut 2^3 factorial design, dan 8 kombinasi yang dibentuk dalam kubus geometri. Pada matriks menggunakan symbol “+” dan “-“ untuk menentukan level high dan low.



Gambar 2.5 Design faktorial bentuk geometri

Run	Factor		
	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Gambar 2.6 Design faktorial bentuk matrix