

OPTIMALISASI GEOMETRI PAHAT HSS PADA PROSES FINISHING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DI MESIN BUBUT

Sutrisno, Koko Setiyono

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Gresik
Jl. Arif Rahman Hakim 2 B Telp, (031) 3981918 Gresik, Indonesia

ABSTRAK

Proses finishing adalah salah satu proses yang menentukan hasil akhir dari suatu proses permesinan di mesin bubut. Dalam penelitian ini akan memberikan 3 pahat finishing HSS dengan geometri yang berbeda dan memberikan 3 variasi putaran dan feeding yang berbeda pula. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S45C dengan alat pengukur kekasaran tipe "TR 100 Surface Roughness". Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui optimalisasi geometri pahat finishing HSS antara pahat finishing standart (SOP) dengan pahat modifikasi dengan radius pahat 10 mm dengan pemberian alur geram. Metode penelitian ini adalah eksperimental (experiment research), dengan pemberian putaran mesin 90 rpm dan 112 rpm dengan variasi feeding 0,10 mm/put, 0,125 mm/put dan 0,14 mm/put pada setiap pahat uji coba. Hasil penelitian didapat bahwa dengan pemberian radius yang lebih besar dan alur geram didapatkan hasil ukuran kekasaran permukaan rata-rata 1,2 dan hasil hitung rata-rata 0,8 serta mempunyai efisiensi waktu 2-3% lebih cepat dari geometri pahat finishing standart.

Kata kunci : Pahat HSS, Baja S45C, dan Mesin bubut.

PENDAHULUAN

Latar belakang

Di dalam proses pengerjaan mesin bubut terdapat proses *finishing* atau proses akhir. Proses ini sangat menentukan hasil

dimensi dan kekasaran (*roughness*). Hasil yang baik dalam proses *finishing* sangat ditentukan dengan berbagai hal antara lain :

1. *Standart* mesin yang masih baik
2. Penataan senter pahat terhadap benda kerja

3. Geometri dari pahat
4. Kecepatan putar mesin
5. *Feeding* pemakan
6. Jenis benda yang dikerjakan
7. Kedalaman pemakanan dan gaya potong

Oleh sebab itu dalam proses *finishing* operator perlu memperhatikan hal tersebut, sehingga hasil yang didapat dari proses *finishing* tersebut dapat lebih maksimal. Dari hal tersebut maka untuk menambah kinerja dari proses ini maka penggunaan geometri pahat dan gaya pemotongan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan dan jenis benda yang di kerjakan.

Tujuan penelitian

Untuk mengoptimalkan geometri pahat *finishing* HSS di mesin bubut, dengan pemberian jalan alur dan memperlebar bidang penyayatan, agar hasil *finishing* dapat mengurangi tingkat kekasaran permukaannya dan juga dapat mempersingkat waktu pengerjaan.

KAJIAN PUSTAKA

Proses permesinan

Didalam proses permesinan terjadi interaksi antara empat elemen, yaitu pahat potong mesin perkakas, benda kerja dan pemegang benda kerja. Didalam garis besar dalam pengerjaan benda kerja terdapat tiga langkah kerja yaitu : *Sumber Daryanto (2011)*

1. Proses *Facing* (Proses perataan permukaan). Adalah suatu proses pengerjaan permukaan pada benda kerja.
2. Proses *roughing* (Proses pendekatan dimensi). Adalah suatu proses pengerjaan setelah proses *facing*, dalam proses ini benda kerja

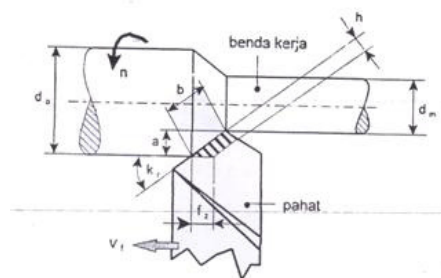
dikerjakan mendekati ukuran yang diminta.

3. Proses *Finishing* (Proses penyelesaian Akhir). Adalah suatu proses pengerjaan yang dilakukan sesuai dengan ukuran yang diminta, juga disebut proses akhir.

Tiga parameter utama pada setiap proses permesinan adalah

1. Kecepatan putar spindel (*speed*) adalah gerakan berputar benda kerja (putaran spindel atau sumbu utama).
2. Gerak makan (*feed*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan f adalah mm/putaran.
3. Kedalaman potong (*depth of cut*) adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong.

Elemen dasar dari proses pembubutan



Gambar 1 : Proses di mesin bubut

1. Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots\dots(\text{m/menit})$$

d = diameter rata-rata.....(mm)

$$d = \frac{d_o - d_i}{2} \dots\dots(\text{mm})$$

2. Kecepatan makan

$$vf = f \cdot n \dots (\text{mm/menit})$$

$f = \text{feeding} \dots (\text{mm/put})$
 $n = \text{putaran spindel} \dots (\text{rpm})$

3. Waktu pemotongan

$$T_c = \frac{Lt}{vf} \dots (\text{menit})$$

$Lt = \text{Panjang pemotongan} \dots (\text{mm})$

4. Lebar pemotongan

$$b = \frac{a}{\sin Kr} \dots (\text{mm})$$

$\sin kr = \text{Sudut potong utama} \dots (^\circ)$
 $a = \text{ketebalan pemakanan} \dots (\text{mm})$

5. Tingkat kekasaran (*roughness*) tiap-tiap pahat uji coba

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{rc} \times 1000 \dots (\mu\text{m})$$

$R = \text{Kekasaran Permukaan} \dots (\mu\text{m})$
 $a = \text{Radius Ujung Pahat} \dots (\text{mm})$
 $c = \text{Radius Ujung Pahat} \dots (\text{mm})$

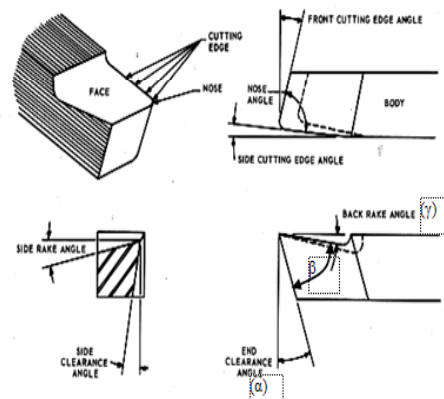
Sudut Potong

Selain pahat yang kuat, ulet dan tahan panas, geometri pahat bubut sangatlah penting untuk membuat umur pahat dapat bertahan lama. Beberapa sudut pokok pahat adalah sebagai berikut :

1. Sudut pasak atau baji β adalah Sudut antara bidang serpih dan bidang bebas.
2. Sudut serpih γ adalah Sudut antara bidang serpih dan patokan (dasar).
3. Sudut bebas α adalah sudut antara bidang bebas dan bidang penyayatan bahan.

Besarnya sudut potong pahat akan sangat mempengaruhi besarnya gaya potong dan temperatur pahat, sehingga pemilihan sudut potong pahat yang tepat

akan dapat meningkatkan efisiensi proses pemesinan. Sudut potong negatif memiliki banyak keuntungan dan umumnya digunakan untuk proses *roughing*.



Gambar 2 : Geometri pahat.

Sudut potong umumnya memiliki nilai optimum, sehingga jika salah menentukan besarnya sudut potong akan menyebabkan pahat menjadi cepat aus. Keausan pahat terjadi karena adanya bidang gesek yang terlalu besar antara pahat dan benda kerja, sedangkan luas bidang gesek sangat dipengaruhi oleh besarnya sudut potong pahat.

Pahat

Ada beberapa jenis pahat bila dilihat dari jenis bahan yang digunakan antara lain :

1. Baja karbon.
 Baja dengan kandungan karbon 0,8% - 1,20% mempunyai yang tinggi untuk dikeraskan. Pada kekerasan maksimum, baja agak rapuh dan kalau dikehendaki keuletanya maka harus dikorbankan kekerasannya. Baja jenis ini akan kehilangan kekerasannya pada suhu 300°C. Untuk itu baja ini tidak cocok untuk pekerjaan dengan kecepatan yang tinggi dan tugas yang berat.

2. HSS (High Speed Steels)

Baja ini mengandung unsur paduan yang tinggi sehingga mempunyai kemampuan dikeraskan yang sangat baik dan dapat bertahan dalam kondisi pemotongan sampai dengan 650°C. Pada kondisi lunak baja tersebut dapat diproses secara pemesinan menjadi berbagai bentuk pahat potong. Setelah proses laku panas dilaksanakan, kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan untuk kecepatan potong yang tinggi. Pahat bubut HSS merupakan paduan dari beberapa unsur antara lain :

- a. Karbon (C) = 0,75%-1,5%
- b. Chromium (Cr) = 4% - 4,5%
- c. Tungsten (W) = 10% - 20%
- d. Molybdenum (Mo)= 10% - 20 %
- e. Vanadium (V) = 5%
- f. Cobalt (Co) lebih dari 12%.

Pahat HSS dapat digolongkan menjadi tiga kelompok yaitu :

- a. *High speed steel*,
- b. *Molybdenum high speed steel*
- c. *Superhigh speed steel*.

Beberapa cara meningkatkan kekerasan HSS antara lain :

- a. Pelapisan.
Beberapa material pelapis diantaranya: Tungsten karbida, Titanium karbida Titanium nitrida, dengan tebal pelapisan 5-8 µm.
- b. Penyepuhan (*quenching*)
Untuk HSS yang dipanaskan pada suhu 1175-1230°C dan disepuh dengan oli, kemudian ditemper pada suhu 550-580°C, kekerasannya meningkat sampai 63-65 HRC.

3. Paduan cor bukan besi

Beberapa bahan paduan bukan besi yang mengandung unsure paduan utama seperti kobalt, chrom dan tungsten dengan unsur pembentuk karbida (1% - 2%) adalah bahan yang baik digunakan untuk bahan perkakas. Paduan ini dibentuk dengan cor mempunyai kekerasan merah yang tinggi yaitu sampai suhu 925°C. Bahan ini mampu tahan terhadap kecepatan tinggi namun bahan ini rapuh dan tidak tahan dengan perlakuan panas.

4. Karbida

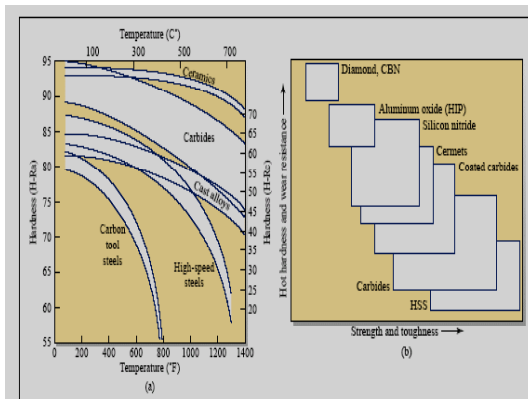
Perkakas karbida ini mengandung wolfram karbida 94% dan kobalt 6%. Bahan ini cocok untuk pekerjaan besi cor dan semua bahan lain kecuali baja. Untuk baja perlu ditambahkan titanium, dan tantalum karbida. Kekerasan merah bahan ini dapat menahan tepi potong pada suhu 1200°C. Tetapi bahan ini tidak tahan dengan perlakuan panas.

5. Intan

Sebagai pahat bermata tunggal dan digunakan untuk pemotongan ringan dengan kecepatan tinggi. Bahan ini mempunyai kekerasan yang tinggi dan kerapuhan yang tinggi pula.

6. Keramik

Bahan jenis ini mempunyai serbuk alumunium oksida (bahan keramik) dan dibuat bahan tambahan pahat pemotong. Keramik mempunyai ketahanan terhadap panas sehingga dapat digunakan dengan kecepatan potong yang tinggi. Bahan ini mempunyai titik lebur diatas 1100°C.



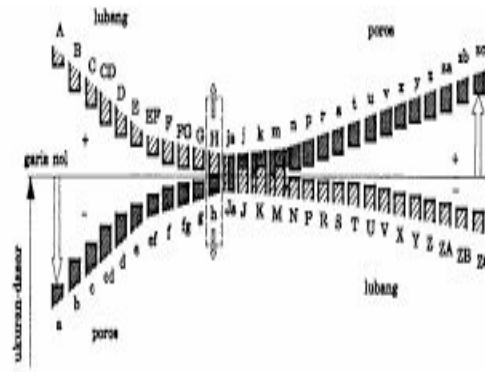
Gambar 2 : Kekerasan dari beberapa macam material pahat sebagai fungsi dari temperatur.

Kekasaran material (*Surface Roughness*)

Kehalusan terhadap hasil pembubutan atau proses *machining* adalah sangat penting, maka dari itu dalam setiap proses pengerjaan ada proses *finishing*, yang sangat berguna untuk mengontrol hasil dari pekerjaan. Ada dua garis besar yang sangat menentukan hasil pekerjaan itu benar atau salah antara lain :

1. Dimensi atau ukuran yang diinginkan sesuai dengan gambar dan toleransi (sesuaian) yang di inginkan.
2. Kekasaran (*roughness*) yang di inginkan sesuai dengan fungsi benda kerja tersebut.

Dimensi ukuran atau toleransi adalah batas atas dan bawah yang diizinkan dari ukuran yang sebenarnya. Batas atas maupun bawah dari ukuran disesuaikan dengan fungsi dan kinerja benda tersebut. Untuk toleransi dimensi harus disesuaikan dengan *Standart Operasional Prosedur*, sehingga sesuai dengan guna dan fungsinya. Berikut ini Toleransi dimensi (sesuaian) sesuai dengan *Standart Operasional Prosedur*.



Gambar 3 : Sistem suaian.

Menurut ISO 1302 – 1978 yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata aritmetik dari garis rata-rata profil. Definisi ini digunakan untuk menentukan harga dari rata-rata kekasaran permukaan. Ada 3 parameter yang digunakan untuk menentukan kekasarna permukaan, yakni :

- 1) Ra adalah penyimpangan rata-rata dari garis rata-rata profil.
- 2) Rz adalah ketidak rataan ketinggian pada sepuluh titik.
- 3) Rmax adalah ketidak rataan ketinggian maksimum.

Tabel 1 : Lambang dan nilai kekasaran permukaan.

Roughness Values Ra μm	Roughness Grade Number	Roughness Triangle Symbols
50	N 12	~
25 12.5	N11 N10	▽
6.3 3.2 1.6	N9 N8 N7	▽▽
0.8 0.4 0.2	N6 N5 N4	▽▽▽
0.1 0.05 0.025	N3 N2 N1	▽▽▽▽

Gaya potong

Gaya potong adalah Suatu aksi reaksi yang ditimbulkan dari proses pemotongan baik itu gaya yang timbul dari proses penyayatan material maupun metode pemakanan (penyayatan) pada material. Dalam proses permesinan gaya potong merupakan salah satu hal yang sangat penting untuk menentukan hasil dari pekerjaan tersebut. Macam-macam gaya potong yang digunakan antara lain :

1. Gaya Radial
Gaya yang timbul akibat penyayatan pada ke dalaman pemotongan. Besarnya gaya ini ditentukan oleh ketebalan pemakanan. Gaya radial terjadi pada arah radial benda kerja dan gayanya paling kecil dibandingkan dengan dua lainnya.
2. Gaya Tangensial
Gaya yang timbul akibat dari kecepatan potong. Besarnya gaya ini dipengaruhi oleh putaran *spindle* dan *feeding*. Pada operasi normal gaya ini merupakan gaya terbesar dengan jumlah sekitar 98% dari total daya yang diperlukan.
3. Gaya Longitudinal
Gaya yang timbul saat pemakanan atau gaya penyayatan (metode penyayatan). Besarnya gaya ini biasanya 50% gaya *tangensial*. Namun jika kecepatan pemakanan rendah, hanya diperlukan sekitar 1% total daya yang diperlukan. Faktor yang mempengaruhi gaya potong di antaranya :
 - a. Kedalaman pemotongan.
 - b. Gerak pemakanan.
 - c. Kecepatan potong.

Cairan pendingin

Cairan pendingin mempunyai kegunaan khusus dalam proses permesinan,

selain untuk memperpanjang umur pahat, cairan pendingin dalam beberapa kasus dapat menurunkan gaya pemotongan dan kehalusan permukaan. Selain itu cairan pendingin juga berfungsi pembersih atau pembawa geram, melumasi elemen pembimbing mesin, melindungi benda kerja dan komponen mesin dari korosi.

Beberapa jenis cairan pendingin mampu menurunkan rasio pemampatan tebal geram, yang mengakibatkan penurunan gaya potong. Pada bidang geram didaerah kontak antara geram dan bidang geram pahat akan terjadi gesekan. Gesekan ini akan menimbulkan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama naiknya temperatur yang mengakibatkan adanya keretakan dan keausan dari pahat sehingga mempengaruhi hasil pembubutannya. Oleh sebab itu pentingnya cairan pendingin maka pemilihan jenis dan klasifikasinya sangatlah diperlukan.

Cairan pendingin jelas akan berfungsi dengan baik apabila diarahkan dan dijaga alirannya ke daerah pembentukan geram. Pemakaian cairan pendingin yang tidak berkesinambungan akan menyebabkan bidang aktif pahat akan mengalami gesekan yang sangat besar.

1. Jenis-jenis cairan pendingin
Cairan pendingin yang biasa dipakai dalam proses permesinan dapat dikategorikan 4 jenis antara lain :
 - a. Cairan sintentik.
Cairan yang jernih atau diwarnai yang merupakan cairan murni atau larutan permukaan aktif. Pada larutan murni unsur yang dilarutkan tersebar diantara molekul air dan tegangan permukaan hampir tidak berubah.

Larutan ini bersifat melumasi dan biasanya dipakai untuk sifat penyerapan panas yang tinggi serta melindungi dari korosi. Dengan penambahan unsur lain yang mampu membentuk kumpulan molekul dalam cairan aktif ini dapat mengurangi tegangan permukaan sehingga daya lumasnya tinggi dan mempermudah membasahi.

b. Cairan Emulsi

Cairan yang mempunyai kandungan partikel minyak 5 sampai dengan 20 μm . Unsur pengemulsi ini ditambah dalam minyak dan dilarutkan dalam air. Penambahan jenis minyak jenuh atau unsur lain (EP atau Extreme pressure additives) dapat meningkatkan daya lumas yang tinggi.

c. Cairan semi sintentik.

Merupakan perpaduan antara jenis cairan sintentik dan cairan emulsi yang mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- 1) Kandungan minyak lebih sedikit.
- 2) Kandungan minyak pengemulsianya lebih banyak dari pada cairan tipe sintentik. Partikel minyaknya lebih kecil dan lebih tersebar. Dapat berupa jenis minyak jenuh atau jenis EP (Extreme pressure)

d. Cairan minyak.

Minyak yang bisa berasal dari salah satu kombinasi dari minyak bumi, minyak binatang, minyak nabati, dan minyak ikan. Faskonsitasnya dapat bermacam-macam dari yang encer sampai dengan yang kental tergantung pemakaiannya. Pencampuran antara minyak bumi, hewani,

dan nabati dapat menaikkan daya pembasahan (Wetting action) sehingga memperbaiki daya lumas.

2. Sifat-sifat cairan pendingin

Adapun sifat-sifat cairan pendingin yang terdiri atas minyak yang dilarutkan adalah sebagai berikut :

- a. Memiliki kualitas pendingin yang baik sehingga mampu menyerap temperatur pemotongan.
- b. Memiliki kualitas yang baik sehingga gesekan antara pahat dan benda kerja dapat dikurangi sehingga mencegah melekatnya logam pada sisi potong.
- c. Mempunyai kemampuan untuk mencegah karat, baik pada benda kerja maupun mesin perkakas.
- d. Bersifat stabil baik dibuat maupun disimpan.
- e. Tidak cepat berbau tidak enak (tengik).
- f. Tidak beracun atau menimbulkan gas beracun.

Dari sifat-sifat yang dimiliki cairan pendingin tersebut maka fungsi utamanya sebagai cairan pendingin sangatlah penting sehingga diharapkan dalam proses pemotongan dengan temperatur tinggi cairan ini dapat menjaga kesetabilan pemotongan antara benda kerja dan pahat, sebagai pelumas permukaan dan mempermudah laju aliran geram.

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian

Rancangan penelitian ini disusun agar mempermudah proses penelitian yang akan dilakukan, agar data yang dihasilkan dapat sesuai dengan urutan langkah kerja.

1. Waktu dan tempat penelitian
 Penelitian dilakukan di PT.Barata Indonesia (persero) Work Shop 4 (PIA) dan waktu yang diperlukan dalam penelitian ini, mulai bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2014.
2. Metode yang digunakan
 Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental (experiment research) yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mengetahui pengaruh variasi sudut potong utama dan feeding terhadap kekasaran permukaan hasil proses finishing pembubutan menggunakan baja S45C.

Penelitian ini menggunakan mesin bubut konfensioal dan alat ukur kekasaran Rounghness. Dan penelitian ini menggunakan pahat HSS tipe T sebagai acuan penelitian, serta pemberian cairan pendingin tipe sintentik secara terus menerus.

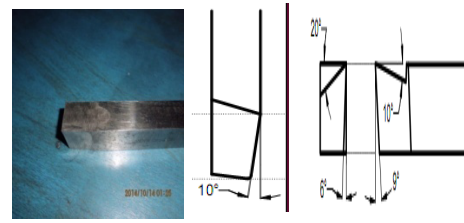
Perencanaan penelitian

Untuk penelitian ini maka disusunlah diagram alur agar rencana kerja dapat berjalan sesuai dengan acuan dalam pelaksanaan penelitian :

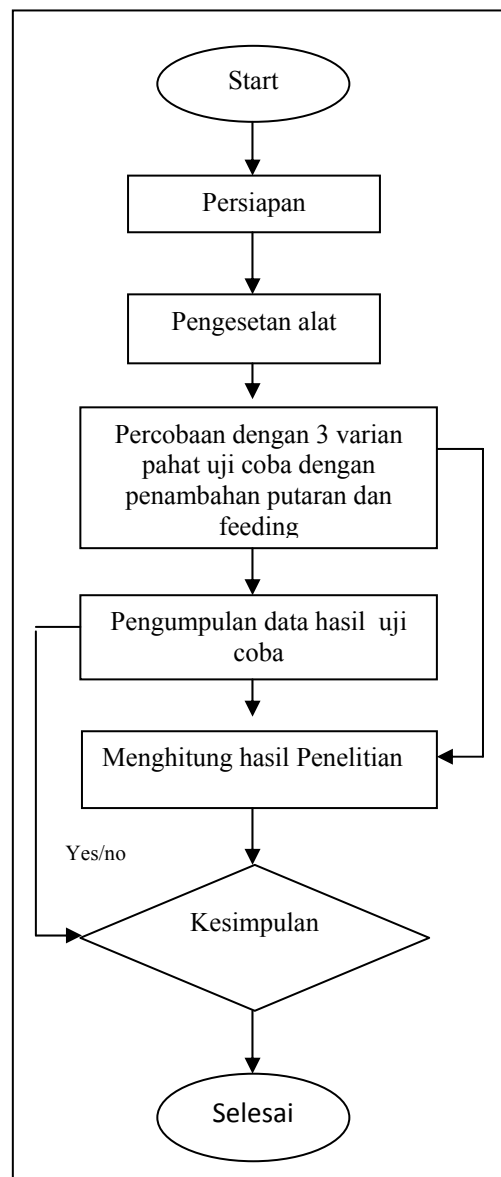
Variabel penelitian

Pahat yang digunakan adalah pahat HSS tipe T yang bentuk dan sudut geometrinya sudah dibentuk menjadi beberapa 3 variabel yaitu :

1. Pahat finishing yang geometrinya, radius 2 mmdan sudut potongnya di sesuaikan Standart pengasahan pahat.

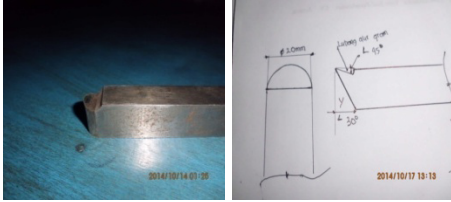


Gambar 5 : Pahat finishing dengan geometri, radius 2 mm dan sudut standart pengasahan pahat.



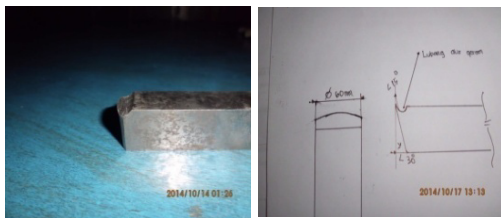
Gambar 4 : Diagram alir penelitian

2. Pahat finishing radius 10 mm yang geometrinya dan sudut potongnya di sesuaikan dengan standart pengasahan pahat.



Gambar 6 : Pahat finishing dengan menggunakan radius 10 mm.

3. Pahat finishing variasi yang sudah di modifikasi geometrinya dengan radius 10 mm dan pemberian alur geram serta sudut potongnya sesuai standart pengasahan pahat.



Gambar 7 : Pahat modifikasi dengan radius 10 mm dan beralur pembuangan geram.

Bahan ujicoba

Bahan yang akan kita gunakan untuk penelitian ini adalah baja S45C dengan diameter awal 60 mm dan panjang 110 mm.



Gambar 8 : Bahan uji coba S45C

Alat penelitian

1. Mesin Bubut

Penelitian ini menggunakan mesin bubut konvensional. "LATHE MACHINE WEISEER HEILBRONN" dengan kapasitas DIA 480 mm x 4000mm. Dan untuk penelitian kekasaran juga dilakukan ditempat yang sama dan hasilnya didata di departemen pengendalian kualitas (QC).



Gambar 9 : (Mesin bubut "LATHE MACHINE WEISEER HEILBRONN").

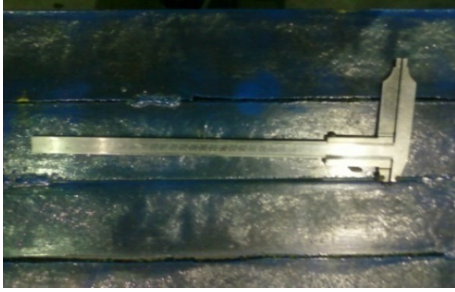
2. Alat ukur

Dipenelitian ini kita menggunakan 3 jenis alat ukur yaitu

- a. Sketmat (0 – 300) mm
- b. Micrometer (50 - 60) mm
- c. Roughness tester Alat yang dipergunakan untuk meneliti kekasaran permukaan adalah "TR 100 Surface Rounghness".



Gambar 10 : Alat pengukur kekerasan otomatis "TR100 SurfaceRoughness".



Gambar 11 : Sketmat (0 – 300 mm).

Proses penelitian

Proses penelitian ini lanjutan dari rancangan penelitian, disini masalah yang akan di pecahkan akan di kaitkan dengan rumus-rumus dan metode yang sudah ada sebelumnya. Dalam proses penelitian ini ada beberapa tahapan yang harus dilakukan yaitu :

1. Tahap identifikasi.
2. Tahap analisa.
3. Tahap perumusan kesimpulan.

Tahap identifikasi :

Tahap Identifikasi adalah Tahap mendata hasil pembubutan *finishing* banyak terjadi penyimpangan terlebih lagi untuk kekasaran hasil pekerjaan. Penyimpangan tersebut besar kemungkinan terletak pada geometri dan sudut pahat yang dipergunakan. Untuk itu penelitian ini kami lakukan dengan besar harapan metode ini bisa memecahkan masalah yang ada.

Di penelitian ini kami memanfaatkan lebar dari penyayatan dan memberikan jalan laju geram dengan memodifikasi pahat tersebut, untuk membandingkan pahat modifikasi ini kami memberikan 2 variabel pahat *finishing* yang banyak kita kenal.

Tahap analisa :

Tahap analisa ini kami merencanakan dan membandingkan

ketiga pahat finishing dengan cara sebagai berikut :

1. Menambah putaran mesin pada setiap uji coba ketiga pahat tersebut hingga dua tahap tingkatan putaran mesin :
 - a. Yang pertama dengan putaran 90 put/menit.
 - b. Yang kedua dengan putaran 112 put/menit.
2. Menambah feeding pada setiap uji coba ketiga pahat finishing dengan variabel feeding 3 tahap tingkatan yaitu :
 - a. Menggunakan feeding 0,1 mm/put.
 - b. Menggunakan feeding 0,125 mm/put.
 - c. Menggunakan feeding 0,14 mm/put
3. Menberikan tiga variasi radius:
 - a. Radius 2 mm (dengan alur geram)
 - b. Radius 10 mm (tanpa alur geram)
 - c. Radius 10 mm (dengan alur geram)

Untuk mempermudah penelitian ini maka disusunlah tabel dan diagram laju kekasaran dengan perbandingan putaran mesin untuk mengetahui seberapa besar dan efisiensinya dari 3 variabel pahat tersebut. Sehingga diketahui tingkat kekasaran dari masing-masing variabel uji coba.

Untuk mendata hasil dari uji coba maka akan dibuatlah tabel dan grafik untuk mengetahui efisiensi waktu pengerjaan, dan kekasaran hasil uji coba. Dengan menghitung hasil penelitian, membuat grafik dan tabel serta menggunakan rumus rumus yang sudah ada. Maka data dari hasil penelitian akan diketahui efisiensi dari tiap-tiap variabel pahat.

Hasil dari penelitian ini akan di masukan kedalam tabel dan grafik agar dapat diketahui efesiensi dari tiap-tiap variabel pahat dengan variasi putaran spindel mesin dan feeding. Untuk mempermudah mengetahui efisiensi waktu dan hasil selisih antara ketiga pahat uji coba maka dibuatlah grafik prentsetase.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil percobaan:

Hasil dari percobaan yang telah didata dimasukan tabel sesuai dengan kwalifikasinya baik putaran spindel, feeding, dan variable pahatnya. Dengan hasil tiap-tiap pembagian jarak hasil penbubutan antara lain :

1. h1 : dengan jarak 0 – 30 mm
2. h2 : dengan jarak 30 – 60 mm
3. h3 : dengan jarak 60 – 90 mm

Tabel 2 : Nilai rata-rata kekasaran permukaan (Ra)

Variabel pahat	Feeding (mm/put)	Kecepatan Putaran Spindel (Rpm)	
		90	112
		Nilai rata-rata kekasaran permukaan Ra (μm)	
Pahat A	0,1	2,16	2,3
	0,125	2,73	2,93
	0,14	3,03	3,13
Pahat B	0,1	1,6	1,8
	0,125	1,83	2,0
	0,14	2,,03	2,53
Pahat C	0,1	1,0	1,0
	0,125	1,1	1,2
	0,14	1,23	1,43

Data Hasil Perhitungan Rumus

Untuk mengetahui efesiensi hasil ujicoba maka perlu dihitung pula kecepatan potong, kecepatan makan, waktu pemotongan dan Ra (Roughness)

dengan rumus SOP (Standar Operasional Prosedur), agar dapat diketahui tingkat keberhasilan dari ujicoba yang di lalukan.

Kecepatan potong (*cutting speed*)

1. Untuk kecepatan potong dengan putaran 90 rpm maka :

$$\frac{d_o - d_i}{2} = \frac{60 - 59,70}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ mm}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \text{m/mnt}$$

$$= \frac{3,14 \times 0,15 \times 90}{1000} = \frac{42,39}{1000}$$

$$= 0,042 \text{ m/menit}$$

2. Untuk kecepatan potong dengan putaran 112 rpm maka :

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \text{m/mnt}$$

$$= \frac{3,14 \times 0,15 \times 112}{1000} = \frac{52,75}{1000}$$

$$= 0,052 \text{ m/ menit}$$

Kecepatan makan (*feeding speed*)

1. Untuk kecepatan makan dengan putaran 90 rpm maka :
 - a. Dengan *feeding* 0,1 mm/put

$$vf = f \times n$$

$$= 0,1 \times 90 = 9 \text{ mm/menit}$$
 - b. Dengan *feeding* 0,125 mm/put

$$vf = f \times n$$

$$= 0,125 \times 90 = 11,25 \text{ mm/menit}$$
 - c. Dengan *feeding* 0,14 mm/put

$$vf = f \times n$$

$$= 0,14 \times 90 = 12,6 \text{ mm/menit}$$
2. Untuk kecepatan makan dengan putaran 112 rpm maka :
 - a. Dengan *feeding* 0,1 mm/put

$$vf = f \times n$$

$$= 0,1 \times 112 = 11,2 \text{ mm/menit}$$
 - b. Dengan *feeding* 0,125 mm/put

$$vf = f \times n$$

$$= 0,125 \times 112 = 14 \text{ mm/menit}$$
 - c. Dengan *feeding* 0,14 mm/menit

$$vf = f \times n$$

$$= 0,14 \times 112 = 15,68 \text{ mm/menit}$$

Waktu pemotongan (time cutting)

Panjang pemotongan (*Lt*) yang dilakukan oleh ke 3 variabel adalah 90 mm maka :

1. Untuk waktu pemotongan dengan putaran 90 rpm maka
 - a. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{9} = 10$ menit
 - b. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{11,25} = 8$ menit
 - c. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{12,6} = 7,14$ menit
2. Untuk waktu pemotongan dengan putaran 112 rpm maka:
 - a. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{11,2} = 8,03$ menit
 - b. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{14} = 6,42$ menit
 - c. $Tc = \frac{Lt}{vf}$
 $= \frac{90}{15,68} = 5,73$ menit

Tingkat kekasaran (roughness)

Untuk menghitung tingkat kekasaran maka kita pergunakan rumus sebagai berikut :

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{rc} \times 1000 \dots(\mu m)$$

1. Pahat 1 dengan nose radius 2 mm
 Karena penyayatanya tidak begitu lebar dan berpengaruh terhadap sisi sayatan maka perlu dicari lebar penyayatanya dengan rumus : $b = \frac{a}{\sin kr}$
 $a =$ pemakanan yang dilakukan yaitu 0,3mm

$\sin kr =$ sudut pemotongan yaitu $\sin 45^\circ = 0,70$

maka : $b = \frac{a}{\sin kr} = \frac{0,3}{0,70} = 0,21$ mm

Untuk itu rumus Ra berubah menjadi :

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

- a. Feeding 0,1 mm/put
 $Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$
 $= \frac{0,0321 \times 0,1 \text{ mm/put}^2}{0,21} \times 1000$
 $= \frac{0,000321}{0,21} = 0,00152 \times 1000$
 $= 1,52 \mu m$
- b. Feeding 0,125 mm/put
 $Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$
 $= \frac{0,0321 \times 0,125^2}{0,21} \times 1000$
 $= \frac{0,0005015}{0,21} = 0,00238 \times 1000$
 $= 2,38 \mu m$
- c. Feeding 0,14 mm/put
 $Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$
 $= \frac{0,0321 \times 0,14^2}{0,21} \times 1000$
 $= \frac{0,0006291}{0,21} = 0,00299 \times 1000$
 $= 2,99 \mu m$

2. Pahat 2 dengan nose radius 10 mm
 Karena penyayatanya yang begitu lebar dan berpengaruh terhadap sisi sayatan maka perlu dicari lebar penyayatanya dengan rumus :

$$b = \frac{a}{\sin kr}$$

$a =$ pemakanan yang dilakukan yaitu 0,3 mm

$\sin kr =$ sudut pemotongan yaitu $\sin 7^\circ = 0,93$

maka : $b = \frac{a}{\sin kr} = \frac{0,3}{0,93} = 0,32$ mm

Untuk itu rumus Ra berubah menjadi :

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

a. Feeding 0,1 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,1^2}{0,32} \times 1000$$

$$= \frac{0,000321}{0,32} = 0,001003 \times 1000$$

$$= 1,0 \mu m$$

b. Feeding 0,125 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,125^2}{0,3} \times 1000$$

$$= \frac{0,0005015}{0,32} = 0,00156 \times 1000$$

$$= 1,56 \mu m$$

c. Feeding 0,14 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,14^2}{0,32} \times 1000$$

$$= \frac{0,0006291}{0,32} = 0,00196 \times 1000$$

$$= 1,96 \mu m$$

3. Pahat 3 dengan nose radius²; 10 mm dengan sudut alur geram 30 Maka lebar penyayatannya :

$$b = \frac{a}{\sin kr}$$

a = pemakanan yang dilakukan yaitu 0,3 mm

sin kr = sudut pemotongan yaitu sin 30° = 1/2

$$\text{maka : } b = \frac{a}{\sin kr} = \frac{0,3}{1/2} = 0,6 \text{ mm}$$

Untuk itu rumus Ra berubah menjadi

$$: Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

a. Untuk Feeding 0,1 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,1^2}{0,6} \times 1000$$

$$= \frac{0,000321}{0,6} = 0,000535 \times 1000$$

$$= 0,535 \mu m$$

- b. Untuk Feeding 0,125 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,125^2}{0,6} \times 1000$$

$$= \frac{0,0005015}{0,6} = 0,000835 \times 1000$$

$$= 0,835 \mu m$$

c. Untuk Feeding 0,14 mm/put

$$Ra = \frac{0,0321 \times f^2}{b} \times 1000$$

$$= \frac{0,0321 \times 0,14^2}{0,6} \times 1000$$

$$= \frac{0,0006291}{0,6} = 0,00104 \times 1000$$

$$= 1,04 \mu m$$

Analisa grafik

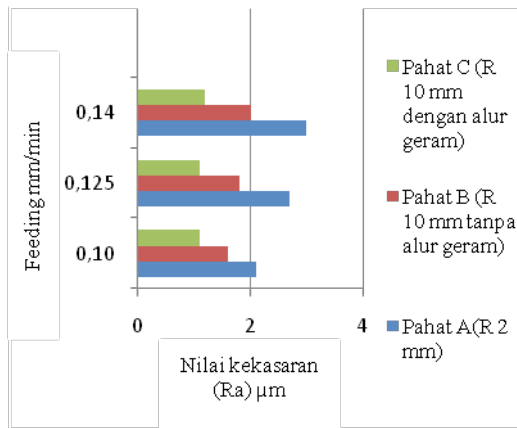
Untuk mengetahui seberapa efisiensi dari ketiga variabel maka dibuatlah grafik sesuai dengan data yang di hasilkan. Dengan membagi menjadi 2 bagian sesuai dengan variasi putaran spindle (n). Untuk itu perlu didefinisikan dengan memasukan data kedalam tabel data hasil uji. Data dari hasil uji dapat dilihat sebagai berikut

Tabel 1.3 Hasil uji dengan putaran spindle 90

Pahat	Feeding (mm/put)	Kecepatan makan (mm/min)	Nilai Ra (μm)	waktu (menit)
Pahat A	0,1	9	2,16	10
	0,125	11,25	2,73	8
	0,14	12,6	3,03	7,14
Pahat B	0,1	9	1,6	10
	0,125	11,25	1,83	8
	0,14	12,6	2,03	7,14
Pahat C	0,1	9	1,0	10
	0,125	11,25	1,1	8
	0,14	12,6	1,23	7,14

Dari data diatas maka dapat dibuat grafik untuk mengetahui efisiensi waktu pengerjaan dan hasil kekasaran (Ra)

dengan putaran spindel mesin 90 rpm, maka grafiknya sebagai berikut :



Gambar 12 : Grafik pengaruh feeding terhadap kekasaran hasil uji coba dengan putaran spindel 90 rpm

Keterangan :

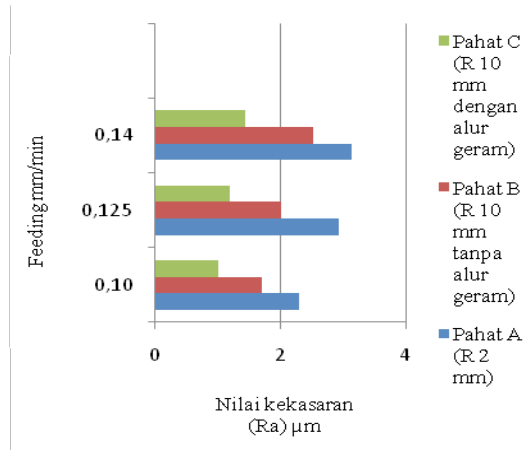
1. Didalam grafik pada feeding 0,10 mm/min terdapat peningkatan kekasaran yang cukup besar antara pahat C = 0,10 μm sampai dengan 2,16 μm pada pahat A.
2. Begitu pula pada grafik feeding 0,125 mm/min juga terjadi peningkatan nilai kekasaran (Ra) sampai dengan 1,1 μm untuk pahat C, 1,83 μm untuk pahat B dan 2,73 μm untuk pahat A.
3. Pada Feeding 0,14 mm/min terjadi peningkatan hampir 100%, dari pahat C ke A.

Tabel 4.4 : Hasil uji dengan putaran spindel 112 rpm

Pahat	Feeding (mm/put)	Kecepatan makan (mm/min)	Nilai Ra (μm)	waktu (menit)
Pahat A	0,1	11,2	2,3	8,03
	0,125	14	2,93	6,42
	0,14	15,68	3,13	5,73
Pahat B	0,1	11,2	1,8	8,03
	0,125	14	2,0	6,42
	0,14	15,68	2,53	5,73

Pahat C	0,1	11,2	1,0	8,03
	0,125	14	1,2	6,42
	0,14	15,68	1,43	5,73

Untuk Grafik putaran spindel 112 rpm maka dapat di ketahui kelanjutan nilai peningkatan kakasaran permukaan (Ra) dari tiap variabel pahat dengan variasi feeding maka :



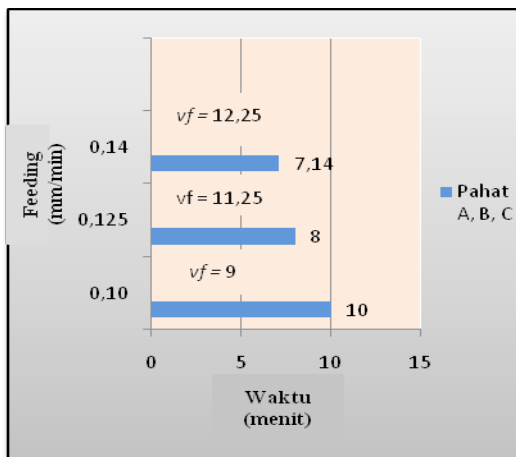
Gambar 13 : Grafik pengaruh feeding terhadap kekasaran hasil uji coba dengan putaran spindel 112 rpm

Keterangan :

1. Didalam grafik terjadi peningkatan nilai kekasaran dengan feeding 0,1 mm/min terjadi peningkatan yang cukup besar antara 1,0 μm untuk pahat C sampai dengan 2,3 μm untuk pahat A.
2. Dan untuk feeding 0,125 mm/min dan 0,14 mm/min juga terjadi peningkatan hingga ± 1,0 μm untuk tiap-tiap variasi.

Grafik efisiensi waktu pengerjaan

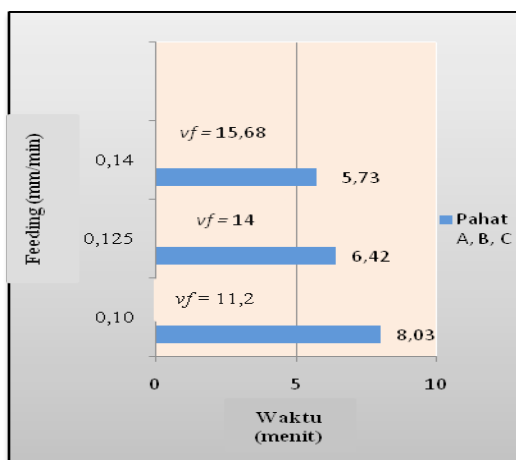
Efisiensi waktu dalam pengerjaan inilah yang sangat penting, dengan pembuatan tabel dan grafik diharapkan dapat mempermudah mengidentifikasi waktu pengerjaan (vf) dari tiap-tiap variabel pahat, putaran spindel (n) dan variasi feeding (f).



Gambar 14 : Grafik efisiensi waktu pengerjaan dengan putaran 90 rpm

Keterangan :

1. Pada feeding 0,1 mm/min diketahui kecepatan makan (vf) = 9 mm/min dihasilkan waktu pengerjaan (tc) = 10 menit.
2. Pada feeding 0,125 mm/min kecepatan makan meningkat menjadi (vf) = 11,25 mm/min dan dihasilkan waktu pengerjaan (tc) = 8 menit.
3. Pada feeding 0,14 mm/min kecepatan makan (vf) meningkat menjadi 12,25 mm/min sehingga menghasilkan waktu pengerjaan yang lebih cepat dari feeding sebelumnya yaitu 7,14 menit.



Gambar 15 : Grafik efisiensi waktu pengerjaan dengan putaran 112 rpm.

Keterangan :

1. Pada feeding 0,1 mm/min didapat kecepatan makan (vf) = 11,2 mm/min, menghasilkan waktu pengerjaan (tc) = 8,03 menit
2. Pada feeding 0,125 mm/min kecepatan makan (vf) meningkat menjadi 14 mm/min dan menghasilkan waktu pengerjaan (tc) = 6,42 menit.
3. Dan untuk feeding 0,14 mm/min kecepatan makan (vf) meningkat menjadi 15,68 dan menghasilkan waktu pengerjaan (tc) yang lebih cepat dari yang sebelumnya menjadi 5,73 menit.

Dari analisa di atas maka dapat diketahui efisiensi waktu pengerjaan (tc) dan kekasaran permukaan (Ra). Sehingga dapat dipersentasikan sebagai berikut :

1. Putaran 90 rpm

$$Tc \text{ total} = tc1 + tc2 + tc3 \\ = 10 + 8 + 7,14 \\ = 25,14 \text{ menit}$$

$$\text{Maka} = 100 - 25,14 \\ = 74,86/3 = 24,95 \text{ menit}$$

Jadi :

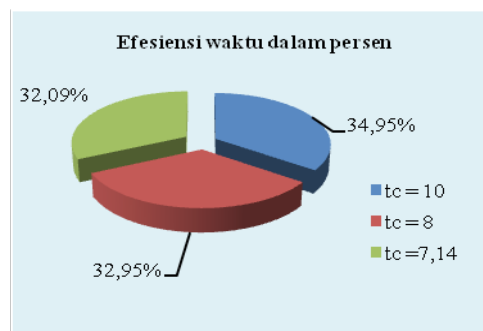
$$Tc1 = 10 + 24,95 = 34,95 \%$$

$$Tc2 = 8 + 24,95 = 32,95 \%$$

$$Tc3 = 7,14 + 24,95 = 32,09 \%$$

Dan selisih waktunya

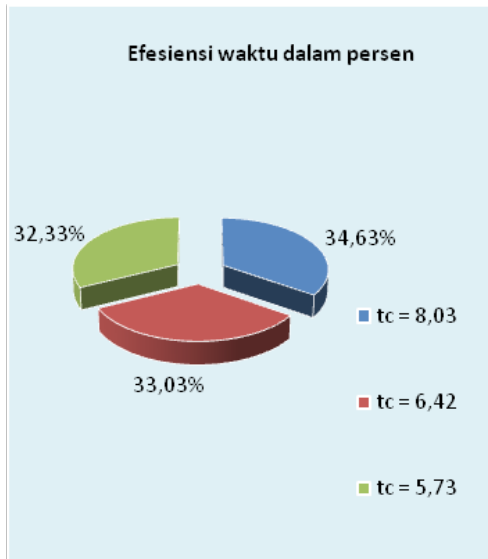
10 menit - 7,14 menit = 2,86 menit sepanjang 90 mm atau 31.4 mm/menit. Efisiensi waktu yg didapat 34,95 % - 32,09 % = 2,86 %.



Gambar 16 : grafik persentase putaran 90 rpm.

2. Untuk putaran 112 rpm
 $Tc\ total = tc1 + tc2 + tc3$
 $= 8,03 + 6,42 + 5,73$
 $= 20,19\ \text{menit}$
 Maka $= 100 - 20,19$
 $= 79,81/3 = 26,6\ \text{menit}$

Jadi
 $Tc1 = 8,03 + 26,6 = 34,63\ \%$
 $Tc2 = 6,42 + 26,6 = 33,02\ \%$
 $Tc3 = 5,73 + 26,6 = 32,33\ \%$
 Dan selisih waktunya
 $8,03\ \text{menit} - 5,73\ \text{menit} = 2,3\ \text{menit}$
 sepanjang 90 mm atau 39,1 mm/
 menit. Efisiensi waktu
 $34,63\ \% - 32,33\ \% = 2,3\ \%$.



Gambar 4.7 : grafik persentase putaran 112 rpm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa dengan meningkatnya kecepatan makan dan kecepatan potong maka meningkat pula nilai kekasaran permukaannya. Dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 5.1: Hasil perhitungan dan ukur dengan putaran mesin 90 rpm

Kecepatan potong (mm/min)	Pahat	Feeding (mm/put)	Kecepatan makan (mm/min)	Ra hasil ukur (μm)	Ra hasil hitung (μm)	Waktu (menit)
42,39	A	0,10	9	2,16	1,52	10
		0,125	11,25	2,73	2,38	8
		0,14	12,6	3,03	2,99	7,14
42,39	B	0,10	9	1,6	1,0	10
		0,125	11,25	1,83	1,56	8
		0,14	12,6	2,03	1,96	7,14
42,39	C	0,10	9	1,0	0,53	10
		0,125	11,25	1,1	0,83	8
		0,14	12,6	1,23	1,04	7,14

Tabel 5.2 : Hasil perhitungan dan ukur dengan putaran mesin 112 rpm

Kecepatan potong (mm/min)	Pahat	Feeding (mm/put)	Kecepatan makan (mm/min)	Ra hasil ukur (μm)	Ra hasil hitung (μm)	Waktu (menit)
52,75	A	0,10	11,2	2,3	1,52	8,03
		0,125	14	2,93	2,38	6,42
		0,14	15,6	3,13	2,99	5,73
52,75	B	0,10	11,2	1,8	1,0	8,03
		0,125	14	2,0	1,56	6,42
		0,14	15,6	2,53	1,96	5,73
52,75	C	0,10	11,2	1,0	0,53	8,03
		0,125	14	1,2	0,83	6,42
		0,14	15,6	1,43	1,04	5,73

Dari hasil di atas dapat di ambil kesimpulan bahwa :

1. Dengan meningkatkan putaran mesin dan *feeding* maka kecepatan potong (v), kecepatan makan (vf), dan waktu

- pengerjaan akan semakin bertambah maka dihasilkan nilai kekasaran (R_a) yang semakin meningkat pula.
2. Dengan pemberian *nose radius* (nr) dan alur pembuangan geram pada pahat C dapat menekan nilai kekasaran permukaan (R_a), sehingga nilai yang di hasilkan akan lebih rendah atau semakin halus.
 3. Dengan penambahan feeding dan putaran mesin yang membuat nilai kecepatan potong, kecepatan makan, dan kekasaran meningkat. Tetapi tidak berpengaruh banyak terhadap hasil nilai kekasaran pahat C, hanya sekitar $0,43 \mu m$. Berbeda dengan pahat A an B kenaikan nilai kekasarannya sangatlah besar sekitar $1,03 \mu m$.
 4. Efisiensi lain yang didapat adalah pada waktu pengerjaannya (t_c), ini dipengaruhi oleh meningkatnya feeding dan putaran spindle yang mempengaruhi nilai kecepatan potong (v) dan kecepatan makan (vf) sehingga waktu pengerjaan (t_c) pun semakin meningkat hingga 2 - 3% lebih cepat.
 5. Dengan hasil nilai diatas maka antara pahat A, B, dan C dapat diambil kesimpulan bahwa dengan memberikan nose radius dan alur geram pada pahat dapat mempersingkat waktu pengerjaan (t_c) dengan hasil kekasaran yang lebih rendah (halus).
3. Agar hasil pembubutan baik diharapkan penggunaan pahat *finishing* radius HSS ini penyayatan terhadap benda kerja tidak lebih dari 0,3 mm.
 4. Penggunaan pahat jenis karbida lebih disarankan dalam percobaan-percobaan berikutnya, karna lebih tahan panas, kuat dan tanpa penggunaan cairan pendingin.
 5. Bila benda kerja mempunyai bidang pengerjaan yang panjang disarankan pengecek hasil proses tersebut dibagi menjadi beberapa bagian terlebih lagi dimensi benda kerja
 6. Bila benda kerja sangat panjang maka pembuatan senter dan kaca mata jalan sangatlah diperlukan.

Dalam penelitian ini kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan sebagai pembelajaran bagi kami, serta untuk penelitian-penelitian yang akan datang. Kami menyadari kelemahan-kelemahan kami sebagai manusia yang mempunyai keterbatasan. Sekian dari kami wassalam.

DAFTAR PUSTAKA

- BOOTHROYD, G., "Fundamental of Metal Machining and Machine Tools", International Student Edition, McGraw Hill, Tokyo. Japan, 1975.
- Boothroyd, Geoffrey. 1985, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools". Tokyo: McGraw Hill Book Co.
- Bhushan, (2001), "Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques", The Ohio State University
- Daryanto, (2011). "Teori kejuruan teknik mesin perkakas", penerbit PT Sarana Tutorial Nurani Sejahtera.
- Kiyokatsu suga dan Sularso, (1983). Komposisi baja S 45 C Standart

Saran

Saran kami dalam melakukan proses *finishing* menggunakan pahat radius pada mesin bubut perlu diperhatikan antara lain :

1. Radius pahat yang digunakan harus disesuaikan dengan diameter dan panjang benda kerja.
2. Penggunaan pahat HSS harus disertai pemberian cairan pendingin.

- JIS "Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen mesin", Institut Teknologi Bandung-Toh-in Gakuen Technical college, Japan.
- Nelson, D.H. dan Schneider, G.Jr., (2001), "Applied Manufacturing Process Planning with Emphasis on Metal Forming and Machining", Prentice Hall.
- Taufiq Rochim, (1993), "Teori dan Teknologi Proses Permesinan", Bandung, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITB.
- Taufiq Rochim, (2007). "Proses Permesinan Perkakas dan Sistem Pemerkakasan". Bandung: Penerbit ITB.