

PENGARUH KECEPATAN DAN SUDUT POTONG TERHADAP KEKASARAN BENDA KERJA PADA MESIN BUBUT

Paridawati¹⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam 45 Bekasi

ABSTRACT

This study aimed to determine the extent of the influence of cutting speed and tools angle to find the best result of roughness of the workpiece on a lathe machine. The variables used were: spindle rotation speed, angle variation of tools (clearance angle, relief angle, rake angle, and the back rake angle), and the depth of feeds.

With three variations of the speed and four variation of angular tools and twelve materials testing (ST 37), the expected results obtained from this study are to find the best result of roughness of production standard.

With three levels of speed variation and four tools angle variations already mentioned above, is expected to get results as expected. ST 37 workpiece and cutting tool HSS (High Speed Steel) is an option in writing this essay.

The final results of this study in the form of graphs and statistical data is the result of the roughness of the workpiece ST 37 were tested using a measuring device called surface flatness tester.

Keys word : cutting speed, tools angle and roughness of the workpiece

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang Masalah

Dalam dunia industri, mesin-mesin perkakas sangat berperan dalam mendukung berhasilnya suatu proses produksi karena tiap bengkel mesin konstruksi dan bengkel-bengkel pengerjaan logam, pada umumnya mesin-mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu mesin. Dari beberapa mesin perkakas yang ada salah satunya adalah mesin bubut. Mesin Bubut adalah suatu mesin perkakas yang digunakan untuk memotong benda yang diputar. Bubut sendiri merupakan suatu proses pemakanan benda kerja yang sayatannya dilakukan dengan cara memutar benda kerja kemudian dikenakan pada pahat yang digerakkan secara translasi sejajar dengan sumbu putar dari benda kerja. Gerakan putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan.

Menurut Sudji Munaji (1980), salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus. Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian.

Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang mana harus digunakan untuk membuatnya serta berapa ongkos yang harus dikeluarkan. Agar proses pembuatannya tidak terjadi penyimpangan yang berarti maka karakteristik permukaan ini harus dapat dipahami oleh perencana lebih-lebih lagi oleh operator. Komunikasi karakteristik permukaan biasanya dilakukan dalam gambar teknik. Akan tetapi untuk menjelaskan secara sempurna mengenai karakteristik suatu permukaan nampaknya sulit. Untuk mendapat hasil yang baik dalam pembubutan banyak yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah kecepatan dan sudut potong. Kecepatan potong (*Cutting Speed / CS*) adalah adalah kemampuan alat potong menyayat bahan dengan aman menghasilkan tatal dalam satuan panjang /waktu (m/menit atau feet/menit). Sementara sudut potong adalah sudut yang dibentuk oleh mata potong utama dengan kecepatan makan. Penelitian ini, secara empiris akan melihat *Pengaruh Kecepatan Dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada Mesin Bubut*.

1.2 Batasan Masalah

Penelitian ini akan dibatasi pada

1. Kecepatan putaran spindle yang digunakan dibatasi dari 600 rpm, 1000 rpm, dan 2000 rpm.
2. Tingkat kekasaran yang diinginkan dibatasi dari 0.4 μm hingga 20 μm .

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah pengaruh kecepatan dan sudut potong terhadap kekasaran benda kerja pada mesin bubut?
2. Berapa besar perbandingan variabel kecepatan dan sudut potong untuk mendapatkan hasil terbaik?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan dan sudut potong terhadap kekasaran benda kerja pada mesin bubut.
2. Untuk mengetahui perbandingan besar variabel kecepatan dan sudut potong untuk mendapatkan hasil terbaik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agar dapat menggunakan besar kecepatan dan sudut potong yang tepat untuk menghasilkan hasil optimum.
2. Agar dapat membandingkan besar variabel kecepatan dan sudut potong untuk mendapat hasil terbaik.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Klasifikasi Proses Pemesinan

Mekanika proses pemotongan logam membutuhkan parameter yang melibatkan kondisi pemotongan dan geometri serta kemampuan pahat potong. Semakin besar kecepatan potong semakin besar pula konsumsi tenaga mesinnya. Penampang serpihan dalam proses pemotongan besarnya tergantung kepada gerak makan (mm/put) atau dalam/tebalnya kedalaman potong (mm). Dalam proses pemesinan, untuk mencapai kondisi pemotongan yang optimal dan stabil sangat perlu diperhatikan adanya kombinasi besaran laju pemotongan, gerak makan, dan kedalaman pemotongan yang sangat erat kaitannya terhadap umur pahat serta kualitas permukaan bahan termesin (Rochim, 1993).

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan semetara itu permukaan benda kerja secara beratah akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Pahat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu pahat bermata tunggal dan bermata jamak. Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua komponen gerakan, yaitu gerak potong dan gerak makan. Menurut jenis kombinasi dari gerak potong dan gerak makan maka proses pemesinan dikelompokkan menjadi tujuh macam proses yang berlainan, yaitu :

1. Proses bubut
2. Proses gurdi
3. Proses freis
4. Proses gerinda rata
5. Proses gerinda silindris
6. Proses sekrap
7. Proses gergaji atau parut.

2.2 Elemen Dasar Proses Pemesinan

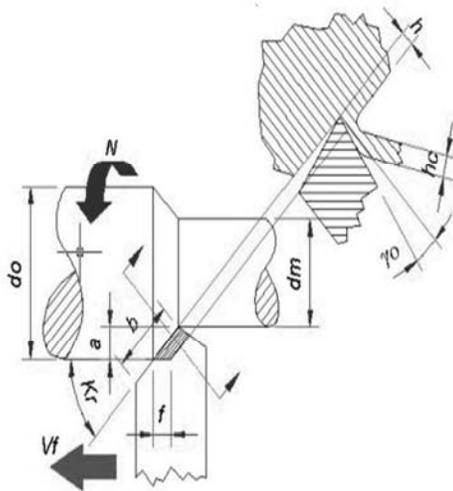
Berdasarkan gambar teknik, dimana dinyatakan spesifikasi geometris suatu produk komponen mesin, salah satu atau beberapa jenis proses pemesinan harus dipilih sebagai suatu proses atau urutan yang digunakan untuk membuatnya. Bagi suatu tingkatan proses, ukuran obyektif ditentukan dan pahat harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran obyektif tersebut dicapai. Hal ini dapat dilaksanakan dengan cara menentukan penampang geram (sebelum terpotong) dan selain itu setelah berbagai aspek teknologi ditinjau, kecepatan pembuangan geram dapat dipilih supaya waktu pemotongan sesuai dengan yang dikehendaki. Situasi seperti ini timbul pada setiap perencanaan proses pemesinan. Menurut Rochim (1993) terdapat beberapa elemen dasar pemesinan yang harus diketahui :

- a. Kecepatan potong (*cutting speed*) : V (m/min)
- b. Kecepatan makan (*feeding speed*) : v_f (mm/min)
- c. Kedalaman potong (*depth of cut*) : a (mm)
- d. Waktu pemotongan (*cutting time*) : t_c (min)
- e. Kecepatan penghasil geram : Z (cm³/min)

Elemen proses pemesinan tersebut (V, v_f, a, t_c, Z) dihitung berdasarkan dimensi benda kerja dan pahat serta besaran dari mesin perkakas. Besaran mesin perkakas yang dapat diatur bermacam-macam tergantung dari jenis mesin perkakas. Oleh sebab itu, rumus yang dipakai untuk menghitung setiap elemen proses pemesinan dapat berlainan.

2.3 Proses Membubut (Turning)

Proses membubut merupakan salah satu proses pemesinan untuk memproduksi komponen-komponen mesin (Rochim, 1993). Dimana proses bubut termasuk kedalam proses pemesinan yang menggunakan pahat bermata tunggal (*single point cutting tool*). Benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasangkan diujung poros utama. Dengan mengatur lengan pengatur yang terdapat pada sisi muka kepala diam, putaran poros utama (n) dapat dipilih. Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat, dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya : 120, 210, 420, 620, 1000, dan 2000 rpm. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variabel, ataupun dengan sistem transmisi variabel, kecepatan putaran poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (*continue*). Pahat dipasangkan pada kedudukan pahat dan kedalaman potong adalah setengah harga tersebut). Pahat bergerak translasi bersama-sama dengan eretan dan gerakannya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi. Elemen-elemen dasar dari proses membubut yang dapat diketahui atau dihitungkan dengan menggunakan rumus yang dapat dengan memperhatikan gambar 2.1. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut :



Keterangan :

Benda kerja :

- d_0 = diameter mula (mm)
- d_m = diameter akhir (mm)
- l_t = panjang pemesinan (mm)

Pahat :

- γ_r = sudut potong utama ($^\circ$)
- γ_0 = Sudut geram ($^\circ$)

Mesin bubut :

- a = kedalaman potong (mm) = $\frac{(d_0 - d_m)}{2}$ (mm)
- f = gerak makan (mm/r)
- n = putaran poros utama (rpm)

Gambar 2.1 Kondisi Pemoangan (Rochim, 1993)

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut :

Kecepatan potong : $V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$; m/min, dimana: d = diameter rata-rata, yaitu : $d = \frac{(d_0 - d_m)}{2}$; mm.

Kedalaman potong :

Menurut Rochim (1993) kedalaman potong ditentukan oleh nilai minimum dan maksimum, yaitu :

Kedalaman potong minimum, $a_{min} = \gamma_r$

Kedalaman potong maksimum, $a_{maks} = 0.7 S \sin \kappa_r$

Dimana : γ_e = radius ujung pahat (mm); S = panjang sisi pahat (mm); κ_r = Sudut potong utama

Sudut potong utama (principal cutting edge angle/ κ_r) adalah sudut antara mata potong utama pahat dengan laju pemakanan (f), besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pada mesin bubut. Untuk nilai laju pemakanan (f) dan kedalaman potong (a) yang tetap maka sudut ini akan mempengaruhi lebar pemoangan (b) dan tebal geram sebelum terpotong (h) adalah sebagai berikut:

$$\text{Lebar pemoangan : } b = \frac{a}{\sin(\kappa_r)}, \quad \text{Tebal geram sebelum terpotong : } h = \frac{f}{\sin(\kappa_r)}$$

Untuk proses penghalusan permukaan, laju pemakanan atau feeding (f), ditetapkan sesuai dengan kehalusan permukaan produk yang dikehendaki. Hubungan antara kekasaran permukaan, radius ujung pahat, dan laju pemakanan secara empiris adalah :

$$Ra = \frac{0.0321 f^2}{r_e} (\mu\text{m}), \quad \text{Atau } F = \sqrt{\frac{r_e \cdot Ra}{0.0321}} (\text{mm/put})$$

Dimana : f = laju pemakanan (mm/put); Ra = Kekasaran permukaan (μm); R_e = radius ujung pahat 0.2 (mm)

Sehingga kecepatan pemakanan adalah :

$$Vf = l_t/l_c (\text{mm/min}); \text{ Dimana : } l_t = \text{panjang pemoangan (mm)}, \quad l_c = \text{waktu pemoangan (menit)}$$

Selama proses pembubutan berlangsung, bahan dibuang akibat perputaran benda kerja sebagai suatu geram tunggal yang tergantung pada parameter kerja mesin. Geram yang dihasilkan berupa lembaran tali berkelanjutan atau berupa potongan-potongan.

Besar laju pembuangan geram adalah : $MRR = A \cdot v (\text{cm}^3/\text{min});$

Dimana : A = Penampang geram sebelum terpotong; $A = f \cdot a (\text{mm}^2)$

Maka, $MRR = f \cdot a \cdot V (\text{cm}^3/\text{min})$

- Kecepatan makan : $v_f = f \cdot n ; \text{ mm}\backslash\text{min}$

- Waktu pemoangan : $t_c = l_t/v_f ; \text{ min}$

Pada gambar 2.1. diperlihatkan sudut potong utama (χ_r ; *Principal Cutting Edge Angle*) yaitu merupakan sudut antara mata potong mayor dengan kecepatan makan v_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri pahat dan cara pemasangan pahat pada mesin perkakas. Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b ; *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong (h ; *underform chip thickness*) sebagai berikut :

- Lebar pemotongan : $b = \frac{a}{\sin \chi_r}$; mm

- Tebal geram sebelum terpotong : $h = f \sin \chi_r$; mm

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut : $A = f.a = b.h$; mm
Perlu dicatat bahwa tebal geram sebelum terpotong (h) belum tentu sama dengan tebal geram (h_c ; chip thickness) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_o) kecepatan potong dan material benda kerja.

2.4. Geometri Pahat

Suatu proses pemesinan yang menggunakan pahat sebagai perkakas potongnya, harus memperhatikan geometri pahat tersebut karena geometri pahat merupakan salah satu faktor terpenting yang menentukan keberhasilan proses pemesinan. Geometri pahat harus dipilih dengan tepat sesuai dengan jenis material benda kerja, material pahat dan kondisi pemotongan sehingga tujuan dari pemotongan dapat tercapai. Adapun tujuan dari pemotongan tersebut antara lain : rendahnya gaya potong, tingginya umur pahat, halusness permukaan benda kerja dan ketelitian geometri benda kerja. Tiga hal yang perlu dibedakan dalam geometri pahat adalah :

a. Elemen pahat :

- Badan (*body*) : Bagian pahat yang dibentuk menjadi mata potong atau tempat untuk sisipan pahat (dari karbida atau keramik).
- Pemegang (*shank*) : Bagian pahat untuk dipasangkan pada mesin perkakas. Bila bagian ini tidak ada maka fungsinya diganti oleh lubang pahat.
- Lubang pahat (*tool bore*) : Lubang pada pahat melalui mana pahat dapat dipasangkan pada poros utama (spindel) atau poros pemegang pada mesin perkakas.
- Sumbu pahat (*tool axis*) : Garis maya yang digunakan untuk mendefinisikan geometri pahat. Umumnya merupakan garis tengah dari punggung atau lubang pahat.
- Dasar (*base*) : Bidang rata pada pemegang untuk meletakkan pahat sehingga mempermudah proses pembuatan, pengukuran ataupun pengasahan pahat.

b. Bidang pahat :

Merupakan permukaan aktif pahat. Setiap pahat mempunyai bidang aktif ini sesuai dengan jumlah mata potongnya (tunggal/jamak). Bidang aktif pahat yang dimaksud adalah :

- Bidang geram (A_γ , *face*); bidang diatas mana geram mengalir.
- Bidang utama/mayor (A_α , *Principal/Major Flank*); bidang yang menghadap permukaan transien benda kerja. Permukaan transien benda kerja akan terpotong akibat gerakan pahat relatif terhadap benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan sebagian bidang utama akan terdeformasi sehingga bergesekan dengan permukaan transien benda kerja.
- Bidang bantu/minor (A_α^1 , *Auxiliary/Minor Flank*); bidang yang menghadap permukaan terpotong benda kerja. Karena adanya gaya pemotongan, sebagian kecil bidang bantu akan terdeformasi dan menggesek permukaan benda kerja yang telah terpotong/dikerjakan.

c. Mata potong pahat :

Tepi dari bidang geram yang terpotong yang aktif memotong benda kerja. Ada dua jenis mata potong, yaitu :

- Mata potong utama / Mayor (S , *Principal/Major Cutting Edge*); garis perpotongan antara bidang geram (A_γ) dengan bidang utama (A_α).
- Mata potong bantu / Minor (S^1 , *Auxiliary/Minor Cutting Edge*); garis perpotongan antara bidang geram (A_γ) dengan bidang utama (A_α^1).

2.4.1. Sistem Referensi Pahat

Untuk menganalisa geometri pahat diperlukan suatu sistem bidang referensi dimana sudut-sudut pahat dapat ditentukan harganya. Sistem referensi pahat menggunakan tiga macam bidang yang saling berpotongan pada suatu titik pada mata potong utama. Titik tersebut dinamakan titik terpilih o dimana melalui titik orientasi bidang-bidang tersebut ditentukan. Bidang-bidang tersebut yaitu:

1. Bidang referensi (P_r) yaitu bidang yang melalui titik terpilih dan ditentukan tegak lurus terhadap vektor kecepatan potong.
2. Bidang mata potong (P_s) yaitu bidang yang ditentukan berimpit dengan mata potong utama pada titik terpilih tegak lurus P_r .

3. a). Bidang orthogonal (P_o) yaitu bidang yang melalui titik terpilih dan ditentukan tegak lurus dengan kedua bidang yang lain, yaitu P_r dan P_s .
- b). Bidang normal (P_n) yaitu bidang yang ditentukan tegak lurus terhadap mata potong utama atau garis seinggungnya pada titik terpilih.

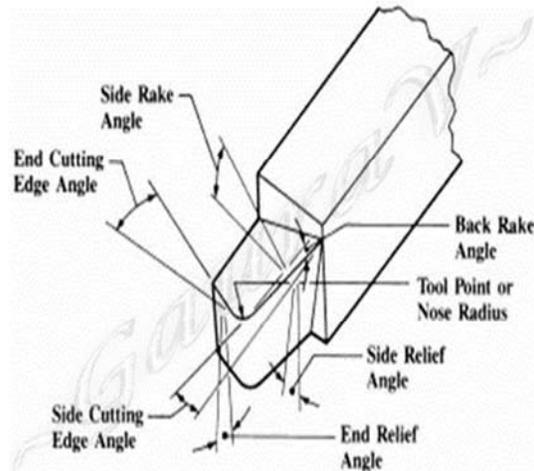
Dari definisi ketiga bidang diatas maka sistem referensi pahat dapat dipecah menjadi dua macam, yaitu :

- Sistem orthogonal, dengan ketiga bidang saling tegak lurus (P_r, P_s, P_o).
- Sistem normal, dengan kedua bidang saling tegak lurus (P_s dengan P_r , dan P_n dengan P_s) tetap P_n belum tegak lurus dengan P_r .

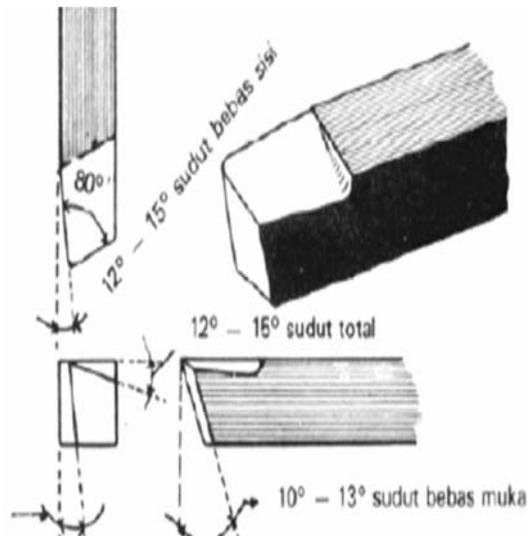
Orientasi P_n terhadap P_r ditentukan oleh sudut miring (λ_s). Bila $\lambda_s = 0^\circ$, maka P_n dan P_r saling tegak lurus dan sistem normal akan sama dengan sistem orthogonal.

2.4.2. Tanda Pahat (Tool Signature)

Sudut-sudut yang terdapat pada mata pahat disebut dengan sudut utama pahat (*basic tool angle*) dan komposisinya disebut juga sebagai geometri pahat (*tool geometry*). Susunan sudut-sudut utama dan jari-jari mata potong (*nose radius*) disebut tanda pahat (*tool signature*). Menurut standarisasi dari ASA (*American Standart Assosiation*) *tool signature* dari *single point tool* meliputi : *Rake angles, relief angles, cutting egde angles* dan *nose radius*. Jika *clereance angles* dimasukkan dalam *tool signature* maka akan terlihat seperti gambar berikut. Akan tetap pada umumnya *celreance angles* tidak dimasukkan dalam *tool signature* karena dianggap sama dengan *relief angles*.



Gambar 2.2 Tanda Pahat (Tool Signature)
Sumber : www.crazyengineers.com (2014)



Gambar 2.3 Sudut Pahat
Sumber : www.bengkelbangun.com (2014)

Keterangan gambar :

- a. Sudut Garuk Belakang (*back rake angle*)
Sudut antara *face* dan garis yang sejajar dengan *base* dan diukur pada bidang yang tegak lurus dengan mata potong sisi (*side cutting edge*)
- b. Sudut Garuk Sisi (*side rake angle*)
Sudut antara *face* dan garis yang sejajar dengan *base* dan diukur pada bidang yang tegak lurus pada *base* dan *side cutting edge*.
- c. Sudut Mata Potong Ujung (*end cutting edge angle*)
Sudut antara ujung *cutting edge* dan garis tegak lurus pada *shank*.
- d. Sudut Mata Potong Sisi (*side cutting edge angle*)
Sudut antara *side cutting edge* dan sisi lain dari *shank*.
- e. Sudut Celah Sisi (*side relief angle*)
Sudut kedua langsung dibawah *side clearance angle*.
- f. Sudut Celah Ujung (*end relief angle*)
Sudut kedua langsung dibawah *end clearance angle*.
- g. Radius Pojok (*nose radius/tool point*)
Merupakan perpotongan antara *side cutting edge* dengan *end cutting edge*.

2.7. Konfigurasi Permukaan

Paridawati, "Pengaruh Kecepatan dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja Pada" *Jurnal Imiah Teknik Mesin, Vol. 3, No.1 Februari 2015 Universitas Islam 45 Bekasi, http://ejournal.unismabekasi.ac.id*

Konfigurasi permukaan suatu elemen mesin apabila ditinjau dengan skala yang kecil merupakan suatu karakteristik geometri yang dapat berupa mikro geometri. Konfigurasi permukaan akan memegang peranan penting dalam perencanaan elemen mesin, yaitu yang berhubungan dengan gesekan, keausan, pelumasan, tahanan kelelahan dari komponen, perekatan dua atau lebih komponen-komponen mesin dan sebagainya. Untuk menerjemahkan karakteristik permukaan suatu elemen mesin kedalam gambar teknik diperlukan parameter-parameter guna mengidentifikasi konfigurasi permukaan. Akan tetapi sampai saat ini parameter-parameter yang ada belum dapat menjelaskan suatu permukaan permasalahan yang kompleks.

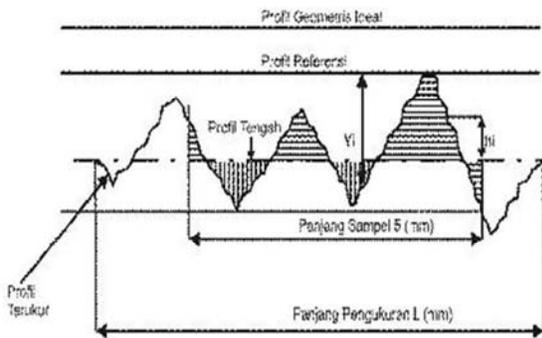
2.7.1. Macam-Macam Permukaan

Akibat ketidak sempurnaan alat ukur, cara pengukuran dan cara evaluasi hasil pengukuran suatu permukaan benda kerja yang sesungguhnya (*real, surface*) tidak dapat dibuat grafiknya atau duplikatnya, melainkan hanya mendekati bentuk sesungguhnya (C. Van Terheidjen dan Harun, 1981). Permukaan yang mendekati bentuk permukaan sesungguhnya disebut permukaan terukur (*measure surface*).

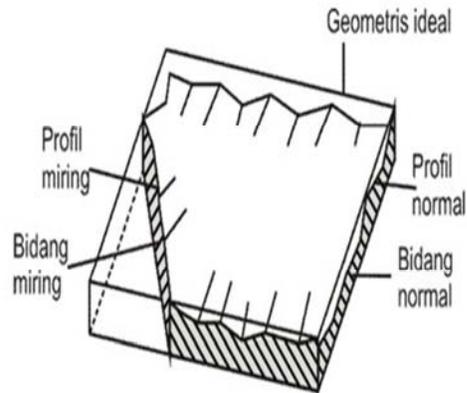
Akibat penyimpangan-penyimpangan selama proses pemotongan, maka permukaan geometris ideal (*geometrically ideal surface*) yaitu permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna, tidak mungkin dapat dibuat. Sedangkan permukaan yang disyaratkan pada gambar teknik dengan cara-cara standart tertentu disebut permukaan nominal (*nominal surface*).

2.7.2. Profil dan Parameter Permukaan

Profil adalah garis yang dihasilkan pada proses pemotongan, khususnya pemotongan orthogonal dan pemotongan miring (*oblique*). Beberapa istilah profil dan parameter permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Macam Profil dan Parameter Permukaan
Sumber : Taufic Rochim, (1993)



Gambar 2.4 Bidang dan profil penampang permukaan
Sumber : Dasar2 Metrologi Industri (Sudji Munaji, 1980)

Keterangan gambar :

- Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*), adalah profil permukaan geometris ideal (dapat berupa garis lurus ataupun garis lengkung).
- Profil terukur (*measured profile*), adalah profil dari permukaan terukur.
- Profil referensi (*reference profile*), adalah profil yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisa ketidakteraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis bentuk sesuai dengan profil geometris ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel.
- Profil dasar (*root profile*), adalah profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal pada suatu panjang sampel), sehingga menyinggung titik terendah dari profil terukur.
- Profil tengah (*centre profile*), adalah *profile reference* yang digeser ke bawah sedemikian rupa, sehingga sejumlah luas dari daerah-daerah diatas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas dari daerah dibawah profil tengah sampai ke profil terukur.
- Kedalaman total (*peak to valley height, Rt*), jarak rata-rata antara profil referensi dan profil dasar (μm).
- Kedalaman perataan (*peak to mean line, Rp*), jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.

$$R_p = 1/1 \int_0^1 y_{id} \cdot (\mu\text{m})$$

- Kekasaran rata-rata aritmetis (*mean roughness index, Ra*), adalah harga rata-rata aritmetis dari harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah .

$$R_a = 1/1 \int_0^1 h_{id} \cdot (\mu\text{m})$$

- Kekasaran rata-rata kuadratis (root mean square height, Rg), adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$Rg = \sqrt{1/l \int_0^l h^2 dx} \ (\mu m)$$

2.8. Kekasaran Permukaan.

Salah satu karakteristik geometris yang ideal dari suatu komponen adalah permukaan yang halus (Sudji Munaji, 1980). Dalam prakteknya memang tidak mungkin untuk mendapatkan suatu komponen dengan permukaan yang betul-betul halus. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor-faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi terus berusaha membuat peralatan yang mampu membentuk permukaan komponen dengan tingkat kehalusan yang cukup tinggi menurut standar ukuran yang berlaku dalam metrologi yang dikemukakan oleh para ahli pengukuran geometris benda melalui pengalaman penelitian.

Tingkat kehalusan suatu permukaan memang peranan yang sangat penting dalam perencanaan suatu komponen mesin khususnya yang menyangkut masalah gesekan pelumasan, keausan, tahanan terhadap kelelahan dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam perencanaan dan pembuatannya harus dipertimbangkan terlebih dulu mengenai peralatan mesin yang mana harus digunakan untuk membuatnya serta berapa ongkos yang harus dikeluarkan. Agar proses pembuatannya tidak terjadi penyimpangan yang berarti maka karakteristik permukaan ini harus dapat dipahami oleh perencana lebih-lebih lagi oleh operator. Komunikasi karakteristik permukaan biasanya dilakukan dalam gambar teknik. Akan tetapi untuk menjelaskan secara sempurna mengenai karakteristik suatu permukaan nampaknya sulit.

2.8.1. Batasan Permukaan dan Parameter-parameternya.

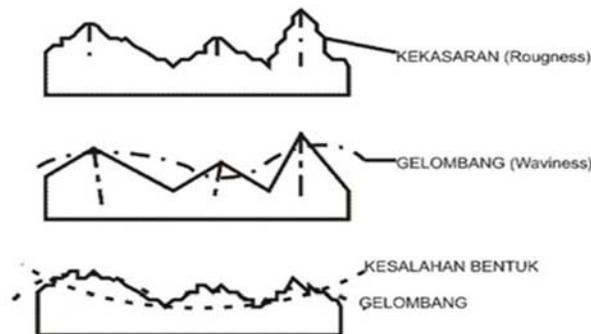
Menurut istilah keteknikan yang dikemukakan oleh Sudji Munaji (1980), permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Dalam prakteknya, bahan yang digunakan untuk benda kebanyakan dari besi atau logam.

Kadang-kadang ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Istilah profil sering disebut dengan istilah lain yaitu bentuk. Profil atau bentuk yang dikaitkan dengan istilah permukaan mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan. Untuk mengukur dan menganalisis suatu permukaan dalam tiga dimensi adalah sulit.

Oleh karena itu, untuk mempermudah pengukuran maka penampang permukaan perlu dipotong. Cara pemotongan biasanya ada empat cara yaitu pemotongan normal, serong, singgung dan pemotongan singgung dengan jarak kedalaman yang sama. Garis hasil pemotongan inilah yang disebut dengan istilah profil, dalam kaitannya dengan permukaan.

Dengan melihat profil ini maka bentuk dari suatu permukaan pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu permukaan yang kasar (roughness) dan permukaan yang bergelombang (waviness). Permukaan yang kasar berbentuk gelombang pendek yang tidak teratur dan terjadi karena getaran pisau (pahat) potong atau proporsi yang kurang tepat dari pemakanan (*feed*) pisau potong dalam proses pembuatannya.

Sedangkan permukaan yang bergelombang mempunyai bentuk gelombang yang lebih panjang dan tidak teratur yang dapat terjadi karena beberapa faktor misalnya posisi senter yang tidak tepat, adanya gerakan tidak lurus (non linier) dari pemakanan (*feed*), getaran mesin, tidak seimbang (balance) batu gerinda, perlakuan panas (heat treatment) yang kurang baik, dan sebagainya. Dari kekasaran (roughness) dan gelombang (waviness) inilah kemudian timbul kesalahan bentuk.



Gambar 2.5. Kekasaran, gelombang dan kesalahan bentuk dari suatu permukaan
Sumber : Dasar-Dasar Metrologi Industri (Sudji Munaji, 1980)

Secara lebih rinci lagi, ketidakrataan dari bentuk permukaan dapat dibedakan menjadi empat tingkat, yaitu :

Tingkat Pertama



Adalah tingkat yang menunjukkan adanya kesalahan bentuk (*form error*) seperti gambar diatas. Faktor penyebabnya antara lain karena adanya lenturan dari mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan pada pengecaman benda kerja, proses pengerasan (*hardening*) juga ikut mempengaruhi.

Tingkat Kedua



Profil permukaan yang berbentuk gelombang. Penyebabnya antara lain karena adanya kesalahan bentuk pada pisau (pahat) potong, posisi senter yang kurang tepat, adanya getaran pada waktu proses pemotongan.

Tingkat Ketiga



Permukaan yang berbentuk alur (*grooves*). Penyebabnya antara lain karena adanya bekas-bekas proses pemotongan akibat bentuk pisau pemotongan yang salah atau gerak makan yang kurang tepat.

Tingkat Keempat



Permukaan yang berbentuk serpihan (*flakes*). Penyebabnya antara lain karena adanya tatal (beram) pada proses pengerjaan.

Sedangkan gabungan dari karakteristik profil permukaan dari tingkat pertama sampai tingkat keempat menghasilkan profil permukaan seperti gambar ini :



2.8.2 Menentukan Kekasaran Rata-Rata

Menentukan kekasaran rata-rata (R_a) dapat dilakukan dengan cara berikut :

Pertama, gambarkan sebuah garis lurus pada penampang permukaan yang diperoleh dari pengukuran (profil terukur) yaitu garis X – X yang posisinya tepat menyentuh lembah paling dalam, gambar 2.8a.

Kedua, ambil sampel panjang pengukuran sepanjang L yang memungkinkan memuat sejumlah bentuk gelombang yang hampir sama.

Ketiga, ambil luasan daerah A di bawah kurve dengan menggunakan planimeter atau dengan metode ordinat. Dengan demikian diperoleh jarak garis center C – C terhadap garis X – X secara tegak lurus yang besarnya adalah :

$$H_m = \frac{\text{daerah A}}{L}$$

Keempat, sekarang diperoleh suatu garis yang membagi profil terukur menjadi dua bagian yang hampir sama luasnya, yaitu luasan daerah di atas ($P_1 + P_2 + \dots$ dan seterusnya) dan luasan daerah di bawah ($Q_1 + Q_2 + \dots$ dan seterusnya). Lihat gambar 2.8b. Dengan demikian maka R_a dapat ditentukan besarnya

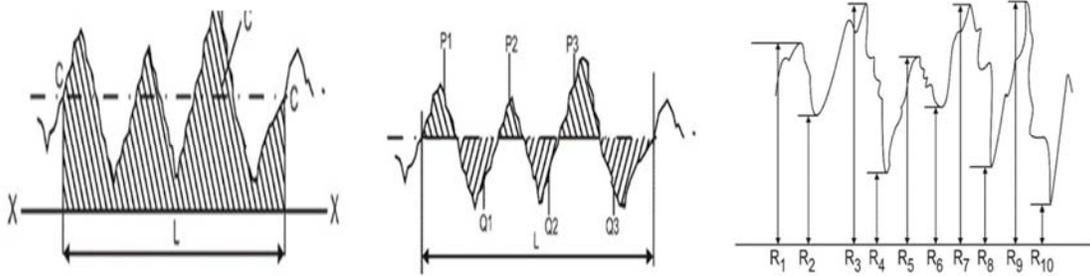
yaitu :

$$R_a = \frac{\text{Luas daerah P} + \text{Luas daerah Q}}{L} \times \frac{1000}{V_v} \mu m$$

Dimana :

V_v = Perbesaran vertikal. Luas P dan Q dalam milimeter.

L = Panjang sampel pengukuran dalam milimeter.



Gambar 2.6 a & b. Menentukan Kekasaran Rata-rata R_a ; Gambar 2.7. Menentukan kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah (Sumber : Dasar-Dasar Metrologi Industri, Sudji Munaji, 1980)

Kekasaran rata-rata dari puncak ke lembah, R_z sebetulnya hampir sama dengan kekasaran rata-rata aritmetis R_a , tetapi cara menentukan R_z adalah lebih mudah daripada menentukan R_a , gambar 2.9. menunjuk kan cara menentukan R_z . Sampel pengukuran diambil sejumlah profil yang memuat, misalnya 10 daerah yaitu 5 daerah puncak dan 5 daerah lembah. Kemudian buat garis lurus horizontal di bawah profil permukaan. Tarik garis tegak lurus dari masing-masing ujung puncak dan lembah ke garis horizontal. Dengan cara ini maka diperoleh harga R_z yang besarnya adalah :

$$R_z = \frac{1}{5} (R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9 + P_A) - \frac{1}{5} (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_1) \times \frac{1000}{V_v} \quad (\text{Sudji Munaji, 1980})$$

2.8.3. Toleransi Harga R_a

Seperti halnya toleransi ukuran (lubang dan poros), harga kekasaran rata-rata aritmetis R_a juga mempunyai harga toleransi kekasaran. Dengan demikian masing-masing harga kekasaran mempunyai kelas kekasaran yaitu dari N_1 sampai N_{12} . Besarnya toleransi untuk R_a biasanya diambil antara 50% ke atas dan 25% ke bawah. Dibawah menunjukkan harga kekasaran rata-rata beserta toleransinya.

Tabel 2.2 Toleransi harga kekasaran rata-rata R_a (Sudji Munaji, 1980)

Kelas kekasaran	Harga C.L.A (m)	Harga Ra (m)	Toleransi $N_{+50\%}$ - $N_{-25\%}$	Panjang sampel (mm)
N1	1	0.0025	0.02 - 0.04	0.08
N2	2	0.05	0.04 - 0.08	
N3	4	0.0	0.08 - 0.15	0.25
N4	8	0.2	0.15 - 0.3	
N5	16	0.4	0.3 - 0.6	
N6	32	0.8	0.6 - 1.2	
N7	63	1.6	1.2 - 2.4	
N8	125	3.2	2.4 - 4.8	0.8
N9	250	6.3	4.8 - 9.6	
N10	500	12.5	9.6 - 18.75	2.5
N11	1000	25.0	18.75 - 37.5	
N12	2000	50.0	37.5 - 75.0	8

Tabel 2.3. Tingkat kekasaran rata-rata permukaan menurut proses pengerjaannya

Proses pengerjaan	Selang (N)	Harga R_a
Flat and cylindrical lapping,	$N_1 - N_4$	0.025 - 0.2
Superfinishing Diamond turning	$N_1 - N_6$	0.025 - 0.8
Flat cylindrical grinding	$N_1 - N_8$	0.025 - 3.2
Finishing	$N_4 - N_8$	0.1 - 3.2
Face and cylindrical turning, milling and reaming	$N_5 - N_{12}$	0.4 - 50.0
Drilling	$N_7 - N_{10}$	1.6 - 12.5
Shapping, planing, horizontal milling	$N_6 - N_{12}$	0.8 - 50.0
Sandcasting and forging	$N_{10} - N_{11}$	12.5 - 25.0
Extruding, cold rolling, drawing	$N_6 - N_8$	0.8 - 3.2
Die casting	$N_6 - N_7$	0.8 - 1.6

Toleransi harga kekasaran rata-rata, R_a dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya. Hasil penyelesaian permukaan dengan menggunakan mesin gerinda sudah tentu lebih halus dari pada dengan menggunakan mesin bubut. Tabel 2.3 berikut ini memberikan contoh harga kelas kekasaran rata-rata menurut proses pengerjaannya.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan dan sudut potong terhadap kekasaran benda kerja pada mesin bubut dan untuk mengetahui perbandingan besar variabel kecepatan dan sudut potong untuk mendapatkan hasil terbaik.

3.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Workshop Universitas Islam 45 Bekasi untuk melakukan pengujian *turning* dan dilanjut dengan pengujian kekasaran permukaan di Universitas Indonesia Depok untuk mendapatkan angka kekasaran total.

3.3 Waktu Penelitian

Pengujian *turning* dilakukan di Workshop Universitas Islam 45 Bekasi pada tanggal 11 Februari sampai dengan 12 Februari 2014. Sementara pengujian kekasaran permukaan dilakukan di Universitas Indonesia Depok pada tanggal 17 Februari 2014.

3.4 Objek Penelitian

Objek yang dijadikan bahan penelitian dalam hal ini adalah baja ST 37 dengan diameter 20 mm sebanyak 12 *pieces*, masing-masing *piece* berukuran panjang 100 mm.

3.5 Alat dan Bahan

3.5.2 Bahan yang digunakan

Adapun data dari benda kerja yang digunakan dalam pengujian adalah :

- Baja ST 37 Dengan sifat dan data :
- Hardenability yang baik
- Mempunyai ketangguhan yang baik
- Ulet dan mudah dikerjakan
- Ketahanan fatigue yang baik
- Bentuk Silindris
- Panjang 100 mm
- Diameter 20 mm
- Jumlah 12 buah

3.5.3. Alat yang digunakan

1. Mesin Bubut

Merk : KRISBOW

Tipe : KW 15-604

Center Distance 750 mm

Swing Overbed 250 mm

Spindle Speed :

125, 210, 420, 620, 1000, 2000 rpm

3. Surface Tester / Roughness Meter

Alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan benda uji yang telah mengalami proses *turning*.

Merk : ACCRETECH

Tipe : 2900SD3

Buatan : Jepang

Spec. :

Dapat mengukur kekasaran hingga ketelitian 320 μm

Dapat mengukur kontur hingga ketelitian 25,043 mm

2. Pahat Bubut :

HSS (High Speed Steel)

- Tahan hingga temperatur 600°C

- Mempunyai ketahanan kejut yang baik

- Tangguh pada pemesinan

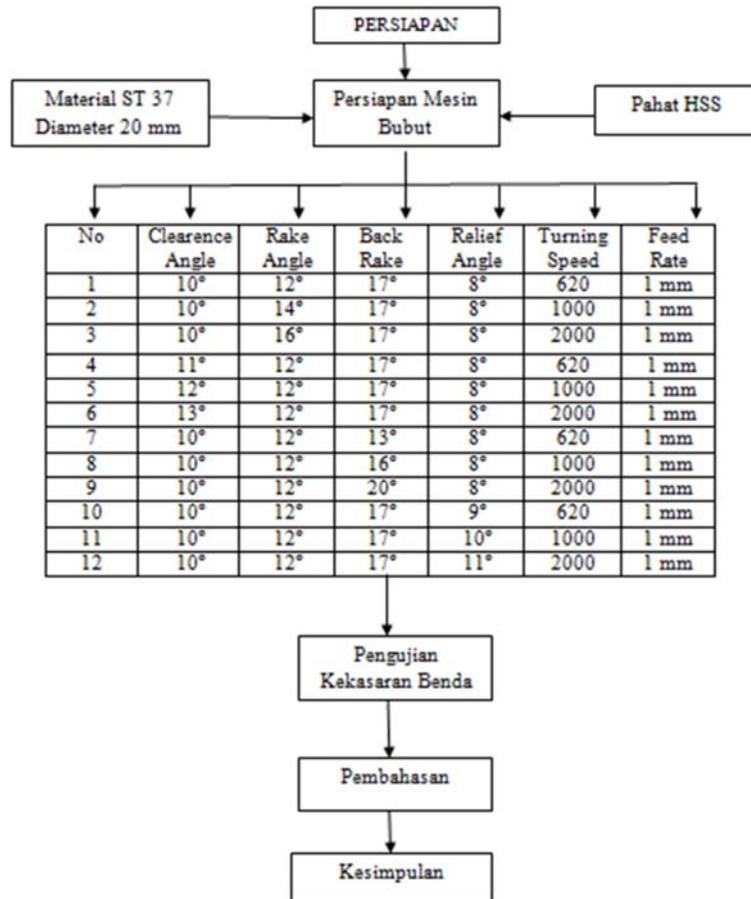
4. Jangka Sorong

5. Busur derajat

6. Gerinda asah.

3.6. Diagram Alur Penelitian

Diagram Alir Penelitian



4. Pembahasan

4.1 Analisa

Dari percobaan dan penelitian yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya dapat diambil suatu analisa, dimana analisa ini mengacu pada kecepatan, sudut potong dan pengaruhnya terhadap kekasaran benda kerja. Data set up pada mesin bubut untuk menentukan besar kecepatan putaran spindel, dimana kecepatan yang digunakan adalah 620, 1000, dan 2000 rpm dengan kedalaman pemakanan sebesar 1 mm. Sedangkan sudut pahat bubut yang digunakan adalah :

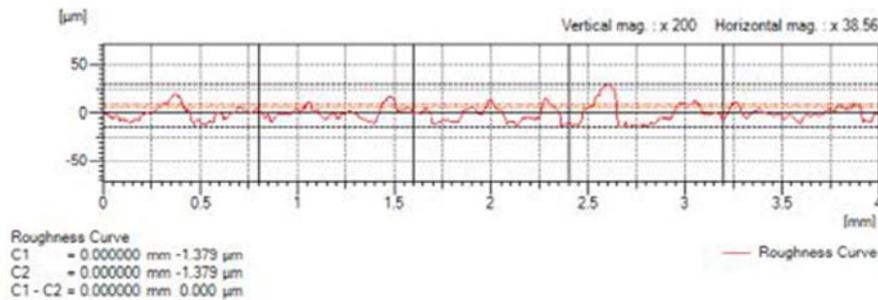
- Clearance angel : 10°-13°
- Rake angel : 12°-16°
- Back rake angel : 13°-20°
- Relief angel : 8°-11°

Dari data diatas telah didapat hasil kekasaran maksimum yang meliputi 12 buah spesimen benda kerja. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada sub bab 4.2 mengenai pembahasan.

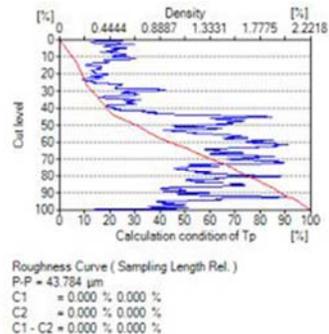
1. Spesimen pertama di uji cobakan pada kecepatan putaran 620 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angel sebesar 10°, rake angle sebesar 12°, back rake angel sebesar 17°, dan relief angle sebesar 8°.
2. Spesimen kedua di uji cobakan pada putaran 620 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 11°, rake angel sebesar 12°, back rake angle sebesar 17°, dan relief angle sebesar 8°.
3. Spesimen ketiga di uji cobakan pada putaran 620 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10°, rake angel sebesar 12°, back rake angle sebesar 13°, dan relief angle sebesar 8°.

4. Spesimen keempat di uji cobakan pada putaran 620 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angel sebesar 12° , back rake angle sebesar 17° , dan relief angle sebesar 9° .
5. Spesimen kelima di uji cobakan pada putaran 1000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angel sebesar 14° , back rake angle sebesar 17° , dan relief angle sebesar 8° .
6. Spesimen keenam di uji cobakan pada putaran 1000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 12° , rake angel sebesar 12° , back rake angle sebesar 17° , dan relief angle sebesar 8° .
7. Spesimen ketujuh di uji cobakan pada putaran 1000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angel sebesar 12° , back rake angle sebesar 16° , dan relief angle sebesar 8° .
8. Spesimen kedelapan di uji cobakan pada putaran 1000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angle sebesar 12° , back rake angle sebesar 17° dan relief angle sebesar 10° .
9. Spesimen kesembilan di uji cobakan pada putaran 2000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angle sebesar 16° , back rake angle sebesar 17° dan relief angle sebesar 8° .
10. Spesimen kesepuluh di uji cobakan pada putaran 2000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 13° , rake angle sebesar 12° , back rake angle sebesar 17° dan relief angle sebesar 8° .
11. Spesimen kesebelas di uji cobakan pada putaran 2000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angle sebesar 12° , back rake angle sebesar 20° dan relief angle sebesar 8° .
12. Spesimen keduabelas di uji cobakan pada putaran 2000 rpm, kedalaman pemakanan 1 mm, sudut clearance angle sebesar 10° , rake angle sebesar 12° , back rake angle sebesar 17° dan relief angle sebesar 11° .

4.2 Pembahasan



Gambar 4.1 Kurva Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (1)

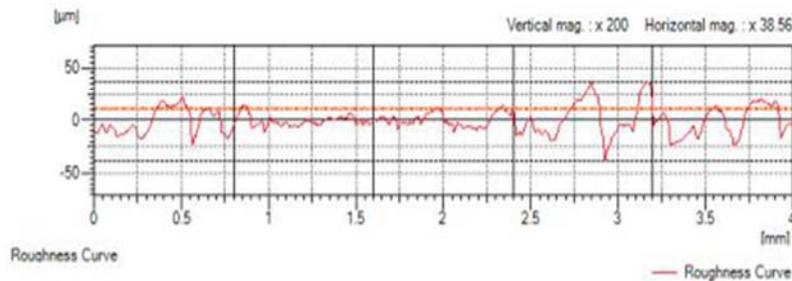


Gambar 4.2 Persentase Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (1)

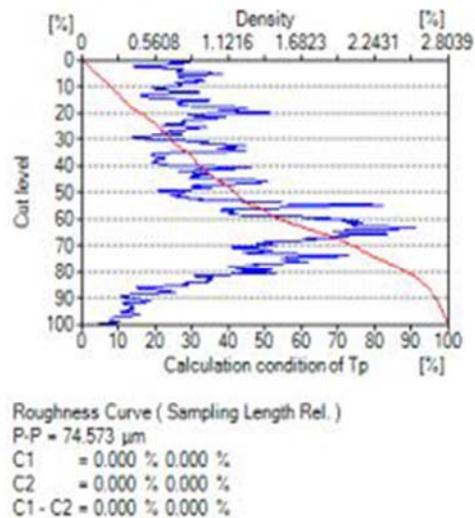
R _{max}	54.7508 μm
R _{zJ}	37.9668 μm
Tik A	1.0474 °
AVH	10.0842 μm
H _{max}	37.0396 μm
H _{min}	1.0120 μm
AREA	14782.8579 μm ²
R _a	6.1849 μm
R _{amax}	10.0289 μm
R _{amin}	4.2701 μm
R _{asd}	2.0541 μm
R _{a+sd}	8.2390 μm
R _{a-sd}	4.1307 μm
R _{α(1)}	5.7174 μm
R _{α(2)}	4.6270 μm
R _{α(3)}	6.2809 μm
R _{α(4)}	10.0289 μm
R _{α(5)}	4.2701 μm
R _n	7.6457 μm

Gambar 4.3 Angka Kekasaran Total Pada Kecepatan 620 rpm (1)

Spesimen pertama mendapatkan angka kekasaran maksimal sebesar 54, 7508 μm. Dimana angka tersebut sudah melebihi batas toleransi maksimum yang diizinkan yang berarti benda kerja spesimen pertama tidak layak dan harus di bubut kembali hingga mendapat angka toleransi yang diizinkan.



Gambar 4.4 Kurva Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (2)

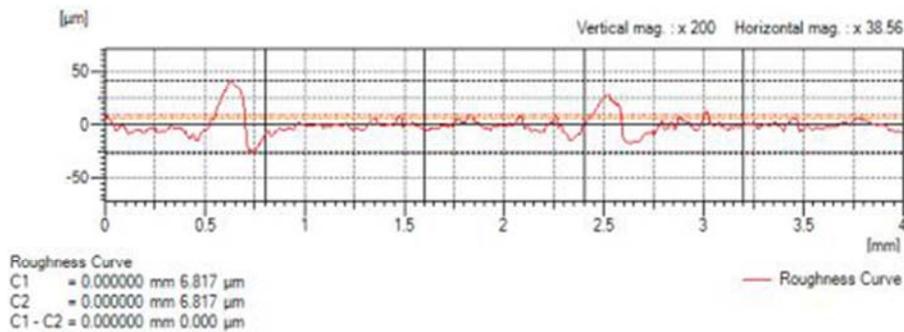


Gambar 4.5 Persentase Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (2)

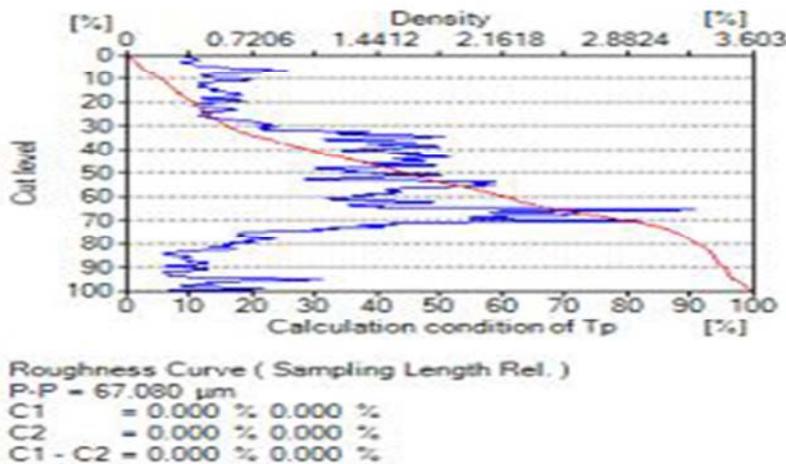
Rmax	90.0811 μm
RzJ	66.0762 μm
Tik A	0.4034 *
AVH	21.5416 μm
Hmax	61.2489 μm
Hmin	1.1096 μm
AREA	30159.1740 μm^2
Ra	9.2735 μm
Ramax	14.8181 μm
Ramin	3.7575 μm
Rasd	4.1553 μm
Ra+sd	13.4288 μm
Ra-sd	5.1182 μm
Ra(1)	10.9289 μm
Ra(2)	3.7575 μm
Ra(3)	5.1907 μm
Ra(4)	14.8181 μm
Ra(5)	11.6723 μm
Rn	10.8269 μm

Gambar 4.6 Angka Kekasaran Total Pada Kecepatan 620 rpm (2)

Spesimen kedua mendapatkan angka kekasaran maksimal sebesar 90, 0811 μm . Angka tersebut jauh melebihi batas toleransi maksimum yang berarti benda kerja spesimen kedua tidak layak dan tidak dapat dipergunakan kembali.



Gambar 4.7 Kurva Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (3)



Gambar 4.8 Persentase Kekasaran Benda Kerja Dengan Kecepatan 620 rpm (3)

R _{max}	73.6065	µm
R _{zJ}	37.6523	µm
Tilt A	1.3364	°
AVH	14.3373	µm
H _{max}	57.2385	µm
H _{min}	1.0312	µm
AREA	15377.6343	µm ²
R _a	5.7392	µm
R _{amax}	11.5250	µm
R _{amin}	2.5367	µm
R _{asd}	3.5204	µm
R _{a+sd}	9.2597	µm
R _{a-sd}	2.2188	µm
R _a (1)	11.5250	µm
R _a (2)	2.5367	µm
R _a (3)	3.9717	µm
R _a (4)	8.0497	µm
R _a (5)	2.6130	µm
R _n	7.6828	µm

Gambar 4.9 Angka Kekasaran Total Pada Kecepatan 620 rpm (3)

Spesimen ketiga mendapatkan angka kekasaran maksimal sebesar 73, 6065 µm. Angka tersebut jauh melebihi batas toleransi maksimum yang berarti benda kerja spesimen kedua tidak layak dan tidak dapat dipergunakan kembali.

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dan data yang telah didapat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Sudut potong, gerak makan, putaran poros spindel, dan kedalaman pemotongan merupakan variabel yang digunakan untuk menentukan angka kekasaran total. Pada penulisan ini pembahasan ditekankan pada variasi sudut potong dan kecepatan putaran spindel. Karena kedua variabel tersebut yang menjadi pokok utama
2. Dibutuhkan kecepatan dan sudut pahat yang tepat pada tiap jenis pembubutan untuk mendapat hasil yang bagus. Kedalaman pemakanan juga cukup berpengaruh.
3. Dilihat dari data yang telah didapat, spesimen ke-12 mendapat hasil terbaik, dengan sesuai tabel di bab 3. Jadi, sudut yang paling berpengaruh dalam pembubutan adalah : *Clearance angle* 10°, *Rake angle* 12°, *Back rake angle* 17°, dan *Relief angle* 11°.

5.2. Saran

1. Dalam pembubutan, hendaknya operator lebih memperhatikan sudut pahat yang sesuai standar agar mendapat hasil bubutan yang baik dan mengurangi resiko benda kerja yang *reject*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Adyuta Farizi Z., Endi Sutikno, dan Erwin Sulisty, *Pengaruh Sudut Potong Mayor dan Feeding Terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Proses Bubut Tirus Aluminium 6061*, Jurusan Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Doddy, Y, *Mesin Bubut*, [http://doddi_y.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/27225/MESIN+BUBUT.pdf] (2014)
- Ing. Alois Schonmetz, Ing. Peter Sinni, dan Ing. Johan Heuberger, *Pengerjaan Logam Dengan Mesin*, Penerbit Angkasa, Jakarta, 2013.
- Munaji, Sudji, 1980, *Dasar-Dasar Metrologi Industri*, Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan, Jakarta.
- Nyoman Artana, 1998, *Analisa Pengaruh penggunaan Chuck Tiga Rahang dan Chuck Empat Rahang Terhadap Kebulatan pada Proses Bubut Tanpa Tail Stock*, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Rochim, Taufiq, 1985, *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*, Higher Education Development Support, Jakarta.