

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Amarindra (2015), telah melakukan penelitian tentang pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan baja karbon rendah dengan menggunakan pahat *end mill*. Penelitian tersebut menggunakan cara konvensional *milling* menggunakan Krisbow *universal Milling Machine X6328B*. Material yang diuji adalah baja karbon rendah (baja-St37) menggunakan pahat *end mill* berbahan HSS. Masing – masing spesimen diuji kekasaran permukaan (R_a) dengan menggunakan *surface roughness tester*. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa yang paling berpengaruh terhadap hasil kekasaran permukaan adalah *feed rate*, *spindle speed*, dan *depth of cut*, dimana *feed rate* dan *depth of cut* memiliki nilai yang berbanding lurus dengan kekasaran dan *spindle speed* memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan kekasaran. Persamaan matematis yang didapatkan adalah $R_a = 0,633 + 0,039X_1 - 0,004X_2 + 0,372X_3$, dimana X_1 adalah variabel *feed rate*, X_2 adalah variabel *spindle speed* dan X_3 adalah variabel *depth of cut* dengan koefisien kesesuaian regresi 90%.

Aditya (2014), telah melakukan penelitian tentang pengaruh *spindle speed*, *feed rate* dan jumlah mata pahat *nose end mill* terhadap kekasaran permukaan aluminium pada proses *conventional milling*. Pahat yang dipakai adalah *ball nose end mill* dengan diameter 10 mm dan jumlah mata pahat sebanyak 2 dan 4 berbahan karbida dengan pemakanan *conventional milling*. Dari penelitian didapat persamaan regresi untuk kekasaran permukaan dalam menentukan nilai parameter pemotongan khususnya *spindle speed* dan *feed rate* yaitu $R_a = 1,665 - 0,002x_1 + 0,007x_2 - 0,088x_3$. Sehingga didapat kesimpulan *Feed rate* (kecepatan pemakanan) mempunyai pengaruh yang positif (berbanding lurus) terhadap kekasaran permukaan, sedangkan *Spindle speed* (kecepatan spindel) dan jumlah mata pahat berpengaruh negatif (berbanding terbalik) terhadap kekasaran permukaan.

Pada penelitian kali ini meneliti pengaruh parameter pemotongan *feed rate*, *depth of cut*, dan *spindle speed* terhadap kekasaran permukaan baja karbon sedang setelah dilakukan proses *conventional milling* dengan menggunakan pahat *end mill*. Mesin yang digunakan adalah mesin *milling* dengan merk Krisbow *Universal Milling Machine X6328B*. Dengan variasi pemotongan ini dapat kita cari faktor – faktor mana yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan baja karbon sedang.

2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah suatu proses permesinan maupun proses manual untuk mengubah bahan dasar menjadi barang jadi atau setengah jadi sehingga siap untuk diproduksi. Bahan dasar ini dapat dibuat dari berbagai cara dan proses.

Manufaktur sendiri memiliki arti membuat barang dengan tangan (manual). Manufaktur juga merupakan suatu cabang industri yang mengaplikasikan peralatan dan suatu medium proses untuk mentransformasi bahan mentah menjadi jadi yang siap untuk dijual.

Teknik *manufacturing* merupakan suatu proses produksi sebuah produk dimana teknik ini mempelajari semua hal yang berhubungan dengan proses produksi (Turner 2000:53), termasuk hal – hal berikut ini:

1. Mengevaluasi dapat atau tidaknya sebuah barang untuk diproduksi.
2. Memilih jenis serta parameter dari proses produksi, seperti komponen produksi, alat yang digunakan, dll.
3. Merancang peralatan pembantu serta mengatur posisi dari benda kerja.
4. Mengestimasi biaya produksi.
5. Menjamin kualitas dari produk yang diproduksi.

2.3 Pemotongan Logam

Pemotongan logam adalah salah satu proses permesinan dalam dunia teknik mesin, proses ini merupakan suatu kegiatan mengurangi dimensi benda kerja dari benda kerja yang semula masih mentah menjadi bentuk tertentu, toleransi, ataupun derajat kehalusan permukaan. Pemotongan logam sering disebut juga dengan istilah

metal cutting process. Banyak sekali jenis pemotongn yang kita kenal dalam dunia teknik, diantaranya yang sering kita dengar adalah pembubutan, *frais*, penggerindaan, alat potong dengan las, dan lain-lain. Prinsip dari pemotongan itu sendiri dapat di definisikan sebagai aksi dari alat potong yang dikontakan dengan benda kerja yang akan dipotong dan membuang sebagian dari bagian benda kerja itu dalam bentuk geram. Sebenarnya pemotongan logam disini sangatlah kompleks.

Dari cara potongnya, pemotongan logam dapat dikelompokan menjadi 4 cara, yaitu:

1. Proses pemotongan dengan mesin las
2. Proses pemotongan dengan mesin perkakas
3. Proses pemotongan dengan mesin pres
4. Proses pemotongan dengan mesin konvensional

2.4 Mesin Milling

Mesin *milling* adalah suatu mesin yang mampu melakukan pemakanan pada benda datar maupun lengkung dengan ketelitian yang baik. Prosesnya adalah dengan berputarnya alat potong pada suatu sumbu dan melakukan pemakanan terhadap benda kerja hingga menghasilkan ukuran yang diinginkan. Prinsip kerja mesin *milling* adalah proses pemotongan benda kerja yang diam dengan meja yang bergerak menuju alat potong yang berputar. Pada penelitian ini digunakan mesin *milling* seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Krisbow *Universal Milling Machine X6328B*
Sumber : Catalog Krisbow-Machinery

2.4.1 Prinsip Kerja Mesin *Milling*

Secara garis besar prinsip kerja mesin *milling* adalah energi listrik yang diubah menjadi energi gerak utama oleh motor listrik, selanjutnya gerak utama tersebut ditransisikan untuk menggerakkan *spindel* mesin *milling*.

Prinsip kerja mesin *milling* secara khusus terdapat dua macam, yaitu:

1. *Main Drive*

Fungsi dari *main drive* adalah menggerakkan *spindle* pada *arbor*. Putaran motor listrik diteruskan ke *speed gearbox* kemudian ke *spindle* dengan mekanisme *belt*. Putaran *spindle* menggerakkan *arbor* dan memutar *milling cutter*.

2. *Feed Drive*

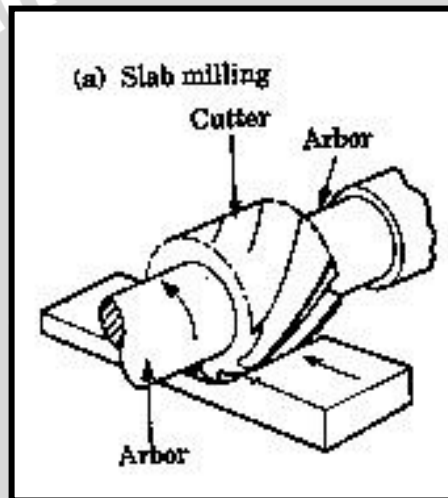
Gerakan pemakanan benda kerja terhadap *milling cutter* ini yang kita sebut dengan *feed drive*. Putaran *table transverse handwheel* untuk menggerakkan *table* ke arah *longitudinal*, dengan itu benda kerja akan terpotong oleh *milling cutter*.

2.4.2 Macam Pemakanan Pada Mesin Milling

Pemakanan pada mesin *milling* dibagi menjadi tiga, yaitu *slab milling*, *face milling* dan *end milling*.

a. Slab Milling

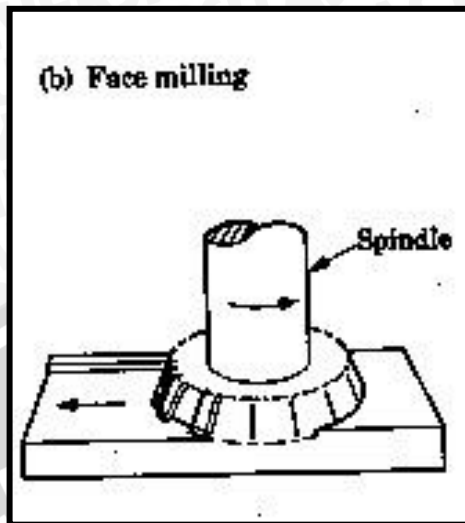
Slab milling merupakan proses *frais* dimana permukaan yang difrais dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau biasanya sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat. (Rochim 1985:16)



Gambar 2.2 Slab Milling
Sumber :Kalpakjian,2006)

b. Face Milling

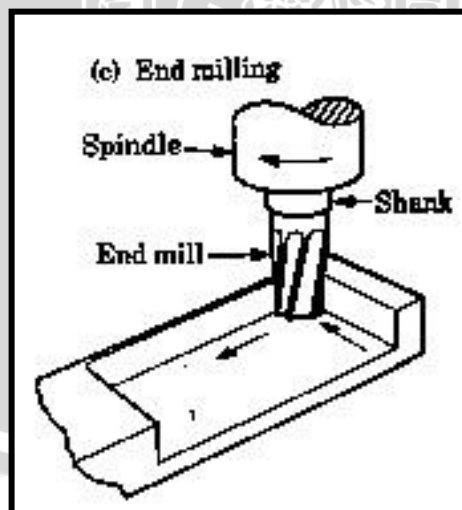
Pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja pada *frais* muka. Permukaan hasil proses *frais* dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau. (Rochim 1985:16)



Gambar 2.3 Face Milling
Sumber :Kalpakjian , (2006)

c. End Milling

Pisau pada proses *frais* jari biasanya berputar pada sumbu yang tegak lurus permukaan benda kerja. Pisau dapat digerakkan menyudut untuk menghasilkan permukaan menyudut. Gigi potong pada pisau terletak pada selubung pisau dan ujung badan pisau. (Rochim 1985:16)

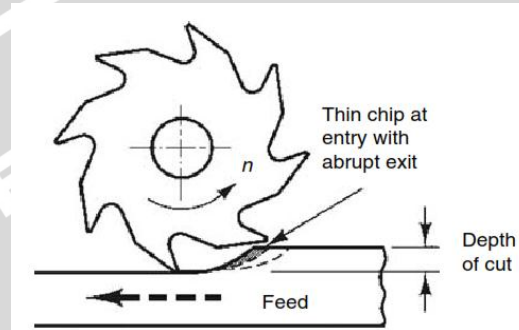


Gambar 2.4 End Milling
Sumber :Kalpakjian, (2006)

2.4.3 Mekanisme Milling

Metode atau mekanisme pemotongan pada mesin *milling* ditentukan berdasarkan arah relatif gerak makan meja mesin terhadap putaran pisau.

- a. *Up Milling (Conventional milling)*, yaitu proses pemakanan yang arah gerak dari putaran pisau berlawanan arah terhadap gerak makan meja mesin.



Gambar 2.5 *Conventional Milling*
Sumber : Youssef, (2008:83)

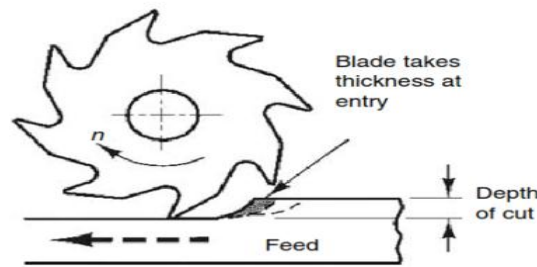
Kelebihan *Conventional Milling* :

- Kerja pahat tidak dipengaruhi oleh karakteristik benda kerja.
- Proses pemotongan lembut sehingga akan memperpanjang umur pahat.

Kekurangan *Conventional Milling* :

- Pahat tidak dapat menahan benda kerja dengan kuat.
- Ada kecenderungan benda kerja terangkat ke atas, sehingga peran penjepit sangat penting.
- Mempercepat keausan pahat karena lebih banyak menggesek benda kerja pada saat mulai memotong.

- b. *Down Milling (Climb milling)*, yaitu proses pemakanan yang arah gerak gigi pahat searah dengan arah pemakanan (*feed*) saat pemotongan.



Gambar 2.6 *Climb Milling*
Sumber : Youssef, (2008:83)

Kelebihan *Climb Milling* :

- Gaya potongnya menimbulkan gaya yang dapat menahan benda kerja tetap pada posisinya.

Kekurangan *Climb Milling* :

- Pada saat memotong benda terjadi gaya yang kuat sehingga peralatan harus di *setup* kuat.
- Tidak cocok untuk pengerjaan benda yang kasar karena akan terjadi pemakanan yang berlebih sehingga akan mengurangi umur pahat.

Proses *conventional milling* atau *climb milling* memang perlu dipilih dengan benar dengan memperhatikan berbagai hal seperti kondisi benda kerja, lenturan, dan cara pemegangan/pengkleman.

2.4.4 Daya Pemotongan pada Proses Milling

Untuk proses freis, gaya pemotongan akan berfluktuasi sesuai dengan fluktuasi gaya tangensial / momen puntir pahat freis. Oleh sebab itu diambil harga rata – ratanya yaitu,

$$N_c = \frac{F_v \cdot V}{60000}$$

Dimana,

N_c = Daya potong per gigi rata – rata (kW)

F_{tm} = Gaya potong per gigi rata – rata (N)

V = Kecepatan potong (m/min)

Daya pemotongan yang terbentuk diatas adalah daya pemotongan yang terpakai dalam proses pembentukan geram. Selain daya pemotongan, motor mesin perkakas juga harus memikul daya yang hilang karena terpakai untuk menggerakkan komponen mesin dan karena gesekan dalam sistem transmisi. Maka daya yang dipakai dalam proses permesinan adalah,

$$N_{total} = N_{mc} + N_c + N_{ml}$$

Dimana,

N_{mc} = daya pemesinan, yang dapat diukur dengan WATT meter ; kW

N_c = daya potong, yang dihitung berdasar pengukuran dynamometer ; kW

N_{ml} = daya hilang ; kW

2.5 End Mill Cutter

Dalam dunia permesinan terdapat banyak sekali tipe pahat, salah satunya adalah pisau jari (*end mill*). Pisau ini merupakan *cutter* mesin *milling* yang paling sering digunakan. Biasanya *cutter* ini dibuat dari bahan baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki alur (*flute*) yang bervariasi.

Bentuk pahat *end mill* ada bermacam - macam tergantung tipe pemakanan dalam operasi mesin. Jenis pahat *end mill* yang paling umum digunakan adalah jenis pahat yang bentuk permukaannya rata (*flat bottom end mill*), *end mill* yang bentuk permukaannya setengah lingkaran (*ball nose end mill*), dan *end mill* dengan radius sudut (*bull nose end mill*). Dalam penelitian ini menggunakan pahat *end mill* dengan bentuk permukaan bawah yang rata, karena dalam penelitian ini melakukan pemakanan permukaan yang datar dengan sudut tajam antara permukaan bawah dan dinding. Pahat *end mill* dengan bentuk pahat setengah lingkaran digunakan untuk 3D *machining* dengan variasi permukaan. Pahat *end mill* dengan radius sudut digunakan dalam pemakanan permukaan yang datar yang membutuhkan sudut antara dinding dan bagian bawah.

2.5.1 Flat Bottom End Mill

Pahat *flat bottom end mill* adalah salah satu jenis pahat yang digunakan pada mesin *milling*. Pahat ini memiliki bentuk permukaan bawah yang rata. Pahat *flat bottom end mill* terbuat dari *high-speed steel* (HSS) dan karbida. Pahat ini biasanya digunakan pada sumbu tegak lurus terhadap permukaan benda kerja, tetapi juga dapat digunakan pada permukaan benda dengan kondisi permukaan miring. Pahat *flat bottom end mill* dapat bekerja pada permukaan pahat maupun tepi pahat. Dengan demikian pahat *flat bottom end mill* dapat menghasilkan benda kerja dengan variasi ukuran dan bentuk.

2.6 Parameter Pemotongan

2.6.1 Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Kecepatan pemakanan adalah gerakan pisau dalam proses menyayat benda kerja dengan satuan millimeter per menit atau *feet* per menit. Pada gerak putar, kecepatan pemakanan, f_r adalah gerak maju alat potong atau benda kerja dalam n putaran alat potong atau benda kerja per menit. Kecepatan pemakanan yang digunakan dan diameter pahat akan menentukan putaran mesin *milling*. Kecepatan pemakanan dipengaruhi oleh :

- Jenis pahat yang digunakan.
- Jenis pekerjaan yang dilakukan, misalnya membubut rata, mengulir, memotong, dan lain-lain.
- Kekerasan material benda kerja.
- Geometri pahat.
- Tingkat kehalusan yang dikehendaki.
- Kedalaman pemakanan.

Rekomendasi dalam pemilihan parameter kecepatan pemakanan dijelaskan pada Tabel 2.1. Untuk menghasilkan permukaan yang lebih halus sebaiknya memakai putaran pahat yang tinggi dan kecepatan pemakanan diperlambat.

Tabel 2.1 Kecepatan Potong Bahan Teknik

No	Bahan Benda Kerja	V (mm/min)
1	Kuningan, Perunggu keras	30-45
2	Besi Tuang	14-21
3	Baja > St 70	10-14
4	Baja St 50-70	14-21
5	Baja St 34-50	20-30
6	Tembaga, Perunggu lunak	40-70
7	Alumunium murni	300-500

Sumber: Rao, 2009

2.6.2 Kecepatan Spindel (*Spindle Speed*)

Rumus mencari kecepatan spindel berdasarkan kecepatan pemakanan dan diameter pahat adalah :

$$n = \frac{f \times 1000}{\pi \times D}$$

Keterangan :

n : Kecepatan putar spindel. (rpm)

f : Kecepatan pemakanan. (m/menit)

D : Diameter (mm)

Kecepatan spindel yang tinggi akan menghasilkan benda kerja yang berkualitas tinggi pula. Itu dikarenakan semakin cepat putaran spindel itu mengakibatkan proses pemakanan dari benda kerja akan semakin sering, sehingga benda kerja akan semakin sering terkikis oleh pahat yang menyebabkan permukaan benda kerja semakin halus. Putaran spindel yang tinggi juga akan mengakibatkan benda kerja berputar stabil sehingga pemakanan menjadi stabil dan halus (Yunus:2014).

2.6.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

Depth of cut adalah dalamnya pahat menusuk benda kerja saat pemotongan. Dalam proses permesinan, kedalaman pemotongan berhubungan dengan beban atau gaya, saat proses pemotongan semakin rendah kedalaman pemotongan maka beban atau gaya yang terjadi semakin rendah juga, sehingga pahat tidak terlalu bergetar dan menerima beban ringan ketika melakukan penyayatan dan membuat permukaan menjadi lebih halus (Fidiawan:2014).

2.7 Material Benda Kerja

2.7.1 Baja

Baja adalah logam paduan yang sering dipakai dalam konstruksi mesin. Unsur utama dari baja adalah besi (Fe) dan karbon (C) sebagai unsur paduan utamanya. Baja juga dapat dipadukan dengan unsur lainnya seperti Cr, Ni, Ti dan unsur lainnya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,04% sampai 1,7% sesuai dengan gradenya. Terdapat tiga kelompok baja jika dilihat dari prosentase kandungan karbonnya, yaitu :

- (a) Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon sebesar 0,70 % – 1,70 %,
- (b) Baja karbon sedang memiliki kandungan karbon sebesar 0,30 % - 0,70 %,
- (c) Baja karbon rendah memiliki kandungan karbon sebesar 0,04 % - 0,30 %.

Kandungan karbon di dalam baja berpengaruh terhadap sifat mampu keras baja tersebut. Sifat mampu keras ini yang dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. (Schonmetz, Gruber, 1985)

Sifat mekanik baja ini sangat ditentukan oleh paduan yang terkandung pada baja tersebut, khususnya adalah kandungan unsur karbon (C). Kandungan yang terdapat pada baja yang akan mempengaruhi struktur mikronya. Selain kandungan yang terdapat dalam baja, struktur mikro baja juga dapat berubah dengan cara lain seperti memberi perlakuan panas dengan merubah kecepatan pendinginan.

Penjelasan lebih spesifik tentang pengelompokan jenis baja karbon sesuai dengan kandungan karbonnya dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Baja Carbon.

Metal	Typical Composition (Wt %)	Typical Uses
Low-Carbon ("Mild") Steel.	Fe: 0,04 to 0,3 C (\approx 0,8 Mn)	Low-stress Uses, General Konstruktional steel, suitable for welding.
Medium-Carbon Steel	Fe: 0,3 to 0,7 C (\approx 0,8 Mn)	Medium Stress Uses, machinery part, nut and bolt, shafts, gears
High-Carbon Steel	Fe: 0,7 to 1,7 (\approx 0,8 Mn)	High-stress uses: Springs, Cutting tool, Dies
Low-alloy Steel	Fe: 0,2, 0,8 Mn 1 Cr 2 Ni	High-Stress Uses : Pressure Vissels, Air craft part.
High-alloy (Stain lest) Steel	Fe: 0,1 C'0,5 Mn 18 Cr, 8 Ni	High-Temperature or anti- Corrotion Uses, Chimiical or Steam plants.

Sumber: Ashby and Jones (1999)

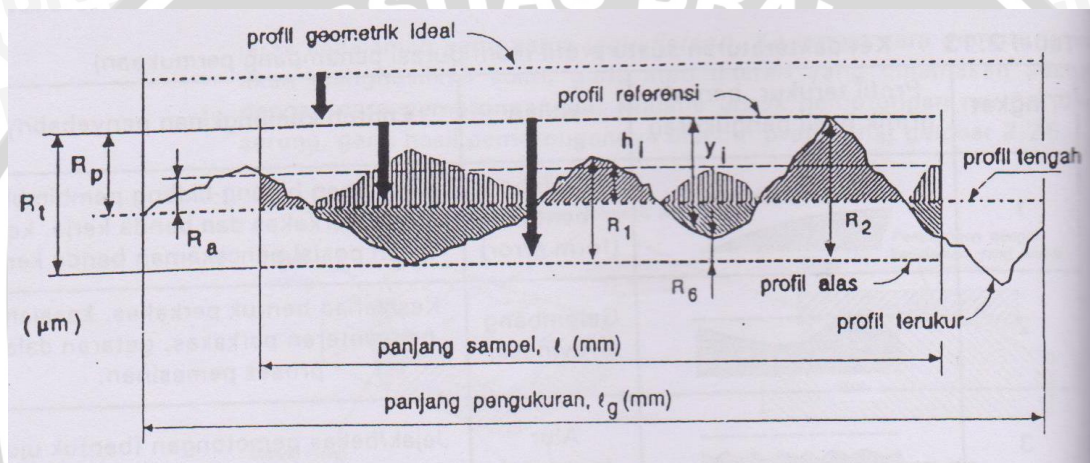
2.7.2 Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Baja karbon sedang adalah jenis baja yang memiliki kandungan karbon yang memiliki nilai berkisar antara 0,3-0,7 %. Baja ini memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari baja karbon rendah, dari spesimen yang telah diuji menunjukkan nilai kandungan karbon mencapai 0,38 % .Dari kandungan karbon ini juga berpengaruh kepada kekuatan tarik yang relatif tinggi pula. Dalam dunia manufaktur baja karbon sedang biasa digunakan sebagai bahan dasar perkakas seperti *connecting rods*, *crank pins*, *crankshafts*, *boiler*, dan *rails*.

2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan salah satu penyimpangan rata-rata aritmetis dan garis profil yang diakibatkan oleh pemotongan atau proses permesinan. Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan yang terjadi dapat berbentuk alur (*grooves*) atau serpihan (*flakes*) pada permukaan material.

Kekasaran permukaan ini sangat berpengaruh terhadap kualitas material setelah dilakukan proses permesinan. Nilai kekerasan ini sangat berpengaruh terhadap material dalam menentukan dimensi material, juga demi meminimalisir gesekan antar material. Kekasaran permukaan yang baik juga dapat meminimalisir terjadinya korosi pada permukaan material. Korosi pada material disebabkan oleh adanya kawah – kawah yang terbentuk pada permukaan material yang dapat menampung material atau zat yang bersifat korosif. Berikut adalah gambar profil dan parameter kekasaran permukaan:



Gambar 2.8 Profil dan Parameter Kekasaran Permukaan

Sumber : Rochim (1993:56)

Keterangan gambar :

- Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*), merupakan profil permukaan geometris ideal, dapat berupa garis lurus ataupun garis lengkung.
- Profil terukur (*measured profile*), merupakan profil permukaan yang terukur oleh alat ukur.
- Profil referensi (*reference profile*), merupakan profil yang digunakan sebagai referensi untuk menganalisa ketidakteraturan konfigurasi permukaan, dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometri ideal, menyinggung puncak tertinggi dari profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam panjang sampel. Biasa disebut sebagai profil puncak (*custline*).

- Profil dasar (*root profile*), merupakan profil yang digeser ke bawah (tegak lurus terhadap profil geometris ideal pada suatu panjang sampel) hingga menyinggung titik terendah dari profil terukur.
- Profil tengah (*center profile*), merupakan profil referensi yang digeser ke bawah sedemikian rupa, sehingga jumlah luas dari daerah di atas profil tengah sampai ke profil terukur sama dengan jumlah luas dari daerah dibawah profil tengah sampai ke profil terukur. Pada gambar ditunjukkan oleh daerah yang diarsir tegak dan datar.

Beberapa parameter permukaan lain yaitu :

- Kedalaman total / *peak to valley height* (R_t) dalam data hasil mesin *surface roughness* adalah (R_z), merupakan jarak rata-rata antara profil referensi dan profil dasar.
- Kedalaman perataan / *peak to mean line* (R_p) dalam data hasil mesin *surface roughness* adalah (R_q), merupakan jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur, juga sama dengan jarak profil referensi ke profil tengah.
- Kekasaran rata-rata aritmetis / *mean roughness index* (R_a), merupakan harga rata-rata aritmetis dari harga absolut antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

Dengan :

$y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ = jarak dari titik permukaan profil garis tengah.

n = jumlah titik penyimpangan dari profil mikro yang diukur

- Kekasaran rata-rata kuadrat (*root mean square height*), R_g : akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

Berdasarkan profil, ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan dibagi kedalam beberapa tingkatan, yaitu:

1. Tingkatan pertama adalah ketidakteraturan makrogeometri; biasanya berupa kesalahan bentuk (*form error*). Hal tersebut disebabkan oleh adanya lenturan

yang terjadi pada mesin perkakas maupun benda kerja serta kesalahan posisi pada pencekaman benda kerja.

2. Tingkatan kedua adalah ketidakteraturan yang menyerupai gelombang (*waviness*). Hal ini disebabkan oleh adanya getaran sewaktu pemotongan. Kemungkinan terjadinya ketidakteraturan ini karena kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penteteran perkakas dan terjadinya getaran pada saat proses pemotongan.
3. Tingkatan ketiga, disebut sebagai alur (*grooves*), adalah ketidakteraturan permukaan karena adanya guratan yang disebabkan adanya jejak dari pahat.
4. Tingkat keempat adalah serpihan (*flake*), yang terjadi karena proses pembentukan geram.
5. Tingkatan kelima merupakan kombinasi dari ketidakteraturan dari tingkatan satu sampai empat.

Faktor-faktor lain yang menyebabkan terjadinya kekasaran permukaan pada proses permesinan *milling* adalah :

1. Terjadinya getaran (*chatter*) saat pemotongan berlangsung
2. Ketidaktepatan gerakan pahat
3. Ketidakteraturan mekanisme pemakanan (*feeding*)
4. Kerusakan pada struktur mesin perkakas

Dalam penulisan nilai kekasaran permukaan ditetapkan nilai kekasaran permukaan sesuai standar ISO atau DIN 4763: 1981 yang dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Angka Kekasaran (ISO *roughness number*) dan panjang sampel standar

<u>Panjang sampel</u> (mm)	<u>Harga</u> <u>kekasaran Ra</u> (μm)	<u>Angka kelas</u> <u>kekasaran (new)</u>	<u>Kategori</u> <u>kekasaran</u>
8	50	N12	<u>Kasar</u> (<i>coarser</i>)
	25	N11	
	12.5	N10	
2.5	6.3	N9	<u>Sedang</u> (<i>average</i> <i>achievable</i> <i>roughness</i>)
	3.2	N8	
	1.6	N7	
0.8	0.8	N6	<u>Halus</u> (<i>finer</i>)
	0.4	N5	
	0.2	N4	
0.25	0.1	N3	<u>Sangat halus</u> (<i>very finer</i>)
	0.05	N2	
0.08	0.025	N1	

Sumber : Rochim (1993) & www.mdmetric.com (2016)

Tabel 2.3 merupakan nilai interval kekasaran permukaan proses pemotongan dari beberapa permesinan. Interval nilai kekasaran ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam memproduksi suatu barang. Dan untuk menjelaskan kemampuan proses permesinan dalam menghasilkan nilai kekasaran pada benda hasil proses mesin dapat dilihat pada Tabel 2.4. Contoh spesifikasi kekasaran permukaan untuk Ra pada produk *yoke flange* tipe 352 adalah $Ra < \pm 3.2 \mu\text{m}$, nilai kekasaran permukaan yang merupakan standar spesifikasi industri dari hasil proses milling tegak, dengan nilai maksimum $3.2 \mu\text{m}$ (N8). Dengan tabel ini panjang sampel yang dianjurkan adalah 0.8 mm untuk melakukan pengukuran Ra.

Tabel 2.4 Kemampuan Proses Mesin untuk Kekasaran Permukaan

Operation	Kekasaran permukaan (mikron)											
	25	12.5	6.25	3.2	1.6	0.8	0.4	0.20	0.10	0.05	0.025	
Gergaji, Pemotongan las	■	■										
Gerinda tangan		■	■									
Pengikiran, amplas			■	■	■							
Bubut, Shaping, Milling				■	■	■						
Pengeboran					■	■	■					
Surface grinding						■	■	■				
Cylindrical Grind.							■	■	■			
Honing, Lapping								■	■	■		
Polishing									■	■	■	
Super Finishing										■	■	■
Bulfin											■	■

Sumber : (Rao, 2009:79)

Tabel 2.5 Jenis Material dan Tingkat Kekasaran Permukaannya

Surface	Roughness - k	
	$10^{-3} (m)$	(feet)
Copper, Lead, Brass, Aluminum (new)	0.001 - 0.002	$3.33 - 6.7 \cdot 10^{-6}$
PVC and Plastic Pipes	0.0015 - 0.007	$0.5 - 2.33 \cdot 10^{-5}$
Epoxy, Vinyl Ester and Isophthalic pipe	0.005	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Stainless steel	0.015	$5 \cdot 10^{-5}$
Steel commercial pipe	0.045 - 0.09	$1.5 - 3 \cdot 10^{-4}$
Stretched steel	0.015	$5 \cdot 10^{-5}$
Weld steel	0.045	$1.5 \cdot 10^{-4}$
Galvanized steel	0.15	$5 \cdot 10^{-4}$
Rusted steel (corrosion)	0.15 - 4	$5 - 133 \cdot 10^{-4}$
New cast iron	0.25 - 0.8	$8 - 27 \cdot 10^{-4}$
Worn cast iron	0.8 - 1.5	$2.7 - 5 \cdot 10^{-3}$
Rusty cast iron	1.5 - 2.5	$5 - 8.3 \cdot 10^{-3}$
Sheet or asphalted cast iron	0.01 - 0.015	$3.33 - 5 \cdot 10^{-5}$
Smoothed cement	0.3	$1 \cdot 10^{-3}$
Ordinary concrete	0.3 - 1	$1 - 3.33 \cdot 10^{-3}$
Coarse concrete	0.3 - 5	$1 - 16.7 \cdot 10^{-3}$
Well planed wood	0.18 - 0.9	$6 - 30 \cdot 10^{-4}$
Ordinary wood	5	$16.7 \cdot 10^{-3}$

Sumber : www.mdmetric.com

2.9 SPSS

SPSS adalah *software* atau paket program statistik dan sistem manajemen data yang luwes dan komprehensif. SPSS dirancang untuk menangani semua tahap analisis mulai dari entri data, transformasi data, tabulasi, analisis statistik deskriptif hingga analisis statistik lanjutan dengan perhitungan yang kompleks. *Software* SPSS hampir selalu menjadi pilihan pertama menggunakan komputer ketika memerlukan paket program statistik, sebab antar muka SPSS membuat analisis statistik menjadi lebih dapat dilakukan pengguna kebanyakan dan memudahkan pengguna yang lebih berpengalaman. (Utomo, 2007:1)

2.9.1 Uji Anova

ANOVA merupakan suatu prosedur yang digunakan untuk menguji hipotesis nol tentang tiga atau lebih rata-rata populasi yang sama (Mann, 2010:544). Uji ANOVA diterapkan dengan memperhitungkan dua estimasi variansi suatu distribusi populasi antara lain variansi antar sampel dan variansi dalam sampel. Variansi antar sampel disebut juga rata-rata kuadrat dalam sampel (Mann, 2010:545). Sebelum melakukan uji ANOVA terlebih dahulu data harus lolos uji asumsi, yaitu uji normalitas dan uji homogenitas.

2.9.2 Analisis Regresi

Analisis Regresi adalah analisis statistic yang berguna untuk mempelajari besar dan arah pengaruh dari satu atau lebih variabel (disebut variabel independen) terhadap satu atau lebih variabel lain (disebut variabel dependen). Analisis regresi yang mengandung satu variabel dependen disebut sebagai regresi persamaan tunggal, bila variabel terikat lebih dari satu disebut sebagai regresi persamaan simultan. (Utomo, 2007:39)

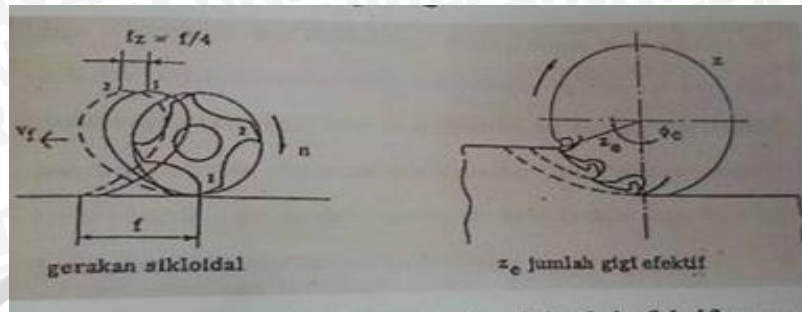
2.10 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah adanya hubungan antara tiga parameter kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan. Apabila

kecepatan spindel rendah, kecepatan pemakanan tinggi, dan kedalaman pemakanan besar maka nilai kekasaran permukaan material akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan kecepatan spindel yang tinggi, kecepatan pemakanan yang rendah dan kedalaman pemakanan yang kecil. Dengan kecepatan spindel yang tinggi mengakibatkan pemakanan lebih sempurna, jika kecepatan pemakanan tinggi pula maka pemakanan kurang baik karena pemakanan tidak dapat terjadi secara berkelanjutan dalam satu titik, dan kedalaman pemakanan yang lebih besar akan berpengaruh terhadap pemakanan yang tidak sempurna pula. Dengan kata lain kecepatan spindel mempunyai pengaruh negatif terhadap kekasaran permukaan, dan sebaliknya kecepatan pemakanan dan kedalaman pemoyongan berpengaruh positif.



Gerakan setiap mata potong pahat freis relatif terhadap benda kerja merupakan gerak siklodal dapat dilihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Gerakan mata potong pahat freis dan jumlah gigi efektif yang memotong pada setiap saat.

Sumber : Rochim (1993 :54)

Pada gambar 2.7 ditunjukkan bagaimanapun posisi pahat freis relatif terhadap lebar pemotongan (pada mengefreis tegak) atau kedalaman potong (pada mengefreis datar) jarak antara siklodal yang beruntun, pada arah kecepatan akan selalu sama dan jarak ini dinamakan gerak makan pergigi (fz , *feed per tooth*, mm). Gerakan makan pergigi merupakan variabel yang penting dalam proses freis dan harganya ditentukan oleh kecepatan makan (f_r), putaran spindel (n), serta jumlah gigi (z) yaitu,

$$fz = \frac{f_r}{(n.z)} ; \text{mm/gigi}$$

Tebal geram pada setiap saat ditentukan oleh sudut posisi (ϕ) sebagai mana yang diperlihatkan oleh rumus,

$$h = ft \sin \phi \sin x \\ = ft \sin \phi, \text{ untuk } \kappa r = 90^\circ$$

Dengan demikia, gaya pemotongan untuk setiap gigi akan berfluktuasi mengikuti perubahan sudut posisi gigi, sesuai dengan rumus pada proses membusut maka gaya tangensial pada setiap mata potong pada setiap saat adalah,

$$ft = \tau shi . b . fz . \sin \phi . \sin \kappa r \frac{\cos(\eta - \gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi - \eta - \gamma_0)}$$