

## BAB II

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Selvam, et al., (2012)**, melakukan penelitian mengenai parameter permesinan optimum pada *face milling* dengan CNC *end milling vertical* menggunakan algoritma genetik. Penelitian tersebut dilakukan dengan pemotongan *face mill* 25 mm pada bahan aluminium paduan. Hasil penelitian didapatkan bahwa kekasaran permukaan ( $R_a$ ) terbukti tergantung pada *spindle speed* ( $n$ ), *feed rate* ( $f$ ) serta *depth of cut* ( $t$ ). Produktivitas tertinggi yang menghasilkan kekasaran permukaan paling kecil dapat diraih pada *feed rate* = 500 mm/menit, *depth of cut* = 0,1 mm serta *spindle speed* = 2000 rpm .

**Shankar, Gopinath, (2006)**, telah melakukan penelitian tentang pembubutan samping pada bagian pesawat yang menggunakan aluminium paduan 2124 T851. Penelitian ini menggunakan proses *up* dan *down milling* menggunakan mesin CNC. Pahat yang dipakai dalam penelitian ini adalah pahat *flat end mill* diameter 8 mm, *ball nose end mill* diameter 10 mm, *insert flat end mill* diameter 20 mm yang berbahan karbida. Penelitian ini menghasilkan bahwa kedalaman pemotongan, kecepatan pemakanan dan kecepatan pemotongan mempunyai pengaruh terhadap permukaan benda sehingga didapat kekasaran permukaan yang lebih halus pada proses *up milling* dari pada proses *down milling*.

**Patil, et al., (2013)**, telah melakukan penelitian tentang pengaruh kekasaran permukaan pada *ball nose end mill* untuk pemotongan yang optimal menggunakan algoritma genetik pada aluminium paduan. Penelitian ini menggunakan mesin CNC *vertical* untuk pemakanan aluminium paduan LM6. Pahat yang digunakan *ball nose end mill* diameter 12 dan mata 4. Penelitian ini menghasilkan kekasaran permukaan sebesar 0,45  $\mu\text{m}$ , dengan *spindle speed* sebesar 5000 rpm, *feed rate* sebesar 1463 mm/menit, dan *depth of cut* sebesar 0,73 mm.

**Khalil, et al., (2014)**, telah melakukan penelitian tentang kekasaran permukaan pada 2 merek pahat *ball nose end mill* dalam pemotongan kecepatan rendah. Penelitian ini menggunakan mesin CNC 3A untuk pemakanan TiAlN. Pahat yang digunakan *ball nose end mill* merek Stavax dan XW-5 mata 2 dan 4

berbahan karbida. Penelitian ini menghasilkan kekasaran permukaan sebesar  $0,1462 \mu\text{m}$  untuk XW-5 dan  $0,0228 \mu\text{m}$  untuk Stavax pada jumlah mata pahat 4 dan  $0,2163 \mu\text{m}$  untuk XW-5 dan  $0,0737 \mu\text{m}$  untuk Stavax pada jumlah mata pahat 2.

Pada penelitian kali ini menggunakan proses pemakanan yaitu *conventional milling*. Parameter yang digunakan dalam proses pemakanan yaitu *spindle speed* dan *feed rate*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekasaran permukaan dengan parameter pemotongan dan jumlah mata pahat yang berbeda. Penelitian ini menggunakan 3 variasi *spindle speed* dan 3 variasi *feed rate*. Kemudian dilakukan percobaan menggunakan 2 pahat yang berbeda yaitu *ball nose end mill* dengan jumlah mata pahat 2 dan 4.

## 2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur dapat didefinisikan sebagai penerapan ilmu fisika dan kimia untuk mengubah geometri, sifat-sifat, dan tampilan dari suatu material awal dalam pembuatan produk. Proses manufaktur juga meliputi penggabungan beberapa komponen untuk membuat produk rakitan.

### 2.2.1 Jenis Proses Manufaktur

Proses manufaktur dapat dibagi menjadi dua jenis dasar, yaitu operasi pengerjaan dan operasi perakitan.

#### 1. Operasi Pengerjaan

Operasi pengerjaan yaitu mengubah material dari satu tahap proses penyelesaian produk ke tahap selanjutnya yang lebih mendekati ke bentuk produk yang diinginkan. Operasi ini bertujuan untuk menambah nilai produk dengan mengubah geometri, sifat-sifat atau tampilan dari material awal.

#### 2. Operasi Perakitan

Operasi perakitan yaitu menggabungkan dua atau lebih komponen untuk membentuk unit baru yang disebut rakitan, sub-rakitan, atau beberapa istilah lain yang merujuk pada proses penggabungan yang spesifik.

### 2.2.2 Pemotongan Logam

Proses pemotongan logam adalah suatu proses yang digunakan untuk mengubah suatu produk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Pemotongan logam dapat dikelompokkan menjadi empat menurut cara pemotongannya, yaitu proses pemotongan dengan mesin las, pemotongan dengan mesin pres, pemotongan dengan mesin perkakas dan pemotongan dengan mesin konvensional.

Proses permesinan merupakan proses pembentukan suatu produk dengan metode pemotongan dan menggunakan mesin perkakas. Gerakan pahat terhadap benda kerja yang dipotong ada dua yaitu gerak potong dan gerak makan. Permesinan merupakan salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam industri, sehingga penelitian mengenai permesinan terus dilakukan, dengan tujuan untuk menghasilkan hasil pemotongan yang semakin baik serta mendapatkan parameter pemotongan yang paling tepat agar menghasilkan produk yang semakin baik pula.

### 2.3 Mesin Frais (*Milling*)

Mesin frais (*milling*) adalah salah satu mesin perkakas untuk mengerjakan atau menyelesaikan permukaan suatu benda kerja dengan menggunakan pisau (pahat) sebagai alat potongnya. Pada mesin frais, pisau terpasang pada *arbor* dan diputar oleh spindel. Benda kerja terpasang pada meja dengan bantuan ragum (*vice*) atau alat bantu lainnya. Meja bergerak *vertical* (naik-turun), *horizontal* (maju-mundur dan kekiri-kekanan). Dengan gerakan ini maka dapat menghasilkan benda-benda seperti pembuatan bidang rata, alur, roda gigi, segi banyak beraturan, bidang bertingkat.

Sesuai dengan kebutuhannya, mesin frais dibagi menjadi dua yaitu, mesin frais baku dan mesin frais khusus. Mesin frais baku dibagi lagi menjadi dua kelompok, yaitu mesin frais meja dan mesin frais lutut dan tiang. Mesin-mesin frais yang tergolong jenis mesin frais lutut dan tiang diantaranya ialah mesin frais *horizontal*, mesin frais *vertical* dan mesin frais *universal*. Pada mesin frais *horizontal*, meja dari mesinnya hanya dapat digerakan pada tiga arah yaitu arah membujur, arah melintang dan arah tegak. Sedangkan pada mesin frais *vertical*

letak sumbu utama spindelnya tegak lurus terhadap meja mesin, dengan perlengkapan kepala tegak yang dapat diputar-putar, maka kedudukan spindel sumbu utama dapat dibuat menyudut terhadap meja mesin. Sedangkan untuk frais *universal*, meja dari mesin ini hampir sama seperti pada mesin *horizontal* hanya meja mesin *universal* dapat diputar mendatar dan membentuk sudut  $45^{\circ}$  ke arah tiang mesin.

Mesin frais pada saat ini telah banyak yang dilengkapi dengan pengendali CNC untuk meningkatkan produktivitas dan fleksibilitasnya. Dengan menggunakan pengendali CNC maka waktu produksi bisa dipersingkat dan menghasilkan bentuk benda kerja yang bervariasi.

#### 2.4 Mesin *Milling*

Mesin *milling* adalah suatu mesin dimana alat potong berputar pada sumbunya dan melakukan pemakanan terhadap benda kerja. Mesin *milling* digunakan untuk pemakanan permukaan benda kerja dengan akurasi yang tinggi. Proses pemakanan dilakukan satu kali atau dua kali putaran dengan satu atau lebih mata pahat. Benda kerja diletakkan diam dan dijepit pada ragum, kemudian dimakan dengan pahat yang berputar. Mesin *milling* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



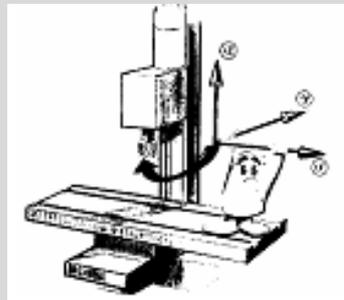
Gambar 2.1 Mesin *Milling*  
Sumber : Straße, (1988:2)

### 2.4.1 Prinsip Kerja Mesin Milling

Mesin *milling* CNC TU-3A menggunakan sistem persumbuan dengan dasar sistem koordinat *Cartecius*, prinsip kerja mesin CNC TU-3A adalah meja bergerak melintang dan *horizontal* sedangkan pisau atau pahat berputar. Untuk arah gerak persumbuan mesin tersebut diberi lambang persumbuan sebagai berikut :

1. Sumbu X untuk arah gerakan *horizontal*
2. Sumbu Y untuk arah gerakan melintang
3. Sumbu Z untuk arah gerakan *vertical*

Untuk menjelaskan sistem persumbuan dapat dilihat pada gambar 2.2.

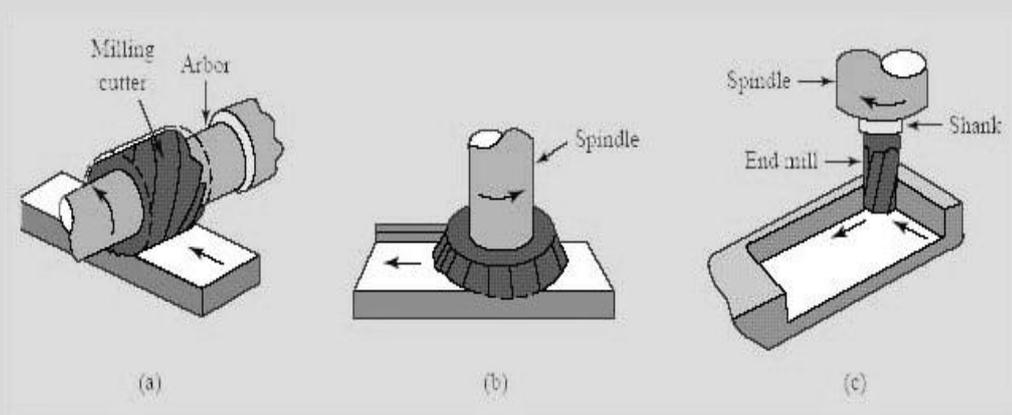


Gambar 2.2 Sumbu Mesin CNC TU-3A

Sumber : StraÙe, (1988:30)

### 2.4.2 Macam Pemakanan Pada Mesin Milling

Pemakanan mesin *milling* dibagi menjadi tiga, yaitu *slab milling*, *face milling* dan *end milling* seperti pada Gambar 2.3.

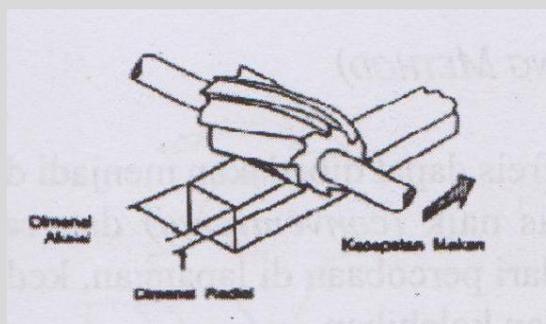


Gambar 2.3 Dasar operasi *milling* (a) *slab milling*, (b) *face milling*, (c) *end milling*

Sumber : Subagio, (2008:80)

### a. Slab Milling

Pemakanan *slab milling*, atau *peripheral milling*, sumbu rotasi pahat sejajar dengan permukaan benda kerja. Pahat pada *slab milling* memiliki mata pahat yang heliks. Pahat dengan gigi yang heliks lebih sering digunakan dari pada mata gigi lurus, dikarenakan beban pada mata gigi yang lebih rendah saat beroperasi, sehingga permukaan benda kerja lebih halus dan juga mengurangi gaya pada pahat.

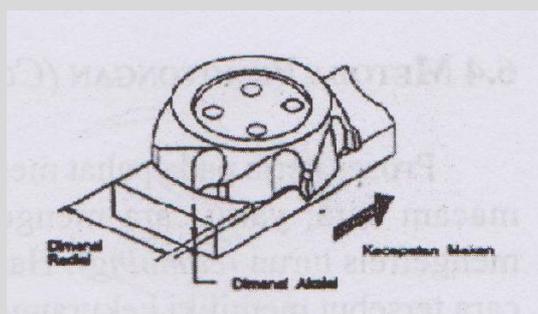


Gambar 2.4 Slab Milling

Sumber : Subagio, (2008:80)

### b. Face Milling

Pada *face milling* pahat dipasang pada poros yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap benda kerja. Pahat memiliki mata tajam pada bagian tepi.



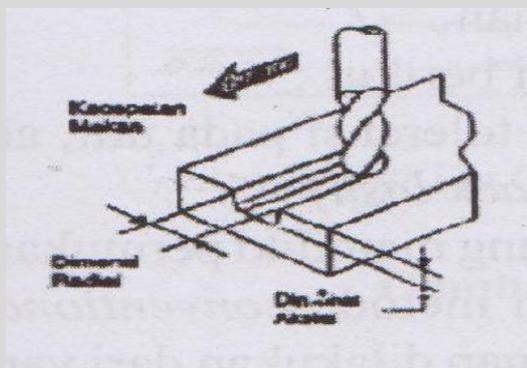
Gambar 2.5 Face Milling

Sumber : Subagio, (2008:80)

### c. End Milling

Permukaan rata serta dapat menghasikan berbagai profil dengan menggunakan proses *end milling*. Pahat pada proses *end milling* memiliki tangkai yang lurus dan meruncing dengan berbagai ukuran. Pahat berputar

pada sumbu tegak lurus terhadap benda kerja, tetapi juga dapat dimiringkan untuk melakukan *machine-tapered surface*.

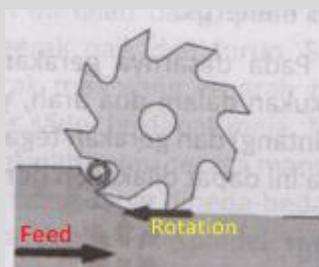


Gambar 2.6 *End Milling*  
Sumber : Subagio, (2008:80)

### 2.4.3 Mekanisme *Milling*

Proses *milling* dapat dibedakan berdasarkan arah rotasi pahat, yaitu *up milling* (*conventional milling*) dan *down milling* (*climb milling*). Masing-masing dari proses tersebut memiliki perbedaan dan ciri khas. Untuk memahami proses ini, dapat dilihat Gambar 2.6 dan Gambar 2.7:

- a. *Up Milling* (*Conventional milling*), yaitu proses pemakanan yang arah gerakan pahat berlawanan dengan arah pemakanan (*feed*) saat pemotongan.



Gambar 2.7 *Conventional Milling*  
Sumber : Rachmad, (2004:53)

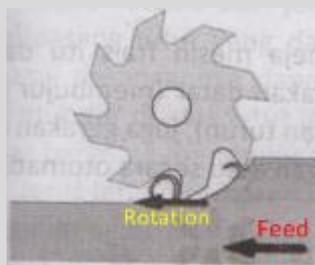
Kelebihan *Conventional Milling* :

- Kerja pahat tidak dipengaruhi oleh karakteristik benda kerja

Kekurangan *Conventional Milling* :

- Hasil pemotongan lebih kasar karena arah pemakanan berlawanan
- Benda kerja cenderung terangkat karena arah pemakanan yang berlawanan

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



Gambar 2.8 *Climb Milling*

Sumber : Rachmad, (2004:53)

Kelebihan *Climb Milling* :

- Hasil pemotongan lebih halus karena arah pemakanan yang searah
- Benda kerja tertahan pada posisinya karena arah pemakanan yang searah

Kekurangan *Climb Milling* :

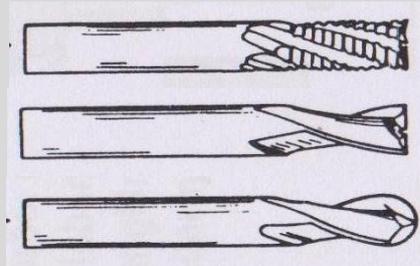
- Tidak cocok untuk pengerjaan benda yang kasar karena akan terjadi pemakanan yang berlebih sehingga akan mengurangi umur pahat

## 2.5 *End Mill Cutter*

Pisau jari (*end mill*) merupakan salah satu jenis pahat mesin CNC *milling* yang banyak digunakan. Ukuran pahat jenis ini sangat bervariasi, mulai ukuran kecil sampai ukuran besar. Biasanya pahat ini terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) atau karbida, dan memiliki satu atau lebih alur (*flute*). Pahat ini dipakai untuk membuat alur pada bidang datar atau pasak dan umumnya dipasang pada posisi tegak (*vertical*), namun pada kondisi tertentu dapat juga dipasang pada posisi *horizontal*.

Pahat *end mill* ini digunakan untuk pengefraisan muka, *horizontal*, *vertical*, menyudut atau melingkar. Bentuk Pahat *end mill* yang bervariasi dapat melakukan pemakanan dengan berbagai jenis bentuk permukaan, jenis pahat *end mill* yang paling umum digunakan yaitu pahat dengan permukaan bawah yang rata (*flat bottom end mill*), pahat dengan ujung setengah lingkaran (*ball nose end mill*), dan pahat dengan radius sudut (*bull nose end mill*). Setiap jenis pahat *end mill* masing-masing digunakan berdasarkan tipe pemakanan dalam operasi permesinan. Pahat

*flat bottom end mill* digunakan dalam operasi pemakanan permukaan yang datar dengan sudut tajam antara permukaan bawah dan dinding. Pahat *ball nose end mill* digunakan untuk 3D *machining* dengan variasi permukaan. Pahat *bull nose end mill* digunakan dalam pemakanan permukaan yang datar yang membutuhkan sudut antara dinding dan bagian bawah.



Gambar 2.9 Bentuk Pahat *End Mill*

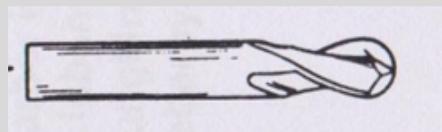
Sumber : StraÙe, (1988:55)

### 2.5.1 *Ball Nose End Mill*

Pahat *ball nose end mill* digunakan dalam operasi mesin *milling*. Pahat *ball nose end mill* terbuat dari baja kecepatan tinggi (HSS) dan karbida. Pahat *ball nose end mill* memiliki ujung pahat setengah bola atau radius. Biasanya digunakan untuk pemakanan permukaan dengan bentuk benda kerja yang berupa permukaan silindris. Pahat *ball nose end mill* dapat bekerja pada permukaan pahat maupun pada tepian pahat. Dengan pahat *ball nose end mill* dapat dihasilkan benda kerja dengan variasi ukuran dan bentuk.

### 2.5.2 Bentuk Pahat *Ball Nose End Mill*

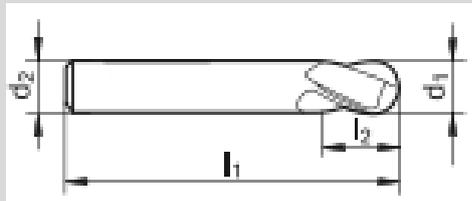
Setiap jenis pahat *end mill* digunakan berdasarkan tipe pemakanan dalam operasi mesin *milling*. Pahat *ball nose end mill* digunakan untuk 3D *machining* dengan variasi permukaan. Jenis pahat *end mill* dengan ujung setengah bola atau radius ini (*ball nose end mill*) biasanya digunakan pada industri otomotif dan penerbangan untuk membuat produk yang silindris dan berlekuk.



Gambar 2.10 Pahat *Ball Nose End Mill*

Sumber : StraÙe, (1988:55)

### 2.5.3 Fitur Pahat *Ball Nose End Mill*



Gambar 2.11 Desain Pahat *Ball Nose End Mill*

Sumber : Guhring, (2000:1173)

- Diameter luar (*outside diameter*) : diameter lingkaran yang melakukan pemakanan samping.
- Panjang (*length*) : panjang pahat dari ujung gigi ke ujung *shank*
- Gigi (*Tooth*) : bagian dari pahat yang dimulai dari bagian samping sampai bagian permukaan bawah pahat.
- *Flute*/Alur/Jumlah gigi : alur heliks sepanjang pisau *ball nose end mill*, sedangkan bagian tajam sepanjang tepi pisau disebut sebagai gigi.
- Sudut Heliks : sudut alur dari pisau pemotong *ball nose end mill* yang berbentuk heliks.
- Pemegang (*Shank*) : bagian silinder yang tidak beralur dari alat yang digunakan untuk memegang ke cekam.
- *Coating*/Pelapis : Pelapisan yang tepat dapat memiliki pengaruh yang besar pada proses pemotongan dengan meningkatkan kecepatan potong dan umur pahat, dan meningkatkan kehalusan permukaan akhir.

### 2.5.4 Mata Pahat *Ball Nose End Mill*

Mata pahat merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pemotongan. Dengan semakin banyaknya jumlah mata pahat maka akan meningkatkan efektifitas dalam proses pemotongan. Karena semakin banyak jumlah mata pahat akan dapat memakan benda kerja (pemakanan per gigi) dua kali lebih banyak bahkan lebih tergantung berapa banyak jumlah mata pahat yang digunakan. Dan juga semakin banyak mata pahat maka tebal geram yang dihasilkan juga akan berbeda pula yang dapat mempengaruhi hasil dari proses

pemotongan. Persamaan untuk mencari pemakanan per gigi yaitu sebagai berikut (Rochim,1993):

$$Fz = \frac{Vf}{zn} \quad (2-1)$$

Dengan :

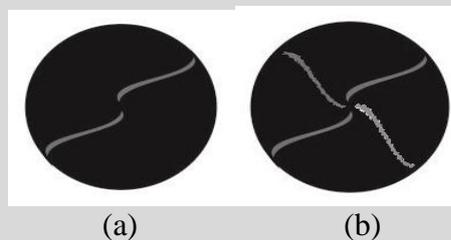
$Fz$  = Pemakanan per Gigi (mm/rev)

$Vf$  = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

$z$  = Jumlah Mata Pahat

$n$  = Kecepatan Spindel (rpm)

Karena semakin banyak jumlah mata pahat maka geram yang dihasilkan berjumlah banyak namun volume ketebalannya lebih kecil sehingga dapat mempermudah proses pembuangan geram. Dengan demikian maka tidak ada geram yang menempel pada pahat yang dapat mempengaruhi hasil dari proses pemotongan yang berakibat pada kekasaran permukaan benda kerja. Karena pahat *ball nose end mill* digunakan untuk pengerjaan berbagai variasi dan bentuk misalnya benda kerja silindris sehingga penggunaan semakin banyak jumlah mata pahat akan dapat meningkatkan kualitas dan akurasi hasil pemotongan.



Gambar 2.12 (a) Mata pahat 2 (b) Mata pahat 4

## 2.6 Parameter Pemotongan

### 2.6.1 Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Kecepatan potong adalah kecepatan gerakan utama pahat dalam proses menyayat benda kerja. Kecepatan potong yang digunakan dan diameter pahat akan menentukan putaran mesin *milling*. Kecepatan potong dipengaruhi oleh : kekerasan material benda kerja, material pahat yang digunakan, geometri pahat dan tingkat kehalusan yang dikehendaki. Rekomendasi dalam pemilihan parameter kecepatan potong dapat dilihat pada tabel 2.1.

Pada pemotongan yang kasar digunakan putaran rendah dan kecepatan pemotongan yang tinggi sedangkan untuk *finishing* (penyelesaian) putaran dipertinggi, keruncingan pahat dikurangi dan kecepatan pemakanan diperlambat. Hasil dan mutu dari permukaan benda kerja tersebut pasti lebih baik. Persamaan untuk mencari kecepatan potong (*cutting speed*) yaitu sebagai berikut (Subagio,2008):

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2-2)$$

Dengan :

$V_c$  = Kecepatan Potong (m/min)

$d$  = Diameter Pahat (mm)

$n$  = Putaran Spindel (rpm)

Kecepatan potong dipengaruhi oleh kecepatan spindel, bila kecepatan spindel yang digunakan semakin tinggi maka pemotongan akan jauh lebih cepat sehingga kualitas pemotongan juga akan semakin baik.

Tabel 2.1 Data untuk Mesin *Milling*

Material	Kekerasan BHN	HSS		Karbida	
		Speed m/min	Feed Mm/tooth	Speed m/min	Feed Mm/tooth
C 20 Steel	110 – 160	20	0,13	90	0,18
C 20 Steel	120 – 180	25	0,13	80	0,18
C 20 Steel	160 – 200	20	0,13	60	0,18
Alloy Steel	180 – 200	30	0,13	60	0,18
Alloy Steel	220 – 300	18	0,10	90	0,18
Alloy Steel	220 – 300	14	0,08	60	0,15
Alloy Steel	300 – 400	14	0,08	60	0,13
Stainless Steel	200 – 300	20	0,05	85	0,13
Cast Iron	180 – 220	16	0,10	58	0,20
Malleable iron	160 – 240	27	0,18	85	0,18
Cast Steel	140 – 200	16	0,15	50	0,18
Copper	120 – 160	38	0,15	180	0,15
Brass	120 – 180	75	0,15	240	0,25
Bronze	160 – 200	38	0,18	180	0,15
Aluminium	70 – 105	120	0,28	240	0,25
Magnesium	40 - 60	210	0,28	380	0,25

Sumber : Rao, (2009:105)

### 2.6.2 Kecepatan Pemakanan (*Feed Rate*)

Kecepatan pemakanan dihitung berdasarkan ketebalan geram yang dapat dipotong oleh setiap gigi pahat atau disebut juga pemakanan per gigi. Besarnya pemakanan tiap gigi tergantung oleh beberapa faktor yaitu : jenis material yang dipotong, jenis pahat yang digunakan, kedalaman pemotongan dan hasil akhir yang diinginkan.

Kecepatan pemakanan juga mempengaruhi kualitas hasil pemotongan karena semakin tinggi kecepatan pemakanan maka geram yang dihasilkan juga semakin banyak yang dapat menghasilkan permukaan yang kasar sehingga kualitas hasil pemotongan juga tidak akan baik. Persamaan untuk mencari kecepatan pemakanan (*feed rate*) yaitu sebagai berikut (Subagio,2008):

$$V_f = F_z \cdot z \cdot n \quad (2-3)$$

Dengan :

$V_f$  = Kecepatan Pemakanan (mm/min)

$F_z$  = Pemakanan per Gigi (mm/rev)

$n$  = Putaran Spindel (rpm)

$z$  = Jumlah Mata Pahat

### 2.6.3 Kedalaman Pemakanan (*Depth of Cut*)

Besarnya kedalaman pemakanan berhubungan erat dengan kecepatan pemakanan dan diameter pahat. Semakin tinggi kecepatan pemakanan, maka pahat yang digunakan semakin kecil diameternya dan kedalaman pemakanan pada benda kerja menjadi kecil.

Kedalaman pemakanan juga dapat mempengaruhi kualitas hasil pemotongan karena semakin dalam pemotongan maka beban dan gaya yang diperlukan untuk memotong akan semakin besar sehingga dapat mengganggu kerja dari pahat yang dapat mengakibatkan hasil pemotongan yang tidak baik.

## 2.7 Material Benda Kerja

### 2.7.1 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dengan massa jenis  $2.7 \times 10^{-9} \text{ kg/m}^3$ . Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, komponen pesawat dan komponen industri.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen sehingga membentuk lapisan aluminium oksida, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan membuatnya tahan korosi. Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar  $5 \times 10^{-6} \text{ kgf/m}^2$ . Bila diproses seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai  $\pm 15 \times 10^{-6} \text{ kgf/m}^2$ .

Tabel 2.2 Karakteristik Aluminium

<i>Alloy</i>	<i>Temper</i>	<i>Tensile strength psi</i>	<i>Tensile yield strength psi</i>	<i>Elongation &amp; in 2 in</i>	<i>Hardness Bhn</i>	<i>Shear strength Psi</i>	<i>Fatigue limit psi</i>
6050	0	16.000	8.000	35	26	11.000	8.000
	T6	37.000	32.000	13	80	23.000	13.000
6061	0	18.000	8.000	25	30	12.000	9.000
	T4.T451	35.000	21.000	22	65	24.000	13.000
	T6.T651	45.000	40.000	12	95	30.000	14.000
	T81	55.000	52.000	15		32.000	
	T91	59.000	57.000	12		33.000	14.000
	T913	67.000	66.000	10		35.000	
6066	0	22.000	12.000	18	43	14.000	
	T4.T451	52.000	30.000	18	90	29.000	
	T6.T651	57.000	52.000	12	120	34.000	16.000
6070	0	21.000	10.000	20	35	14.000	9.000
	T6	57.000	52.000	12	120	34.000	14.000
6101	T6	32.000	28.000	15	71	20.000	
6151	T6	48.000	43.000	17	100	32.000	12.000
6201	T81	48.000		6			15.000
6262	T9	58.000	55.000	10	120	35.000	13.000
6351	T4.T451	42.000	27.000	20	60	22.000	13.000
	T6.T651	49.000	43.000	13	95	29.000	13.000
6951	0	16.000	6.000	30	28	11.000	
	T6	39.000	33.000	13	82	26.000	

Sumber : Swartz, (1992:187)

### 2.7.2 Aluminium 6061

Dari sekian banyak logam yang potensial, Komposit Matrik Logam (MMCs) paduan Al 6061 telah menjadi objek dari banyak riset, terutama oleh keringannya, murah dan kemudahan untuk difabrikasi. Al 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena akan terbentuk lapisan baru akibat lapisan lama yang terkelupas. Al 6061 mempunyai titik lebur  $660^{\circ}\text{C}$ , kekuatan tarik  $12.6 \times 10^{-6}\text{ kgf/m}^2$ , massa jenis  $2.70 \times 10^{-9}\text{ kg/m}^3$  dan konduktivitas termal pada  $25^{\circ}\text{C}$  yaitu  $237\text{ W/m.K}$ .

Tabel 2.3 Komposisi Aluminium 6061

Component	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others	Aluminium
Minimum	0.4	-	0.15	-	0.8	0.04	-	-	-	<i>balanced</i>
Maximum	0.8	0.7	0.40	0.15	1.2	0.35	0.25	0.05	0.05	

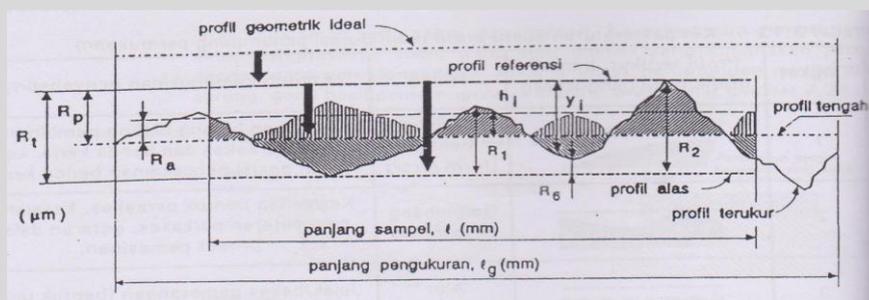
Sumber : <http://Alcoa Engineered Products.com>

### 2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu bentuk dari ketidakraturan konfigurasi suatu permukaan yang kemungkinannya dapat berupa goresan atau lekuk-lekuk kecil pada suatu permukaan.

Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas dan keandalan suatu benda kerja dari proses permesinan, karena nilai kekasaran dapat mempengaruhi kemampuan benda kerja dalam mengeliminasi terjadinya korosi pada permukaan. Guratan-guratan atau kawah-kawah yang ada dapat menampung zat ataupun material yang bersifat korosif sehingga menyebabkan korosi pada permukaan benda kerja tersebut.

Beberapa istilah profil dan parameter permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.13 Profil Kekasaran Permukaan

Sumber : Rochim, (1993:56)

Keterangan gambar :

- Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*) : Merupakan profil permukaan geometris ideal yang 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 menganalisis ketidakteraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel. Profil referensi biasa disebut sebagai profil puncak (*custline*)
- Profil dasar (*root profile*) : Merupakan profil yang digeser ke bawah (arah 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-daerah diatas profil tengah sampai ke profil terukur adalah 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*),  $R_t$  : Jarak rata-rata antara profil referensi dan profil dasar.
- Kedalaman rata-rata (*peak to mean line*),  $R_p$  : Jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur atau  $R_p$  ini juga sama dengan jarak profil referensi ke profil tengah.
- Kekasaran rata-rata aritmetis (*mean roughness index*),  $R_a$  : Harga rata-rata aritmetis dari harga absolut antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2-4)$$

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.

Menurut profilnya, ketidakaturan konfigurasi suatu permukaan dapat dibagi dalam beberapa tingkatan, yaitu:

1. Tingkatan pertama adalah ketidakaturan makrogeometri yang berupa kesalahan bentuk (*form error*). Hal tersebut disebabkan oleh adanya lenturan yang terjadi pada mesin perkakas maupun benda kerja serta kesalahan posisi pada penempatan benda kerja.
2. Tingkatan kedua adalah ketidakaturan yang menyerupai gelombang (*waviness*). Hal ini disebabkan oleh terjadinya getaran sewaktu pemotongan. Kemungkinan terjadinya ketidakaturan ini karena kesalahan bentuk perkakas, kesalahan penempatan perkakas dan terjadinya getaran pada saat proses pemotongan.
3. Tingkatan ketiga, disebut sebagai alur (*grooves*), adalah ketidakaturan permukaan karena adanya guratan yang disebabkan adanya jejak dari pahat.
4. Tingkat keempat adalah serpihan (*flake*), yang terjadi karena proses pembentukan geram.

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

Persamaan matematis yang digunakan untuk memprediksi kekasaran permukaan adalah sebagai berikut (Saputro, 2010):

$$R_i = \frac{f^2}{32 r} \quad (2-5)$$

Dengan :

$R_i$  = Kekasaran Rata-rata (in atau mm)

$f$  = *Feed* (in/rev atau mm/rev)

$r$  = Radius Pahat (in atau mm)

Untuk mempermudah penulisan nilai kekasaran permukaan maka ditetapkan nilai kekasaran permukaan sesuai standar ISO yang dapat dilihat pada tabel 2.4 dan 2.5 merupakan nilai interval kekasaran permukaan proses pemotongan dari beberapa permesinan. Interval nilai kekasaran ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam memproduksi suatu barang.

Tabel 2.4 Angka Kekasaran (ISO *roughness number*) dan panjang sampel standar

Harga kekasaran Ra ( $\mu\text{m}$ )	Angka kelas Kekasaran	Panjang sampel (mm)
50 25	N12 N 11	8
12.5 6.3	N 10 N 9	2.5
3.2 1.6 0.8 0.4	N8 N7 N6 N5	0.8
0.2 0.1 0.05	N4 N3 N2	0.25
0.025	N 1	0.08

Sumber : Rochim, (1993:76)

Tabel 2.5 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										■	■	■
Bulfinf											■	■

Sumber : Rao, (2009:79)

## 2.9 Hipotesis Penelitian

Dengan penjelasan yang sudah diterangkan diatas mengenai parameter pemotongan yang akan digunakan dalam penelitian (kecepatan pemotongan, kecepatan pemakanan dan kedalaman pemotongan) yang dapat mempengaruhi kualitas dari benda kerja hasil proses pemotongan dan juga mengenai penggunaan pahat *ball nose end mill* pada proses pemotongan dengan jumlah mata pahat yang semakin banyak juga dapat mempengaruhi kualitas dari hasil proses pemotongan. Maka dalam penelitian yang akan dilakukan ini dengan proses *conventional milling* menggunakan pahat *ball nose end mill* dengan mesin *vertical milling* CNC TU-3A yang menggunakan variasi *feed rate* dan *spindle speed* maka dikemukakan hipotesis yang dinyatakan sebagai berikut :

- Semakin kecil *feed rate* maka kekasaran permukaan akan semakin rendah karena pemakanan benda menjadi lebih sedikit sedangkan semakin tinggi *spindle speed* maka kekasaran permukaan akan semakin rendah karena pemotongan benda menjadi lebih cepat
- Semakin banyak jumlah mata pahat maka volume geram yang dihasilkan lebih kecil sehingga mempengaruhi kekasaran permukaan