

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**Anggi (2014)** melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh *spindle speed*, *feed rate* dan kemiringan pahat pada proses pemakanan *conventional milling* dengan pahat *end mill* terhadap kekasaran permukaan. Penelitian tersebut berhasil menyimpulkan bahwa *feed rate* berbanding lurus dengan kekasaran permukaan sedangkan *spindle speed* berbanding terbalik dengan kekasaran permukaan.

**Chen, Lu dan Altintas (2014)** melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan magnet aktuator pada mesin bubut CNC menggunakan material aluminium 6061 untuk mengurangi getaran lateral dan getaran torsi. Penelitian tersebut membuktikan dengan penambahan magnet aktuator dengan parameter permesinan yang sama dapat mendapatkan hasil permesinan yang lebih halus daripada tidak ditambah dengan magnet aktuator, dikarenakan penambahan aktuator dapat mengurangi getaran torsi dan getaran lateral yang terjadi saat proses permesinan.

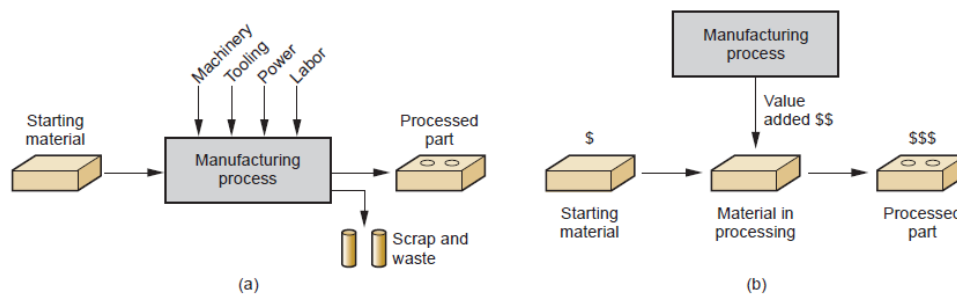
**Sulaiman (2012)** melakukan penelitian tentang penambahan magnet permanen sebagai *chutter control* pada proses *end milling* menggunakan material *Titanium Alloy (Ti-6Al-4V)*. Penelitian tersebut menghasilkan dengan melakukan penambahan magnet permanen dapat mengurangi getaran yang terjadi saat permesinan hingga 60%. Sehingga nilai kekasaran permukaan dapat material dapat direduksi sampai dengan 50% dibandingkan dengan nilai kekasaran permukaan tanpa penambahan magnet permanen.

**Arifin (2011)** melakukan penelitian tentang pengaruh parameter permesinan terhadap kekasaran permukaan baja karbon fasa ganda pada proses *Freis*. Hasil dari penelitian tersebut adalah parameter permesinan mempengaruhi kekasaran permukaan hasil permesinan. Semakin tinggi *depth of cut* dan *feed rate* maka semakin tinggi pula kekasaran permukaan hasil permesinan.

#### 2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah bagian dari proses produksi yang dapat merubah keadaan kualitatif dari produk seperti material, part atau mesin. Proses manufaktur membutuhkan komponen-komponen sederhana untuk diproses sehingga menjadi barang yang lebih kompleks.

Manufaktur merupakan pembentukan produk. Produk dari hasil manufaktur tersebut digunakan untuk membuat produk yang lain seperti mesin press untuk lembaran plat menjadi bentuk yang diinginkan, *drilling* untuk membuat lubang, mesin gergaji, dan mesin lainnya untuk memproduksi benda kecil seperti senar gitar sampai part motor seperti *crankshaft* dan *connecting rods* (Kalpakjian, 2009).



Gambar 2.1 Dua Cara Mendefinisikan Proses Manufaktur a) *Technical Process* dan b) *Economic Process*

Sumber : Groover (2013:4)

### 2.3 Proses Permesinan

Proses permesinan atau proses pemotongan logam dengan menggunakan pahat (perkakas-potong) pada mesin perkakas.

Proses permesinan (*Machining Process*) adalah proses yang digunakan untuk mengubah bentuk produk material dari logam dengan cara memotong. Berdasarkan cara pemotongannya maka proses permesinan dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok, antara lain:

1. Proses permesinan menggunakan mesin las
2. Proses permesinan menggunakan mesin pres
3. Proses permesinan menggunakan mesin perkakas
4. Proses permesinan menggunakan non-konvensional (seperti: *Electro discharge, machining, laser beam machining, chemical milling*, dan sebagainya).

(Rochim, 1993)

Pengerjaan logam menggunakan proses permesinan adalah salah satu teknologi yang semakin terbaru, sehingga baik digunakan dalam industri manufaktur, oleh karena itu penelitian mengenai proses permesinan terus dilakukan untuk memberikan sebuah kualitas produk dalam permesinan yang baik dengan penentuan parameter yang paling tepat untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

## 2.4 Mesin *Milling* CNC

Mesin CNC adalah mesin perkakas yang menggunakan sistem otomatis dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol). *Milling cutter* berputar dengan kecepatan tinggi sehingga menyebabkan beberapa bagian material akan hilang (Singh 2006:460).

Prinsip kerja dari mesin CNC adalah sumber daya komputer yang menggunakan bahasa numerik digunakan sebagai fungsi kontrol dari bagian mekanik, sehingga bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang menggunakan sistem konvensional, maka mesin perkakas CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel dan cocok untuk produksi dengan jumlah masal. Penggunaan prinsip kerja tersebut juga dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan benda kerja yang tinggi dan dapat menggantikan fungsi kontrol dari operator mesin perkakas selama mesin beroperasi.



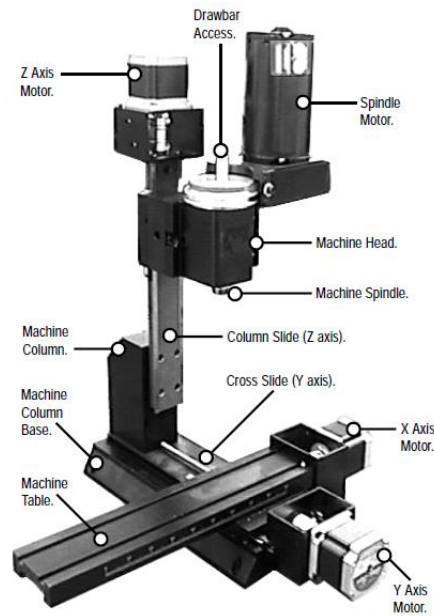
Gambar 2.2 Mesin Milling CNC TU-3A

Sumber : Laboratorium Otomasi Manufaktur Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Mesin *micromill* CNC *milling* pada dasarnya menggunakan sistem persumbuan koordinat kartesius, prinsipnya meja kerja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pahat berputar dan bergerak ke atas dan kebawah. Untuk arah persumbuan mesin ini digunakan lambang sebagai berikut :

1. Sumbu X untuk arah gerak horizontal atau ke kanan dan ke kiri
2. Sumbu Y untuk arah gerak melintang atau kedepan dan ke belakang
3. Sumbu Z untuk arah gerakan vertikal atau keatas dan kebawah

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah :

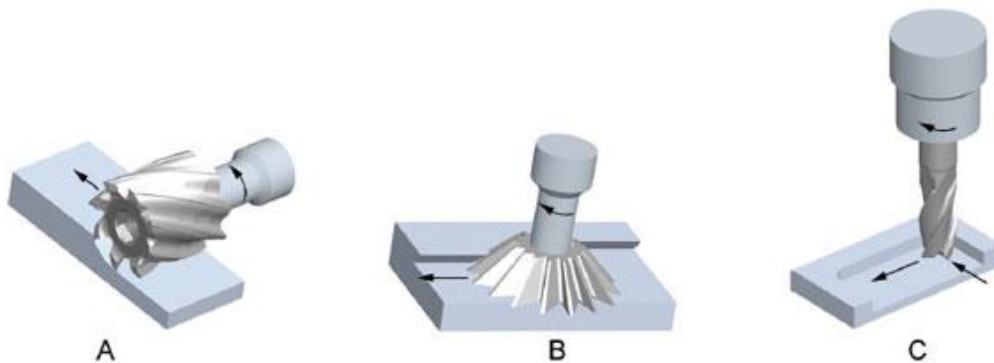


Gambar 2.3 Sistem Persumbuan Mesin Milling

Sumber : *Micromill Operator Manual*

## 2.5 Macam Pemakanan Pada Mesin Milling

Berdasarkan dari arah pemakanan, jenis pahat, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja mesin *milling* dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *slab milling*, *face milling*, dan *end milling*.



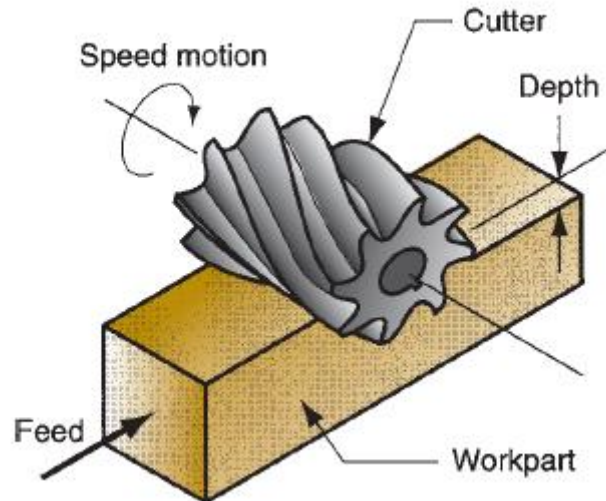
Gambar 2.4 A. *Slab Milling*, B. *Face Milling*, C. *End Milling*

Sumber: *Nuffield Engineering Supplies* (2012)

### A. *Slab Milling*

Proses *slab milling* dimana permukaan yang benda kerja dihasilkan oleh gigi pisau yang terletak pada permukaan luar badan alat potongnya. Sumbu dari putaran pisau

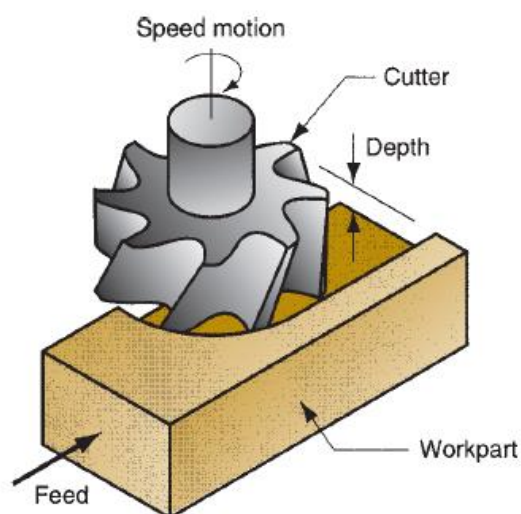
biasanya pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda kerja yang disayat. (Rochim 1985:16).



Gambar 2.5 *Slab Milling*  
 Sumber: Groover (2012:567)

#### B. *Face Milling*

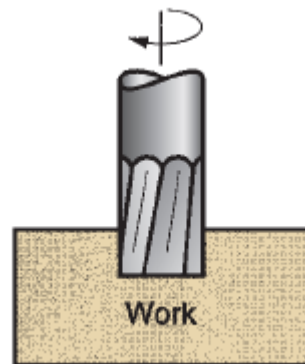
Pada proses *face milling*, pisau dipasang pada spindel yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap permukaan benda kerja. Permukaan hasil proses *face milling* dihasilkan dari hasil penyayatan oleh ujung dan selubung pisau. (Rochim 1985:16).



Gambar 2.6 *Face Milling*  
 Sumber: Groover (2013:567)

### C. *End Milling*

Pisau pada proses *end milling* 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).

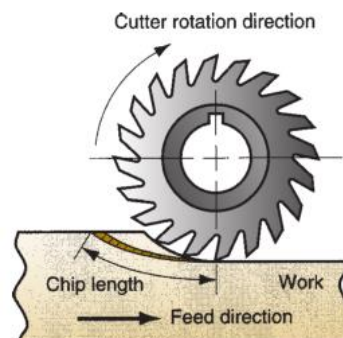


Gambar 2.7 *End Milling*  
Sumber: Groover (2013:569)

### 2.6 Arah Pemotongan Mesin Milling

Menurut arah pemakanan dengan araha *cutter teeth* pada proses *milling* dibagi menjadi 2 bentuk, yaitu:

1. *Up Milling* atau yang bisa juga disebut *conventional milling*, dimana arah pemakanan berlawanan arah dengan arah *cutter teeth*, ketika *teeth* memotong benda kerja.



Gambar 2.8 *Up Milling* atau *Conventional Milling*  
Sumber : Groover (2013 : 568)

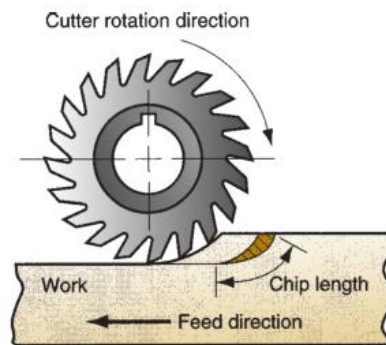
Persamaan teoritis untuk mengetahui ketebalan *chip* yang dihasilkan pada proses up milling adalah sebagai berikut:

$$t_c = f_t \cdot \sin(\Phi + \alpha) \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

$\alpha$  : rake angle

2. *Down milling* atau yang bisa juga disebut *climb milling*, dimana arah pemakanan searah dengan *cutter teeth*, ketika *teeth* memotong benda kerja.



Gambar 2.9 *Down Milling* atau *Climb Milling*  
Sumber : Groover (2013 : 568)

Persamaan teoritis untuk mengetahui ketebalan *chip* yang dihasilkan pada proses up milling adalah sebagai berikut:

$$t_c = f_t \cdot \sin \Phi \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

$t_c$  : tebal *chip*

$f_t$  : *feed per tooth*

$\Phi$  : *cutting effective angle*

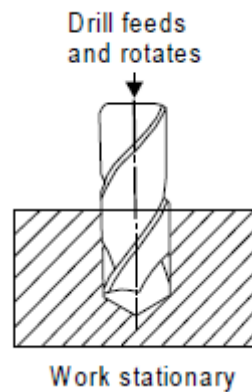
Arah pemotongan berbeda, sehingga hasil *geometri* pemotongan akan berbeda pula. Pada *up milling*, geram atau *chip* yang dihasilkan akan berbentuk memanjang. Sedangkan pada *down milling*, geram atau *chip* yang dihasilkan akan berbentuk lebih pendek dibandingkan dengan arah pemotongan *up milling* (groover, 2013).

## 2.7 Macam Pemakanan pada *End Milling*

### 2.7.1 *Drilling*

*Drilling* adalah proses pemakanan dalam pembuatan lubang dengan menghilangkan sebagian volume dari material dengan menggunakan rotasi *cutting tool* yaitu pahat *drill*. *Drilling* menghilangkan *solid metal* untuk menghasilkan lubang berbentuk lingkaran. Sebelum

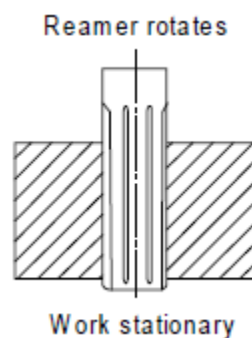
melakukan pemakanan, lokasi lubang telah ditentukan dengan menggambar dua buah titik, yaitu pada sudut terluar dan pada titik pusat lubang, titik tersebut digunakan untuk membantu pahat *drill* dalam beroperasi (Singh 2006:443).



Gambar 2.10 *Drilling*  
Sumber: Singh (2006:443)

### 2.7.2 *Reaming*

*Reaming* adalah proses pemakanan untuk memberi ukuran dan melakukan proses *finishing* pada lubang yang telah dibuat oleh proses *drilling*. *Reaming* dilakukan menggunakan *cutting tool* bernama *reamer* (lihat gambar 2.13). *Reaming* dilakukan untuk membuat lubang menjadi halus, presisi dan sesuai dengan diameter yang diinginkan. (Singh 2006:443)

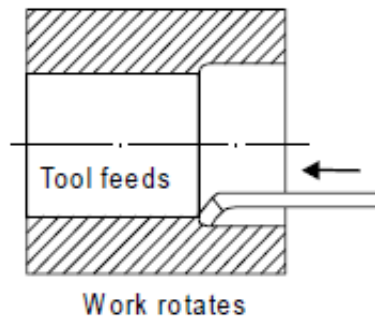


Gambar 2.11 *Reaming*  
Sumber: Singh (2006:443)

### 2.7.3 *Boring*

*Boring* adalah sebuah proses pemakanan untuk memperbesar lubang yang mana lubang tersebut telah dibuat oleh proses *drilling*. (Singh 2006:443)

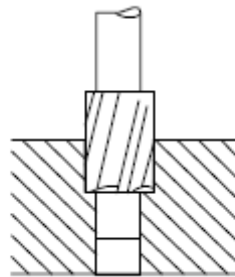




Gambar 2.12 *Boring*  
 Sumber: Singh (2006:443)

#### 2.7.4 *Counter-Boring*

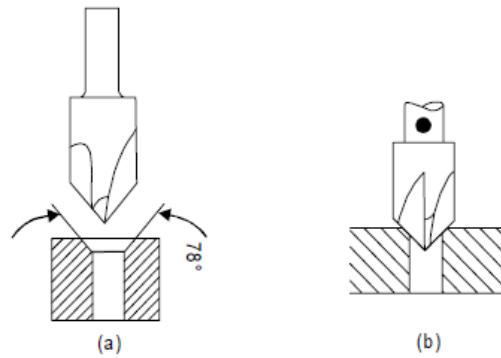
*Counter-Boring* adalah proses pemakanan untuk membuat memperbesar ujung lubang dengan bentuk silindris. Hal ini dilakukan untuk tempat dari kepala *rivet* (*Counter-sunk rivet*) agar dapat sejajar dengan benda kerja. (Singh 2006:444)



Gambar 2.13 *Counter-Boring*  
 Sumber: Singh (2006:444)

#### 2.7.5 *Counter-Sinking*

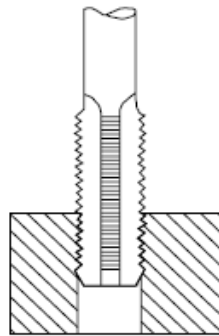
*Counter-sinking* adalah proses pemakanan untuk memperbesar ujung lubang dengan bentuk bersudut (lihat gambar 2.11), biasanya untuk tempat dari kepala sekrup (*flat head screw*). Fungsinya adalah tersedianya tempat untuk kepala sekrup agar dapat sejajar dengan benda kerja. (Singh 2006:444).



Gambar 2.14 *Counter-Sinking*  
Sumber: Singh (2006:444)

### 2.7.6 Tapping

*Tapping* adalah proses pemakanan breupa penguliran dalam dengan menggunakan *cutting tool* yang dinamakan *tap*. Dalam prosesnya, *tap* diputar masuk menuju lubang secara manual atau dengan bantuan mesin. *Tap* menghilangkan sebagian material dan membuat sebuah ulir dalam, yang dapat dilalui benda dengan ulir luar yang mempunyai ukuran yang sama. (Singh 2006:444).



Gambar 2.15 *Tapping*  
Sumber: Singh (2006:444)

### 2.8 Parameter Pemotongan

Ada beberapa parameter pemotongan yang digunakan pada proses pemotongan logam, antara lain:

#### 1. *Feeding*

Gerakan penyayatan (*feeding*) adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali, sehingga satuan *feeding* adalah mm/putaran atau mm/rev.

$$f = \frac{f_r}{N \cdot n_t} \quad (2 - 3)$$

Dimana :

$f$  : *feeding* (mm/rev)

$f_r$  : *feed rate* (mm/min)

$N$  : putaran *spindle* (rpm)

$n_t$  : jumlah gigi

## 2. Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Kecepatan potong atau sering disebut *cutting speed* atau *velocity of cutting* adalah kemampuan alat potong menyayat benda kerja yang dinyatakan dalam satuan panjang per waktu (m/menit atau feet/menit). Kecepatan potong dapat dicari dengan menggunakan persamaan ( Scallan, 2003 ) :

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2 - 4)$$

Dimana :

$v$  : kecepatan potong (mm/min)

$D$  : diameter luar pahat (mm)

$n$  : putaran *spindle* (rpm)

## 3. Kedalaman Pemakanan (*depth of cut*)

Merupakan ukuran dari material yang termakan oleh pahat. Kedalaman pemotongan ( *depth of cut* ) dibagi menjadi 2 macam, diantaranya kedalaman pemotongan *radial*, dan kedalaman potongan *axial*.

## 4. *Material Removal Rate* ( MRR )

Gabungan dari ketiga parameter di atas disebut sebagai kondisi pemesinan yang mana ketiganya dapat membentuk model tiga dimensi dari proses pemesinan yang dalam beberapa proses permesinan dapat digunakan untuk mencari *Material Removal Rate* yang mana dapat dicari dengan menggunakan persamaan ( Kandey,2009 ) :

$$M_{RR} = 1000 \cdot v \cdot f \cdot d \quad (2-5)$$

Dimana :

$M_{RR}$  : *Material removal rate* (mm<sup>3</sup>/min)

$v$  : Kecepatan potong (mm/min)

$f$  : *Feed rate* (mm/rev)

$d$  : *depth of cut* (mm)

Untuk nilai chip section yang digunakan, didapatkan dari persamaan berikut :

$$A_c = h \cdot b \quad (2 - 6)$$

Dimana :

$h$  = ketebalan *chip* ( mm )

$b$  = lebar *chip* ( mm )

Nilai dari chip section ini mempengaruhi gaya pemotongan yang terjadi selama proses permesinan berlangsung. Dimana semakin meningkatnya nilai chip section nya, maka semakin besar juga gaya pemotongannya, hal tersebut sesuai dengan persamaan 2-7 ( Rochim, 1993 ) :

$$F_c = \frac{\tau_s \cdot A_c}{\sin \phi} \frac{\cos(\beta - \gamma_{ne})}{\cos(\phi + \beta - \gamma_{ne})} \quad (2 - 7)$$

Dimana :

$F_c$  : Gaya pemotongan ( N )

$\tau_s$  : kekuatan geser benda kerja ( N/mm<sup>2</sup> )

$A_c$  : *chip section* ( mm<sup>2</sup> )

$\beta$  : sudut geser rata-rata pada *tool face*

$\gamma_{ne}$  : *working normal rake*

$\phi$  : sudut geser

Gaya pemotongan dapat mempengaruhi besarnya nilai amplitudo getaran yang terjadi pada saat proses permesinan. Besarnya nilai amplitudo getaran yang didapat, mempengaruhi kualitas permukaan dari benda kerja yang dimakan. Hubungan gaya pemotongan dengan amplitude dapat dilihat pada persamaan 2-8 berikut ( Boothroyd, 1981:198 ) :

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4 C_c z \omega_f^2 - (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \quad (2 - 8)$$

Dimana :

$A_v$  = amplitude getaran ( m )

$F_o$  = gaya pemotongan ( N )

$\omega_n$  = frekuensi *angular natural* dari sistem ( rad/s )

$C_c$  = koefisien redaman

## 2.9 Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya

aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya. (Surdia, 1992).

Secara garis besar Aluminium dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu :

#### 1. *Wrought aluminium alloys*

Adalah paduan aluminium yang dapat mengalami pengerjaan panas (*heat treatment*) dan pengerjaan dingin (*cold working*) dengan kata lain paduan ini dapat mengalami deformasi plastis. Paduan aluminium yang diproduksi dalam bentuk *wrought* yaitu : *sheet, plate, extrusion, rod, dan wire*.

#### 2. Casting alloys

Dikembangkan untuk memperbaiki kualitas pengecoran seperti Fluidity. Disamping itu tetap pula diperhatikan sifat-sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan dan ketahanan korosinya. Komposisi kimia Casting Alloy berbeda dengan Wrought Alloy demikian juga dengan penomorannya. Penambahan unsur silikon sebanyak 5-2 % merupakan unsur pemuat utama pada casting alloy karena penambahan ini meningkatkan Fluidity aluminium cair, disamping meningkatkan kekuatannya. Penambahan magnesium sebanyak 0,3% - 1 % dapat meningkatkan kekuatan terutama dengan mekanisme penguatan presipitasi. Penambahan copper sebanyak 2% juga dapat meningkatkan kekuatan terutama untuk pemakaian pada temperature tinggi.

### **2.9.1 Material Benda Kerja**

Kegiatan permesinan erat kaitannya dengan jenis material yang akan diproses. Aluminium 6061 termasuk material berjenis logam yang sering digunakan sebagai material untuk berbagai kebutuhan dikarenakan ketersediaan aluminium itu sendiri yang berlimpah mencapai 8% dari massa bumi.

Aluminium 6061 adalah aluminium *Alloy* yang telah melalui proses *precipitation-hardening*, komposisi campuran utama dari aluminium 6061 adalah magnesium dan silikon. Aluminium 6061 memiliki sifat mekanik yang baik, *weldability* yang baik, biasa digunakan untuk pengujian material (seperti tekan, tarik dll), dan salah satu aluminium campuran yang paling sering digunakan.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Aluminium 6061

Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan Lain (%)
6061	95,8- 98,6	0,8- 1,2	0,4- 0,8	Max 0,7	Max 0,15	Max 0,25	0,15- 0,4	0,04- 0,35	Max 0,15	Max 0,16

Sumber: ASM *Aerospace Specification Metals Inc.* (2015)

Densitas : 2,70g/cm<sup>3</sup>

*Tensile Strength at yield* : 276 MPa

*Tensile Strength at break* : 17%

*American Standard Testing Materials* (ASTM) menggolongkan aluminium untuk memudahkan identifikasi yang menggunakan empat digit yaitu sebagai berikut:

- Digit pertama menjelaskan unsur campuran utama, untuk angka 6 menjelaskan unsur campuran utama adalah magnesium dan silicon
- Digit kedua menjelaskan jumlah olahan aluminium paduan yang beberapa kali, untuk angka 0 menjelaskan bahwa aluminium masih belum diolah
- Digit ketiga dan keempat menjelaskan jumlah kandungan aluminium, untuk angka 61 menjelaskan bahwa jumlah kandungan aluminium sebesar 61%.

## 2.10 Getaran dan Chatter pada Proses Permesinan

Dalam proses permesinan dan penggunaan *machine tools*, perlu diperhatikan bahwasannya kekakuan mesin adalah salah satu hal yang patut diperhatikan dalam salah satu parameter permesinan. Kekakuan mesin yang rendah akan menyebabkan adanya getaran (vibrasi) dan *chatter* pada *cutting tool* yang akan berpengaruh pada kualitas produk. Vibrasi dan chatter yang tidak terkontrol akan menyebabkan hal salah satunya sebagai berikut:

- Hasil permukaan yang buruk
- Akurasi dari dimensi benda kerja yang tidak sesuai
- *Cutting tool* yang mudah rusak
- Kerusakan pada komponen mesin apabila terlalu banyak getaran yang terjadi
- Akan menyebabkan bunyi mesin yang bising ketika memakai frekuensi parameter yang tinggi

Vibrasi dan *chatter* pada proses permesinan dapat dibedakan pada dua tipe dari vibrasi pada permesinan: *forced vibration* dan *self-excited vibration*

a. *Forced Vibration* (Getaran Paksa)

*Forced vibration* pada umumnya terjadi karena adanya beberapa gaya akibat pemakaian secara berkala pada *machine tool*, seperti pada roda gigi, ketidakseimbangan komponen pada mesin, dan lain- lain yang biasanya terjadi pada proses *milling* atau pembubutan. *Forced vibration* (getaran paksa) disebabkan oleh pemakaian yang berulang-ulang dari *cutting tool* pada permukaan benda kerja. (Kalpakjian 2009:707)

b. *Self-Excited Vibration*

Pada umumnya disebut *chatter*, *self-excited vibration* disebabkan karena adanya interaksi antara proses pemotongan dengan struktur dari alat potong pada mesin. *Chatter* biasanya mempunyai amplitudo yang tinggi. *Chatter* biasanya terjadi dengan gangguan pada daerah pemotongan yang mungkin terjadi karena:

- a. tipe dari geram yang dihasilkan
- b. struktur benda kerja yang tidak homogen
- c. kondisi permukaan benda kerja
- d. variasi dari gesekan pada alat potong yang dipengaruhi oleh *cutting fluid* dan efektifitasnya. (Kalpakjian 2009:726)

Berikut adalah empat komponen yang menyebabkan defleksi dan dapat menyebabkan vibrasi:

1. *spindle*
2. *supporting arm* yang digunakan pada *cutting tool*
3. *drill*
4. dan *cutting tool* (Kalpakjian 2009:708)

Kekasaran permukaan akan naik seiring kenaikan gerak pemakanan pada kondisi putaran, sudut total pahat yang sama untuk kedua jenis benda kerja, sehingga korelasi antara getaran dan kekasaran permukaan adalah positif dimana semakin naik amplitudo getaran maka kekasaran permukaan akan semakin naik pula. (Haans:2006)

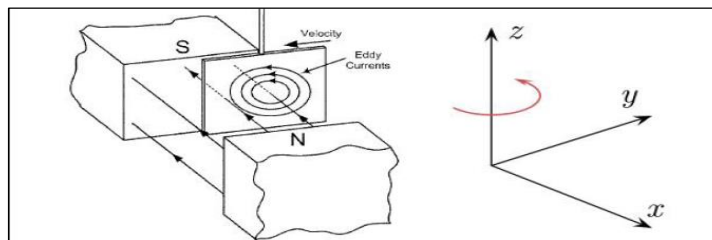
## 2.11 Magnet

Magnet adalah sebuah material atau objek yang dapat memproduksi medan magnet. Medan magnet ini tidak terlihat namun berpengaruh pada sifat-sifat magnet. Medan magnet adalah daerah di sekitar magnet di mana magnet lain masih dapat dipengaruhi oleh gaya magnet jika berada pada daerah itu. Medan magnet itu sering digambarkan dengan garis gaya magnet. Garis gaya magnet adalah pola garis yang terbentuk di sekitar medan magnet. Sifat garis gaya magnet tersebut adalah:

- Garis gaya magnet keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan.
- Garis gaya magnet tidak pernah berpotongan.
- Tempat yang mempunyai garis gaya magnet yang rapat, menunjukkan medan magnet yang kuat.

Magnet mempunyai 2 kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan, meskipun magnet tersebut di potong-potong tetap saja akan memiliki 2 kutub yaitu kutub selatan dan kutub utara. Di kutub-kutub inilah kekuatan sifat kemagnetan yang paling besar. Bagian kutub ini adalah ciri khas yang terus melekat atau tidak dapat dipisahkan dari suatu magnet. Suatu magnet memiliki medan magnet. Kekuatan dari magnet diukur berdasarkan *magnetic moment* atau jumlah *magnetic flux* yang dihasilkan pada medan magnet tersebut.

Magnet sebagai peredam getaran (*magnetic damping*) adalah salah satu jenis sistem peredaman getaran. Peredaman magnet ini memakai prinsip arus eddy dimana arus eddy ini timbul karena ada konduktor yang bergerak memotong medan magnet. Gerakan relatif antara konduktor dengan medan magnet ini menimbulkan sirkulasi arus eddy didalam konduktor. Sirkuli ini akan menimbulkan medan magnet induksi yang menentang perubahan medan magnet, yang akan mengakibatkan terjadinya gaya tolak antara konduktor sama medan magnet (Sung Bae, 2009).



Gambar 2.16 Skema terjadinya prinsip arus eddy

Sumber : Zhemin (2007,p.7)

Untuk gaya tolak antara medan magnet dengan konduktor yang ditimbulkan oleh arus eddy dapat menggunakan persamaan gaya Lorentz berikut :

$$F = \sigma(v \times B) \times B \dots\dots\dots(2-13)$$

Dimana :

F = Gaya Lorentz

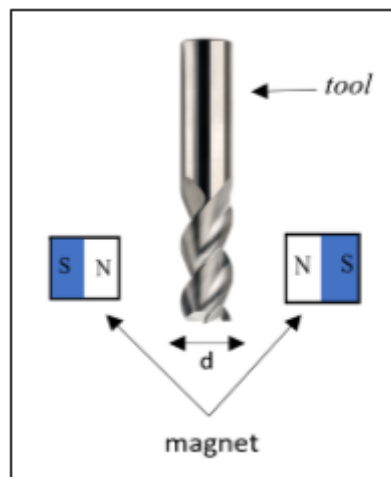
$\sigma$  = konduktivitas bahan

v = kecepatan gerak konduktor

B = Induksi magnet



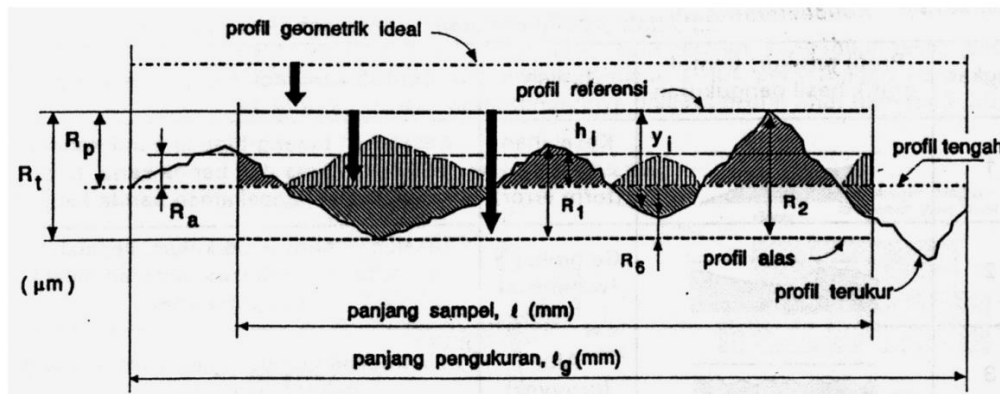
Pada penelitian kali ini, pahat yang berputar diatur pada posisi tengah, diantar 2 buah magnet permanen yang saling tolak menolak. Pemodelan getaran serta peredaman yang terjadi disetarakan dengan prinsip *viscous damping*, karena gaya peredaman yang terjadi pada *viscous damping* berbanding lurus dengan kecepatan getaran. Hal tersebut sama dengan peredaman magnet yang terjadi, dimana gaya Lorentz yang dihasilkan oleh arus Eddy berbanding lurus dengan kecepatan gerak konduktor.



Gambar 2.17 Pemodelan sistem peredaman magnet pada *tool*

## 2.12 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) merupakan sebuah ketidakraturan suatu konfigurasi permukaan yang dapat berupa goresan atau lekukan-lekukan kecil pada suatu benda. Nilai kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Selain itu juga dapat mempengaruhi kemampuan benda untuk mencegah terjadinya korosi pada permukaan. Zat atau material yang bersifat korosif akan bertempat pada material yang nilai kekasarannya tinggi sehingga kecenderungan untuk berkarat semakin besar. Beberapa istilah profil permukaan yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.18 Profil Kekasaran Permukaan  
Sumber : Rochim (1993)

Keterangan gambar :

1. Profil geometri ideal (*geometrically ideal profile*)  
Merupakan profil permukaan geometris ideal yang dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung
2. Profil terukur (*measured profile*)  
Merupakan profil permukaan yang dapat diukur oleh alat ukur. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan.
3. Profil referensi (*reference profile*)  
Merupakan profil yang berguna sebagai referensi untuk menganalisa ketidakaturan konfigurasi permukaan. Profil ini berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometri ideal, serta menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur dalam suatu panjang sampel. Biasanya profil ini disebut dengan profil puncak (*custline*).
4. Profil dasar (*root profile*)  
Merupakan profil yang digeser ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal pada suatu panjang sampel) sampai menyentuh titik terendah dari profil terukur.
5. Profil tengah (*centered profile*)  
Merupakan profil yang berada ditengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa yang berfungsi untuk mengetahui luas daerah dibawah profil tengah sampai profil terukur yang ditunjukkan oleh daerah terarsir.

Beberapa parameter permukaan yang lain yaitu:

- Kedalaman total (*peak to valley height*),  $R_t$   
Kedalaman total merupakan jarak rata-rata antara profil referensi dan profil dasar.
- Kedalaman perataan (*peak to mean lene*),  $R_p$

Kedalaman perataan merupakan jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur, atau dengan kata lain jarak rata-rata profil referensi ke profil tengah.

- Kekasaran rata-rata aritmetis (*mean roughness index*), Ra

Merupakan harga rata-rata aritmetis dari harga absolute antara profil terukur dengan profil profil tengah.

Menurut bentuk profilnya, ketidakraturan konfigurasi suatu permukaan dapat diklasifikasikan beberapa tingkatan, yaitu:

1. Tingkatan pertama adalah ketidakraturan makrogeometri yang berupa kesalahan bentuk (*form error*) yang disebabkan oleh adanya ruang yang longgar pada mesin perkakas sehingga benda kerja menjadi lentur dan terjadi kesalahan posisi ketika pencekaman benda kerja.
2. Tingkatan kedua adalah ketidakraturan yang membentuk seperti gelombang (*waviness*). Hal tersebut terbentuk karena adanya getaran pada saat proses pemotongan dan juga terjadi kesalahan penggunaan perkakas.
3. Tingkatan ketiga adalah ketidakraturan permukaan berbentuk seperti alur (*grooves*) yang disebabkan oleh jejak yang ditinggalkan pahat yang bergetar.
4. Tingkatan keempat adalah seripihan (*flake*) yang menempel pada permukaan benda kerja yang disebabkan karena proses pembentukan geram (*chips*).
5. Tingkatan kelima merupakan kombinasi dari ketidakrataan tingkatan pertama sampai ketidakrataan tingkat keempat.

Tabel 2.2 Angka Kekasaran (*ISO roughness number*) dan Panjang Sampel Standar

Harga kekasaran Ra ( $\mu\text{m}$ )	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50	N12	8
25	N11	
12.5	N10	2.5
6.3	N9	
3.2	N8	0.8
1.6	N7	
0.8	N6	
0.4	N5	
0.2	N4	0.25

0.1	N3	
0.05	N2	
0.025	N1	0.08

Sumber : Rochim (1993)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan ketika proses pemrosesan, diantaranya :

1. Terjadinya getaran saat proses pemotongan berlangsung.
2. Jenis, bentuk, material, dan ketajaman alat potong.
3. Tingkat kekerasan dari material benda kerja.
4. Kondisi pemotongan dari mesin perkakas yang digunakan.

Hubungan antara feeding dengan kekasaran permukaan terdapat pada persamaan (Groover,2013) berikut:

$$Ra = \frac{f^2}{32NR} \dots\dots\dots (2-14)$$

Dimana :

Ra = kekasaran teoritis rata-rata (*mean roughness index*) ( $\mu\text{m}$ )

$f$  = *feed* (mm/rev)

NR = radius pojok (mm)

Apabila kekasaran permukaan dihubungkan dengan parameter pemotongan, maka terdapat persamaan ( Hendrawan, 2010 ) berikut :

$$Ra = C \cdot V_c^p \cdot V_f^q \cdot d^r \dots\dots\dots(2-15)$$

Dimana :

Ra = Nilai kekasaran teoritis rata-rata ( $\mu\text{m}$ )

$V_c$  = Kecepatan potong ( mm/menit )

$V_f$  = *feed rate* ( mm/rev )

$d$  = ketebalan pemotongan ( mm )

C = Konstanta

### 2.13 Kerangka Pemikiran

Dari tinjauan pustaka didapatkan bahwa semakin besar nilai *depth of cut* yang diberikan akan berdampak terhadap nilai *Material Removal Rate* ( $M_{RR}$ ), sebab hubungannya berbanding lurus sesuai fungsi :

$$M_{RR} = 1000 \cdot v \cdot f \cdot d$$

Turunnya nilai  $R_{MR}$  akan berpengaruh terhadap gaya pemotongan ( $F_c$ ), sebab nilai  $M_{RR}$  berbanding lurus dengan  $F_c$  sesuai fungsi :

$$F_c = f \left( P_u, M_{RR}, \frac{1}{v} \right)$$

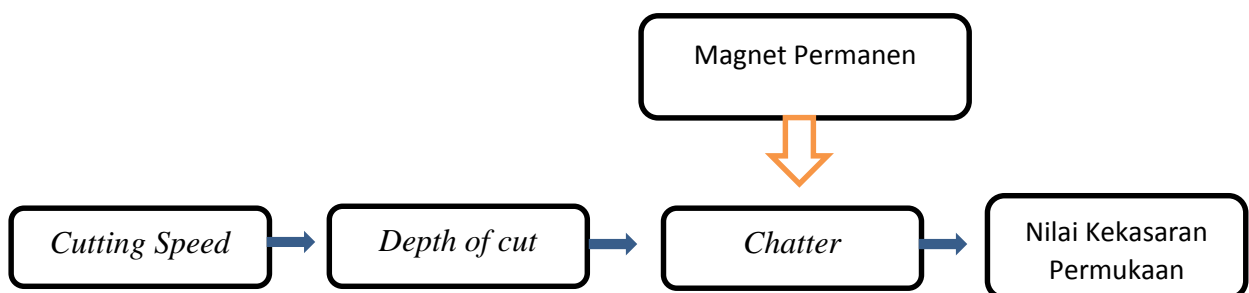
Turunnya nilai  $F_c$  akan berpengaruh terhadap amplitudo getaran, sebab nilai  $F_c$  berbanding lurus dengan amplitudo getaran sesuai fungsi :

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4Cc^2\omega_f^2 - (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}}$$

Sehingga besarnya nilai *depth of cut* akan berpengaruh terhadap nilai amplitudo getarannya. Sedangkan untuk kaitannya dengan kekasaran permukaan, nilai RMR berbanding lurus dengan nilai kekasaran rata-rata sesuai fungsi :

$$R_a = f(v, d, f)$$

Nilai kekasaran permukaan penting untuk mengetahui kualitas suatu permukaan benda kerja. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas permukaan benda kerja maka fenomena *chatter* harus diredam. Peredaman *chatter* menggunakan prinsip sistem *magnetic damping*, dimana pahat yang berputar dan mengalami getaran diposisikan diantara dua buah magnet permanen yang tolak menolak. Hal ini bertujuan agar timbul arus eddy pada medan magnet yang dihasilkan oleh dua buah magnet permanen tersebut, dimana arus eddy tersebut dapat menginduksi medan magnet sehingga akan menimbulkan gaya yang dapat menahan *displacement* dari getaran pahat.



Gambar 2.19 Kerangka pemikiran Penelitian

## 2.14 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dibuat maka peneliti dapat menarik hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Kekasaran permukaan pada proses *end milling* akan menurun dengan menggunakan medan magnet sebagai peredam *chatter* dibandingkan tanpa menggunakan medan magnet.
2. Semakin tinggi nilai *depth of cut*, maka nilai kekasaran permukaan akan meningkat, namun akan terjadi perbedaan pola peningkatan kekasaran permukaan pada proses *end milling* dengan menggunakan medan magnet sebagai peredam *chatter*.

