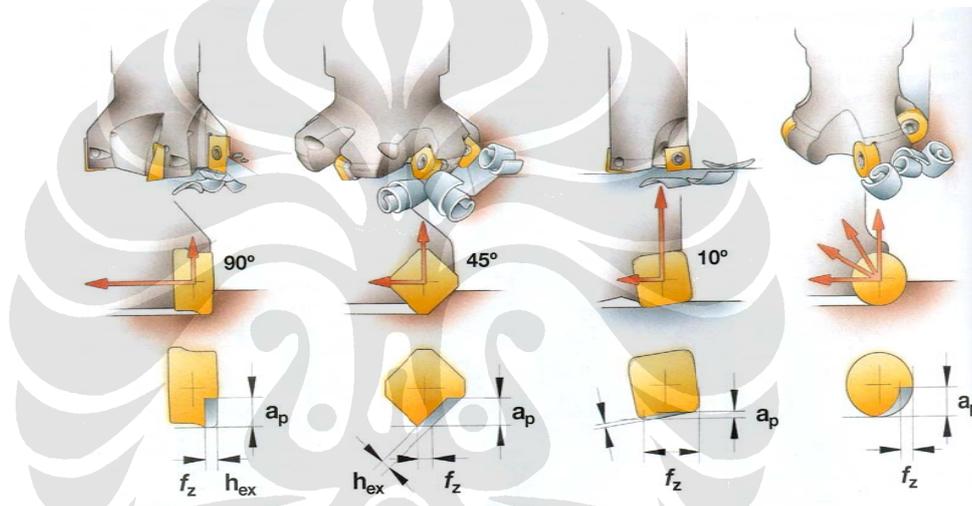


## BAB 2

### TEORI PEMOTONGAN LOGAM DAN PRINSIP DASAR PERCOBAAN

#### 2.1 Proses Pemesinan

Proses pemesinan (*machining*) adalah proses pembuangan atau pengambilan material dalam bentuk potongan-potongan kecil (*chip*), yang tidak diinginkan dari suatu bahan material (*workpiece*) untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan sesuai dengan desain yang telah ditentukan sebelumnya. Karena kebanyakan *workpiece* terbuat dari metal maka proses pemesinan juga disebut *metal cutting* atau *metal removal*.



Gambar 2.1. Chip Formation dalam Machining<sup>[4]</sup>

Dalam suatu proses pemesinan pasti ada potongan-potongan kecil material yang terbuang yang disebut *chip*. Bentuk dan karakter dari *chip* ini berbeda untuk tiap proses yang dilakukan. Suatu proses dari *metal cutting* sangat kompleks, karena dalam proses tersebut memerlukan variasi input yang luas, contohnya variabel-variabel ini seperti:

- *Machine tool* yang digunakan untuk mengerjakan,
- *Cutting tool* yang digunakan,
- Properti dan parameter dari *workpiece*,
- Parameter pemotongan yang digunakan (*speed, feed, DOC*), dan
- Alat penggenggam (*workpiece holder, jig, fixtures*).

berdasarkan variasi dari variabel-variabel ini maka ada tujuh dasar pembentukan *chip* yaitu *turning*, *milling*, *drilling*, *sawing*, *broaching*, *shaping (planing)*, dan *grinding*.

a. *Turning*

Merupakan proses pemesinan dengan menggunakan mesin *turning*. Pada proses ini *workpiece* dipasang pada *holder* mesin kemudian dalam prosesnya *workpiece* berputar secara horizontal dan *tool* akan memakan *workpiece* searah dengan sumbu putarnya. Jenis *workpiece* yang digunakan pada proses *turning* biasanya berbentuk silinder. Proses pengerjaan dengan *turning* menghasilkan diameter yang lebih kecil. Selain itu dengan proses *turning* ini juga kita dapat membuat ulir.

b. *Milling*

Adalah proses pemesinan dengan menggunakan mesin *milling*. *Workpiece* diletakkan pada *holder* mesin *milling* kemudian proses pemesinan dilakukan dengan vertikal. Proses *milling* disebut juga *freis*.

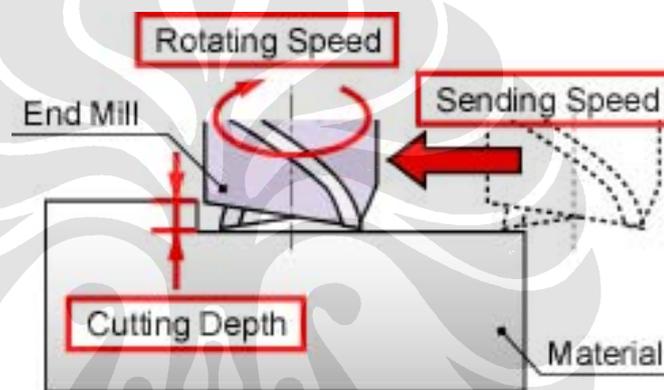


Gambar 2.2. Proses *Milling*<sup>[4]</sup>



Gambar 2.3. *Milling Tool* dan *Milling Toolholder*<sup>[4]</sup>

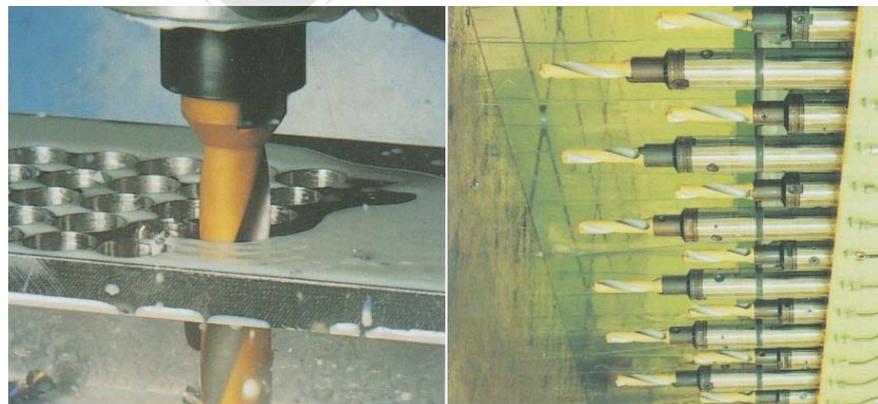
Hal yang perlu diperhatikan dalam proses *milling* adalah kecepatan putar *tool* atau *rotating speed* ( $N_s$ ), kedalaman tool memotong atau *depth of cutting* ( $d$ ), kecepatan makan atau *feeding speed* ( $f_m$ ). Ketiga hal ini sangat penting dalam proses *milling* dan berpengaruh pada material atau *workpiece* yang dikerjakan. Perbedaan ketiga parameter ini menghasilkan hasil permukaan yang berbeda-beda. Secara umum untuk mendapatkan kekasaran permukaan (*roughness*) yang baik maka *depth of cutting* di-set sangat kecil, kecepatan makan di-set rendah. Semakin tinggi kecepatan makan (*feed rate*) maka permukaan yang dihasilkan akan semakin kasar untuk setiap putaran *spindel* yang konstan.



Gambar 2.4. Faktor-faktor pada Proses *Milling*<sup>[7]</sup>

### c. *Drilling*

Merupakan proses pembuatan lubang pada *workpiece*. Pada proses ini digunakan mesin bor (*drill*). Proses ini juga dapat dilakukan oleh mesin *milling*.



Gambar 2.5. Proses *Drilling*<sup>[4]</sup>

d. *Sawing*

Merupakan proses pemotongan material. *Workpiece* dipotong dengan *saw blade* untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan. Dengan proses sawing maka akan didapatkan ukuran materil yang lebih kecil dari sebelumnya.

e. *Broaching*

Adalah proses pemesinan dengan menggunakan *tool broach*. *Workpiece* yang akan diproses diletakan pada suatu alat kerja dengan celah dibawahnya. Selanjutnya *workpiece* tersebut ditekan dengan cepat dan keras oleh *broach*, seperti dipukul dengan cepat. Dengan begitu maka didapatkan bentuk material potongan sesuai dengan bentuk *broach*.

f. *Shaping*

Proses pemesinan yang bertujuan untuk mendapatkan permukaan *workpiece* yang rata dan datar (*flat*). *Workpiece* diratakan permukaannya dengan *tool*. *Shaping* juga digunakan untuk membuat sudut *workpiece* menjadi tumpul (proses *fillet/chamfer*)

g. *Grinding*

Merupakan tahap *finishing* dalam suatu proses pemesinan. Pada proses ini *workpiece* yang telah terbentuk atau telah dilakukan proses pemesinan sebelumnya dilakukan penggrindaan pada sisi-sisinya sehingga didapatkan permukaan yang licin dan halus.

## 2.2 Proses Pemotongan

Kebutuhan terhadap kualitas *metal cutting* yang berhubungan dengan kekasaran permukaan (*surface roughness*) yang terus meningkat dan toleransi produk yang lebih presisi, telah mendorong industri pemotongan logam (*metal cutting*) untuk secara terus menerus mengembangkan metode dan teknologi proses pemotongan logam. Pemotongan merupakan hal yang paling sering dan penting dalam proses manufaktur.

Semua proses pemotongan dioperasikan dengan melepas material secara selektif dari bentuk solid menjadi bentuk yang diinginkan. Proses ini membutuhkan pengetahuan tentang *tool* dan metode yang digunakan, sehingga prosesnya menjadi sangat fleksibel.

Biasanya proses pemotongan merupakan proses kedua atau proses finishing dimana bentuk *solid* benda kerja berasal dari produk *casting* atau *forming*. Fungsi proses pemotongan sebagai proses kedua adalah sebagai berikut:

- a. Untuk memperbaiki dimensi toleransi,
- b. Untuk memperbaiki tekstur permukaan, dan
- c. Untuk membuat bentuk-bentuk geometris seperti lubang atau sudut, yang sulit dibuat dalam proses manufaktur pertama.

Proses pemotongan tergolong unik karena secara ekstrim luas sekali *range* kekasaran permukaan yang dapat dicapai. Ketelitian dibutuhkan untuk menghasilkan tekstur permukaan yang baik.

### 2.3 Proses Milling

*Milling* (frais) merupakan proses menghasilkan permukaan hasil pemesinan dengan menghilangkan secara progresif sejumlah material dari benda kerja<sup>[3]</sup>. Pada proses ini terdapat gerakan relatif antara benda kerja dan alat potong (*cutter/tool*) yang berputar untuk menghasilkan permukaan yang diinginkan. Dalam beberapa konstruksi mesin, benda kerja dalam keadaan diam sedangkan alat potong digerakkan melewatinya dengan kecepatan laju pemakanan (*feed rate*) yang telah ditentukan. Pada beberapa konstruksi, baik benda kerja maupun alat potong dapat bergerak satu sama lain.

*Milling* merupakan metode yang sering digunakan dalam proses *milling* pada industri khususnya dalam pembuatan  *mold* dan  *dies*.  *Tool* yang digunakan pada  *milling* juga beragam bentuknya, hal ini disesuaikan dengan proses pengerjaan dan desain yang akan dibuat.



Gambar 2.6. Proses Milling<sup>[9]</sup>

### 2.3.1 Metode Proses *Milling*

#### 2.3.1.1 *Peripheral* dan *Face Milling*

Berdasarkan sisi permukaan alat potong yang dipakai, terdapat dua metode dalam proses *milling* yaitu:

##### a. *Peripheral milling*

Dikenal juga sebagai *slab milling*. Dalam metode ini, permukaan benda kerja yang dihasilkan diperoleh dari mata potong yang terletak pada sekeliling dari alat potong yang bersangkutan. Permukaan benda kerja yang dihasilkan dan sumbu (*axis*) dari alat potong dalam posisi paralel. Bentuk metode *peripheral* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.7. Metode *Milling* Secara *Peripheral*<sup>[4]</sup>

Operasi *milling* dengan mata potong berbentuk profil juga termasuk dalam metode ini. Permukaan benda yang dihasilkan tergantung bentuk alat potong yang digunakan. Untuk bentuk profil, permukaan yang dihasilkan adalah sesuai dengan bentuk alat potong atau kombinasi beberapa alat potong yang dipasang bersama. Metode *peripheral milling* pada umumnya dipakai pada mesin *milling* dengan spindel arah horizontal tetapi dapat juga digunakan pada mesin dengan posisi spindel arah vertikal. Alat potong dipasang pada mesin dengan bantuan pemegang disebut *arbor*. Untuk mengurangi terjadinya getaran karena terlalu panjangnya pemegang, ujung sisi luar dari *arbor* biasanya

ditopang dengan suatu penahan. Metode ini mempunyai keterbatasan dalam hal bentuk produk yang dihasilkan.

b. *Face milling*

Metode ini dapat digunakan baik untuk mesin dengan sumbu vertikal ataupun horizontal. Permukaan hasil *milling* diperoleh dari kombinasi antara mata pisau pada selubung (sekeliling) dan sisi muka (*face*) dari alat potong. Pada umumnya permukaan ini dalam arah tegak lurus dengan sumbu alat potong. Metode *face milling* merupakan alternatif pertama yang selalu dipilih apabila memungkinkan daripada dengan *peripheral milling*. Dengan metode ini, penempatan alat potong pada mesin jauh lebih fleksibel karena pemasangan yang jauh dari spindel mesin (*overhang*) dapat dihindari. Ini berbeda dengan *peripheral milling* yang karena kondisi setup misalnya mengharuskan pemasangan *cutter* cukup jauh dari spindel. Selain itu penerapan metode ini juga cukup luas. Beberapa jenis kontrol gerakan pada mesin CNC seperti permukaan kontur banyak mengadopsi metode ini. Gambar metode *face milling* ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Metode *Milling* Secara *Face Milling*<sup>[4]</sup>

### 2.3.1.2 *Up Milling* dan *Down Milling*

Berdasarkan arah putaran alat potong dan arah gerakan benda kerja, proses *milling* dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

a. *Up Milling*

*Up milling* atau sering juga disebut *conventional milling* dengan alat potong berputar berlawanan arah dengan gerakan *feed*. Benda kerja bergerak menuju ke arah sisi dimana mata alat potong bergerak arah

naik. Gaya pemotongan menghasilkan gerakan berlawanan dari benda kerja kedalam *cutter*. Ini menyebabkan benda seolah olah ditahan oleh putaran alat potong. Gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan gerakan benda cenderung bertambah. Dengan gerakan seperti ini, maka geram (*chips*) yang dihasilkan akan bervariasi dari tipis pada saat alat potong mulai memotong menjadi tebal ketika mata potong meninggalkan benda.

b. *Down Milling*

*Down milling* sering juga disebut *climb milling* (karena seperti gerakan mendaki). Dalam *down milling*, *cutter* berputar dalam arah gerakan *feed* dari benda. Benda kerja bergerak maju kearah *cutter* pada sisi dimana mata *cutter* bergerak arah turun. Jika mata *cutter* mulai memotong, akan mulai ditimbulkan gaya pemotongan yang akan membantu benda kerja tertarik kearah *cutter* dan cenderung menarik benda dibawah *cutter*. Geram yang dihasilkan memiliki bentuk kebalikan dari *up milling* yaitu dari tebal ke tipis.

Pemotongan dengan cara *up milling* akan cenderung mengangkat benda keluar dari penjepitnya. Sebagai konsekuensi maka penjepit harus baik. Sebaliknya, pemotongan dengan cara *down milling* akan menyebabkan terjadinya gaya pemotongan yang menuju ke arah benda. Gaya ini membantu benda untuk tetap terjepit pada tempatnya. Selain itu gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan benda juga lebih sedikit dibanding *up milling*. Kekurangan cara ini adalah adanya kecenderungan benda untuk tertarik kearah alat potong.

Dengan demikian untuk mesin yang memiliki kekocakan (*backlash*) pada ulir penggerak meja, cara ini tidak dianjurkan karena akan menyebabkan terjadinya getaran. Gambar 2.9. berikut memperlihatkan proses *milling* secara *up* dan *down milling*.

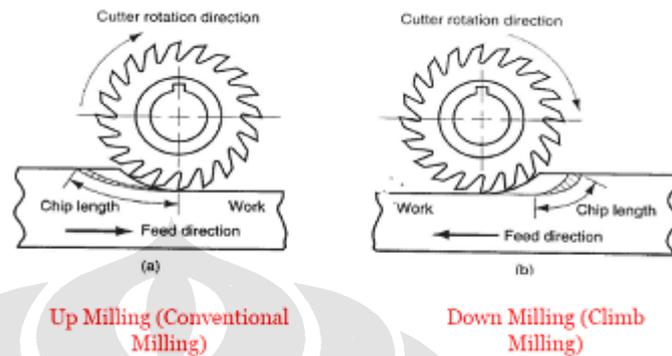
Perbedaan *Up Milling* & *Down Milling*

- *Up milling*

Kelebihan:

1. Kerja gigi tidak dipengaruhi oleh karakteristik permukaan benda kerja,

2. Kontaminasi/serpihan-serpihan kecil pada permukaan benda kerja tidak mempengaruhi usia alat, dan
3. Proses pemotongannya lembut sehingga gigi pemotong tetap tajam.



Gambar 2.9. Proses *Up Milling* dan *Down Milling*<sup>[10]</sup>

Kekurangan:

1. Ada kecenderungan peralatan gemeretak (karena longgar) dan
2. Ada juga kecenderungan benda kerja terangkat ke atas, sehingga pengontrolan terhadap penjepit sangat penting.

• *Down milling*

Kelebihan:

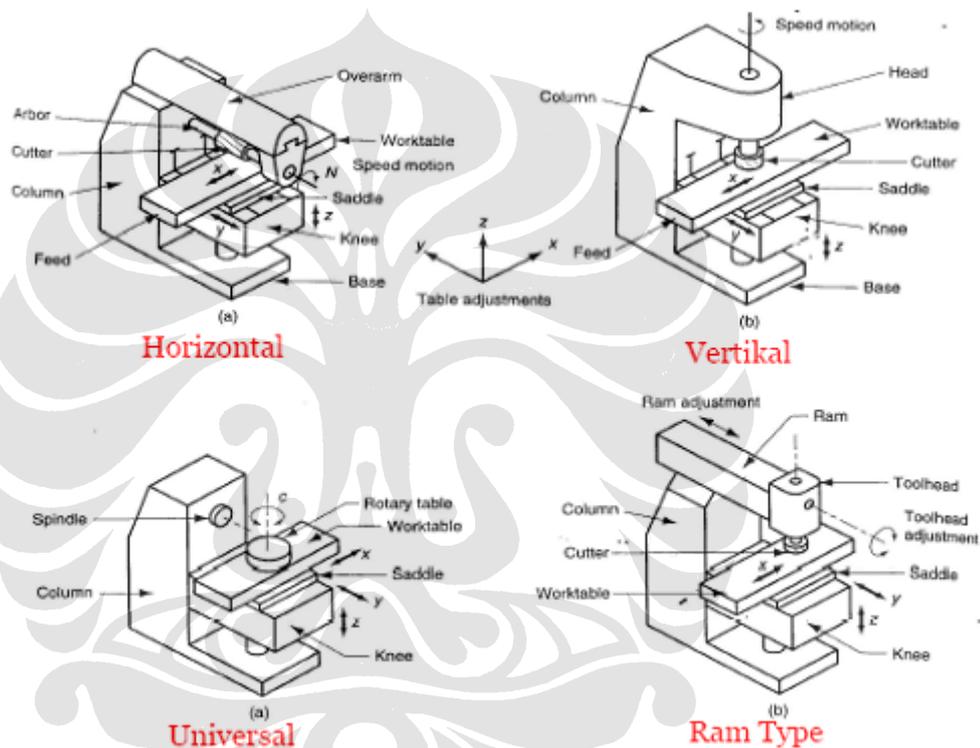
1. Gerak potongnya menimbulkan gaya yang menahan benda kerja untuk tetap berada di tempatnya

Kekurangan:

1. Pada saat gigi memotong benda kerja, terjadi resultan gaya *impact* yang besar sehingga peralatan dalam operasi ini harus di *set up* dengan kuat dan
2. Tidak cocok untuk permesinan benda kerja dengan permukaan kerja dengan permukaan yang kasar (banyak serpihan), seperti logam yang di kerjakan dengan *hot working*, ditempa (*forging*), ataupun dicor (*casting*). Karena serpihan-serpihan tersebut bersifat brasif, sehingga menyebabkan pemakaian yang berlebihan, merusak gigi pemotong sehingga mempersingkat usia alat.

### 2.3.2 Jenis Mesin *Milling*

Mesin *milling* dibuat dalam berbagai macam model yang berbeda tergantung ukuran dan kapasitas dayanya. Mesin *milling* juga dapat digolongkan menjadi beberapa standar. Standar mesin *milling* sesuai strukturnya dibedakan menjadi dua yaitu tipe *knee* (*knee type*) dan tipe *bed* (*bed type*). Mesin tipe *knee* memiliki meja (*bed*) mesin yang dapat digerakkan naik turun. Hal ini dimungkinkan karena adanya ulir penggerak yang juga sekaligus berfungsi sebagai penahan meja.



Gambar 2.10. Jenis Mesin *Milling*<sup>[10]</sup>

Konsekuensi dari konstruksi ini adalah ukuran meja yang lebih terbatas. Mesin *milling* tipe *bed* sebaliknya memiliki meja mesin yang tidak dapat digerakkan naik turun. Meja mesin langsung berhubungan dengan tempat dimana mesin diletakkan. Struktur seperti ini memungkinkan ukuran meja yang besar. Secara umum, konstruksi mesin sistem *knee* memungkinkan fleksibilitas dan keluwesan dalam pengoperasian. Sedangkan tipe *bed* lebih kokoh (*rigid*).

Berdasarkan posisi *spindel* yang terpasang, ada 3 jenis mesin *milling* yaitu:

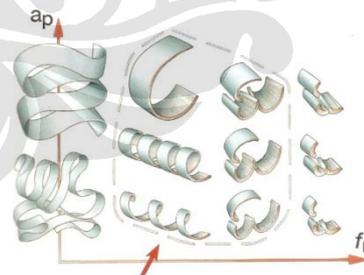
1. Mesin *milling* horizontal

2. Mesin *milling* vertikal
3. Mesin *milling* universal

Mesin *milling* horizontal (*plain milling*), sesuai namanya memiliki sumbu *spindel* arah posisi horizontal. Demikian juga mesin *milling* vertikal yang memiliki sumbu *spindel* vertikal. Untuk mesin *milling* universal, posisi sumbu *spindel* dapat diubah-ubah secara horizontal maupun vertikal atau pada posisi sudut tertentu. Pengubahan arah *spindel* dapat dilakukan dengan memutar bagian kepala (*head*) mesin. Beberapa konstruksi mesin bahkan ada yang memiliki *spindel* dobel (untuk posisi vertikal dan horizontal). Bentuk konstruksi dan proses *milling* tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10. diatas.

### 2.3.3 Pembentukan Chips

Pada setiap proses pemotongan logam pasti akan menghasilkan geram atau *chips* yang merupakan bagian benda kerja yang terbuang akibat adanya gesekan berupa pemakanan dari mata pahat pada material. Faktor yang mempengaruhi pembentukan *chips* ini antara lain ialah besaran *depth of cut* pemakanan, *entering angle* dan *nose radius* dari mata pahat. Semakin kecil nilai *depth of cut* pemesinan maka semakin kecil *chips* yang terbentuk. Untuk melihat hubungan antara *depth of cut* ( $DOC = a_p$ ) dengan *feed* kita dapat melihat Gambar 2.11 dibawah ini.



Gambar 2.11. Pengaruh *Feed* dan *Depth of Cut* pada Pembentukan *Chips*<sup>[4]</sup>

### 2.3.4 Elemen Dasar Parameter Proses *Milling*

Spesifikasi geometri suatu produk merupakan aspek yang menjadikan pertimbangan pemilihan parameter proses pemisinan *milling*. Untuk suatu tingkatan proses, ukuran objektif ditentukan dan pahat potong harus membuang sebagian material benda kerja sampai ukuran objektif tersebut tercapai. Hal ini

dapat dilakukan dengan cara menentukan penampang dan kecepatan pembuangan *chip* supaya waktu pembuangan sesuai dengan yang dikehendaki. Untuk itu perlu dipahami beberapa elemen dasar parameter proses pemesinan *milling* sebagai berikut<sup>[4]</sup>.

a. Kecepatan potong ( $V_c$ ).

Kecepatan potong (*cutting speed*) biasanya diukur dalam satuan m/min atau m/s, yang mengindikasikan kecepatan permukaan (*surface speed*) pada mata *cutter* pada saat melakukan penyayatan pada benda kerja. *Cutting speed* merupakan data pemotongan yang penting untuk mendapatkan operasi pemesinan yang efektif. Harga *cutting speed* berhubungan dengan jenis dan bahan pahat yang digunakan dan bahan atau benda kerja yang dikerjakan.

Rumus kecepatan potong dalam m/min adalah

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \dots\dots\dots (2.1)$$

b. Kecepatan spindel ( $n$ )

Kecepatan spindel (*spindle speed*) biasanya diukur dalam rpm (*rev.perminute*), yang merupakan jumlah putaran pahat *milling* pada spindel permenit. *Spindle speed* dihitung berdasarkan *cutting speed* yang direkomendasikan pada pengoperasian pemesinan yang dilakukan.

Rumus kecepatan spindel dalam rpm adalah

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi D_c} \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Kecepatan pemakanan meja ( $V_f$ )

Kecepatan pemakanan meja (*table feed*) atau yang biasa juga disebut kecepatan pemakanan (*feed speed*) biasanya diukur dalam mm/mnt, yang merupakan pemakanan pahat yang berkaitan dengan jarak benda kerja per time-unit dengan pemakanan per gigi (*tooth*) dan jumlah gigi pada *cutter*.

Rumus kecepatan pemakanan meja adalah

$$V_f = f_z \cdot n \cdot z_n \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Ketebalan chip maksimum ( $h_{ex}$ )

Ketebalan chip maksimum (*maximum chip thickness*) diukur dalam mm adalah indikasi penting untuk pengoperasian aktual. Mata potong pada *cutter milling* yang dikeluarkan pabrik pembuat telah didesain dan dicobakan untuk mendapatkan besar ketebalan *chip* maksimum sesuai dengan yang direkomendasikan.

e. Pemakanan per gigi ( $f_z$ )

Pemakanan per gigi (*feed per tooth*) diukur dalam mm/tooth adalah nilai proses pemillingan untuk menghitung *table feed*. Jika *cutter milling* mempunyai banyak mata (*multi-edge*), nilai  $f_z$  dibutuhkan untuk menjamin setiap mata *cutter* berada dalam kondisi yang aman. Nilai *feed per tooth* dihitung berdasarkan nilai  $h_{ex}$  yang direkomendasikan.

Rumus kecepatan pemakanan per gigi adalah

$$f_z = \frac{V_f}{n \cdot z_n} \dots\dots\dots (2.4)$$

f. Jumlah gigi ( $z_n$ )

Jumlah gigi (*number of teeth*) adalah berguna untuk menghitung kecepatan pemakanan ( $V_f$ ). Jenis material benda kerja, lebar benda kerja, stabilitas, daya mesin, dan *surface finish* adalah berpengaruh dalam memilih berapa jumlah gigi yang diperlukan.

g. Pemakanan per putaran ( $f_n$ )

Pemakanan per putaran (*feed per revolution*) diukur dalam mm/rev. adalah besaran yang digunakan secara khusus untuk menghitung pemakanan dan sering digunakan untuk menghitung kemampuan *finishing* suatu *cutter*. *Feed per revolution* adalah besaran pelengkap untuk mengindikasikan seberapa jauh pahat bergerak selama berrotasi.

Rumus pemakanan perputaran adalah sebagai berikut

$$f_n = \frac{V_f}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

h. Dalam pemakanan ( $a_p$ )

Dalam pemakanan (*depth of cut*) diukur dalam mm adalah seberapa besar pahat membuang logam pada permukaan dari benda kerja.

i. Lebar pemotongan ( $a_e$ )

Lebar pemotongan (*cutting width*) diukur dalam mm adalah lebar komponen yang akan dipotong oleh diameter *cutter*.

j. Tebal rata-rata *chip* ( $h_m$ )

Tebal rata-rata *chip* (*average chip thickness*) adalah suatu besaran yang berguna untuk menghitung gaya pemotongan.

Rumus tebal rata-rata *chip* dalam mm adalah

$$h_m \approx f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \dots\dots\dots (2.6)$$

k. Laju pembuangan *chip* ( $Q$ )

Laju pembuangan, *chip Removal rate* (*removal rate*) adalah jumlah metal yang dibuang yang diukur dalam mm<sup>3</sup>. Laju pembuang ini dapat dihitung berdasarkan dalam pemakan, lebar pemakanan dan pemakanan permenit.

Rumus laju pembuangan dalam cm<sup>3</sup> adalah

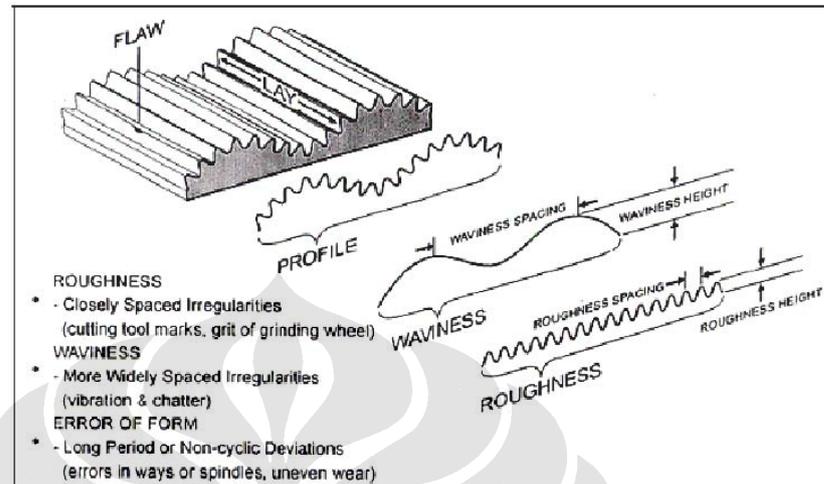
$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f}{1000} \dots\dots\dots (2.7)$$

## 2.4 Terminologi Profil Permukaan

Ada tiga jenis ketidakteraturan (*irregularities*) suatu permukaan yang ditandai sebagai tekstur suatu permukaan yaitu :

1. *Error of form* : ketidakteraturan berupa kesalahan bentuk yang pada umumnya mudah dideteksi oleh metode pengukuran konvensional,
2. *Waviness* : ketidakteraturan dalam bentuk gelombang dengan jarak yang teratur yang dapat dihubungkan dengan getaran mesin, dan

3. *Roughness* : ketidakrataan yang terdiri atas lembah dan puncak daerah rapat (*closely-spaced*) yang melapisi kedua tipe sebelumnya, seperti terlihat pada gambar berikut :



Gambar 2.12. Terminologi Profil Permukaan<sup>[5]</sup>

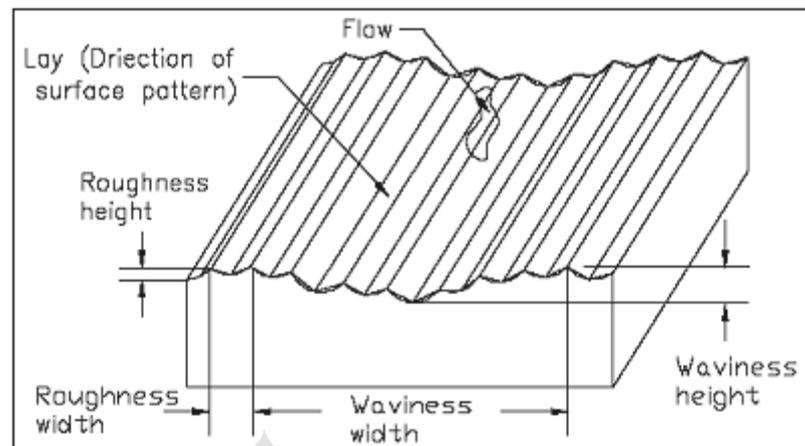
Dalam praktek, penentuan daerah *closely-spaced* dicapai dengan membuat pengukuran di atas jarak batas yang ditunjuk sebagai *cut-off length*. Panjang ini harus dipilih sedemikian rupa meliputi sejumlah ketidakrataan secara rata-rata. Jelas bahwa, *cut-off length* yang cocok adalah penting bagi pengukuran benda hasil pemesinan *milling* permukaan yang dibentuk menggunakan *individual tool*.

Instrumen yang digunakan untuk mengukur *surface finish* pada umumnya dirancang untuk bekerja dengan nilai *cut-off length* yang berbeda dalam hal ini 0.003", 0.01", 0.1" atau 0.25, 0.8, 2.5 mm. Ketika nilai tertentu dari *cut-off* dipilih, ini berarti bahwa instrumen tidak akan bereaksi terhadap *irregularities* dengan panjang gelombang yang lebih besar dari harga tersebut.

Pada tahun 1947, the American Standard B46.1-1947, "*surface Texture*", mendefinisikan beberapa konsep pengukuran permukaan dan terminologi tentang *surface texture* diantaranya<sup>[1]</sup> :

- Tekstur permukaan:  
adalah suatu pola permukaan yang menyimpang dari permukaan nominal. Penyimpangannya mungkin berulang atau random yang disebabkan oleh *roughness*, *waviness*, *lay* dan *flaws*.

- *Real surface* (permukaan sebenarnya dari suatu objek):  
adalah kulit (lapisan) yang mengelilingi dan memisahkannya dari medium yang melingkupi. Permukaan ini selalu berasimilasi dengan penyimpangan struktural yang digolongkan sebagai *error of form* (kesalahan bentuk).
- *Roughness* (kekasaran):  
terdiri dari ketidak teraturan yang sangat halus dari tekstur permukaan, yang pada umumnya mencakup ketidakteraturan yang diakibatkan oleh tindakan dari proses produksi itu.
- *Roughness width* (lebar kekasaran) :  
adalah jarak paralel pada permukaan nominal diantara puncak ke puncak berikutnya atau dari lembah ke lembah berikutnya dari pola utama kekasaran.
- *Waviness* :  
meliputi semua ketidakteraturan (*irregularities*) dimana pengaturan jaraknya adalah lebih besar dari panjang sample roughness.
- *Waviness height*:  
tinggi gelombang adalah jarak puncak ke lembah yang dinilai dalam inchi atau milimeter.
- *Waviness width*:  
lebar gelombang adalah jarak puncak ke puncak berikutnya atau jarak lembah ke lembah berikutnya, yang dinilai dalam inchi atau milimeter.
- *Lay* :  
adalah arah pola permukaan utama, yang secara normal ditentukan oleh metode produksi.
- *Flaw* :  
adalah gangguan yang tak disengaja, tidak diduga, tak diinginkan pada topografi khusus dari bagian suatu permukaan.
- *Roughness sampling length*:  
adalah panjang sampling dari kekasaran rata-rata yang diukur. Panjang ini dipilih atau dispesifikasikan untuk memisahkan profil irregular yang ditandai sebagai *roughness* dari *irregular* yang ditandai sebagai *waviness*.

Gambar 2.13. Penampang *Surface Texture*<sup>[5]</sup>

### 2.4.1 Panjang Cutoff

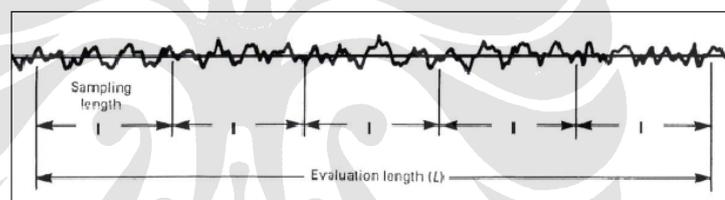
Panjang *cutoff* (*cutoff length*) yang digunakan tergantung pada proses *finishing* permukaan yang akan diukur. Mesin yang mempunyai kecenderungan pemakanan yang lebar seperti mesin sekrap memerlukan nilai *cutoff* yang lebih panjang, dibandingkan dengan mesin yang mempunyai kecenderungan pemakanan yang lebih rapat seperti mesin *polish*. Untuk pemesinan *milling* lebar pemakanan tersebut tergantung pada pemakanan pergigi ( $f_z$ ). Semakin rapat pemakanan pergigi maka panjang *cutoff* yang dipilih semakin kecil. Tabel 2.1 memperlihatkan nilai *cutoff* untuk berbagai proses pemesinan.

Tabel 2.1. Nilai *Cut-off* untuk Masing-masing Proses Manufaktur<sup>[6]</sup>

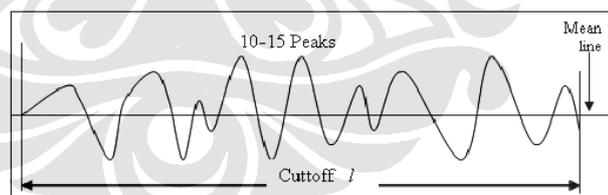
Typical Finishing Process	Cut-off (mm)				
	0.3	0.8	2.5	8.0	25
<i>Milling</i>					
Boring					
Turning					
Grinding					
Planning					
Reaming					
Broaching					
Diamond Boring					
Diamond Turning					
Honing					
Laping					
Superfinishing					

Buffing (lanjutan)	■	■			
Polishing	■	■			
Shaping		■	■	■	
EDM	■	■			
Burnishing		■	■	■	
Drawing		■	■		
Extruding		■	■		
Moulding		■	■		
Electro-polishing		■	■		

Jumlah *cutoff* sebagai panjang sampel pengukuran dalam panjang pengukuran adalah sebanyak 5 buah sehingga untuk *cutoff* 0.8 maka panjang pengukuran adalah 4 mm seperti dapat dilihat pada gambar 2.14. Sedangkan jumlah puncak yang disarankan yang terdapat dalam satu *cutoff* adalah sebanyak 10-15 peaks, seperti terlihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.14. *Sampling Length* dan *Evaluation Length*<sup>[5]</sup>



Gambar 2.15. *Peak to Peak Cutoff*<sup>[5]</sup>

#### 2.4.2 Parameter Topografi Permukaan (*surface finish*)

*Surface finish* dapat ditandai dalam beberapa parameter yang berbeda. Karena kebutuhan parameter yang berbeda dalam operasi mesin yang beraneka ragam telah banyak parameter *surface roughness* baru yang dikembangkan. Beberapa parameter *surface finish* dapat diuraikan sebagai berikut<sup>[2]</sup>:

- *Roughness average* (Ra)

Parameter ini juga diketahui sebagai nilai kekasaran tengah aritmatik (*the arithmetic mean roughness value*), AA (*arithmetic average*), atau CLA (*center line average*). Ra banyak dikenal secara universal dan digunakan pada parameter *roughness* internasional<sup>[2]</sup>. Nilai Ra dihitung dengan persamaan

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

Ra = penyimpangan rata-rata aritmatik dari garis tengah.

L = panjang sampling

Y = ordinat dari kurva profil

- *Root-mean-square* (rms)

Ini adalah parameter *root-mean-square* yang berhubungan dengan Ra dengan persamaan :

$$R_a = RMS = \sqrt{\left[ \frac{1}{L} \int_0^L [(y(x) - y_{avg})]^2 dx \right]} \dots\dots\dots(2.9)$$

- Kedalaman total (*peak to valey roughness*):

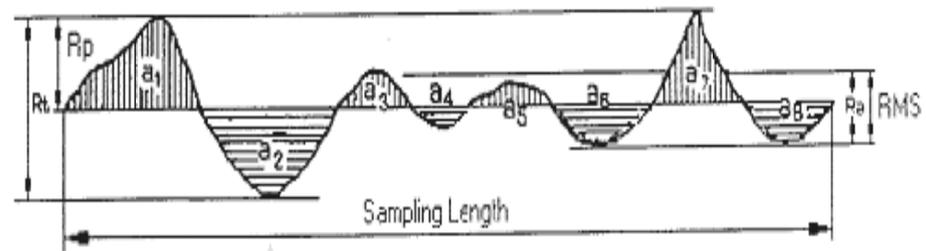
Ini adalah jarak antara dua garis paralel ke garis tengah yang berhubungan dengan titik ekstrim atas dan bawah pada panjang sampling *roughness profile*.

$$R_t = y_{max} - y_{min} \dots\dots\dots(2.10)$$

Pada persamaan di atas, nilai  $y_{avg}$  adalah nilai rata-rata dalam arah vertikal. Kemudian  $y(x) - y_{avg}$  adalah deviasi dari *center line average* pada posisi x sembarang dalam arah yang dibaca dari  $x = 0$  sampai  $x = L$

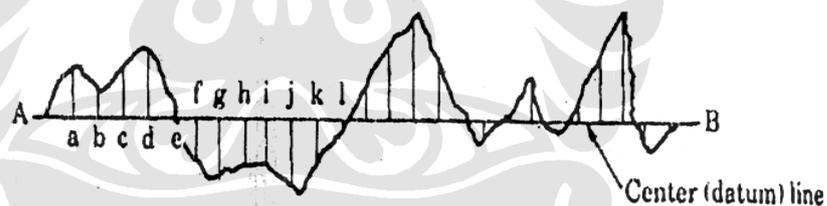
Pada pengukuran *surface tester* jarum peraba (*stylus*) dari alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan. Panjang lintasan ini disebut dengan panjang pengukuran (*tranversing length*). Profil yang terukur pada panjang pengukuran

(*sampling length*) kemudian dianalisa. Gambar 2.16. berikut memperlihatkan ilustrasi dari profil permukaan.



Gambar 2.16. Ilustrasi Permukaan Benda Uji<sup>[5]</sup>

Garis datum AB pada gambar diletakan sedemikian rupa sehingga penjumlahan luas di atas garis sama dengan jumlah dari luas di bawah garis. Satuan yang digunakan untuk kekasaran permukaan biasanya  $\mu\text{m}$  (micrometer, atau micron) atau  $\mu\text{in}$  (microinch), dimana  $1 \mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$ , dan  $1 \mu\text{in} = 0.0025 \mu\text{m}$ .



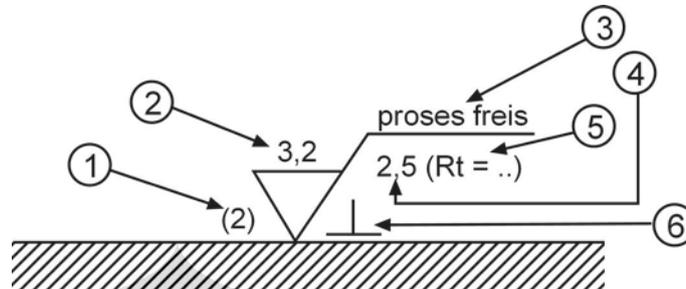
Gambar 2.17. Titik yang Digunakan Dalam Pengukuran Kekasaran<sup>[5]</sup>

Kita juga menggunakan *maximum roughness height* ( $R_t$ ) sebagai sebuah ukuran kekasaran. *Maximum roughness height* didefinisikan sebagai tinggi dari puncak paling rendah hingga yang tertinggi, seperti pada gambar. Untuk mendapatkan permukaan yang halus maka sebagian material harus dihilangkan dengan memoles atau menggunakan cara-cara lain.

*Aritmetic mean value*  $R_a$  diadopsi secara internasional pada pertengahan 1950 dan digunakan secara luas dalam praktek industri.

### 2.4.3 Simbol untuk Kekasaran Permukaan

Simbol persyaratan permukaan umumnya dituliskan seperti pada gambar 3, yaitu berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan yang bersangkutan.



Gambar 2.18. Simbol untuk Kekasaran Permukaan<sup>[10]</sup>

Beberapa angka dan atanda spesifik serta keterangan singkat dituliskan di sekitar segitiga. Maksud dari angka-angka dan tanda ini sesuai dengan nomor pada gambar adalah sebagai berikut:

1. kelonggaran permesinan (*machining allowance*).
2. kekasaran rata-rata aritmetis ( $R_a$ ).
3. keterangan mengenai jenis proses pengerjaan.
4. panjang sampel ( $l$ ).
5. harga parameter permukaan yang lain (diletakan dalam tanda kurung).
6. simbol dari arah pengerjaan.

Batas toleransi untuk kekasaran permukaan ditentukan secara spesifik pada gambar teknik dengan menggunakan simbol disekitar tanda ceklis dibagian bawah seperti terlihat pada gambar dan nilanya diletakan pada sebelah kiri dari tanda ceklis. Simbol-simbol dan artinya terlihat pada gambar 2.20 berikut ini.

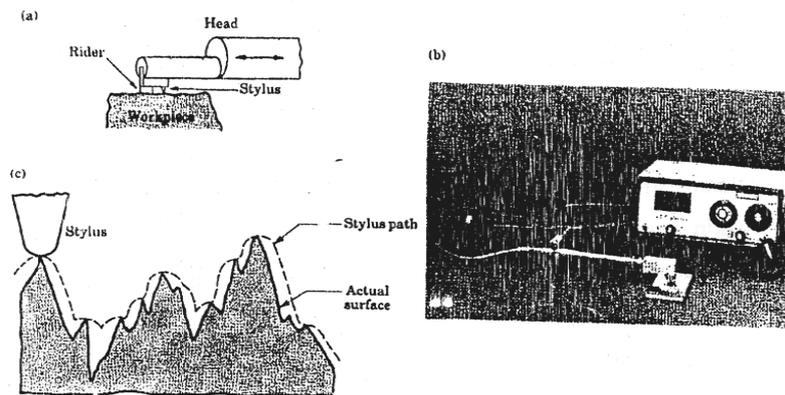
Symbol	Arti	Contoh
	Lay paralel terhadap garis yang mewakili permukaan dimana simbol digunakan	
	Lay tegak lurus terhadap garis yang mewakili permukaan dimana simbol digunakan	
	Lay anguler dalam dua arah garis yang mewakili permukaan dimana simbol digunakan	
	Lay multidireksional	
	Lay kurang lebih berbentuk sirkuler relatif terhadap pusat dari permukaan dimana simbol digunakan	
	Lay kurang lebih berbentuk radial relatif terhadap pusat dari permukaan dimana simbol digunakan	
	Lay yang berbentuk tinggi, lubang, poros, atau partikulat non-direksional	

Gambar 2.19. Standar Simbol Kekasaran<sup>[10]</sup>

Simbol digunakan untuk menjelaskan sebuah permukaan hanya spesifik pada kekasaran, *waviness*, dan *lay*; tidak termasuk *flaw*. Kecuali penting, sebuah catatan khusus diikutsertakan dalam gambar teknik untuk menjelaskan metode yang digunakan untuk menginspeksi *flaw* pada permukaan.

#### 2.4.4 Pengukuran Kekasaran Permukaan

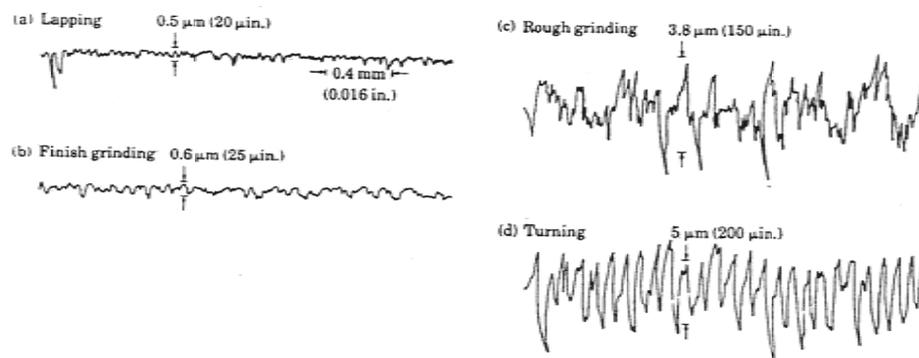
Beberapa instrumen yang tersedia untuk mengukur kekasaran permukaan adalah *surface profilometer*. Alat ini digunakan untuk mengukur dan mencatat kekasaran permukaan. Alat ini sering menggunakan sebuah *stylus* berbentuk *diamond* untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan. Jarak yang ditempuh oleh *stylus* dapat bervariasi dan disebut *cutoff*.



Gambar 2.20. Pengukuran Kekasaran Permukaan<sup>[10]</sup>

Untuk mencatat kekasaran, jejak profilometer dicatat pada sebuah skala vertikal *exaggerated* (sebuah urutan dari *magnitude* terbesar dari skala horisontal, lihat gambar), disebut *gain* pada instrumen pengukuran. Kemudian profil yang tercatat secara signifikan berkurang, dan permukaan muncul lebih kasar dari yang sebenarnya. Instrumen pencatat mengkompensasi setiap *waviness* permukaan dan hanya mengindikasikan kekasaran, sebuah catatan profil permukaan dibuat dengan alat mekanik dan elektronik, seperti Gambar 2.20.

Karena radius *tip stylus* terbatas, lintasan dari *stylus* lebih *smooth* dari pada kekasaran permukaan aktual (catatan bahwa lintasan dengan garis yang terputus pada gambar). Radius *tip* yang semakin kecil dan permukaan yang lebih *smooth*, lintasan *stylus* akan menampilkan profil permukaan aktual. Diameter dari *stylus* yang biasa digunakan adalah 10  $\mu\text{m}$ .



Gambar 2.21. Profil Kekasaran Permukaan<sup>[10]</sup>

## 2.5 Prinsip Dasar Percobaan

Prinsip dasar yang digunakan dalam percobaan ini adalah dengan membandingkan data yang didapatkan dengan beberapa parameter uji yang telah disebutkan diatas yaitu menganalisa kekasaran pada material uji dengan beberapa kondisi pemotongan yang ditentukan. Kemudian juga dilakukan analisa data terhadap kemungkinan munculnya kontur yang bergelombang (*waviness*) pada permukaan material uji yang dihasilkan dari proses pemesinan. Data ini kemudian digunakan untuk mengetahui hubungan antara laju pemotongan (*feed*), sudut pemakanan (*inclination angle*), dan arah pemakanan terhadap kekasaran (*roughness*) dan kegelombang (*waviness*) yang dihasilkan dari proses pemesinan. Secara umum prinsip dasar percobaan dapat dilihat pada bagan di bawah ini.



Gambar 2.22. Bagan Prinsip Dasar Percobaan