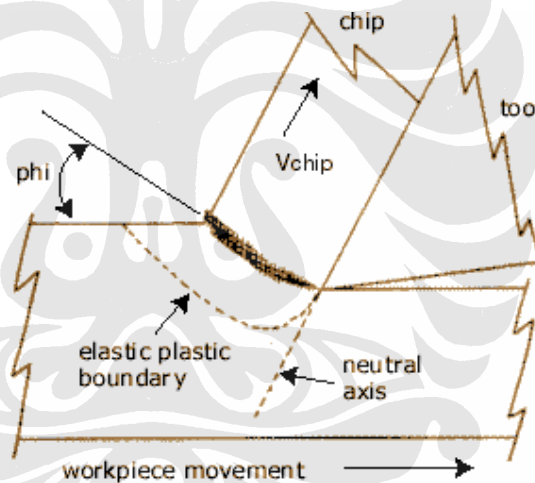


BAB 2
TEORI PROSES PEMESINAN
DALAM PEMOTONGAN LOGAM DAN
PRINSIP DASAR EKSPRIMEN

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^[3]

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*).
- Alat penggenggam (*workpiece holder, jig, fixtures*).

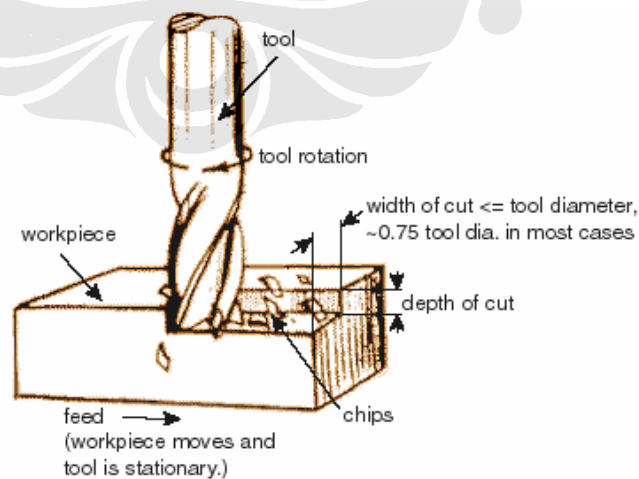
berdasarkan variasi dari variabel – variabel ini maka ada tujuh dasar pembentukan *chip* , yaitu ; *turning, milling, drilling, sawing, broaching, shaping(planing), dan grinding.*

a. *Turning*

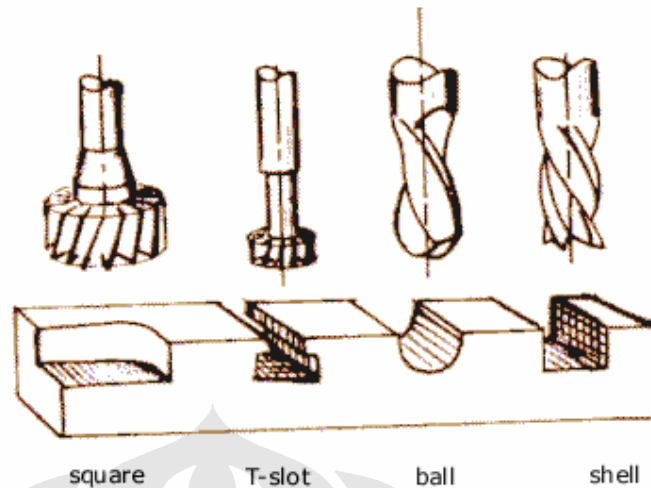
Merupakan proses pemesinan dengan menggunakan mesin turning. Pada proses ini *workpiece* dipasang pada *holder* mesin kemudian dalam prosesnya *workpiece* berputar secara horisontal dan *tool* akan memakan *workpiece* searah dengan sumbu putarnya. Jenis *workpiece* yang digunakan pada proses *turning* 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 vertical. Proses milling disebut juga *freis*.

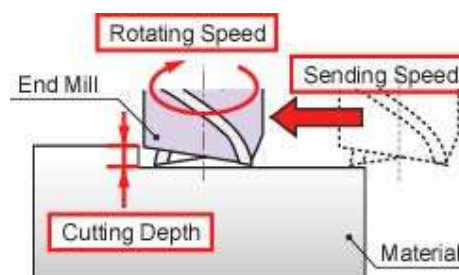


Gambar 2.2 Proses Milling^[2]



Gambar 2.3 Tool dalam Pemesinan Milling^[2]

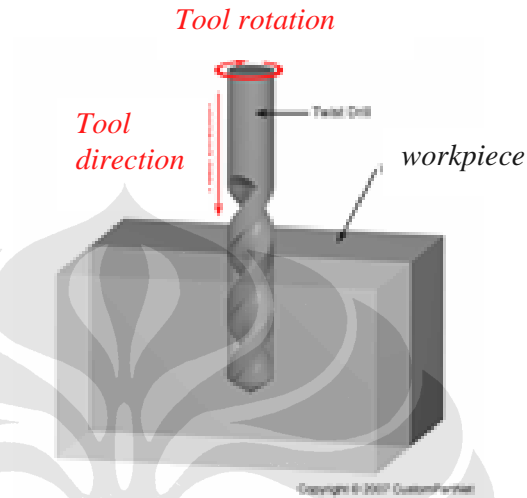
Hal yang perlu diperhatikan dalam proses milling adalah kecepatan putar *tool* atau *rotating speed* (N_s), kedalaman tool memotong atau *depth of cutting* (d), kecepatan makan atau *feeding speed* (f_m). Ketiga hal ini sangat penting dalam proses *milling* dan berpengaruh pada material atau *workpiece*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



Gambar 2.4 Pemotongan Milling^[9]

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^[9]

d. *Sawing*

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

e. *Broaching*

Adalah proses pemesinan dengan menggunakan *tool broach*. *Workpiece* yang akan diproses diletakkan 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:

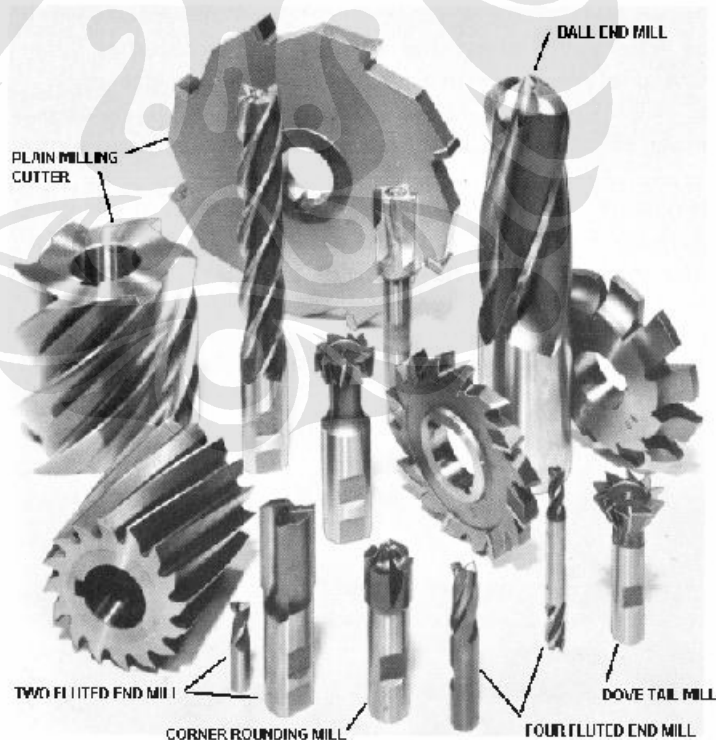
- a. Untuk memperbaiki dimensi toleransi.
- b. Untuk memperbaiki tekstur permukaan
- c. Untuk membuat bentuk-bentuk geometris seperti lubang atau sudut, yang sulit dibuat dalam proses manufaktur pertama.

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 TEORI PROSES MILLING

Milling (frais) merupakan proses menghasilkan permukaan hasil pemesinan dengan menghilangkan secara progresif sejumlah material dari benda kerja. 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 (*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 *modal* dan *dies*. *Tool* yang digunakan pada *milling* juga beragam bentuknya, hal ini disesuaikan dengan proses pengerjaan dan desain yang akan dibuat.



Gambar 2.6 Berbagai Tool dalam Milling^[13]

2.3.1 Metoda Proses *Milling*

2.3.1.1 *Peripheral* dan *Face Milling*

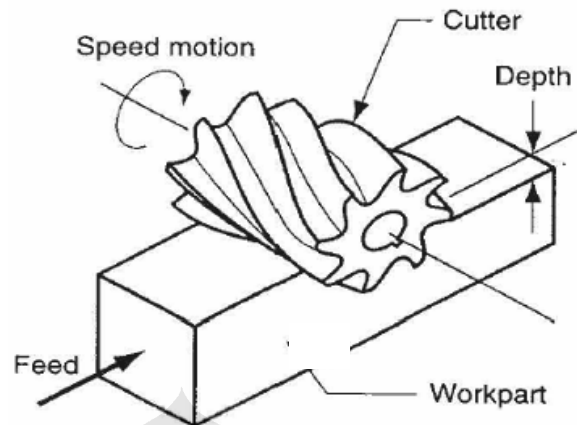
Berdasarkan sisi permukaan alat potong yang dipakai, terdapat dua metoda dalam proses *milling* yaitu:

a. *Peripheral milling*

b. *Face milling*

a. *Peripheral milling*

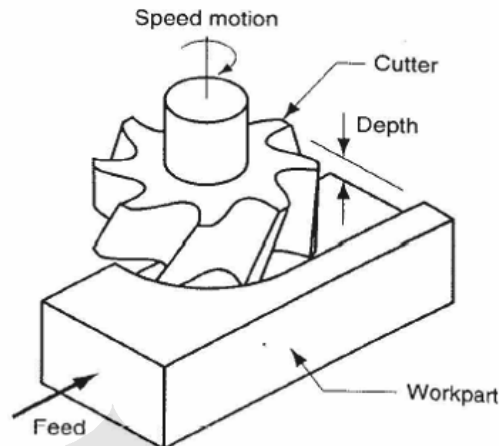
Dikenal juga sebagai *slab milling*. Dalam metoda ini, permukaan benda kerja yang dihasilkan diperoleh dari mata-potong yang terletak pada sekeliling dari alat potong yang bersangkutan. Permukaan benda kerja yang dihasilkan dan sumbu (aksis) dari alat potong dalam posisi paralel. Operasi *milling* dengan mata potong berbentuk profil juga termasuk dalam metoda 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. Metoda *peripheral milling* pada umumnya dipakai pada mesin *milling* dengan *spindle* arah horisontal tetapi dapat juga digunakan pada mesin dengan posisi *spindle* 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. Metoda ini mempunyai keterbatasan dalam hal bentuk produk yang dihasilkan. Bentuk metoda *peripheral* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut:



Gambar 2.7 Metoda Peripheral Milling^[5]

b. Face milling

Metoda ini dapat digunakan baik untuk mesin dengan sumbu vertikal ataupun horisontal. 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. Metoda *face milling* merupakan alternatif pertama yang selalu dipilih apabila memungkinkan daripada dengan *peripheral milling*. Dengan metoda ini, penepatan alat potong pada mesin jauh lebih fleksibel karena pemasangan yang jauh dari spindle mesin (*overhang*) dapat dihindari. Ini berbeda dengan *peripheral milling* yang karena kondisi setup misalnya mengharuskan pemasangan *cutter* cukup jauh dari spindle. Selain itu penerapan metoda ini juga cukup luas. Beberapa jenis kontrol gerakan pada mesin CNC seperti permukaan kontur banyak mengadopsi metoda ini. Gambar metoda *face milling* ini dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.8 Metoda Secara Face Milling ^[5]

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*
- b. *Down milling*.

a. *Up Milling*

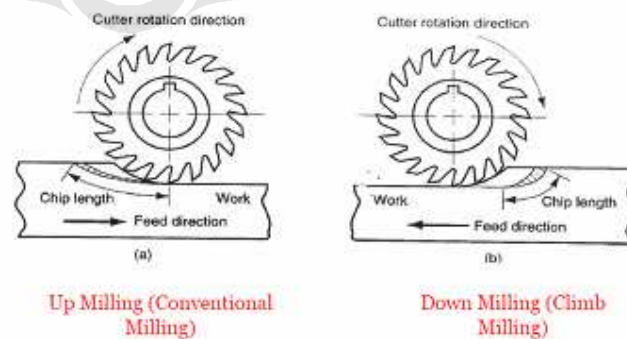
Up milling atau sering juga disebut *conventional milling*, alat potong berputar berlawanan arah dengan gerakan *feed*. Benda kerja bergerak menuju ke arah sisi dimana mata alat potong bergerak arah naik. Gaya pemotongan menghasilkan gerakan berlawanan dari benda kerja ke dalam *cutter*. Ini menyebabkan 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 ke arah *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 ke arah *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 ke arah alat potong.

Dengan demikian untuk mesin yang memiliki kekocakan (*backlash*) pada ulir penggerak meja, cara ini tidak dianjurkan karena akan menyebabkan terjadinya getaran. Gambar 2.3 berikut memperlihatkan proses *milling* secara *up* dan *down milling*.



Gambar 2.9 Proses *Up Milling* dan *Down Milling* ^[5]

Perbedaan *Up Milling* dan *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
3. Proses pemotongannya lembut, sehingga gigi pemotong tetap tajam

Kekurangan:

1. Ada kecenderungan peralatan gemeretak (karena longgar)
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.
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 abrasif, sehingga menyebabkan pemakaian yang berlebihan, merusak gigi pemotong sehingga mempersingkat usia alat

2.3.2 Jenis Mesin *Milling*

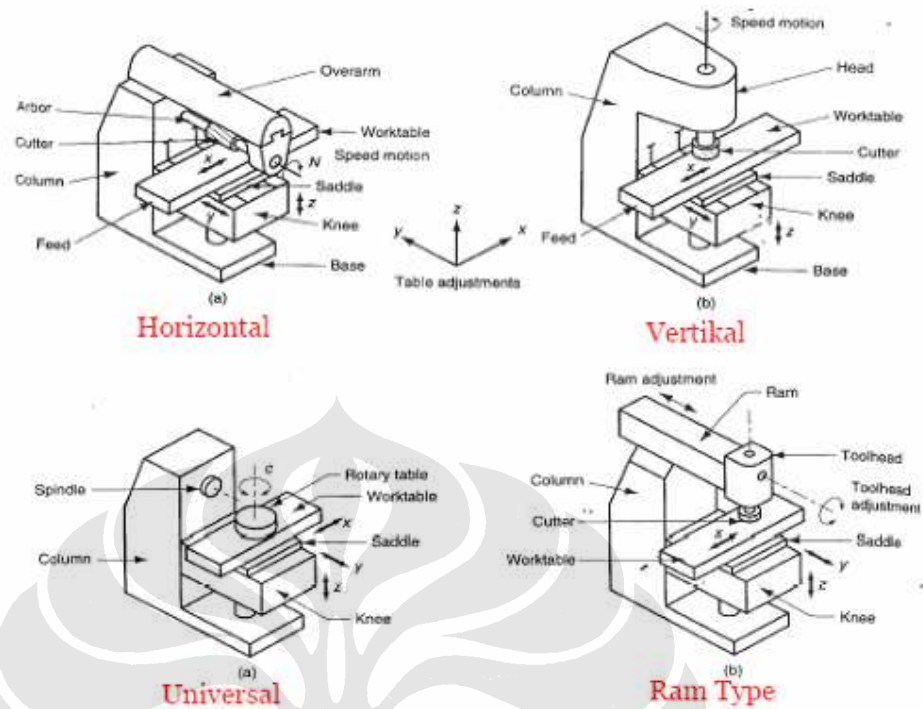
Mesin *milling* dibuat dalam berbagai macam model yang berbeda tergantung ukuran dan kapasitas dayanya. Mesin *milling* juga dapat digolongkan menjadi beberapa standar. Standar mesin *milling* sesuai strukturnya dibedakan menjadi dua yaitu tipe *knee* (*knee type*) dan tipe *bed* (*bed type*). Mesin 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.

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

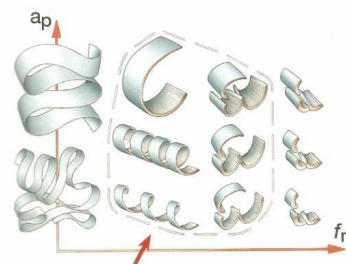
Mesin *milling* horisontal (*plain milling*), sesuai namanya memiliki sumbu *spindel* arah posisi horisontal. Demikian juga mesin *milling* vertikal yang memiliki sumbu *spindel* vertikal. Untuk mesin *milling* universal, posisi sumbu *spindel* dapat diubah-ubah secara horisontal maupun vertikal atau 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 horisontal). Bentuk konstruksi dan proses *milling* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.10 Jenis Mesin Milling^[5]

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^[10]

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*^[11] sebagai berikut.

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 (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*) adalah

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

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 (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*) adalah

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

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.

Untuk *sidemilling* nilai h_{ex} bervariasi tergantung dari diameter *tool* dan proses pengerjaan saat awal masuk (*engagement*).

Tabel 2.1 sudut awal pemakanan dan ketebalan *chip* maksimum ^[10]

Sudut(°)	h_{ex} (mm)
90	$h_{ex} = f_z$
75	$h_{ex} = 0,96 \times f_z$
60	$h_{ex} = 0,86 \times f_z$
45	$h_{ex} = 0,707 \times f_z$
10	$h_{ex} = 0,18 \times f_z$
O (bundar)	$h_{ex} = \frac{\sqrt{iC \times (iC - 2a_p)^2 \times f_z}}{iC}$

Sumber *metal cutting guide, sandvik coromant, hal D13*

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 (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*) 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 (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*)

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

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 (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*)

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

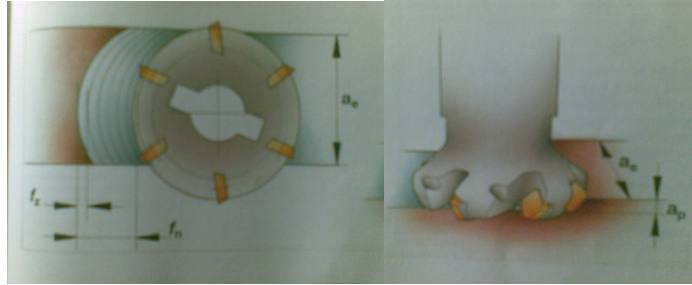
k. Laju pembuangan *chip* (Q)

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

Rumus laju pembuangan dalam cm^3 adalah (*metal cutting guide, sandvik coromant, hal D23*)

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

Untuk lebih jelas mengenai rumus – rumus di atas dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

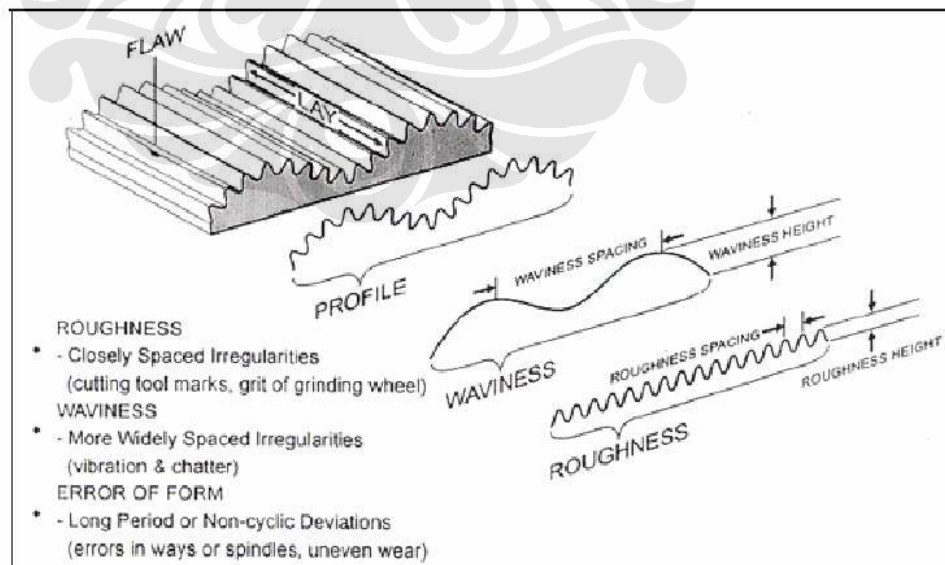


Gambar 2.12 Pemotongan Dalam Milling^[10]

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
3. *Roughness* : ketidak-teraturan yang terdiri atas lembah dan puncak daerah rapat (*closely-spaced*) yang melapisi kedua tipe sebelumnya, seperti terlihat pada gambar II.7 berikut :



Gambar 2.13 Profil Irregularities Permukaan^[6]

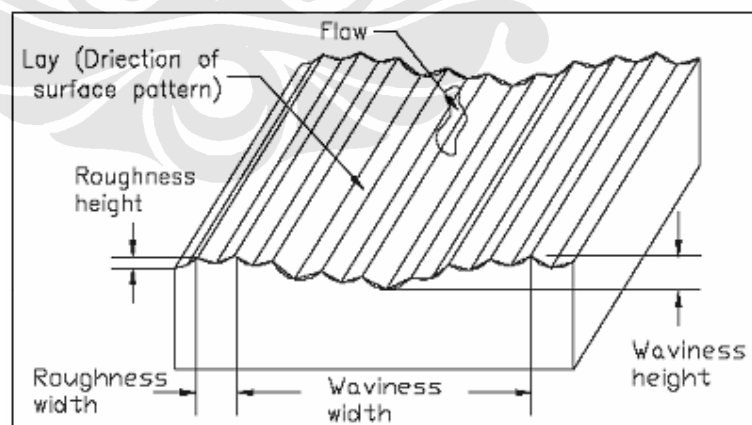
Dalam praktek, penentuan daerah *closely-spaced* dicapai dengan membuat pengukuran di atas jarak batas yang ditunjuk sebagai *cut-off length*. Panjang ini harus dipilih sedemikian rupa meliputi sejumlah ketidakteraturan secara rata-rata. Jelas bahwa, *cut-off length* yang cocok adalah penting bagi pengukuran 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.

Berdasarkan the American Standard B46.1-1947, Pada tahun 1947, "surface Texture", mendefinisikan beberapa konsep pengukuran permukaan dan terminologi tentang *surface texture* diantaranya :

- **Teksture 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 berassimilasi 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 ketidak teraturan 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 ketidakraturan (*irregularities*) dimana pengaturan jaraknya adalah lebih besar dari panjang *sample roughness*.
- *Waviness height*:
tinggi gelombang adalah jarak puncak ke lembah yang dinilai dalam inci atau milimeter.
- *Waviness width*:
lebar gelombang adalah jarak puncak ke puncak berikutnya atau jarak lembah ke lembah berikutnya, yang dinilai dalam inci atau milimeter.
- *Lay* :
adalah arah pola permukaan utama, yang secara normal ditentukan oleh metode produksi.
- *Flaw* :
adalah gangguan yang tak disengaja, tidak diduga, tak diingini 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 2.14 Profil Tekstur Permukaan ^[6]

2.5 PANJANG CUTOFF

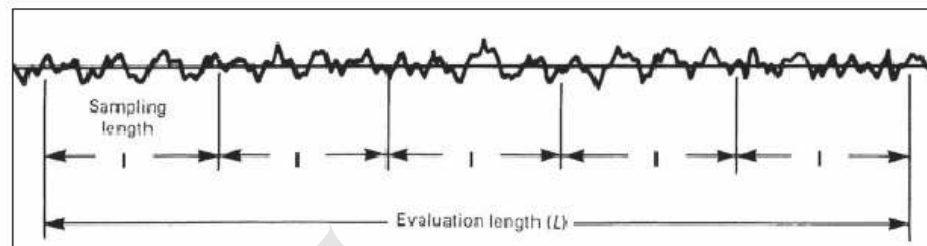
Panjang *cutoff* (*cutoff length*) yang digunakan tergantung pada proses *finishing* permukaan yang akan diukur. Mesin yang mempunyai kecenderungan pemakanan yang lebar seperti mesin sekrap memerlukan nilai *cutoff* yang lebih panjang, dibandingkan dengan mesin yang mempunyai kecenderungan pemakanan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

Tabel 2.2 Nilai *cutoff* untuk beberapa proses pemesinan ^[6]

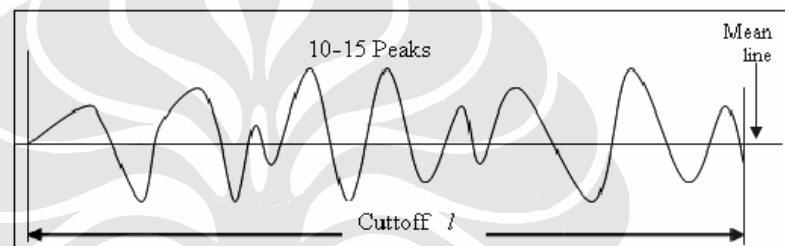
Typical Finishing Process	Cut-off (mm)				
	0.25	0.8	2.5	8.0	25
Milling		■	■	■	
Boring		■	■	■	
Turning		■	■	■	
Grinding	■				
Planing			■	■	■
Reaming		■	■	■	
Broaching		■	■	■	
Diamond Boring	■	■			
Diamond Turning	■	■			
Honing	■	■			
Lapping	■	■			
Superfinishing	■	■			
Buffing	■	■			
Polishing	■	■			
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 2.9 . Sedangkan

jumlah puncak yang disarankan yang terdapat dalam satu *cutoff* adalah sebanyak 10-15 peaks, seperti terlihat pada gambar 2.14



Gambar 2.15 Jumlah Cutoff (sampel) dalam Panjang Pengukuran^[6]



Gambar 2.16 Jumlah Puncak dalam Cutoff^[6]

2.6 PARAMETER TOPOGRAFI PERMUKAAN

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^[2]:

- *Roughness average* (Ra)

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

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

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 :

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

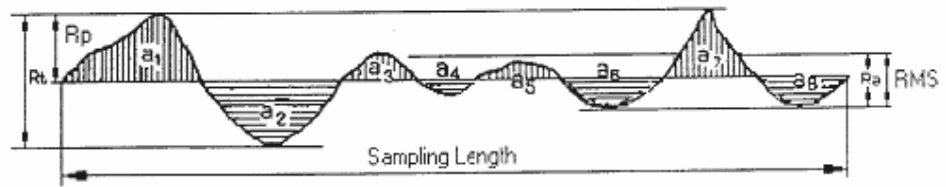
- Kedalaman total (*peak to valey roughness*):

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

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

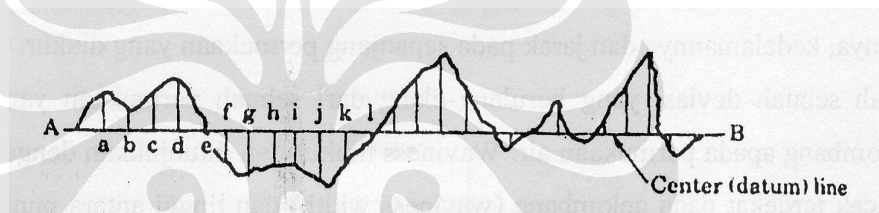
Pada persamaan di atas, nilai y_{avg} adalah nilai rata-rata dalam arah vertikal. Kemudian $y(x) - y_{avg}$ adalah deviasi dari center line average pada posisi x sembarang dalam arah yang dibaca dari $x = 0$ sampai $x = L$

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 2.17 Ilustrasi Profil Permukaan ^[10]

Garis datum AB dalam gambar 2.17 diletakan sedemikian rupa sehingga penjumlahan luas di atas garis sama dengan jumlah dari luas di bawah garis. Satuan yang digunakan untuk kekasaran permukaan biasanya μm (micrometer, atau micron) atau μin (microinch), dimana $1 \mu\text{m} = 40 \mu\text{in}$, dan $1 \mu\text{in} = 0.0025 \mu\text{m}$.



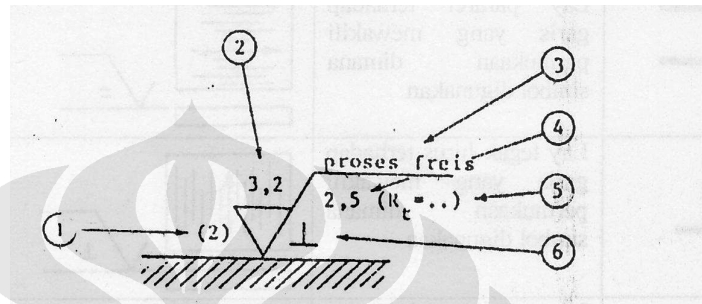
Gambar 2.18 Koordinat yang Digunakan untuk Pengukuran Kekasaran Permukaan ^[11]

Kita juga menggunakan *maximum roughness height* (R_t) sebagai sebuah ukuran kekasaran. Maksimum *roughness height* didefinisikan sebagai tinggi dari puncak paling rendah hingga yang tertinggi, seperti pada gambar 2. 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. Persamaan 1 dan 2 menunjukkan terdapat sebuah hubungan antara R_q dan R_a . Untuk sebuah kekasaran permukaan dalam bentuk sebuah kurva sinus, R_q lebih besar dari R_a oleh faktor 1.11. faktor ini adalah 1.1 untuk banyak proses permesinan yaitu *cutting*, 1.2 untuk *grinding*, dan 1.4 untuk *lapping* dan *honning*.

2.6.1 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 2.19 Simbol untuk Menyatakan Spesifikasi Suatu Permukaan^[1]

Beberapa angka dan tanda 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 gambar1 dan nilanya diletakan pada sebelah kiri dari tanda ceklis. Simbol –simbol dan artinya terlihat pada tabel 2.2 berikut ini.

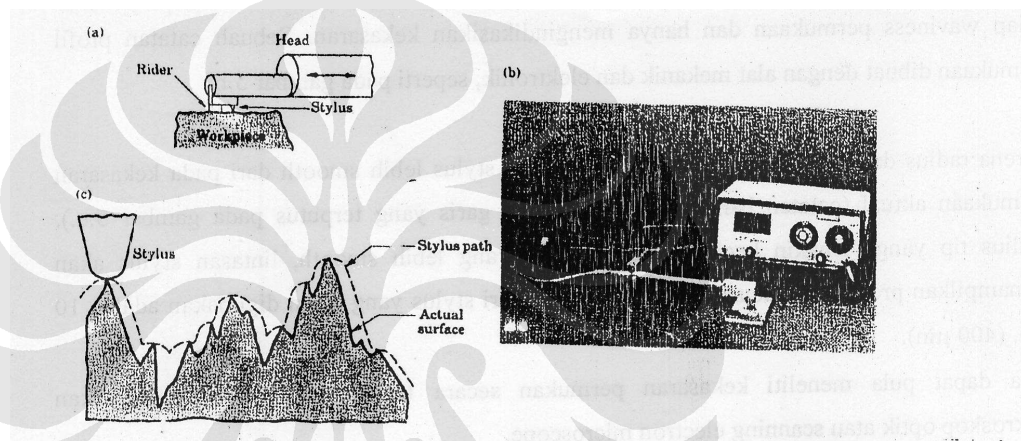
Tabel 2.3 Standar Simbol Arah Pengerjaan untuk Permukaan^[1] (modul metrologi dan pengukuran, DTM)

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	

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.

2.6.2 PENGUKURAN KEKASARAN PERMUKAAN.

Beberapa instrument 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 diamon untuk bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan. Jarak yang ditempuh oleh *stylus* dapat bervariasi dan disebut *cutoff*.

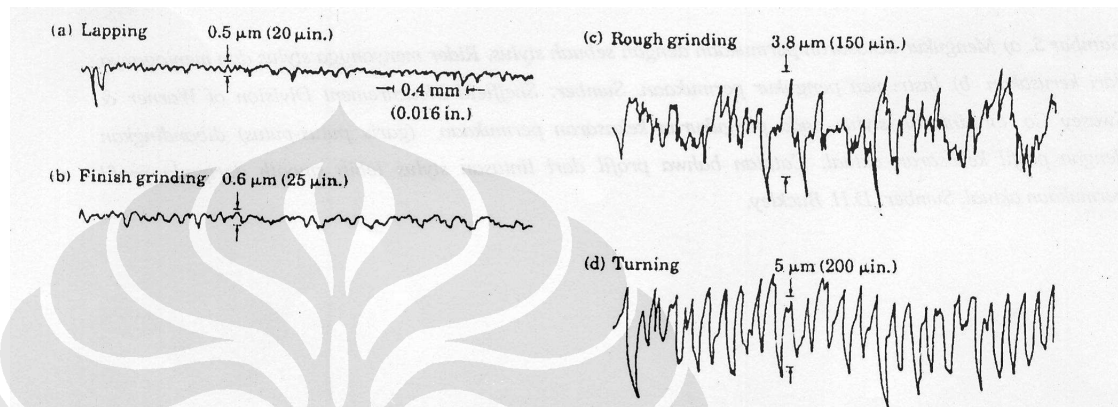


Gambar 2.20 Proses Pengukuran Kekasaran^[1]

- a) Mengukur Kekasaran Permukaan dengan Stylus.
- b) Instrument Pengukur Kekasaran Permukaan
- c) Lintasan Stylus pada Pengukuran Kekasaran Permukaan
Dibandingkan dengan Profil Kekasaran Aktual

Untuk mencatat kekasaran, jejak profilometer dicatat pada sebuah skala vertikal *exaggerated* (sebuah urutan dari *magnitude* terbesar dari skala horisontal, lihat gambar 2.20), 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.b.

Karena radius *tip stylus* terbatas, lintasan dari *stylus* lebih *smooth* dari pada kekasaran permukaan aktual (catatan bahwa lintasan dengan garis yang terputus pada gambar 2.20.c). radius *tip* yang semakin kecil dan permukaan yang lebih *smooth*, lintasan *stylus* akan menampilkan profil permukaan aktual.



Gambar 2.21 Profil Permukaan Tipikal yang Dihasilkan Oleh Proses Pemesinan dan Penyelesaian Akhir Permukaan^[1]