

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Hadi (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh antara rasio L/D pahat terhadap kekasaran permukaan dengan menggunakan pahat *endmill*. Dari penelitian tersebut dapat membuktikan bahwa pada pahat *endmill* yang memiliki nilai rasio L/D yang lebih kecil nilai kekasaran permukaan akan semakin kecil dibanding dengan L/D ratio yang lebih besar pada material Aluminium.

Zhao (2010) melakukan penelitian tentang panjang *overhang* dalam proses pemakanan benda kerja, dengan menggunakan pahat berdiameter 20 mm dan menggunakan rasio $L/D = 3, 4, 5, 6$ dan Analisa getaran pada saat proses pemakanan, *overhang* yang panjang akan menghasilkan tingkat getaran yang tinggi. Efek dari getaran yang dihasilkan akan menyebabkan permukaan menjadi buruk peningkatan *overhang tool* akan menyebabkan berkurangnya kekakuan pahat (*tool*).

Hendrawan (2010) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter pemotongan terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses *up* dan *down milling* dengan menggunakan pendekatan *vertical milling*. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa kedalaman pemakanan dan kecepatan pemakanan memiliki pengaruh positif terhadap kekasaran permukaan sedangkan kecepatan pemotongan memiliki pengaruh negatif, serta proses pemakanan *down milling* menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil dibanding *up milling*.

Arifin (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh parameter proses freis terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Dari hasil penelitian tersebut dimana *depth of cut* dapat mempengaruhi defleksi pada benda kerja, dimana semakin naik *depth of cut* maka semakin besar defleksinya sehingga dapat meningkatkan kekasaran permukaan pada benda kerja.

2.2 Proses Manufaktur

Proses manufaktur adalah proses yang dilakukan baik secara fisik atau perubahan secara kimiawi pada material benda kerja awal dengan tujuan meningkatkan nilai dan mutu dari bahan tersebut. Proses pembuatan biasanya dilakukan sebagai operasi unit,

yang berarti bahwa itu adalah satu langkah dalam urutan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengubah bahan awal menjadi produk akhir. (Kalpakjian, 2009)

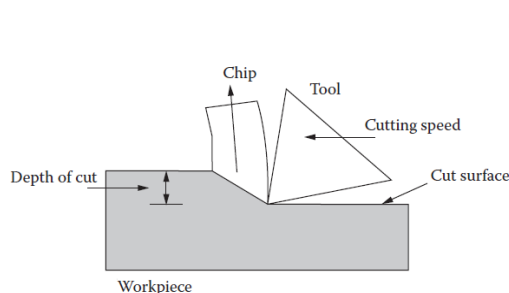
Operasi manufaktur bisa jadi dibagi menjadi dua tipe dasar: operasi pengolahan dan operasi perakitan. Operasi manufaktur mengubah bahan kerja dari suatu kondisi penyelesaian ke kondisi yang lebih maju yang mendekati hasil akhir yang diinginkan. Dan menambah nilai dengan mengubah geometri, sifat, atau tampilan bahan awal. Secara umum, operasi pengolahan dilakukan pada bagian kerja terpisah, namun pemrosesan tertentu operasi juga berlaku untuk item yang dirakit (misalnya, penggabungan body mobil dengan pengelasan). Sebuah operasi perakitan menggabungkan dua atau lebih komponen untuk membuat produk baru.

2.3 Proses Permesinan

Proses permesinan adalah istilah umum yang menggambarkan sekelompok proses yang terdiri dari *material removal* dan modifikasi permukaan benda kerja setelah diproduksi dengan berbagai metode. Dengan demikian proses permesinan merupakan proses *secondary* atau *finishing*. Material removal proses merupakan proses pembuangan sebagian material dari benda kerja. (Kalpakjian, 2009)

Salah satu bagian dari proses *machining* adalah proses *cutting*. Di alam proses cutting, mata pahat merambah sejauh *depth of cut* untuk melakukan material removal. Proses permesinan dibutuhkan dalam proses produksi. Beberapa keuntungan dari proses permesinan, adalah sebagai berikut:

1. Beragamnya jenis material benda
2. Beragamnya bentuk dan geometri benda
3. Ketelitian pengerjaan
4. Hasil *surface finishing* yang baik



Gambar 2.1 Proses *cutting*
Sumber: El-Hofy (2014,p.5)

2.4 Mesin Milling

Mesin *milling* merupakan salah satu mesin perkakas yang menggunakan pahat potong *multi-edge* untuk melakukan proses pemotongan benda kerja dengan menggunakan pisau potong yang berputar pada sumbu mesin. Pada dasarnya proses pemotongan dilakukan dengan menyayat atau memakan benda kerja menggunakan alat potong yang berputar (*multipoint cutter*). Alat potong dipasang pada sumbu utama yang diputar oleh *spindle* kemudian benda kerja dimakamkan pada alat potong.

Berdasarkan posisi *spindle* utama ada 3 jenis mesin milling, antara lain :

1. Mesin *milling universal*
2. Mesin *milling vertical*
3. Mesin *milling horizontal*

Berdasarkan fungsi penggunaan ada 5 jenis mesin milling, antara lain :

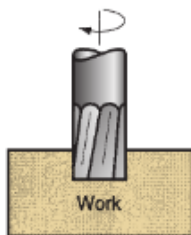
1. Mesin *milling CNC*
2. Mesin *milling planer*
3. Mesin *milling gravier*
4. Mesin *milling copy*
5. Mesin *milling hobbing*

2.4.1 Macam-Macam Proses Milling

Berdasarkan dari arah penyayatan, jenis pahat, dan posisi relatif pahat terhadap benda kerja mesin milling dibagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *End Milling*

Permukaan rata serta berbagai profil dapat dihasilkan menggunakan proses end milling. Pahat pada proses *end milling* memiliki tangkai yang lurus dan meruncing dengan berbagai ukuran. Pahat berputar pada sumbu tegak lurus terhadap benda kerja, tetapi juga dapat dimiringkan untuk melakukan *machine-tapper surface*.

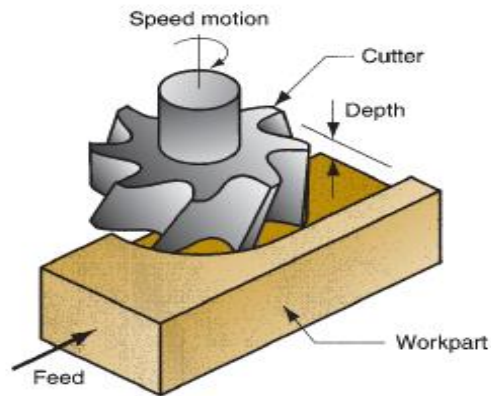


Gambar 2.2 *End Milling*

Sumber : Groover (2013,p.569)

2. Face Milling

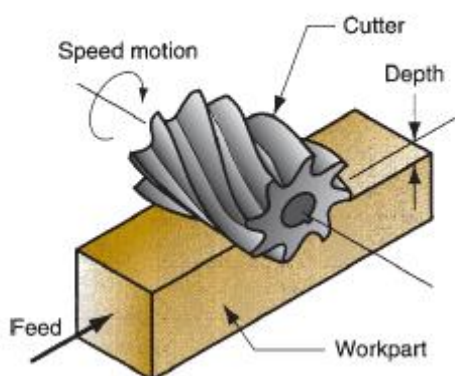
Pada *face milling*, pahat dipasang pada poros yang memiliki sumbu putar tegak lurus terhadap benda kerja. Mata pahat *face milling* tajam pada bagian tepi dan berada pada permukaan ujung dari pahat.



Gambar 2.3 Face Milling
Sumber : Groover (2013,p.567)

3. Slab Milling

Pemakanan *slab milling*, atau juga disebut *peripheral milling*, sumbu rotasi pahat sejajar dengan permukaan benda kerja. Pahat pada *slab milling* memiliki mata pahat yang lurus atau *heliks*. Mata pahat *slab milling* berada dipermukaan silindris dari pahat.



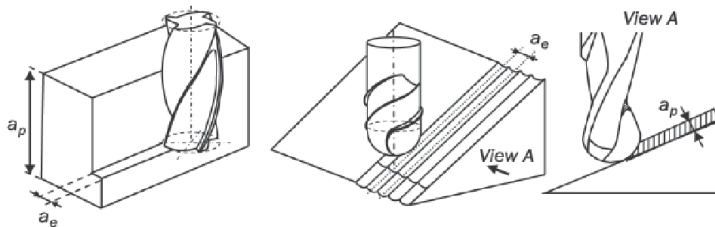
Gambar 2.4 slab Miliing
Sumber : Groover (2013,p.567)

2.4.2 Parameter Pemotongan Pada Mesin Milling

Ada beberapa parameter pemotongan yang menjelaskan berdasarkan prosesnya, diantaranya adalah:

1. Kedalaman Pemotongan (*Depth of cut*)

Terdapat dua macam *depth of cut* pada proses *milling* yaitu *axial depth of cut* (a_p) dan *radial depth of cut* (a_e), keduanya diukur dalam millimeter (mm). Baik *axial* maupun *radial depth of cut* akan berpengaruh terhadap beban yang diterima oleh mata pahat. Semakin tinggi *depth of cut*, maka beban yang diterima mata pahat akan bertambah.



Gambar 2.5 *Axial depth of cut* (a_p) dan *radial depth of cut* (a_e)
Sumber : Davim (2011, p.225)

Depth of cut akan mempengaruhi *material removal rate*. Di mana semakin besar *depth of cut* akan meningkatkan *material removal rate*. Hal ini menyebabkan hasil pengoperasian *milling* yang kasar dan meningkatnya konsumsi daya. Selain itu, menurut Arifin (2011) semakin meningkat *depth of cut* maka gaya potong meningkat sehingga akan terjadi beban bengkok yang menyebabkan perubahan defleksi hingga hasil akhir yang dicapai adalah kekasaran permukaan.

Peningkatan nilai *depth of cut* juga akan mempengaruhi getaran yang terjadi pada proses *milling* atau disebut juga *chatter*. Peningkatan *depth of cut* akan membuat proses *milling* menjadi tidak stabil, sehingga *chatter* juga akan meningkat. Peningkatan *chatter* yang terjadi pada proses *milling* akan menghasilkan kekasaran permukaan yang tinggi.

2. Ketebalan Chip

Ketebalan *chip* pada proses *milling* bergantung pada sudut putar pahat. Ketebalan *chip* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

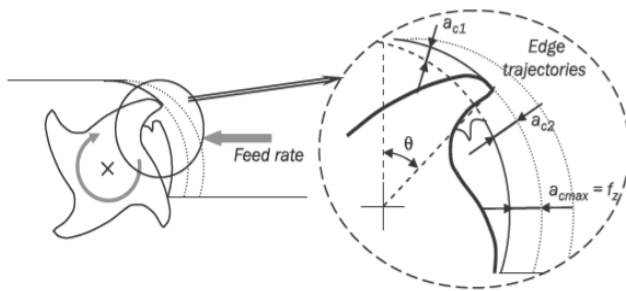
$$a_c = f_z \cdot \sin(\theta) \dots \dots \dots (2-1)$$

Dengan :

a_c = ketebalan *chip*

f_z = *feed per tooth*

θ = sudut rotasi pahat



Gambar 2.6 Ketebalan *chip* untuk beberapa sudut rotasi
Sumber: Davim (2011,p.226)

3. *Feed per tooth*

Feed per tooth didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh pahat pada satu putaran dibagi dengan jumlah sudu pahat (*cutting edges*), juga dapat diartikan sebagai tebal *chip* yang dihasilkan setiap sudu pahat.

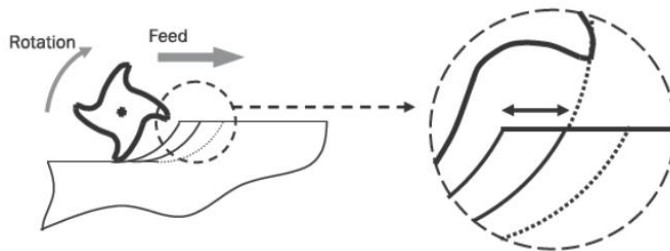
Feed per tooth berhubungan dengan *feed rate* atau kecepatan pemakanan linear dari mesin *milling* seperti pada persamaan berikut :

$$v_f = f_z \cdot z \cdot N \dots\dots\dots(2-2)$$

Dengan:

v_f = *feed rate*

f_z = *feed per tooth*



Gambar 2.7 Ilustrasi *feed per tooth* pada proses *milling*
Sumber : Davim (2011, p.223)

4. *Material Removal Rate*

Material Removal Rate (MRR) adalah jumlah material yang hilang tiap satuan waktu, secara langsung berhubungan dengan produktivitas proses. Pada proses *roughing* dan produksi masal, MRR harus dimaksimalkan. Tetapi, pada proses *finishing*, yang mengedepankan nilai kekasaran dan kepresisian MRR tidak menjadi faktor utama. Untuk kekasaran yang rendah, diperlukan *cutting speed* dan *feed per tooth* yang rendah, karena biasanya proses *finishing* membutuhkan MRR yang rendah.

Untuk menilai MRR (Q), dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Q = v_c \cdot A_c \dots\dots\dots (2-3)$$

Dengan :

Q = *Material Removal Rate*

v_c = *cutting speed*

A_c = *chip section*

Untuk *chip section* didapatkan dari persamaan berikut :

$$A_c = h \cdot b \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan :

h = ketebalan *chip*

b = lebar *chip* (biasanya sama dengan *axial depth of cut*)

Chip section berhubungan dengan gaya pemotongan dan resultan *tool force* sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$F_r = \frac{\tau_s \cdot A_c}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \gamma_{ne})} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$F_c = \frac{\tau_s \cdot A_c \cos(\beta - \gamma_{ne})}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \gamma_{ne})} \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan :

F_r = Resultan *tool force* (N)

F_c = Gaya Pemotongan (N)

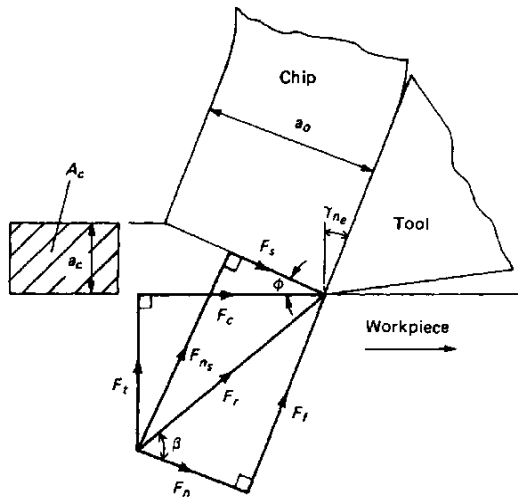
τ_s = Kekuatan geser benda kerja (N/mm²)

A_c = *Chip section* (mm²)

β = Sudut geser rata-rata pada *tool face* (arctan F_t/F_n)

γ_{ne} = *Working normal rake*

ϕ = Sudut geser



Gambar 2.8 Diagram gaya pada *orthogonal cutting*
Sumber: Boothroyd (1981, p.91)

Gaya pemotongan akan mempengaruhi besarnya amplitudo getaran yang terjadi selama proses permesinan berlangsung. Besarnya amplitudo getaran dapat mempengaruhi kualitas permukaan. Hubungan gaya pemotongan dengan amplitudo dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$a_v = \frac{F_c}{\sqrt{4C_c^2 \omega_f^2 - (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dengan :

a_v = Amplitudo Getaran (m)

F_c = Gaya Pemotongan (N)

ω_n = Frekuensi Gaya Angular (rad/s)

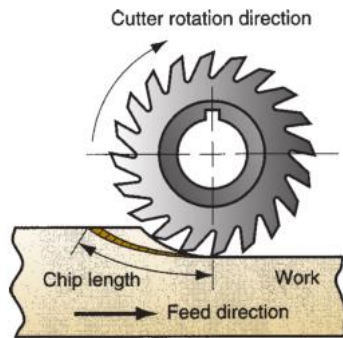
ω_f = Frekuensi Angular Natural dari sistem (rad/s)

C_c = koefisien Redaman

2.4.3 Arah Pemotongan Mesin *Milling*

Menurut arah pemakanan pada proses *milling* dibagi menjadi 2 bentuk, adalah sebagai berikut:

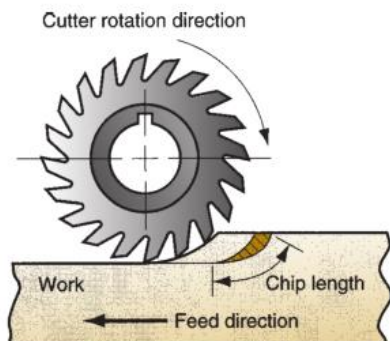
1. Pemakanan dengan metode *up milling* yaitu arah pemakanan yang dilakukan (gerak putaran *cutter*) berlawanan dengan arah gerak makan yang dilakukan oleh benda kerja.



Gambar 2.9 Up milling atau conventional milling

Sumber: Groover (2013,p.568)

2. Pemakanan dengan metode *down milling* yaitu dimana arah pemakanan (gerak putaran *cutter*) searah dengan arah gerak makan yang dilakukan oleh benda kerja.



Gambar 2.10 Down milling atau climb milling

Sumber: Groover (2013,p.568)

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

2.5 Mesin Milling TU CNC-3A

Mesin CNC (*Computer Numerically Control*) adalah mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik (data perintah dengan kode angka, huruf dan simbol) sesuai standart ISO. Sistem kerja dari mesin CNC adalah menghubungkan antara komputer dan mekanik agar sinkron. Mesin CNC lebih teliti, lebih tepat, lebih fleksibel bila dibandingkan dengan mesin perkakas yang konvensional. Selain itu, mesin CNC juga cocok untuk produksi masal. Mesin perkakas CNC dapat menunjang produksi yang membutuhkan tingkat kerumitan yang tinggi dan dapat mengurangi campur tangan

operator selama mesin beroperasi. Hasil produksi dari mesin CNC memiliki kualitas yang lebih baik dan akurat geometrinya.



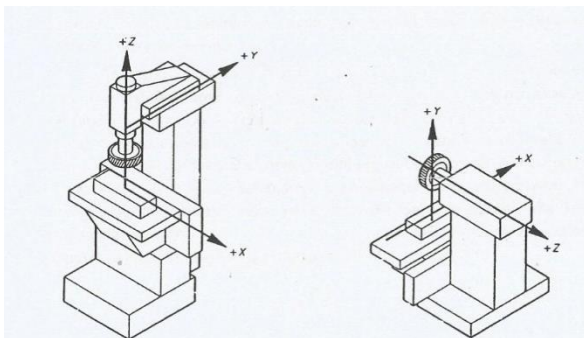
Gambar 2.11 Mesin Milling EMCO TU CNC-3A

Sumber: Laboratorium Otomasi Manufaktur Universitas Brawijaya (2017)

Pada dasarnya, mesin CNC TU-3A menggunakan sistem persumbuan koordinat Cartecius. Prinsipnya, meja kerja bergerak melintang dan horizontal sedangkan pahat berputar dan bergerak ke atas dan ke bawah. 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 2.12 Sistem Persumbuan Mesin Milling

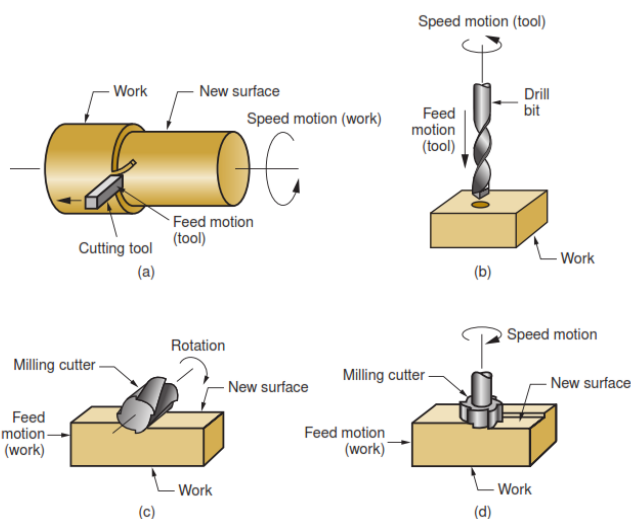
Sumber: Holebrandse (1993,p.277)

2.6 Material Removal Process

Material removal process adalah proses yang menghilangkan material dari benda kerja sehingga bentuk yang dihasilkan adalah geometri yang diinginkan. Yang paling terpenting dalam proses pergerakan relative antara benda kerja dengan tool. (Groover, 2013). Ada beberapa hal yang mempengaruhi *material removal process* diantaranya adalah:

1. Jenis Kondisi Permesinan

Kondisi permesinan memegang peran penting pada *material removal process* dikarenakan perbedaan kondisi permesinan akan mempengaruhi bentuk dan geometri benda kerja itu sendiri. Berikut beberapa jenis kondisi permesinan:



Gambar 2.13 Proses *material removal*

Sumber: Groover (2013,p.525)

2. Cutting Tool

Cutting tool termasuk faktor yang mempengaruhi *material removal process*. Dengan kondisi permesinan yang sama namun menggunakan cutting tool yang berbeda *material removal process* akan berbeda pula tergantung *tool* yang digunakan pada saat permesinan.

3. Kondisi Pemotongan (*Cutting Condition*)

Kondisi pemotongan adalah parameter pemotongan yang digunakan selama proses permesinan. Terdapat banyak parameter permesinan yang nanti akan di jelaskan pada sub-bab parameter permesinan.

2.7 Material Benda Kerja

Pada proses permesinan erat kaitanya dengan jenis material yang akan diproses. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah aluminium *alloy* 6061. Aluminium *alloy* 6061 merupakan paduan Al, Cu, Pb, Ti, Si, Cr, Mg, Fe, Zn, Mn memiliki sifat yang ringan namun kuat, fleksibel, *machinability* yang baik, dan tahan korosi. Material ini memiliki density sebesar $2,70 \text{ g/cm}^3$. Biasanya diproduksi dalam bentuk *wire*, *rod*, ataupun *bar* menara, *kano*, kereta api mobil, furnitur, jaringan pipa, dan aplikasi struktural lainnya kekuatan, kemampuan las, dan ketahanan korosi sangat dibutuhkan, dan lain-lain. Spesifikasi komposisi kimia aluminium *alloy* 6061 :

Tabel 2.1

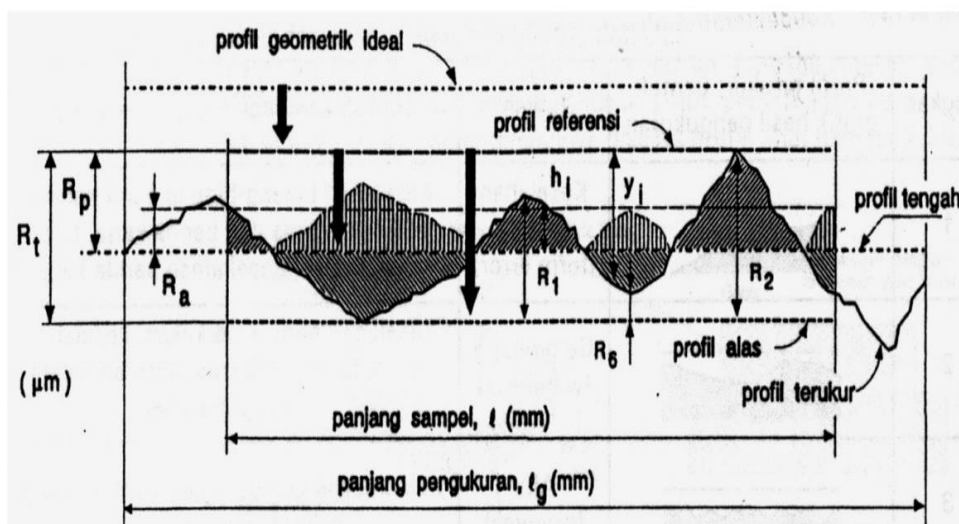
Paduan	Al (%)	Mg (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Cu (%)	Cr (%)	Ti (%)	Kandungan Lain (%)
6061	95,8- 98,6	0,8- 1,2	0,4- 0,8	Max 0,7	Max 0,15	Max 0,25	0,15- 0,4	0,04- 0,35	Max 0,15	Max 0,16

Spesifikasi *material properties* aluminium *alloy* 6061

Sumber: ASM Aerospace Specification Metals Inc. (2015)

2.8 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) adalah sebuah ketidakrataan yang terjadi pada 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. Beberapa istilah profil permukaan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.14 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) samapai 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*), R_a (μm)
Merupakan harga rata-rata aritmetis dari harga absolute antara profil terukur dengan profil profil tengah.

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

1. Tingkatan pertama adalah ketidakaturan 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.

Setiap proses permesinan akan menghasilkan nilai Ra yang berbeda-beda, hal ini karena beberapa faktor seperti kondisi pemotongan, bentuk pahat, geometri dari pahat, kapasitas dari mesin yang digunakan, dan lain-lain. Kisaran kekasaran permukaan pada macam-macam proses manufaktur dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

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

1. Jenis, bentuk, material, dan ketajaman alat potong.
2. Tingkat kekerasan dari material benda kerja.
3. Terjadinya getaran saat proses pemotongan berlangsung.
4. Kondisi pemotongan dari mesin perkakas yang digunakan.
5. Laju pemakanan (*feeding*) dan radius ujung pahat (*nose radius tool*)

Persamaan dari nilai kekasaran adalah sebagai berikut :

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l [h_i] dx \dots\dots\dots (2-8)$$

Dengan :

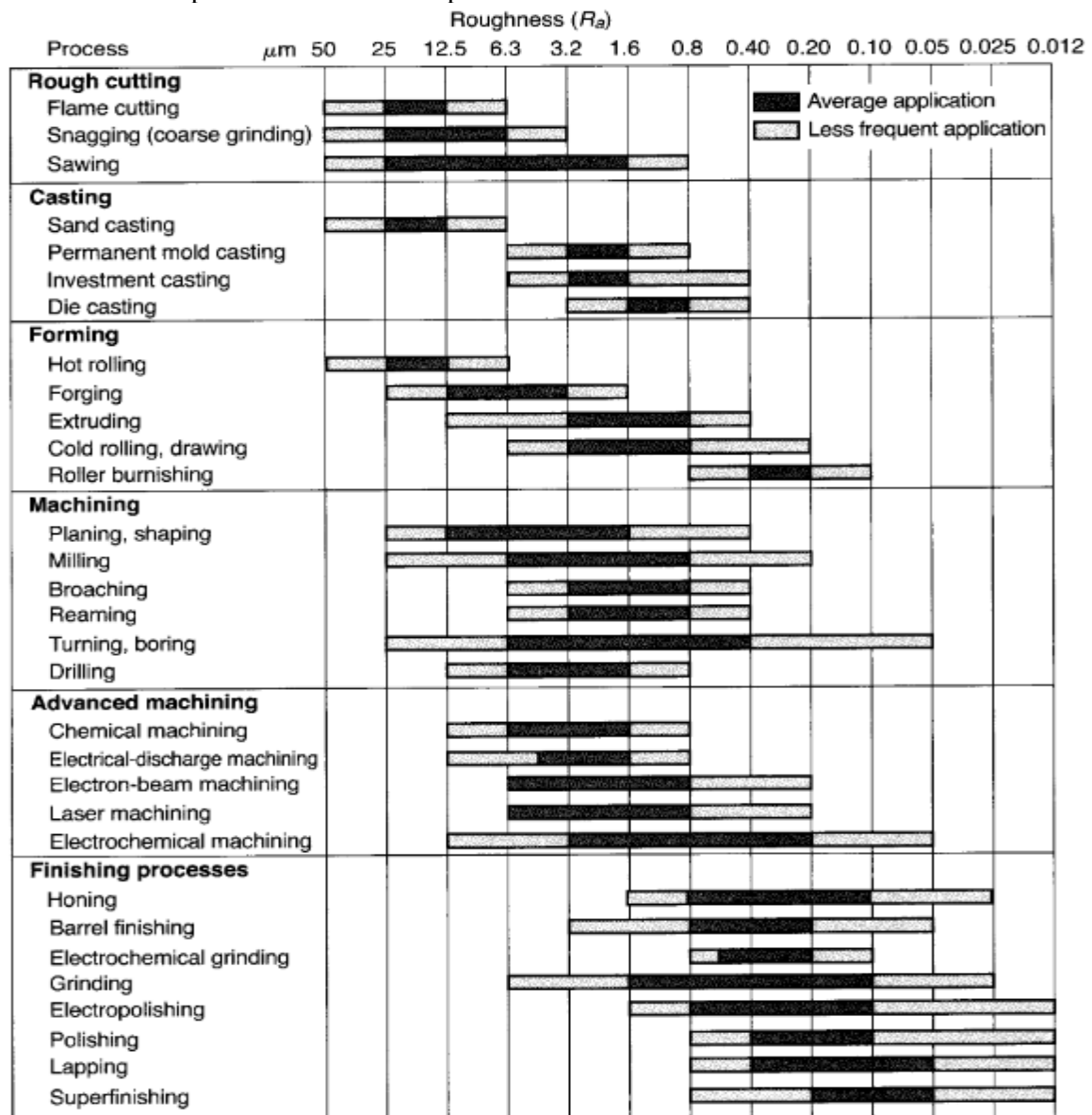
Ra = Kekasaran permukaan rata-rata aritmetis (Ra)

l = Panjang sampel (mm)

h_i = Profil referensi

Tabel 2.2

Kisaran nilai Ra pada macam-macam proses manufaktur

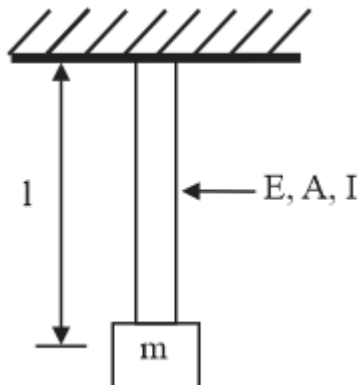


Sumber: Kalpakjian (2009,p.636)

2.9 Kekakuan batang

Kekakuan (*Stiffness*) adalah sifat bahan yang mampu renggang pada tegangan tinggi tanpa diikuti regangan yang besar. Ini merupakan ketahanan terhadap deformasi. Kekakuan bahan merupakan fungsi dari modulus elastisitas E . Sebuah material yang mempunyai nilai modulus elastisitas tinggi seperti baja akan berdeformasi lebih kecil terhadap beban daripada material dengan nilai E lebih rendah. Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil

Jepit merupakan tumpuan yang dapat menerima gaya reaksi vertical, gaya reaksi horizontal dan momen akibat jepitan dua penampang. Tumpuan jepit ini mampu melawan gaya dalam setiap arah dan juga mampu melawan suatu kopel atau momen. Secara fisik, tumpuan ini diperoleh dengan membangun sebuah balok ke dalam suatu dinding batu bata. Mengecornya ke dalam beton atau mengelas ke dalam bangunan utama. Suatu komponen gaya dan sebuah momen.



Gambar 2.15 Batang kantilever
Sumber: Didik (2015,p.15)

$$K = \frac{3EI}{l^3} \dots\dots\dots(2-9)$$

Dengan :

E = modulus elastisitas

I = momen inersia

l = Panjang pahat

Dari persamaan kekakuan $K = \frac{3EI}{l^3}$ dimana akan didapatkan hubungan *overhang tool* (l), rasio L/D dan (K) kekakuan pahat, jadi semakin minimum nilai (l) (*overhang tool*) maka rasio L/D akan semakin kecil dan (K) kekakuan pada pahat akan semakin besar, apabila (K) kekakuan semakin besar tujuannya adalah agar pahat stabil ketika proses pemakanan benda kerja berlangsung karena perpindahan transversal pahat semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin kecil.

2.10 Rasio L/D pahat

Rasio L/D adalah dimana L adalah Panjang dari tool holder sampai ujung mata pahat dimana D adalah diameter pahat, maka akan didapatkan nilai rasio L/D sebagai contoh :

- Rasio L/D = 3 $\longrightarrow$ $30/10 = 3$
- Rasio L/D = 4 $\longrightarrow$ $40/10 = 4$
- Rasio L/D = 5 $\longrightarrow$ $50/10 = 5$
- Rasio L/D = 6 $\longrightarrow$ $60/10 = 6$

Tabel 2.3
Rasio L/D

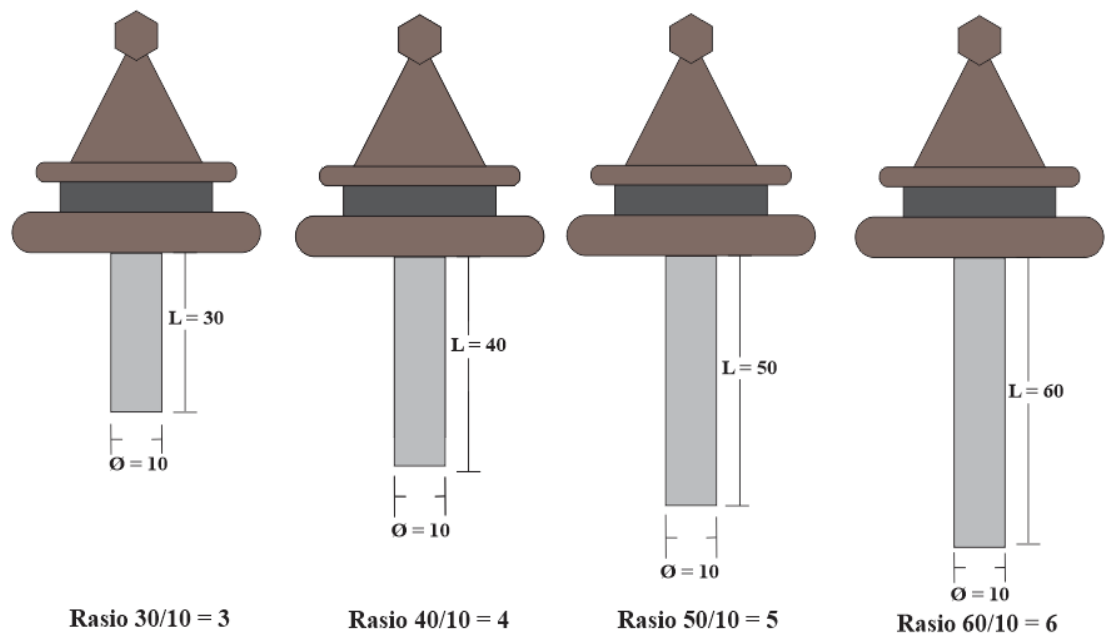
L/D	L (mm)
3	24
4	32
5	40
6	48

Sumber: Zhao (2010)

Dengan :

L = Panjang

D = Diameter



Gambar 2.16 Rasio L/D pahat (satuan : mm)

2.11 Getaran Pada proses *Milling*

Pada proses permesinan, salah satu parameter yang diperhatikan adalah kekakuan mesin. Khususnya pada proses *milling*, kekakuan yang rendah akan menimbulkan getaran pada *cutting tool*. Getaran yang terjadi pada proses *milling* akan mempengaruhi kualitas suatu produk dan operasi permesinan itu sendiri, seperti akurasi dan dimensi produk yang tidak sesuai, permukaan yang kasar, pahat menjadi mudah aus, bahkan dapat menimbulkan kerusakan pada komponen mesin. Untuk itu, getaran pada proses *milling* harus dihindari.

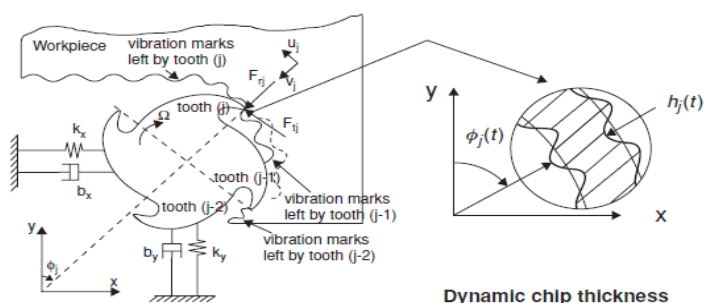
Getaran pada proses *milling* terbagi menjadi dua macam, yaitu:

1. *Forced vibration* (Getaran Paksa)

Getaran paksa pada proses *milling* terjadi karena adanya rangsangan gaya pada saat proses permesinan berlangsung, dimana gaya tersebut berosilasi sehingga sistem dipaksa bergetar pada frekuensi rangsangan. Getaran paksa dapat disebabkan karena ketidakseimbangan atau cacat pada komponen mesin, adanya getaran pada mesin lain yang ditransmisikan melalui rantai area kerja, adanya *misalignment* pada komponen mesin, dan lain-lain.

2. Getaran Tereksitasi (*Self-excited Vibration*)

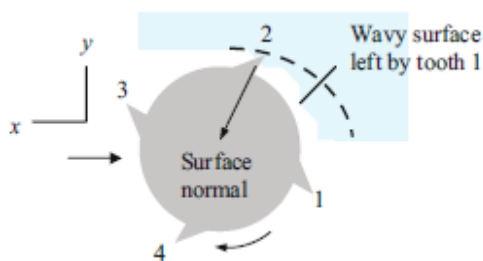
Self-excited vibration terjadi akibat adanya gaya yang mengeksitasi sistem sehingga sistem dapat bergetar, namun gaya tersebut muncul karena mekanisme gerak dari sistem itu sendiri. Pada proses *milling*, *tooth* pada pahat akan memotong permukaan yang sebelumnya telah terpotong oleh *tooth* sebelumnya. Ketebalan *chip* yang sebenarnya yang dipotong oleh *tooth* sebelumnya bergantung pada posisi *tooth* saat itu. Ketebalan *chip* akan mempengaruhi gaya pemotongan. Jika gaya pemotongan yang terjadi berosilasi, maka *tool* akan tereksitasi untuk mengalami getaran yang mendekati frekuensi natural dari sistem. Getaran semacam ini disebut sebagai *chatter*.



Gambar 2.17 Permodelan *chatter* pada proses *milling*
Sumber: Altintas (2012,p.150)

2.12 Regenerative Chatter

Regenerative chatter merupakan jenis getaran tereksitasi (*self-excited vibration*), terjadi ketika *tooth* memotong permukaan yang sebelumnya telah terpotong oleh *tooth* yang lain. Jika *tooth* yang sebelumnya bergetar, maka permukaan benda kerja akan bergelombang, sehingga *tooth* yang berikutnya akan menghasilkan ketebalan *chip* yang berbeda dan gaya pemotongan yang berbeda-beda akan dihasilkan selama proses permesinan berlangsung. Gaya pemotongan yang berbeda-beda ini akan mengeksitasi sistem, meningkatkan getaran dan permukaan yang dihasilkan akan bergelombang. Mekanisme seperti ini akan menghasilkan suatu siklus yang menyebabkan peningkatan ketebalan *chip* dan getaran yang disebut mekanisme *regenerative* (Davim, 2011).



Gambar 2.18 Ilustrasi proses pemotongan yang menyebabkan *regenerative chatter*.
Sumber: Schmitz (2009,p.114)

Efek yang biasa terjadi jika *chatter* dibiarkan ialah efek regenerative. Dimana jika mata mata potong bergetar, membuat permukaan benda kerja menjadi bergelombang, sehingga mata potong selanjutnya akan menghasilkan ketebalan *chip* yang berbeda dan gaya pemotongan yang berbeda-beda selama proses permesinan berlangsung. Gaya pemotongan yang berbeda-beda ini akan mengeksitasi sistem, meningkatkan getaran dan permukaan yang dihasilkan akan bergelombang.

2.13 Prinsip kerja vibration meter

Vibration Meter adalah alat uji atau instrument yang berfungsi untuk mengukur getaran sebuah benda, misalnya motor, pompa, *screen*, atau benda bergetar lainnya terutama dalam dunia industri. Cara kerja produk ini adalah dengan menempelkan *vibration sensor* atau *magnetic base* nya ke benda/mesin yang akan di ukur, lalu *magnetic base* mengirimkan data melalui kabel ke unit pembaca dengan demikian *vibration meter* menunjukkan nilai kuatnya getaran pada benda atau mesin yang di ukur, maka sesuatu yang tidak normal pada mesin dapat dideteksi sebelum kerusakan besar terjadi.

Cara yang dilakukan adalah pengukuran getaran dengan *vibration* Meter lalu disesuaikan dengan nilai batas yang telah ditentukan. Dari beberapa tester di bawah ini perangkat analisis *vibration* meter terbagi dalam beberapa tipe yaitu:

1. Sensor Getaran, Secara konseptual, sensor getaran berfungsi untuk mengubah besar signal getaran fisik menjadi sinyal getaran *analog* dalam besaran listrik dan pada umumnya berbentuk tegangan listrik.
2. *Dinamic Signal Analyzer* (DSA), merupakan getaran mesin dalam kombinasi kompleks dari sinyal yang berasal dari berbagai sumber getaran mesin didalam mesin

1. Sensor Getaran

Sensor getaran ini memegang peranan penting dalam kegiatan pemantauan sinyal getaran karena terletak di sisi depan (*front end*) dari suatu proses pemantauan getaran mesin. Secara konseptual, sensor getaran berfungsi untuk mengubah besar sinyal getaran fisik menjadi sinyal getaran analog dalam besaran listrik dan pada umumnya berbentuk tegangan listrik. Pemakaian sensor getaran ini memungkinkan sinyal getaran tersebut diolah secara elektrik sehingga memudahkan dalam proses manipulasi sinyal, diantaranya :

- a. Pembesaran sinyal getaran
- b. Penyaringan sinyal getaran dari sinyal pengganggu
- c. Penguraian sinyal, dan lainnya

Sensor getaran dipilih sesuai dengan jenis sinyal getaran yang akan dipantau. Karena itu, sensor getaran dapat dibedakan menjadi :

- a. Sensor penyimpangan getaran (*displacement transducer*)
- b. Sensor kecepatan getaran (*velocity transducer*)
- c. Sensor percepatan getaran (*accelerometer*)

Pemilihan sensor getaran untuk keperluan pemantauan sinyal getaran didasarkan atas pertimbangan berikut :

- a. Jenis sinyal getaran.
- b. Rentang frekuensi pengukuran.
- c. Ukuran dan berat objek getaran.
- d. Sensitivitas sensor.

Berdasarkan cara kerjanya sensor dapat dibedakan menjadi :

- a. Sensor aktif, yakni sensor yang langsung menghasilkan tegangan listrik tanpa perlu satu daya (*power supply*) dari luar, misalnya *Velocity Transducer*.
- b. Sensor pasif yakni sensor yang memerlukan satu daya dari luar agar dapat berkerja.

c. Satu daya yang digunakan pada umumnya dikemas dalam bentuk alat yang dinamai *Conditioning Amplifier*.

2. *Dynamic Signal Analyzer (DSA)*

Penerapan analisis getaran mesin telah dibuat mudah dengan adanya instrument yang disebut *Dynamic Signal Analyzer (DSA)*. Getaran mesin merupakan kombinasi kompleks dari sinyal yang berasal dari berbagai sumber getaran mesin didalam mesin, Dengan DSA, getaran tersebut dapat diuraikan atas komponen-komponennya, misalnya rotor yang tidak balance, bantalan yang cacat dan meshing dari roda gigi, masing-masing pada frekuensi yang unik. Dengan menampilkan amplitudo getaran sebagaifungsi frekuensi (spektrum getaran) maka, DSA memungkinkan identifikasi sumber getaran. DSA juga dapat memperlihatkan simpanagn getaran sebagai fungsi waktu, suatu format yang sangat berguna untuk mengamati getaran *implusive* (misalnya yang dihasilkan oleh roda gigi yang ”cuwil”).

Perangkat analisis yang umum digunakan untuk keperluan pemantauan sinyal getaran adalah DSA atau penganalisis sinyal dinamik yang berkerja dengan konsep digital.

Keuntungan utama peralatan digital ini adalah :

- a. Fleksibilitas dalam pengolahan data
- b. Waktu pengolahan relatif cepat (*order milisecond*)

Secara konseptual prinsip kerja penganalisis ini adalah sebagai berikut :

- a. Anti *aliasing filter*, pada tahap ini sinyal analog dimasukan dalam *low pass filter* (LPF) untuk mencegah terjadinya kesalahan aliasing atau pelipatan frekuensi
- b. Konversi sinyal analog untuk menjadi digital, ADC (*Analog to Digital Converter*).
- c. Koreksi data digital dengan fungsi jendela, proses window ini dimasukkan untuk mencegah semaksimal mungkin kebocoran spektrum, karena hal ini mempengaruhi ketelitian frekuensi dan amplitudonya
- d. Konversi data domain waktu ke domain frekuensi, proses ini dilakukan dengan menggunakan algoritma transformasi faurier cepat, FFT (*Fast fourier Transform*).

DSA dapat dibedakan menjadi :

- a. DSA, *portable*, umumnya jumlah kanal ada 2 buah sehingga disamping untuk pemantauan getaran mesin dapat juga untuk mengukur fungsi respon frekuensi (FRF). DSA jenis ini menggunakan catu daya baterai atau *adaptor* untuk sumber listriknya sehingga sangat praktis untuk keperluan dilapangan.

- b. DSA *Benchop*, DSA tipe ini bisa terdiri atas satu kanal, dua kanal, atau empat kanal. Catu daya berasal dari jala-jala listrik sehingga tidak fleksibel untuk pemakaian dilapangan. Kemampuan pengolahan data lebih lanjut, lebih kompleks dari DSA Portable. DSA type ini umumnya dilengkapi juga dengan generator pembangkit sinyal.
- c. DSA berbasis komputer, DSA type ini memiliki perangkat, yaitu ;
 - Mainframe, bagian ini berfungsi untuk akurisasi sinyal getaran dan pengolahan data awal.
 - Komputer, bagian ini berfungsi untuk pengolahan data lanjutan serta penayangan data.



Gambar 2.19 Vibration meter

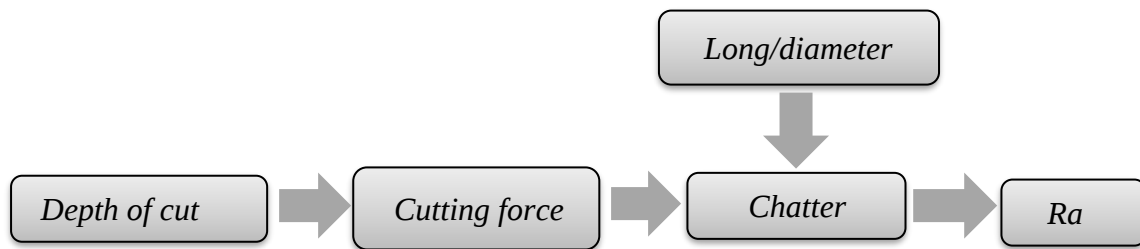
Sumber : Laboratorium Otomasi Manufaktur Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2017)

2.14 Kerangka konsep pemikiran

Dari tinjauan pustaka dijelaskan bahwa semakin kecil nilai *depth of cut* pada proses *slot milling* akan mempengaruhi nilai *chip section*, dimana nilai *chip section* akan mempengaruhi besarnya gaya pemotongan. Semakin kecil kedalaman pemotongan, maka *chip section* yang dihasilkan akan lebih kecil dengan melihat persamaan (2-4), sehingga gaya pemotongan yang terjadi juga semakin kecil dengan melihat persamaan (2-6). gaya pemotongan yang terjadi pada proses permesinan mempengaruhi amplitudo getaran. dimana jika gaya pemotongan menurun maka amplitudo getaran juga akan menurun sesuai dengan persamaan (2-7). Amplitudo getaran yang besar akan mempengaruhi timbulnya *chatter* pada proses permesinan. *Chatter* pada proses permesinan dapat mempengaruhi kualitas permukaan benda, terutama pada kekasaran permukaan.

Selain proses permesinan *depth of cut*, rasio *L/D* juga berpengaruh terhadap hasil kualitas kekasaran permukaan benda kerja yang dihasilkan, dimana pahat dengan benda kerja mengalami kontak langsung. Dari persamaan kekakuan $K = \frac{3EI}{l^3}$ dimana akan didapatkan hubungan *overhang tool* (*l*), rasio *L/D* dan (*K*) kekakuan pahat, jadi semakin

minimum nilai (l) (*overhang tool*) maka rasio L/D akan semakin kecil dan (K) kekakuan pada pahat akan semakin besar, apabila (K) kekakuan semakin besar tujuannya adalah agar pahat stabil ketika proses pemakanan benda kerja berlangsung karena perpindahan transversal pahat semakin kecil, dan *chatter* yang ditimbulkan akan semakin kecil sehingga nilai (R_a) kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin menurun.



Gambar 2.20 Alur Kerangka Berpikir

2.15 Hipotesis

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

1. Semakin kecil nilai rasio L/D , akan mengurangi *chatter* yang terjadi, sehingga nilai kekasaran permukaan akan menurun.
2. Semakin rendah nilai dari *depth of cut*, maka nilai kekasaran permukaan akan semakin menurun.

