



Skripsi

ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA PROSES PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT VARIASI SUDUT PAHAT



Disusun Oleh :

AZIZUL

D021 17 1508

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



SKRIPSI

**ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA PROSES
PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT VARIASI SUDUT**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

Disusun dan diajukan oleh

AZIZUL

D021171508

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA PROSES
PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT VARIASI SUDUT**

Disusun dan diajukan oleh

**AZIZUL
D021171508**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 25 Juli 2024

Menyetujui,
UNIVERSITAS HASANUDDIN

Pembimbing Utama,



Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T.

NIP. 19750322 200212 1 001

Pembimbing Pendamping,



Fauzan, S.T., M.T., Ph.D

NIP 19770103 200801 1 009

Ketua Departemen Teknik Mesin



Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T.

NIP 19770707 200501 1 001





PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Azizul
NIM : D021171508
Departemen : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA
PROSES PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT
VARIASI SUDUT”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 25 Juli 2024

Yang membuat Pernyataan,

Azizul



ABSTRACT

Azizul, *Analysis of the Relationship Between Vibration and Surface Roughness in the Turning Process of AISI 4140 Steel Due to Tool Angle Variations* (supervised by Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T. and Fauzan, S.T., M.T., Ph.D.).

This research aims to investigate the relationship between vibrations caused by variations in the machining process used and the surface roughness of the turning results. The material used in this study is AISI 4140 steel in the form of cylinders with diameters of 25 mm and 16 mm. Tool angles are varied at 75°, 80°, 85°, and 90°. Spindle speed is set at 300 rpm. Cutting depth is 0.5 mm, and feed rate is 0.08 mm/rev. The vibration measuring instrument used is the VibXpert2. Surface roughness is measured with a metallographic microscope model Lext Olympus-OLS4100.

The results show that the vibrations produced are directly proportional to the tool angle used; as the cutting angle increases, so does the vibration produced. Similarly, the relationship between vibrations and surface roughness of the turning results indicates that higher vibrations during the turning process result in greater surface roughness. The highest surface roughness value was obtained with a cutting angle of 90°, where the 25 mm diameter produced a vibration of 2.85 m/s and a roughness of 8.72 μm . For the 16 mm diameter, the vibration was 1.98 m/s and the roughness was 7.21 μm . The lowest surface roughness value was achieved with a cutting angle of 75°, where the 25 mm diameter produced a vibration of 0.67 m/s and a roughness of 3.77 μm . For the 16 mm diameter, the vibration was 0.30 m/s and the roughness was 4.36 μm .



ABSTRAK

Azizul, *analisis hubungan getaran dan kekasaran pada proses pembubutan material baja aisi 4140 akibat variasi sudut pahat* (dibimbing oleh Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T. dan Fauzan, S.T., M.T., Ph.D).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan getaran akibat variasi permesinan yang digunakan dengan tingkat kekasaran hasil pembubutan. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 4140 berbentuk silinder dengan diameter 25 mm dan 16 mm. Variasi sudut pahat 75°, 80°, 85°, dan 90°. Putaran spindel 300 rpm. Kedalaman pemotongan 0,5 mm. Kecepatan makan 0,08 mm/put. Alat pengukur getaran yang digunakan yaitu VibXpert2. Kekasaran permukaan diukur dengan mikroskop metalografi model lext olympus-ols4100. Hasil penelitian menunjukkan bahwa getaran yang dihasilkan berbanding lurus dengan variasi sudut yang digunakan, semakin besar sudut potong yang digunakan semakin besar pula getaran yang dihasilkan, begitupun dengan hubungan getaran dengan kekasaran permukaan hasil pembubutan, semakin besar getaran pada proses pembubutan maka semakin besar pula nilai kekasaran permukaan hasil pembubutan material. Nilai kekasaran tertinggi diperoleh dari sudut potong 90°, pada diameter 25 mm menghasilkan getaran 2,85 m/s dan kekasaran 8,72 μm . Pada diameter 16 mm menghasilkan getaran 1,98 m/s dan kekasaran 7,21 μm . Nilai kekasaran terendah di peroleh dari sudut potong 75°, pada diameter 25 mm menghasilkan getaran 0,67 m/s dan kekasaran 3,77 μm . Pada diameter 16 mm menghasilkan getaran 0,30 m/s dan kekasaran 4,36 μm .



KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Puji Syukur senantiasa kita panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wata'ala, karena atas kehendak-Nya penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula shalawat beserta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wasallam*, manusia yang menjadi panutan kita menjalani kehidupan di dunia ini. Dengan izin dan rahmat dari Allah semata penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: **ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA PROSES PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT VARIASI SUDUT** untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama dan Bapak Fauzan, S.T., M.T., Ph.D selaku Pembimbing Pendamping yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada penelitian ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Alimuddin dan Asma beserta seluruh keluarga penulis yang telah menjadi sumber semangat dan motivasi penulis selama ini.
2. Partner penelitian Ruslan dan syarfiansah yang selalu memberikan bantuan, semangat dan motivasi kepada penulis.
3. Yth. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
4. Yth Bapak Prof. Dr.Eng Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Yth. Bapak Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah menyetujui dan menerima tugas akhir penulis.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah mendidik, mengajarkan, dan membagikan ilmu serta



pengetahuannya sehingga penulis semakin paham akan bidang ilmu teknik terkhusus pada bidang Teknik mesin

7. Staf Departemen Teknik Mesin, terkhusus Kak Yaya, Kak Sita, Ibu Suri dan juga Bapak Arham yang telah banyak membantu.
8. Teman-teman Asisten Laboratorium Teknologi Mekanik yang setia menemani selama masa pengambilan data dan penulisan tugas akhir.
9. Saudara-saudara seperjuangan mahasiswa Departemen Teknik Mesin Angkatan 2017 ZYNCROMEZH'17 yang telah memberi semangat, dukungan, maupun doa dan kerja sama yang sudah dijalani selama ini semoga kiranya kesuksesan selalu menyertai teman-teman sekalian.
10. Kanda-kanda senior serta adik-adik tingkat yang telah memberi bantuan selama proses perkuliahan maupun masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tak sempat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang yang turut bersukacita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan kekeliruan penulis serta masih jauh akan kata sempurna. Segala kekurangan dan kekeliruan berasal dari penulis yang hanya seorang manusia biasa dan Semua kebenaran berasal dari Allah SWT semata, Tulisan ini masih butuh akan sentuhan kritik, dan saran. Maka dari itu penulis memohon maaf atas kesalahan didalamnya dan semoga kebenaran yang ada dapat membantu untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Gowa, 25 Juli 2024

Azizul



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iiiv
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR -----	xi
DAFTAR TABEL -----	ixii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian	2
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Manfaat penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Proses Permesinan	4
2.2 Mesin Bubut	6
2.3. Pahat bubut	9
2.4. Baja AISI 4140	13
2.5. <i>Surface Roughness</i> (Kekasaran Permukaan)	14
2.6. Getaran Mekanik.....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	23
3.3 Metode Pengambilan Data.....	27
3.4 Variabel Penelitian	27



3.5 Pelaksanaan Penelitian	27
3.6 Flowchart Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Hasil Pengambilan Data Getaran pada Proses Pembubutan.....	31
4.2 Hasil pengambilan data kekasaran permukaan hasil pembuubutan	31
4.3 Hubungan variasi sudut pahat dan getaran	32
4.4 Hubungan variasi sudut pahat dan kekasaran.....	33
4.5 Hubungan getaran dan kekasaran permukaan	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
DOKUMENTASI.....	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Komponen mesin bubut (Gupta, & Mittal, 2009)	6
Gambar 2. 2 Arah mesin bubut (Ariyanto, 2017)	7
Gambar 2. 3 Bagian-bagian utama mesin bubut (ryan, 2011)	7
Gambar 2. 4 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581 (Sutopo, 2007)..	10
Gambar 2. 5 Variasi komponen dan parameter dari kekasaran permukaan permesinan (coudhury, 1995)	15
Gambar 2. 6 Tekstur permukaan benda kerja (Rochim, 1993)	16
Gambar 2. 7 Lambang kekasaran permukaan (Azhar, 2014).....	16
Gambar 2. 8 Elemen getaran (Dewanto, 1999).....	19
Gambar 2. 9 Gelombang getaran (Hermawan, 1990)	20
Gambar 3. 1 Mesin bubut.....	23
Gambar 3. 2 Jangka sorong.....	23
Gambar 3. 3 Kunci L.....	24
Gambar 3. 4 Kunci <i>chuck</i>	24
Gambar 3. 5 Kunci bubut	24
Gambar 3. 6 Kuas.....	25
Gambar 3. 7 Gurinda.....	25
Gambar 3. 8 Alat metalografi.....	25
Gambar 3. 9 <i>Holder</i> MTJNR	26
Gambar 3. 10 Pahat sisipan karbida TNMG160404-MA UE6020	26
Gambar 3. 11 Baja AISI 4140.....	26
Gambar 3. 12 <i>VIBXpert2</i>	27
Gambar 3. 13 Variasi sudut potong pahat.....	29
Gambar 3. 14 Diagram alir penelitian.....	30
Gambar 4. 1 Perbandingan variasi sudut pahat dan getaran	32
Gambar 4. 2 Perbandingan variasi sudut dan kekasaran.....	33
Gambar 4. 3 Perbandingan getaran dan kekasaran	34



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi baja AISI 4140 (Linkun, 2017).....	13
Tabel 2. 2 Sifat mekanis baja AISI 4140 (Linkun, 2017)	14
Tabel 2. 3 Angka Kekasaran permukaan (Azhar, 2017).....	17
Tabel 2. 4 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan (Adzkari, 2017)	18



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia industri manufaktur sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, hal tersebut berdampak pada peningkatan kuantitas produksi yang dihasilkan. Sehingga proses manufaktur akan menjadi lebih efisien. Kualitas produksi juga mengalami peningkatan seiring berkembangnya mesin-mesin produksi. Kualitas hasil produksi merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan terutama pada produksi komponen-komponen mesin. Salah satu proses utama dalam produksi komponen mesin adalah pengerjaan logam *metal work*. Adanya mesin perkakas membuat proses pengerjaan logam semakin efisien serta memiliki ketelitian yang tinggi. (Indra lesmono dan Yunus, 2013).

Salah satu mesin perkakas yang paling sering di gunakan dalam pengerjaan logam pada proses permesinan adalah mesin bubut. Mesin bubut adalah mesin perkakas yang bekerja dengan cara mengurangi dimensi benda kerja yang diputar. Prinsip kerja mesin bubut yaitu dengan memutar benda kerja pada spindelnya kemudian di sayat oleh pahat yang di gerakkan secara melintang dan memanjang.

Hasil produksi mesin bubut memiliki kualitas yang dapat dilihat dari ketelitian dimensi benda kerja, ketelitian bentuk dan tingkat kehalusan permukaan hasil pembubutan, hal tersebut berkaitan dengan ketelitian dari mesin bubut yang digunakan. (Indrawan A dan Aziz, 2010)

Pada proses pembubutan, getaran terjadi karena gesekan antara benda kerja dan alat potong. Konsekuensinya, unjuk kerja dari mesin sangat tergantung pada getaran akibat proses pemotongan, yang mana keadaan tanpa getaran adalah keadaan idealnya. Laju kerusakan dan ketidakakuratan yang meningkat pada penggunaan mesin perkakas dapat ditentukan lewat memonitor getaran (Fang, Pai and Mosquea, 2011). Keadaan getaran pada proses permesinan tentunya akan mempengaruhi tingkat kekasaran hasil pembubutan benda kerja yang akan berdampak pada kualitas hasil produksi.

Salah satu material yang sering digunakan dalam sebagai komponen mesin adakah baja,. Salah satu dari sekian banyak jenis baja adalah baja AISI 4140 yang



tergolong dalam baja paduan karbon sedang yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti *gear*, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri. Baja karbon sedang merupakan salah satu material yang banyak diproduksi dan digunakan untuk membuat alat- alat atau bagian-bagian mesin, karena baja karbon sedang memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, sedikit ulet (*ductile*) dan tangguh (*toughness*). (Bambang & Ari, 2018)

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan dengan menitik beratkan pada pengaruh getaran terhadap kekasaran material pada proses pembubutan material Baja AISI 4140. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang **“ANALISIS HUBUNGAN GETARAN DAN KEKASARAN PADA PROSES5 PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 4140 AKIBAT VARIASI SUDUT PAHAT”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah Berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan diameter dan variasi sudut pahat dengan getaran pada proses pembubutan material baja AISI 4140?
2. Bagaimana pengaruh getaran terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140?
3. Bagaimana kualitas hasil pembubutan material baja AISI 4140 akibat pengaruh variasi sudut pahat?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan permasalahan diatas, terdapat pula tujuan dalam penelitian ini, yakni:

1. Untuk menganalisis hubungan diameter dan variasi sudut pahat dengan getaran pada proses pembubutan material baja AISI 4140.
2. Untuk menganalisis pengaruh getaran terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 4140 dengan variasi sudut pahat.
3. Untuk menganalisis kualitas hasil pembubutan material baja AISI 4140 akibat pengaruh variasi sudut pahat.



1.4 Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 4140.
2. Benda kerja yang digunakan berbentuk silindris.
3. Sudut pahat yang digunakan yaitu 75° , 80° , 85° dan 90°
4. Putaran spindel ditentukan yaitu 300 rpm.
5. Kedalaman pemotongan ditentukan yaitu 0,5 mm.
6. Kecepatan makan 0,08 mm/put.
7. Diaeter material 25 mm dan 16 mm

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan pengetahuan tentang material pada pembubutan baja AISI 4140.
2. Menambah wawasan pengetahuan dalam bidang manufaktur.
3. Menjadi wadah pengaplikasian ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis, khususnya dalam bidang pemesinan.
4. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Permesinan

Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas dalam istilah teknik sering disebut dengan nama proses pemesinan. Proses pemesinan (machining) adalah proses pembentukan geram (chip) akibat perkakas (tools) yang dipasangkan pada mesin perkakas (machine tools), bergerak relative terhadap benda kerja (work piece) yang dicekam pada daerah kerja mesin perkakas (Rochim, 1993).

Proses pemesinan dengan menggunakan prinsip pemotongan logam dibagi dalam tiga kelompok dasar, yaitu : proses pemotongan dengan mesin pres, proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas, dan proses pemotongan non konvensional . Proses pemotongan dengan menggunakan mesin pres meliputi pengguntingan (shearing), pengepresan (pressing) dan penarikan (drawing, elongating). Proses pemotongan konvensional dengan mesin perkakas meliputi proses bubut (turning), proses frais (milling), sekrap (shaping). Proses pemotongan logam ini biasanya dinamakan proses pemesinan, yang dilakukan dengan cara membuang bagian benda kerja yang tidak digunakan menjadi beram (chips) sehingga terbentuk benda kerja. Proses pemesinan adalah proses yang paling banyak dilakukan untuk menghasilkan suatu produk jadi yang berbahan baku logam. Diperkirakan sekitar 60% sampai 80% dari seluruh proses pembuatan suatu mesin yang komplit dilakukan dengan proses pemesinan. (Kencanawati, 2017).

Secara umum proses permesinan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor berikut, yaitu:

1. Berdasarkan Gerak Relatif Pahat

Pahat yang bergerak relatif terhadap benda kerja akan menghasilkan geram dan sementara itu permukaan benda kerja secara bertahap akan terbentuk menjadi komponen yang dikehendaki. Gerak relatif pahat terhadap benda kerja dapat dipisahkan menjadi dua komponen yaitu:



- Gerak potong (*cutting movement*), Dimana gerak potong adalah gerak yang menghasilkan permukaan baru pada benda kerja.
- Gerak makan (*feeding movement*), Gerak makan adalah gerak yang menyelesaikan permukaan baru yang telah di potong oleh gerak potong.

2. Berdasarkan Jumlah Mata Pahat yang digunakan

Pahat yang dipasangkan pada suatu jenis mesin perkakas memiliki mata pahat yang berbeda-beda. Jenis pahat/perkakas potong disesuaikan dengan cara pemotongan dan bentuk akhir dari produk. Adapun pahat dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis pahat yaitu pahat bermata potong tunggal (*single point cutting tools*) dan pahat bermata potong jamak (*multiple point cuttings tools*).

3. Berdasarkan Orientasi Permukaan

Selain ditinjau dari segi orientasi permukaan maka poses pemesinan dapat diklassifikasikan berdasarkan proses terbentuknya permukaan (proses generasi permukaan; *surface generation*). Dalam hal ini proses tersebut dikelompokkan dalam dua garis besar proses yaitu:

- Generasi permukaan silindrik atau konis dan
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

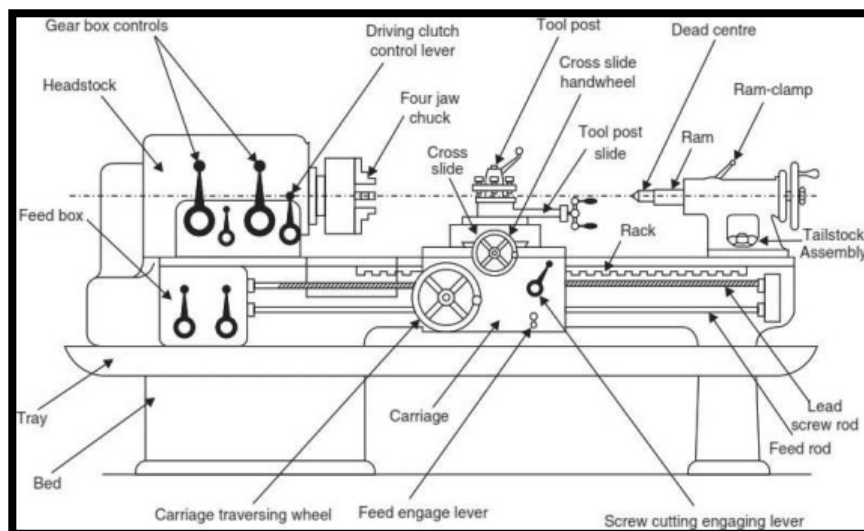
Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas. Misalnya, mesin bubut tidak selalu digunakan sebagai untuk membubut saja melainkan dapat pula digunakan untuk menggurdi, memotong dan melebarkan lubang (*boring*) dengan cara mengganti pahat dengan yang sesuai. Bahkan dapat digunakan untuk mengefreis, menggerinda atau mengasah halus asalkan pada mesin bubut yang bersangkutan dapat dipasangkan peralatan tambahan (*attachments*) yang khusus.(kencanawati, 2017)



2.2 Mesin Bubut

Mesin bubut (*turning machine*) merupakan mesin perkakas untuk proses pemotongan logam (*metal-cutting process*). Operasi dasar dari mesin bubut adalah melibatkan benda kerja yang berputar dan cutting tool-nya bergerak linier. Kekhususan operasi mesin bubut adalah digunakan untuk memproses benda kerja dengan hasil atau bentuk penampang lingkaran atau benda kerja berbentuk silinder (Marshyahno, 2003).

Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris, namun dapat juga dipakai untuk beberapa kepentingan lain. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada spindel mesin, kemudian spindel dan benda kerja diputar dengan kecepatan tertentu. Alat potong (pahat) yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan ditempelkan pada benda kerja yang berputar sehingga benda kerja terbentuk sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Umumnya pahat bubut dalam keadaan diam, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam.



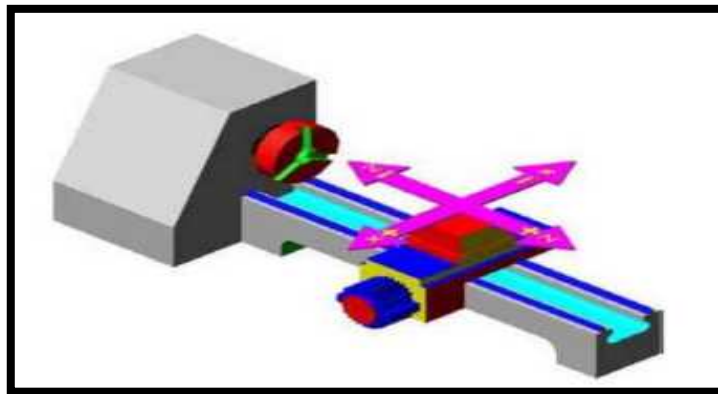
Gambar 2. 1 Komponen mesin bubut (Gupta, & Mittal, 2009)



2.2.1 Prinsip Kerja Mesin Bubut

Prinsip kerja mesin Bubut yaitu benda kerja yang dipasang pada cekam bergerak sedangkan alat potong diam. Untuk arah gerakan pada Mesin Bubut diberi lambang sebagai berikut:

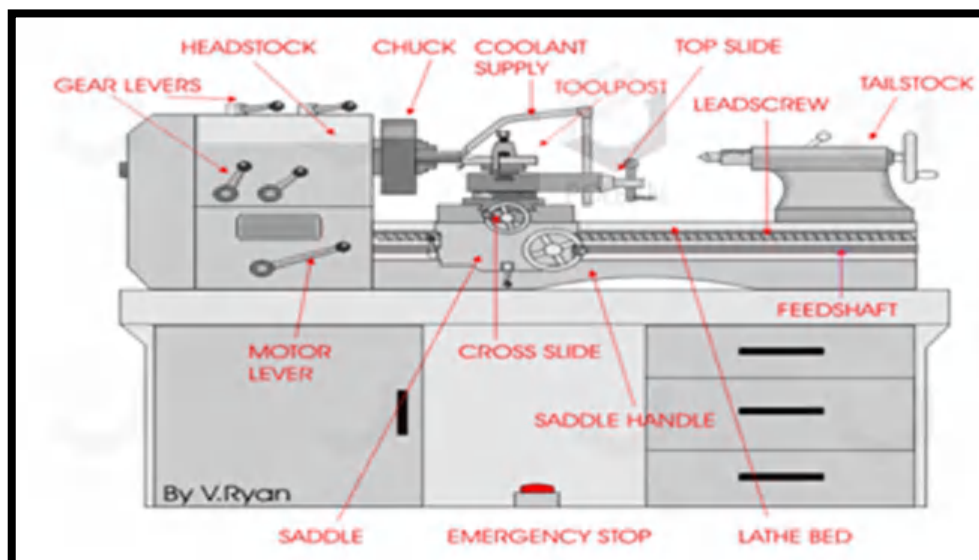
- a. Sumbu X untuk arah gerakan melintang tegak lurus terhadap sumbu putar.
- b. Sumbu Z untuk arah gerakan memanjang yang sejajar sumbu putar.



Gambar 2. 2 Arah mesin bubut (Ariyanto, 2017)

2.2.2. Bagian bagian utama mesin bubut

Bagian bagian utama mesin bubut terdiri dari :



Gambar 2. 3 Bagian-bagian utama mesin bubut (ryan, 2011)



1. Kepala Tetap (*Head Stock*)

Pada bagian *headstock* ini terdapat poros *spindle* mesin yang mana memiliki fungsi sebagaiudukan cekam. Jadi, saat poros spindle ini berputar, maka cekam otomatisnya juga akan ikut berputar. Selain itu, pada bagian *headstock* ini juga terdapat sabuk dan puli yang keduanya terhubung dengan motor penggerak.

2. Kepala Lepas (*Tail Stock*)

Kepala Lepas(*Tailstock*) Adalah bagian dari mesin bubut yang letaknya disebelah kanan mesin dan dipasang diatas bed mesin. Kepala lepas berfungsi sebagai : Tempat pemicu ujung benda kerja yang dibubut, Tempat kedudukan bor pada waktu mengebor, Tempat kedudukan penjepit bor.

3. Meja Mesin Bubut (*Bed Machine*)

Alas/Meja Mesin Bubut (*Bed Machine*) digunakan sebagai tempatkedudukan kepala lepas, eretan, penyangga diam (*steady rest*) dan merupakan tumpuan gaya pemakanan pada waktu pembubutan. Bentuk alas/ meja mesin bubut bermacam-macam, ada yang datar dan ada yang salah satu atau kedua sisinya mempunyai ketinggian tertentu. Selain itu, alat/meja mesin bubut memilki permukaannya yang sangat halus, rata dan kedataran serta kesejajaranya dengan ketelitian sangat tinggi, sehingga gerakan kepala lepas dan eretan memanjang diatasnya pada saat melakukan penyayatan dapat berjalan lancar dan stabil sehingga dapat menghasilkan pembubutan yang presisi.

4. Eretan (*carriage*)

Terdiri dari tiga bagian diantaranya:

- a. Eretan memanjang (*longitudinal carriage*) berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan dengan arah memanjang menjauhi atau mendekati spindle mesin, dapat digerakan secara manual atau otomatis sepanjang meja mesin dan sekaligus sebagaiudukan eretan melintang.
- b. Eretan melintang (*cross carriage*) berfungsi untuk melakukan gerakan pemakanan yang arah melintang menjauhi atau mendekati sumbu senter, dapat digerakan secara manual atau otomatis dan sekaligus sebagaiudukan eretan atas.



- c. Eretan atas/eretn kombinasi (*top carriage*) berfungsi untuk melakukan pemakanan secara manual kearah sudut yang dikehendaki sesuai penyetelannya. Biasa digunakan untuk pemakan finishing bubut memanjang dan pembuatan tirus.

5. Poros Transportir (*Lead Screw*)

Poros transportir merupakan bagian poros berulir yang terletak di bawah eretan alas berbentuk seperti trapezium atau segi empat dengan jenis ulir withworth (inchi) dan metric (mm).

Jadi poros transportir ini berfungsi untuk membawa eretan secara otomatis pada saat proses pembubutan.

6. Tuas (*handle*)

Tuas atau handel yang berfungsi sebagai pengaturan putaran, setting otomatis, setting kasar ulir, pemutar spindle pada mesin bubut. Setiap mesin bubut dengan pabrikan yang berbeda, biasanya memiliki cara penggunaannya dan posisi atau letak. Maka dari itu, didalam mengatur tuas untuk setiap melakukan proses pembubutan harus berpedoman pada tabel-tabel petunjuk pengaturan yang ada pada mesin bubut tersebut.

7. Pemegang Pahat (*Tool Post*)

Penjepit atau pemegang pahat (*Tools Post*) berfungsi sebagai penjepit atau pemegang pahat. Bentuknya atau modelnya umumnya ada dua macam yaitu, pemegang pahat standar dan pemegang dapat disetel (*adjustable tool post*).

2.3. Pahat bubut

Pahat/Alat Potong merupakan suatu alat yang dipasang pada mesin perkakas dan berfungsi untuk memotong benda kerja atau membentuk benda kerja menjadi bentuk yang diinginkan. Pada proses kerjanya pahat digunakan untuk menyayat benda kerja yang keras sehingga diharuskan material pahat harus lebih keras dari pada benda kerja yang akan dibubut. (Wiratama E. , 2021)

Berikut ini adalah material-material pahat secara berurutan dari yang paling lunak tetapi ulet sampai dengan yang paling keras tetapi getas, yaitu :(Azhar, 2014)

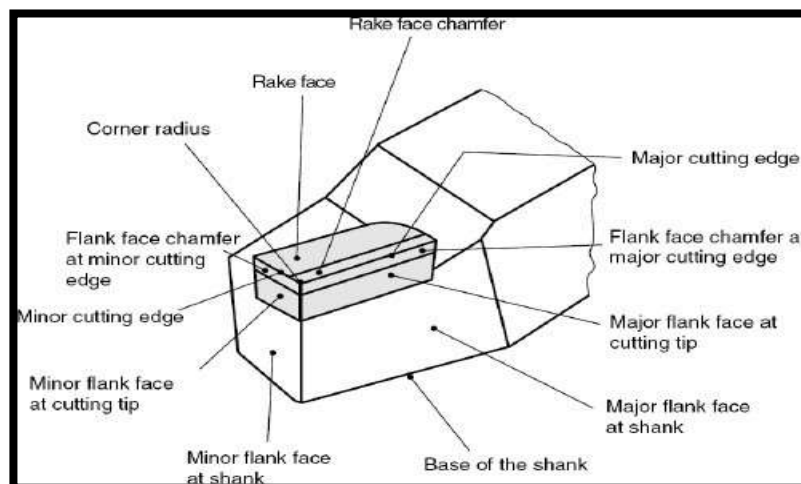
1. Baja Karbon Tinggi,



2. HSS (*High Speed Steels*),
3. Paduan *Cor Nonferro*,
4. Karbida,
5. CBN (*Cubic Baron Nitride*).

2.3.1. Geometri Pahat Bubut

Dalam pengerjaan mesin, geometri pahat merupakan aspek penting untuk dipertimbangkan karena pengaruhnya dalam memotong kekuatan dimensi dan pembentukan *chip*. Selain itu, faktor ini akan secara langsung mempengaruhi masalah lain seperti defleksi pahat, getaran, dll. Parameter geometris yang paling penting disertakan dalam gambar 2.20 Parameter ini adalah sisi *cutting edge angle*, *end cutting edge angle*, *cutting edge inclination* dan *nose radius*.



Gambar 2. 4 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581 (Sutopo, 2007)

2.3.2. Pemotongan Oblique

Pemotongan Oblique merupakan penyayatan yang memiliki sudut buang tatal, memiliki kelebihan antara lain, waktu tempuh dalam pengerjaan benda kerja lebih pendek, mampu menyayat dengan tebal, usia pahat lebih panjang hasil penyayatan lebih baik dan kualitas geometris lebih baik.

Oblique cutting dapat diterapkan apabila luas penampang geram sebelum terpotong yang sama maka panjang pemotongan akan lebih panjang bila sudut potong $< 90^\circ$. Hal tersebut akan menyebabkan bidang kontak antara geram dengan bidang geram pahat menjadi lebih luas sehingga mempercepat laju pembuangan



panas dan temperatur pahat menjadi tidak begitu tinggi. Mata potong yang aktif memotong dapat lebih diperpanjang lagi dengan cara sedikit dimiringkan, sudut miring.

2.3.3. Pemotongan Orthogonal

System pemotongan orthogonal merupakan penyederhanaan dari system pemotongan miring dimana gaya diuraikan menjadi komponennya pada suatu bidang (Rochim, 1993). Beberapa asumsi yang digunakan dalam analisis model tersebut adalah:

1. Deformasi terjadi hanya dalam dua dimensi.
2. Distribusi tegangan yang merata pada bidang geser.
3. Gaya aksi dan reaksi pahat terhadap bidang geram adalah sama besar dan segaris (Pranoto, 2019).

Karena system gaya dipandang hanya pada satu bidang maka gaya total dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya yang saling tegak lurus (Rochim, 1993).

Dalam pemotongan orthogonal, tepi alat pemotong berada pada sudut terhadap arah Gerakan, sehinghah arah aliran serpihan menyamping. Pemotongan orthogonal menghasilkan panas yang lebih tinggi, masa pakai alat yang lebih pendek, dan hasil akhir permukaan yang lebih buruk disbanding pemotongan miring.

2.3.4. Pahat Karbida

Pahat dari karbida dibagi dalam dua kelompok tergantung penggunaannya. Bila digunakan untuk benda kerja besi tuang yang tidak liat dinamakan *cast iron cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf K dan kode warna merah. Apabila digunakan untuk menyayat baja yang liat dinamakan *steel cutting grade*. Pahat jenis ini diberi kode huruf P dan kode warna biru. Selain kedua jenis tersebut ada pahat karbida yang diberi kode huruf M, dan kode warna kuning. Pahat karbida ini digunakan untuk menyayat berbagai jenis baja, besi tuang dan nonferro yang mempunyai sifat ketemesinan yang baik. (Rahdiyanta, 2010)



Karbida memiliki kelas dari bahan keras, tahan aus, tahan api di mana karbida keras partikel diikat menjadi satu, atau disemen, oleh pengikat logam yang lunak dan ulet. Bahan-bahan ini pertama kali dikembangkan di Jerman pada awal 1920-an menanggapi permintaan untuk bahan cetakan yang memiliki ketahanan aus yang cukup untuk menggambar kabel filamen pijar tungsten untuk menggantikan berlian yang mahal kemudian digunakan. Karbida yang disemen pertama diproduksi adalah tungsten karbida (WC) dengan pengikat kobalt.

Penggunaan tungsten sebagai elemen paduan memberi baja penahan yang baik kekerasan pada suhu tinggi dari 900°C hingga 1000°C. Karbida dibuat dengan cara mencampur bubuk logam tungsten dengan karbon dan memanaskan campuran ke sekitar 1600°C di atmosfer hidrogen sampai kedua zat itu hilang zat kimianya. Saat ini, tiga kelompok karbida berikut secara luas diterapkan untuk elemen alat potong:

- WC + Co + (WC-TiC-TaC-NiC) untuk digunakan dalam pemesinan baja.
- WC + Co untuk digunakan dalam permesinan besi cor dan logam *non ferro*.
- TiC + Ni + Mo untuk digunakan dalam pemesinan logam kekuatan tinggi suhu tinggi.

Karbida semen memiliki kekerasan yang sangat tinggi (hanya setelah berlian) dan keausan tinggi resistensi terhadap abrasi. Mereka tidak kehilangan sifat pemotongannya, kekerasan melebihi suhu hingga 900°C- 1000°C. Karenanya alat berujung karbida mampu mengolah logam yang paling keras secara efisien, termasuk baja yang dikeraskan pada kecepatan potong tinggi. Alat tersebut dapat beroperasi pada kecepatan potong dari 16 hingga 25 Kali lipat yang diizinkan untuk alat yang terbuat dari baja perkakas karbon. Satu kelemahan dari semen karbida adalah kerapuhannya. Kekakuan sangat tinggi (modulus Young sekitar tiga kali dari baja) dari karbida yang disemen mensyaratkan bahwa mereka didukung dengan ketebalan yang cukup, bahkan untuk sejumlah kecil deformasi ikatan dalam pada bahan kekakuan ini dapat menyebabkan tegangan tarik yang sangat tinggi. Karbida disemen lemah pada tegangan daripada kompresi. Mereka memiliki kecenderungan kuat untuk terbentuk las tekanan pada kecepatan potong rendah. Dalam pandangan ini mereka harus dioperasikan dengan kecepatan jauh lebih banyak dari yang



digunakan dengan alat baja kecepatan tinggi. Ini disebabkan untuk peralatan mesin dari peningkatan daya. Karbida yang memperoleh persentase kobalt tinggi adalah lebih keras dan lebih kuat dari yang mengandung kobalt rendah. Karenanya mereka digunakan untuk pemotongan kasar, pemotongan terputus dan untuk penggilingan. Varietas kobalt rendah digunakan untuk jadi operasi seperti berputar dengan penampang chip yang halus dan pemotongan kontinu. Disarankan untuk menjaga braze metal setipis mungkin. (Singh, R., 2006)

2.4. Baja AISI 4140

Baja AISI 4140 adalah baja yang paduan utamanya molybdenum dan Chromium. Unsur molybdenum adalah unsur yang larut terbatas dalam austenite maupun ferrite dan juga sebagai unsur pembentuk karbida yang kuat. Unsur ini akan menaikkan hardenability, menaikkan kekuatan, dan kekerasan di temperatur tinggi, juga mencegah terjadinya temper brittleness. Unsur chrom juga larut dalam ferrite dan austenite, terutama pada baja dengan kadar karbon rendah.

2.4.1. Unsur baja AISI 4140

Menurut AISI (American Iron and Steel Institute) baja paduan rendah AISI 4140 didesain dengan menggunakan four - digit number (empat digit angka). Hal ini berguna untuk menunjukkan perbedaan komposisi yang terkandung dalam baja tersebut. Angka 4 menunjukkan jenis unsur paduan, yaitu chromium-molybdenum. Angka 1 menunjukkan persentase unsur paduan $\pm 1\%$, dan angka 40 menunjukkan persentase kandungan karbon ($\pm 0,40\%$)

Tabel 2.1 Komposisi baja AISI 4140 (Linkun, 2017)

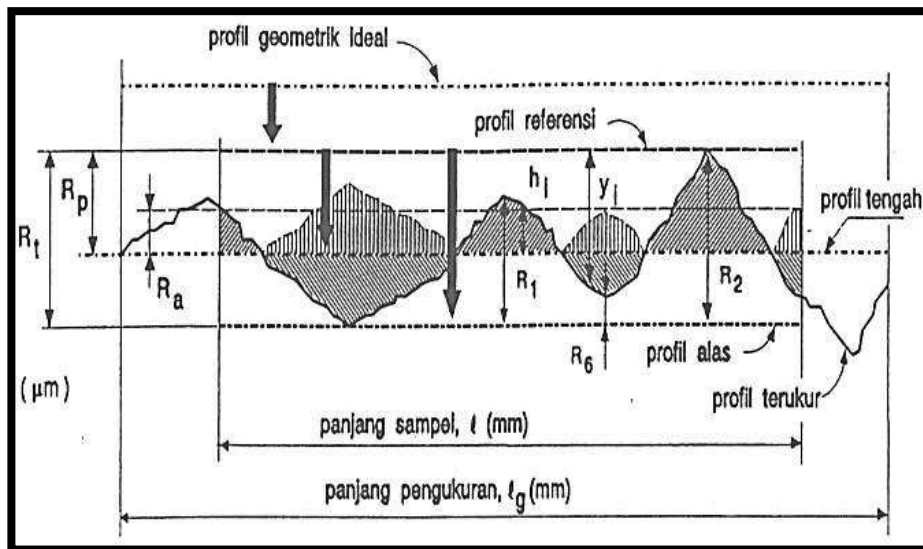
Standar	Kelas	C	MN	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
ASTM A29	4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,15-0,35	-	0,8-1,10	0,15-0,25
EN 10250	42CrMo4 / 1.7224	0,38-0,45	0,6-0,9	0,035	0,035	0,4	-	0,9-1,2	0,15-0,30
JIS G4105	SCM440	0,38-0,43	0,60-0,85	0,03	0,03	0,15-0,35	-	0,9-1,2	0,15-0,30

2.4.2. Sifat mekanik baja AISI 4140

Adapun sifat mekanik baja AISI 4140 adalah sebagai berikut

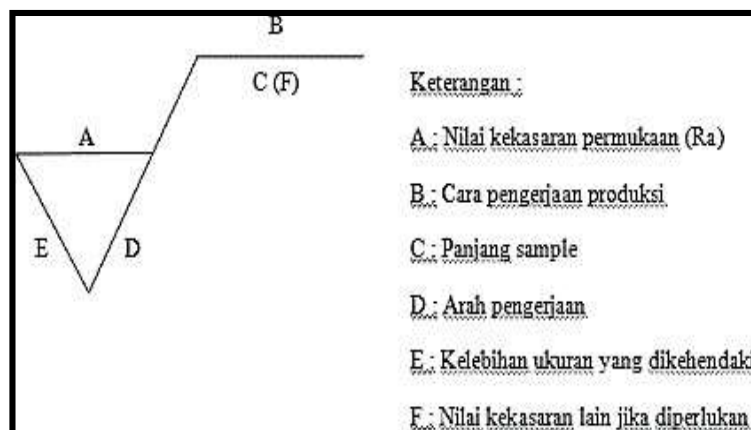


Kedalaman kehalusan R_p adalah jarak antara titik tertinggi dan rata-rata garis R_p biasanya hasil dari kondisi alat pemotong puncak maksimum ke ketinggian lembah dalam jejak-jejak profil permukaan dan dikenal sebagai R_t . RMS adalah kekasaran geometris rata-rata dan merupakan standar Amerika numerik nilainya sekitar 11% lebih tinggi dari R_a dapat dilihat pada gambar 2.11. (Choudhury, 1995)



Gambar 2. 6 Tekstur permukaan benda kerja (Rochim, 1993)

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambangkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan symbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada Gambar 2.11



Gambar 2. 7 Lambang kekasaran permukaan (Azhar, 2014)



Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (R_a). Nilai R_a telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada Tabel 2.6 dibawah ini. (Azhar, 2014)

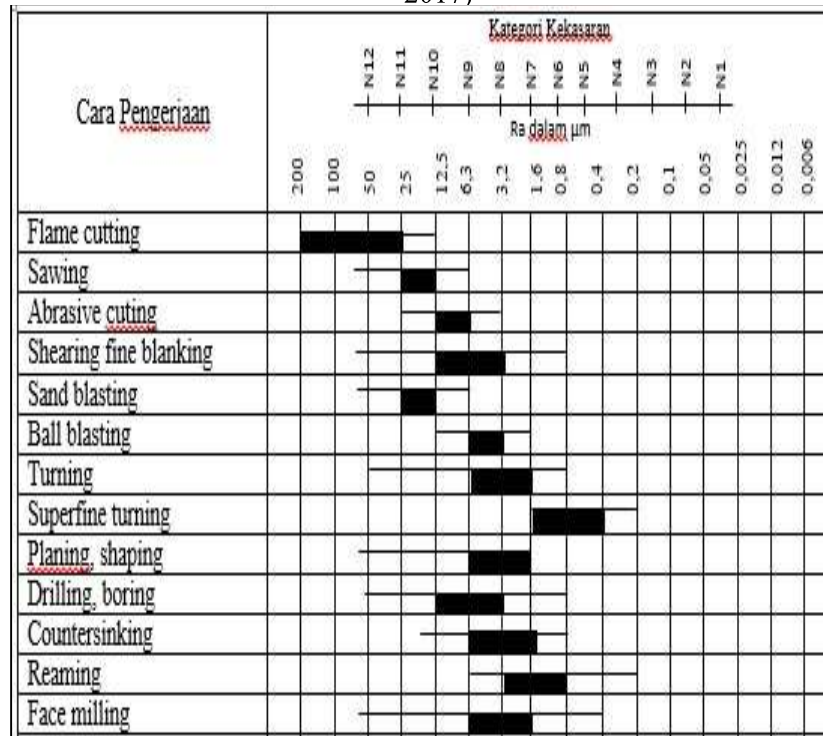
Tabel 2. 3 Angka Kekasaran permukaan (Azhar, 2017)

Kelas Kekasaran	Harga R_a (μm)	Toleransi (μm) (+50% & - 25%)	Panjang sampel (mm)
N1	0,025	0,02 – 0,04	0,08
N2	0,05	0,04 – 0,08	0,25
N3	0,1	0,08 – 0,15	
N4	0,2	0,15 – 0,03	
N5	0,4	0,03 – 0,06	0,8
N6	0,8	0,6 – 1,2	
N7	1,6	1,2 – 2,4	
N8	3,2	2,4 – 4,8	
N9	6,3	4,8 – 9,6	2,5
N10	12,5	9,6 – 18,75	
N11	25	18,5 – 37,5	8
N12	50	37,5 – 75,0	

Berikut ini adalah acuan kelas kekasaran rata-rata untuk beberapa proses pengerjaan permesinan



Tabel 2. 4 Tingkat Kekasaran Rata-Rata Menurut Pengerjaan (Adzkari, 2017)



█ Kasar █ Normal █ Halus

2.6. Getaran mekanik

Getaran adalah gerakan berisolasi dari sistem mekanis serta kondisi-kondisi dinamisnya. Gerakan dapat berupa benturan yang berulang secara kontinyu atau dengan kata lain dapat juga berupa gerakan tidak beraturan atau acak. Getaran sebagai fenomena alam merupakan kecenderungan reapon alam atau respons yang terjadi, baik langsung maupun tidak langsung, akibat terjadinya peristiwa alam. Peristiwa alam ini merupakan sesuatu yang dapat kita pelajari rentetannya. penampakan ini dapat merupakan sesuatu yang dirasakan maupun yang tidak dirasakan oleh panca indra (Karyasa, 2010).

Sebuah gerak bodi atau partikel yang berosilasi di sekitar area seimbangya disebut getaran mekanik. Getaran mekanik pada suatu sistem biasanya terjadi apabila sistem tersebut dilepas atau diubah dari posisi keseimbangan stabilnya, sistem ini nantinya akan cenderung kembali ke posisi dibawah pembebanan gaya gaya elastik dan mencapai posisi orisinilnya dengan kecepatan tertentu, selama

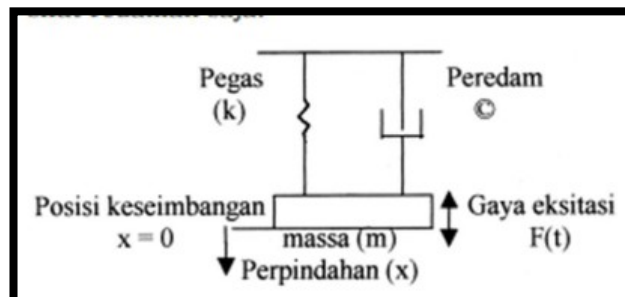


proses tersebut berlangsung terus tanpa batas sistem tersebut akan terus bergerak bolak-balik melalui posisi keseimbangan (Nurida, 2018). Interval waktu yang dibutuhkan sistem untuk menyelesaikan satu siklus gerak dinamakan frekuensi, dan pergeseran maksimum sistem dari posisi keseimbangan dinamakan amplitudo getaran.

Apabila mengamati suatu objek yang bergetar di dalam gerak lambat, dapat di lihat pergerakan dengan arah yang berbeda. Seberapa jauh dan seberapa cepat objek tersebut bergerak dalam menentukan karakteristik getarannya. Istilah lama menjelaskan pergerakan seperti ini frekuensi, amplitudo dan akselerasi.

2.6.1. Elemen sistem getaran

Elemen-elemen dari sistem getaran ditunjukkan sebagaimana gambar di bawah. Masing-masing diidealisasikan sebagai massa (m), pegas (k), peredam C , dan eksitasi (F). Tiga elemen pertama menunjukkan kondisi fisik dari sistem. Keadaan fisik suatu sistem dapat dinyatakan sebagai massa, pegas dan peredam yang tersusun misalnya seperti pada gambar 1. Massa (m) diasumsikan sebagai body kaku (rigid) yang tidak memiliki elastisitas dan redaman. Sebaliknya pegas juga dianggap hanya memiliki elastisitas (k) saja sehingga massa dan redamannya diabaikan. Demikian halnya, peredam juga dianggap hanya memiliki sifat redaman saja

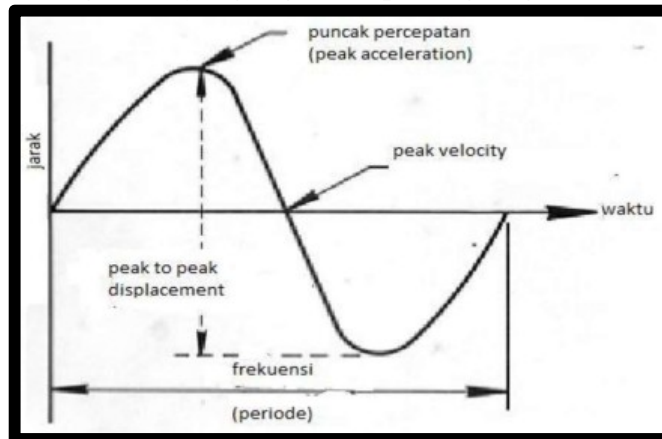


Gambar 2. 8 Elemen getaran (Dewanto, 1999)



2.6.2. Getaran bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (inherent), dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.



Gambar 2. 9 Gelombang getaran (Hermawan, 1990)

Frekuensi adalah suatu objek bergetar bergerak mundur dan maju dari posisi normalnya satu siklus getaran yang lengkap terjadi ketika objek tersebut berpisah dari nilai x posisi ekstrim ke posisi ekstrim lainnya, dan kembali lagi ke posisi awal.

Banyaknya siklus yang dapat dilalui objek yang bergetar dalam satu detik, disebut frekuensi. Satuan frekuensi adalah hertz (Hz). Satu hertz atau sama dengan satu siklus per detik.

Amplitudo adalah suatu objek yang bergetar bergerak ke suatu gerak maksimum pada tiap dari keadaan diam. Amplitudo adalah jarak dari posisi diam ke posisi ekstrim dimana sisi dan diukur dalam meter (m). Intensitasnya getaran tergantung pada amplitudo.

Akselerasi adalah suatu ukuran seberapa cepat kecepatan berubah terhadap waktu dan oleh karena itu, akselerasi dinyatakan dalam satuan meter per detik atau per detik kuadrat (m/s^2). Besar akselerasi berubah dari nol ke maksimum selama masing – masing siklus getaran dan meningkat seperti pergerakan objek yang bergetar lebih lanjut dari posisinya.



2.6.3. Osilator Harmonik Mekanis Sederhana

Gerakan harmonik sederhana ditampilkan baik dalam ruang nyata maupun ruang fase. Orbitnya periodik. (Di sini sumbu kecepatan dan posisi telah dibalik dari konvensi standar untuk menyelaraskan kedua diagram). Ketika sistem dipindahkan dari posisi setimbangnya, gaya pemulih yang dipatuhi Hukum Hooke cenderung untuk mengembalikan sistem ke keseimbangan. Setelah massa dipindahkan dari posisi setimbang, ia mengalami gaya pemulih bersih. Akibatnya, ia berakselerasi dan mulai kembali ke posisi setimbang. Ketika massa bergerak lebih dekat ke posisi kesetimbangan, gaya pemulih menurun. Pada posisi setimbang, gaya pemulih menghilang. Namun, pada $x = 0$, massa memiliki momentum karena percepatan yang diberikan oleh gaya pemulih. Oleh karena itu, massa terus melewati posisi kesetimbangan, menekan pegas. Suatu gaya pemulih jaring kemudian memperlambatnya hingga kecepatannya mencapai nol, dan kemudian dipercepat kembali ke posisi setimbang lagi. Selama sistem tidak kehilangan energi, massa terus berosilasi. Jadi gerak harmonik sederhana adalah jenis gerakan periodik. Perhatikan jika ruang nyata dan diagram ruang fase tidak co-linear, gerakan ruang fase menjadi elips. Area yang tertutup tergantung pada amplitudo dan momentum maksimum.

2.6.4. Getaran paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan kejadian menakutkan yang disebabkan oleh resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama

2.6.5. Getaran mekanis dua derajat kebebasan

Suatu sistem dikatakan sebagai sistem kebebasan dua derajat (*two degrees of freedom/2DOF*) jika hanya memiliki dua koordinat independen/tidak tergantung yang diperlukan untuk mendefinisikan konfigurasi sistem secara utuh. Hal ini



berbeda dengan SDOF dimana sistem hanya memerlukan satu koordinat independen. Namun, penting untuk ditekankan bahwa rangkaian derajat kebebasan sistem tidak unik. Dua koordinat dapat dianggap sebagai derajat kebebasan selama itu independen.

Sistem dua derajat kebebasan adalah sistem yang membutuhkan dua koordinat untuk menggambarkan sepenuhnya persamaannya geraknya. Koordinat ini disebut koordinat umum ketika beberapa variabel independen satu sama lain. Dengan demikian sistem dengan dua derajat kebebasan akan memiliki dua persamaan gerak dan karenanya memiliki dua frekuensi. Sistem kebebasan dua derajat berbeda dari sistem kebebasan tunggal, karena sistem ini memiliki dua frekuensi alami dan untuk masing-masing frekuensi alami ini terdapat keadaan alami getaran dengan konfigurasi perpindahan yang dikenal sebagai Normal Mode. Istilah matematika terkait dengan jumlah ini dikenal sebagai nilai Eigen dan vektor Eigen. Ini didirikan dari dua persamaan gerak sistem secara simultan dan memiliki sifat dinamis tertentu yang terkait.