



Skripsi

**KARAKTERISTIK GETARAN CHATTER PADA PROSES
PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 1045 AKIBAT PERUBAHAN
VARIABEL PERMESINAN**



Disusun oleh :

RUSLAN

D021 17 1013

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



SKRIPSI

**KARAKTERISTIK GETARAN *CHATTER* PADA PROSES
PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 1045 AKIBAT PERUBAHAN
VARIABEL PERMESINAN**

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

Disusun dan diajukan oleh

RUSLAN

D021 17 1013

DEPARTEMEN MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN

KARAKTERISTIK GETARAN *CHATTER* PADA PROSES PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 1045 AKIBAT PERUBAHAN VARIABEL PERMESINAN

Disusun dan diajukan oleh

RUSLAN

D021 17 1013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Hasanuddin pada Tanggal 23 Juli 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng M.T.

Nip. 19570914 1987 03 1001

Pembimbing Pendamping



Fauzan, ST., MT., Ph.D.

Nip. 19770103 200801 1 009

Ketua Program Studi,



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

NIP. 19770707 200501 1 001





PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : RUSLAN
NIM : D0211171013
Departemen : Teknik Mesin
Jenjang : S-1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“KARAKTERISTIK GETARAN *CHATTER* PADA PROSES
PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 1045 AKIBAT PERUBAHAN
VARIABEL PERMESINAN”**

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, 23 Juli 2024

Yang membuat pernyataan,



RUSLAN



ABSTRAK

RUSLAN, Karakteristik Getaran Chatter Pada Proses Pembubutan Material Baja Aisi 1045 Akibat Perubahan Variabel Permesinan (di bimbing oleh Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng M.T. dan Fauzan, ST.,MT.,Ph.D.)

Pada proses permesinan mesin bubut, terjadi gerak relatif antara pahat dan benda kerja yang akan menghasilkan geram dengan ukuran bervariasi yang berakibat pada perubahan gaya, sehingga amplitudo getaran terus membesar dengan cepat. Energi yang mengeksitasi getaran berasal dari proses pemotongan itu sendiri dan disebut getaran tereksitasi sendiri atau lebih dikenal dengan *chatter*. *Chatter* harus dihindari karena dapat menurunkan kualitas permukaan bahkan mengakibatkan kesalahan geometri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variabel permesinan terhadap getaran *chatter* dan kekasaran permukaan benda kerja. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental dilakukan pada proses pembubutan baja AISI 1045 menggunakan pahat kabrida dengan kecepatan pemakan 0,8 mm/put, kecepatan putaran spindel 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan kedalaman potong 0,5 mm, 1 mm, 1,5 mm. Alat pengukur getaran yang digunakan yaitu vibexper II untuk mengukur amplitudo getaran dan alat pengukur kekasaran permukaan yang digunakan yaitu alat ukur mikroskop metalografi model lext olympus-ols4100. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai amplitudo getaran akan semakin meningkat seiring dengan kedalaman potong dan kecepatan potong yang semakin besar. Demikian juga dengan hubungan antara kedalaman potong dan kecepatan potong dengan kekasaran permukaan. Nilai amplitudo getaran terendah terdapat pada variasi kedalaman potong 0,5 mm dengan kecepatan potong 6,28 m/menit sebesar 0,47 mm/s². Sedangkan nilai terendah kekasaran permukaan sebesar 3,28 µm juga terjadi pada variasi kedalaman potong 0,5 mm dengan kecepatan potong 6,28 m/menit.

Kata Kunci : Mesin bubut, Getaran *chatter*, Amplitudo, Kekasaran permukaan



ABSTRACT

RUSLAN, Characteristics of Chatter Vibration in Turning Process of AISI 1045 Steel Due to Machining Variable Changes (supervised by **Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng M.T.** and **Fauzan, ST., MT., Ph.D.**)

In the machining process of turning machines, there is relative motion between the tool and the workpiece that generates chips of varying sizes, leading to changes in forces, causing the vibration amplitude to quickly increase. The energy that excites these vibrations originates from the cutting process itself and is referred to as self-excited vibration or more commonly known as chatter. Chatter must be avoided as it can reduce surface quality and even cause geometric errors. The aim of this study is to investigate the influence of machining variables on chatter vibration and the surface roughness of the workpiece. The experimental method used in this study involved turning AISI 1045 steel using a carbide tool at a feed rate of 0.8 mm/rev, spindle speeds of 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, and cutting depths of 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm. Vibration amplitudes were measured using a Vibexper II, and surface roughness was measured using a metallographic microscope model LEXT Olympus-OLS4100. The results show that the vibration amplitude increases with greater cutting depths and spindle speeds. Similarly, there is a relationship between cutting depth, spindle speed, and surface roughness. The lowest vibration amplitude was observed at a cutting depth of 0.5 mm and a cutting speed of 6.28 m/min, measuring 0.47 mm/s². Likewise, the lowest surface roughness value of 3.28 μm was also observed at a cutting depth of 0.5 mm and a cutting speed of 6.28 m/min.

Keywords: Lathe machine, Chatter vibration, Amplitude, Surface roughness



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: **Karakteristik Getaran *Chatter* Pada Proses Pembubutan Material Baja Aisi 1045 Akibat Perubahan Variabel Permesinan** 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 Prof. Dr. Ir. Ilyas Renreng M.T selaku Pembimbing Utama dan Bapak Fauzan, ST.,MT.,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, Lababa dan Aminah, beserta saudari dan saudara penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moral, materi kepada penulis.
2. Partner penelitian Azizul 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, ST., MT., 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 Pak 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 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 HYDRAULIC15 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, Juli 2024

RUSLAN



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Batasan masalah.....	3
1.5 Manfaat penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Proses Permesinan.....	4
2.2 Pemotongan Ortogonal.....	6
2.3 Mesin Bubut.....	8
2.4 Bagian-Bagian Mesin.....	9
2.5 Variable Permesinan.....	11
2.6 Geometri Pahat Bubut.....	14
2.7 Pahat Karbida.....	15
2.8 Baja AISI 1045.....	17
2.9 Getaran pada proses pembubutan.....	19
2.10 <i>Surface Roughness</i> (Kekasaran Permukaan).....	27
2.11 <i>R-square</i>	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.3 Metode Pengambilan Data.....	36
3.4 Variabel Penelitian.....	36
3.5 Prosedur Pelaksanaan Penelitian.....	37
3.6 Flowchart Penelitian.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40



4.1	Data Hasil Pengujian.....	40
4.2	Menganalisis Kecepatan Potong Dari Masing-masing Putaran <i>Spindel</i>	40
4.3	Menganalisis Pengaruh Variabel Permesinan Terhadap Amplitudo Getaran Proses Pembubutan.....	41
4.4	Menganalisis Pengaruh Variabel Permesinan Terhadap Kekasaran Permukaan Hasil Pembubutan.....	44
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		48
5.1	Kesimpulan.....	48
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN.....		51



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemotongan Orthogonal	7
Gambar 2.2 Komponen Mesin Bubut.....	8
Gambar 2.3 Gerakan Pada Proses Pembubutan	9
Gambar 2.4 Panjang permukaan benda kerja	12
Gambar 2.5 Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)	12
Gambar 2.6 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581	14
Gambar 2.7 Sistem pegas massa dan diagram benda bebas	20
Gambar 2.8 Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas...	23
Gambar 2.9 Pemodelan sistem pegas massa satu derajat kebebasan dengan peredam cairan.....	24
Gambar 2.10 Permukaan benda kerja yang mengalami <i>chatter</i>	26
Gambar 2.11 Fluktuasi tebal geram akibat beda fasa.....	27
Gambar 2.12 Kekasaran Permukaan.	28
Gambar 2.13 Gelombang / <i>waviness (macroroughness)</i>	29
Gambar 2.14 Kesalahan bentuk (<i>error of form</i>).....	29
Gambar 3.1 Mesin bubut	31
Gambar 3.2 VibXpert 2	32
Gambar 3.3 <i>Surface roughness tester</i>	32
Gambar 3.4 Jangka Sorong.....	33
Gambar 3.5 Kunci L	33
Gambar 3.6 Kunci <i>Chuck</i>	34
Gambar 3.7 Kunci bubut	34
Gambar 3.8 Kuas	34
Gambar 3.9 Gurinda	35
Gambar 3.10 <i>Holder MTJNR 2020</i>	35
Gambar 3.11 Pahat sisipan karbida TNMG160404-MA UE6020	35
Gambar 3.12 Baja AISI 1045	36
Gambar 3.13 Skema Proses Pengambilan Data getaran.....	37



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara kecepatan potong terhadap amplitudo getaran proses pembubutan	41
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kedalaman potong terhadap amplitudo getaran proses pembubutan.....	43
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara <i>cutting speed</i> terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan	44
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kedalaman potong terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan.....	46



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan	13
Tabel 2.2 Unsur Baja Karbon AISI 1045	18
Tabel 2.3 Sifat-Sifat Mekanik Baja AISI 1045	18
Tabel 4.1 Data Nilai Amplitudo Getaran dan Kekasaran permukaan	40



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri manufaktur, keberhasilan suatu proses produksi sangat dipengaruhi oleh mesin-mesin produksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan pada tiap bengkel-bengkel mesin konstruksi dan bengkel-bengkel pengerjaan logam, mesin-mesin ini banyak digunakan dalam pembuatan atau perbaikan komponen tertentu dalam suatu produk manufaktur. Alat pemotongan logam yang banyak digunakan salah satunya adalah mesin bubut dengan proses *turning*. Proses *turning* digunakan untuk melakukan proses pembubutan komponen mesin yang berbentuk silinder (Sugondo, dkk, 2008).

Pada proses permesinan mesin bubut, terjadi gerak relatif antara pahat dan benda kerja yang akan menghasilkan geram dengan ukuran bervariasi yang berakibat pada perubahan gaya, sehingga amplitudo getaran terus membesar dengan cepat. Selain itu bertambahnya amplitudo yang terjadi juga disebabkan oleh energi yang dipakai pada proses pemotongan. Energi yang mengeksitasi getaran berasal dari proses pemotongan itu sendiri dan disebut getaran tereksitasi sendiri atau lebih dikenal dengan *chatter* (Nur, 2011).

Chatter adalah fenomena terjadinya getaran yang berlebihan pada saat proses pemesinan sedang berlangsung, dimana proses tersebut masuk dalam daerah terlarang yaitu daerah tidak stabil (*unstable*). *Chatter* ini disebabkan oleh perubahan tebal geram dan perubahan ini proporsional dengan perubahan gaya potong yang mengeksitasi sistem getaran mesin perkakas. Getaran yang berlebihan tidak hanya terjadi antara pahat dan benda kerja saja tetapi juga pada seluruh struktur mesin perkakas seperti *spindle head*, bantalan, poros penggerak, ulir penggerak dan lain-lain (Suhardjono, 2000).

Chatter harus dihindari karena dapat menurunkan kualitas permukaan bahkan mengakibatkan kesalahan geometri. Permasalahan dalam proses pembuatan bahan menjadi komponen menggunakan mesin bubut konvensional sulit mendapatkan kualitas kekasaran permukaan yang baik



karena faktor kesalahan dari operator manusia, parameter pemotongan dan faktor kondisi mesin itu sendiri (Paridawati, 2015).

Baja merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam berbagai bidang, terutama dalam bidang industri permesinan dan konstruksi. 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*). Salah satu dari sekian banyak jenis baja karbon sedang adalah baja AISI 1045 yang banyak digunakan sebagai bahan utama pada mesin seperti *gear*, batang penghubung piston dan terutama poros pada kendaraan bermotor dan industri (Pratowo & Fernando, 2018).

Berdasarkan uraian tersebut diatas, penelitian ini dilakukan dengan menitik beratkan pada pengaruh variabel permesinan pada proses pembubutan pada material Baja AISI 1045. Oleh karena itu peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang **“KARAKTERISTIK GETARAN CHATTER PADA PROSES PEMBUBUTAN MATERIAL BAJA AISI 1045 AKIBAT PERUBAHAN VARIABEL PERMESINAN”**

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang di atas ialah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variabel permesinan terhadap getaran *chatter* proses pembubutan material baja AISI 1045 dengan tipe pemotongan orthogonal.
2. Bagaimana pengaruh variabel permesinan terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 1045 dengan tipe pemotongan orthogonal.



1.3 Tujuan penelitian

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

1. Untuk mengetahui pengaruh variabel permesinan terhadap getaran *chatter* proses pembubutan material baja AISI 1045 dengan tipe pemotongan orthogonal.
2. Untuk mengetahui pengaruh variabel permesinan terhadap kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 1045 dengan tipe pemotongan orthogonal.

1.4 Batasan masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045.
2. Benda kerja yang digunakan berbentuk silindris.
3. Putaran spindel ditentukan yaitu 100 rpm, 200 rpm, dan 300 rpm.
4. Kedalaman pemotongan ditentukan yaitu 0,5 mm ,1 mm, dan 1,5 mm.
5. Kecepatan pemakanan 0,08 mm/put.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh variabel permesinan terhadap chatter, dan kekasaran permukaan hasil pembubutan material baja AISI 1045 dengan tipe pemotongan orthogonal.
2. Dapat memberikan informasi sebagai referensi tambahan di bidang Manufaktur.
3. Sebagai pemenuhan syarat untuk memperoleh gelar S1 pada program studi Teknik Mesin Unversitas Hasanuddin.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Permesinan

Proses Permesinan adalah istilah yang mencakup banyak koleksi proses manufaktur yang dirancang untuk menghilangkan bahan yang tidak diinginkan, biasanya dalam bentuk *chip*, dari benda kerja. Proses Permesinan digunakan untuk merubah hasil coran, tempa, atau blok logam yang sudah terbentuk sebelumnya menjadi bentuk yang diinginkan, dengan ukuran dan hasil akhir yang ditentukan untuk memenuhi persyaratan desain. Hampir setiap produk yang diproduksi memiliki komponen yang memerlukan permesinan, seringkali dengan presisi tinggi. Oleh karena itu, kumpulan proses ini adalah salah satu proses yang paling penting dari proses manufaktur dasar karena nilai tambah pada produk akhir. Dengan cara yang sama, proses pemesinan seringkali lebih mahal.

Sebagian besar aplikasi industri permesinan adalah logam. Meskipun proses pemotongan logam telah menolak analisis teoritis karena kerumitannya, penerapan proses ini di dunia industri tersebar luas. Proses pemesinan dilakukan pada berbagai peralatan mesin. Contoh lain dari peralatan mesin dasar adalah mesin giling, bor tekan, penggiling, pembentuk, mesin penggerek, dan gergaji. (ASM Internasional. Vol 16.1995)

Baja atau besi tempa sebagai bahan produk yang akan dibentuk melalui proses pemesinan biasanya memiliki bentuk profil berupa bentuk dan ukuran yang telah distandarkan misalnya, bentuk bulat “O”, segi empat, segi enam “L”, “T” “H” dan lain-lain. (Kencanawati, 2017)

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. Dari semua prinsip pemotongan di atas pada buku ini akan dibahas tentang proses pemesinan dengan menggunakan mesin perkakas. 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.

Proses pemesinan seperti proses bubut, pengeboran, frais atau pemesinan baut pada dasarnya merupakan suatu proses pembuangan sebagian bahan benda kerja dimana pada proses pemotongannya akan dihasilkan geram (chip) yang merupakan bagian benda kerja yang akan dibuang. Pahat potong bergerak sepanjang benda kerja dengan kecepatan V dan kedalaman pemotongan Doc . Pergerakan pahat ini mengakibatkan timbulnya geram (chip) yang terbentuk akibat proses pergeseran (shearing) secara kontinu pada bidang geser. (Kencanawati, 2017)

Berikut ini adalah klasifikasi proses permesinan 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 gerakan 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 diklasifikasikan 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.
- Generasi permukaan rata/lurus dengan atau tanpa putaran benda kerja

4. Berdasarkan Mesin yang Digunakan

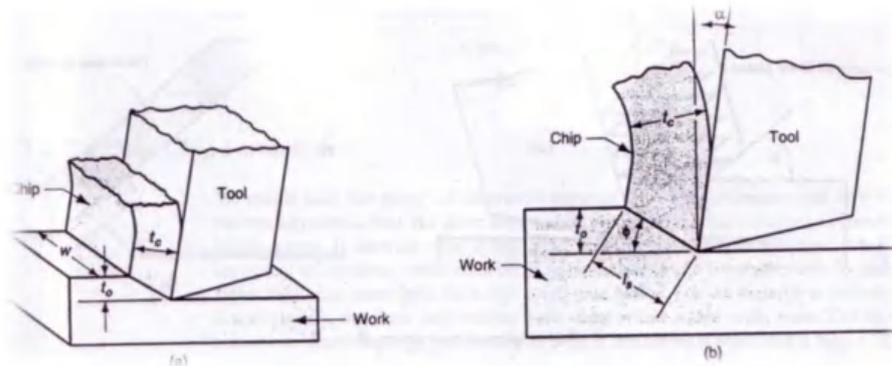
Dalam proses pemesinan jika kita ingin melakukan suatu pekerjaan, maka perlu kita ketahui terlebih dahulu dengan mesin apa yang semestinya kita gunakan sehingga produk yang kita buat sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa jenis proses mungkin dapat dilakukan pada satu mesin perkakas. Misalnya, mesin 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 mengefraisi, menggerinda atau mengasah halus asal pada mesin bubut yang bersangkutan dapat dipasangkan peralatan tambahan (attachments) yang khusus. (Kencanawati.2017)

2.2 Pemotongan Ortogonal

Pemotongan orthogonal adalah proses pemotongan yang sisi potongnya tegak lurus dengan arah potong. Ketika pahat memotong benda kerja, akan menghasilkan *chip* yang terbentuk di sepanjang bidang yang disebut bidang



geser (*shear plane*) yang memiliki sudut ϕ terhadap permukaan benda kerja. Kegagalan pada material tidak akan terjadi ketika memakai pahat yang memiliki sisi yang tajam karena *chip* akan langsung dari benda kerja dan mengalami deformasi plastis.



Gambar 2.1 Pemotongan Orthogonal

Sumber : Groover 2007

Pahat pada pemotongan orthogonal memiliki dua elemen geometri, yaitu *rake angel* dan *clearance angel*. *Rake angel* (α) menentukan arah dari aliran *chip* yang terbentuk. Dan *clearance angel* adalah sudut antara sisi pahat dengan permukaan benda kerja yang telah terpotong.

Selama pemotongan, posisi sisi pahat potong memiliki jarak tertentu di bawah permukaan benda kerja sebelum pemotongan (t_o). Dan chip yang terbentuk di sepanjang bidang geser, ketebalannya akan bertambah (t_c). Rasio antara t_o dan t_c disebut *chip thickness rasio* atau bisa disebut *chip rasio* (r).

$$r = \frac{t_o}{t_c} \tag{2.1}$$

Ketebalan *chip* setelah pemotongan selalu lebih besar dibandingkan sebelum pemotongan. Hal ini menyebabkan *chip ratio* selalu di bawah 1.0.

Geometri dari pemotongan orthogonal menghasilkan hubungan antara *chip ratio*, *rake engel*, dan *shear plane* angel. Panjang bidang geser dilambangkan l_s . Dari gambar didapatkan persamaan :

$$t_o = l_s \sin \phi \tag{2.2}$$

$$t_c = l_s \cos(\phi - \alpha) \tag{2.3}$$



Kemudian disubstitusikan :

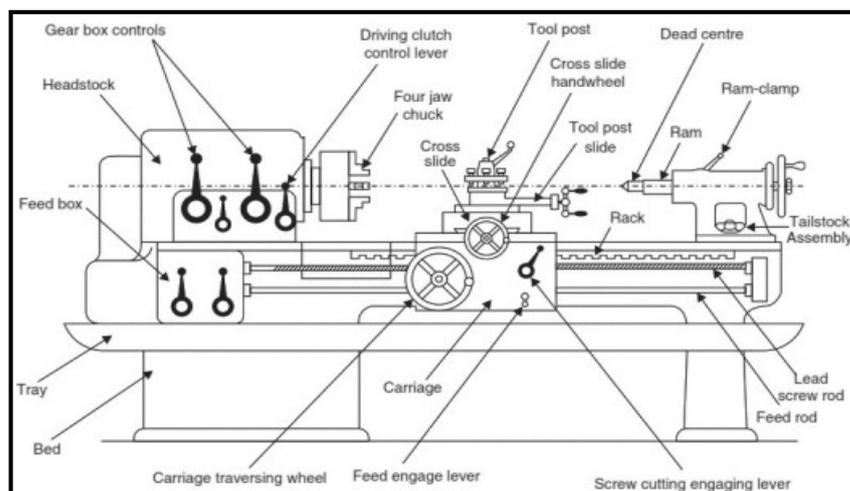
$$r = \frac{l_s \sin \phi}{l_s \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2.4)$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui besar sudut didang digeser ϕ :

$$\tan \phi = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (2.5)$$

2.3 Mesin Bubut

Mesin bubut (*turning machine*) adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan pahat potong (*cutting tools*) sebagai alat untuk memotong benda kerja tersebut. 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.

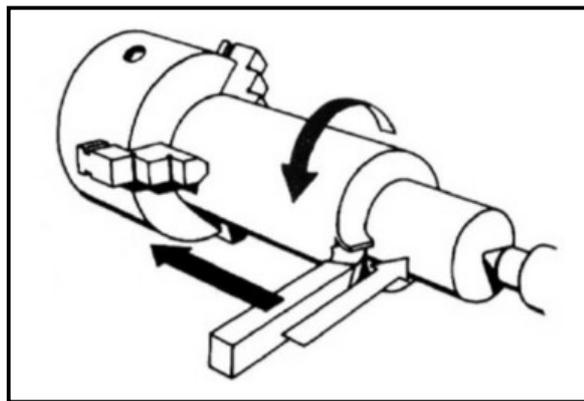


Gambar 2.2 Komponen Mesin Bubut

Sumber: Gupta, et al., 2009



Pergerakan memanjang dari pahat sepanjang luncuran (*sliding*) menghasilkan suatu permukaan yang bundar, dan pergerakan melintang untuk “*surfacing*” (atau *facing*) menghasilkan suatu permukaan yang rata. Gerak putar dari benda kerja disebut gerak potong relatif dan gerakan translasi dari pahat disebut gerak umpan (*feeding*). Bila gerak umpan lambat sekali dibandingkan dengan gerak potongnya akan dihasilkan benda kerja berbentuk silindrik dengan alur spiral yang hampir tidak kelihatan, dapat dikatakan, permukaan benda kerja tersebut halus. Bila gerak umpannya secara translasi dipercepat dan gerak potongnya diperlambat maka bentuk alur spiral yang mengelilingi benda kerja silindrik tersebut semakin jelas atau permukaan benda kerja kasar. (Upura.2009)



Gambar 2.3 Gerakan Pada Proses Pembubutan

Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Mesin bubut merupakan salah satu *metal cutting machine* dengan gerak utama berputar, tempat benda kerja dicekam dan berputar pada sumbunya, sedangkan alat potong (*cutting tool*) bergerak memotong sepanjang benda kerja, sehingga akan terbentuk geram.

2.4 Bagian-Bagian Mesin Bubut

1. Kepala tetap (*Headstock*)

Kepala tetap (*Headstock*), adalah bagian dari mesin bubut yang merupakan tempat dari komponen-komponen utama penggerak dari sumbu utama (*main spindle*) yang berfungsi sebagai tempat kedudukan pencekam (*Chuck*), plat pembawa, kolet, senter, pada sebuah sumbu



utama (*Main spindle*) terpasang sebuah pencekam. *Thermoelectric Cooler*. (Segara, 2020)

2. Meja Mesin (*Bed*)

Meja mesin bubut juga berfungsi tempat dari kedudukan kepala lepas, eretan lepas, penyangga diam (*Steady rest*) dan merupakan tumpuan dari gaya pemakanan saat pembubutan bentuk dari alas bermacam-macam, ada yang datar Permukaanya halus dan rata, sehingga gerakan dari kepala lepas bergerak lancar.

3. Eretan (*Carriage*)

Eretan (*Carriage*), adalah bagian dari komponen mesin yang digunakan untuk penyetelan dari posisi pahat HSS pada arah memanjang, ke kanan dan kiri baik secara manual dan otomatis. Eretan tersebut terdiri dari, yaitu :

1. Eretan memanjang

Eretan memanjang digunakan untuk bisa mengerakkan atau menyetel pahat ke arah sumbu memanjang pada saat mesin beroperasi atau mesin dalam keadaan mati

2. Eretan melintang (*Cross carriage*)

Eretan melintang ditempatkan memanjang fungsinya agar dapat mengatur posisi pahat pada saat proses pembubutan sehingga dapat diatur mendekati atau menjauhi operator.

3. Eretan atas (*Top carriage*)

Eretan atas antara eretan melintang dan eretan atas juga dipasang support yang juga dilengkapi dengan skala serajat, juga berfungsi sebagai kedudukan penjepit (*toolpost*) mata pahat pada mesin bubut.

4. Kepala lepas (*Tail stock*)

Kepala Lepas merupakan bagian utama dari mesin bubut yang berfungsi sebagai penopang dalam membubut benda kerja yang panjang, agar benda kerja tetap berputar pada sumbunya, meletakkan



mata bor, dan tap.

5. Penjepit pahat (*Toolpost*)

Penjepit pahat (*Toolpost*) digunakan untuk menjepit atau memasag pahat, maka bisa menambahkan lempengan plat besi, agar posisi ujung pahat tingginya dapat satu sumbu (*senter*) dengan kepala lepas.

6. Pencekam (*Chuck*)

Pencekam (*Chuck*), berfungsi digunakan untuk menjepit benda kerja pada mesin bubut. Jenis cekamnya ada yang berahang 3 (tiga) sepusat (*Self centering chuck*) dan ada juga yang berahang 3 (tiga) dan 4 (empat) tidak sepusat.

7. Kran pendingin

Kran pendingin berfungsi untuk menyalurkan cairan pendingin (*bromus*) saat proses pembubutan. Pemberian cairan pendingin berfungsi untuk mendinginkan benda kerja Aluminium 6061 dan pahat potong HSS pada saat terjadinya proses pembubutan sehingga pahat tidak mudah aus.

2.5 Variable Permesinan

Ada 3 (tiga) parameter utama pada setiap proses bubut yaitu kecepatan putar spindel (*speed*), gerak makan (*feed*) dan kedalaman potong (*depth of cut*). Faktor yang lain seperti bahan benda kerja dan jenis pahat sebenarnya juga memiliki pengaruh yang cukup besar, tetapi tiga parameter di atas adalah bagian yang bisa diatur oleh operator langsung pada mesin bubut.

Kecepatan putar, n (*speed*), selalu dihubungkan dengan spindel (sumbu utama) dan benda kerja. Karena kecepatan putar diekspresikan sebagai putaran per menit (*revolutions per minute, rpm*), hal ini menggambarkan kecepatan putarannya. Akan tetapi yang diutamakan dalam proses bubut adalah kecepatan potong (*Cutting speed*) atau kecepatan benda kerja dilalui oleh pahat/ keliling benda kerja (lihat gambar 2.4). Secara sederhana kecepatan potong dapat digambarkan sebagai keliling benda kerja dikalikan dengan kecepatan putar dapat dirumuskan sebagai berikut:



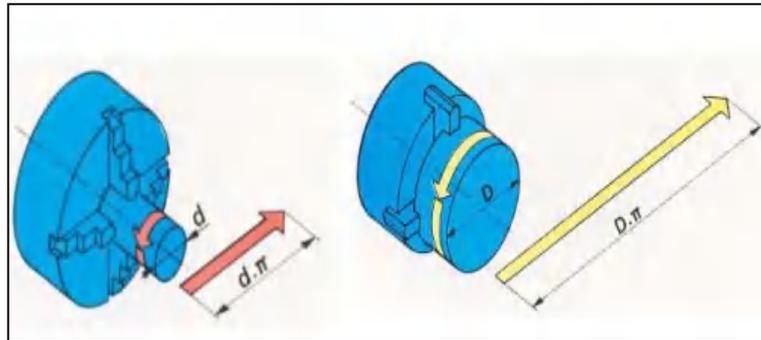
$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ m/menit} \quad (2.6)$$

Dimana :

V_c = kecepatan potong (m/menit)

d = diameter benda kerja (mm)

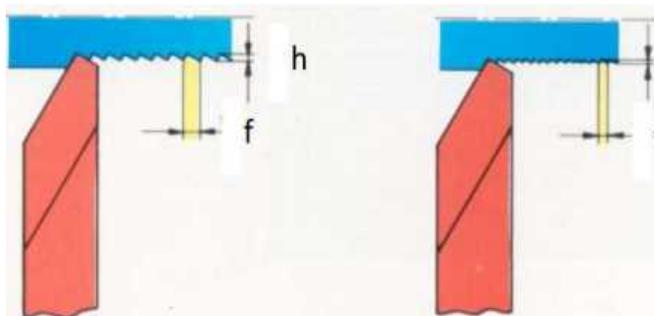
n = putaran benda kerja (putaran/menit)



Gambar 2.4 Panjang permukaan benda kerja

Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)

Dengan demikian kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja. Selain kecepatan potong ditentukan oleh diameter benda kerja faktor bahan benda kerja dan bahan pahat sangat menentukan harga kecepatan potong. Pada dasarnya pada waktu proses bubut kecepatan potong ditentukan berdasarkan bahan benda kerja dan pahat. Harga kecepatan potong sudah tertentu tergantung jenis bahan/benda kerja, jenis alat potong, dan kekasaran pemakaian pahat bubut. Misalnya untuk benda kerja *Mild Steel* dengan pahat dari HSS, kecepatan potongnya antara 20 sampai 30 m/menit.



Gambar 2.5 Gerak makan (f) dan kedalaman pemotongan (h)

Sumber : *Handout* Permesinan Bubut (Nurdjito dan Arifin, 2015)



Gerak makan (*feed*) , adalah jarak yang ditempuh oleh pahat setiap benda kerja berputar satu kali (lihat gambar 2.5), sehingga satuan f adalah mm/putaran. Gerak makan ditentukan berdasarkan kekuatan mesin, material benda kerja, material pahat, bentuk pahat, dan terutama kehalusan permukaan yang diinginkan. Gerak makan biasanya ditentukan dalam hubungannya dengan kedalaman potong *h*. Gerak makan tersebut berharga sekitar $1/3$ sampai $1/20$ *h*, atau sesuai dengan kehalusan permukaan yang dikehendaki.

Kedalaman potong, *h* (*depth of cut*), adalah tebal bagian benda kerja yang dibuang dari benda kerja, atau jarak antara permukaan yang dipotong terhadap permukaan yang belum terpotong (ditunjukkan pada gambar 2.5). Ketika pahat memotong sedalam *h* , maka diameter benda kerja akan berkurang, karena bagian permukaan benda kerja yang dipotong ada di dua sisi, akibat dari benda kerja yang berputar.(Nurdjito.2015)

Tabel 2.1 Variabel permesinan yang direkomendasikan pada proses pembubutan

Workpiece material	Cutting tool	Range for roughing and finishing		
		Depth of cut, mm	Feed, mm/rev	Cutting Speed, m/min
Low carbon and free machining Steel	Uncoated carbide	0,5-7,6	0,15-1,1	60-135
	Ceramic-coated carbide	“	“	180-495
	Triple coated carbide	“	“	90-245
	Tin coated carbide	“	“	60-230
	Al ₂ O ₃ ceramic	“	“	365-550
Medium and High carbon Steel	Uncoated carbide	2,5-7,6	0,15-	135-225
	Ceramic-coated carbide	“	0,75	120-210
	Triple coated carbide	“	“	75-215
	Tin coated carbide	“	“	45-215
	Al ₂ O ₃ ceramic	“	“	245-455

Sumber: (Kalpakjian & Schmid,2014)



Secara sederhana variabel pemesinan merupakan segala variabel yang mempengaruhi proses maupun hasil pemesinan. Variabel pemesinan ini terdiri atas variabel yang bergantung pada mesin dan variabel yang bergantung pada benda kerja. Adapun variabel pemesinan yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Benda Kerja :

- d_o = diameter mula (mm)
- d_f = diameter akhir (mm)
- l_t = panjang pemotongan (mm)
- d = kedalaman potong (mm)

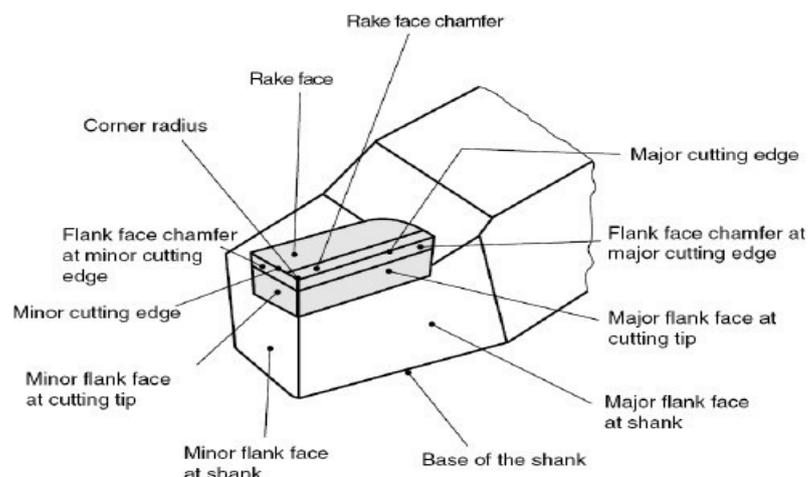
2. Mesin :

- f = gerak makan (mm/putaran)
- n = putaran poros utama (putaran/menit)

Variabel pemesinan merupakan hal-hal yang mempengaruhi proses Pemesinan. (Nurdjito dan Arifin, 2015)

2.6 Geometri Pahat Bubut

Dalam bidang pemesinan, geometri alat potong biasanya didefinisikan sesuai dengan standar DIN 6580 dan 6581. Gambar pahat bubut yang sesuai dengan standar DIN 6581 dapat dilihat pada gambar .



Gambar 2.6 Geometri pahat bubut sesuai dengan DIN 6581

Sumber: (Husein, 2015)

Dalam bidang pemesinan, geometri alat potong biasanya didefinisikan



sesuai dengan standar DIN 6580 dan 6581. Gambar pahat bubut yang sesuai dengan standar DIN 6581 dapat dilihat pada gambar 2.6.

1. Permukaan *Flank (flank faces)*.

Permukaan *Flank* adalah area pada sisi potong yang sejajar dengan permukaan potong (*cut surfaces*). Jika permukaan *flank* ini diberi *chamfer*, selanjutnya disebut bagian ini disebut *flank face chamfer*.

2. Permukaan *Rake (rake faces)*.

Permukaan *Rake* adalah permukaan di mana tatal (*chip*) bergerak dan menggesek bidang tersebut. Jika permukaan atau bidang *rake* juga diberi *chamfer* kemudian disebut *rake face chamfer*.

3. Sisi potong.

- Sisi potong utama (*major cutting edges*). Didefinisikan sebagai sisi pemotong, ketika dilihat dari area bidang kerja pada arah gerakan yang sesuai.
- Sisi potong minor. Didefinisikan sebagai sisi pemotong tetapi jika dipandang dari area bidang kerja bukanlah berbentuk titik.

4. Pojok alat potong (*corners*).

- Pojok sisi potong. Didefinisikan sebagai titik bertemunya sisi potong mayor dan sisi potong minor.
- Radius pahat (*corner radius*) adalah bentuk radius pada ujung alat potong (pojok). Radius pahat diukur dalam bidang referensi pahat (*tool reference plane*) (Sutopo, 2007).

2.7 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 non ferro 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:

- a. WC + Co + (WC-TiC-TaC-NiC) untuk digunakan dalam pemesinan baja.
- b. WC + Co untuk digunakan dalam permesinan besi cor dan logam *non ferro*.
- c. 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)

2.8 Baja AISI 1045

Baja AISI 1045 merupakan salah satu dari jenis baja karbon rendah dengan kandungan karbon sebesar (0,43 – 0,50 % C berat) yang sering digunakan dipasaran karena banyak memiliki keunggulan dan harganya yang lumayan terjangkau. AISI sendiri merupakan kepanjangan dari (American Iron and Steel Institute) angka 10 merupakan kode yang menunjukkan plain carbon dan kode xxx setelahnya merupakan besar dari komposisi karbon.

Baja AISI 1045 juga memiliki beberapa karakteristik diantaranya sifat mampu mesin yang baik, Wear resistance-nya baik dan sifat mekaniknya menengah.

2.8.1 Penggunaan baja AISI 1045

Baja AISI 1045 banyak digunakan pada komponen mesin sebagai komponen roda gigi, poros, batang penghubung piston dan rantai, menurut penggunaan termasuk kedalam baja kontruksi. Fungsi komponen mesin yang terbuat dari baja AISI 1045 yaitu sebagai berikut:



2.9 Getaran pada proses pembubutan

Getaran yang dialami oleh mesin disebabkan karena adanya sumber penyebab getaran yang kemudian diteruskan ke seluruh bagian/komponen mesin yang bersangkutan. Sumber getaran ini dapat berasal dari dalam mesin itu sendiri. Contohnya, ketidak-seimbangan gaya yang disebabkan titik berat benda kerja atau pahat tidak pada sumbu putar, *ball bearing* yang rusak, *belt* yang bergetar, dan sebagainya. Getaran yang terjadi karena sumber-sumber getaran yang tersebut di atas dinamakan sebagai getaran eksitasi paksa (*forced excited vibration*). Getaran pada proses permesinan sangat merugikan. Pada proses finishing akan mengurangi ketelitian dimensi, bentuk serta kehalusan suatu produk.

2.9.1 Klasifikasi Getaran

Getaran adalah gerakan bolak-balik melalui titik kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (jarak simpangan terjauh dengan titik tengah) yang sama. Secara umum getaran dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Getaran bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem beresonansi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan dari luar.

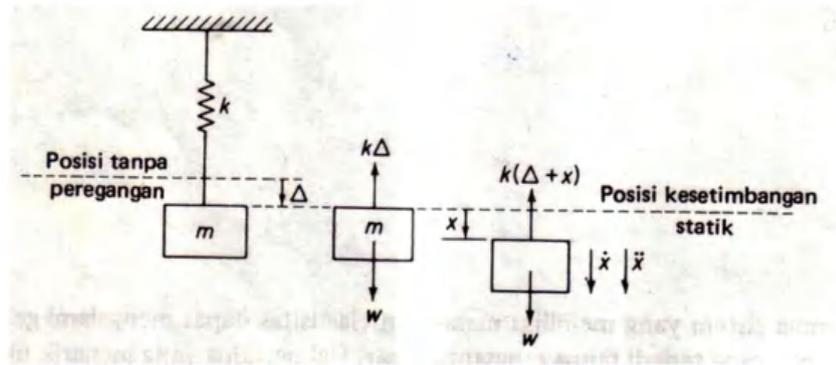
1. Getaran Bebas Tanpa Redaman

Hukum Newton kedua adalah dasar pertama untuk meneliti gerak sistem. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5, perubahan bentuk pegas pada posisi kesetimbangan statik adalah Δ , dan gaya pegas $k\Delta$ adalah sama dengan gaya gravitasi w yang bekerja pada massa m :

$$k\Delta = w = mg \quad (2.7)$$



Dengan mengukur simpangan x dari posisi kesetimbangan statis, maka gaya-gaya yang bekerja pada m adalah $k(\Delta+x)$ dan w . Dengan x yang dipilih positif dalam arah kebawah, semua besaran (gaya, kecepatan dan percepatan) juga positif dalam arah kebawah.



Gambar 2.7 Sistem pegas massa dan diagram benda bebas

Sumber : Thomson (1995: 16)

Sekarang hukum Newton kedua untuk gerak diterapkan pada massa m .

$$m\ddot{x} = \sum F = w - k(\Delta + x) \quad (2.8)$$

dan karena , diperoleh

$$m\ddot{x} = -kx \quad (2.9)$$

Jelaslah bahwa pemilihan posisi kesetimbangan statik sebagai sebagai acuan untuk x mengeliminasi w , yaitu gaya yang disebabkan gravitasi, dan gaya pegas statik $k\Delta$ dari persamaan gerak, hingga gaya resultant pada m adalah gaya pegas karena simpangan x saja.

Dengan mendefinisikan frekuensi lingkaran ω_n lewat persamaan,

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (2.10)$$

Persamaan 2.19 dapat ditulis sebagai,

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = 0 \quad (2.11)$$



dan dengan membandingkan konstanta pegas yang disimpulkan bahwa gerakanya adalah harmonik. Maka didapat persamaan diferensial linier orde kedua yang homogen, mempunyai solusi umum berikut:

$$x = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t \quad (2.12)$$

dengan A dan B adalah dua konstanta yang penting. Konstanta ini dihitung dari kondisi awal x_0 dan \dot{x}_0 , sehingga didapat persamaan,

$$x = \frac{\dot{x}_0}{\omega} \sin \omega_n t + x_0 \cos \omega_n t \quad (2.13)$$

Persamaan 2.22 dapat disubstitusi sehingga menjadi :

$$x = X \sin (\omega t + \theta) \quad (2.14)$$

X adalah amplitudo perpindahan dan θ adalah sudut fasa yang didefinisikan sebagai :

$$x = \sqrt{(\dot{x}_0/\omega)^2 + x_0^2} \quad (2.15)$$

$$\tan \theta = \frac{x_0}{\dot{x}_0/\omega} \quad (2.16)$$

Kecepatan X dan percepatan X adalah turunan pertama dan kedua dari persamaan 2.23 dan 2.24 terhadap waktu yang dapat ditulis dalam berbagai bentuk seperti berikut :

$$\dot{x} = \dot{x}_0 \cos \omega t - \dot{x}_0 \sin \omega t$$

$$\dot{x} = X\omega \cos (\omega t + \theta) = X\omega \sin(\omega t + \theta + \frac{\pi}{2})$$

$$\dot{x} = X \cos (\omega t + \theta) \quad (2.17)$$

dengan X adalah amplitudo kecepatan. Untuk percepatan :

$$\ddot{x} = -\dot{x}_0 \omega \cos \omega t - \dot{x}_0 \omega^2 \sin \omega t$$

$$\ddot{x} = -X\omega^2 \cos(\omega t + \theta) - x_0 \omega^2 \sin(\omega t + \theta + \pi)$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 x$$

$$\ddot{x} = -X \sin(\omega t + \theta) \quad (2.18)$$

$\ddot{x} = \omega^2 x$ adalah amplitudo percepatan.

Perioda natural osilasi dibentuk dari $\omega_n \tau = 2\pi$, atau



$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.19)$$

dan frekuensi natural adalah

$$f_n = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.20)$$

2. Getaran Bebas Dengan Redaman

Bila sistem linier satu derajat kebebasan dirangsang, maka responnya akan tergantung pada jenis rangsangan dan redaman yang ada. Bentuk persamaan geraknya sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + F_d + kx = 0 \quad (2.21)$$

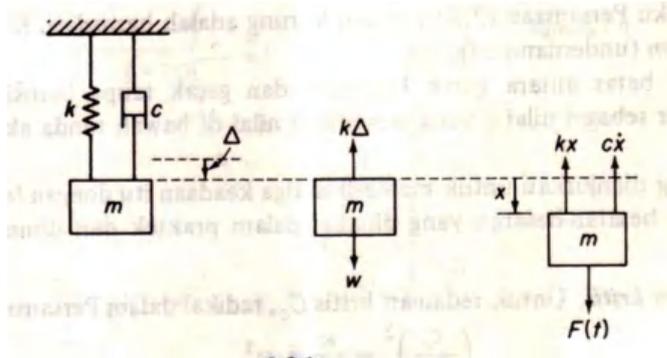
Dengan F_d adalah gaya peredam. Walaupun gambaran gaya peredam sebenarnya adalah sulit, dapat diasumsikan model-model redaman ideal yang sering menghasilkan perkiraan respon yang memuaskan. Dari model ini, gaya redaman karena kekentalan yang sebanding dengan kecepatan, menghasilkan pengolahan matematika yang paling mudah.

Gaya redaman karena kekentalan dinyatakan oleh persamaan,

$$F_d = c\dot{x} \quad (2.22)$$

Dengan c adalah konstanta kesebandingan. Secara simbolik gaya ini dinyatakan oleh peredam seperti terlihat pada gambar 2.8. Dari diagram benda bebas persamaan gerak dapat ditulis sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.23)$$



Gambar 2.8 Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas

Sumber : Thomson (1995: 27)

Solusi persamaan diatas ada dua macam. Jika $F(t) = 0$, maka diperoleh persamaan diferensial homogen yang solusinya secara fisis sesuai dengan getaran teredam bebas. Dengan persamaan homogenya:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \tag{2.24}$$

Solusi persamaan ini tergantung pada besarnya redaman. Bila redaman cukup kecil, sistem masih akan bergetar, namun pada akhirnya akan berhenti. Keadaan ini disebut kurang teredam, dan merupakan kasus yang paling mendapatkan perhatian dalam analisis vibrasi. Bila peredaman diperbesar sehingga mencapai titik saat sistem tidak lagi berosilasi, kita mencapai titik redaman kritis. Bila peredaman ditambahkan melewati titik kritis ini sistem disebut dalam keadaan melewati redaman.

Nilai koefisien redaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis pada model massa-pegas-peredam adalah:

$$C_c = 2\sqrt{km} \tag{2.25}$$

Untuk mengkarakterisasi jumlah peredaman dalam sistem digunakan rasio yang dinamakan rasio redaman. Rasio ini adalah perbandingan antara peredaman sebenarnya terhadap jumlah



peredaman yang diperlukan untuk mencapai titik redaman kritis.

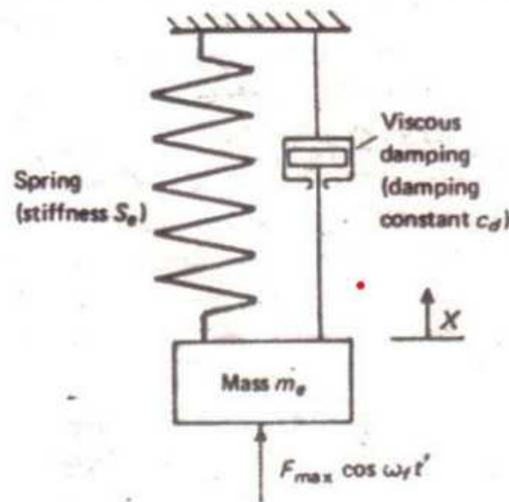
Rumus untuk rasio redaman (ζ) adalah:

$$\zeta = \frac{n}{2\sqrt{km}} \quad (2.26)$$

2. Getaran paksan dengan peredam

Terjadinya getaran antara pahat dan benda kerja pada saat proses pemesinan akan menimbulkan efek yang merugikan, diantaranya rendahnya kualitas permukaan dan terjadinya kesalahan bentuk atau ukuran pada benda kerja. Selain itu timbulnya getaran juga akan mempercepat laju keausan pahat, memperpendek umur komponen mesin.

Getaran yang terjadi pada proses pemesinan adalah getaran paksa, yaitu getaran yang disebabkan oleh eksitasi getaran dari luar. Untuk sistem dengan satu derajat kebebasan gambar 2.9, persamaan getaran paksa yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.9 Pemodelan sistem pegas massa satu derajat kebebasan dengan peredam cairan

Sumber : Boothroyd (1981: 198)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c_d \frac{dx}{dt} + kx = F_{max} \cos \omega_f t \quad (2.27)$$

dengan:

x = Perpindahan (mm)

t = Waktu (s)



- m = Massa ekivalen (kg)
- c_d = Gaya redaman per unit kecepatan (konstanta peredam cairan)
- k = Restoring force per unit perpindahan (kekakuan pegas)
- F_{max} = Nilai puncak dari gaya harmoni eksternal (N)
- ω_f = Frekuensi angular dari gaya harmoni eksternal

Persamaan 14, menunjukkan gerakan frekuensi eksitasi anguler (ω) dengan amplitudonya sebagai berikut Boothroyd et al. (1981):

$$a_v = \frac{F_o}{\sqrt{4C_c^2 \omega_f^2 + (\omega_n^2 - \omega_f^2)^2}} \quad (2.28)$$

dengan :

- a_v = Amplitudo getaran
- F_o = Nilai puncak gaya pengganggu dibagi massa (N/kg)
- ω_f = Frekuensi gaya angular
- ω_n = Frekuensi angular natural dari sistem
- C_c = Koefisien redaman

Getaran paksa (*vibration force*) pada peralatan mesin kebanyakan disebabkan oleh variasi siklik dari gaya-gaya pemotongan. Misalnya, variasi siklik pada proses milling, dimana frekuensi getaran paksa akan sama dengan hasil dari frekuensi putaran peralatan dan jumlah gigi pada roda gigi.

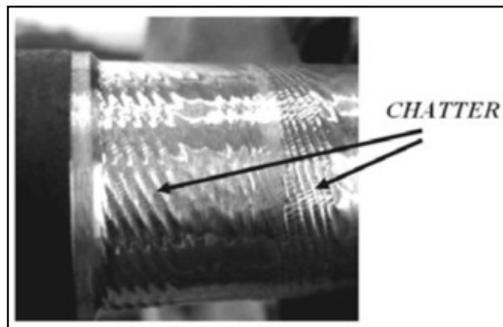
2.9.2 Getaran Tereksitasi Sendiri (*Chatter*)

Chatter adalah fenomena terjadinya getaran yang berlebihan pada saat proses pemesinan sedang berlangsung, dimana proses tersebut masuk dalam daerah terlarang yaitu daerah tidak stabil (*unstable*). *Chatter* ini disebabkan oleh perubahan tebal geram dan perubahan ini proporsional dengan perubahan gaya potong yang mengeksitasi sistem getaran mesin perkakas. Getaran yang berlebihan tidak hanya terjadi antara pahat dan benda kerja saja tetapi juga pada seluruh struktur mesin perkakas seperti *spindle head*, bantalan, poros penggerak, ulir penggerak dan lain-lain (Suhardjono, 2000).

Chatter adalah merupakan sesuatu yang harus dihindari dalam proses pembubutan karena dapat menyebabkan timbulnya gelombang yang



berlebihan pada permukaan hasil pemotongan sehingga menurunkan kualitas suatu produk. Kerugian lain yang bias ditimbulkan oleh *chatter* adalah meningkatnya kecepatan keausan pahat, timbulnya suara bising yang dapat mengganggu pendengaran operator dan penurunan umur mesin perkakas. Karena banyaknya kerugian yang dapat disebabkan oleh *chatter* baik pada produk, pahat, operator maupun pada mesin perkakas maka sebaiknya *chatter* harus dihindari selama proses pembubutan. Beberapa upaya yang mungkin dilakukan untuk menghindari terjadinya *chatter* selama pemotongan adalah dengan mengetahui batas stabilitas proses pemotongan dari suatu mesin perkakas dan dengan menggunakan alat bantu sistem peredam untuk mengurangi terjadinya getaran selama proses pemotongan berlangsung. Contoh permukaan produk hasil bubutan yang mengalami *chatter* dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10 Permukaan benda kerja yang mengalami *chatter*

Secara umum *chatter* yang terjadi pada proses bubut disebabkan oleh efek regeneratif selama proses pembubutan berlangsung. *Chatter* karena efek regeneratif adalah bahwa energi yang diberikan ke sistem akibat modulasi tebal geram oleh pengaruh permukaan yang bergelombang dari proses pemotongan sebelumnya. Modulasi tebal geram ini disebabkan oleh adanya pergeseran fasa antara gelombang dari proses pemotongan sebelumnya dengan gelombang permukaan pada saat pemotongan sedang berlangsung. Gambar fluktuasi tebal geram akibat beda fasa dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini.



struktur logam pada lapisan ini tidak seperti struktur logam dasarnya yang belum terpengaruh oleh tekanan pemotongan dan panas yang terbangkit.

Ketebalan lapisan permukaan ini bisa mencapai nilai yang besar untuk metode pemesinan dengan kekasaran tertentu (sampai 0.5 mm untuk kekasaran turning). Material yang lebih ulet, sifat lapisan permukaannya akan membedakan dari material sisa.

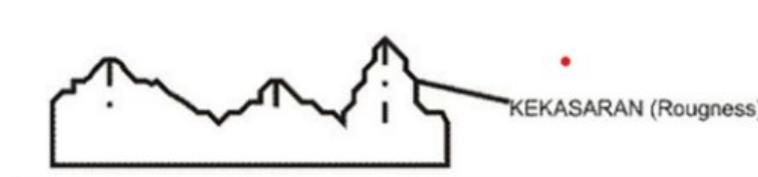
Kualitas lapisan permukaan dan permukaan akhir komponen mesin mempengaruhi sifat fungsionalnya secara luas. Karakteristik fungsional komponen mesin bergantung pada kualitas:

- a. Ketahanan aus permukaan gesek.
- b. Kekuatan fatigue komponen.
- c. Kekuatan interferensi dari material dasar.
- d. Ketahanan korosi permukaan, dll.

Karakteristik geometri bentuk permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa macam diantaranya:

1. Kekasaran / *roughness* (*Micro roughness*)

Bentuk naik turunnya permukaan dari pendeknya gelombang yang ditandai seperti bukit dan lembah dengan bermacam-macam jarak dan amplitudo, seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Kekasaran Permukaan.

Sumber: Anonymous 1 (2012:225)

2. Gelombang / *waviness* (*macroroughness*)

Ketidakteraturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya, seperti pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Gelombang / waviness (*macroroughness*)

Sumber: Anonymous 1 (2012:225)

3. Kesalahan bentuk (*error of form*)

Ketidakaturan makrogeometri, penyimpangan pada kekasaran dan waviness, yang disebabkan terutama oleh kesalahan pada proses permesinan, dan deformasi akibat tegangan pola komponen, seperti pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Kesalahan bentuk (*error of form*)

Sumber: Anonymous 1 (2012:225)

2.11 *R-square*

Menurut Ghazali (2011), koefisien determinasi (R^2) bertujuan mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerapkan variasi variable dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol dan 1 Nilai (R^2) Yang kecil dapat diartikan bahwa kemampuan menjelaskan variable-variable bebas dalam menjelaskan variable terikat sangat terbatas. Sedangkan nilai yang mendekati 1 berarti variable- variable bebas dalam menjelaskan variable terikat sangat terbatas. Sedangkan nilai yang mendekati 1 berarti variable- variabel bebas memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variasi variable terikat.

Kelemahan penggunaan koefisien determinasi R^2 Adalah bias terhadap variable terikat yang ada dalam model. Oleh karena itu banyak peneliti menganjurkan untuk menggunakan nilai Adjusted R^2 pada saat mengevaluasi mana model regresi yang baik. setiap tambahan 1 variabel independen, maka



R^2 pasti akan meningkatkan p melihat apakah variable tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap variable dependen. Menurut Gujarati (2003) jika dalam uji empiris didapat nilai adjusted R^2 negatif, maka nilai adjusted R^2 dianggap bernilai 0. Dengan demikian, pada penelitian ini tidak menggunakan R^2 namun menggunakan nilai adjusted R^2 untuk mengevaluasi model regresi.

Uji validitas dilakukan untuk mengetahui kemampuan instrument dalam mengukur variabel penelitian. Pengujian ini dilakukan dengan mengajukan butir-butir pertanyaan kuesioner yang nantinya akan diberikan kepada responden. Setelah mendapatkan data dari responden kemudian dilakukan uji construct validity dengan menggunakan Confirmatory Factor Analysis (CFA).

Uji validitas diperlukan untuk menguji keabsahan instrument penelitian sehingga dapat digunakan untuk alat menggali data pada saat melakukan penelitian. Metode yang digunakan yaitu dengan mengkorelasikan skor yang diperoleh dari setiap item dengan skor total setiap atribut. Teknik korelasi yang digunakan yaitu pearson product moment correlation :

$$R^2 = \left(\frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \right)^2 \quad (2.29)$$

Dimana :

- R = koefisien korelasi antara item (x) dengan skor total (y)
- N = banyaknya responden
- X = skor yang diperoleh dari seluruh item
- Y = jumlah skor yang diperoleh dari seluruh item
- $\sum XY$ = jumlah perkalian X dan Y
- $\sum X^2$ = jumlah kuadrat dalam skor distribusi X
- $\sum Y^2$ = jumlah kuadrat dalam skor distribusi Y