

**TESIS**

**ANALISIS KONDISI PAHAT DAN HASIL PEMBUBUTAN RATA  
DENGAN SINYAL GETARAN TERHADAP MATERIAL ST60 PADA  
MESIN CNC BUBUT**

*Analysis Of Tool Conditions and Results of Turning With Vibration Signals On  
St60 Materials On Cnc Lathe Machine*

**MUH. FACHRUL**

**D022182003**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**HALAMAN JUDUL**

**Analisis Kondisi Pahat Dan Hasil Pembubutan Rata Dengan Sinyal Getaran  
Terhadap Material St60 Pada Mesin Cnc Bubut**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister**

**Program Studi**

**Teknik Mesin / Konstruksi Mesin**

**Disusun dan diajukan oleh**

**Muhammad Fachrul**

**D022182003**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**


**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**TESIS****ANALISIS KONDISI PAHAT DAN HASIL  
PEMBUBUTAN RATA DENGAN SINYAL GETARAN  
TERHADAP MATERIAL ST60 PADA MESIN CNC  
BUBUT****MUH. FACHRUL  
D022182003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 17 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, M.T.  
NIP : 19580921 198603 1 003

Pembimbing Pendamping



Azwar Hayat, S.T., M.Sc., Ph.D.  
NIP : 19840126 201212 1 002

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof.Dr.Eng.Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T.,M.T.  
NIP : 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Mesin

Dr.Eng. Novriany Amaliyah, S.T.,M.T.  
NIP : 19791112 200812 2 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh Fachrul  
Nomor Induk Mahasiswa : D022182003  
Program Studi : Teknik Mesin/ Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Gowa, 17 Maret 2023

Yang menyatakan,



**(Muh Fachrul)**

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis haturkan kepada kehadiran Allah SWT atas anugerah, taufik, hidayah dan Inayah-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga tesis dengan judul **“Analisis Kondisi Pahat Dan Hasil Pembubutan Rata Dengan Sinyal Getaran Terhadap Material St60 Pada Mesin Cnc Bubut”** dapat diselesaikan pada tepat waktunya. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Master Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semoga adanya tesis ini dapat memberikan manfaat bagi khasanah pengetahuan ilmu teknik mesin untuk pengembangan keilmuan di Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak selama menyelesaikan tesis ini, tesis ini tidak akan mungkin dapat penulis selesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan rasa hormat dan terimakasih sedalam-dalamnya kepada para pihak:

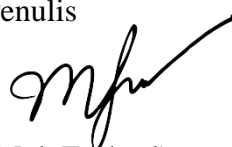
1. Kepada kedua orang tua penulis yaitu Bapak Muh Kasim dan Ibu Ida
2. Kepada Rektor Universitas Hasanuddin Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.
3. Kepada Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Prof. Dr Eng Ir. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT
4. Kepada Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Dr.Eng Jalaluddin, ST., MT.
5. Kepada Ketua Program Studi S2 Departemen Teknik Mesin Dr. Eng Novriany Amaliyah, ST, Mt
6. Kepada Pembimbing Dr. Ir. H. Ahmad Yusran Aminy, M.T.

7. Pembimbing Kedua Azwar Hayat, S.T., M.Sc., Ph.D.
8. Kepada seluruh Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Kepada teman-teman kelas seperjuangan S2 Teknik Mesin 2018.
10. Kepada seluruh rekan-rekan Dosen, Laboran dan Staf Politeknik Bosowa.
11. Kepada semua pihak yang kami tidak bisa sebutkan satu persatu.

Akhir kata atas bantuan dan budi baik yang telah penulis dapatkan dari seluruh rekan sekalian penulis haturkan terimakasih sebanyak-banyaknya. Semoga hal baik yang telah diberikan kepada penulis dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa dan diberkahi pahala yang setinggi-tingginya.

Makassar, 17 Maret 2023

Penulis



(Muh Fachrul)

## ABSTRAK

**Muh Fachrul**, *Analisis Kondisi Pahat Dan Hasil Pembubutan Rata Dengan Sinyal Getaran Terhadap Material St60 Pada Mesin CNC Bubut* (dibimbing oleh **Ahmad Yusran Aminy** dan **Azwar Hayat**)

Sistem monitoring pada proses permesinan cnc bubut perlu dilakukan untuk memantau kondisi pahat dan hasil kekasaran permukaan pada saat proses pembubutan, sistem monitoring secara langsung sangat memudahkan untuk pemantauan kondisi pahat dan hasil kekasaran pembubutan tanpa melakukan proses pengecekan manual secara langsung. metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengukur getaran yang terjadi pada saat proses pembubutan menggunakan sensor *ADXL 345* kemudian dilakukan pembacaan melalui sinyal yang dikirim dari microcontroller ke *software LabVIEW community 2020 version*. metode analisis data dilakukan dengan mengambil hasil pengukuran dari perhitungan *RMS (root mean square)* pada getaran yang timbul saat proses permesinan. pada studi ini membandingkan metode yang terbaik digunakan dalam proses pemantauan dengan menghitung nilai getaran secara langsung dan setelah melalui proses *Fast Fourier Transform (FFT)*. proses pembubutan menggunakan pahat baru menunjukkan nilai getaran dalam *RMS* yaitu berada pada range 54,36mV sampai 67,08mV dan nilai kekasaran permukaan berada pada range 0,722 $\mu$ m sampai 2,135 $\mu$ m dan pada pahat kondisi aus dengan nilai keausan tepi VB 0,304mm sampai 0,324mm menunjukkan nilai getaran *RMS* 125,14mV sampai 152,09mV dan nilai kekasaran Ra 2,860 $\mu$ m sampai pada 4,504 $\mu$ m. metode yang terbaik digunakan yaitu pengukuran *RMS* secara langsung pada getaran yang terjadi, dikarenakan Peningkatan *voltase* di *RMS* berbanding lurus dengan nilai keausan pahat dan kekasaran permukaan yang terjadi pada proses pembubutan.

**Kata kunci:** sistem monitoring, CNC Bubut, Getaran, RMS, FFT

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan masalah .....	3
1.3    Tujuan Penelitian .....	4
1.4    Batasan Masalah .....	4
1.5    Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1    Mesin Bubut CNC.....	6
2.2    Alat Potong CNC Bubut.....	11
2.3    Kekasaran Permukaan Material.....	15
2.4    Keausan Pahat .....	19
2.5    Getaran Mekanik.....	24
2.6    Sensor getaran Akselerometer ADXL345.....	26
2.7    Metode ekstruksi singal getaran .....	29
2.8    Material ST 60.....	32
2.9    LabView .....	33
BAB III.....	36
METODE PENELITIAN .....	36
3.1    Waktu dan Tempat Penelitian .....	36
3.2    Metodologi Penelitian.....	39
3.3    Teknik Analisis Data .....	46
BAB IV .....	48



HASIL DAN PEMBAHASAN .....	48
4.1. Data Hasil Penelitian.....	48
4.2. Pembahasan Raw signal TDA dan signal FFT .....	49
4.3. Pembahasan Keausan Pahat dan Getaran Mesin.....	58
4.4. Pembahasan Kekasaran Permukaan Hasil Permesinan .....	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	65
5.1. Kesimpulan .....	65
5.2. Saran .....	66
DAFTAR PUSTAKA .....	67

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2. 1</b> Standarisasi symbol nilai kekasaran (Dwi et al. 2016) .....	19
<b>Tabel 4. 1</b> Proporsi ragam percobaan acceleration-time domain (TDA) pada kondisi pemakanan pahat.....	54
<b>Tabel 4. 2</b> Proporsi ragam percobaan FFT pada kondisi pada proses pembubutan.....	56
<b>Tabel 4. 3</b> Keausan pahat dan nilai getaran.....	58
<b>Tabel 4. 4</b> Uji Kekasaran pada tiap kondisi pahat.....	63

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Mesin bubut CNC dan bagian-bagiannya.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> (a) Sistem koordinat pada mesin bubut CNC, (b) titik nol pada mesin bubut CNC .....	8
<b>Gambar 2. 3</b> Geometri pahat bubut sisipan (insert).....	12
<b>Gambar 2. 4</b> Pahat tangan kanan dan pahat tangan kiri.....	12
<b>Gambar 2. 5</b> (a) pahat alur, (b) pahat dalam, (c) pahat rata kanan, (d) pahat rata kiri, dan (e) pahat ulir .....	13
<b>Gambar 2. 6</b> (a) Pahat bubut sisipan (inserts), (b) pahat sisipan yang dipasang pada pemegang pahat (tool holders) .....	13
<b>Gambar 2. 7</b> Pengkodean pahat sisipan (insert) .....	14
<b>Gambar 2. 8</b> (a) Grafik center line, (b) profil nominal dan terukur.....	17
<b>Gambar 2. 9</b> Parameter profil kekasaran permukaan (Soesanti 2012) .....	18
<b>Gambar 2. 10</b> (a) Various types of tool wear, (b) Nose Radius wear (Derani and Ratnam 2021) .....	20
<b>Gambar 2. 11</b> Pertumbuhan keausan tepi untuk gerak makan tertentu dan kecepatan potong yang berbeda (Budiman 2007).....	21
<b>Gambar 2. 12</b> Karakteristik getaran gelombang .....	27
<b>Gambar 2. 13</b> Block diagram akselerometer ADXL345 .....	28
<b>Gambar 2. 14</b> Orientasi ketiga sumbu akselerometer ADXL345.....	28
<b>Gambar 2. 15</b> Contoh sinyal.....	30
<b>Gambar 2. 16</b> Perubahan signal.....	30
<b>Gambar 3. 1</b> Mesin CNC bubut.....	37
<b>Gambar 3. 2</b> Rangkaian sensor getaran ADXL 345 .....	37
<b>Gambar 3. 3</b> (a) Holder pahat ZCC-CT SWL2525M16, (b) Insert Roughing CNMG120404.....	38
<b>Gambar 3. 4</b> Alat uji kekasaran permukaan SJ310.....	38
<b>Gambar 3. 5</b> Mikroskop digital.....	39
<b>Gambar 3. 6</b> Skema penelitian.....	46
<b>Gambar 3. 7</b> Diagram Alir.....	47
<b>Gambar 4. 1</b> tampilan monitoring getaran pada LabView .....	48
<b>Gambar 4. 2</b> Grafik TDA dan FFT pada tanpa pemakanan.....	50
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik TDA dan FFT pada pahat kondisi baik .....	51
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik TDA dan FFT pada pahat kondisi sedang .....	52
<b>Gambar 4. 5</b> Grafik TDA dan FFT pada pahat kondisi aus.....	53
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik acceleration-time domain (TDA) .....	55
<b>Gambar 4. 7</b> Pengukuran nilai FFT pada kondisi pemakanan pahat .....	57
<b>Gambar 4. 8</b> (a) Photo Pahat kondisi baik sebelum pembubutan, (b) Photo Pahat kondisi baik setelah pembubutan ujicoba ke dua.....	59

<b>Gambar 4. 9</b> (a) Photo Pahat 2 pengujian kedua, (b) Photo Pahat sedang pengujian ketiga .....	60
<b>Gambar 4. 10</b> (a) Photo Pahat aus pengujian kedua, (b) Photo Pahat aus pengujian ketiga .....	61
<b>Gambar 4. 11</b> Grafik Kekasaran Permukaan .....	64

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Keterangan Penelitian .....	70
Lampiran 2 Foto Proses Pengujian .....	71
Lampiran 3 Program LabView.....	72
Lampiran 4 Gambar Sinyal Getaran .....	73
Lampiran 5 Foto Kondisi Pahat .....	78
Lampiran 6 Foto Pengukuran Kekasaran.....	84
Lampiran 7 Hasil Pengukuran Kekasaran Pembubutan.....	85

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Tuntutan sebuah industri untuk meningkatkan hasil produksi demi tercapainya sebuah target profit yang di inginkan sebagai hal pencapaian utama, demi keberlangsungan dan kemajuan sebuah industry atau perusahaan. Seperti halnya dalam sebuah industry manufaktur, perkembangan mesin mesin produksi sangat pesat berhubung tuntutan konsumen yang ingin pengerjaan lebih cepat dan bentuk geometri yang sangat kompleks sehingga mesin – mesin konvensional tidak mampu lagi mengimbangi permintaan dari konsumen tersebut, dan salah satu cara menghaadapi permasalahan tersebut dengan cara menggunakan mesin produksi yang bekerja secara otomatis yang di kendalikan oleh komputer atau biasa disebut dengan mesin cnc.

Pengerjaan proses permesinan menggunakan mesin cnc mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan menggunakan mesin produksi konvensional pada umumnya salah satu contohnya yaitu proses pengerjaan lebih cepat karena berkurangnya waktu yang tidak produktif karena adanya penyetelan perlatan dan benda kerja, dan mampu melakukan produksi massal dengan karesteristik hasil yang sama dan bentuk geomteri yang kompleks seperti pada pembuatan radius yang tidak mampu dilakukan oleh mesin konvensional tanpa melakukan alat bantu, dan toleransi yang di hasilkan sangat presisi.

Pengembangan proses permesinan dibidang manufaktur terkhusus mesin cnc sangatlah pesat, sehingga menarik para peneliti untuk melakukan riset agar mendapatkan hasil yang terbaik dari proses permesinan menggunakan mesin cnc. Untuk mendapatkan hasil terbaik dari sebuah proses permesinan cnc banyak factor yang mempengaruhi dari hasil produksi tersebut, salah satunya yaitu ketebalan pemakanan, kecepatan potong, jenis material benda, karakteristik pahat dan lainnya. Sedangkan hal yang paling berpengaruh dari parameter diatas ialah karakteristik pahat. Dari karakteristik pahat tersebut dapat berpengaruh besar dari hasil kualitas produk dan meningkatkan efektifitas dan efisiensi pemesinan terutama dalam waktu dan biaya produksi (Nugroho 2012). Karakteristik pahat yang paling berpengaruh yaitu tingkat keausan pahat dan Salah satu factor dari keausan pahat yaitu Gesekan yang terjadi antara pahat dengan geram maupun pahat dengan benda kerja secara terus menerus dapat menimbulkan panas dan panas tersebut terbawa ke geram sebagian merambat ke pahat dan sekeliling benda kerja. Sehingga permukaan aktif dari pahat akan mengalami keausan karena tekanan akibat gaya pemotongan dan temperature yang tinggi (Zaenal 2010).

Selain dari hasil proses permesinan tersebut hal terpenting dalam proses permesinan adalah waktu proses pengerjaan. Dari waktu proses permesinan banyak hal juga yang mempengaruhi dari waktu tersebut, baik program maupun proses persiapan sampai proses pemeriksaan dari hasil proses pengerjaan tersebut. Seperti pada artikel “efficiency of vibration signal feature extraction for surface finish monitoring in CNC Machining” (García Plaza, Núñez López, and Beamud González 2019) teknologi pemantauan secara langsung dari hasil pengerjaan CNC

dari getaran yang terjadi dapat menghilangkan control kualitas secara manual lagi. Dari getaran yang timbul sudah dapat diprediksi nilai tingkat kekasaran dari suatu proses pengerjaan tersebut. Dalam proses manufaktur fleksibel saat ini pemantauan hasil proses permesinan secara online sangat dikembangkan berhubung dengan kekasaran permukaan dan prediksi keausan alat potong yang memanfaatkan getaran pemotongan antara alat potong dan benda kerja (Hessainia et al. 2013).

Getaran yang terjadi pada pemegang pahat dapat diukur menggunakan sensor getaran, salah satunya yaitu menggunakan sensor accelerometer. Dari getaran tersebut dapat diketahui nilai kekasaran dari hasil proses permesinan tersebut. “Kekasaran yang tinggi dapat disebabkan oleh pahat yang memiliki tingkat keausan tinggi, Jika tingkat keausan pahat yang besar tetap digunakan maka pahat tersebut dapat mengalami patah secara tiba – tiba. Pahat yang aus dapat juga menyebabkan geram yang dihasilkan menempel secara kuat pada ujung pahat. Kondisi ini biasa disebut built-up-edge (BUE). BUE pada pahat dapat merubah geometri ataupun tingkat ketajaman pahat” (Rusnaldy, Dharma Setiawan, and Arivian 2011).

Dalam proses manufaktur fleksibel saat ini pemantauan hasil proses permesinan secara online sangat dikembangkan berhubung dengan kekasaran permukaan dan prediksi alat potong yang memanfaatkan getaran pemotongan antara alat potong dan benda kerja (Hessainia et al. 2013).

## **1.2. Rumusan masalah**

- 1 Bagaimana pengaruh getaran terhadap keausan pahat karbida pada material ST60?



2. Bagaimana pengaruh getaran terhadap kekasaran permukaan pada material ST60?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

1. Menganalisis pengaruh getaran terhadap keausan pahat karbida pada material ST60
2. Menganalisis pengaruh getaran terhadap kekasaran permukaan pada material ST60

### **1.4. Batasan Masalah**

Berdasarkan rumusan masalah yang diatas maka penulis mencoba membuat batasan masalah dalam penelitian ini, Agar pembahasan penelitian yang dilakukan tidak meluas dari tujuan penelitian. Penelitian tentang getaran yang terjadi pada pahat bubut memiliki cakupan masalah yang sangat luas, adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu diantaranya:

1. Proses pembubutan yang dilakukan adalah proses pembubutan rata pada mesin cnc bubut Mazak tipe Quick Turn Smart 150S
2. Jenis pahat yang digunakan adalah merek ZCC-CT dengan tipe DVJNL2J25MIG, dan jenis insert *roughing* yang digunakan ialah CNMG120404 .
3. Material yang diguakan adalah baja ST60 diameter 25.4 mm ( 1 inc)
4. Sensor getaran yang digunakan adalah accelerometer ADXL345.
5. Proses ekstruksi sinyal getaran yang digunakan adalah FFT Fast Fourier transform (FFT) dan Time Direct Analisis (TDA) dan mengambil nilai rata-rata nilai RMS

6. Software yang digunakan adalah LabView 2020 Comunity version

### **1.5. Manfaat Penelitian.**

Dari penelitian yang akan dilakukan diharapkan nantinya penelitian ini dapat memberikan informasi dan dijadikan referensi tentang keausan pahat dan tingkat kekasaran pada proses pembubutan rata.

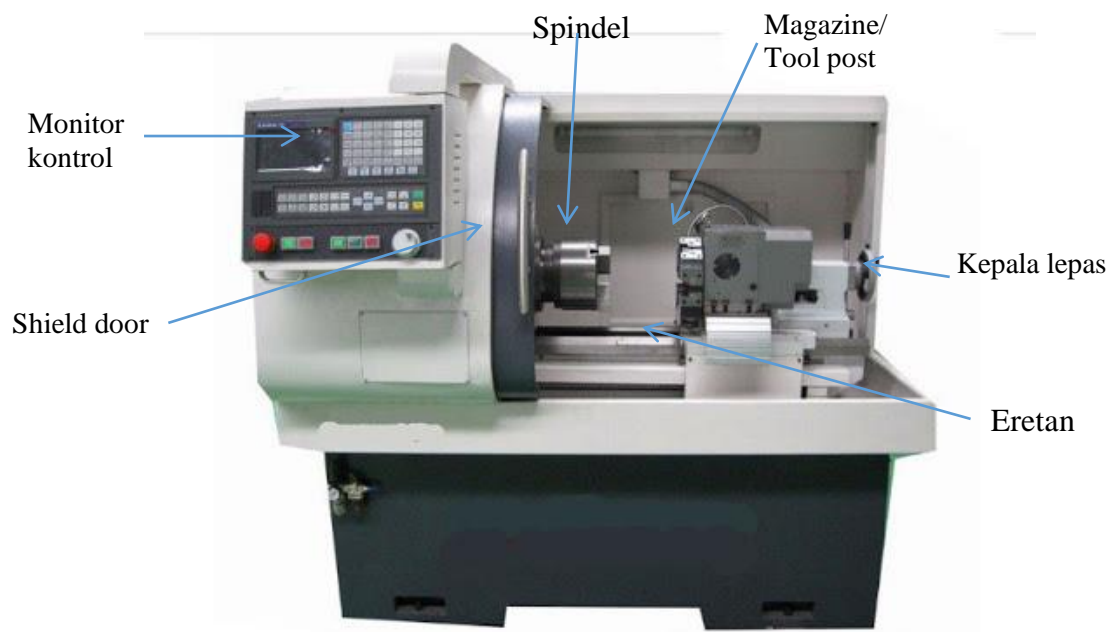
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Mesin Bubut CNC

##### A. Penjelasan Mesin Bubut CNC

Perkembangan teknologi komputer saat ini telah mengalami kemajuan yang amat pesat. Dalam hal ini komputer telah diaplikasikan ke dalam alat-alat mesin perkakas di antaranya mesin bubut, mesin frais, mesin gerinda, mesin bor, mesin potong dan lain-lain. Hasil perpaduan teknologi komputer dan teknologi mekanik inilah yang selanjutnya dinamakan CNC (*Computer Numerically Controlled*).



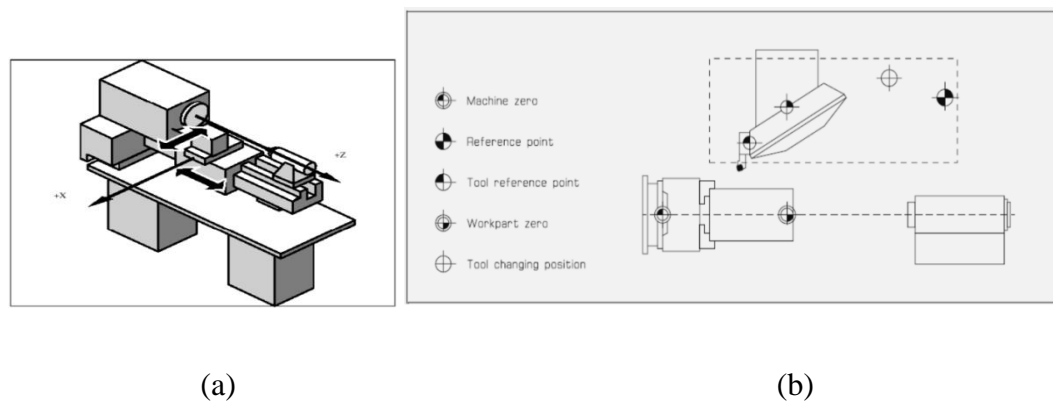
**Gambar 2. 1** Mesin bubut CNC dan bagian-bagiannya

Sistem pengoperasian CNC menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas CNC dan sistem

kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Jika dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional yang setara dan sejenis, mesin perkakas CNC lebih unggul baik dari segi ketelitian (*accurate*), ketepatan (*precision*), fleksibilitas, dan kapasitas produksi. Sehingga, di era modern seperti saat ini banyak industri-industri mulai meninggalkan mesin-mesin perkakas konvensional dan beralih menggunakan mesin-mesin perkakas CNC (Wijanarka 2012).

Secara garis besar pengertian mesin CNC adalah suatu mesin yang dikontrol oleh computer dengan menggunakan bahasa numerik (perintah gerakan yang menggunakan angka dan huruf). Sebagai contoh: apabila pada layar monitor mesin kita tulis M03, spindel utama mesin akan berputar berlawanan jarum jam dan apabila kita tulis M30, spindel utama mesin akan berhenti berputar.

Mesin perkakas CNC adalah mesin perkakas yang dalam pengoperasian proses penyayatan benda kerja oleh pahat dibantu dengan kontrol numerik komputer atau CNC (*Computer Numerical Control*). Untuk menggerakkan pahat pada mesin perkakas CNC disepakati menggunakan sistem koordinat. Sistem koordinat pada mesin bubut CNC (Gambar 2.1) adalah sistem koordinat kartesian dengan dua sumbu yaitu sumbu X, dan sumbu Z. Sistem koordinat tersebut bisa dipindah-pindah titik nolnya untuk kepentingan pelaksanaan seting, pembuatan program CNC dan gerakan pahat. Titik-titik nol yang ada pada mesin bubut CNC adalah titik nol Mesin (M), dan titik nol benda kerja (W) (Wijanarka 2012).



**Gambar 2. 2 (a)** Sistem koordinat pada mesin bubut CNC, (b) titik nol pada mesin bubut CNC

## B. Bagian Utama Mesin Bubut CNC

Mesin bubut CNC memiliki konstruksi mekanik yang berbeda dengan mesin CNC pada umumnya, hal ini dikarenakan mesin bubut CNC hanya memiliki 2 sumbu dan jenis pahat yang berbeda. Diantara komponen utama mesin bubut CNC ialah (Silva 2016):

### 1. Motor utama

Motor utama adalah motor penggerak rumah alat potong (*Toper Spindle*) untuk memutar alat potong/*tool*. Motor ini adalah arus searah (DC) dengan kecepatan yang variabel, identifikasi dari motor adalah: jentang putaran 600- 4000 put/menit, tenaga masukan/input 500 watt, dan tenaga pengeluaran/out put 300 watt.

### 2. Eretan (*support*)

Eretan adalah *gerak* persumbuan jalannya mesin. Untuk mesin 3 axis mempunyai dua fungsi gerakan kerja yaitu posisi vertikal dan posisi horizontal

yang masing-masing. Untuk posisi vertikal *adalah* sebagai berikut:

- Eretan memanjang sumbu X (panjang langkah 0 – 1999 mm)
- Eretan memanjang sumbu Y (panjang langkah 0 – 9999 mm)
- Eretan memanjang sumbu Z (panjang langkah 0 – 9999 mm)

Sedangkan untuk posisi horizontal adalah sebagai berikut:

- Eretan memanjang sumbu X (panjang langkah 0 – 9999 mm)
- Eretan memanjang sumbu Y (panjang langkah 0 – 19999 mm)
- Eretan memanjang sumbu Z (panjang langkah 0 – 19999 mm)

### 3. Step motor

Step motor adalah motor penggerak eretan, masing-masing eretan mempunyai step motor sendiri-sendiri, yaitu penggerak sumbu X, penggerak sumbu Y, dan penggerak sumbu Z, jenis dan ukurannya masing-masing step motor adalah sama. Identifikasi dari step motor adalah: jumlah 1 putaran 72 langkah, momen putar 0,5 Nm dan kecepatan gerak. Untuk kecepatan geraknya yaitu: gerakan cepat maksimal 700 mm, gerakan pengoperasian manual 5 – 400 mm/menit dan gerakan pengoperasian CNC terprogram 2 – 499 mm/menit.

### 4. Spindel kerja (*work spindle*)

Spindel kerja mesin CNC adalah bagian yang berfungsi memutarakan benda kerja pada mesin bubut dan memutarakan alat potong pada mesin frais atau pada mesin bor.

Putaran spindle mesin *terdapat* dua macam:

- 1) Putaran spindle langsung dinyatakan dengan huruf S dan angka menunjukkan langsung jumlah putaran spindle.

Contoh: S 1200 (jumlah putaran spidnel mesin  $n = 1200$  putaran/menit).

## 2) Putaran spindle tidak langsung (kecepatan potong konstan)

Contoh: G 96 S 200 (S 200 menunjukkan kecepatan potong konstan 200 m/menit)

Huruf S dan angka menunjukkan besarnya kecepatan potong dan harus menulis instruksi G96. Digunakan untuk pembubutan bentuk tirus dan pembubutan muka (*facing*). Spindle mesin dapat berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Fungsi tambahan ini digunakan apabila spindle diinginkan berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Fungsi tambahan ini ditulis pada kalimat program awal dan dinyatakan dengan M03 untuk spindle berputar berlawanan arah jarum jam.

## 5. Alat potong

Dilihat dari bahannya alat potong dibedakan menjadi dua macam: baja kecepatan tinggi (HSS) dan karbida (*Carbide*). Pahat jenis baja kecepatan tinggi (HSS) biasanya digunakan untuk endap kerja non fero atau tidak bersifat massal.

## 6. Rumah alat potong (*tool holder*)

Rumah alat potong pada mesin digunakan untuk menjepit penjepit alat potong (*tool holder*) pada waktu proses pengerjaan endap kerja. Adapun sumber putaran dihasilkan dari putaran motor utama yang mempunyai kecepatan putar antara 50 – 3200 put/menit. Untuk proses pengerjaan dengan mesin produksi CNC dapat menggunakan lebih dari satu alat potong karena data alat potong tersimpan dalam memori mesin. Sedangkan proses penggantian alat potong dilakukan secara manual

## 7. Ragum (*chuck*)

*Chuck* pada mesin dipergunakan untuk menjepit benda kerja pada waktu proses penyayatan benda kerja berlangsung. Karena fungsinya sebagai penegang kerja yang akan dijepit. Biasanya pada ragam dilengkapi dengan stopper yang dapat digunakan sebagai batas pegangan benda kerja.

#### 8. Bagian pengendali/ kontrol

Ragam pada mesin dipergunakan untuk menjepit benda kerja pada waktu proses penyayatan benda kerja berlangsung. Karena fungsinya sebagai penegang kerja yang akan dijepit. Biasanya pada ragam dilengkapi dengan stopper yang dapat digunakan sebagai batas pegangan benda kerja

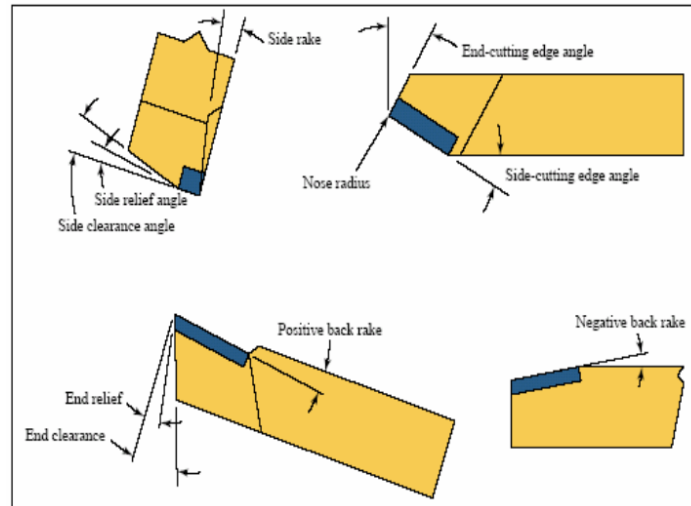
### **2.2.Alat Potong CNC Bubut**

Geometri/bentuk pahat bubut terutama tergantung pada material benda kerja dan material pahat. Jenis pahat bubut pada umumnya terbagi menjadi 2, yaitu; pahat bubut bermata potong tunggal dan pahat bubut sisipan (*insert*). Untuk pahat bubut bermata potong tunggal biasanya digunakan di mesin bubut konvensional. Material pahat ini ialah high speed steel (HSS) dan sudut-sudut pahalanya dibentuk dengan cara diasah menggunakan mesin gerinda pahat (*tool grinder machine*) (Widarto 2018).

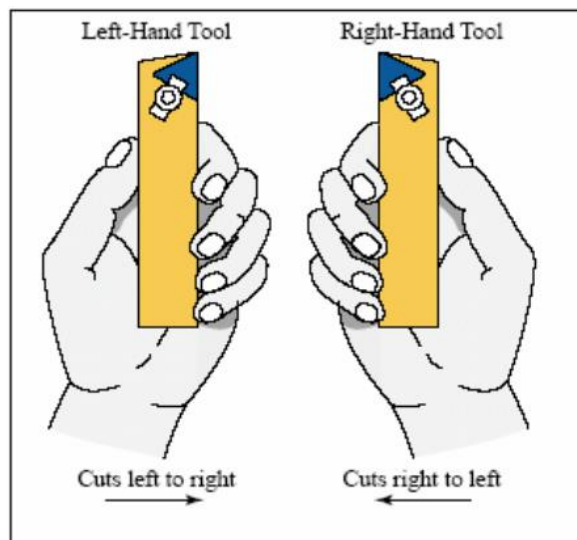
Berbeda halnya dengan pahat *insert* yang dipasang pada tempat pahalanya (*holder*). Pahat jenis ini banyak digunakan di mesin bubut CNC. Geometri pahat dapat dilihat pada Gambar 2.3. Selain geometri pahat tersebut pahat bubut bisa juga



diidentifikasi berdasarkan letak sisi potong (*cutting edge*) yaitu pahat tangan kanan (*Right-hand tools*) dan pahat tangan kiri (*Left-hand tools*), lihat Gambar 2.4.



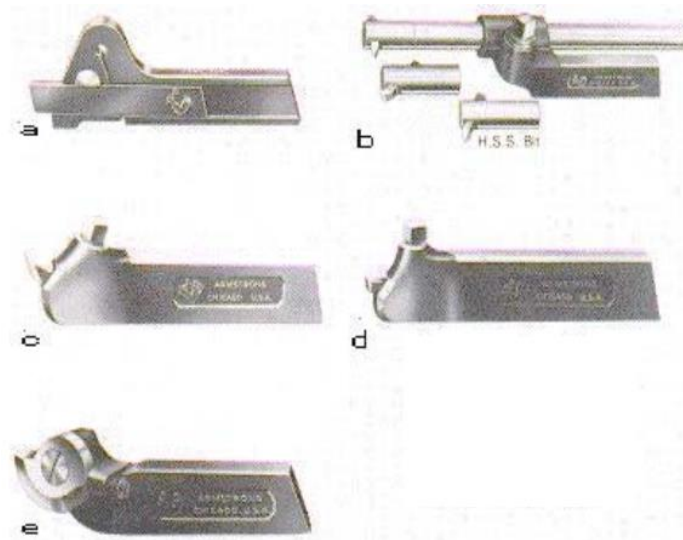
**Gambar 2.3** Geometri pahat bubut sisipan (insert)



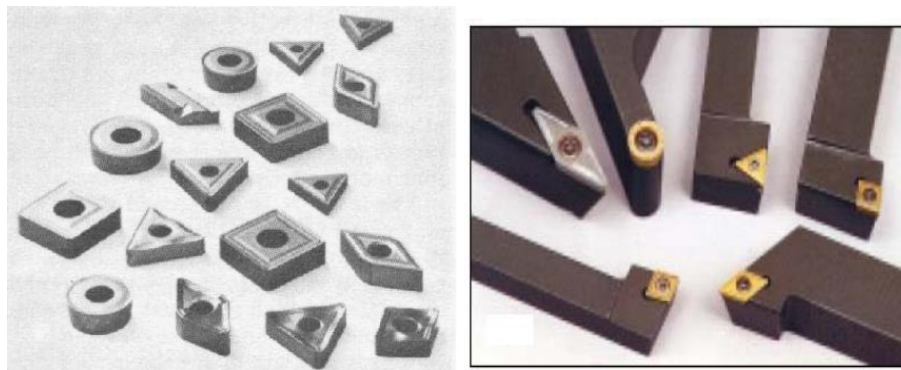
**Gambar 2.4** Pahat tangan kanan dan pahat tangan kiri

Pahat bubut di atas apabila digunakan untuk proses membubut biasanya dipasang pada pemegang pahat (*tool holder*). Pemegang pahat tersebut digunakan

untuk memegang pahat dari HSS dengan ujung pahat diusahakan sependek mungkin agar tidak terjadi getaran pada waktu digunakan untuk membubut (lihat Gambar 2.5). Untuk pahat yang berbentuk sisipan (*inserts*), pahat tersebut dipasang pada tempat pahat yang sesuai, (lihat Gambar 2.6)



**Gambar 2. 5** (a) pahat alur, (b) pahat dalam, (c) pahat rata kanan, (d) pahat rata kiri, dan (e) pahat ulir

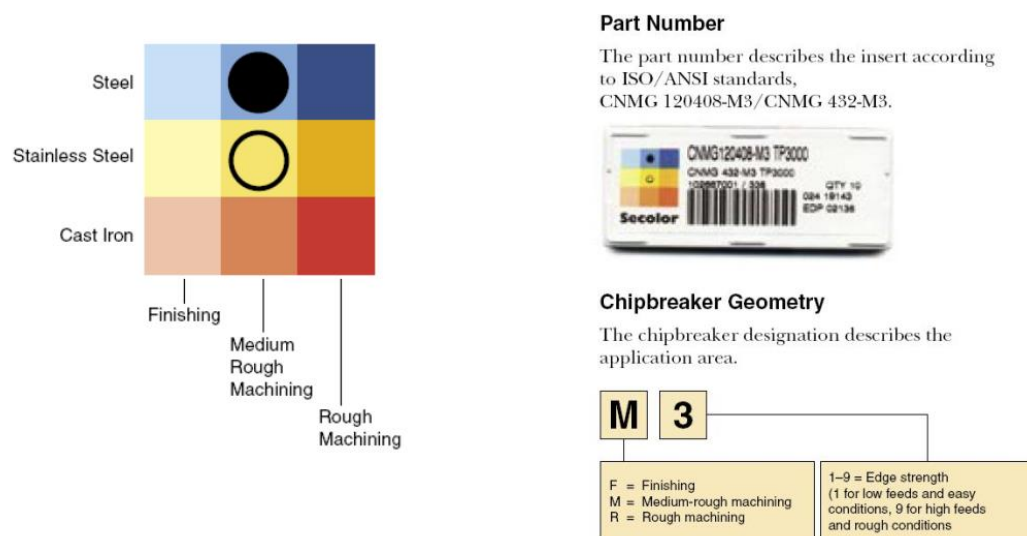


(a)

(b)

**Gambar 2. 6** (a) Pahat bubut sisipan (*inserts*), (b) pahat sisipan yang dipasang pada pemegang pahat (*tool holders*)

Bentuk dan pengkodean pahat sisipan serta pemegang pahatnya sudah distandarkan oleh ISO. Pahat sisipan yang diproduksi oleh pembuat pahat memiliki kode warna tertentu sesuai dengan bahan benda kerja yang akan dikerjakan dan kondisi pemotongan. Kode warna biru berarti untuk mengerjakan baja, kode warna kuning adalah pahat untuk mengerjakan baja tahan karat, dan kode warna merah untuk pengerjaan besi tuang (Gambar 2.7). Biasanya data pemotongan disertakan pada kemasan pahat sisipan (Wijanarka 2012).



**Gambar 2. 7** Pengkodean pahat sisipan (insert)

Pemasangan pahat dilakukan dengan cara menjepit pahat pada rumah pahat (*tool post*). Usahakan bagian pahat yang menonjol tidak terlalu panjang, supaya tidak terjadi getaran pada pahat ketika proses pemotongan dilakukan. Posisi ujung pahat harus pada sumbu kerja mesin bubut, atau pada sumbu benda kerja yang dikerjakan. Posisi ujung pahat yang terlalu rendah tidak direkomendasi, karena menyebabkan benda kerja terangkat, dan proses pemotongan tidak efektif.

### 2.3. Kekasaran Permukaan Material

Kekasaran permukaan suatu produk permesinan merupakan salah satu faktor yang dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kualitas suatu proses permesinan. Untuk menyatakan kualitas kekerasan permukaan ini perlu dilakukan pengukuran kekasaran permukaan. Pengukuran permukaan didefinisikan sebagai pengukuran terhadap perbedaan antara kondisi permukaan aktual dengan kondisi permukaan yang dikehendaki.

Terdapat perbedaan mendasar antara pengukuran permukaan dengan pengukuran panjang. Pengukuran panjang berkaitan dengan hubungan antara dua permukaan pada sebuah benda kerja, sedangkan pengukuran permukaan berkaitan dengan hubungan antara sebuah permukaan dengan suatu referensi.

Ada beberapa metode pengukuran permukaan (Isngadi 1996), diantaranya adalah:

1. Metode pembandingan dengan spesimen standar kekasaran permukaan secara subyektif
2. Metode optik, didasarkan pada metode perpotongan cahaya dan mikro interferometer, yang menggunakan pemantulan sinar laser untuk menentukan tekstur permukaan.
3. Metode profilograf (*microprofil*), didasarkan pada penentuan tinggi ketidakteraturan mikro dengan perabaan ujung stylus.

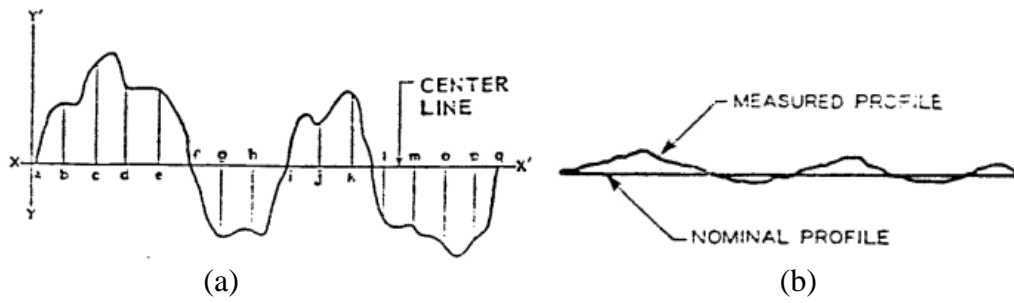
Pada umumnya kekasaran permukaan hasil proses permesinan dinyatakan dengan angka kelas kekasaran permukaan sesuai panjang sampel yang diukur. Terdapat beberapa cara untuk menyatakan angka kelas kekasaran permukaan, tetapi

yang paling sering digunakan adalah *Roughness Average (Ra)* yang juga disebut sebagai *arithmetic average (AA)* atau *centerline average (CIA)*.

Roughness average didefinisikan sebagai rata-rata aritmetik dari nilai-nilai absolut penyimpangan tinggi profil terukur yang diambil sepanjang panjang sampel (*sample length*) dan diukur dari *graphical centerline*. Untuk penentuan grafik rata-rata kekerasan, penyimpangan tinggi diukur normal terhadap *chart centerline*. Kekerasan rata-rata dinyatakan dalam mikrometer.

Berikut ini beberapa istilah dan pengertiannya yang berkaitan dengan pengukuran kekerasan permukaan;

- Permukaan (*surface*) suatu obyek adalah batas yang memisahkan obyek tersebut dari obyek lain
- *Nominal surface* adalah kontur dan bentuk permukaan yang dikehendaki yang biasanya ditunjukkan pada gambar atau spesifikasi deskriptif. Selanjutnya profil dari *nominal surface* disebut sebagai *nominal profile*.
- *Measured Surface* adalah representasi dari permukaan yang didapatkan dengan suatu alat ukur. Selanjutnya profil dari *measured surface* disebut sebagai *measured profil*.
- *Graphical Centerline* adalah suatu garis dimana kekasaran diukur mengacu padanya dan paralel terhadap arah umum profil sepanjang *sampling length*.
- *Sampling length* adalah jarak nominal penentuan karakteristik permukaan.

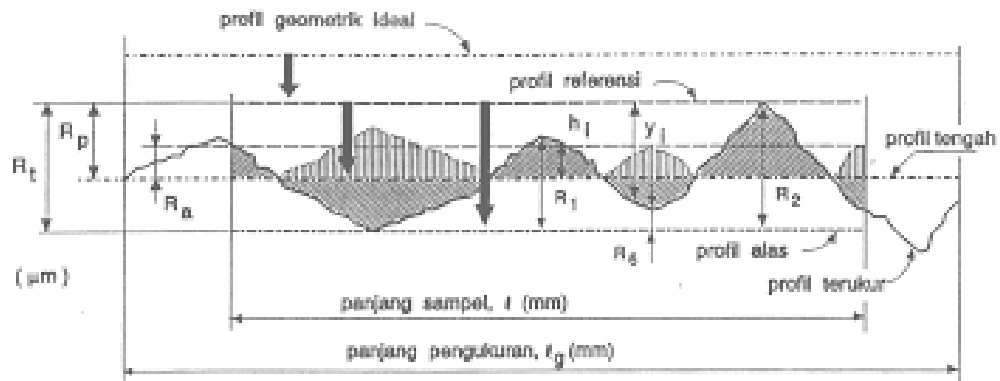


**Gambar 2. 8** (a) Grafik center line, (b) profil nominal dan terukur

sKekasaran permukaan yang banyak digunakan adalah kekasaran rata-rata aritmetik. Kekasaran rata-rata aritmetik didefinisikan sebagai harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dan profil tengah. Kekasaran permukaan rata-rata aritmetik tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut (Arum Soesanti, Bobby O.P Soepangkat 2012):

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |hi| dx \dots\dots\dots(1)$$

Posisi  $R_a$  dan parameter kekasaran yang lain seperti bentuk profil, panjang sampel, dan panjang pengukuran yang dibaca oleh alat ukur kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 2.9.



**Gambar 2. 9** Parameter profil kekasaran permukaan (Arum Soesanti, Bobby O.P Soepangkat 2012)

Berdasarkan Gambar 2.9 dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan yang berhubungan dengan dimensi pada arah tegak dan arah melintang. Untuk arah tegak dikenal beberapa parameter (Dwi et al. 2016) :

1. Kekasaran total  $R_t$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan  $R_p$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah jarak rata-rata profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmatik  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah harga rata-rata aritmatik dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.
4. Kekasaran rata-rata kuadrat  $R_g$  ( $\mu\text{m}$ ) adalah akar dari jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.
5. Kekasaran total rata-rata  $R_z$  ( $\mu\text{m}$ ), merupakan jarak antara profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

Harga kekasaran rata-rata ( $R_a$ ) maksimal yang diijinkan ditulis diatas symbol segitiga. Satuan yang digunakan harus sesuai dengan satuan panjang yang digunakan dalam gambar teknik (metrik atau inchi). Jika angka kekasaran  $R_a$  minimum diperlukan, dapat dituliskan dibawah angka kekasaran maksimum. Angka kekasaran dapat di klarifikasikan menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti yang terlihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

**Tabel 2. 1** Standarisasi symbol nilai kekasaran (Dwi et al. 2016)

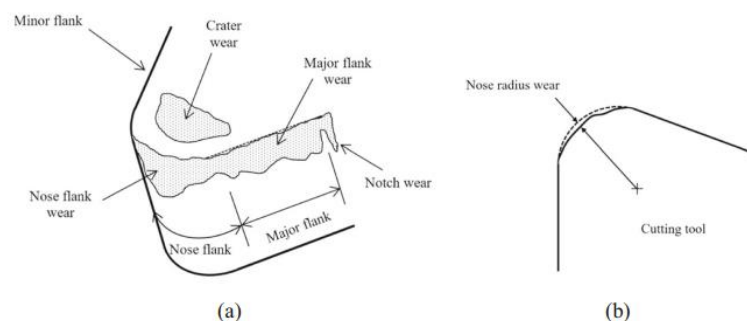
Harga Kekasaran, $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Angka Kekasaran	Panjang sampel
50	N12	8
25	N11	
12,5	N10	2,5
6,3	N9	
3,2	N8	0,8
1,6	N7	
0,8	N6	
0,4	N5	
0,2	N4	0,25
0,1	N3	
0,005	N2	
0,025	N1	0,08

#### 2.4.Keausan Pahat

Keausan pahat merupakan kehilangan material secara progresif yang mana kehilangan tersebut akibat dari gesekan dengan material benda kerja. Keausan bukan hanya proses tunggal, tetapi beberapa proses berbeda yang dapat berlangsung independen atau secara bersamaan. Kompleksitas proses keausan dapat dibaca dengan mengetahui berbagai variabel yang terlihat, yaitu kekerasan, ketangguhan, kelenturan, modulus elastis, kekuatan tarik, kelelahan, dan struktur permukaan yang saling bertemu, seperti geometri, temperatur, tegangan, distribusi tegangan, koefisien gesek, dan afmosfir dari permukaan yang aus.



Ada dua jenis aus yang umumnya terjadi pada pahat, yaitu aus tepi (*flank wear*) dan aus kawah (*crater wear*). Aus tepi (*flank wear*) bermula dari aksi abrasive pada fase kedua pada material atau proses abrasive dari ujung pemotongan terhadap permukaan mesin. Aus tepi terjadi pada bidang utama/mayor pahat, seperti terlihat pada Gambar 2.10. Aus tepi dapat diketahui dengan mengukur panjang  $V_B$  yaitu jarak antara mata potong sebelum terjadi aus sampai ke garis rata-rata bekas keausan pada bidang utama. Pertumbuhan keausan tepi (*flank wear*) pada umumnya dimulai dengan pertumbuhan yang relatif cepat sesaat pahat digunakan diikuti pertumbuhan yang linier seiring dengan bertambahnya waktu pemotongan dan kemudian pertumbuhan yang cepat terjadi, seperti terlihat pada gambar 2.10. Sementara aus kawah (*crater wear*) diketahui sebagai kombinasi yang kompleks dari berbagai mekanisme keausan seperti adhesi, abrasi, dissolusi, dan difusi. Aus kawah terjadi pada bidang geram pahat, seperti terlihat pada gambar 2.10. Aus kawah dapat diukur dengan alat ukur kekasaran permukaan. (Johan 2018)



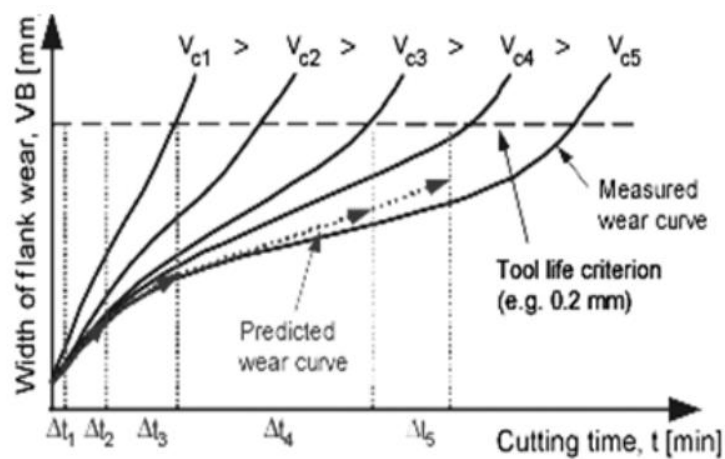
**Gambar 2. 10** (a) Various types of tool wear, (b) Nose Radius wear (Derani and Ratnam 2021)

Selain itu menurut (Budiman 2007), selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab antara lain:

- Keausan yang secara bertahap membesar pada bidang aktif pahat
- Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat
- Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk/ geometri pahat.

Jenis kerusakan yang terakhir di atas jelas disebabkan tekanan temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang geram ( $A\gamma$ ) dan/atau pada bidang utama ( $A\alpha$ ) pahat (Gambar 2.11). Keausan dibedakan jadi 2 macam yaitu:

- Keausan kawah (crater wear)
- Keausan tepi (flank wear)



**Gambar 2. 11** Pertumbuhan keausan tepi untuk gerak makan tertentu dan kecepatan potong yang berbeda (Budiman 2007)

Berdasarkan hasil-hasil penelitian mengenai keausan dan kerusakan pahat dapat disimpulkan bahwa penyebab keausan dan kerusakan pahat dapat merupakan suatu faktor yang dominan atau gabungan beberapa faktor tertentu. (Johan 2018) Faktor-faktor penyebab tersebut antara lain:

- a) Proses Abrasif, berupa gesekan antara aliran material benda kerja pada bidang geram dan bidang utama pahat. Proses pengikisan berbanding langsung terhadap jarak potong (*cutting distance*) dan tidak tergantung pada suhu.
- b) Proses Kimiawi, berupa gesekan yang terjadi antara dua permukaan dengan tekanan yang cukup besar dan lingkungan kimiawi yang aktif (udara maupun cairan pendingin dengan komposisi tertentu) dapat menyebabkan ineteraksi antara material pahat dengan benda kerja. Permukaan material benda kerja yang baru saja terbentuk (permukaan geram dan permukaan benda kerja yang telah terpotong) sangat kimiawi aktif sehingga mudah bereaksi kembali dan menempel pada permukaan pahat. Pada kecepatan potong yang rendah, oksigen dalam udara pada celah-celah diantara pahat dengan geram atau benda kerja mempunyai kesempatan untuk bereaksi dengan material benda kerja sehingga akan mengurangi derajat penyatuan dengan permukaan pahat. Akibatnya daerah kontak dimana pergeseran antara pahat dengan geram/benda kerja akan lebih luas sehingga proses keausan karena gesekan akan terjadi lebih cepat.
- c) Proses Adhesi, atau kerusakan patah rapuh, terjadi di sekitar mata potong pada bidang geram dan bidang utama pahat akibat kondisi pemotongan. Pada

tekanan dan temperatur yang relatif tinggi, permukaan logam yang baru saja terbentuk akan menempel dengan permukaan logam yang lain.

- d) Proses Difusi, atau peresapan (*Diffusion*), terjadi perpindahan atom logam dan karbon dari daerah dengan kecepatan tinggi menuju ke daerah dengan konsentrasi rendah (antara material benda kerja dengan pahat dibawah tekanan dan temperatur yang tinggi serta adanya aliran metal atau logam. Proses difusi dipengaruhi oleh faktor:
- Daya larut (*solubility*) dari berbagai fasa dalam struktur pahat terhadap material benda kerja,
  - Temperatur
  - Kecepatan aliran metal yang melarutkan
- e) Proses Oksidasi, terjadi ketika kecepatan potong tinggi berarti temperatur juga tinggi, ketahanan proses karbida atas proses oksidasi akan menurun. Karbida dapat teroksidasi bila temperaturnya cukup tinggi dan tak ada perlindungan terhadap serangan oksigen dalam atmosfer. Akibatnya struktur material pahat akan lemah dan tidak tahan akan deformasi yang disebabkan oleh gaya pemotongan. Cairan pendingin dalam batas-batas tertentu mampu mencegah terjadinya proses oksidasi.
- f) Proses Deformasi Plastik, yaitu kekuatan pahat untuk menahan tegangan tekan merupakan sifat material pahat yang dipengaruhi oleh temperatur. Hal tersebut merupakan faktor utama yang membatasi kecepatan penghasilan geram bagi suatu jenis pahat. Penampang geram harus direncanakan supaya tekanan yang

diderita ujung/pojok pahat tidak melebihi batas kekuatan pahat untuk menghindari terjadinya proses deformasi plastik.

Menurut Chendri johan besarnya aus sisi/tepi serta pengukurannya ditentukan sesuai standar ISO 3685-1977(E), rata-rata keausan tepi pahat mencapai ( $VB = 0,2$  mm dan maksimum 0,6 mm). Aus sisi dapat diukur dengan menggunakan mikroskop, dimana bidang mata potong diatur sehingga tegak lurus sumbu optik. Besarnya keausan sisi/tepi dapat diketahui dengan mengukur panjang VB yaitu jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan sampai ke garis rata-rata bekas keausan pada bidang utama. Aus sisi/tepi sangat mempengaruhi hasil akhir, integritas permukaan, gaya dan daya potong.(Johan 2018).

## **2.5. Getaran Mekanik**

### **A. Penjelasan**

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar 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. Getaran ini menyebar pada lingkungan dan merupakan bagian dari tenaga yang sumbernya adalah mesin atau peralatan mekanis. Sebagian dari kekuatan mekanis mesin atau peralatan kerja disalurkan kepada tubuh tenaga kerja atau benda yang terdapat di tempat kerja dan lingkungan kerja dalam bentuk getaran mekanis (Denni Yantri 2017).

## B. Parameter Getaran

Kondisi mesin dan gangguan pada mesin dapat ditentukan dengan mengukur parameter atau ukuran getaran yang terjadi. Parameter getaran yang sering dipakai adalah; Frekuensi (*frequency*), Simpangan (*displacement*), Kecepatan (*velocity*), dan Percepatan (*acceleration*) (Bontong 2011).

### a. Frekuensi

Frekuensi adalah banyaknya sesuatu yang terjadi setiap detiknya. Dalam kajian getaran, frekuensi dapat diartikan sebagai banyaknya getaran yang terjadi dalam satu detik. Satuan yang digunakan untuk mengukur frekuensi adalah 1/s yang disebut juga Hertz disingkat Hz. Jadi jumlah satuan getaran yang dihasilkan perdetik.

### b. Percepatan (*acceleration*)

Percepatan atau *acceleration* adalah laju perubahan *velocity* dalam satuan waktu. Satuan *acceleration* adalah (m/det<sup>2</sup>)

### c. Kecepatan (*velocity*)

Kecepatan atau *velocity* adalah laju perubahan *displacement* dalam satuan waktu. Satuan kecepatan adalah (m/detik)

### d. Simpangan (*displacement*)

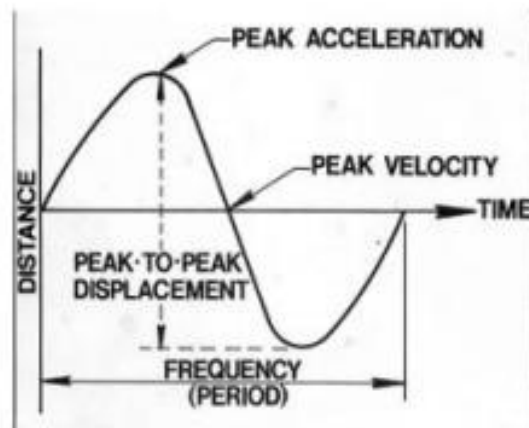
Simpangan atau *displacement* diukur dalam satuan m (meter). Simpangan adalah jarak antara kedudukan benda yang bergetar pada suatu saat sampai kembali pada kedudukan seimbang.

## 2.6.Sensor getaran Akselerometer ADXL345

Menurut Alfas Zainur Rohman getaran adalah gerakan yang berulang-ulang dalam tempo yang cepat. Dari pengertian tersebut maka tingkat getaran atau amplitudo getaran dapat direpresentasikan sebagaimana gerakan yaitu parameter perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*) atau percepatan (*acceleration*). Parameter perpindahan (*displacement*) merupakan parameter yang mendefinisikan besaran jarak perpindahan antara satu objek dengan objek lainnya. Parameter kecepatan (*velocity*) merupakan parameter yang digunakan untuk mendefinisikan besaran jarak perpindahan per satu satuan waktu. Sementara parameter percepatan merupakan parameter yang mendefinisikan besaran perubahan kecepatan per satu satuan waktu. Getaran yang merupakan sebuah gerakan mempunyai karakteristik sebagaimana gerakan sebuah pegas yang dipetakan terhadap fungsi waktu seperti terlihat (Zainur Rohman and Djuniadi 2015).

Untuk mengukur getaran mesin diperlukan suatu transduser getaran yang berfungsi mengubah sinyal getaran menjadi sinyal listrik. Masing masing parameter getaran seperti perpindahan, kecepatan dan percepatan mempunyai transduser tersendiri. Dalam industri, sensor-sensor yang digunakan untuk melakukan pengukuran getaran merupakan sensor konvensional seperti sensor *eddy-current*, sensor *swing coil velocity* dan sensor *piezoelectric accelerometer*, Selain sensor konvensional tersebut terdapat juga sensor dengan teknologi MEMS atau Micro Electro Mechanical System yaitu suatu sistem mikro dengan kemampuan fungsi elektromekanik baik sebagai *microsensor* maupun *microactuator*. Sensor *MEMS akselerometer* merupakan sensor yang mempunyai teknologi MEMS dengan

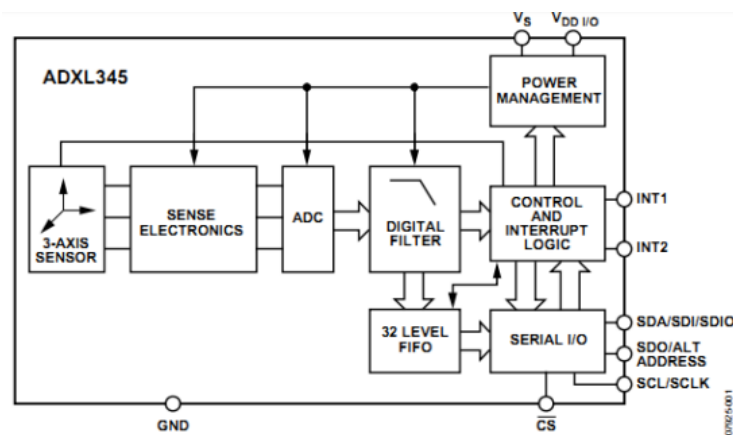
prinsip kerja yang sama dengan sensor konvensional seperti *piezoelectric*, *differential capacitive* dan sebagainya.



**Gambar 2. 12** Karakteristik getaran gelombang

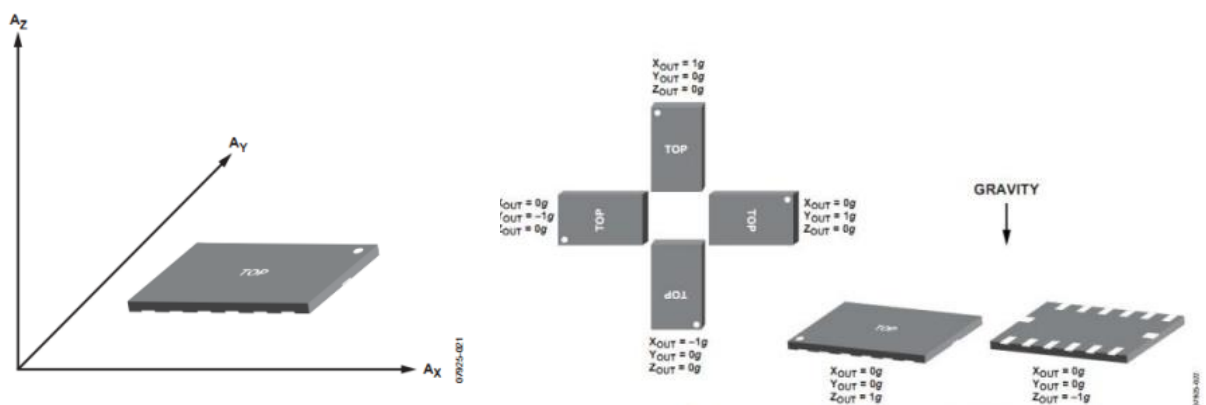
Sensor akselerometer yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe ADXL345 produk dari *Analog Devices*. *Accelerometer ADXL345* merupakan sensor percepatan yang mampu mengukur percepatan linier dalam tiga sumbu (x, y dan z). Sensor ini memiliki resolusi tinggi (hingga 13-bit) pada sensitivitas tertingginya. ADXL345 memiliki pilihan range pengukuran dari  $\pm 2g$  hingga  $\pm 16g$ , dimana  $1g$  merupakan satu satuan percepatan rata-rata gravitasi bumi yaitu sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Gambar 2.13 merupakan blok diagram ADXL345.





**Gambar 2. 13** Block diagram akselerometer ADXL345

Dari diagram blok ADXL345 diketahui bahwa dalam accelerometer ADXL345 sudah terdapat ADC dan digital filter sehingga ADXL345 merupakan sensor akselerasi yang menggunakan antarmuka digital yaitu dengan komunikasi I2C atau SPI.



**Gambar 2. 14** Orientasi ketiga sumbu akselerometer ADXL345

Dari kedua gambar di atas, kita dapat mengetahui orientasi dan juga karakteristik output ADXL345 terhadap ketiga sumbu (x, y dan z) sehingga dapat dijadikan acuan pada penelitian ini. Saat posisi salah satu sumbu bertolakbelakang dengan arah gaya gravitasi, maka output sumbu itu akan sekitar  $\pm 1g$ .

## 2.7. Metode ekstruksi singal getaran

Dalam hal ini keluaran sinyal dari sensor getaran di proses menggunakan dua metode yaitu metode *time direct analysis* (TDA) dan metode *fast Fourier transform* (FFT) dalam hal ini kita juga dapat membandingkan dari kedua metode tersebut mana yang terbaik digunakan.

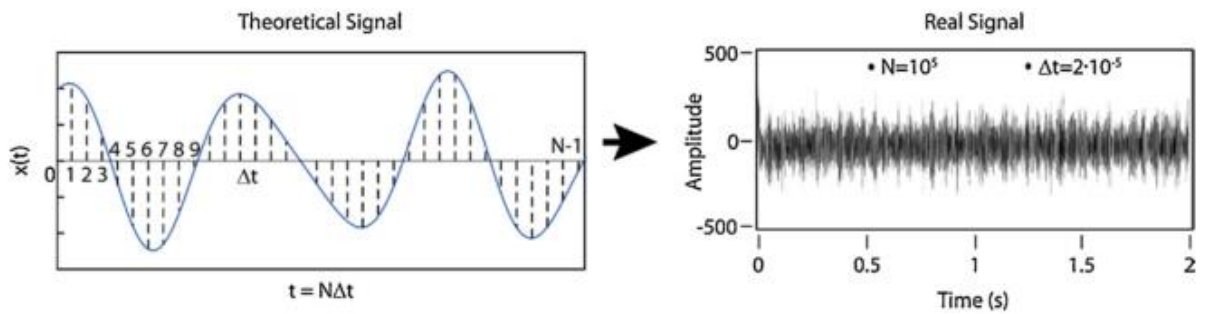
### A. Metode TDA

Metode *time direct analysis* (TDA) didasarkan pada metode analisis sinyal langsung waktu tanpa transformasi matematis atau pemrosesan sinyal. Ini adalah metode biaya komputasi yang sangat rendah sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi waktu nyata. Gambar. 1 menunjukkan sinyal analog  $x(t)$  dirubah menjadi diskrit dengan mengganti  $[x_i]$  dimana  $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ , dimana  $N$  adalah jumlah total poin dalam sampel.

Metode TDA secara langsung mengekstraksi informasi sinyal menggunakan karakterisasi parametric dalam domain waktu dengan faktor-faktor yang mengukur aspek seperti tendensi sentral (rata-rata aritmetika, akar kuadrat akar), disperse (varians, standar deviasi), tingkat simetri atau terkonsentrasi distribusi data (*bias, kurtosis*), perubahan sinyal acak (*Shannon entropi*), energi yang terkandung dalam sinyal, peristiwa dan fenomena sporadic (maksimum, minimum dan puncak ke puncak amplitude).

Efektivitas metode TDA sangat tergantung pada jenis sinyal dan aspek spesifik dari proses pemotongan yang sedang dievaluasi. Dalam kasus tertentu, analisis ini sangat valid untuk mendapatkan karakterisasi sinyal yang memadai,

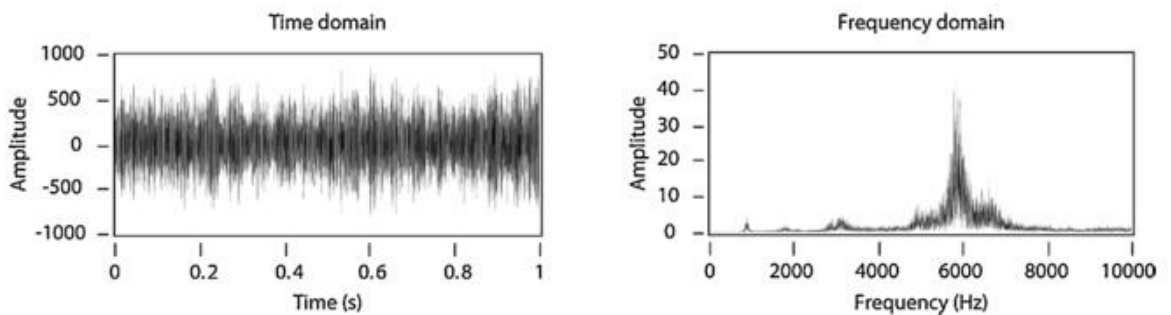
tetapi dalam kasus lain bekerja secara langsung dengan sinyal waktu tidak memungkinkan ekstraksi informasi yang relevan, yang mungkin disembunyikan atau disamarkan dalam sinyal itu sendiri.



**Gambar 2. 15** Contoh sinyal

## B. Metode FFT

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah bentuk dari salah satu metode Analisa yang digunakan dalam analisis suatu sinyal yang berfungsi merubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Frekuensi ialah banyaknya getaran/satu Panjang gelombang dalam satu satuan waktu. Secara tidak langsung, frekuensi kebalikan dari periode, sehingga waktu satu satuan detik (sekon) akan menjadi satu satuan frekuensi Hertz (1/sekon).



**Gambar 2. 16** Perubahan signal

FFT memiliki persamaan umum sebagai berikut:

$$X_k = \sum_{i=0}^{n-1} x_i e^{-j\left(\frac{2\pi ki}{N}\right)}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, (N - 1) \dots \dots \dots (2)$$

Implementasi langsung DFT membutuhkan kalkulus  $N$  multiplikasi istilah  $x_i e^{-j(2\pi ki / N)}$  untuk masing-masing nilai  $N$  dari  $X_k$ . Ini membutuhkan perhitungan sekitar  $N^2$  perkalian untuk sukseksi penuh (Persamaan 2). Dalam sinyal dengan sampel frekuensi tinggi, penggunaan algoritma ini memerlukan biaya komputasi yang tinggi. Untuk mengatasi *draw-back* ini, DFT diimplementasikan dengan menggunakan algoritma dengan efisiensi komputasi tertinggi dalam denominasi *Fourier transform* (FFT), yang mengurangi jumlah operasi menjadi  $N \log_2 N$ .

Selain itu, merupakan praktik standar untuk menghitung bagaimana kekuatan suatu sinyal didistribusikan sesuai dengan frekuensi nya. Kekuatan dalam komponen frekuensi  $k^{\text{th}}$  didefinisikan oleh Persamaan. (3):

$$PS_k = |X_k|^2 \dots \dots \dots (3)$$

Dimana PS adalah kependekan dari *spectral power*, yang tergantung pada durasi sinyal. Ketika sinyal dengan durasi yang berbeda dianalisis, daya dihitung oleh power spectral density (PSD). PSD adalah versi skala PS, di mana daya yang ada di setiap titik spektrum frekuensi dinormalisasi oleh resolusi frekuensi.

Salah satu kelemahan utama dari transformasi Fourier adalah bahwa tidak mungkin untuk secara tepat menemukan komponen frekuensi pada skala waktu. Dalam sinyal stasioner, kerugian ini tampaknya tidak relevan, tetapi fenomena ini

menentukan ketika sinyal non-stasioner acak yang ditemukan dalam proses permesinan dianalisis (García Plaza, Núñez López, and Beamud González 2019).

### C. Metode RMS

ada 4 cara berbeda untuk mengekspresikan vibration amplitudo level yaitu: peak to peak, zero to peak, root mean square (RMS), dan average. Peak to peak adalah jarak dari puncak positif atas ke puncak negatif bawah. Zero to peak or peak adalah pengukuran dari garis nol ke puncak positif atas atau dari garis nol ke puncak negatif bawah. (Mara, Catur, and Zulkarnaen 2018)

Semua metode ini menggunakan definisi tegangan rms dari bentuk gelombang  $v(t)$ , yaitu ditemukan hanya dengan mengkuadratkan bentuk gelombang itu, mengambil rata-rata (atau rata-rata) dari kuadrat itu bentuk gelombang dan kemudian menghitung akar kuadrat, seperti yang diberikan dalam persamaan (4): (Cartwright 2007)

$$V_{rms} = \sqrt{\text{mean}[v(t) * v(t)]} = \sqrt{\frac{\text{area under the curve of } [v(t) * v(t)]}{\text{observation length}}}, \dots\dots\dots(4)$$

### 2.8. Material ST 60

Baja adalah paduan logam besi dan karbon yang kemungkinan juga terdiri dari konsentrasi unsur-unsur paduan logam yang lain. Ada beribu-ribu paduan logam, yang mempunyai *heat treatment* dan komposisi yang berbeda-beda. Sifat mekanis berbeda berdasarkan pada kandungan karbon, yang mana secara normal

kurang dari 1.0 % berat. Sebagian dari baja biasanya digolongkan menurut kadar karbon, yakni ke dalam kandungan karbon rendah ( $< 0.25$  % berat C), medium (antara 0.25-0.60 % berat C), dan jenis karbon tinggi (antara 0.60-1.4 % berat C). Sub kelas juga ada di dalam masing-masing kelompok menurut konsentrasi dari campuran logam unsur-unsur paduannya.

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya, baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah persentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut:

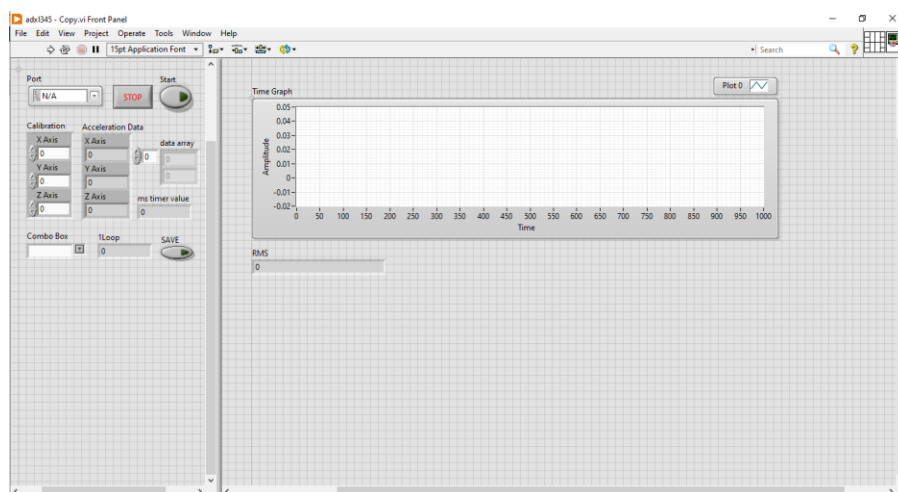
1. Baja Karbon Rendah (*Low Carbon Steel*)
2. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)
3. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Baja St 60 dijelaskan secara umum merupakan baja karbon sedang dengan persentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C dengan titik didih  $1550^{\circ}\text{C}$  dan titik lebur  $2900^{\circ}\text{C}$ , disebut juga baja keras, banyak sekali digunakan untuk tangki, perkapalan, jembatan, dan dalam permesinan. Baja karbon sedang kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong (Rusydi Furqon S, Firman, and Sugeng P 2016).

## **2.9.LabView**

NI- National Instrumen terdiri dari LabView yang berbasis virtual instrument, sebuah multifungsi akuisisi data perangkat, dan pembuatan papan

model rangkaian instrument yang dapat digunakan di laboratorium Pendidikan. LabVIEW menyediakan akuisisi data lengkap dan kapabilitas prototyping, sistem ini baik untuk eksperimen sederhana, untuk pelatihan langsung, dan kursus akademik dari kelas divisi bawah hingga berbasis proyek tingkat lanjut. Kesulitan utama dalam menggunakan NI-ELVIS adalah menyiapkan eksperimen yang sesuai yang menyeimbangkan komponen analog untuk papan prototyping dengan studi digital yang terhubung dengan computer, Untungnya hal ini tidak menimbulkan masalah serius bagi beberapa instrumen virtual yang digunakan dalam pendidikan serta penelitian. Instrumen virtual telah disiapkan sebagai alat FFT dengan modul LabVIEW Express. Bisa menghasilkan dan menampilkan perilaku domain waktu dan frekuensi dari (a) dua sinusoid, (b) pulsa persegi panjang, (c) rangkaian pulsa, (d) fungsi Gaussian, (e) fungsi Gaussian termodulasi sinus, dan akhirnya (f) dan beberapa himpunan data nyata dari pengerjaan bangku, yang semua parameter nya dapat ditentukan oleh pengguna. Berikut ini pada gambar 2.17 adalah tampilan jendela depan pada program LabVIEW berfungsi untuk me monitoring data secara langsung.(Sevgi and Uluişik 2006)



**Gambar 2. 17.** Front Panel

Panel tampilan depan untuk penganalisa spektrum ditampilkan pada gambar 2.17 punya tiga pengaturan, tampilan domain waktu, dan spektrum tampilan analisis.

Pada Deskripsi di bawah ini:

1. pengaturan filter: Panel ini memungkinkan pengguna untuk memilih berbagai desain filter. Filter adalah: Butterworth, Chebyshev, Inverse Chebyshev, Elips dan Bessel. Untuk setiap filter yang dipilih, file pengguna dapat mengatur frekuensi cut off untuk tampil lowpass, highpass, bandpass, dan bandstop penyaringan.
2. Pengaturan yang ditentukan: Pengaturan spektrum memungkinkan untuk memilih saluran, sampling rate, jumlah sampel, dan jenis tampilan yang berbeda.
3. Tampilan pengaturan: Mengizinkan berbagai jenis spektrum analisis ( FFT , rata-rata FFT(Mag-Phase), Daya dan Daya rata-rata), Daya dan Perkiraan Frekuensi, dan & tampilkan unit (nilai dB atau nilai rms)
4. Domain waktu: Bagan ini akan menampilkan yang diperoleh sinyal dalam domain waktu
5. Analisis spektrum: Grafik analisis spektrum akan menampilkan komponen frekuensi dari sinyal dan amplitudo mereka.(Gani and Salami 2002)