

**PENGARUH CUTTING SPEED DAN DEPTH OF CUT KONDISI CHATTER
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PROSES BUBUT**

SKRIPSI

KONSENTRASI PRODUKSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
WAHYU BUDIARTO
NIM. 1010622001-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH *CUTTING SPEED* DAN *DEPTH OF CUT* KONDISI *CHATTER*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PROSES BUBUT**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :
WAHYU BUDIARTO
NIM. 1010622001-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Ir. Endi Sutikno, MT.

NIP. 19590411 198710 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Erwin Sulisty, MT.

NIP. 19661213 199802 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH *CUTTING SPEED* DAN *DEPTH OF CUT* KONDISI *CHATTER*
TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN BENDA KERJA PROSES BUBUT**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :
WAHYU BUDIARTO
NIM. 1010622001-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus
pada tanggal 31 Januari 2013

DOSEN PENGUJI

Penguji Skripsi I

Agung Sugeng Widodo, ST., MT.
NIP. 19710321 199802 1 001

Penguji Skripsi II

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.
NIP. 19750802 199903 2 002

Penguji Komprehensif

Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT., MET.
NIP. 19551117 198601 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan segala nikmat dari bumi dan langit yang tak terbatas jumlahnya, serta memberikan ketenangan jiwa, menumbuhkan rasa sabar dan semangat kepada semua makhluknya yang percaya akan keberadaannyaNya, khususnya bagi penulis sehingga skripsi dengan judul “**Pengaruh Cutting Speed dan Depth of Cut Kondisi Chatter Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Proses Bubut**” dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad Sholallahu Alaihi Wassalam.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Dr.Eng Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc. Selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ir. Endi Sutikno, MT. selaku Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, nasehat, pengarahan, motivasi, saran, dan masukan yang telah diberikan.
5. Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT. selaku Dosen Pembimbing II yang dengan sabar dan tidak pernah lelah memberikan bimbingan dan motivasinya agar penyusunan skripsi ini segera selesai dengan baik.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang bersedia berbagi ilmunya.
7. Ibunda tercinta Sulistyowati yang selalu mendoakan dan mendukung ananda, keluarga besar dari ibunda atas kasih sayang, doa, serta dukungan material dan spiritual yang diberikan selama ini.
8. Adinda tercinta Runik Ismilah atas semua dukungan moril, semangat, rasa sayang dan kepedulian, motivasi dan semua hal berharga selama kebersamaan ini. *Ich wünschte, ich kann dich immer beschützen und wir können zusammen leben in Liebe von Allah SWT gesegnet. Amien. Ich liebe dich mein Schatz.*

9. Keluarga Besar Laboratorium Metrologi Industri, Ibu Femiana Gapsari selaku Kepala Laboratorium yang telah banyak memberikan nasehat dan bantuannya selama saya melaksanakan penelitian, serta saat menjadi asisten. Tidak lupa ucapan banyak terima kasih kepada saudara-saudaraku asisten: Ulil, Lutfi, Luhur, Lukman dan Osye terima kasih atas semua kebersamaan dan dukungannya selama ini.
10. Keluarga Besar Laboratorium Mesin Perkakas Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Bapak Prof. Dr. Ing. Ir. Suhardjono, Msc., selaku Kepala Laboratorium yang telah membimbing dan membantu saya selama pelaksanaan penelitian. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada Mas Hafiz, ST. dan Pak Sugianto atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian.
11. Temen-temen kontrakan Perum Joyogrand K-129 Hendra, Hendro dan Iqbal terima kasih atas dukungan dan motivasinya.
12. Saudara-saudaraku SAP 2010 terima kasih atas kebersamaan, bantuan, dan doanya selama ini sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. *Halten Sie Geist und viel Glück für Ihre Zukunft. Solidarity Forever!!!*
13. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
14. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang senantiasa memberi dukungan demi kelancaran penyelesaian skripsi ini

Akhirnya semoga skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi semua. Semoga Allah SWT. senantiasa melindungi dan meridhoi setiap langkah dan perbuatan kita. Amin

Malang, 31 Januari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Pemotongan Logam	5
2.2.1 Pemotongan Ortogonal.....	5
2.2.2 Daya Pemotongan	10
2.3 Proses Bubut (<i>turning process</i>).....	12
2.4 Getaran Proses Pemotongan	14
2.4.1 Klasifikasi Getaran.....	15
2.4.2 Getaran Tereksitasi (<i>chatter</i>).....	21
2.5 Dinamika Proses Pemotongan	23
2.6 Kekasaran Permukaan.....	26
2.6.1 Faktor yang Mempengaruhi Kekasaran Permukaan	28
2.6.2 Profil Permukaan.....	29
2.6.3 Parameter Permukaan.....	31
2.6.4 Kriteria Evaluasi Permukaan Akhir	32
2.7 Uji Kekasaran Permukaan	33
2.8 Hipotesa	34

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
3.3 Variabel Penelitian.....	35
3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan	36
3.4.1 Peralatan yang Digunakan.....	36
3.4.2 Bahan yang Digunakan	40
3.5 Dimensi Benda Kerja.....	41
3.6 Prosedur Penelitian	41
3.7 Pengukuran Kekasaran Permukaan	43
3.8 Rancangan Penelitian.....	44
3.9 Diagram Alir Penelitian	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengukuran Amplitudo Getaran dan Kekasaran Permukaan.....	46
4.2 Pengolahan Data Hasil Penelitian.....	47
4.3 Pembahasan	53

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

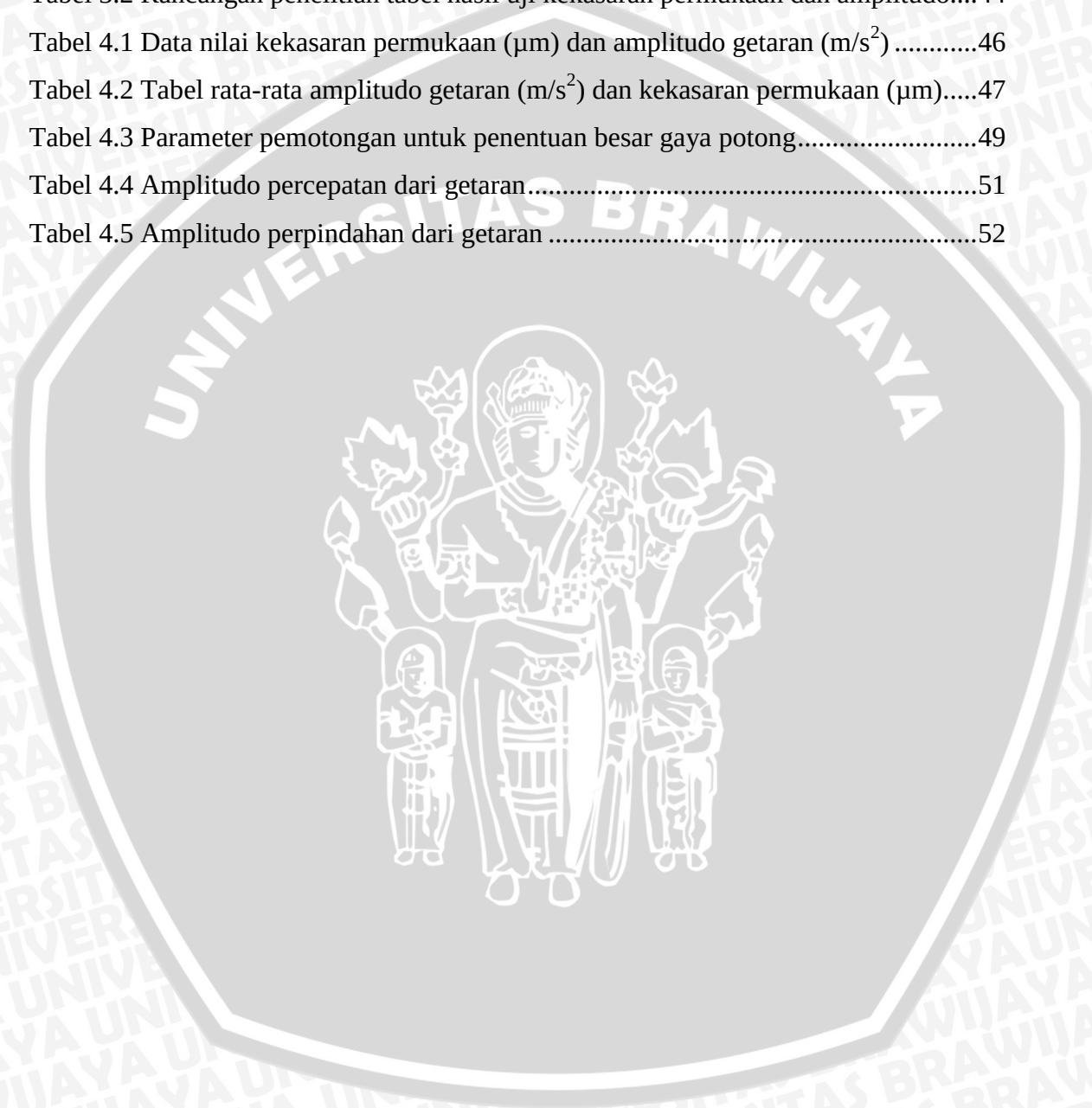
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Model pahat potong ortogonal	5
Gambar 2.2	Gaya Pemotongan	7
Gambar 2.3	Hubungan antar gaya pemotongan ortogonal	8
Gambar 2.4	Hubungan kecepatan <i>chip</i> dan pahat.....	9
Gambar 2.5	Gaya yang bekerja pada ujung pahat bubut	11
Gambar 2.6	Gaya yang bekerja pada ujung pahat bubut	12
Gambar 2.7	Mesin Bubut (<i>Lathe Machine</i>).....	12
Gambar 2.8	Proses Bubut	14
Gambar 2.9	Getaran pada proses pemotongan	15
Gambar 2.10	Sistem pegas massa dan diagram benda bebas	16
Gambar 2.11	Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas.....	18
Gambar 2.12	Pemodelan sistem pegas massa satu DOF dengan peredam cairan	19
Gambar 2.13	Kurva respons untuk sistem pegas massa satu derajat kebebasan	21
Gambar 2.14	Tingkah laku sistem pegas massa satu DOF	22
Gambar 2.15	<i>Regenerative chatter</i> pada operasi <i>turning</i>	22
Gambar 2.16	<i>Chatter</i> yang timbul pada pemotongan ortogonal	23
Gambar 2.17	Pengaruh kecepatan getaran terhadap dinamika gaya pemotongan.....	23
Gambar 2.18	Pengaruh lengkungan gelombang pada gaya kontak sisi.....	24
Gambar 2.19	Gesekan sisi pahat dengan permukaan benda kerja untuk pahat tajam	26
Gambar 2.20	<i>Micro roughness</i>	27
Gambar 2.21	<i>Waviness</i>	27
Gambar 2.22	<i>Error of form</i>	27
Gambar 2.23	Profil suatu permukaan	30
Gambar 2.24	Kedalaman total dan kedalaman perataan.....	30
Gambar 2.25	Analisa profil terukur dalam arah sumbu gerak sensor alat ukur	31
Gambar 2.26	Kurva Abbott	32
Gambar 2.27	Menentukan R_z dan R_a dari penyimpangan permukaan	33
Gambar 3.1	Instalasi pengujian getaran dan gaya pada proses pemotongan.....	36
Gambar 3.2	<i>Accelerometer</i>	36
Gambar 3.3	<i>Charge Amplifier</i>	37
Gambar 3.4	<i>Turning Machine</i>	38

Gambar 3.5 <i>PC Oscilloscope</i>	38
Gambar 3.6 <i>Surface Roughness SJ 301</i>	39
Gambar 3.7 <i>Vernier Caliper</i>	39
Gambar 3.8 Komputer	39
Gambar 3.9 Dimensi Spesimen	41
Gambar 3.10 Jarak pengujian kekasaran pada spesimen	43
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 4.1 Spesimen hasil proses pembubutan (<i>turning</i>)	47
Gambar 4.2 Amplitudo percepatan hasil perhitungan transformasi fourier	51
Gambar 4.3 Amplitudo perpindahan hasil perhitungan transformasi <i>fourier</i>	52
Gambar 4.4 Grafik pengaruh <i>cutting speed</i> dan <i>depth of cut</i> kondisi <i>chatter</i> terhadap amplitudo getaran hasil proses pembubutan.	53
Gambar 4.5 Grafik pengaruh <i>cutting speed</i> dan <i>depth of cut</i> kondisi <i>chatter</i> terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan.	53



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kelas Permukaan akhir standar USSR GOST 2789-59.....	33
Tabel 3.1	Komposisi <i>Carbon Steel</i> S45C	40
Tabel 3.2	Rancangan penelitian tabel hasil uji kekasaran permukaan dan amplitudo....	44
Tabel 4.1	Data nilai kekasaran permukaan (μm) dan amplitudo getaran (m/s^2)	46
Tabel 4.2	Tabel rata-rata amplitudo getaran (m/s^2) dan kekasaran permukaan (μm).....	47
Tabel 4.3	Parameter pemotongan untuk penentuan besar gaya potong.....	49
Tabel 4.4	Amplitudo percepatan dari getaran.....	51
Tabel 4.5	Amplitudo perpindahan dari getaran	52



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Surat penelitian kekasaran permukaan.....	
Lampiran 2.	Contoh perhitungan pekasaran permukaan	
Lampiran 3.	Hasil pengujian kekasaran permukaan	
Lampiran 4.	Surat penelitian getaran.....	
Lampiran 5.	Hasil penelitian getaran.....	
Lampiran 6.	Gambar spesimen	
Lampiran 7.	Sertifikat material.....	



RINGKASAN

Wahyu Budiarto, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2013, *Pengaruh Cutting Speed dan Depth of Cut Kondisi Chatter Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Proses Bubut*, Dosen Pembimbing : Endi Sutikno dan Erwin Sulistyono.

Proses pembubutan merupakan salah satu proses *machining* untuk pembentukan komponen yang berbentuk silindris sehingga diperoleh kualitas permukaan yang lebih baik. Kualitas kekasaran permukaan dipertimbangkan untuk meminimalkan gesekan yang terjadi pada komponen. Hal ini tergantung dari variabel proses pembubutan, dimana *cutting speed* dan *depth of cut* merupakan parameter yang mempengaruhi kualitas permukaan akhir benda kerja. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan.

Penelitian ini menggunakan material *Carbon steel* S45C berbentuk poros berdiameter 25 mm dengan kandungan karbon 45%. Spesimen berukuran panjang 100 mm dengan 50 mm untuk panjang pembubutan dan 40 mm untuk pengepakan sisanya untuk celah kebebasan pahat dan *spindle*. Penelitian ini menggunakan *cutting speed* 8.635, 12.168, 14.915, 20.410 dan 25.120 (m/menit) dan *depth of cut* 0.6, 0.9, dan 1.2 mm dengan *feeding konstan* 0.07 (mm/rev). Pada penelitian ini digunakan komputer sebagai alat bantu visualisasi dari getaran (*chatter*) yang terjadi pada saat proses pembubutan. Sinyal getaran yang terjadi akibat proses pembubutan diterima oleh *accelerometer* berupa sinyal analog yang dikuatkan oleh *charge amplifier*, kemudian dirubah menjadi sinyal digital oleh ADC dan diteruskan ke *computer*, dengan bantuan *software* sinyal digital yang diterima *computer* ditampilkan berupa getaran dalam fungsi tegangan terhadap waktu. Kemudian data ini diolah menjadi data getaran dengan menggunakan *software Mathcad*, sehingga *out put*-nya berupa domain waktu (domain frekuensi) terhadap percepatan. Pengukuran kekasaran permukaan dengan menggunakan *surface roughness* SJ 301. Pengambilan data getaran (*chatter*) dan kekasaran permukaan dilakukan pada bagian ujung, tengah dan pangkal dari spesimen dengan mengambil nilai amplitudo rata-rata dan kekasaran permukaan rata-rata aritmatik (*Ra*).

Nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar $4.216 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getaran sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel *cutting speed* 8.635 m/min dan *depth of cut* 0.6 mm. Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar $7.630 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getaran sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada variasi *cutting speed* 25.120 m/min dengan *depth of cut* 1.2 mm.

Kata Kunci: *Cutting Speed, Depth of Cut, Amplitudo getaran, Kekasaran Permukaan*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Doyle *et al.* (1961: 409) pemotongan logam adalah sebuah cara untuk membuat satu atau beberapa produk dalam berbagai bentuk dari bahan yang tersedia. Material dalam jumlah yang banyak bisa dipotong bila diperlukan. Tetapi pemotongan logam tidak terbatas hanya pada pembuatan komponen dalam jumlah yang kecil. Pemotongan logam bisa disesuaikan dengan produksi yang cepat, otomatis dan akurat.

Sugondo *et al.* (2008: 1) alat pemotongan logam yang banyak digunakan salah satunya adalah mesin bubut dengan proses *turning*. Proses *turning* digunakan untuk pembubutan komponen mesin yang berbentuk silindris. Proses pemesinan pada mesin bubut adalah terjadinya gerak relatif antara pahat dan benda kerja akan menghasilkan variasi *chip* yang berakibat pada perubahan gaya, sehingga amplitudo getaran terus membesar dengan cepat. Selain itu bertambahnya amplitudo yang terjadi juga disebabkan oleh gaya yang dipakai pada proses pemotongan. Gaya yang mengeksitasi getaran berasal dari proses pemotongan itu sendiri dan disebut getaran eksitasi diri atau lebih dikenal dengan *chatter* (Nur, 2011: 112).

Chatter merupakan hal yang harus dihindari pada proses pemesinan. Penelitian yang banyak dilakukan hampir semua analisis *chatter* membuat asumsi bahwa gaya pemesinan adalah bersifat linier walaupun sebenarnya gaya pemesinan mempunyai sifat non linier (Nur, 2011: 112-113). Pemotongan logam pada mesin bubut, gaya yang terjadi adalah gaya potong tangensial, yang secara umum dipengaruhi oleh tiga variabel utama selama terjadi *chatter*: *depth of cut*, *rake angle* pahat potong, dan *cutting speed* (Chen, 1972: 5). Dalam hal ini, *cutting speed* dan *depth of cut* adalah parameter signifikan yang mempengaruhi kekasaran permukaan (Thien Nga Ting, 2009). Sehingga kenaikan *cutting speed* akan secara signifikan menyebabkan terjadinya kenaikan *depth of cut* sampai mencapai batas kestabilan. Dalam hal ini, apabila *depth of cut* ditambah maka amplitudo pada spektrum juga bertambah dan kedalaman ditambah lagi akan mengalami pertambahan amplitudo sampai kedalaman maksimal, dimana terjadi penambahan amplitudo linear lagi (Nur, 2011: 118). *Chatter* yang terjadi pada pemotongan logam memiliki pengaruh buruk pada *surface finish* dan keakurasian dimensi benda kerja, umur pahat dan bahkan umur mesin. *Chatter* yang terjadi menimbulkan permukaan yang bergelombang, yang menyebabkan proses pemotongan

berikutnya mengalami pembebanan yang bervariasi (Kovačić, 1998: 581). Dan ketika hal itu terjadi, variasi pembebanan tadi memperburuk getaran yang sudah ada (Suhariyono, 2008: 18).

Kekasaran permukaan merupakan faktor utama untuk evaluasi produk dapat diterima atau tidak. Jika kekasaran permukaan yang tinggi akan mengakibatkan kinerja komponen pasangan produk yang dihasilkan akan terganggu. Misalnya dapat dilihat pada komponen poros yang memiliki kekasaran akibat proses pemotongan dan pemilihan elemen dasar proses pemesinan yang tidak tepat mengakibatkan pada saat pemanfaatannya bisa menimbulkan keausan pada komponen pasangannya Hernadewita *et al.* (2006).

Berdasarkan latar belakang diatas maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* pada proses *turning* terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat diambil rumusan masalah penelitian yaitu, bagaimana pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan pada proses *turning*.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dari perumusan masalah diatas, agar penelitian tidak menyimpang dari permasalahan dan tujuannya, agar proses yang dilakukan bisa berjalan dengan sesuai maka peneliti membatasi masalah penelitiannya sebagai berikut:

1. Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian adalah Baja Karbon S45C dengan panjang 100 mm dan berdiameter 25 mm.
2. Mesin yang digunakan adalah mesin bubut EMCO Maximat V13 yang dianggap ideal.
3. Alat ukur getaran yang digunakan adalah *accelerometer* dan *PC Oscilloscope* merk PICO tipe ADC 216, dan menggunakan penguat sinyal *Charge Amplifier* merk Kistler tipe 2635.
4. Pemotongan yang diteliti adalah proses *surface finish*, jenis pembubutan *orthogonal* dengan pembubutan lurus (*longitudinal*).
5. Kondisi pahat serta sudut potong pahat pada setiap kombinasi perlakuan dianggap memenuhi syarat (ideal).

6. *Cutting speed* yang digunakan dalam penelitian adalah 8.635 (m/min), 12.168 (m/min), 14.915 (m/min), 20.410 (m/min) dan 25,120 (m/min).
7. Kedalaman pemotongan yang digunakan dalam penelitian adalah 0.6 (mm), 0.9 (mm), dan 1.2 (mm).
8. Tidak membahas keausan mata potong utama pahat dan umur efektif pahat potong selama keausan yang terjadi tidak melebihi batas keausan kritis $VB \leq 0.8$ (mm) (Rochim, 1993: 119).
9. Getaran mekanis yang terjadi diasumsikan sebagai getaran mekanis dengan sistem satu derajat kebebasan (SDOF).
10. Amplitudo getaran yang terjadi diukur terhadap arah gaya radial pada proses pemotongan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi *cutting speed* dan *depth of cut* pada kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan benda kerja.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian kali ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Memberi referensi pada industri tentang pengaruh variasi *cutting speed* dan *depth of cut* pada kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan benda kerja.
2. Menambah khasanah ilmu pengetahuan khususnya tentang proses pemesinan pada kondisi *chatter* terhadap *surface finish* material Baja Karbon S45C.
3. Menjadi dasar acuan sehingga dapat dilakukan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Chen (1972) melakukan penelitian tentang *chatter vibration* terinduksi sendiri pada pahat bubut. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa pemotongan logam pada mesin bubut, gaya yang terjadi adalah gaya potong tangensial, yang secara umum dipengaruhi oleh tiga variabel utama selama terjadi *chatter*: *depth of cut*, *rake angle* pahat potong, dan *cutting speed*. Dari penelitian ini didapat kesimpulan bahwa *chatter* pada pemotongan logam bisa terjadi dalam rentang kecepatan permukaan yang sama dan berperilaku seperti getaran harmonik yang terinduksi oleh gesekan.

Hernadewita *et al.* (2006) dari penelitiannya tentang analisis pengaruh kondisi pemotongan benda kerja (panjang penjururan) terhadap kekasaran permukaan pada mesin bubut *Gallic16N*, mendapatkan kesimpulan bahwa untuk variasi *feeding* harga kekasaran permukaan benda kerja lebih rendah dibanding dengan kekasaran permukaan untuk kedalam potong bervariasi.

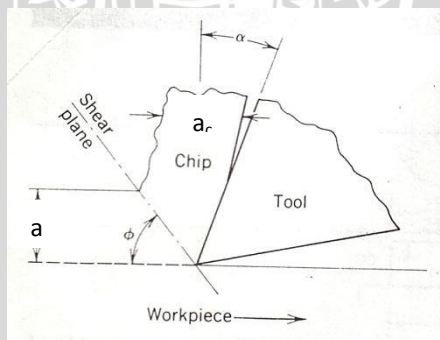
Suhariyono (2008) dari penelitiannya tentang pengaruh panjang pahat (*Tool Overhang*) dan gerakan pemakanan terhadap kekasaran permukaan benda kerja pada proses pembubutan. Pada penelitian ini menunjukkan bagaimana variasi sudut geometri bergantung pada posisi pahat dan benda kerja. Apabila *tool point* terletak diatas sumbu *spindle*, *rake angle* akan meningkat dan *clearance angle* akan menyempit. Hal ini akan mengakibatkan gesekan pada *flank face*. Apabila *tool point* terletak dibawah sumbu *spindle*, *rake angle* akan mengecil dan *relief angle* akan membesar, sehingga mengakibatkan peningkatan gaya potong. Penelitian ini mendapatkan kesimpulan bahwa *Tool Overhang* berpengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses pembubutan dalam berbagai variasi gerak makan. Semakin panjang *tool overhang* dan semakin besar gerak makan akan menghasilkan kekasaran permukaan yang semakin besar.

Thien Nga Ting (2009) dari penelitiannya tentang pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* terhadap kekasaran permukaan baja lunak pada proses *turning*. Penelitian tersebut menggunakan variasi putaran 490 rpm, 810 rpm dan 1400 rpm sedangkan *depth of cut* yang dipakai adalah 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm dan 0.5 mm. Sehingga didapat kesimpulan bahwa semakin tinggi *cutting speed* dengan *depth of cut* yang kecil akan menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik.

Nur (2011) dari penelitiannya tentang pengaruh kecepatan potong terhadap getaran mesin perkakas. Penelitian tersebut menggunakan *cutting speed* 57.9 mm/min, 68.8 mm/min, 97,11 mm/min, dan 115.48 mm/min dengan *feeding* 0.045 mm/rev. Sehingga didapat kesimpulan bahwa kenaikan *cutting speed* akan secara signifikan terjadi kenaikan *depth of cut* sampai mencapai batas kestabilan. Kenaikan *depth of cut* akan memperbesar amplitudo pada spektrum, dan seiring pertambahan *depth of cut* amplitudonya juga akan semakin besar sampai mencapai *depth of cut* maksimum, dimana terjadi penambahan amplitudo yang tidak linear lagi. Frekuensi *chatter* yang terjadi pada kondisi amplitudo maksimum adalah 220 sampai 246 Hz.

2.2 Pemotongan Logam

B.H Amstead *et al.* (1987: 450) pemotongan logam dengan pahat *single point* seperti yang dapat ditemukan pada operasi mesin bubut, mesin *planner* atau mesin sekrap. Pahat potong *multiple point* dibuat dari dua atau beberapa pahat *single point* yang disusun bersama-sama menjadi satu unit. Pahat *milling* dan pahat *broaching* adalah contoh pahat *multiple poin*. Pemotongan logam sangat erat hubungannya dengan pahat ortogonal, pahat ortogonal adalah pahat potong yang sisi potongnya tegak lurus terhadap arah potong dan tidak ada aliran lateral dari material. Tidak ada juga lengkungan pada bentuk yang sebenarnya, dan semua bagian-bagian *chip* mempunyai kecepatan yang sama. Contoh pemotongan ortogonal dapat dilihat pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 Model pahat potong ortogonal.
Sumber : B.H Amstead *et al.* (1987:450).

2.2.1 Pemotongan Ortogonal

Analisa proses pemotongan diasumsikan bahwa *chip* dihasilkan dari benda kerja akibat gaya geser yang bekerja melintang pada permukaan benda kerja seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, selain itu, juga dipengaruhi oleh *chip formation*. Karena

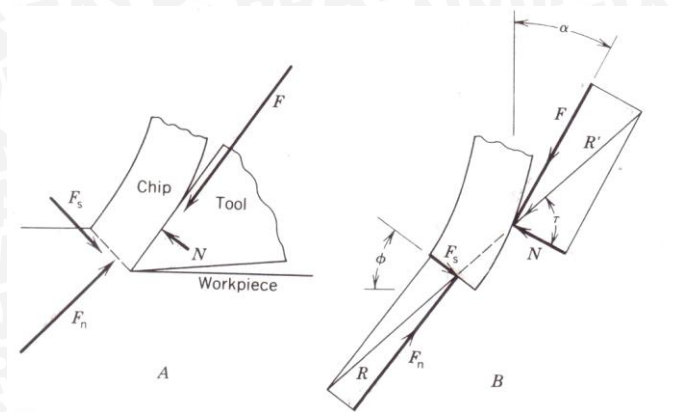
perubahan bentuk *chip* terjadi akibat tekanan yang dialami permukaan pahat secara berulang ulang karena gaya gesek yang muncul. Sehingga bisa disimpulkan bahwa *chip* terbentuk karena gaya geser dan gaya gesek yang muncul selama proses pemotongan.

Pada model pemotongan ortogonal pahat bisa dianggap tetap dan benda kerja yang berputar. Sebaliknya pola gerakan tidak berubah secara konsep. Kondisi tegangan sebelum dan sesudah bidang geser adalah aliran plastis rumit dari logam. Bidang geser ditentukan oleh *rake angle* (α) pahat dan oleh bidang gesek antara *chip* dan permukaan pahat.

Gaya yang bekerja pada permukaan *chip* ditunjukkan pada gambar 2.2 dan gaya-gaya yang bekerja adalah sebagai berikut:

- F_s = Gaya geser yang terjadi pada saat pembentukan *chip*. Gaya ini bekerja disepanjang garis pemotongan.
- F_n = Gaya normal terhadap bidang geser; terjadi pada benda kerja.
- N = Gaya normal yang bekerja pada permukaan *chip* terhadap permukaan benda kerja; dihasilkan oleh pahat.
- F = Gaya gesek pada permukaan pahat yang bekerja pada permukaan *chip*. Terjadi pada saat *chip* meninggalkan permukaan pahat.

Gambar 2.2 b menunjukkan *free body diagram* dari gaya yang bekerja pada permukaan *chip*. Gaya F_s dan F_n digantikan oleh resultan R sedangkan gaya F dan N digantikan oleh resultan R' . Ini untuk menghindari dua kombinasi gaya yang bekerja pada satu permukaan *chip*. Meskipun ada kopel eksternal pada permukaan *chip* yang pada kenyataannya akan memberikan kecenderungan untuk menkeritingkan *chip* yang terbentuk, hal ini diabaikan. Penggunaan prinsip mekanik dengan kesetimbangan yang ada ketika sebuah benda dikenakan dua buah gaya, maka akan didapat besaran yang sama, arah yang berlawanan, dan tidak ada kopel yang bekerja, kolinear. Komponen gaya dari benda kerja pada permukaan *chip* adalah gaya geser F_s dan gaya tekan normal F_n . Sebaliknya, gaya dari *chip* pada permukaan benda kerja adalah $-F_s$ dan $-F_n$.



Gambar 2.2 a). Gaya pada chip b). Dua segitiga gaya pada *free body diagram*.
Sumber : B.H Amstead *et al.* (1987:450).

Gaya geser dan sudut bidang geser diakibatkan oleh gaya gesek dari *chip* terhadap permukaan pahat. Gaya gesek bergantung pada sejumlah faktor termasuk kehalusan dan ketajaman pahat, apakah *coolant* digunakan atau tidak, material pahat dan benda kerja, *cutting speed* dan bentuk pahat. Gaya gesek yang besar menghasilkan *chip* yang tebal dengan sudut geser yang kecil, kebalikan dari gaya gesek yang kecil. Efisiensi pemindahan metal bagus ketika gaya gesek bisa diminimalisir.

Dua segitiga gaya pada gambar 2.2 b dibatasi oleh penempatan dua buah gaya yang sama R dan R' yang bekerja bersama-sama. Sudut antara F_s dan F_n adalah sudut siku-siku, dan bersama-sama dengan F dan N dalam sebuah lingkaran yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Dari ketentuan dua gaya atau lebih digambarkan: Gaya potong horisontal F_c dan vertikal atau gaya tangensial F_t . Dua gaya ini bisa diketahui selama proses pemesinan dengan dinamometer gaya. F_c adalah gaya potong horisontal dari pahat terhadap permukaan benda kerja, dan F_t adalah gaya dengan arah vertikal dari pemegang pahat terhadap benda kerja. *Rake angle* (α) bisa ditentukan dengan mengukur pahat dengan pemegang pahat (*holder*). Bahkan *shear angle* (Φ), bisa diasumsikan dari grafik foto mikro. Metode lain dihasilkan dengan cara mengukur ketebalan *chip* (t_c) dan *depth of cut* atau dengan mengukur panjang *chip*.

Variasi kuatitas bisa ditentukan menggunakan diagram gaya. Untuk contoh, koefisien gesek (μ) bisa ditentukan dengan hubungan gaya sebagai berikut :

$$F = F_t \cos \alpha + F_c \sin \alpha \quad (2.1)$$

dan,

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (2.2)$$

Oleh karena itu:

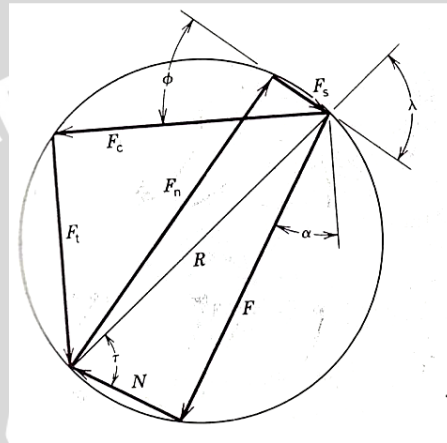
$$\mu = \tan \tau = \frac{F}{N} \quad (2.3)$$

atau,

$$\mu = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \sin \alpha} \quad (2.4)$$

dan,

τ = sudut gesek



Gambar 2.3 Hubungan antar gaya pemotongan ortogonal.
Sumber : B.H Amstead *et al.* (1987 :451).

Biasanya tebal *chip* setelah terdeformasi lebih tebal daripada tebal *chip* sebelum terdeformasi atau (Gambar 2.1), $a_c > a_o$. Perbandingan tebal *chip* setelah terdeformasi (a_c) dan tebal *chip* sebelum terdeformasi (a_o) disebut rasio ketebalan *chip* (r), dan bisa ditunjukkan seperti persamaan berikut ini:

$$r = \frac{a_o}{a_c} = \frac{\sin \theta}{\cos(\theta - \alpha)} \quad (2.5)$$

dan penyelesaian untuk $\tan \theta$,

$$\tan \theta = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (2.6)$$

Rasio (r) bisa diperoleh dengan mengukur *depth of cut* dan ketebalan *chip* dengan sebuah mikrometer. Bagian punggung *chip* sangat kasar, membuat nilai keakurasian untuk ketebalan *chip* sangat rendah. Sebuah cara alternatif adalah dengan menggunakan perbandingan panjang dengan ketebalan. Pada asumsi ini, densitas tidak mengalami perubahan selama proses pemotongan, dan volume *chip* sama dengan volum

jumlah geram yang dibuang. Diasumsikan bahwa tidak ada pergerakan lateral dari *chip* selama proses pemotongan, ini adalah kenyataan yang terjadi pada proses pemotongan ortogonal. Teori ini menyatakan bahwa volum sebelum dan sesudah proses pemotongan adalah sama.

$$tL = a_c L_c \quad (2.7)$$

dengan:

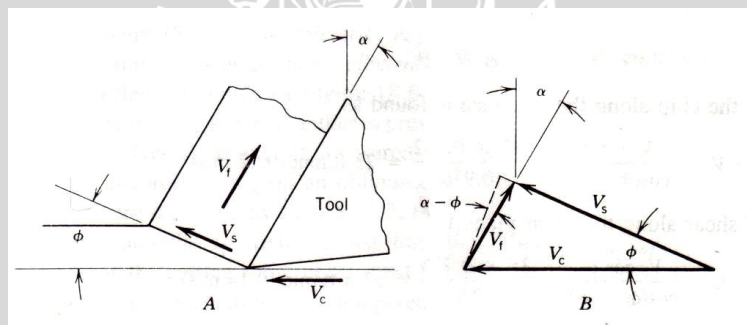
L_c = Panjang *chip*

L = Panjang material yang dibuang dari benda kerja

dan,

$$r = \frac{a_o}{a_c} = \frac{L_c}{L} \quad (2.8)$$

Kecepatan *chip* yang terbang sepanjang permukaan pahat lebih kecil dibanding kecepatan potong. Hal ini dikarenakan *chip* lebih tebal daripada *depth of cut*. Kecepatan bisa ditemukan dan hubungan kecepatan ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 a). Hubungan kecepatan *chip* dan pahat b). Poligon kecepatan.
Sumber : B.H Amstead *et al.* (1987:453).

Pada gambar ini kecepatan dari benda kerja diberi simbol V_c . *Chip* yang terbang sepanjang permukaan potong pahat dengan sebuah kecepatan relatif terhadap pahat sama dengan V_f . Kecepatan relatif dari dua benda, *chip* dan pahat, adalah sama dengan perbedaan vektor antara kecepatan relatifnya terhadap benda referensinya.

$$V_c = V_s - V_f \quad (2.9)$$

Kecepatan *chip* miring sepanjang permukaan potong pahat, sehingga:

$$V_f = \frac{V_c \sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2.10)$$

atau,

$$V_f = r V_c \quad (2.11)$$

Dari gambar 2.4 kecepatan *chip* miring sepanjang bidang geser sehingga:

$$V_s = \frac{V_c \cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2.12)$$

2.2.2 Daya Pemotongan

Gaya yang bekerja pada sudut kemiringan pahat potong bisa diukur dengan dinamometer seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5, diantaranya adalah gaya potong, gaya *thrust*, dan gaya radial. Gambar 2.6 menunjukkan kemungkinan besarnya distribusi gaya yang terjadi. Pada operasi kemiringan pahat yang lebih ekstrim gaya potongnya akan lebih signifikan B.H Amstead *et al.* (1987: 456).

Kekuatan pahat potong untuk material tertentu tergantung pada sejumlah pertimbangan.

1. Gaya pada pahat tidak berubah secara signifikan akibat perubahan *cutting speed*.
2. Semakin besar pemakanan pahat, gayanya akan semakin besar.
3. Semakin besar *depth of cut*, gayanya akan semakin besar.
4. Gaya potong semakin tinggi sesuai ukuran *chip*.
5. Gaya *thrust* menurun jika radius *nose* pahat potong dibuat lebih besar atau jika sudut *side cutting edge* diperbesar.
6. Gaya potong dikurangi dengan cara, *back rake angle* dinaikkan sekitar 1% per derajat.
7. Pemakaian *coolant* menurunkan kekuatan pahat tetapi meningkatkan umur pahat.

Daya yang dibutuhkan pada proses pemesinan bisa diketahui dengan metode yang berbeda-beda. Metode paling praktis adalah menggunakan *wattmeter* atau *ammeter* yang dipasang pada motor penggerakannya. *Wattmeter* lebih akurat ketika motor menerima beban penuh. Daya pada *cutter* bisa diketahui dengan mengurangi daya tanpa beban dari daya potong.

Daya bisa dihitung dari pengukuran gaya dengan dinamometer dan menggunakan F_c . Untuk dinamometer pemotongan logam secara khusus harus mempertimbangkan, a) kesesuaian impedansi mekanik dengan benar (berada pada kondisi statis atau dinamis, b) batas dimensi fisik (termasuk berat benda kerja), c) ketahanan terhadap temperatur (operasi pemotongan logam membangkitkan sejumlah panas yang cukup besar), d) adanya *cross check* antara komponen yang diukur (khususnya untuk transduser yang menggunakan proses control), e) kemudahan proses

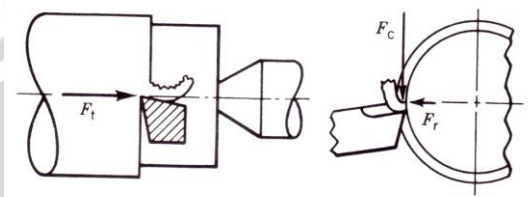
fabrikasi dan kalibrasi (Venkatesh, 1987: 197). Metode ini untuk mengetahui daya pada *spindle*.

$$P_C = \frac{F_C V_C}{33000} \quad (2.13)$$

dengan,

F_C = Gaya potong (lb).

V_C = Kecepatan potong (ft/min).



Gambar 2.5 Gaya yang bekerja pada ujung pahat bubut: *longitudinal thrust* (F_t), *tangential cutting* (F_c), dan *radial* (F_r).

Sumber : B.H Amstead, *et al.* (1987: 456).

Kadang rumus ini terlihat dengan dua ketentuan tambahan yang menyediakan untuk dua vektor kekuatan tambahan. Kontribusinya terhadap daya yang dibutuhkan sangat kecil karena jarak *force time* untuk dua ketentuan ini sangat kecil.

misalkan,

HP_m = Daya pada motor

$$HP_m = \frac{HP_s}{E} \quad (2.14)$$

Dimana,

E = Efisiensi *spindle* (%).

Metal removal rate pada proses pemotongan logam bisa dihitung dengan rumus berikut:

$$Q = 12af_r V_C \quad (2.15)$$

dimana,

Q = *Metal removal rate* (mm^3/min).

a = *Depth of cut* (mm).

f = *Pemakanan* (mm/rev).

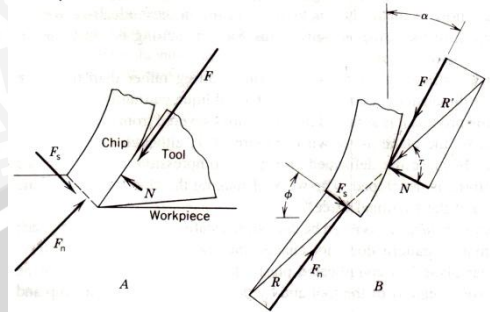
V_C = *Cutting speed* (mm/min).

Terkadang ini penting untuk dimengerti bahwa persamaan unit daya bisa dihitung, untuk pemberian keterangan.

$$P = \frac{HP_S}{Q} \quad (2.16)$$

dimana,

P = Unit daya (N.m/mm³/min).

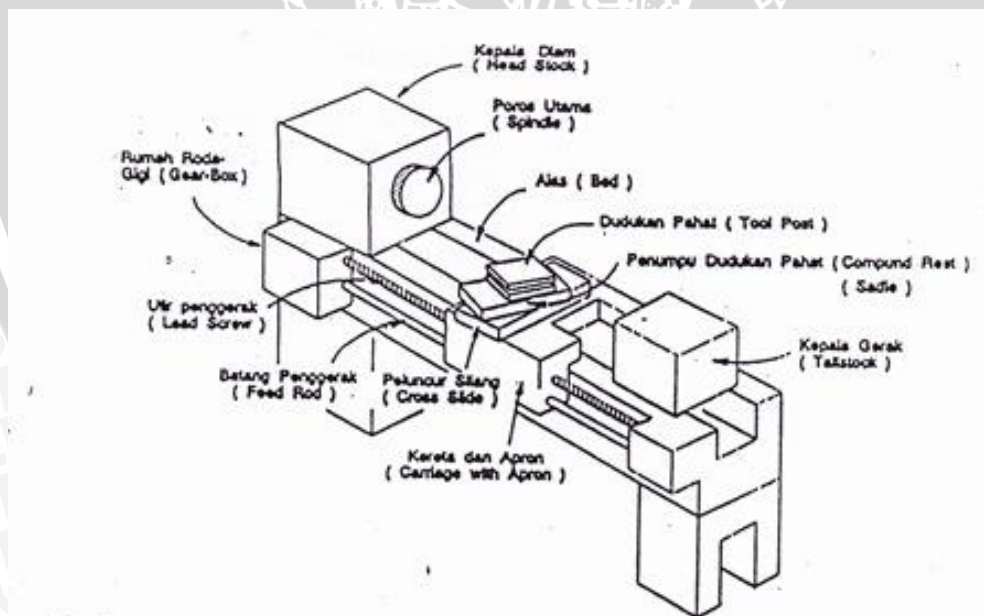


Gambar 2.6 Gaya yang bekerja pada ujung pahat bubut: *longitudinal thrust* (F_t), *tangential cutting* (F_c), dan radial (F_r).

Sumber : B.H Amstead *et al.* (1987: 456).

2.3 Proses Bubut (Turning Process)

Pada proses bubut benda kerja dipegang oleh pencekam yang dipasang pada ujung poros utama (*spinde*), lihat gambar 2.7. Dengan mengatur lengan pengatur, yang terdapat pada kepala diam (*head stock*), putaran poros utama (n) dapat ditentukan.



Gambar 2.7 Mesin Bubut (Lathe Machine).

Sumber : Taufik Rochim (1993: 14).

Harga putaran poros utama umumnya dibuat bertingkat, dengan aturan yang telah distandarkan, misalnya 630, 710, 800, 900, 1000, 1120, 1250, 1400, 1600, 1800, dan 2000 rpm. Untuk mesin bubut dengan putaran motor variabel, ataupun dengan sistem

transmisi variabel, kecepatan poros utama tidak lagi bertingkat melainkan berkesinambungan (*continue*). *Insert* dipasangkan pada kedudukan *Insert* dan kedalaman potong (a) diatur dengan menggeserkan peluncur silang (*cross slide*) melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter, dengan demikian kedalaman gerak translasi bersama-sama dengan kereta (*carriage*) dan gerak makanya diatur dengan lengan pengatur pada rumah roda gigi (*gear box*), gerak makan (f) yang tersedia pada mesin bubut bermacam-macam dan menurut tingkatan yang telah distandarkan, misalnya, 0.1, 0.112, 0.125, 0.14, ... (mm/rev) (Rochim, 1993: 14).

Elemen dasar dari proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar 2.7. Kondisi pemotongan ditentukan sebagai berikut:

Benda kerja; d_o = diameter awal (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = panjang pemesinan (mm)

Insert; k_r = sudut potong utama ($^\circ$)

γ_o = sudut geram ($^\circ$)

Mesin bubut; a = *depth of cut* (mm)

$$a = \frac{d_o - d_m}{2} \text{ ;(mm)} \quad (2.17)$$

f = gerak makan (mm/rev)

n = putaran poros utama (rpm)

Elemen dasar proses bubut dapat dihitung dengan rumus-rumus berikut,

1. *Cutting speed*:

$$V_c = \frac{\pi d n}{1000} \text{ ;(m/min)} \quad (2.18)$$

Dimana, d = diameter rata-rata, yaitu:

$$d = \frac{(d_o - d_m)}{2} = d_o \text{ ;(mm)} \quad (2.19)$$

2. Kecepatan makan:

$$V_f = f n \text{ (mm/min)} \quad (2.20)$$

3. Waktu pemotongan :

$$t_{cu} = \frac{l_t}{V_f} \text{ ;(min)} \quad (2.21)$$

4. Kecepatan penghasilan geram :

$$Q = A \cdot V$$

Dimana, penampang geram sebelum terpotong,

$$A = f \cdot a \quad ; (\text{mm}^2) \quad (2.22)$$

maka,

$$Q = f a V_C \quad ; (\text{mm}^3/\text{min}) \quad (2.23)$$

Pada gambar 2.8 diperlihatkan sudut potong utama (κ_r , *principal cutting edge angle*) yaitu merupakan sudut antara mata potong mayor (proyeksinya pada bidang referensi) dengan kecepatan makan V_f . Besarnya sudut tersebut ditentukan oleh geometri *Insert* dan cara pemasangan *Insert* pada mesin perkakas (orientasi pemasangannya). Untuk harga a dan f yang tetap maka sudut ini menentukan besarnya lebar pemotongan (b , *width of cut*) dan tebal geram sebelum terpotong (a_o , *undeformed chip thickness*) sebagai berikut:

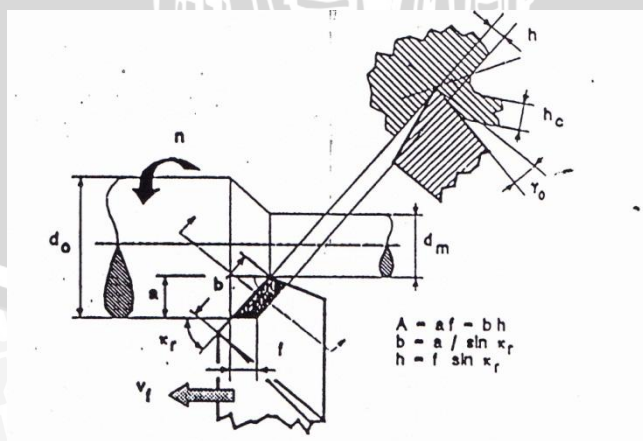
a. Lebar pemotongan:
$$b = \frac{a}{\sin \kappa_r} \quad ; (\text{mm}) \quad (2.24)$$

b. Tebal geram sebelumnya terpotong :
$$a_o = f \cdot \sin \kappa_r \quad ; (\text{mm}) \quad (2.25)$$

Dengan demikian, penampang geram sebelum terpotong dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = f \cdot a = b \cdot a_o \quad ; (\text{mm}^2) \quad (2.26)$$

Perlu dicatat bahwa tebal geram sebelum terpotong (a_o) belum tentu sama dengan tebal geram setelah terpotong (a_c , *deformed chip thickness*) dan hal ini antara lain dipengaruhi oleh sudut geram (γ_o), *cutting speed* dan material benda kerja.

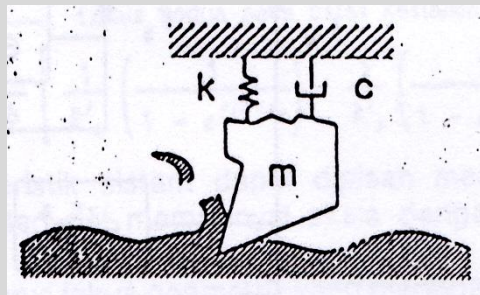


Gambar 2.8 Proses Bubut.

Sumber : Taufik Rochim (1993: 15).

2.4 Getaran Proses Pemotongan

Getaran bisa terjadi pada suatu sistem masa (benda kerja, pahat, *fixture*, dan mesin perkakas) apabila pada sistem tersebut berinteraksi suatu sumber penggetar (eksitasi) jenis eksitasi paksa (*forced excited*) atau eksitasi mandiri (*self excited*). Eksitasi paksa misalnya berupa gaya berfluktuasi pada proses bubut, ketidak seimbangan masa yang berputar, belt yang bergetar dan sebagainya. Eksitasi mandiri pada proses pemotongan terjadi karena perubahan gaya pemotongan dengan siklus tertentu karena adanya perubahan penampang geram akibat adanya gelombang permukaan benda kerja. Gelombang ini muncul berkelanjutan (regenerasi) pada permukaan terpotong akibat adanya gelombang permukaan sebelum terpotong. Dengan demikian gaya pemotongan yang berubah secara siklik ini akan menggetarkan sistem masa yang terkait (benda kerja, pahat, pencekam, mesin perkakas), lihat gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Getaran pada proses pemotongan.
Sumber : Taufik Rochim (1993: 503).

Rochim *et al.* (1993) proses pemesinan dikatakan stabil bila amplitudo gelombang (gelombang pada permukaan benda kerja) makin lama makin mengecil (sampai pada harga terkecil pada keseimbangan). Jika gelombang ini semakin lama semakin membesar maka proses dikatakan tidak stabil. Amplitudo akan mencapai harga maksimum sesuai dengan struktur nonlinear sistem yang bersangkutan. Karena berkaitan dengan masalah kestabilan maka teori control umpan balik (*feed back control theorem*) dapat dimanfaatkan dalam usaha pemahaman getaran eksitasi mandiri pada proses pemesinan.

2.4.1 Klasifikasi Getaran

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 (Anonymous 1). Secara umum getaran dapat dibagi menjadi dua yaitu:

2.4.1.1 Getaran Bebas

Getaran bebas adalah getaran suatu sistem tanpa adanya gaya dari luar yang memaksa terjadinya getaran, melainkan karena adanya keadaan awal yang diberikan sehingga sistem tersebut bergetar. Getaran bebas adalah getaran yang diamati sebagai sistem yang berpindah dari kedudukan keseimbangan statis. Getaran bebas dari sistem memenuhi sistem masa dan sifat elastisitas dan pada kondisi awal tidak bekerja eksitasi dari luar. Gaya yang bekerja adalah gaya bebas gesekan dan berat, berikut ini adalah jenis getaran bebas:

a. Getaran Bebas Tanpa Redaman

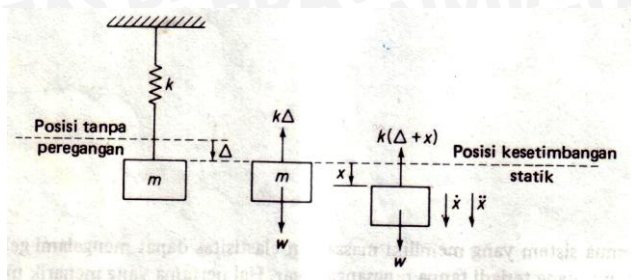
Sistem berisolasi yang paling sederhana terdiri dari massa dan pegas seperti ditunjukkan dalam gambar 2.10. Pegas yang menopang massa dianggap mempunyai massa yang dapat diabaikan dan kekakuan k Newton per meter simpangan. Sistem mempunyai satu derajat kebebasan karena gerakanya digambarkan oleh koordinat tunggal x .

Bila digerakkan, osilasi akan terjadi pada frekuensi *natural* (ω_n), yang merupakan milik (*property*) sistem. Kita sekarang mengamati beberapa konsep dasar yang dihubungkan dengan getaran bebas sistem dengan satu derjat kebebasan.

Hukum Newton kedua adalah dasar pertama untuk meneliti gerak sistem. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.10, 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 :

$$k\Delta = w = mg \quad (2.27)$$

Dengan mengukur simpangan x dari posisi kesetimbangan statik, 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 2.10 Sistem pegas massa dan diagram benda bebas.
Sumber : William T. Thomson (1995: 16).

Hukum newton kedua untuk gerak diterapkan pada masa m .

$$m\ddot{x} = \Sigma F = w - k(\Delta + x) \quad (2.28)$$

dan karena $k\Delta = w$, diperoleh,

$$m\ddot{x} = -kx \quad (2.29)$$

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

Dengan mendefinisikan frekuensi *natural* ω_n lewat persamaan,

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (2.30)$$

Persamaan 2.29 dapat ditulis sebagai,

$$\ddot{x} + \omega_n^2 x = 0 \quad (2.31)$$

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

$$x = A \sin \omega_n t + B \cos \omega_n t \quad (2.32)$$

dengan A dan B adalah dua konstanta yang penting. Konstanta ini dihitung dari kondisi awal $x(0)$ dan $\dot{x}(0)$, sehingga didapat persamaan,

$$x = \frac{\dot{x}(0)}{\omega_n} \sin \omega_n t + x(0) \cos \omega_n t \quad (2.33)$$

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.34)$$

dan frekuensi natural adalah

$$f_n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.35)$$

b. 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:

$$m\ddot{x} + F_d + kx = 0 \quad (2.36)$$

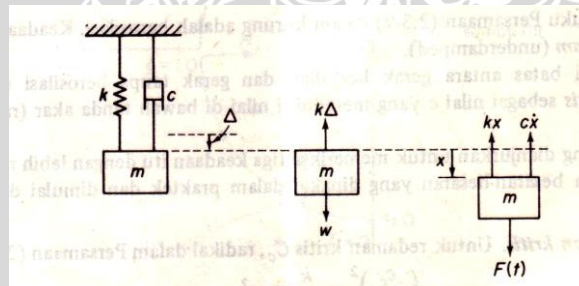
Dengan F_d adalah gaya peredam. Walaupun gambaran gaya peredam sebenarnya adalah sulit, dapat diasumsikan model-model redaman ideal yang sering menghasilkan perkiraan respon yang memuaskan. Dari model ini, gaya redaman karena kekentalan yang sebanding dengan kecepatan, menghasilkan pengolahan matematika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

Gaya redaman karena kekentalan dinyatakan oleh persamaan,

$$F_d = c\dot{x} \quad (2.37)$$

Dengan c adalah konstanta peredam. Secara simbolik gaya ini dinyatakan oleh peredam seperti terlihat pada gambar 2.11. Dari diagram benda bebas persamaan gerak dapat ditulis sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.38)$$



Gambar 2.11 Sistem getaran bebas dengan redaman dan diagram benda bebas.
Sumber : William T. Thomson (1995: 27).

Solusi persamaan diatas jika $F(t) = 0$, maka diperoleh persamaan diferensial homogen yang solusinya secara fisis sesuai dengan getaran teredam bebas. Dengan persamaan homogennya:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.39)$$

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 beresilasi, 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:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (2.40)$$

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:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.41)$$

Sebagai contoh struktur logam akan memiliki rasio redaman lebih kecil dari 0,05, sedangkan suspensi otomotif akan berada pada selang 0,2-0,3.

Solusi sistem kurang teredam ($\zeta < 1$) pada model massa-pegas-peredam adalah

$$x(t) = X e^{-\zeta \omega_n t} \cos(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t - \Theta), \quad \omega_n = 2\pi f_n \quad (2.42)$$

Nilai X adalah amplitudo dan Θ fase penyusutan, ditentukan oleh panjang regangan pegas.

Dari solusi tersebut perlu diperhatikan dua hal: faktor eksponensial dan fungsi *cosinus*. Faktor eksponensial menentukan seberapa cepat sistem teredam, semakin besar rasio redaman, semakin cepat sistem teredam ke titik nol. Fungsi *cosinus* melambangkan osilasi sistem, namun frekuensi osilasi berbeda daripada kasus tidak teredam.

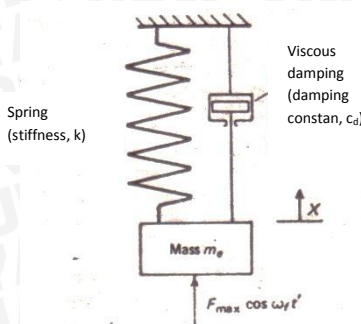
Frekuensi dalam hal ini disebut "frekuensi alamiah teredam" (ω_d), dan terhubung dengan frekuensi alamiah tak teredam lewat rumus berikut.

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad ; \text{ (Hz)} \quad (2.43)$$

Frekuensi alamiah teredam lebih kecil daripada frekuensi alamiah tak teredam, namun untuk banyak kasus praktis rasio redaman relatif kecil, dan karenanya perbedaan tersebut dapat diabaikan. Karena itu deskripsi teredam dan tak teredam kerap kali tidak disebutkan ketika menyatakan frekuensi alamiah.

2.4.1.2 Getaran Paksa dengan Redaman

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, dan memperpendek umur komponen mesin.



Gambar 2.12 Pemodelan sistem pegas massa satu derajat kebebasan dengan peredam cairan.

Sumber : Boothroyd (1981: 198).

Getaran yang terjadi pada proses pemrosesan adalah getaran paksa, yaitu getaran yang disebabkan oleh eksitasi getaran dari luar. Untuk sistem dengan satu derajat kebebasan gambar 2.12, persamaan getaran paksa yang terjadi adalah sebagai berikut (Boothroyd, 1981: 198):

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c_d \frac{dx}{dt} + kx = F_{max} \cos \omega t \quad (2.44)$$

dengan:

- x = Perpindahan (mm).
- t = Waktu (s).
- m = Massa ekivalen (kg).
- c_d = Konstanta peredam cairan (N.s/m).
- k = Kekakuan pegas (N/m).
- F_{max} = Nilai puncak dari gaya harmoni eksternal (N).
- ω = Frekuensi angular dari gaya harmoni eksternal (frekuensi eksitasi).

Getaran *steady state* dari sistem pegas massa satu derajat kebebasan adalah (Boothroyd, 1981: 198):

$$X = \frac{F_o \cos(\omega t - \phi)}{\sqrt{4\zeta^2 \omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}} \quad (2.45)$$

dimana:

$$F_o = \frac{F_{max}}{m} \text{ (N/kg)} = \text{Nilai puncak dari gaya harmoni eksternal.}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (s}^{-1}\text{)} = \text{Frekuensi angular } \textit{natural} \text{ dari sistem.}$$

$$\zeta = \frac{c_d}{2\omega_n m} = \text{Rasio redaman.}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{2\zeta \omega \omega_n}{\omega_n^2 - \omega^2} \right) = \text{Sudut fase antara respon dan eksitasi.}$$

Dari persamaan 2.45, didapat gerakan frekuensi eksitasi angular (ω) pada amplitudonya sebagai berikut (Boothroyd, 1981: 198):

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{4\zeta^2\omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}} \quad (2.46)$$

dengan:

X = Amplitudo getaran.

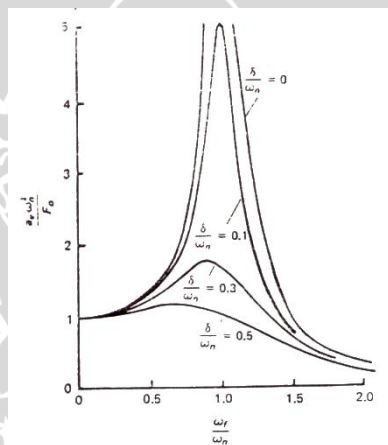
F_0 = Nilai puncak gaya pengganggu dibagi massa (N/kg).

ω = Frekuensi gaya angular (frekuensi eksitasi).

ω_n = Frekuensi angular *natural* dari sistem.

ζ = Koefisien redaman.

Resonansi akan terjadi pada saat ω sama dengan ω_n dan nilai amplitudo pada saat terjadi resonansi tersebut adalah $F_0/2\zeta\omega_n$. Hasil ini ditunjukkan pada gambar 2.13, dimana persamaan 2.46 diplot untuk nilai yang bervariasi dari rasio redaman (ζ).



Gambar 2.13 Kurva respons untuk sistem pegas massa satu derajat kebebasan.
Sumber : Boothroyd (1981: 199).

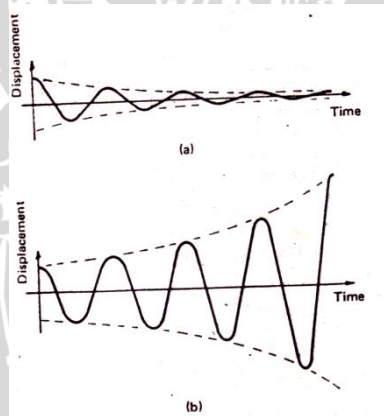
Dari persamaan-persamaan diatas dapat dilihat bahwa untuk meminimalkan amplitudo getaran dari sistem pegas masa teredam, peredam harus sebesar mungkin dan frekuensi eksiasi sebenarnya dari sistem harus secara signifikan lebih kecil dari frekuensi gaya pengganggu.

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.

2.4.2 Getaran Tereksitasi Sendiri (*Chatter*)

Chatter bisa terjadi pada saat proses pemesinan ketika variasi siklik pada gaya potong tidak normal, untuk contoh pada benda kerja berbentuk bulat. *Chatter* ini tidak diketahui penyebab gaya getarannya, dan sulit untuk memprediksi kondisi yang akan terjadi atau untuk menentukan perubahan pada kondisi pemotongan yang diperlukan untuk memperbaiki fenomena ini.

Pada proses pemesinan, getaran tereksitasi sendiri bisa terjadi dengan satu atau dua cara: pertama, pada kondisi tertentu, proses pemotongan pada dasarnya tidak stabil sehingga perpindahan relatif pahat terhadap benda kerja yang sangat cepat akan menciptakan amplitudo getaran yang besar. Situasi tidak stabil ini bisa dimodelkan dengan mengasumsikan bahwa c_d , gaya redam ekivalen per unit kecepatannya adalah negatif. Kondisi ini secara umum mengacu pada peredaman negatif dan sistem redaman negatif kondisinya tidak stabil. Pada gambar 2.14 perilaku yang dihasilkan sistem pegas massa sederhana dibandingkan dengan perilaku sistem yang sama dengan kondisi redaman positif, untuk c_d adalah positif. Ini akan menunjukkan bagaimana interaksi antara pahat potong dan benda kerja bisa menghasilkan redaman negatif konstan pada mesin.

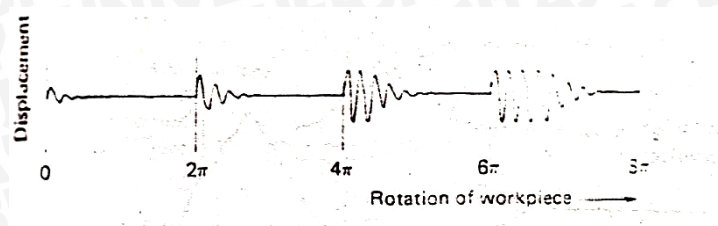


Gambar 2.14 Tingkah laku sistem pegas massa satu derajat kebebasan. a) Peredaman positif (konstanta redaman $c_d > 0$), b) Peredaman negatif (konstanta redaman $c_d < 0$).

Sumber : Boothroyd (1981: 202)

Cara kedua, getaran tereksitasi sendiri bisa menjadi lebih rumit tetapi terlihat lebih umum. Pada kasus ini, proses pemotongan pada dasarnya stabil (c_d lebih besar dari 0), dan getaran yang muncul disebabkan oleh gerak relatif pahat-benda kerja selama proses pemotongan. Namun, dengan operasi pemotongan paling praktis, pemotongan *overlapping* diambil, dan ketika pahat memindahkan *chatter* selama langkah awal

pemotongan, getaran paksa terjadi karena variasi pada gaya potong. Getaran paksa bisa mengakibatkan kenaikan amplitudo getaran dan disebut *regenerative chatter*, seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 *Regenerative chatter* pada operasi turning.
Sumber : Boothroyd, 1981: 203

Untuk mengetahui getaran tereksitasi sendiri yang muncul pada proses pemesinan perlu mempertimbangkan dinamika proses pemotongan logam itu sendiri.

2.5 Dinamika Proses Pemotongan

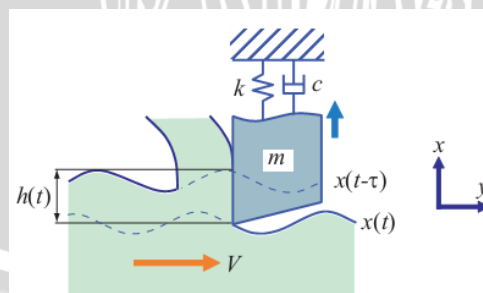
Skematis model pemotongan orthogonal sederhana ditunjukkan pada gambar 2.16. Gaya pemotongan dibangkitkan pada waktu t yang dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned} F_x(t) &= K_f b [f - x(t) + x(t - t')] \\ &= m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) \end{aligned} \quad (2.47)$$

dimana $x(t)$ dan $x(t-t')$ adalah getaran dalam dan getaran luar.

Untuk mempermudah penyelesaian gaya pemotongan diatas maka dilakukan pendekatan dengan sistem peredam eksitasi harmonik, sehingga didapat persamaan sebagai berikut:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = cX\omega\cos\omega t + kX\sin\omega t \quad (2.48)$$



Gambar 2.16 *Chatter* yang timbul pada pemotongan ortogonal.
Sumber : Mahdi Eynian *et al.* (2007: 1).

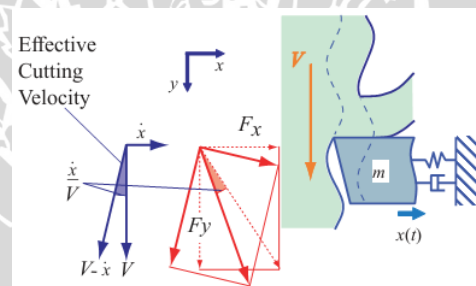
K_f adalah koefisien gaya potong statis untuk *feed* dan arah *cutting speed*. b adalah lebar pemotongan, f adalah *feed* per putaran, dan t' adalah waktu tunda antara gelombang getaran bagian dalam dan luar. Persamaan 2.47 digunakan untuk kecepatan

yang cukup tinggi dimana pengaruh kontak pahat dengan permukaan akhir diabaikan. Eynian *et al.* (2007) memasukan perubahan arah gaya potong yang disebabkan oleh kecepatan getaran seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17

Ini mengarah pada:

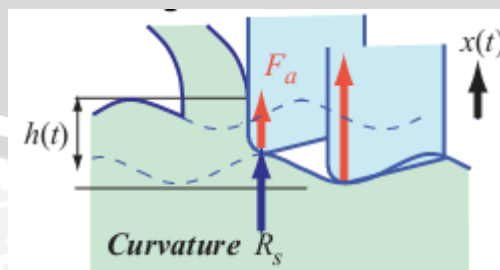
$$F_x(t) = K_f b [f - x(t) + x(t - \tau)] - K_t b f \frac{\dot{x}}{V} \quad (2.49)$$

Bandingkan persamaan 2.47 dan 2.49, hubungan waktu $(-\dot{x}/V)$ meningkatkan peredaman pada sistem $(c + \frac{K_t b f}{V})$ sebagai pengganti c) pada kecepatan potong rendah. Ketika Tobias memodifikasi model proses pemotongan dinamik menyebabkan peningkatan stabilitas pada kecepatan rendah, hal ini memerlukan perbaikan lebih lanjut untuk memprediksi stabilitas *chatter* pada kecepatan rendah. Pendapat dalam literatur menyatakan bahwa gaya potong dinamik bergantung pada osilasi sudut geser yang disebabkan oleh getaran dan kecepatan potong. Selanjutnya Eynian *et al.* (2007) membuktikan bahwa sisi bergelombang pada bidang kontak permukaan akhir berkontribusi pada gaya potong dinamis, dan meningkatkan daya redam dengan baik.



Gambar 2.17 Pengaruh kecepatan getaran terhadap dinamika gaya pemotongan.
Sumber : Mahdi Eynian *et al.* (2007: 1).

Selain pengaruh kecepatan yang disarankan, waktu akselerasi juga dipertimbangkan untuk memperhitungkan pengaruh kelengkungan gelombang pada kontak sisi dan radius tepi pahat, lihat gambar 2.18.



Gambar 2.18 Pengaruh lengkungan gelombang pada gaya kontak sisi.
Sumber : Mahdi Eynian *et al.* (2007: 2).

Kelengkungan mempengaruhi waktu akselerasi seperti:

$$\frac{dx}{du} = \frac{dx}{dt} \frac{1}{\frac{du}{dt}} = \frac{\dot{x}}{V}$$

$$\frac{1}{R_s(t)} = \frac{d^2x}{du^2} = \frac{\ddot{x}}{V^2} \quad (2.50)$$

Secara keseluruhan model proses pemotongan dinamik berikut digunakan untuk melihat kontribusi waktu regeneratif, kecepatan, modulasi bagian dalam dan luar dan pengaruh percepatan:

$$F_x(t) = b \left\{ K_f [f - x(t) + x(t - \tau)] - \frac{C_i \dot{x}(t)}{V} - \frac{b_i \ddot{x}(t)}{V^2} \right\} \quad (2.51)$$

Sedangkan koefisien gaya potong statik K_f dapat dengan mudah diidentifikasi dari getaran bebas pengujian pemotongan orthogonal, kecepatan percepatan bergantung pada koefisien gaya potong (C_i dan b_i) yang hanya bisa diidentifikasi dari serangkaian pengujian pemotongan dinamik.

Pada saat gerak harmonik ($x(t) = X e^{j\omega t}$) di aplikasikan pada pahat potong dengan frekuensi ω eksitasi dan amplitudo X , persamaan gaya pemotongan dinamik menjadi:

$$F_x(t) = K_f b f + b X e^{j\omega t} \left\{ -K_f [1 - e^{-j\omega t}] - \frac{C_i j\omega}{V} + \frac{b_i \omega^2}{V^2} \right\} \quad (2.52)$$

Panjang gelombang getaran yang dicantumkan pada permukaan adalah $\lambda = V \frac{2\pi}{\omega}$, yang mengarah ke $\frac{\omega}{V} = \frac{2\pi}{\lambda}$. Modifikasi gaya pemotongan dinamik ditunjukkan sebagai berikut:

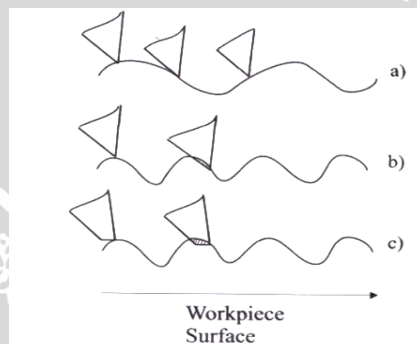
$$F_x(t) = K_f b f + b X e^{j\omega t} \left\{ -K_f [1 - e^{-j\omega t}] - j \frac{2\pi}{\lambda} C_i + \frac{4\pi^2}{\lambda^2} b_i \right\} \quad (2.53)$$

Pada kondisi *steady state* dengan pendekatan sistem redaman tereksitasi harmonik, solusi untuk $F(x)$ adalah:

$$F_x(t) = F_T \cos(\omega t - \phi_1 - \phi_2) \quad (2.54)$$

Korelasi gaya redam terhadap panjang gelombang getaran atau rasio frekuensi getaran atas kecepatan potong. Pengaruh kecepatan potong bisa dianalisa dari persamaan gaya pemotongan dinamik. Pertimbangan bahwa frekuensi getaran eksitasi kritis ω tetap dekat dengan frekuensi *natural* dari struktur, seperti meningkatnya kecepatan potong, panjang gelombang dari getaran menjadi lebih besar dan mengurangi kontak sisi. Dengan kata lain, pengaruh dari hubungan kecepatan dan akselerasi dalam model gaya potong dinamik menurunkan kecepatan potong tinggi. Namun, karena penurunan kecepatan potong, hubungan $(2\pi/\lambda)$ meningkat dan stabilitas proses sangat dipengaruhi.

Gambar 2.19 a dan b membandingkan dua situasi pemotongan pada kecepatan spindel tinggi dan rendah. Dengan asumsi bahwa pahat berisolasi bersama-sama pada frekuensi yang sama, jumlah gelombang yang dibuat oleh pahat selama satu putaran penuh akan lebih rendah untuk kasus a) dibandingkan dengan kecepatan spindel yang lebih lambat pada kasus b). Gelombang pada permukaan benda kerja juga akan lebih tajam pada kasus b) daripada kasus a). Dengan demikian ada kemungkinan yang tinggi untuk celah permukaan dari pahat, gesekan terhadap permukaan benda kerja dan hilangnya energi. Ini menjelaskan stabilitas yang lebih tinggi untuk mesin kecepatan spindel rendah. Pengaruh yang lebih dominan ketika pahat digunakan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.19 c), karena kemungkinan interferensi antara pahat dan gelombang pada permukaan benda kerja yang meningkat pada situasi ini.



Gambar 2.19 Gesekan sisi pahat dengan permukaan benda kerja untuk pahat yang tajam a). spindel kecepatan tinggi b). spindel kecepatan rendah c). pengaruh pahat tumpul

Sumber: Abhijit Ganguli (2005: 5).

2.6 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan digambarkan oleh kualitas akhir pemesinan dan kondisi fisik dari lapisan permukaan metal pada saat komponen tersebut dibuat. Akibat tekanan pada pemotongan logam dan panas yang timbul dari gesekan tepi pahat pada permukaan metal, dan gesekan internal pada zona aliran plastis, lapisan permukaan logam memperoleh sifat fisik yang berbeda secara substansi dari sisa logam pada sebuah komponen.

Logam dingin mengeras pada lapisan permukaan dengan ketebalan tertentu (berbeda untuk metode pemesinan yang berbeda dan berbeda material); struktur kristal yang terpecah ke tingkat tertentu mengakibatkan 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 pemesian 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.

Pada beberapa kasus, permukaan komponen harus bersih untuk memungkinkan komponen ini dilapisi dengan logam lain (pelapisan kromium dan nikel, dan sebagainya), dengan metode *electrodepositing* untuk memberikan permukaan yang menarik.

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. Untuk gambar profil kekasaran (*micro roughness*) ditunjukkan pada gambar 2.20 berikut:



Gambar 2.20 *Micro roughness*.
Sumber: Anonymous 2 (2012:225).

2. Gelombang / (*Waviness*)

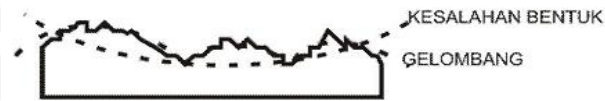
Ketidakteraturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya. Untuk gambar profil gelombang (*waviness*) ditunjukkan pada gambar 2.21 berikut:



Gambar 2.21 *Waviness*.
Sumber: Anonymous 2 (2012:225).

3. Kesalahan bentuk (*Error of form*)

Ketidakaturan makrogeometri, penyimpangan pada kekasaran dan waviness, yang disebabkan terutama oleh kesalahan pada proses pemrosesan, dan deformasi akibat tegangan pola komponen. Untuk gambar profil bentuk (*error of form*) ditunjukkan pada gambar 2.22 berikut:



Gambar 2.22 *Error of form*.

Sumber: *Anonymous 2* (2012:225).

2.6.1 Faktor yang Mempengaruhi Kekasaran Permukaan

Satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas lapisan permukaan yang harus diperhatikan adalah getaran pemrosesan, pahat yang dipakai berulang-ulang, dan pengerjaan selama pemrosesan. Getaran juga menurunkan kapasitas produksi, menurunkan umur pahat, dan menyebabkan keausan dini pahat mesin.

Alasan prinsip yang menyebabkan getaran adalah:

1. Osilasi ditransmisikan ke mesin oleh tanah atau elemen bangunan dari getaran mesin lainnya.
2. Gerakan yang tidak seimbang antara komponen yang berputar dan unitnya.
3. Kerusakan pada penggerak pahat mesin (hentakan dari sabuk penggerak, tidak akurasi roda gigi penggerak, dll).
4. Osilasi periodik gaya potong yang disebabkan oleh faktor variasi (kontak yang terputus-putus antara tepi pahat potong dan permukaan kerjanya, untuk contoh, pada mesin *milling* ketidakseragaman lapisan metal yang dibuang, dll).
5. Getaran *natural* yang disebabkan oleh pengaruh gaya potong.

Perubahan kondisi lapisan permukaan logam dari benda kerja jika dibandingkan dengan logam dasarnya yang disebabkan oleh aliran plastis selama proses pemotongan, tidak hanya pada saat pembuangan *chip*, tetapi juga pada lapisan permukaan sepanjang pergerakan pahat potong.

Berdasarkan panas yang terbangkit pada mesin gerinda, perubahan struktur bisa terjadi pada lapisan permukaan logam saat mengalami kenaikan deformasi.

Pembentukan penyimpangan mikro pada permukaan komponen adalah masalah utama, seperti yang disebutkan di atas, dari permukaan tepi pahat potong (atau material abrasif) pada permukaan kerja.

Permukaan akhir bergantung pada beberapa faktor, berikut ini adalah faktor yang paling berpengaruh pada permukaan akhir:

- a. Material benda kerja.
- b. Jenis mesin.
- c. Kekakuan sistem yang terdiri dari pahat mesin, *fixture*, pahat potong dan benda kerja.
- d. Jenis, bentuk, material, dan ketajaman pahat potong.
- e. Kondisi pemotongan.
- f. Jenis *coolant* yang digunakan.

Pada pemesinan benda kerja berbahan baja, logam bagian luar tepi potong dari pahat berubah menjadi plastis. Lapisan pembatas permukaan kerja terpotong oleh pahat, untuk alasan ini, lembah dan bukit dari bentuk yang tidak teratur harus diamati setelah proses pemesinan dalam arah gerak utama. Untuk mendapatkan kualitas yang lebih tinggi dari permukaan akhir, dalam beberapa kasus, komponen yang terbuat dari baja karbon rendah yang sulit dikenakan perlakuan panas yang terdiri dari *normalizing* atau *hardening* dengan temper tinggi (memperbaiki struktur) untuk meningkatkan kekerasan baja dan untuk mengurangi ketangguhannya.

Kualitas yang baik dari permukaan akhir bisa ditentukan dengan kecepatan potong yang rendah (*reaming*, *broaching*, dan pemotongan ulir) sehingga panas yang dibangkitkan pada saat proses pemotongan sangat kecil atau sebaliknya. Sedangkan kualitas yang baik dari permukaan akhir untuk kecepatan yang sangat tinggi (*turning* dan *boring* presisi, *milling* kecepatan tinggi, dll.) dengan *depth of cut* kecil panas yang dibangkitkan pada saat proses pemotongan sangat kecil.

2.6.2 Profil Permukaan

Secara garis besar profil permukaan hasil proses pemesinan dapat dibagi menjadi bagian-bagian berikut:

1. Profil geometri ideal

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

2. Profil Referensi

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan bentuk profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran.

3. Profil Terukur

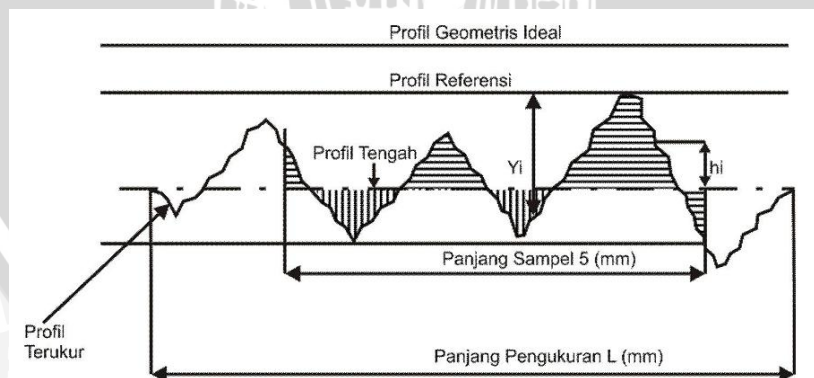
Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.

4. Profil Dasar

Profil dasar adalah profil referensi yang digeserkan kebawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

5. Profil Tengah

Profil tengah adalah profil yang berada di tengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan kebawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama yaitu atas dan bawah. Untuk lebih memperjelas dimana posisi dari profil geometris ideal, profil terukur, profil referensi, profil dasar, dan profil tengah, dapat dilihat pada gambar 2.23 berikut ini.



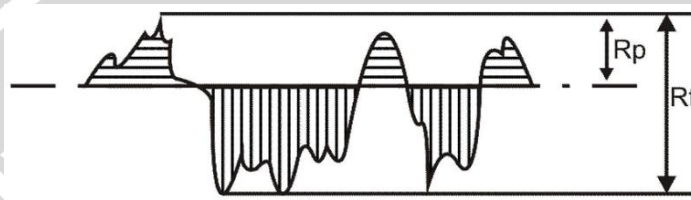
Gambar 2.23 Profil suatu permukaan.
Sumber: Anonymous 2 (2012:227).

6. Kedalaman Total (*Peak to Valley*), R_t

Kedalaman total ini adalah besarnya jarak dari profil referensi sampai dengan profil dasar. Satuannya adalah dalam micron (μm). Lihat gambar 2.24.

7. Kedalaman Perataan (*Peak to Mean Line*), R_p

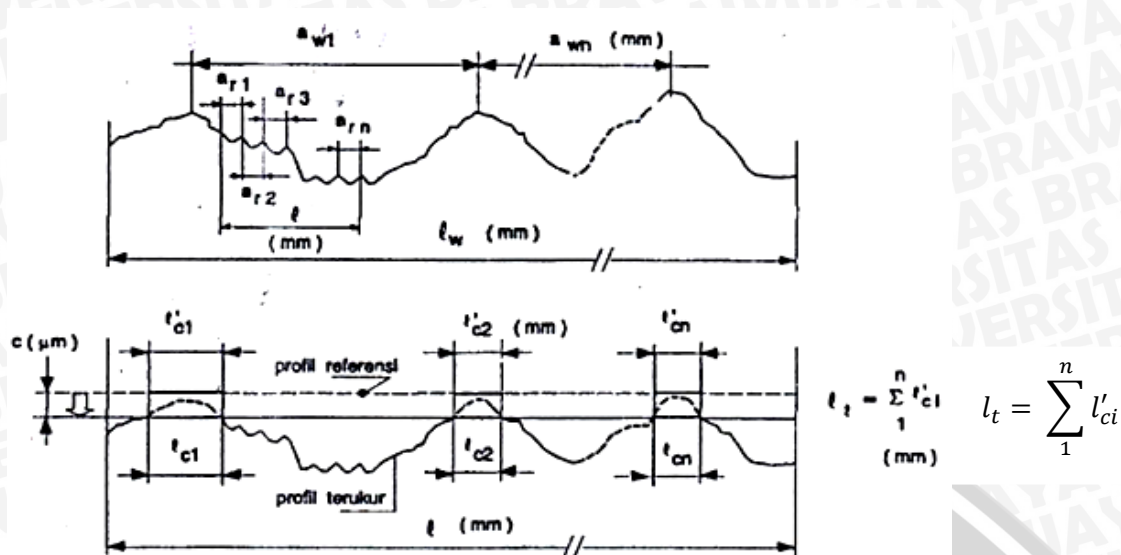
Kedalaman perataan (R_p) merupakan jarak rata-rata dari profil referensi sampai dengan profil terukur. Bisa juga dikatakan bahwa kedalaman perataan merupakan jarak antara profil tengah dengan profil referensi. Lihat Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Kedalaman total dan kedalaman perataan.
Sumber: *Anonymous 2* (2012:227).

2.6.3 Parameter Permukaan

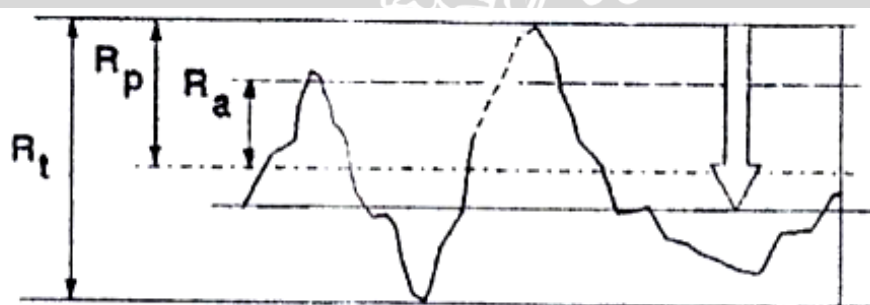
- Analisa profil kekasaran arah tegak
 - a. Kekasaran total (*peak to valley height / total height*), R_t adalah jarak profil referensi dan profil dasar.
 - b. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean linear*), R_p adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur. R_p ini juga sama dengan jarak antara profil referensi dengan profil tengah.
 - c. Kekasaran aritmetris (*mean roughness index / centerline average*), R_a adalah harga rata-rata aritmetis dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.



Gambar 2.25 Analisa profil terukur dalam arah sumbu gerak sensor alat ukur.
Sumber: Taufiq Rochim (2001: 57).

- Analisa profil kekasaran arah memanjang.
 - a. Lebar gelombang (*waveness width*), A_w adalah rata-rata aritmetris dari semua jarak a_{w1} diantara dua buah puncak gelombang (dari profil terukur) yang berdekatan pada suatu panjang sampel l_w .
 - b. Lebar kekasaran (*roughness width*), A_r adalah harga rata-rata aritmetris dari semua jarak a_{r1} diantara dua puncak kekasaran (dari profil terukur) yang berdekatan pada suatu sampel l .
 - c. Panjang penahan (*bearing length*), l_t adalah profil referensi digeserkan kebawah sejauh c maka akan memotong profil terukur sepanjang l_{c1} , l_{c2} , l_{cn}

Profil kekasaran permukaan dengan arah memanjang dapat dilihat pada gambar 2.26 berikut:



Gambar 2.26 Kurva Abbott, hubungan antara kedalaman c (μm) dengan bagian panjang penahan t_p (%).

Sumber: Taufiq Rochim (2001: 58).

2.6.4 Kriteria Evaluasi Permukaan Akhir

Standar USSR GOST 2789-59 menyediakan dua kriteria, R_z dan R_a yang mencirikan permukaan akhir. Standar ini diklasifikasikan menjadi 14 kelas kualitas permukaan.

Kelas permukaan akhir dari 1 sampai 4, serta 13 dan 14 ditentukan oleh nilai penyimpangan mikro R_z , yang didefinisikan sebagai rata-rata ketinggian (jarak puncak ke lembah) dari lima penyimpangan utama (gambar 27a) yang diukur sepanjang garis dasar:

$$R_z = \frac{(h_1 + h_3 + h_5 + h_7 + h_9) - (h_2 + h_4 + h_6 + h_8 + h_{10})}{5} \quad (2.55)$$

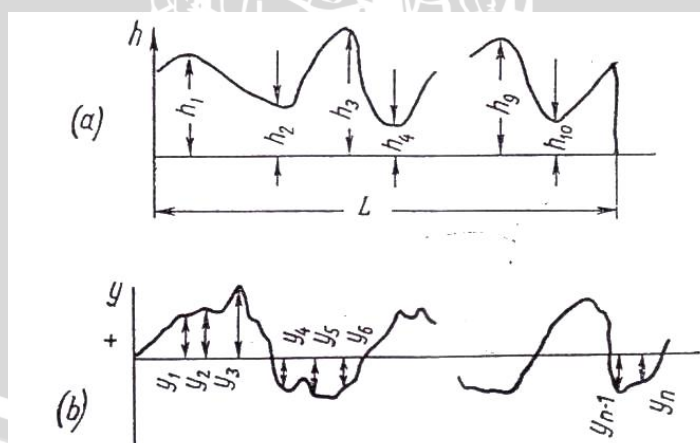
Kelas permukaan akhir dari 5 sampai 12, ditentukan oleh nilai penyimpangan rata-rata R_a sesuai rumus berikut:

$$R_a = \frac{1}{n} (y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.56)$$

yang mana: y_1, y_2, y_3 , dll adalah jarak dari titik permukaan profil dari garis tengah (gambar 19b); n adalah jumlah titik penyimpangan dari profil mikro yang diukur.

Garis tengah membagi profil permukaan sehingga penjumlahannya $y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2 = 0$.

Kualitas permukaan pada *drawing* ditunjukkan dengan simbol segitiga ∇ diikuti oleh kelas kualitas permukaannya, untuk contoh, $\nabla 5$ menunjukkan kelas nomer lima dari permukaan akhir.



Gambar 2.27 Menentukan R_z dan R_a dari penyimpangan permukaan.
Sumber: D. Maslov, dkk. (1967: 221)

Berikut ini adalah kelas permukaan akhir berdasarkan standar USSR GOST 2789-59:

Tabel 2.1 Kelas Permukaan akhir standar USSR GOST 2789-59.

Kelas Permukaan akhir	Penyimpangan aritmatik rata-rata R_a dari profil, (micron)	Tinggi penyimpangan R_z , (micron)	Panjang dasar L (mm)
1	80	320	8
2	40	160	8
3	20	80	8
4	10	40	2.5
5	5	20	2.5
6	2.5	10	0.8
7	1.25	6.3	0.8
8	0.63	3.2	0.8
9	0.32	1.6	0.25
10	0.16	0.8	0.25
11	0.08	0.4	0.25
12	0.04	0.2	0.25
13	0.02	0.1	0.08
14	0.01	0.05	0.08

Sumber: D. Maslov *et al.* (1967: 221)

2.7 Uji Kekasaran Permukaan

Sebelum melakukan pengujian alat uji harus di kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang maksimal, jarum peraba (*stylus*) dari alat ukur halus digerakkan mengikuti lintasan profil permukaan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu, sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti maka secara elektronis alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Profil permukaan yang diukur menghasilkan amplitudo kekasaran yang terdiri dari bukit dan lembah sehingga dari penjumlahan nilai amplitudo keseluruhan dibagi dengan jumlah titik pengukuran diperoleh harga kekasaran permukaan aritmatik rata-rata (R_a). Didalam pengukuran kecepatan *stylus* (*down speed*) dan jarak lintasan *stylus* ditentukan lebih dahulu sebelum alat dioperasikan.

2.8 Hipotesa

Besarnya *cutting speed* dan *depth of cut* dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada proses *turning* dimana hal ini akan mempengaruhi besarnya *chatter* yang terbangkit pada saat proses pemotongan. Sehingga semakin tinggi *cutting speed* maka kekasaran permukaan benda kerja hasil proses *turning* akan menurun, sedangkan semakin dalam *depth of cut* kekasaran permukaan benda kerja hasil proses *turning* juga akan semakin menurun.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode yang Digunakan

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan pada proses *turning*. Dengan asumsi variabel lain konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 20 sampai 30 November 2012 dan tempat yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah:

- Laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Besar variabel bebas divariasikan untuk mendapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu:

- a. *Cutting speed* yang digunakan: 8.635 (m/menit), 12.168 (m/menit), 14.915 (m/menit), 20.410 (m/menit) dan 25,120 (m/menit).
- b. *Depth of cut* yang digunakan: 0.6 (mm), 0.9 (mm) dan 1.2 (mm).

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas.

- a. Kekasaran permukaan hasil proses bubut.
- b. *Chatter Vibration* hasil proses bubut.

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantkan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

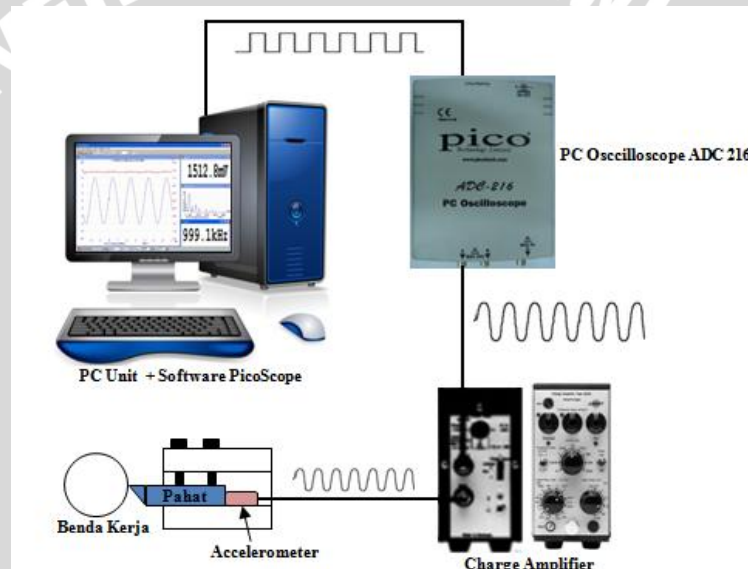
- Spesimen uji adalah *Carbon Steel S45C*.
- Rake angle* adalah 6° .
- Feeding* adalah 0.07 (mm/rev).

3.4 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.4.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Instalasi proses *turning*.



Gambar 3.1 Instalasi pengujian getaran dan gaya pada proses pemotongan.

- Accelerometer*

Digunakan sebagai sensor getaran yang dipasang pada *tool post* yang dihubungkan pada pahat bubut.



Gambar 3.2 Accelerometer.

Spesifikasi:

Merk	: Brüel & Kjær
Type	: 4321
Akselerasi	: 10 (m/s ²)
Sensitifitas	: 10 pC/(m/s ²)
Frekuensi	: 0,1-12000 Hz

3. *Charge Amplifier*

Digunakan untuk menguatkan sinyal getaran yang sangat kecil dan sekaligus mengukur getaran tersebut.



Gambar 3.3 *Charge Amplifier*.

Spesifikasi:

Merk	: Kistler
Type	: 2635
Frekuensi	: 0,1-200Hz
Sensitivitas	: 0,1-11 pC/m/s ²
Akselerasi	: 0,2-2Hz

4. Mesin Bubut

Digunakan untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris sehingga didapatkan dimensi akhir sesuai dengan standart.



Gambar 3.4 *Turning Machine.*

Spesifikasi:

Merk	: EMCO Maximat
Type	: Manual Lathe
Model	: Maximat V13
Dimensi	: 156 X 480 mm
Putaran Spindel	: 70 - 4500 rpm

5. *PC Oscilloscope*

Digunakan untuk mengetahui atau mendeteksi kebisingan dan getaran yang dihasilkan oleh proses *turning*.



Gambar 3.5 *PC Oscilloscope*

Spesifikasi:

Merk	: PICO
Type	: ADC 216
Analog bandwidht	: 166 KHz
Input impedansi	: 1M Ω
Spectrum ranges	: 0-166 KHz

6. Surface Roughness SJ 301

Digunakan untuk mengetahui nilai kekasaran dari suatu material ataupun suatu produk.



Gambar 3.6 Surface Roughness SJ 301.

Spesifikasi:

Measuring range : X Axis (12,5 mm) and Z Axis (350 μ m)

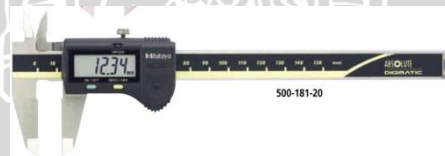
Measuring speed : 0,25, 0,5 m/s

Stylus tip material : Diamond

Dimensi : 325 x 185 x 95 mm

7. Vernier Caliper

Digunakan untuk mengukur diameter benda kerja sebelum dan sesudah proses pembubutan.



Gambar 3.7 Vernier Caliper

8. Komputer

Digunakan untuk visualisasi dan pengolahan data getaran yang terjadi pada saat proses pembubutan (*turning*).



Gambar 3.8 Komputer

9. Kunci Pas

Digunakan untuk memasang dan melepas pahat pada saat proses penyetelan.

10. Palu

Digunakan untuk penyetelan benda kerja sebelum proses *turning*.

11. Sarung tangan

Digunakan untuk melindungi tangan dari cairan *coolant* dan geram hasil proses *turning*..

12. Majun

Digunakan untuk membersihkan mesin bubut dan benda kerja.

13. *Tool set* mesin bubut

Tempat perlengkapan mesin bubut.

3.4.2 Bahan yang digunakan

1. Material yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini adalah baja *Carbon Steel S45C* dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Komposisi *Carbon Steel S45C*.

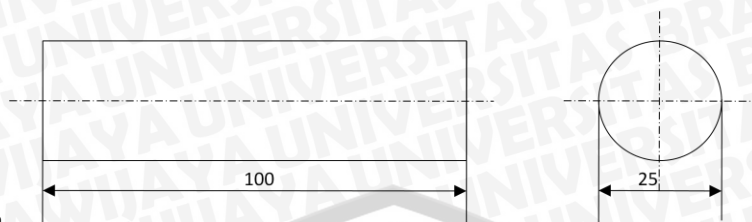
No.	Unsur	Prosentase (%)
1	Karbon (C)	0,44
2	Silikon (Si)	0,21
3	Mangan (Mn)	0,63
4	Pospor (P)	0,016
5	Sulfur (S)	0,012
6	Kromium (Cr)	0,13
7	Nikel (Ni)	0,02
8	Tembaga (Cu)	0,02
9	Besi (Fe)	<i>Residual</i>

2. *Coolant*.

3. Majun.

4. Pahat.

3.5 Dimensi Benda Kerja



Satuan : mm

Gambar 3.9 Dimensi Spesimen.

3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.
2. Memotong spesimen sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
3. Melakukan pemasangan sensor getaran (*accelerometer*) pada *tool post* tepatnya dipangkal pahat, dengan posisi pengukuran getaran pada arah “Y”.
4. Melakukan pemasangan instalasi alat uji *chatter* diantaranya *charge amplifier*, *PC Oscilloscope*, dan unit komputer.
5. Setelah semua instalasi pengujian terpasang, sebelum memulai proses *machining* lakukan pengecekan akhir untuk memastikan semua instalasi terpasang dengan benar.
6. Nyalakan peralatan *charge amplifier*, *PC Oscilloscope* (ADC 126) dan komputer, pastikan semua peralatan berfungsi dengan baik.
7. Atur penguatan sinyal pada *charge amplifier* pada posisi 3.16 mV/unit out. Buka *software* pada komputer, kemudian atur perbesaran gelombang getaran pada perbesaran 1 kali.
8. Pengambilan data getaran mesin bubut pada saat tanpa beban, pada kondisi ini mesin bubut tidak menerima beban tambahan dari pahat dan benda kerja. Pengambilan data dilakukan pada masing-masing putaran yang akan digunakan pada proses penelitian. Prinsip kerja pengambilan data getaran pada proses bubut adalah getaran yang terjadi pada pahat diterima oleh sensor (*accelerometer*) berupa sinyal analog kemudian dikuatkan oleh *charge amplifier*, sinyal analog yang telah dikuatkan oleh *charge amplifier* dirubah menjadi sinyal digital oleh ADC dan diteruskan ke *computer*, dengan bantuan *software* sinyal digital yang diterima *computer* ditampilkan berupa getaran

dalam fungsi tegangan terhadap waktu. Kemudian data ini diolah menjadi data getaran dengan menggunakan *software Mathcad*, sehingga *out put*-nya berupa domain waktu (domain frekuensi) terhadap percepatan.

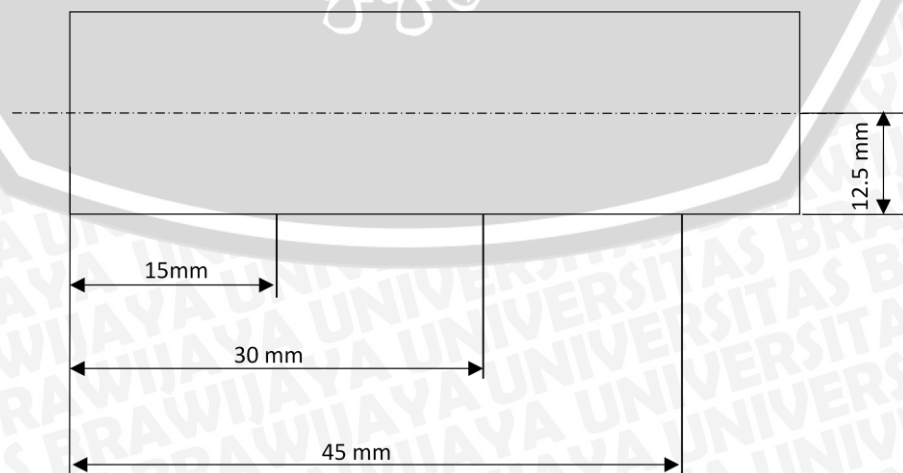
9. Memasang benda kerja pada mesin bubut, dengan panjang pencekaman 40 mm.
10. Melakukan pemasangan pahat pada *tool post* dengan *rake angle* (α) sesuai dengan yang akan digunakan pada saat penelitian. Pastikan pangkal pahat menyentuh sensor (*accelerometer*).
11. Pengambilan data getaran mesin bubut pada saat dengan beban, pada kondisi ini mesin bubut menerima beban tambahan dari pahat dan benda kerja. Pengambilan data dilakukan pada masing-masing putaran yang akan digunakan pada proses penelitian.
12. Menentukan putaran *spindle* sesuai dengan *cutting speed* yang digunakan dalam penelitian. *Feeding* yang digunakan adalah konstan 0.07 (mm/rev).
13. Menentukan posisi pemakanan awal proses *turning*, untuk proses *roughing* digunakan *depth of cut* sebesar 0.5 mm, kemudian laksanakan proses pembubutan (*roughing*) dengan panjang 50 mm. Pada proses *roughing* tidak dilakukan pengambilan data *chatter vibration*.
14. Lakukan proses pembubutan *finishing* dengan *depth of cut* sesuai rancangan penelitian. Pada proses ini dilakukan pengambilan data *chatter vibration*.
15. Selama proses pembubutan *finishing* berlangsung dilakukan proses pengambilan data:
 - a. Pengambilan sampel *chip* untuk masing-masing spesimen.
 - b. *Chatter vibration* yang terjadi pada saat proses *finishing*.
 - c. Fluktuasi putaran untuk setiap *cutting speed*, dengan menggunakan *stroboskop*.
16. Melepas benda kerja dari mesin bubut setelah proses pemesinan selesai dan membersihkannya dengan majun. Kemudian dilakukan penandaan pada setiap benda kerja dengan tujuan untuk mencegah tertukarnya data hasil penelitian.
17. Melakukan pengulangan langkah 13 sampai 16 pada tiga spesimen lainnya dengan variasi yang sama.
18. Melakukan pengulangan langkah 12 sampai 17 untuk spesimen dengan variasi *cutting speed* 8.635 m/menit, 12.168, 14.915, 20.410 dan 25,120 (m/menit) dan *depth of cut* 0.6, 0.9 dan 1.2 (mm).
19. Dilakukan pengujian kekasaran permukaan pada setiap benda kerja.

20. Melakukan analisa, pengolahan data dan pembahasan dari data-data yang diperoleh.
21. Mengambil kesimpulan.

3.7 Pengukuran Kekasaran Permukaan

Dari benda kerja yang dihasilkan pada proses pemesinan dilakukan pengukuran kekasaran permukaan, dengan tujuan mengetahui kekasaran permukaan benda kerja untuk masing-masing variasi. Langkah-langkah pengujian kekasaran permukaan sebagai berikut:

1. Siapkan alat ukur *Surface Roughness* SJ 301.
2. Benda Kerja yang diukur dibersihkan terlebih dahulu dengan kain bersih.
3. Letakkan benda kerja dan alat ukur diatas meja perata.
4. Menyalakan alat ukur dengan menekan tombol *on/off* disebelah kanan alat sebelumnya pastikan dahulu AC adaptor terhubung pada alat ukur.
5. *Set up* alat ukur kekasaran permukaan dengan parameter R_a , R_z , dan R_q dengan panjang sampel ($\lambda = 0.8$).
6. Melakukan kalibrasi dengan cara melakukan pengukuran sampel standar yang sudah diketahui kekasarannya yang diletakkan pada *box* alat.
7. Apabila kalibrasi pada alat telah selesai dilakukan dan sesuai dengan standarnya maka alat ukur telah siap digunakan dengan cara ditempelkan pada benda kerja lalu menekan tombol *start/ stop*, maka sensor *stylus* akan mulai mengukur.
8. Mencatat nilai kekasaran yang tertera pada layar *display*.
9. Ulangi pengukuran kekasaran 3x setiap spesimen pada posisi seperti gambar 3.10.



Gambar 3.10 Posisi pengujian.

3.8 Rancangan Penelitian

Dalam percobaan ini akan diteliti pengaruh variasi *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan pada proses *turning*. Dimana variabel *cutting speed* lima level dan *depth of cut* tiga level, maka dalam penelitian ini digunakan model analisa dua arah interaksi. Ulangan sebanyak tiga kali sehingga secara keseluruhan diperlukan sampel untuk dianalisis.

Pengamatan data dimasukkan dalam tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Rancangan penelitian tabel hasil uji kekasaran permukaan dan amplitudo.

Cutting speed (mm/min)	Ulangan	Depth of cut (mm)			Chatter vibration (Hz)		
		B ₁ (0.6)	B ₁ (0.9)	B ₂ (1.2)	B ₃ (0.6)	B ₂ (0.9)	B ₃ (1.2)
A ₁ (8.635)	1	X ₁₁₁	X ₁₁₁	X ₁₂₁	Y ₁₃₁	Y ₁₂₁	Y ₁₃₁
	2	X ₁₁₂	X ₁₁₂	X ₁₂₂	Y ₁₃₂	Y ₁₂₂	Y ₁₃₂
	3	X ₁₁₃	X ₁₁₃	X ₁₂₃	Y ₁₃₃	Y ₁₂₃	Y ₁₃₃
A ₂ (12.168)	1	X ₂₁₁	X ₂₁₁	X ₂₂₁	Y ₂₃₁	Y ₂₂₁	Y ₂₃₁
	2	X ₂₁₂	X ₂₁₂	X ₂₂₂	Y ₂₃₂	Y ₂₂₂	Y ₂₃₂
	3	X ₂₁₃	X ₂₁₃	X ₂₂₃	Y ₂₃₃	Y ₂₂₃	Y ₂₃₃
A ₃ (14.915)	1	X ₃₁₁	X ₃₁₁	X ₃₂₁	Y ₃₃₁	Y ₃₂₁	Y ₃₃₁
	2	X ₃₁₂	X ₃₁₂	X ₃₂₂	Y ₃₃₂	Y ₃₂₂	Y ₃₃₂
	3	X ₃₁₃	X ₃₁₃	X ₃₂₃	Y ₃₃₃	Y ₃₂₃	Y ₃₃₃
A ₄ (20.410)	1	X ₄₁₁	X ₄₁₁	X ₄₂₁	Y ₄₃₁	Y ₄₂₁	Y ₄₃₁
	2	X ₄₁₂	X ₄₁₂	X ₄₂₂	Y ₄₃₂	Y ₄₂₂	Y ₄₃₂
	3	X ₄₁₃	X ₄₁₃	X ₄₂₃	Y ₄₃₃	Y ₄₂₃	Y ₄₃₃
A ₅ (25.120)	1	X ₅₁₁	X ₅₁₁	X ₅₂₁	Y ₅₃₁	Y ₅₂₁	Y ₅₃₁
	2	X ₅₁₂	X ₅₁₂	X ₅₂₂	Y ₅₃₂	Y ₅₂₂	Y ₅₃₂
	3	X ₅₁₃	X ₅₁₃	X ₅₂₃	Y ₅₃₃	Y ₅₂₃	Y ₅₃₃

Keterangan:

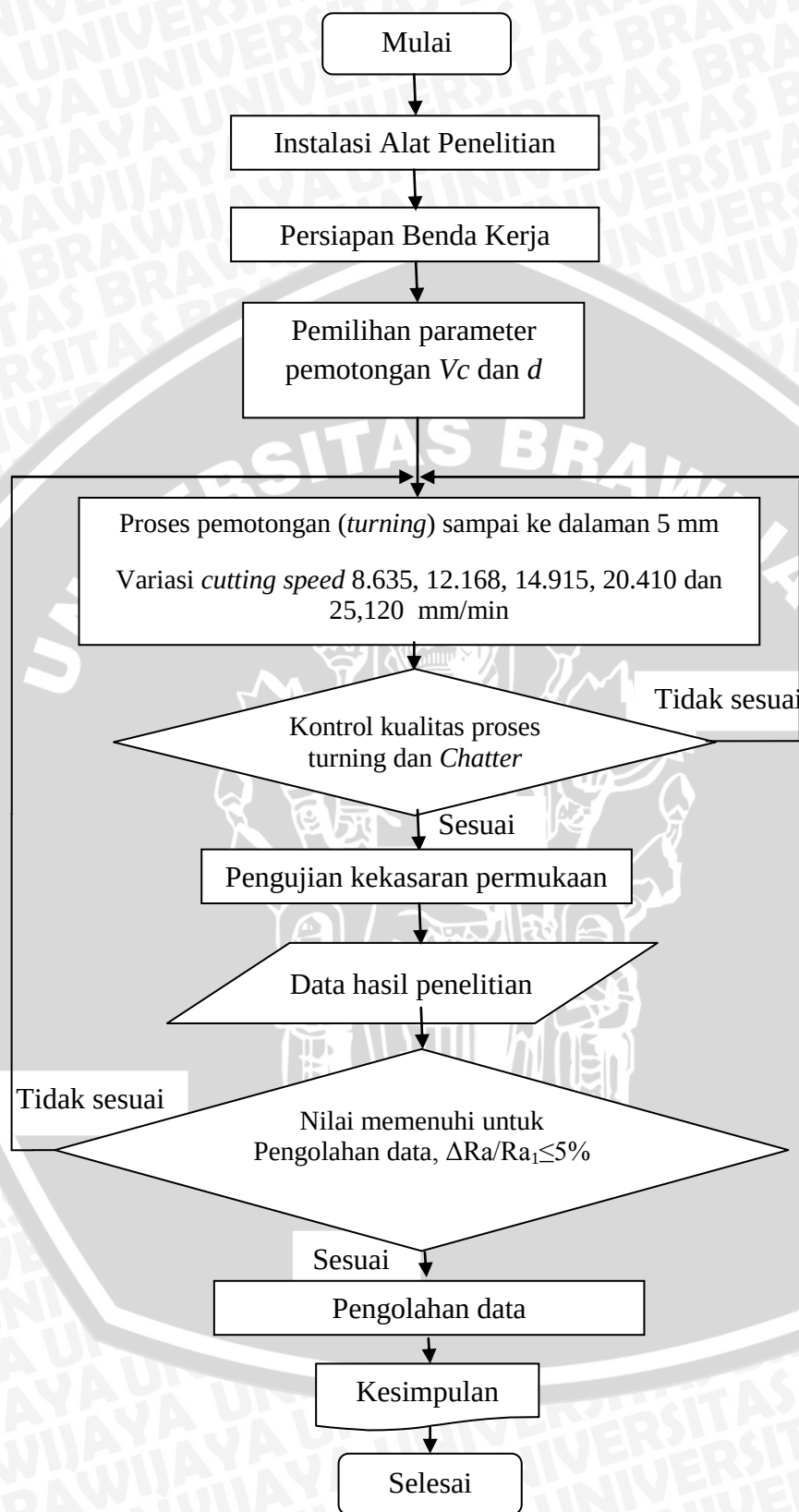
X = Kekasaran Permukaan

Y = Chatter Vibration

X_{ijk} = Data Kekasaran permukaan pada variasi *cutting speed* ke-i dan *depth of cut* ke-j serta ulangan ke-k

Y_{ijk} = Data Chatter Vibration pada variasi *cutting speed* ke-i dan *depth of cut* ke-j serta ulangan ke-k

3.9 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengukuran Amplitudo Getaran dan Kekasaran Permukaan

Tabel 4.1 Data Nilai Kekasaran Permukaan (μm) dan Amplitudo Getaran (m/s^2).

Vc (m/min)	a (mm)	Roughness (μm)			Amplitudo (m/s^2)		
		Ujung	Tengah	Pangkal	Ujung	Tengah	Pangkal
8,635	0.6	4,357	4,433	3,857	22,832	17,917	13,946
	0.9	4,410	4,667	4,233	30,311	25,655	22,832
	1.2	4,517	4,733	4,250	37,479	33,010	30,311
12,1675	0.6	5,080	5,293	5,683	41,514	38,196	35,682
	0.9	5,037	5,583	5,793	44,043	41,313	30,287
	1.2	5,437	5,337	5,880	53,231	44,869	41,856
14,915	0.6	5,260	5,393	5,640	62,653	51,889	45,745
	0.9	5,377	6,353	5,607	76,748	66,291	59,298
	1.2	6,203	6,060	6,117	85,534	75,299	69,358
20,41	0.6	6,127	5,347	5,767	99,324	83,961	77,762
	0.9	6,063	6,003	5,990	126,990	102,670	90,408
	1.2	6,073	6,307	6,547	166,953	124,390	101,561
25,12	0.6	6,900	6,600	6,567	245,550	171,520	156,840
	0.9	6,653	6,953	7,143	406,643	257,723	233,143
	1.2	8,030	7,817	7,043	481,450	394,470	257,723

Gambar benda kerja ditunjukkan pada gambar 4.1 dimana pengambilan data dilakukan pengulangan tiga kali tiap spesimen guna mempertinggi tingkat ketelitian data pengukuran yang diperoleh, kemudian data tersebut diambil rata-ratanya.



Gambar 4.1 Spesimen hasil proses pembubutan (*turning*)

4.2 Pengolahan Data Hasil Penelitian

Dari data tabel 4.1 lalu dihitung rata-rata amplitudo getaran dan kekasaran permukaan pada tiap spesimen yang dijelaskan pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Tabel rata-rata amplitudo getaran (m/s^2) dan kekasaran permukaan (μm).

Cutting Speed (Vc) (m/min)	Roughness (μm)			Chatter (m/s^2)		
	Depth of cut (a) 0.6 mm	Depth of cut (a) 0.9 mm	Depth of cut (a) 1.2 mm	Depth of cut (a) 0.6 mm	Depth of cut (a) 0.9 mm	Depth of cut (a) 1.2 mm
8,635	4,216	4,437	4,500	18,232	26,266	33,600
12,168	5,352	5,471	5,551	38,464	38,548	46,652
14,915	5,431	5,779	6,127	53,429	67,445	76,730
20,410	5,747	6,019	6,309	87,015	106,689	130,968
25,120	6,689	6,917	7,630	191,303	299,170	377,881

Dari tabel 4.2 maka didapatkan grafik hubungan antara *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan benda kerja hasil proses bubut.

Getaran yang terjadi pada proses pembubutan adalah getaran dengan fungsi periodik yang berupa getaran acak dan *response*-nya adalah fungsi percepatan. Berikut ini contoh perhitungan untuk mendapatkan amplitudo pada getaran acak dengan fungsi periodik:

Langkah pertama adalah menentukan deret fourier dari (Ft), koefisiennya ditentukan dari persamaan berikut (Paz, 1990: 80):

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{F_0}{T} t dt = \frac{F_0}{2} \quad (4.1)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{F_0}{T} t \cdot \cos n \cdot \omega \cdot t \cdot dt = 0 \quad (4.2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T \frac{F_0}{T} t \cdot \sin n \cdot \omega \cdot t \cdot dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \left[\left(\frac{F_0 \cdot T \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot T)}{T \cdot n \cdot \omega} + \frac{F_0 \cdot 0 \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot 0)}{0 \cdot n \cdot \omega} \right) - \left(\frac{-\sin(n \cdot \omega \cdot T) \cdot F_0}{\omega^2 \cdot n^2 \cdot T} + \frac{-\sin(n \cdot \omega \cdot 0) \cdot F_0}{\omega^2 \cdot n^2 \cdot T} \right) \right]$$

$$b_n = \frac{2}{T} \left(\frac{-F_0 \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot T)}{(n \cdot \omega)} + \frac{F_0 \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot T)}{\omega^2 \cdot n^2 \cdot T} \right)$$

$$b_n = \left(\frac{2 \cdot F_0 \cdot \sin(n \cdot \omega \cdot T)}{(n \cdot \omega \cdot T)^2} - \frac{2 \cdot F_0 \cdot \cos(n \cdot \omega \cdot T)}{n \cdot \omega \cdot T} \right)$$

$$b_n = \frac{2 \cdot F_0}{n \cdot \omega \cdot T} \left(\frac{\sin(n \cdot \omega \cdot T)}{n \cdot \omega \cdot T} - \cos(n \cdot \omega \cdot T) \right)$$

$$b_n = \frac{2 \cdot F_0}{n \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot T} \left(\frac{\sin(n \cdot \omega \cdot T)}{n \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot T} - \cos(n \cdot \omega \cdot T) \right)$$

$$b_n = \frac{2.F_0}{n.\pi} \left(\frac{\sin(n.2\pi)}{2.n.\pi} - \cos(n.2.\pi) \right)$$

$$b_n = \frac{F_0}{n.\pi} \left(\frac{0}{2.n.\pi} - 1 \right)$$

$$b_n = -\frac{F_0}{n.\pi} \quad (4.3)$$

Sehingga *response* yang didapat:

$$X(t) = \frac{F_0}{2k} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0 \sin n.\omega.t}{n.\pi.k(1-r_n^2)} \quad (4.4)$$

Uraian dari fungsi *response* diatas adalah:

$$X(t) = \frac{F_0}{2k} - \frac{F_0 \sin n.\omega.t}{n.\pi.k(1-r_1^2)} - \frac{F_0 \sin 2\omega.t}{2\pi.k(1-4r_1^2)} - \frac{F_0 \sin 3\omega.t}{3\pi.k(1-9r_1^2)} - \dots$$

Turunan pertama dari *response* berupa amplitudo dalam fungsi kecepatan,

$$X'(t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0 n.\omega \cos(n.\omega.t)}{n.\pi.k(1-r_n^2)}$$

$$X'(t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0 \omega \cos(n.\omega.t)}{\pi.k(1-r_n^2)} \quad (4.5)$$

Uraian dari fungsi *response* diatas adalah:

$$X'(t) = -\frac{F_0 \omega \cos(n.\omega.t)}{\pi.k(1-r_1^2)} - \frac{F_0 \omega \cos(2.\omega.t)}{\pi.k(1-4r_1^2)} - \frac{F_0 \omega \cos(3.\omega.t)}{\pi.k(1-9r_1^2)} - \dots$$

Turunan kedua dari *response* berupa amplitudo dalam fungsi percepatan, amplitudo dalam fungsi percepatan inilah yang didapat dari penelitian, hasil penurunanya sebagai berikut:

$$X''(t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{F_0.\omega}{\pi.k(1-r_n^2)} - n.\omega \sin(n.\omega.t)$$

$$X''(t) = +\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(F_0.n.\omega^2)\sin(n.\omega.t)}{\pi.k(1-r_n^2)} \quad (4.6)$$

Uraian dari fungsi *response* diatas adalah:

$$X''(t) = +\frac{F_0.\omega^2 \sin(\omega.t)}{\pi.k(1-r_1^2)} + \frac{F_0.2\omega^2 \sin(2\omega.t)}{\pi.k(1-4r_1^2)} + \frac{F_0.3\omega^2 \sin(3\omega.t)}{\pi.k(1-9r_1^2)} - \dots$$

Langkah kedua adalah menentukan gaya potong yang bekerja pada saat proses pembubutan, berikut parameter yang harus diketahui sebelum menghitung gaya potong (jika gaya potong dihitung secara manual) dengan material benda kerja S45C dan pahat HSS:

Tabel 4.3 Parameter pemotongan untuk penentuan besar gaya potong.

No.	Parameter	Nilai	Sumber
1	Sudut potong utama (K_r)	85°	
2	Sudut geram (γ_0)	14°	
3	Radius pojok (r_c)	0.56 mm	Rochim (1993: 91)
4	<i>Feeding</i> (f)	0.07 mm/rev	
5	<i>Depth of cut</i> (α)	0.6mm	
6	Putaran (n)	110 rpm	
7	<i>Cutting speed</i> (V_c)	8.635 mm/min	
8	Panjang keausan tepi (VB)	0.5 mm	Rochim (1993: 188)
9	Carbon (C)	0.44 %	
10	Kekuatan tarik (σ_u)	580 N/mm ²	Rochim (1993: 187)
11	Faktor koreksi pengaruh K_r	1.007	Rochim (1993: 186)
12	Faktor koreksi pengaruh γ_0	0.92	Rochim (1993: 188)
13	Faktor koreksi pengaruh C_{VB}	1.2	Rochim (1993: 188)
14	Faktor koreksi pengaruh V_c	1.11	Rochim (1993: 188)

Sumber: Taufik rochim (1993: 86-189)

Gaya potong spesifik referensi yang terjadi pada saat pemotongan adalah sebesar:

$$K_{s1.1} = 144 \cdot \sigma_u^{0.37} = 144 \times 580^{0.37} \left(\frac{N}{mm^2} \right) = 1516.46 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Sehingga gaya potong spesifik diperkirakan akan mencapai harga:

$$K_s = K_{s1.1} \cdot f^{-0.2} \cdot C_g \cdot C_\gamma \cdot C_{VB} \cdot C_v$$

$$K_s = 1516.46 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \times 0.07^{-0.2} \times 1.007 \times 0.92 \times 1.2 \times 1.11 = 3185.171 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Maka gaya potong pada kondisi diatas adalah:

$$F_c = K_s \cdot f \cdot \alpha = 3185.171 \left(\frac{N}{mm^2} \right) \times 0.07 \left(\frac{mm}{rev} \right) \times 0.6(mm) = 133.777 \approx 140(N)$$

Langkah ketiga adalah menentukan amplitudo getaran selama proses pembubutan dalam fungsi percepatan sesuai dengan persamaan 4.6, dengan parameter pahat HSS yang diketahui adalah:

- Massa pahat (m_p) = 0.2 (kg)
- Dimensi pahat (P.L.T) = 0.0127×0.102×0.0127 (m)
- Frekuensi eksitasi (ω) = 110 rpm = 11.513 (rad/s)
- Modulus young (E) = 204 Gpa

Perioda getaranya adalah:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{11.513 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)} = 0.545 \text{ s}$$

Momen inersia dari pahat adalah:

$$I = \frac{b.h^3}{12} = \frac{0.0127 \text{ (m)} \times [0.0127 \text{ (m)}]^3}{12} = 2.5 \times 10^{-9} \text{ (m}^4\text{)}$$

Pahat dimodelkan dengan *cantilever beam* maka kekakuan pahat adalah:

$$k = \frac{3EI}{L^3} = \frac{3 \times [204 \times 10^9 \text{ (N/m}^2\text{)}] \times [2.5 \times 10^{-9} \text{ (m}^4\text{)}]}{[0.102 \text{ (m)}]^3} = 1442 \text{ (kN/m)}$$

Sehingga frekuensi natural dari pahat adalah:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{1442 \text{ (kN)}}{0.2 \text{ (kg)}}} = 2685.144 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)$$

Akan didapat rasio frekuensi sebesar:

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} = \frac{11.513 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)}{2685.144 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)} = 0.0043$$

Maka amplitudo getaranya dapat dihitung berdasarkan persamaan 4.6, hasil perhitungan akan ditabulasikan pada tabel 4.4 dan digrafikkan pada gambar 4.2, contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$X''(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(F_0.n.\omega^2)\sin(n.\omega.t)}{\pi.k(1-r_n^2)}$$

Amplitudo getaran pada saat $t = 1$ sekon adalah:

$$X''(t) = + \frac{F_0.\omega^2\sin(\omega.t)}{\pi.k(1-r_1^2)} + \frac{F_0.2\omega^2\sin(2\omega.t)}{\pi.k(1-4r_1^2)} + \frac{F_0.3\omega^2\sin(3\omega.t)}{\pi.k(1-9r_1^2)} + \frac{F_0.4\omega^2\sin(4\omega.t)}{\pi.k(1-16r_1^2)}$$

$$X''(t) = \frac{140 \times 11.513^2 \times \sin(11.513 \times 1)}{\pi \times 1442000(1-0.0043^2)} + \frac{140 \times 2 \times 11.513^2 \times \sin(2 \times 11.513 \times 1)}{\pi \times 1442000(1-4 \times 0.0043^2)} +$$

$$\frac{140 \times 3 \times 11.513^2 \times \sin(3 \times 11.513 \times 1)}{\pi \times 1442000(1-9 \times 0.0043^2)} + \frac{140 \times 4 \times 11.513^2 \times \sin(4 \times 11.513 \times 1)}{\pi \times 1442000(1-16 \times 0.0043^2)}$$

$$X'' = (8.2 \times 10^{-4}) + (3.2 \times 10^{-3}) + (6.97 \times 10^{-3}) + (0.01440)$$

Amplitudo getaran pada saat $t = 2$ sekon adalah:

$$X''(t) = \frac{140 \times 11.513^2 \times \sin(11.513 \times 2)}{\pi \times 1442000(1-0.0043^2)} + \frac{140 \times 2 \times 11.513^2 \times \sin(2 \times 11.513 \times 2)}{\pi \times 1442000(1-4 \times 0.0043^2)} +$$

$$\frac{140 \times 3 \times 11.513^2 \times \sin(11.513 \times 2)}{\pi \times 1442000(1-4 \times 0.0043^2)} + \frac{140 \times 4 \times 11.513^2 \times \sin(4 \times 11.513 \times 2)}{\pi \times 1442000(1-16 \times 0.0043^2)}$$

$$X'' = (1.6 \times 10^{-3}) + (5.9 \times 10^{-3}) + (0.011489) + (-0.01378)$$

Amplitudo getaran pada saat $t = 3$ sekon adalah:

$$X''(t) = \frac{140 \times 11.513^2 \times \sin(11.513 \times 3)}{\pi \times 1442000(1-0.0043^2)} + \frac{140 \times 2 \times 11.513^2 \times \sin(2 \times 11.513 \times 3)}{\pi \times 1442000(1-4 \times 0.0043^2)} +$$

$$\frac{140 \times 3 \times 11.513^2 \times \sin(3 \times 11.513 \times 3)}{\pi \times 1442000(1-4 \times 0.0043^2)} + \frac{140 \times 4 \times 11.513^2 \times \sin(4 \times 11.513 \times 3)}{\pi \times 1442000(1-16 \times 0.0043^2)}$$

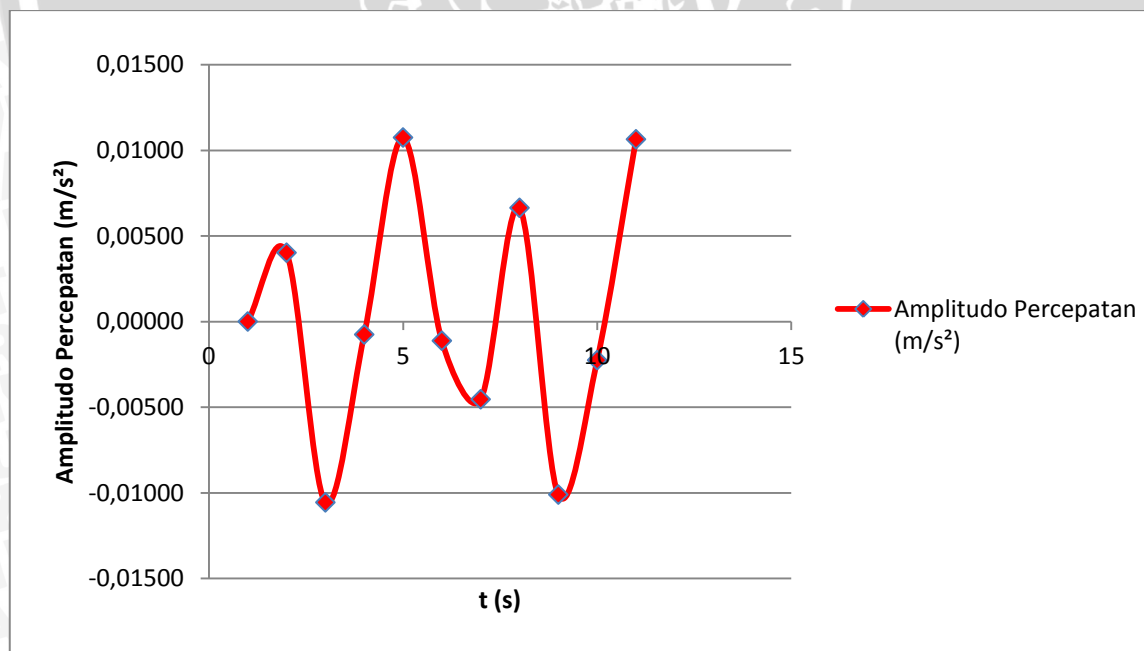
$$X'' = (2.32 \times 10^{-3}) + (7.66 \times 10^{-3}) + (0.01195) + (-0.00121)$$

dengan perhitungan yang sama seperti diatas, diambil 10 sampel amplitudo percepatan hasil perhitungan seperti tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Amplitudo percepatan dari getaran.

Waktu (s)	AMPLITUDO (m/s ²)				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	ΣX
0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
1	-0,00356	-0,00705	0,00023	0,01440	0,00402
2	-0,00352	0,00720	-0,00046	-0,01378	-0,01056
3	0,00008	-0,00030	0,00068	-0,00121	-0,00076
4	0,00360	-0,00689	-0,00091	0,01494	0,01074
5	0,00348	0,00734	0,00114	-0,01308	-0,00112
6	-0,00015	-0,00061	-0,00136	-0,00242	-0,00454
7	-0,00363	-0,00672	0,00159	0,01540	0,00664
8	-0,00344	0,00747	-0,00182	-0,01232	-0,01011
9	0,00023	-0,00091	0,00204	-0,00361	-0,00226
10	0,00367	-0,00654	-0,00226	0,01577	0,01064
11	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Dst					

Dari data pada tabel 4.4, maka didapat grafik amplitudo getaran dalam fungsi percepatan terhadap waktu sebagai berikut:



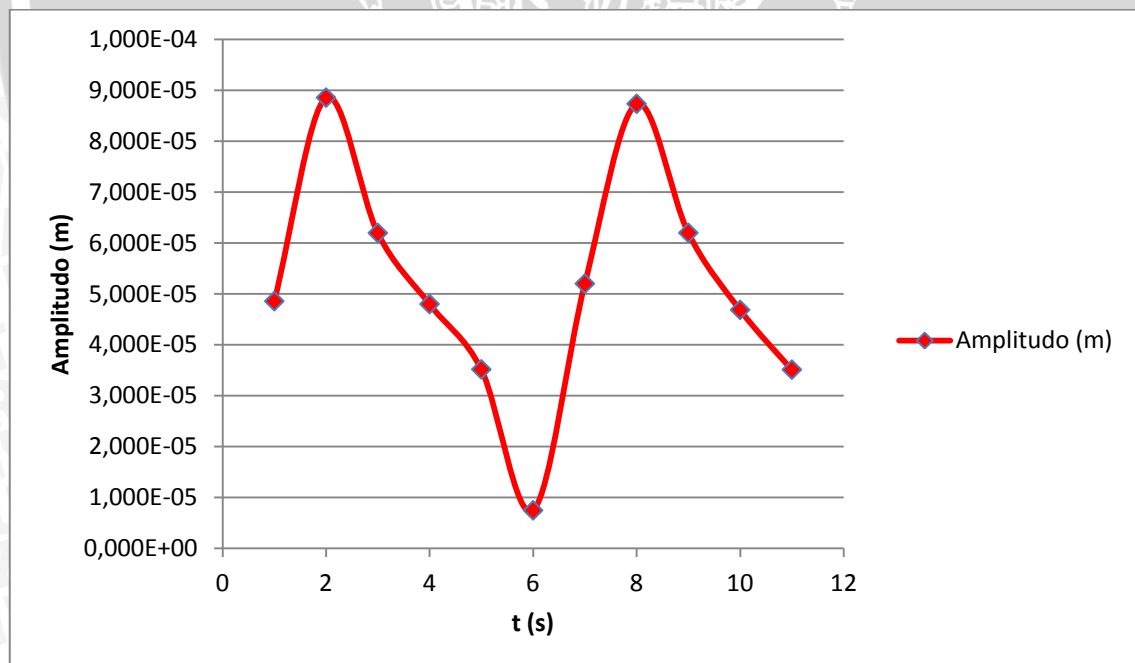
Gambar 4.2 Amplitudo percepatan dari perhitungan transformasi *fourier*.

Dengan perhitungan yang sama seperti contoh diatas dari persamaan 4.4 akan didapat data amplitudo perpindahan seperti pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Amplitudo perpindahan dari getaran.

Waktu (s)	AMPLITUDO PERPINDAHAN (m)				
	X_1	X_2	X_3	X_4	ΣX
0	4,854E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,854E-05
1	4,854E-05	2,687E-05	1,329E-05	-1,909E-07	8,852E-05
2	4,854E-05	2,658E-05	-1,358E-05	3,817E-07	6,193E-05
3	4,854E-05	-5,726E-07	5,725E-07	-5,724E-07	4,797E-05
4	4,854E-05	-2,715E-05	1,299E-05	7,629E-07	3,515E-05
5	4,854E-05	-2,629E-05	-1,384E-05	-9,531E-07	7,462E-06
6	4,854E-05	1,145E-06	1,144E-06	1,143E-06	5,198E-05
7	4,854E-05	2,742E-05	1,267E-05	-1,333E-06	8,730E-05
8	4,854E-05	2,598E-05	-1,409E-05	1,522E-06	6,196E-05
9	4,854E-05	-1,717E-06	1,714E-06	-1,710E-06	4,683E-05
10	4,854E-05	-2,768E-05	1,234E-05	1,898E-06	3,510E-05
11	4,854E-05	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	4,854E-05
dst					

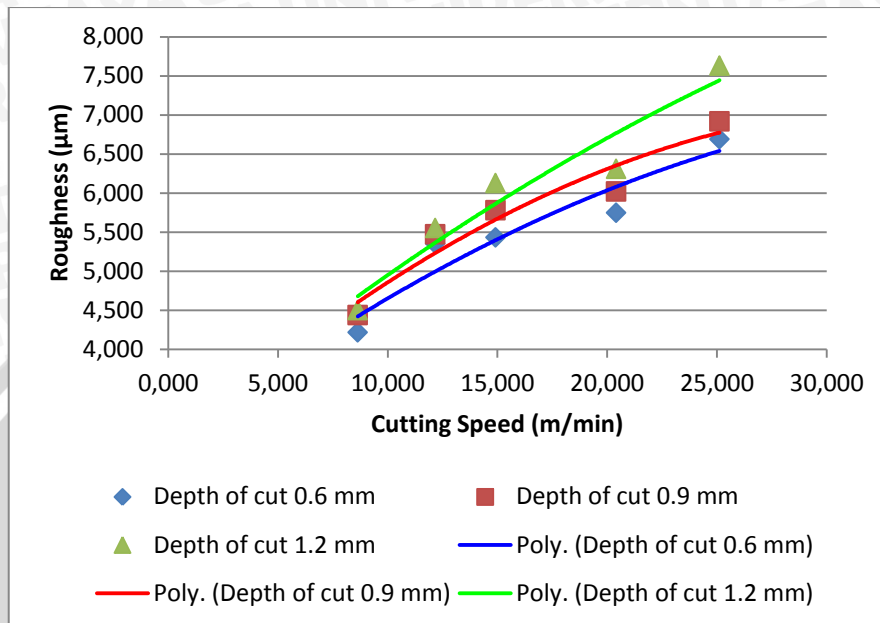
Dari data perhitungan yang diperoleh pada tabel 4.5, maka didapat grafik amplitudo perpindahan terhadap waktu sebagai berikut:



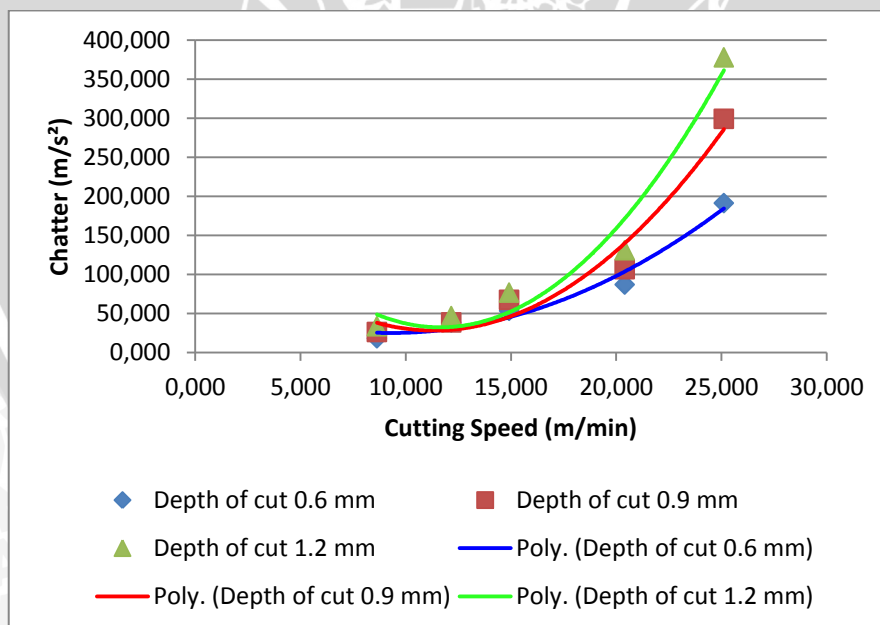
Gambar 4.3 Amplitudo perpindahan dari getaran dengan perhitungan transformasi *fourier*.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Analisis Pengaruh *Cutting Speed* dan *Depth of Cut* Kondisi *Chatter* Terhadap Amplitudo Getaran dan Kekasaran Permukaan Hasil Proses Pembubutan



Gambar 4.4 Grafik pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap amplitudo getaran hasil proses pembubutan.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan.

Grafik hubungan *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap amplitudo dapat dilihat pada grafik 4.4, sedangkan hubungan *cutting speed* dan *depth*

of cut kondisi chatter terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari kedua grafik menunjukkan bahwa kenaikan *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi chatter akan menghasilkan amplitudo getaran yang semakin tinggi sehingga mengakibatkan permukaan benda kerja akan semakin kasar. Kenaikan *cutting speed* dengan *depth of cut* yang konstan juga akan mengakibatkan naiknya amplitudo getaran sehingga permukaan benda kerja juga akan semakin kasar. Selain itu semakin besar *depth of cut* dengan *cutting speed* yang konstan juga berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang terjadi selama proses pembubutan, dimana semakin besar *depth of cut* amplitudo getaran yang terjadi semakin tinggi sehingga permukaan benda kerja semakin kasar. Hal ini menunjukkan bahwa *cutting speed* dan *depth of cut* berpengaruh secara signifikan terhadap amplitudo getaran yang terjadi pada proses pembubutan, dan akan berdampak pada kualitas hasil akhir dari permukaan benda kerja.

Depth of cut berpengaruh secara signifikan terhadap kekasaran permukaan hasil proses pembubutan. Hal ini dikarenakan lebar *chip* dipengaruhi oleh ketebalan *chip* sehingga semakin lebar *chip* yang dihasilkan pada saat proses pembubutan maka akan menghasilkan *chip* yang semakin tebal. Lebar *chip* pada proses bubut tergantung pada parameter *depth of cut*, yang mana parameter ini telah ditentukan sebelum proses pembubutan dilakukan. Hubungan antara *depth of cut* dan lebar *chip* dapat dilihat pada persamaan 2.24:

$$b = \frac{a}{\sin K_r}$$

dengan:

b = Lebar *chip* (m).

a = *Depth of cut* (m).

K_r = Sudut potong utama (°).

Pada formasi pembentuk *chip*, ketebalan *chip* sebelum dan sesudah terdeformasi digunakan untuk menentukan besarnya gaya geser yang terjadi pada saat proses pembubutan dengan menggunakan metode *merchant's circle*. Hal ini sesuai dengan persamaan 2.5:

$$r = \frac{a_o}{a_c} = \frac{\sin \theta}{\cos(\theta - \alpha)}$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa semakin besar tebal *chip* (*a_o*) akan diikuti oleh kenaikan tebal *chip* setelah terdeformasi (*a_c*) sehingga sudut geser yang terbentuk

juga akan semakin besar dan semakin besar sudut geser (θ) maka gaya geser yang terjadi pada saat proses pembubutan juga akan semakin besar.

Pada proses pembubutan, gerak relatif pahat terhadap benda kerja akan mengakibatkan perubahan tebal geram yang berakibat pada terjadinya perubahan gaya potong (Koenigsberger & Tlustý, 1970: 119). Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi gaya potong (F_c') terjadi karena pengaruh perubahan luas penampang *chip* dan arah dari variasi gaya potong (F_c') sama dengan arah gaya pemotongan (F_c) yang stabil. Menurut F. Koenigsberger & J. Tlustý gaya potong yang terjadi akibat variasi luas penampang *chip* dirumuskan sebagai berikut,

$$F_c' = C_{a_0} f^{0.75} = C_1 b a_0^{0.75}$$

dengan:

F_c' = variasi gaya pemotongan (N)

C, C_1 = Konstanta.

f = *Feeding* (m/rev).

b = Lebar *chip* (m).

a_0 = Tebal *chip* (m).

Perubahan gaya potong akibat perubahan tebal *chip* akan menyebabkan variasi pada amplitudo getaran yang terjadi pada proses pemotongan dan amplitudo inilah yang mempengaruhi kekasaran permukaan dari benda kerja.

Persamaan (Koenigsberger & Tlustý, 1970: 170) dibawah ini menunjukkan pengaruh *cutting speed* terhadap pergeseran sudut fasa,

$$\psi = \frac{2\pi\omega.l}{V_c}$$

dengan:

ψ = Pergeseran sudut fasa (m).

ω = Frekuensi eksitasi (rad/s).

l = Panjang lingkaran benda kerja (m).

V_c = *Cutting speed* (m/min).

Cutting speed berpengaruh terhadap pergeseran sudut fasa (ψ) dimana semakin tinggi *cutting speed* akan menghasilkan pergeseran sudut fasa yang kecil karena sudut fasa berbanding terbalik dengan *cutting speed*. Jika pergeseran sudut fasa yang terjadi kecil maka jarak antara sudut fasa satu (θ_1) dengan sudut fasa dua (θ_2) akan semakin dekat sehingga besarnya sudut fasa yang terbentuk akan mempunyai perbedaan yang

kecil dan sebaliknya jika jarak yang terbentuk antara sudut fasa satu dengan sudut fasa dua besar maka besar sudut fasa akan mempunyai selisih yang besar. Hal ini akan mempengaruhi gaya potong yang terjadi pada pahat.

Selain itu gaya yang terjadi pada saat proses pembubutan juga dipengaruhi oleh *cutting speed* (V_c). *Cutting speed* ditentukan oleh putaran *spindle* dari mesin bubut, yang mana putaran *spindle* adalah frekuensi eksitasi (ω) dari sistem pemotongan tersebut. Persamaan 2.54 menunjukkan pengaruh frekuensi eksitasi dan sudut fasa terhadap gaya potong yang terjadi pada pahat:

$$F_x(t) = F_T \cos(\omega t - \phi_1 - \phi_2)$$

Semakin tinggi putaran *spindle* maka *cutting speed*-nya akan semakin besar sehingga gaya yang bekerja juga akan semakin besar karena frekuensi eksitasi dari sistem berbanding lurus dengan gaya potong yang bekerja pada saat proses pembubutan, dan semakin besar sudut fasa juga akan meningkatkan gaya potong yang terjadi pada pahat karena sudut fasa berbanding lurus dengan gaya potong yang terjadi pada pahat. Selain itu besar gaya yang bekerja pada saat pemotongan berlangsung juga dipengaruhi oleh frekuensi natural (ω_n) dan rasio redaman dari pahat, yang mana frekuensi natural dan rasio redaman dipengaruhi oleh kekakuan (k) dan massa pahat (m) yang digunakan.

Gaya yang bekerja pada saat proses pembubutan akibat pengaruh *depth of cut* dan *cutting speed* digunakan untuk menentukan amplitudo getaran yang terjadi pada saat proses pemotongan dengan menggunakan persamaan 2.45:

$$X = \frac{F_o}{\sqrt{4\zeta^2\omega^2 + (\omega_n^2 - \omega^2)^2}}$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa semakin besar gaya yang bekerja pada saat proses pembubutan maka amplitudo getaran yang dihasilkan akan semakin tinggi. Amplitudo getaran yang semakin tinggi akan mempengaruhi permukaan akhir dari benda kerja karena pada permukaan benda kerja akan muncul *waviness* (gelombang-gelombang) dan *micro roughness* yang akan menaikkan nilai kekasaran permukaan dari benda kerja tersebut (Koenigsberger & Tlustý, 1970: 105).

Data getaran yang didapat dari penelitian adalah getaran acak dengan satu derajat kebebasan yang mana getaran ini tidak bisa didekati dengan fungsi harmonik sehingga penyelesaiannya menggunakan analisa periodik. Pada getaran acak lebar gelombang satu dengan yang lain tidak sama, begitu juga amplitudo getaran yang terjadi juga

mempunyai nilai yang berbeda-beda tetapi dalam periode yang konstan, akibat yang terjadi karena getaran acak ini adalah tebal *chip* yang berbeda-beda sehingga memungkinkan semakin besarnya *waviness*, dan *micro roughness* yang terjadi dan juga akan memunculkan *error of form* yang berakibat pada kekasaran permukaan dari benda kerja akan semakin tinggi.

Adanya pengaruh yang nyata antara *cutting speed* dan *depth of cut* terhadap getaran yang terjadi selama proses pembubutan yang berakibat pada kekasaran permukaan benda kerja dimana nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar $4.216 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getarannya sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel *cutting speed* 8.635 m/min dan *depth of cut* 0.6 mm . Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar $7.630 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getarannya sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada variasi *cutting speed* 25.120 m/min dengan *depth of cut* 1.2 mm . Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *cutting speed* dengan *depth of cut* yang semakin besar akan didapat amplitudo getaran yang semakin tinggi sehingga akan menghasilkan permukaan benda kerja yang semakin kasar. Pada penelitian ini produk hasil pembubutan mempunyai kekasaran permukaan yang setara dengan N8 dan N9.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. *Cutting speed* berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang berakibat pada kekasaran permukaan hasil proses pembubutan, sehingga pada proses pembubutan harus dipertimbangkan tentang pemilihan *cutting speed* yang tepat untuk menghasilkan amplitudo getaran yang sekecil mungkin untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih halus.
2. *Depth of cut* berpengaruh terhadap amplitudo getaran yang berakibat pada kekasaran permukaan hasil proses pembubutan, karena *depth of cut* berpengaruh terhadap lebar *chip* dan tebal *chip*. Diperlukan penentuan *depth of cut* yang tepat untuk menentukan kualitas kekasaran permukaan yang optimal pada sebuah produk hasil proses pembubutan yang terbuat dari *carbon steel* S45C.
3. Nilai kekasaran permukaan terendah pada proses pembubutan sebesar $4.216 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getarannya sebesar 18.232 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan dari kombinasi variabel *cutting speed* 8.635 m/min dan *depth of cut* 0.6 mm . Nilai Kekasaran permukaan tertinggi sebesar $7.630 \mu\text{m}$ dengan amplitudo getarannya sebesar 377.881 m/s^2 dimana hasil ini didapatkan pada variasi *cutting speed* 25.120 m/min dengan *depth of cut* 1.2 mm .

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap gaya yang terjadi selama proses pemotongan dan akibatnya terhadap amplitudo getaran yang terbentuk pada saat proses pembubutan berlangsung.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh *cutting speed* dan *depth of cut* kondisi *chatter* terhadap kekasaran permukaan benda kerja dengan pemodelan dua derajat kebebasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous 1. 2012. Getaran. <http://id.wikipedia.org/wiki/Getaran>. (diakses 30 Agustus 2012).
- Anonymous 2. 2012. *Pengukuran Kekasaran Permukaan*. <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>. (diakses 09 September 2012).
- Amstead, B. H., Ostwald, Phillip E., & Begeman, Myron L. 1987. *Manufacturing Process*. New York: John Wiley & Sons.
- Boothroyd, Geoffrey. 1981. *Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools*. Washington D.C: Scripta Book Company.
- Chen, Mung. 1972. *Self-induced Chatter Vibration of Lathe Machine*. Tesis tidak dipublikasikan. Vancouver: University of British Columbia.
- Doyle, Lawrence E., Morris, Joe L., Leach, James L. & Schrader, George F. 1961. *Manufacturing Process and Materials for Engineers*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Eynian, Mahdi., Onozuka, Hideaki & Altintas, Yusuf. 2007. *Chatter in Turning With ProcessDamping*. http://www.aspe.net/publications/Annual_2007/POSTERS/5PROCESS/2MACHN/2267.PDF. (diakses 5 Agustus 2012).
- Ganguli, Abhijit. 2005. *Chatter Reduction Through Active Vibration Damping*. Tesis tidak dipublikasikan. Brusel: Université Libre De Bruxelles.
- Hernadewita, Hendra & Herman. 2006. Analisis Pengaruh Kondisi Pemotongan Benda Kerja (Panjang Penjuluran) Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Mesin Bubut Gallic 16N. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 3, No. 1: 59.
- Hendra. 2006. Pengaruh Sinyal Getaran Pada Mesin Bubut Gallic 16N Dengan Menggunakan Multychannel Spectrum Analyzer. *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 3, No. 2: 100.
- Inman, Daniel J. 1996. *Engineering Vibration*. Toronto: Prentice-Hall, Inc.
- Kovačić, Ivana. 1998. *The Chatter Vibration in Metal Cutting Theoretical Approach*. *The Scientific Journal*. Volume 1. No. 5: 581.

- Jr. Steidel, Robert F. 1980. *An Introduction to Mechanical Vibrations*. New York: John Wiley & Sons.
- Kelly, S. Graham. 1993. *Fundamentals of Mechanical Vibration*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Koenigsberger, F. & Tlustý, J. 1970. *Machine Tool Structures, Volume 1*. Hungaria: Pergamon Press.
- Luzadder, Warren J. 1995. *Menggambar Teknik*. Terjemahan Hendarsin H. Jakarta: Erlangga.
- Maslov, D., Danilevsky, V. & Sasov, V. 1967. *Engineering Manufacturing Processes in Machine and Assembly Shops*. Terjemahan Nicholas Weinstein. Moscow: Mir Publishers.
- Meirovitch, Leonard. 1975. *Elements of Vibration Analysis*. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha.
- Nur, Ichlas. 2011. Pengaruh Kecepatan Potong Terhadap Getaran Mesin Perkakas. *Jurnal Poli Rekayasa*. Volume 6, No. 2: 112-118.
- Paz, Mario. 1990. *Dinamika Struktur Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.
- Rochim, Taufiq. 1993. *Teori dan Teknologi Proses Pemesinan*. Jakarta: Higher Education Development Support Project.
- Sugondo, Amelia., Siahaan, Ian H., & Kristanto, Bobby. 2008. Studi Pengaruh Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Dengan Menggunakan Mesin Bubut Chien Yeh CY 800 Gf. Makalah dalam Seminar Nasional-VII. Kampus ITENAS. Bandung, 28-29 Oktober 2008.
- Suhariyono, Edi. 2008. Pengaruh Panjang Pahat (Tool Overhang) dan Gerak Pemakanan Terhadap Kekerasan Permukaan Benda Kerja Pada Proses Pembubutan. *Jurnal Al 'Ulum*. Vol 37 No. 3: 18.
- Thien Nga Ting, Sheila. 2009. *Effect of Cutting Speed and Depth of Cut on Surface Roughness of Mild Steel in Turning Operation*. [http://umpir.ump.edu.my/822/1/Thien%20Shiela Nga Ting.pdf](http://umpir.ump.edu.my/822/1/Thien%20Shiela%20Nga%20Ting.pdf). (diakses 07 Agustus 2012).
- Thomson, William T. 1995. *Teori Getaran Dengan Penerapan*. Terjemahan Lea Prasetyo. Jakarta: Erlangga.

Venkatesh, V. C. & Chandrasekaran, H. 1987. *Experimental Techniques in Metal Cutting*. New Delhi: Prentice-Hall of India Private Limited.

Wahyudie., Ilham Ary & Suhardjono. 2011. Analisa Dinamik dan Pengujian Fungsi Transfer Sistem Getaran Pada Proses Bubut Slender Bar. *Journal Manutech*. Volume 3 No. 1: 52.





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM METROLOGI INDUSTRI
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 216 Malang 65145



SURAT KETERANGAN

001/ SKET/MI/FT/UB/IV/2013

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah kepala laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, menerangkan bahwa mahasiswa:

Nama : Wahyu Budiarto

NIM : 1010622001

Jurusan : Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Telah melaksanakan penelitian pengukuran kekasaran permukaan hasil proses bubut dengan *surftest SJ-301* dan pengolahan data di Laboratorium Metrologi Industri Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Malang, 12 Januari 2013

Lab Metrologi Industri



Beniana Gapsari, ST., MT.

19820704 200812 2 002



Contoh perhitungan kekasaran permukaan

Skala Ra 1cm : 10 μ m

N	Titik	Skala
1	3	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3
5	2	2
6	2	2
7	6	6
8	1	1
9	1	1
10	6	6
11	7	7
12	5	5
13	4	4
14	3	3
15	2	2
16	1	1
17	1	1
18	1	1
19	2	2
20	2	2
21	1	1
22	2	2
23	3	3
24	3	3
25	4	4
26	1	1
27	1	1
28	1	1
29	2	2
30	4	4
31	4	4
32	11	11
33	10	10
34	6	6
35	7	7
36	7	7
37	2	2
38	4	4
39	4	4
40	4	4
41	5	5

42	6	6
43	1	1
44	1	1
45	2	2
46	5	5
47	3	3
48	6	6
49	2	2
50	7	7
51	3	3
52	5	5
53	1	1
54	6	6
55	5	5
56	6	6
57	6	6
58	3	3
59	6	6
60	6	6
61	1	1
62	2	2
63	6	6
64	2	2
65	6	6
66	7	7
67	6	6
68	1	1
69	6	6
70	1	1
71	1	1
72	11	11
73	2	2
74	5	5
75	2	2
76	3	3
77	2	2
78	5	5
79	2	2
80	4	4
81	1	1
82	2	2
83	1	1

84	1	1
85	2	2
86	9	9
87	6	6
88	3	3
89	3	3
90	2	2
91	2	2
92	1	1
93	1	1
94	7	7
95	6	6
96	3	3
97	5	5
98	2	2
99	2	2
100	1	1
101	2	2
102	1	1
103	2	2
104	10	10
105	5	5
106	1	1
107	2	2
108	1	1
109	2	2
110	10	10
111	6	6
112	3	3
113	6	6
114	2	2
115	1	1
116	10	10
117	5	5
118	16	16
119	14	14
120	6	6
121	3	3
122	1	1
123	2	2
124	7	7
125	10	10

126	5	5
127	10	10
128	6	6
129	2	2
130	8	8
131	1	1
132	6	6
133	3	3
134	1	1
135	5	5
136	3	3
137	3	3
138	2	2
139	5	5
140	3	3
141	1	1
142	2	2
143	7	7
144	5	5
145	0	0
146	2	2
147	1	1
148	5	5
149	6	6
150	4	4
151	2	2

152	6	6
153	6	6
154	2	2
155	6	6
156	2	2
157	6	6
158	7	7
159	12	12
160	8	8
161	1	1
162	6	6
163	7	7
164	2	2
165	6	6
166	10	10
167	1	1
168	2	2
169	3	3
170	6	6
171	5	5
172	3	3
173	2	2
174	1	1
175	1	1
176	1	1
177	2	2

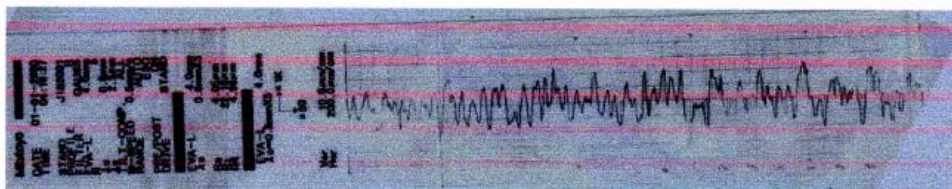
178	5	5
179	10	10
180	2	2
181	6	6
182	7	7
183	6	6
184	5	5
185	5	5
186	6	6
187	2	2
188	2	2
189	9	9
190	6	6
191	1	1
192	5	5
193	6	6
194	1	1
195	6	6
196	7	7
197	1	1
198	2	2
199	2	2
200	9	9
Jumlah		810
Rata-rata		4.05

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \cong \frac{1}{N} \sum |y_i|$$

(Vorburger, 1990:36)

$$Ra = \frac{1}{200} 810$$

$$Ra = 4.05 \mu m$$





KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM METROLOGI INDUSTRI
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 216 Malang 65145



DATA HASIL PENELITIAN

No.	Spesimen	N (Rpm)	Vc (m/min)	d (mm)	Roughness(µm)		
					Ujung	Tengah	Pangkal
1	Spesimen 1	110	8,635	0.6	4,37	4,42	3,54
2	Spesimen 2	110	8,635		4,41	4,25	3,98
3	Spesimen 3	110	8,635		4,29	4,63	4,05
4	Spesimen 4	110	8,635	0.9	4,85	4,18	4,07
5	Spesimen 5	110	8,635		3,91	5,04	4,25
6	Spesimen 6	110	8,635		4,47	4,78	4,38
7	Spesimen 7	110	8,635	1.2	4,77	4,53	4,29
8	Spesimen 8	110	8,635		4,23	4,88	4,25
9	Spesimen 9	110	8,635		4,55	4,79	4,21
10	Spesimen 10	155	12,1675	0.6	5,2	5,25	5,35
11	Spesimen 11	155	12,1675		4,38	4,89	5,82
12	Spesimen 12	155	12,1675		5,66	5,74	5,88
13	Spesimen 13	155	12,1675	0.9	5,14	5,03	5,08
14	Spesimen 14	155	12,1675		4,78	5,99	6,12
15	Spesimen 15	155	12,1675		5,19	5,73	6,18
16	Spesimen 16	155	12,1675	1.2	5,08	5,26	4,69
17	Spesimen 17	155	12,1675		5,37	4,93	6,97
18	Spesimen 18	155	12,1675		5,86	5,82	5,98
19	Spesimen 19	190	14,915	0.6	4,95	5,03	5,11
20	Spesimen 20	190	14,915		5,35	5,57	5,83
21	Spesimen 21	190	14,915		5,48	5,58	5,98
22	Spesimen 22	190	14,915	0.9	6,04	7,58	6,66
23	Spesimen 23	190	14,915		4,45	5,69	4,88
24	Spesimen 24	190	14,915		5,64	5,79	5,28
25	Spesimen 25	190	14,915	1.2	5,67	6,21	5,36
26	Spesimen 26	190	14,915		6,58	5,99	7,27
27	Spesimen 27	190	14,915		6,36	5,98	5,72
28	Spesimen 28	260	20,41	0.6	6,5	5,76	6,07
29	Spesimen 29	260	20,41		5,79	4,8	5,37
30	Spesimen 30	260	20,41		6,09	5,48	5,86
31	Spesimen 31	260	20,41	0.9	5,78	6,2	5,97
32	Spesimen 32	260	20,41		6,19	5,99	6,06
33	Spesimen 33	260	20,41		6,22	5,82	5,94



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN UNIVERSITAS BRAWIJAYA
LABORATORIUM METROLOGI INDUSTRI
Jl. Mayjen Haryono 167 Telp. 553286 Pes. 216 Malang 65145



34	Spesimen 34	260	20,41	1.2	5,72	5,87	6,43
35	Spesimen 35	260	20,41		6,47	6,6	6,43
36	Spesimen 36	260	20,41		6,03	6,45	6,78
37	Spesimen 37	320	25,12	0.6	9,2	8,59	9,04
38	Spesimen 38	320	25,12		5,64	5,54	5,47
39	Spesimen 39	320	25,12		5,86	5,67	5,19
40	Spesimen 40	320	25,12	0.9	6,34	7,11	6,95
41	Spesimen 41	320	25,12		7,34	6,82	7,25
42	Spesimen 42	320	25,12		6,28	6,93	7,23
43	Spesimen 43	320	25,12	1.2	7,68	7,77	6,79
44	Spesimen 44	320	25,12		8,45	7,96	7,11
45	Spesimen 45	320	25,12		7,96	7,72	7,23

Malang, 12 Januari 2013

Di Lab. Metrologi Industri



Fermiana Gapsari, ST., MT.

19820704 200812 2 002



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK MESIN

Gedung C Lantai II, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5922941, 5946230 / Fax. 5922941, 5994251-55 (Ext. 1203)
Website : <http://www.me.its.ac.id>, E-mail : mesin@me.its.ac.id

SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini adalah kepala laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS, menerangkan bahwa mahasiswa:

Nama : Wahyu Budiarto

NIM : 1010622001-62

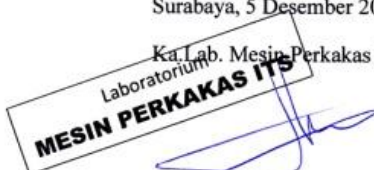
Jurusan : Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Telah melaksanakan penelitian pengukuran getaran dalam proses bubut dengan memvariasikan *cutting speed dan depth of cut*, serta pengolahan datanya di Laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, ITS.

Demikian surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 5 Desember 2012

Ka. Lab. Mesin Perkakas FTI – ITS,



Prof. Dr.-Ing. Ir. Suhardjono, MSc.

NIP. 196206041987011001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK MESIN
 Gedung C Lantai II, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
 Telp. (031) 5922941, 5946230 / Fax. 5922941, 5994251-55 (Ext. 1203)
 Website : <http://www.me.its.ac.id>, E-mail : mesin@me.its.ac.id

DATA HASIL PENELITIAN

No.	Spesimen	N (Rpm)	Vc (m/min)	d (mm)	Amplitudo (m/s)		
					Ujung	Tengah	Pangkal
1	Spesimen 1	110	8,635	0.6	22,191	11,895	10,678
2	Spesimen 2	110	8,635		23,244	20,928	19,266
3	Spesimen 3	110	8,635		23,06	20,928	11,895
4	Spesimen 4	110	8,635	0.9	27,279	23,06	22,191
5	Spesimen 5	110	8,635		31,698	26,625	23,244
6	Spesimen 6	110	8,635		31,956	27,279	23,06
7	Spesimen 7	110	8,635	1.2	35,449	31,626	27,279
8	Spesimen 8	110	8,635		39,97	31,956	31,698
9	Spesimen 9	110	8,635		37,017	35,449	31,956
10	Spesimen 10	155	12,1675	0.6	41,354	37,017	35,449
11	Spesimen 11	155	12,1675		41,696	40,552	39,97
12	Spesimen 12	155	12,1675		41,493	37,019	31,626
13	Spesimen 13	155	12,1675	0.9	42,874	41,493	31,956
14	Spesimen 14	155	12,1675		45,676	42,477	27,279
15	Spesimen 15	155	12,1675		43,58	39,97	31,626
16	Spesimen 16	155	12,1675	1.2	48,684	43,58	42,874
17	Spesimen 17	155	12,1675		55,072	48,549	45,676
18	Spesimen 18	155	12,1675		55,937	42,477	37,017
19	Spesimen 19	190	14,915	0.6	58,852	51,182	48,684
20	Spesimen 20	190	14,915		67,859	55,937	45,676
21	Spesimen 21	190	14,915		61,248	48,549	42,874
22	Spesimen 22	190	14,915	0.9	74,111	61,248	58,852
23	Spesimen 23	190	14,915		75,111	69,765	67,859
24	Spesimen 24	190	14,915		81,022	67,859	51,182
25	Spesimen 25	190	14,915	1.2	81,581	75,111	74,111
26	Spesimen 26	190	14,915		92,852	81,022	75,111
27	Spesimen 27	190	14,915		82,168	69,765	58,852
28	Spesimen 28	260	20,41	0.6	95,041	82,168	81,581
29	Spesimen 29	260	20,41		104,05	94,603	92,852



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK MESIN**

Gedung C Lantai II, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp. (031) 5922941, 5946230 / Fax. 5922941, 5994251-55 (Ext. 1203)
Website : <http://www.me.its.ac.id>, E-mail : mesin@me.its.ac.id

30	Spesimen 30	260	20,41		98,88	75,111	58,852
31	Spesimen 31	260	20,41		106,75	98,88	95,041
32	Spesimen 32	260	20,41	0.9	139,11	105,08	94,603
33	Spesimen 33	260	20,41		135,11	104,05	81,581
34	Spesimen 34	260	20,41		157,41	135,11	106,75
35	Spesimen 35	260	20,41	1.2	174	139,18	105,08
36	Spesimen 36	260	20,41		169,45	98,88	92,852
37	Spesimen 37	320	25,12		209,9	169,45	157,41
38	Spesimen 38	320	25,12	0.6	301,83	187,7	174
39	Spesimen 39	320	25,12		224,92	157,41	139,11
40	Spesimen 40	320	25,12		402,37	224,92	209,9
41	Spesimen 41	320	25,12	0.9	479,21	338,35	301,83
42	Spesimen 42	320	25,12		338,35	209,9	187,7
43	Spesimen 43	320	25,12		467,57	402,37	224,92
44	Spesimen 44	320	25,12	1.2	497,57	479,21	338,35
45	Spesimen 45	320	25,12		479,21	301,83	209,9

INPUT DATA

data₁ := READPRN("2012_11_21_06.1a.txt")
 data₂ := READPRN("2012_11_21_06.1b.txt")
 data₃ := READPRN("2012_11_20_06.1c.txt")
 data₄ := READPRN("2012_11_20_06.2a.txt")
 data₅ := READPRN("2012_11_20_06.2b.txt")
 data₆ := READPRN("2012_11_20_06.2c.txt")
 data₇ := READPRN("2012_11_20_06.3a.txt")
 data₈ := READPRN("2012_11_20_06.3b.txt")
 data₉ := READPRN("2012_11_20_06.3c.txt")

data₁₀ := READPRN("2012_11_20_09.1a.txt")
 data₁₁ := READPRN("2012_11_20_09.1b.txt")
 data₁₂ := READPRN("2012_11_21_09.1c.txt")
 data₁₃ := READPRN("2012_11_20_09.2a.txt")
 data₁₄ := READPRN("2012_11_20_09.2b.txt")
 data₁₅ := READPRN("2012_11_20_09.2c.txt")
 data₁₆ := READPRN("2012_11_20_09.3a.txt")
 data₁₇ := READPRN("2012_11_21_09.3b.txt")
 data₁₈ := READPRN("2012_11_20_09.3c.txt")

data₁₉ := READPRN("2012_11_20_12.1a.txt")
 data₂₀ := READPRN("2012_11_20_12.1b.txt")
 data₂₁ := READPRN("2012_11_20_12.1c.txt")
 data₂₂ := READPRN("2012_11_20_12.2a.txt")
 data₂₃ := READPRN("2012_11_20_12.2b.txt")
 data₂₄ := READPRN("2012_11_20_12.2c.txt")
 data₂₅ := READPRN("2012_11_20_12.3a.txt")
 data₂₆ := READPRN("2012_11_20_12.3b.txt")
 data₂₇ := READPRN("2012_11_21_12.3c.txt")

$$t := 10^{-6} \cdot (\text{data}_1)^{(0)}$$

$$a1 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_1)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a2 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_2)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a3 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_3)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a4 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_4)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a5 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_5)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a6 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_6)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a7 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_7)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a8 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_8)^{(1)}}{0.7623.16}$$

$$a9 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_9)^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a10 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{10})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a11 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{11})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a12 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{12})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a13 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{13})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a14 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{14})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a15 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{15})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a16 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{16})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a17 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{17})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a18 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{18})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a19 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{19})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a20 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{20})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a21 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{21})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a22 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{22})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a23 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{23})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a24 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{24})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a25 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{25})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a26 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{26})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

$$a27 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (\text{data}_{27})^{(1)}}{0.762 \cdot 3.16}$$

j := 0..1302

rdfl := cfft(a1) rdf2 := cfft(a2) rdf3 := cfft(a3) rdf4 := cfft(a4) rdf5 := cfft(a5) rdf6 := cfft(a6)
 rdf7 := cfft(a7) rdf8 := cfft(a8) rdf9 := cfft(a9) rdf10 := cfft(a10) rdf11 := cfft(a11) rdf12 := cfft(a12)
 rdf13 := cfft(a13) rdf14 := cfft(a14) rdf15 := cfft(a15) rdf16 := cfft(a16) rdf17 := cfft(a17) rdf18 := cfft(a18)
 rdf19 := cfft(a19) rdf20 := cfft(a20) rdf21 := cfft(a21) rdf22 := cfft(a22) rdf23 := cfft(a23)
 rdf24 := cfft(a24) rdf25 := cfft(a25) rdf26 := cfft(a26) rdf27 := cfft(a27)

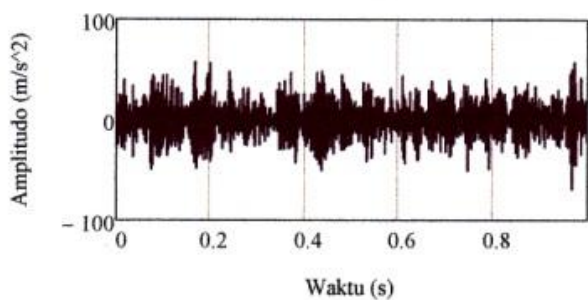
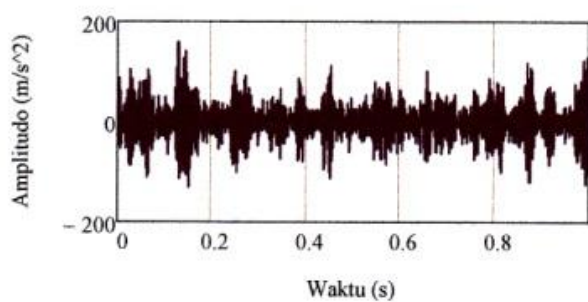
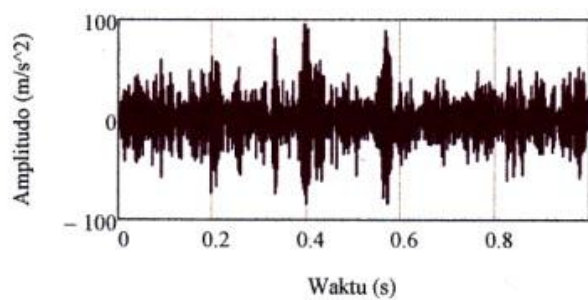
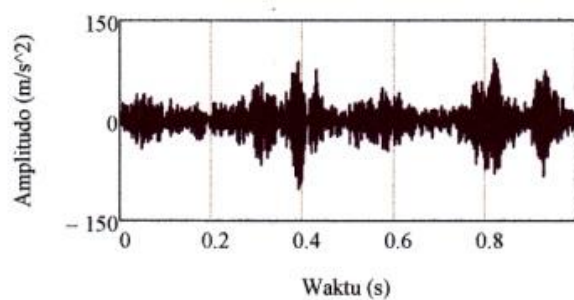
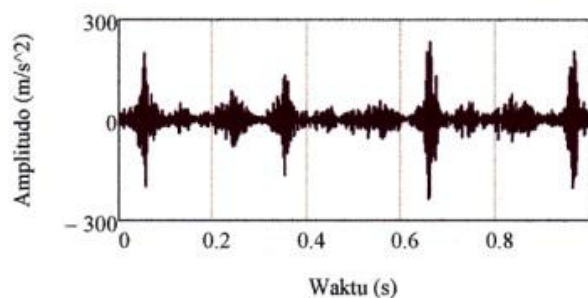
$$f_j := \frac{j}{1302} \cdot \frac{1}{768 \cdot 10^{-6}} \text{ frekuensi}$$

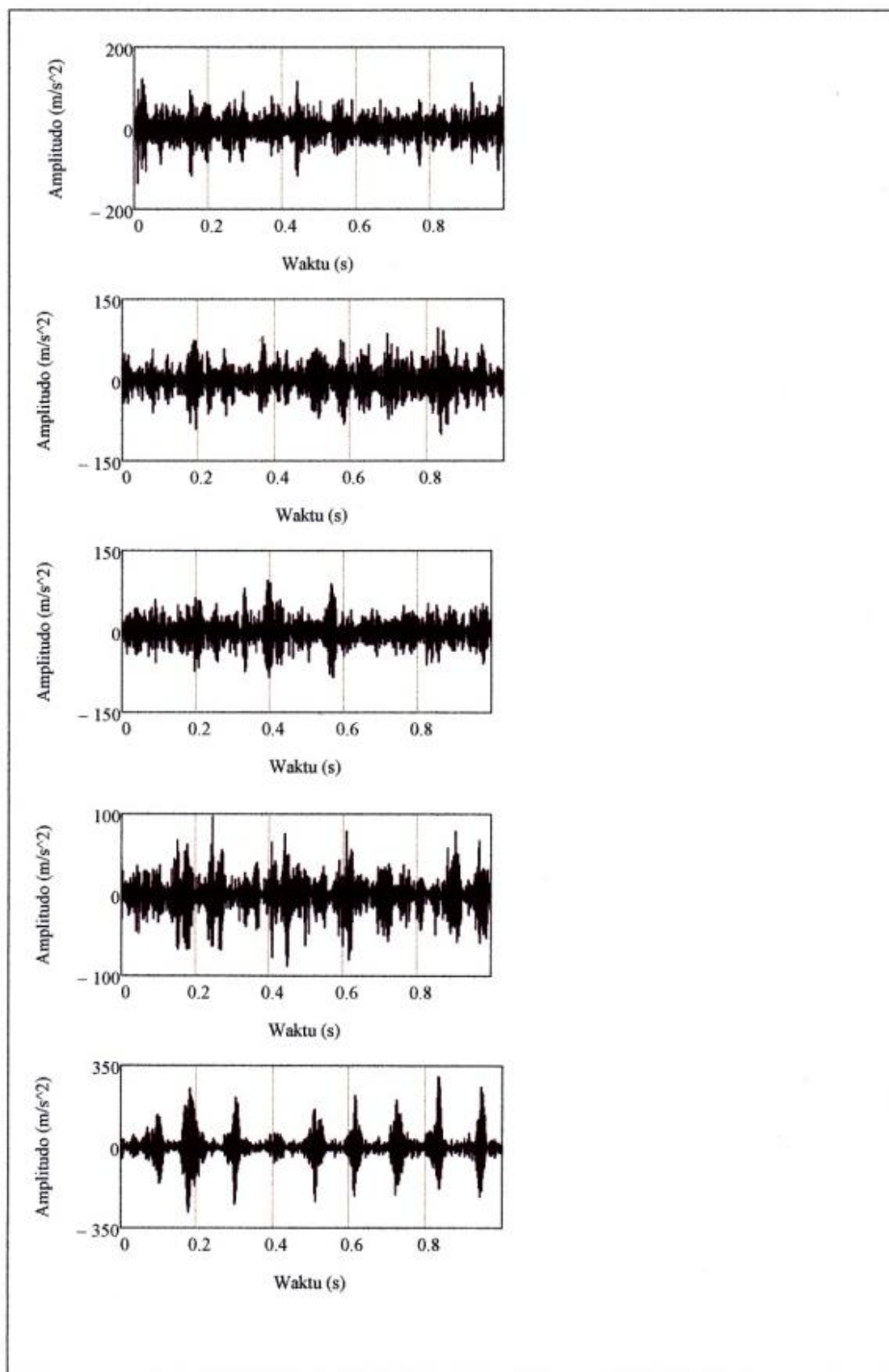
	0
0	-7.271
1	7.205+4.015i
2	-1.54+3.531i
3	7.603-3.847i
4	4.06+3.138i
5	-4.831+1.59i
6	-3.748+1.035i
7	2.616+3.422i
8	2.608+3.129i
9	-0.623+0.919i
10	2.03+2.098i
11	-0.162+3.508i
12	3.158+2.275i
13	2.34-3.041i
14	7.913+3.199i
15	...

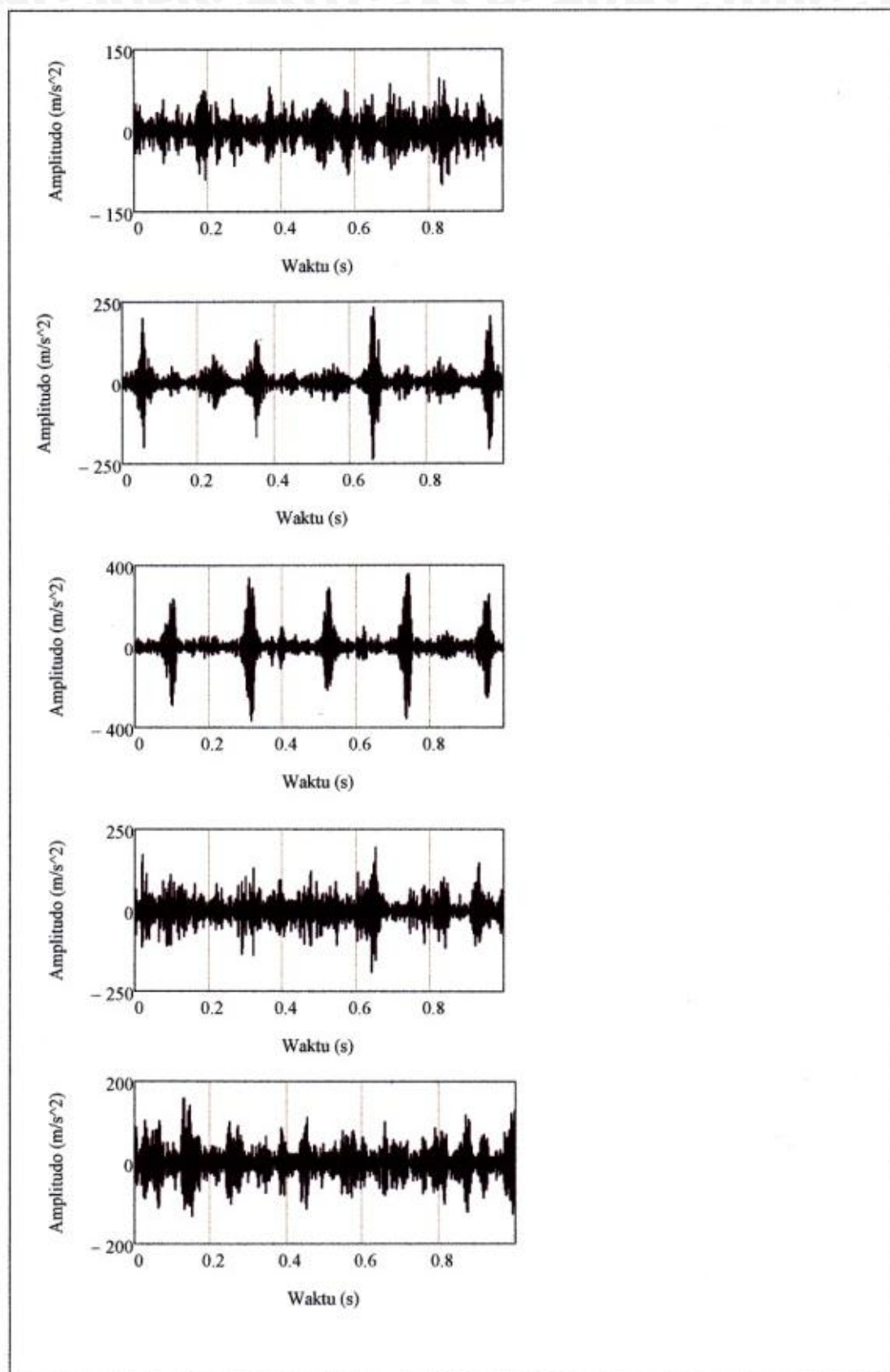
rd22 =

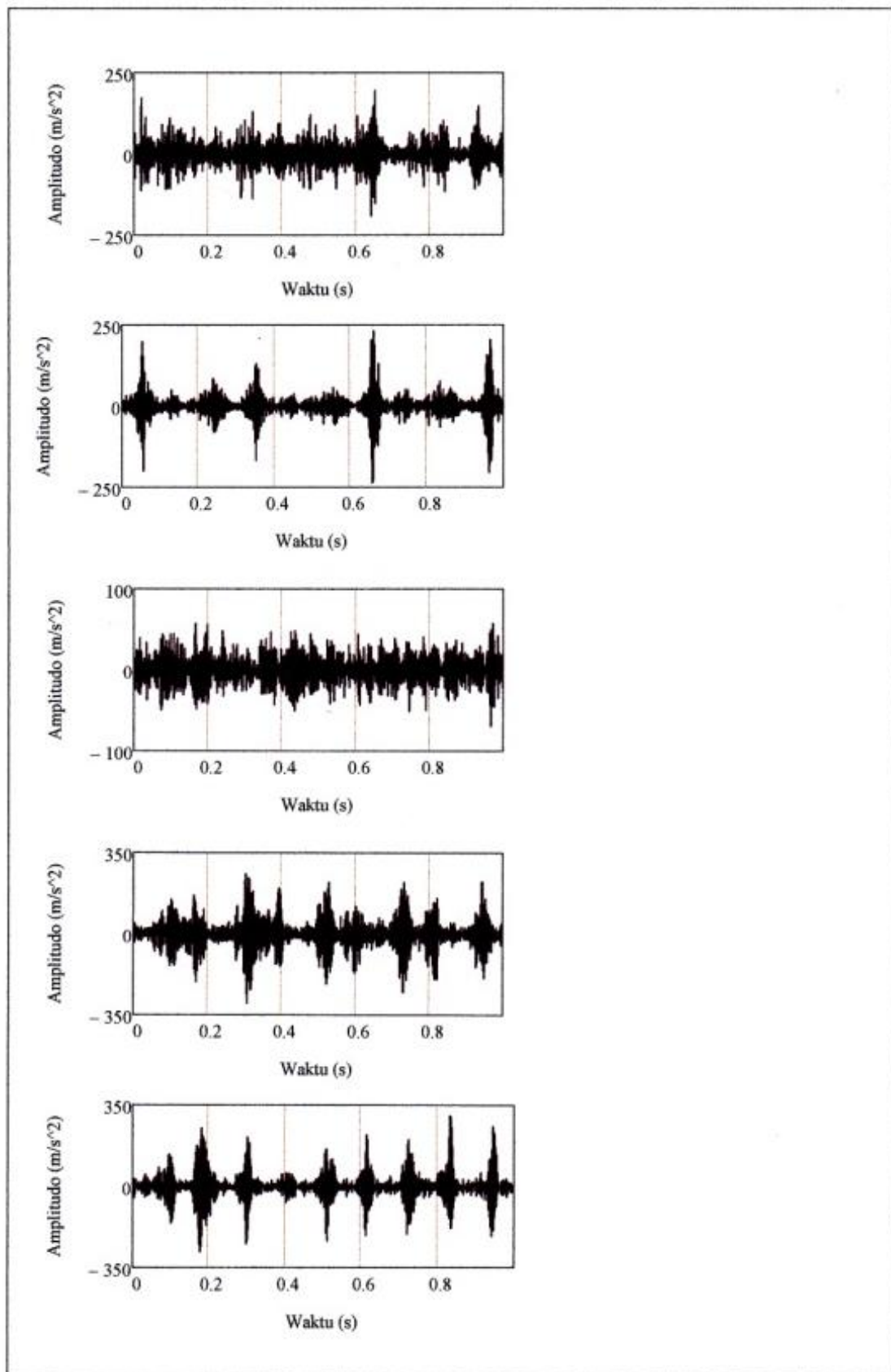
$\frac{m}{2}$
s

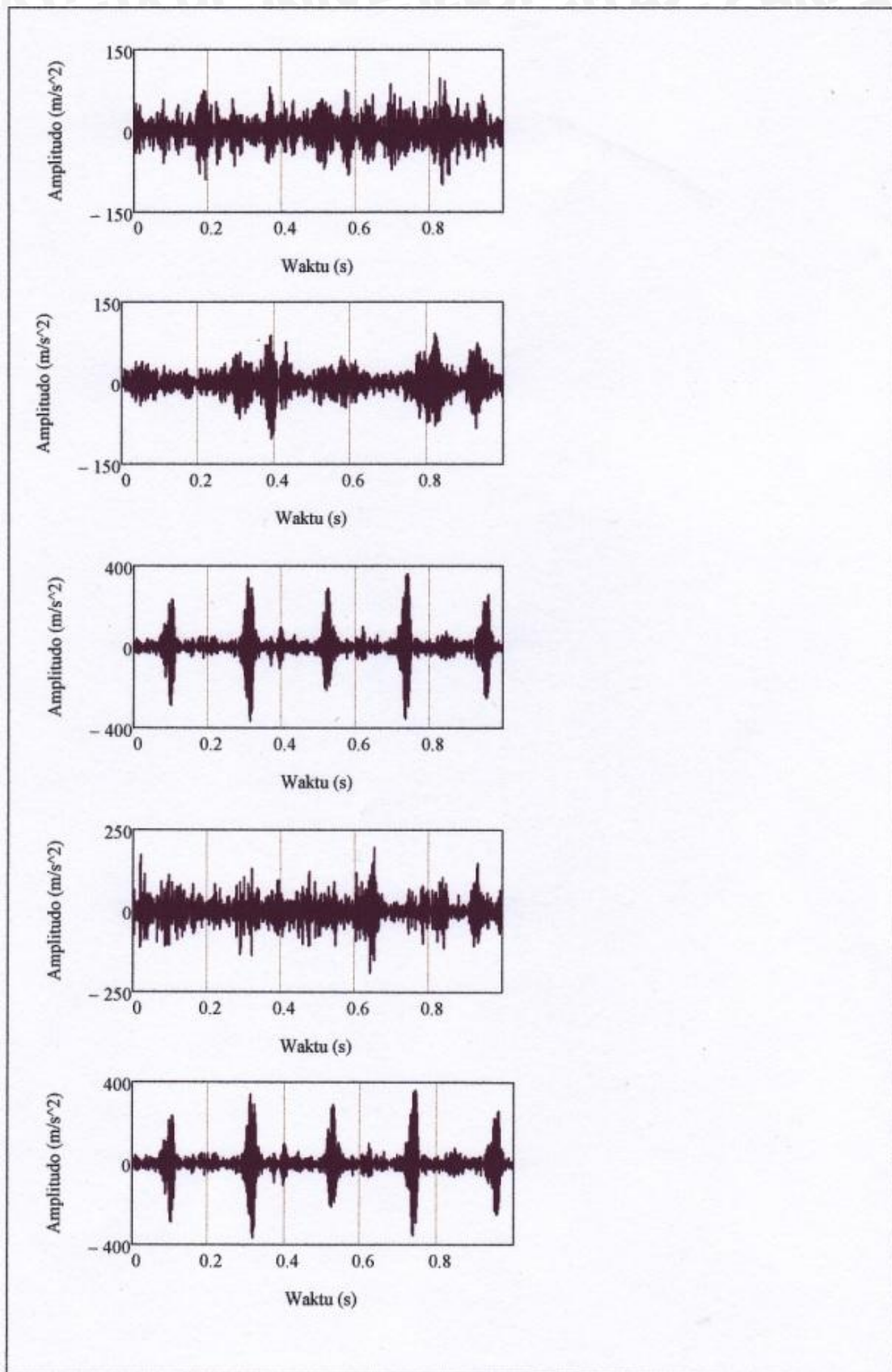
Grafik Respon dalam Domain Waktu

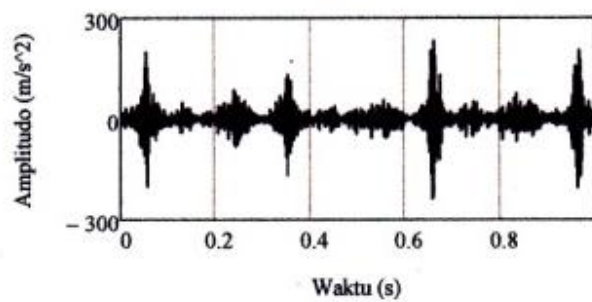
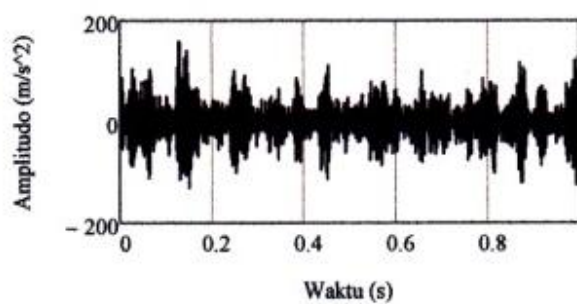




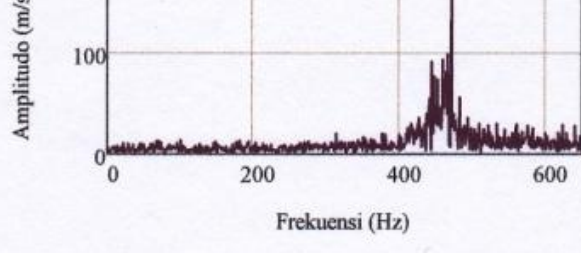
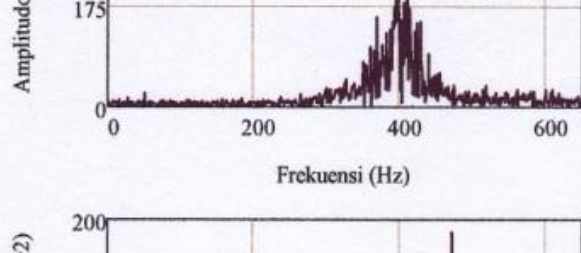
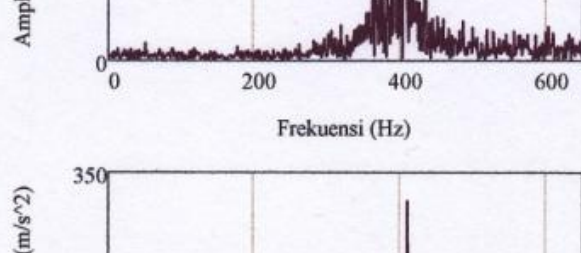
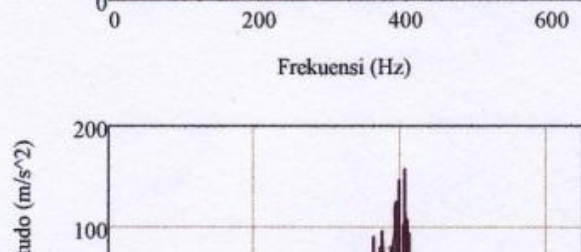
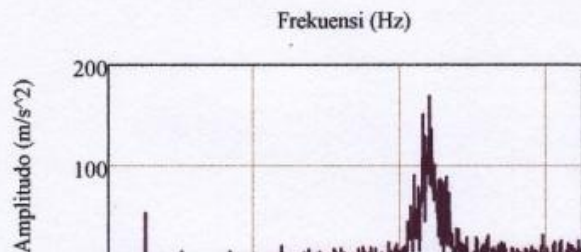
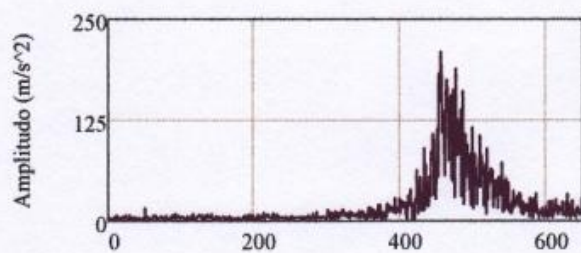


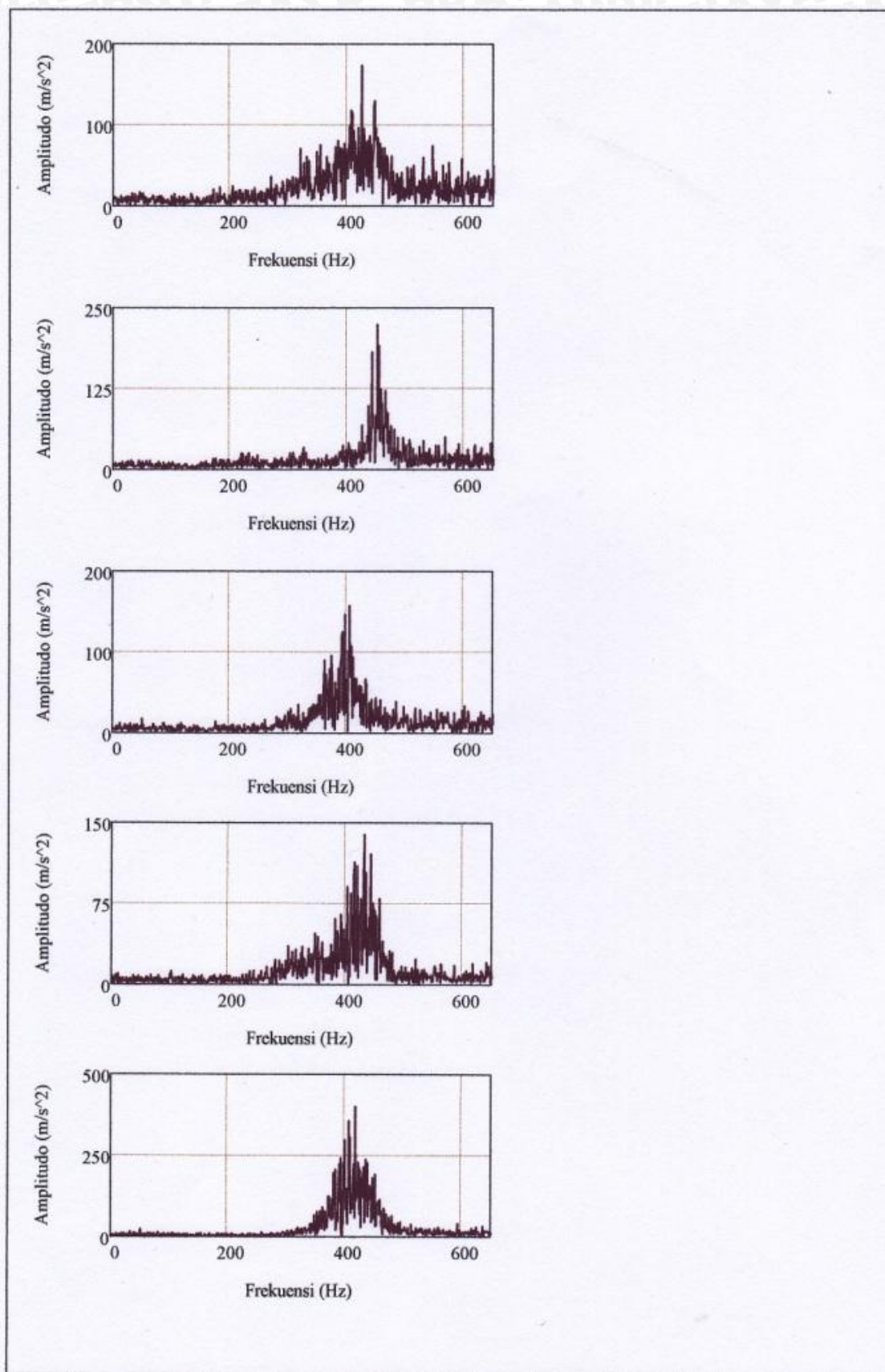


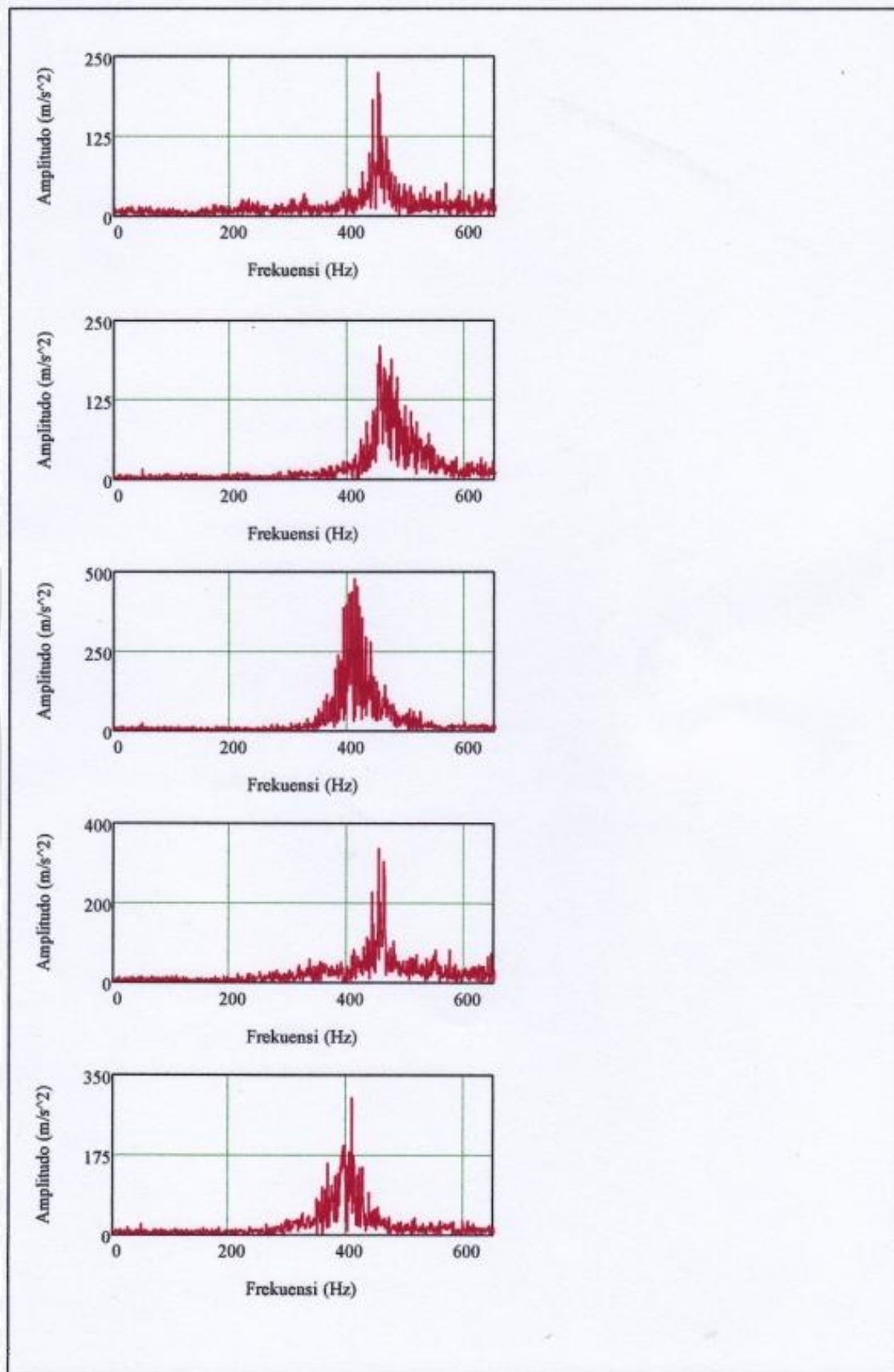


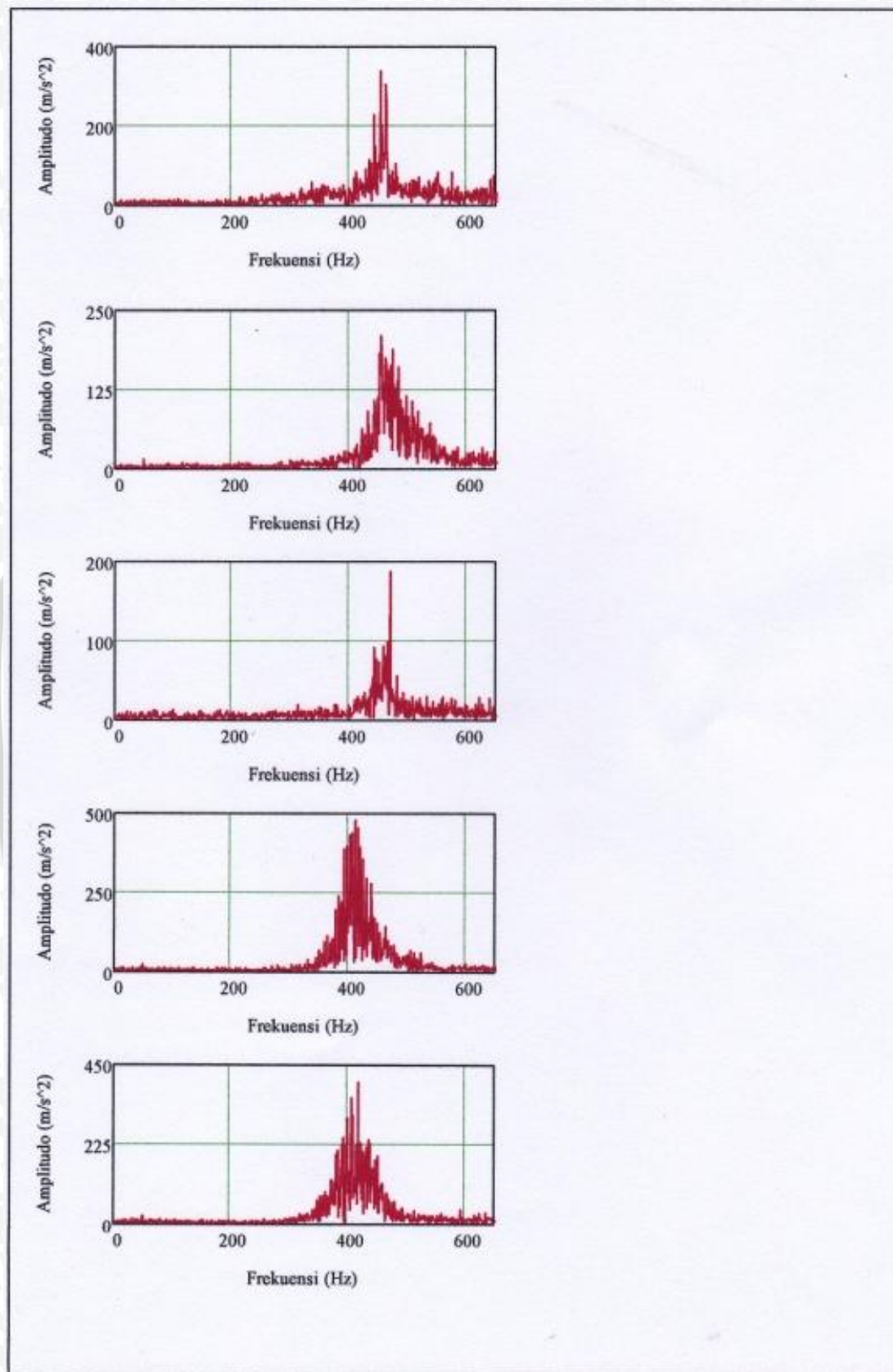


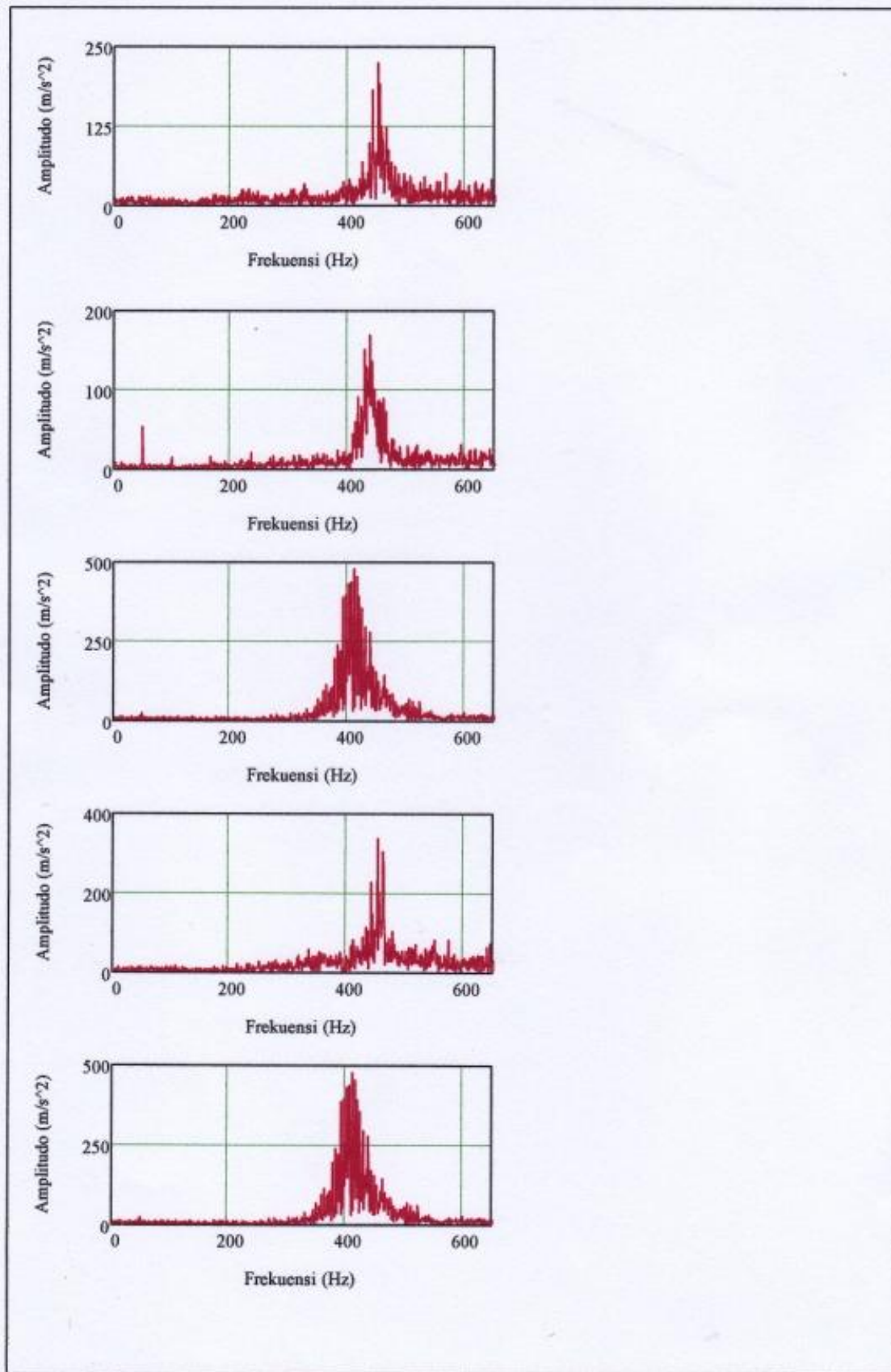
Grafik Respon dalam Domain Frekuensi

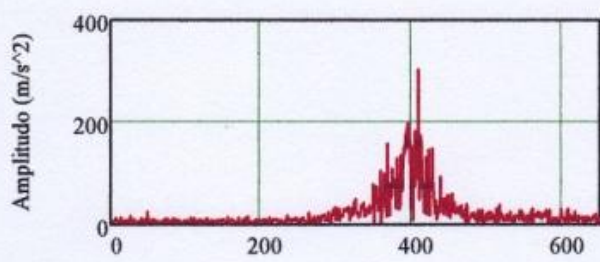




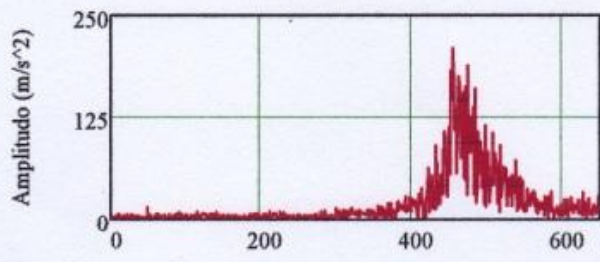








Frekuensi (Hz)



Frekuensi (Hz)

AMPLITUDO PERCEPATAN (m/s^2)

$ rdf1_j =$	$ rdf2_j =$	$ rdf3_j =$	$ rdf4_j =$	$ rdf5_j =$	$ rdf6_j =$
1.45 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	7.271 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	7.007 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	2.163 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	6.938 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.97 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
4.147 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	8.249 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.818 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	9.683 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.373 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	7.968 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
0.85	3.852	3.857	5.841	0.9	10.763
3.49	8.521	4.662	6.004	0.283	11.153
1.893	5.131	5.859	3.043	3.362	10.044
2.574	5.086	2.82	5.307	3.891	10.51
3.742	3.888	8.721	4.321	6.622	3.416
2.106	4.308	2.737	11.483	4.957	6.282
4.674	4.073	8.006	8.703	7.589	8.797
2.35	1.11	5.415	9.641	5.862	1.877
3.678	2.919	4.191	9.616	3.625	7.303
7.484	3.512	7.702	4.068	0.713	7.239
0.863	3.892	12.311	7.405	5.685	7.202
5.669	3.837	8.382	1.373	8.322	12.723
2.437	8.535	6.723	7.586	2.763	5.302
...	...	...	...	...	...

$ rdf7_j =$	$ rdf8_j =$	$ rdf9_j =$	$ rdf10_j =$	$ rdf11_j =$	$ rdf12_j =$
8.882 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	7.007 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	8.951 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	2.094 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	8.882 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	1.45 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
4.265 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.818 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	0.307 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.335 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.265 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	4.147 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
7.835	3.857	7.216	4.903	7.835	0.85
6.795	4.662	5.363	6.86	6.795	3.49
10.379	5.859	4.848	7.915	10.379	1.893
4.427	2.82	1.363	2.065	4.427	2.574
5.954	8.721	7.651	3.952	5.954	3.742
7.321	2.737	9.242	3.887	7.321	2.106
6.474	8.006	6.127	4.778	6.474	4.674
8.664	5.415	5.011	10.971	8.664	2.35
5.567	4.191	1.207	6.713	5.567	3.678
9.72	7.702	10.214	3.122	9.72	7.484
8.704	12.311	1.866	7.84	8.704	0.863
3.143	8.382	2.091	9.028	3.143	5.669
1.401	6.723	1.68	3.388	1.401	2.437
...	...	...	...	...	...

$ rdf13_j =$	$ rdf14_j =$	$ rdf15_j =$	$ rdf16_j =$	$ rdf17_j =$	$ rdf18_j =$
6.132 $\frac{m}{s^2}$	0.058 $\frac{m}{s^2}$	2.163 $\frac{m}{s^2}$	0.058 $\frac{m}{s^2}$	1.45 $\frac{m}{s^2}$	6.938 $\frac{m}{s^2}$
4.541	4.053	9.683	4.053	4.147	4.373
5.487	5.014	5.841	5.014	0.85	0.9
2.013	3.203	6.004	3.203	3.49	0.283
9.493	4.503	3.043	4.503	1.893	3.362
9.045	3.011	5.307	3.011	2.574	3.891
6.241	7.97	4.321	7.97	3.742	6.622
4.302	2.751	11.483	2.751	2.106	4.957
9.088	5.004	8.703	5.004	4.674	7.589
10.934	8.189	9.641	8.189	2.35	5.862
7.047	10.024	9.616	10.024	3.678	3.625
5.843	12.776	4.068	12.776	7.484	0.713
7.011	11.024	7.405	11.024	0.863	5.685
7.032	4.561	1.373	4.561	5.669	8.322
13.082	4.233	7.586	4.233	2.437	2.763
...	...	...	...	...	...

$ rdf19_j =$	$ rdf20_j =$	$ rdf21_j =$	$ rdf22_j =$	$ rdf23_j =$	$ rdf24_j =$
6.132 $\frac{m}{s^2}$	2.094 $\frac{m}{s^2}$	8.882 $\frac{m}{s^2}$	7.271 $\frac{m}{s^2}$	6.132 $\frac{m}{s^2}$	0.058 $\frac{m}{s^2}$
4.541	4.335	4.265	8.249	4.541	4.053
5.487	4.903	7.835	3.852	5.487	5.014
2.013	6.86	6.795	8.521	2.013	3.203
9.493	7.915	10.379	5.131	9.493	4.503
9.045	2.065	4.427	5.086	9.045	3.011
6.241	3.952	5.954	3.888	6.241	7.97
4.302	3.887	7.321	4.308	4.302	2.751
9.088	4.778	6.474	4.073	9.088	5.004
10.934	10.971	8.664	1.11	10.934	8.189
7.047	6.713	5.567	2.919	7.047	10.024
5.843	3.122	9.72	3.512	5.843	12.776
7.011	7.84	8.704	3.892	7.011	11.024
7.032	9.028	3.143	3.837	7.032	4.561
13.082	3.388	1.401	8.535	13.082	4.233
...	...	...	...	...	...

$ rdf25_j =$	$ rdf26_j =$	$ rdf27_j =$
6.132 $\frac{m}{s^2}$	2.163 $\frac{m}{s^2}$	1.45 $\frac{m}{s^2}$
4.541	9.683	4.147
5.487	5.841	0.85
2.013	6.004	3.49
9.493	3.043	1.893
9.045	5.307	2.574
6.241	4.321	3.742
4.302	11.483	2.106
9.088	8.703	4.674
10.934	9.641	2.35
7.047	9.616	3.678
5.843	4.068	7.484
7.011	7.405	0.863
7.032	1.373	5.669
13.082	7.586	2.437
...	...	...



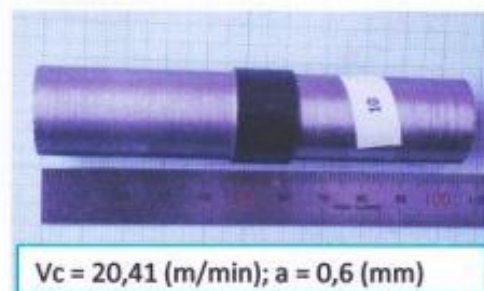
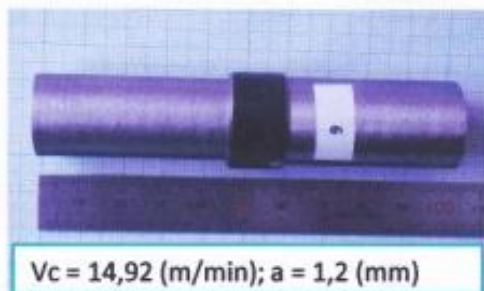
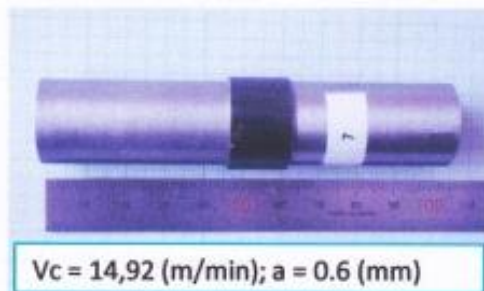
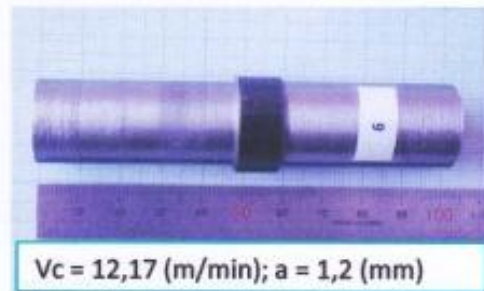
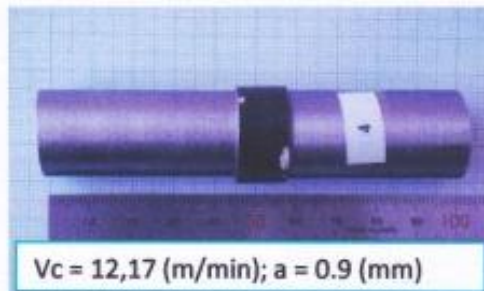
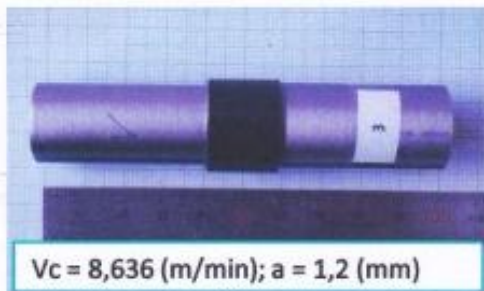
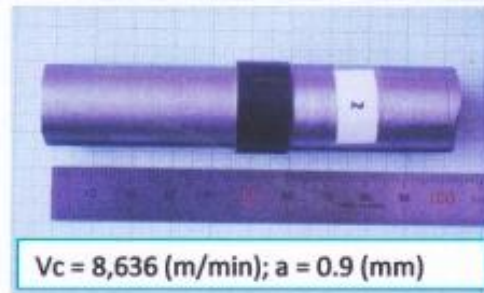
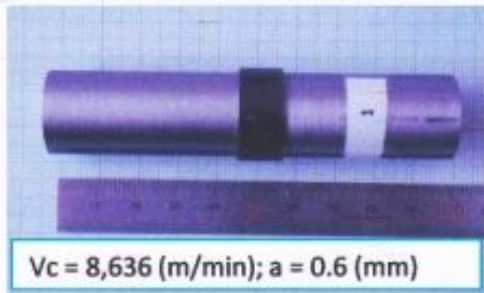
SHIJIAZHUANG IRON & STEEL CO., LTD
Inspection Certificate

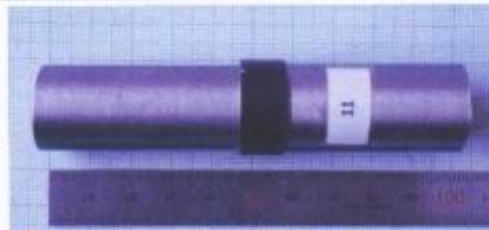


STEEL GRADE: S43C STANDARD: JIS G4051
SIZE: $\phi 25$ DELIVERY CONDITION: HOT ROLLED
WEIGHT: 44.318MT SURFACE QUALITY: QUALIFIED
BUNDLES: 17 NO. 4781Y-20563

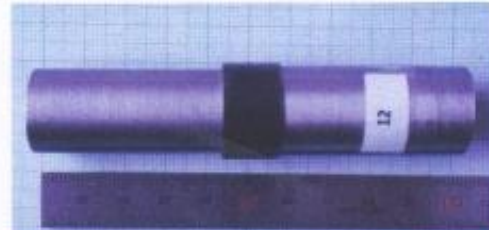
Heat No.	7203796								
Chemical Composition (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	
	0.44	0.21	0.63	0.015	0.012	0.13	0.02	0.02	
Macro Structure (Grade)									
Scattered Porosity	Center Porosity	Percentage Elongation	General point segregation	Edge point segregation	S	C	R	Cold bend	Forging test
0	1	0	-	-	-	-	-	-	UT
0	1	0	-	-	-	-	-	-	ET
-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mechanical Properties									End-Quench Test (HRC)
Yield Strength MPa	Tensile Strength MPa	Percentage Elongation %	Reduction of area %	Charpy Impact Test J	Hardness HBW	Hardness HRC	-	-	DI
OK	OK	OK	OK	-	190	-	-	-	-
OK	OK	OK	OK	-	191	-	-	-	-
-	-	-	-	-	191	-	-	-	-
Non-metallic Inclusions (Grade)									
Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂	Al ₂ Si ₂
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
First									Second
Total Strip	Total Length (mm)	Max Length (mm)	Total Strip	Total Length (mm)	Max Length (mm)	Total Strip	Total Length (mm)	Max Length (mm)	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NOTE:									

GAMBAR SPESIMEN

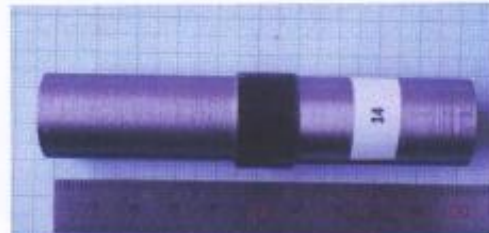




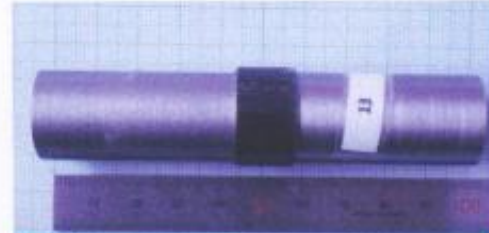
$V_c = 20,41 \text{ (m/min)}$; $a = 0,9 \text{ (mm)}$



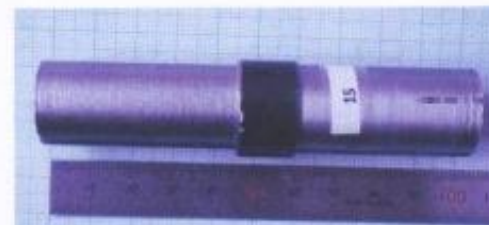
$V_c = 20,41 \text{ (m/min)}$; $a = 1,2 \text{ (mm)}$



$V_c = 25,12 \text{ (m/min)}$; $a = 0,6 \text{ (mm)}$



$V_c = 25,12 \text{ (m/min)}$; $a = 0,9 \text{ (mm)}$



$V_c = 25,12 \text{ (m/min)}$; $a = 1,2 \text{ (mm)}$