



**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
SUDUT MATA PAHAT TERHADAP GETARAN BENDA
KERJA ALUMINIUM 6061 PADA PROSES DRILLING**

SKRIPSI

Oleh

**Agung Eko Hadiyoto
NIM 121910101134**

**PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**



**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
SUDUT MATA PAHAT TERHADAP GETARAN BENDA
KERJA ALUMINIUM 6061 PADA PROSES DRILLING**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Agung Eko Hadiyoto
NIM 121910101134

**PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2014**

PERSEMBAHAN

Laporan Proyek Akhir ini dibuat sebagai perwujudan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah rahmat dan rizki-Nya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW;
2. Ayahanda Totok Sriyono dan Ibunda Nurul Zannah yang senantiasa memberi do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan motivasi serta kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
3. Seluruh anggota keluarga, saudara, yang selalu mendoakan hingga terselesaikannya proyek akhir ini;
4. Guru-guruku dari TK, SD, SMP, SMA, dan Dosen PerguruanTinggi atas semua ilmu yang telah diberikan;
5. Almamaterku yang aku cintai dan aku banggakan;
6. Teman seperjuangan yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu yang selalu membantu dalam segala hal;
7. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2009, yang telah memberikan motivasi, dukungan dan doa'anya "**Solidarity Forever**".

MOTTO

“Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua”
(*Aristoteles*)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah”
(*Lessing*)

“Banyak orang takut mengatakan apa yang mereka inginkan. Itulah mengapa mereka tidak mendapatkan apa yang mereka inginkan”
(*Andre Malraux*)

“Doa – doa mu lah yang sebenarnya membuatmu kuat”
(*M Shadows A7X*)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Eko Hadiyoto

NIM : 121910101134

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul “Pengaruh Putaran Spindle, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat terhadap Getaran Benda Kerja Aluminium 6061 pada Proses Drilling” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 juni 2014
Yang menyatakan,

Agung Eko Hadiyoto
NIM 121910101134

SKRIPSI

**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
SUDUT MATA PAHAT TERHADAP GETARAN BENDA
KERJA ALUMINIUM 6061 PADA PROSES DRILLING**

Oleh
Agung Eko Hadiyoto
NIM 121910101134

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja aluminium 6061 pada proses drilling” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 25 Juni 2014

Tempat : Ruang Ujian 1 Dekanat Fakultas Teknik

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19700228 199702 1 001

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.
NIP 19600812 199802 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Andi Sanata, S.T., M.T.
NIP 19750502 200112 1 001

Yuni Hermawan, S.T., M.T.
NIP 19750615 200212 1 008

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 19802 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Putaran Spindle, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat terhadap Getaran Benda Kerja Alumunium 6061 pada Proses Drilling; Agung Eko Hadiyoto, 121910101134; 2014: 96 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses *drilling* merupakan salah satu bentuk proses pemesinan konvensional yang secara sederhana dapat dikatakan sebagai proses pembuatan lubang dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Pada proses gurdi pembuatan lubang dengan bor spiral di dalam benda kerja yang pejal merupakan suatu proses pengikisan dengan daya penyerpihan yang besar. Serpihan hasil proses gurdi yang biasa disebut dengan geram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat gurdi ke luar lubang. Pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan benda kerja dengan karakteristik geometri yang sempurna dan memperoleh hasil dengan kualitas tinggi tanpa memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi proses permesinan, seperti getaran pada saat proses berlangsung. Getaran sangatlah mempengaruhi proses pemesinan.

Permasalahan yang diteliti adalah untuk mengetahui pengaruh variabel putaran spindle, gerak makan, dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja aluminium 6061 pada proses drilling. Metode yang dipakai untuk mencari pengaruh variabel tersebut terhadap getaran benda kerja adalah analisis regresi linier berganda.

Dari hasil penelitian, variabel putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat dapat diketahui nilai nilai getaran paling rendah dan nilai getaran paling tinggi. Nilai getaran paling tinggi didapat dari variabel putaran spindle 681 rpm, gerak makan 0,22 mm/putaran dan sudut mata pahat 100° dengan nilai getaran sebesar 1049.30 m/s^2 . Nilai getaran paling rendah didapat dari variabel putaran spindle 136 rpm, gerak makan 0,22 mm/putaran, dan sudut mata pahat 118° dengan nilai getaran sebesar 120.34 m/s^2 . Nilai R Square sebesar 0.816 atau 81,6%. Hal ini menunjukkan

bahwa persentase pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat sebesar 81,6%. Sedangkan sisanya 18,4% dipengaruhi oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model penelitian ini.

SUMMARY

Chatter of Work Material Aluminium 6061 as Effect of Spindle Speed, Feed Rate and Tool Angle in Drilling Process; Agung Eko Hadiyoto, 121910101134; 2014: 96 pages; Majors Mechanical Engineering Faculty Of Technique University of Jember.

Drilling process is one form of conventional machining processes is simply the process of making a round hole using a drill bit (twist drill). In the drilling process to make hole using drill bit on the solid workpiece is a process of erosion with the large flake power. Flakes results from drilling process is commonly called the chips have to exit through the helix groove chisel drill out from the hole. In fact very difficult to get a workpiece with perfect geometry characteristics and get of high quality results regardless of the things that affect the machining process, such as chatter during the process. Chatter is affecting the machining process.

The problem under study is to know the effect of variable spindle rotation, feed rate, and tool angle to chatter spindle head in drilling process. The method used to find the influence of these variables on the spindle head chatter is multiple linear regression analysis.

From the research, variable spindle speed, feed rate and tool angle can be seen most low chatter values and the value of the highest chatter. Highest chatter values obtained from variable spindle speed 681 rpm, feed rate 0.22 mm/rotation and tool angle 100° with the value of the chatter of 1049.30 m/s^2 . Lowest chatter values obtained from variable spindle speed 136 rpm, feed rate 0.22 mm/rotation and tool angle 118° with the value of chatter of 120.34 m/s^2 . Value of R Square 0.816 or 81.6%. This shows that the percentage of independent variables on the dependent variable of 81.6%. While the remaining 18.4% is influenced by other variables not included in model.

PRAKATA

Alhamdulillah puji syukur ke hadirat Allah Swt, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Putaran Spindle, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat terhadap Getaran Benda Kerja Aluminium 6061 pada Proses Drilling”. Skripsi ini merupakan mata kuliah wajib dan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Selama penelitian dan penulisan laporan Skripsi ini, telah banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Bapak Andi Sanata, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. sekaligus selaku Dosen Penguji I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
4. Bapak Yuni Hermawan, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi dan sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan pengarahan selama masa kuliah.
6. Bapak Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
7. Bapak Yuni Hermawan, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II, yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.

8. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Suhardjono, MSc. dan Teknisi Leb Pemesinan ITS yang telah membantu dan membimbing penelitian getaran di kampus ITS Surabaya.
9. Bapakku Totok Sriyono, Ibuku Nurul Zanna, dan Kakakku Mochhammad Hidayat dan adiku Wiby Aditya Kurniawan yang telah memberikan dukungan moril, materil, do'a dan semangat demi terselesainya kuliahku.
10. Dosen – dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
11. Teknisi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.
12. Sugeng, Jepri, Arry, Viktor, Dayat, Heru, Rio, Fakhri Wahyu, Sudi dan Semua yg tidak bisa penyusun sebutka satu persatu yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dan teman seperjuangan dalam mengerjakan skripsi.
13. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2009 khususnya dan semua teman-teman Teknik Mesin Universitas Jember pada umumnya.
14. Teman – teman beserta seluruh pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi ini.

Skripsi ini disusun berdasarkan data-data yang diperoleh dari studi lapangan dan studi kepustakaan serta uji coba yang dilakukan, walaupun ada kekurangan itu diluar kemampuan kami sebagai penulis, oleh karena itu penulis senantiasa terbuka untuk menerima kritik dan saran dalam upaya penyempurnaan skripsi ini

Jember, 25 Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mesin <i>Drilling</i>	5
2.1.1 Pengertian Mesin <i>Drilling</i>	5
2.1.2 Elemen Dasar Mesin <i>Drilling</i>	6
2.1.3 Gaya Pemotongan.....	8
2.1.4 Pahat <i>Twist Drill</i>	10
2.1.5 Material Pahat HSS	10

2.1.6 Pengasahan Pahat <i>Drilling</i>	12
2.2 Getaran	13
2.2.1 Getaran dalam Konteks Umum	13
2.2.2 Getaran dalam Konteks Khusus	15
2.2.3 Getaran Permesinan.....	16
2.2.4 Tujuan Pengukuran Getaran	18
2.3 Alat Uji Getaran	19
2.4 Hipotesis	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Metode Penelitian	22
3.2 Tempat dan Waktu	22
3.3 Bahan dan Alat	22
3.3.1 Bahan.....	22
3.3.2 Alat.....	23
3.4 Variabel Pengukuran	24
3.5 Pelaksanaan Penelitian	25
3.5.1 Prosedur Proses <i>Drilling</i>	25
3.5.2 Prosedur Pengambilan Data Getaran.....	25
3.5.3 Penyimpanan Data.....	26
3.6 Metode Penyelesaian	28
3.7 Syarat Regresi Linear Berganda	29
3.7.1 Persyaratan untuk statistic parametrik.....	29
3.7.2 Uji Persyaratan Linear Berganda	32
3.9 Analisis Regresi Berganda	36
3.10 Flowchart Penelitian	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Tinjauan Umum	40
4.2 Analisis Getaran Spindle Head	40
4.3 Uji Asumsi Klasik	43

4.3.1 Uji Normalitas.....	43
4.3.2 Uji Homogenitas	44
4.3.3 Uji Multikolinearitas	46
4.3.4 Uji Autokorelasi	47
4.3.5 Uji Linearitas	48
4.3.6 Uji Heteroskedastisitas	49
4.4 Analisis Regresi Berganda	51
4.4.1 Pengujian Hipotesa	51
4.4.2 Analisis Regresi Linier Berganda Bentuk Log	53
4.4.2 Analisis Koefisien Determinasi (R^2)	55
4.1 Pembahasan	55
BAB 5. PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Pengukuran getaran hasil proses drilling	27
4.1 Hasil pengukuran getaran hasil proses drilling	41
4.2 Logaritma hasil pengukuran getaran hasil proses drilling	42
4.3 Hasil uji kolmogrov-smirnov	43
4.4 Uji Homogenitas	45
4.5 Hasil output VIF	46
4.6 Statistik Durbin-Watson	47
4.7 Uji Linieritas	48
4.8 Uji Heteroskedastisitas.....	49
4.9 Uji kesesuaian model (Uji F)	50
4.10 Uji Individual (Uji t)	51
4.11 Analisis regresi linier berganda bentuk log.....	53
4.12 Analisis koefisien determinasi (R^2).....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Mesin drilling.....	5
2.2 Proses drilling	7
2.3 Gaya pemotongan pada proses drill	8
2.4 Pahat <i>twist drill</i>	10
2.5 Dua bidang utama yang tak seimbang luasanya	12
2.6 Frekuensi, amplitudo dan akselerasi	13
2.7 Gelombang transversal.....	15
2.8 Gelombang longitudinal.....	15
2.9 Aplikasi getaran bebas pada piston.....	16
2.10 Aplikasi getaran paksa	16
2.11 Rangkaian alat uji getaran.....	19
3.1 Profil benda kerja	23
3.2 Mesin drilling.....	24
3.4 <i>Flowchart</i> penelitian	39
4.1 Grafik Normal P-P of regression Standardizer residual.....	44

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A-1. Tabel Distribusi t.....	60
A-2. Tabel Distribusi F ($\alpha = 0.05$)	61
A-3. Tabel Kolmogorov-Smirnov	62
B. Foto kegiatan pengujian	63
C. Grafik getaran.....	65
D. Grafik respon amplitudo terhadap dominan waktu frekwensi	79
E. Tabel Output SPSS	93
F. Surat Keterangan Penelitian	96

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi di bidang manufaktur semakin berkembang, hal ini dapat dirasakan dengan semakin banyak produk yang dihasilkan oleh proses manufaktur baik dengan proses pemesinan konvensional maupun non konvensional. Proses *drilling* merupakan salah satu bentuk proses pemesinan konvensional yang secara sederhana dapat dikatakan sebagai proses pembuatan lubang dengan menggunakan mata pahat (*twist drill*). Pada proses *drilling* pembuatan lubang dengan Mata pahat spiral di dalam benda kerja merupakan suatu proses *feeding* dan *cutting* dengan daya penyerpihan yang besar (Bashori, 2013).

Industri yang umumnya bergerak di bidang manufaktur sangatlah banyak, mereka berusaha meningkatkan mutu produk yang dihasilkan dengan proses yang dilakukan, Hal ini untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dan keakuratan dalam dimensi, penyelesaian permukaan, laju produksi tinggi, keausan pahat potong rendah dan peningkatan prestasi produk benda kerja (Bashori, 2013).

Menurut Mulyadi (2009:18), dalam mencapai kualitas pada proses pengerjaan mesin dipengaruhi oleh adanya getaran pahat pada spindle head dan getaran benda kerja pada saat proses pemotongan berlangsung atau dikenal dengan istilah *chatter*. Salah satu akibat munculnya *chatter* ini adalah ketidakrataan permukaan benda kerja hasil pemotongan. Ketidakrataan permukaan tergantung pada posisi relative sesaat dari pahat potong dan benda kerja. Komponen gaya-gaya potong memiliki pengaruh besar terhadap akurasi dan benda kerja.

Getaran yang terjadi pada mesin biasanya menimbulkan efek yang tidak dikehendaki; seperti ketidaknyamanan, ketidaktepatan dalam pengukuran atau rusaknya struktur mesin. Getaran terjadi karena adanya eksitasi, baik yang berasal

dari dalam maupun dari luar sistem akan tetapi efek getaran yang ditimbulkannya sangat tergantung dari frekuensi eksitasi tersebut dan elemen-elemen dari sistem getaran itu sendiri. Untuk meredam getaran yang terjadi dapat dilakukan dengan cara memasang sistem peredam dinamik pada sistem yang bergetar atau memasang sistem tersebut pada tumpuan yang baik sesuai dengan frekuensi eksitasinya. Parameter variabel potong (gerak makan, putaran *spindle*, kedalaman potong) yang memiliki pengaruh paling besar terhadap getaran dan kebulatan adalah kedalaman potong (Mahadi, 2012). Pahat juga berpengaruh terhadap terjadinya getaran pada proses drilling. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya potong yang terjadi pada saat pahat memotong benda kerja sehingga menyebabkan terjadinya getaran pada proses drilling yang secara otomatis semakin dalam pemotongannya maka getaran semakin bertambah besar (Adis, 2012).

Pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan benda kerja dengan karakteristik geometri yang sempurna dan memperoleh hasil dengan kualitas tinggi tanpa memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi proses permesinan, seperti getaran pada saat proses berlangsung. Getaran sangatlah mempengaruhi proses pemesinan. Oleh karena itu dalam suatu proses permesinan benda kerja banyak terjadi penyimpangan yang salah satu diantaranya disebabkan oleh parameter pemotongan itu sendiri. Oleh karena itu pada penelitian ini saya mengangkat tentang “*Pengaruh putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja aluminium 6061 pada proses drilling*”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh putaran spindel (*spindle speed*), gerak makan (*feeding*) dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja *aluminium 6061* yang ditimbulkan pada proses *drilling*.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Material benda kerja yang digunakan adalah aluminium 6061 dengan panjang 140 mm, lebar 140 mm dan tinggi 70 mm.
- b. Pahat HSS (*High Speed Steel*) dengan sudut mata pahat 90°, 100°, 118° dengan diameter 14 mm.
- c. Putaran spindel yang digunakan 136 rpm, 368 rpm dan 681 rpm.
- d. Gerak makan yang digunakan 0.07 mm/put, 0.13 mm/put dan 0.22 mm/putaran.
- e. Penelitian tidak membahas kekasaran permukaan dan struktur mikro benda kerja baik sebelum dan sesudah proses *drilling*.
- f. Penelitian dilaksanakan secara eksperimental.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengetahui seberapa besar pengaruh dari putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran *benda kerja* pada proses *drilling*.
- b. Menganalisis terjadinya *chatter* pada *benda kerja* dengan putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat hasil proses *drilling*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari tujuan penelitian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

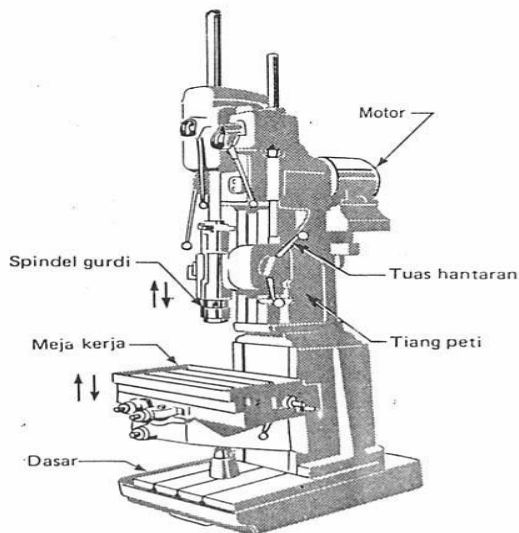
- a. Peneliti dapat mengetahui ada dan tidaknya pengaruh variabel (putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat) terhadap getaran (*chatter*) yang dihasilkan dari proses *drilling*.
- b. Peneliti dapat mengetahui besar dan kecilnya pengaruh variabel (putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat) terhadap getaran (*chatter*) yang dihasilkan dari proses *drilling*.
- c. Memberikan masukan kepada praktisi di lapangan tentang seberapa besar pengaruh kondisi pemotongan yang bervariasi terhadap getaran hasil proses *drilling*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin *Drilling*

2.1.1 Pengertian Mesin *Drilling*

Proses *drilling* atau sering disebut dengan proses drill merupakan proses pemesinan yang paling sederhana di antara proses pemesinan yang lain. Biasanya di bengkel atau *workshop* proses ini dinamakan proses bor, walaupun istilah ini sebenarnya kurang tepat. Proses drill dimaksudkan sebagai proses pembuatan lubang bulat dengan menggunakan mata bor (*twist drill*). Sedangkan proses bor (*boring*) adalah proses meluaskan/ memperbesar lubang yang bisa dilakukan dengan batang bor (*boring bar*) yang tidak hanya dilakukan pada mesin drill, tetapi bisa juga dengan mesin bubut, mesin freis, atau mesin bor. Gambar 2.1 berikut menunjukkan mesin drill.



Gambar 2.1. Mesin drill

Sumber : <http://adepras.blogspot.com/2012/02/pengertian-mesin-bor.html>

Proses drill digunakan untuk pembuatan lubang silindris. Pembuatan lubang dengan bor spiral di dalam benda kerja yang pejal merupakan suatu proses pengikisan dengan daya penyerpihan yang besar. Jika pada benda kerja dituntut kepresisian yang tinggi (ketepatan ukuran atau mutu permukaan) pada dinding lubang maka diperlukan pengerjaan lanjutan dengan pembersihan atau penggerek.

Pada proses drill, geram (chips) harus keluar melalui alur helix pahat drill keluar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong, sehingga proses pendinginan menjadi relatif sulit. Proses pendinginan biasanya dilakukan dengan menyiram benda kerja yang dilubangi dengan cairan pendingin, disemprot dengan cairan pendingin, atau cairan pendingin dimasukkan melalui lubang di tengah mata pahat.

2.1.2 Elemen Dasar Mesin *Drilling*

Pahat drill mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar oleh poros utama mesin drill. Putaran tersebut dapat dipilih dari beberapa tingkatan putaran yang tersedia pada mesin drill atau ditetapkan bila sistem transmisi putaran mesin drill merupakan sistem berkesinambungan.

Gerak makan dapat dipilih bila mesin drill memiliki sistem gerak makan dengan tenaga motor (*power feeding*). Untuk jenis mesin drill yang kecil (mesin drill bangku) gerak makan tersebut tidak dapat dipastikan karena tergantung pada kekuatan tangan untuk menekan lengan poros utama. Selain itu proses drill dapat dilakukan pada mesin drill dimana benda kerja diputar oleh pencekam poros utama dan gerak makan dilakukan oleh pahat drill yang dipasang pada kedudukan pahat (*tool post*) atau kepala gerak (*tail stock*).

Dari Gambar 2.2 dapat diturunkan rumus untuk beberapa elemen proses drill yaitu:

Benda kerja:

l_w = panjang pemotongan banda kerja (mm),

Pahat:

d = diameter drilling (mm),

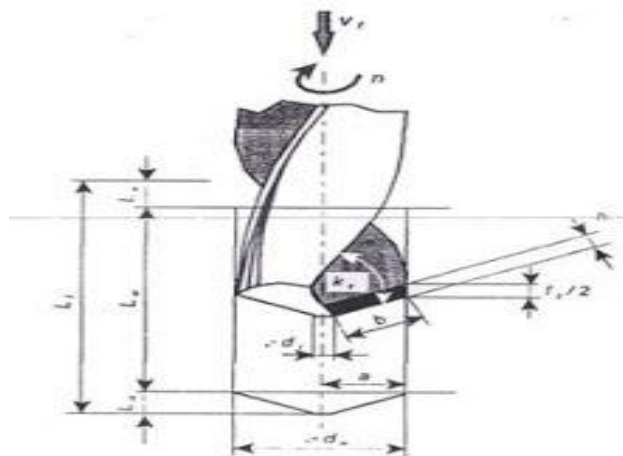
K_r = sudut potong utama ($^\circ$),

= $\frac{1}{2}$ sudut ujung (point angel).

Mesin drill:

n = putaran poros utama (put/min)

v_f = kecepatan makan (mm/min)



Gambar 2.2 Proses drilling

Sumber : Taufiq Rochim. 1993.

Elemen proses drill adalah:

a. Kecepatan potong (v),

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ (m/min)} \dots \dots \dots (2.1)$$

b. Gerak makan / mata potong,

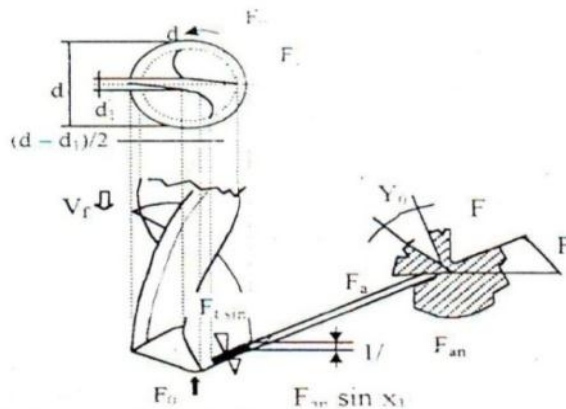
$$f_z = \frac{v_f}{(n_z)} \text{ (mm/put)} \dots \dots \dots (2.2)$$

c. Kedalaman pemotongan,

$$a = \frac{d}{2} (mm) \dots\dots\dots(2.3)$$

2.1.3 Gaya Pemotongan

Gaya tangensial menyebabkan suatu momen pada pahat. Momen pada pahat drill akan menimbulkan puntiran pada pahat dan tiang mesin drill sehingga pahat drill akan berpindah. Lenturan tersebut akan berfluktuasi karena gaya tangensial yang bekerja terus menerus sehingga mengakibatkan lubang *drilling* akan terbentuk lonjong (*oval*).



Gambar 2.3 Gaya pemotongan pada proses drill

Sumbr : Taufiq Rochim. 1993.

Dari gambar 2.3 dapat diturunkan rumus gaya tangensial yaitu:

$$F_t = F_v + F_\alpha ; \quad N \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

F_t = gaya potong, sebagaimana dalam proses bubut,

$$= \tau_{shi} \frac{d-di}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta-\gamma_o)}{\sin \Phi \cos(\Phi+\eta-\gamma_o)} ; N \dots\dots\dots(2.5)$$

F_α = gaya gesek bidang utama, tergantung pada gaya gesek spesifik persatuan panjang aktif mata potong (k_f ; N/mm) yang dipengaruhi oleh geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin dan kondisi pemotongan.

$$= k_f \cdot \frac{d-di}{2 \sin K_r} ; N \dots\dots\dots(2.6)$$

Maka:

$$F_t = \tau_{shi} \frac{d-di}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta-\gamma_o)}{\sin \Phi \cos(\Phi+\eta-\gamma_o)} + k_f \frac{d-di}{2 \sin k_r} ; N \dots\dots\dots(2.7)$$

Momen torsi yang diperlukan untuk memutar pahat drill adalah,

$$M_t = F_t \frac{d-di}{2} ; N.mm \dots\dots\dots(2.8)$$

Gaya tekan yang diperlukan supaya proses pemakanan berlangsung adalah,

$$F_z = 2F_f \sin K_r + 2F_{an} \sin K_r + F_e ; N \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana,

F_z = gaya tekan total untuk dua mata potong ; N.

F_f = gaya makan, seperti halnya pada proses bubut.

$$= F_v \tan(\eta - \gamma_o) ; N$$

F_{an} = gaya normal pada bidang utama, tergantung pada gaya normal spesifik persatuan panjang aktif masa potong (k_n ; N/mm) yang dipengaruhi oleh jenis geometri pahat, benda kerja, cairan pendingin, dan kondisi pemotongan.

$$= k_n \cdot \frac{d-di}{2 \sin K_r} ; N$$

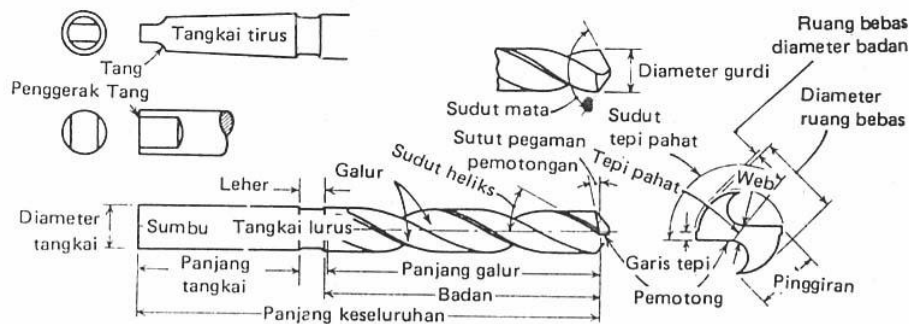
F_e = gaya ekstrusi diujung pahat drill, sesuai dengan penampang diameter inti d_1 dari hasil percobaan umumnya berharga sekitar 50% s.d 55% dari gaya tekan total ; N.

Oleh karena itu,

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_o) \sin K_r + k_n \frac{d-di}{2} \right\} ; N \dots\dots\dots(2.10)$$

2.1.4 Pahat *Twist Drill*

Pada kebanyakan bentuk dasar dari sebuah *twist drill* dibuat dari batang bulat material perkakas seperti pada Gambar 2.4. Pada *twist drill* mempunyai sepasang *helical flutes* yang akan membentuk permukaan pemotongan dan berfungsi sebagai pengangkat geram yang ditimbulkan dari proses drill. Penampang dari dua permukaan beban, menyilang web diantara dua *flutes* dengan nama '*chisel edge*'.



Gambar 2.4 Pahat *twist drill*

Sumber : Taufiq Rochim. 1993.

Dataran diantara *flutes* dinamakan '*land*' yang berfungsi untuk mereduksi luasan kontak antara *land* tersebut dengan bidang lubang yang terbentuk margin dinamakan '*body diameter clearance*'.

2.1.5 Material Pahat HSS

Faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan pahat adalah harga dari pahat, kemudahan pahat diperoleh dan kebutuhan akan pahat tersebut. Jenis material pahat yang biasa digunakan secara berurutan dari yang paling lunak tetapi ulet sampai dengan yang paling keras tetapi getas adalah sebagai berikut:

- Baja karbon (*high carbon steels; carbon tool steels; CTS*).
- HSS (*high speed steels; tool steels*).
- Paduan cor non Ferrous (*cast nonferrous alloy; cast carbides*).
- Keramik (*ceramics*).
- CBN (*cubic boron nitrides*).

f. Intan (*sintered diamonds and natural diamonds*).

High Speed Steels adalah baja paduan yang mengalami proses laku panas sehingga kekerasannya menjadi cukup tinggi dan tahan terhadap temperatur tinggi tanpa menjadi lunak (*annealed*). HSS dapat digunakan untuk pemotongan dengan kedalaman potong yang lebih besar pada kecepatan potong yang lebih tinggi dibandingkan dengan pahat baja karbon. Apabila telah aus HSS masih tetap dapat digunakan dengan cara mengasahnya terlebih dahulu.

Hot hardness dan *recovery hardness* yang cukup tinggi pada HSS dapat dicapai berkat adanya unsur W, Cr, V, Mo dan Co. Pengaruh unsur-unsur tersebut pada unsur dasar besi (Fe) dan karbon (C) adalah sebagai berikut:

a. Tungsten / wolfram (W)

Tungsten atau wolfram dapat membentuk karbida yaitu paduan yang sangat keras ($\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$) yang menyebabkan kenaikan temperatur untuk proses *hardening* dan *tempering*, dengan demikian *hot hardness* dapat dipertinggi.

b. Chromium (Cr)

Menaikkan *hardenability* dan *hot hardness*, chrom merupakan elemen pembentuk karbida, akan tetapi Cr menaikkan sensitivitas terhadap *overheating*.

c. Vanadium (V)

Menurunkan *sensitivitas* terhadap *overheating* serta menghaluskan besar butir, selain itu vanadium juga merupakan elemen pembentuk karbida.

d. Molybdenum (Mo)

Mempunyai efek yang sama seperti W, tetapi lebih terasa (2% W dapat diganti oleh 1% Mo), selain itu Mo-HSS lebih liat sehingga mampu menahan beban kejutan dan kejelekkannya adalah lebih sensitive terhadap *overheating* (hangus ujung-ujung yang runcing) sewaktu proses *heat treatment*.

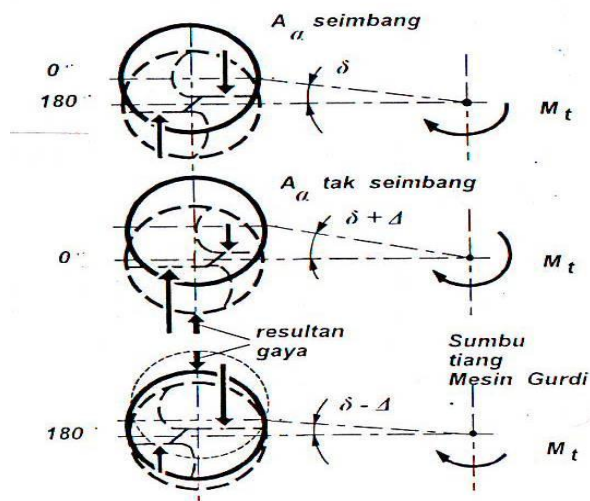
e. Cobalt (Co)

Bukan elemen pembentuk karbida. Ditambahkan dalam HSS untuk menaikkan *hot hardness* dan tahanan keausan.

2.1.6 Pengasahan Pahat *Drilling*

Pengasahan pahat drill harus menghasilkan luas kedua bidang utama yang sama besar. Jika tidak, selain momen kopel maka reaksi kedua gaya tangensial juga berupa gaya radial (selisih kedua gaya tangensial) yang berputar sesuai dengan putaran drill.

Momen kopel pada pahat drill selalu menimbulkan puntiran pada tiang mesin drill sehingga posisi sumbu pahat drill berpindah. Lenturan tersebut akan berfluktuasi karena gaya radial yang berputar pada suatu saat akan menambah dan pada saat yang lain dapat mengurangi lenturan. Akibatnya lubang hasil *drilling* akan berbentuk lonjong (oval), seperti pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Dua bidang utama yang tak seimbang luasanya

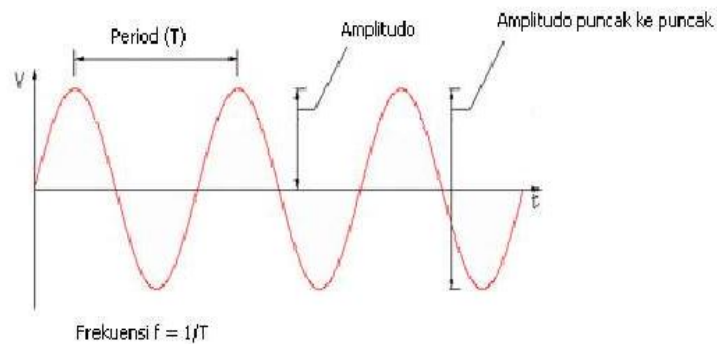
Sumber : Taufiq Rochim. 1993.

2.2 Getaran

2.2.1 Getaran dalam Konteks Umum

Dalam konteks yang paling sederhana, getaran dapat dianggap sebagai gerakan berulang dari suatu obyek disekitar suatu posisi kesetimbangan. Posisi kesetimbangan adalah posisi suatu objek dimana jumlah gaya yang dikenakan pada objek tersebut adalah sama dengan nol. Tipe getaran ini disebut *whole body motion*, yang berarti bahwa semua bagian dari objek tersebut bergerak bersamaan pada arah yang bersamaan disemua titik pada waktunya.

Apabila mengamati suatu objek yang bergetar didalam gerak lambat, dapat dilihat pergerakan dengan arah yang berbeda. Seberapa jauh dan seberapa cepat objek tersebut bergerak dalam menentukan karakteristik getarannya. Istilah lama menjelaskan pergerakan seperti ini sebagai frekuensi, amplitudo dan akselerasi pada (Gambar 2.6).



Gambar 2.6 Frekuensi, amplitudo dan akselerasi

Sumber : Victor Wowk. 1991.

a. Frekuensi

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

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

b. Amplitudo

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

c. Akselerasi

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

Gelombang berdasarkan arah getarnya dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

Gelombang transversal adalah gelombang yang memiliki arah rambat tegak lurus dengan arah getarnya. Contoh gelombang transversal adalah gelombang pada tali. Arah getar gelombang adalah vertikal, sedangkan arah rambatnya horizontal sehingga arah getar dan arah rambatnya satins. Gelombang transversal merambat pada medium padat karena gelombang ini membutuhkan medium yang relatif kaku untuk merambatkan energi getarnya. Jika medium tempat merambat tidak kaku, partikel medium akan saling meluncur. Dengan demikian, gelombang transversal tidak dapat merambat dalam medium fluida (zat cair dan gas).

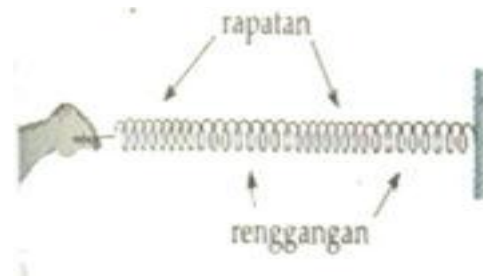


Gambar 2.7 Gelombang transversal

Sumber : <http://lina-firmansyah.blogspot.com/2011/09/gelombang-transversal.html>

a. Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal Adalah gelombang yang memiliki arah getar sejajar dengan arah rambatnya contohnya adalah gelombang pada slinki yang digerakkan maju mundur. Ketika slinki digerakkan majumundur maka pada slinki akan terbentuk rapatan dan renggangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Satu panjang gelombang pada gelombang longitudinal didefinisikan sebagai jarak antara dua pusat rapatan yang berdekatan atau jarak antara dua pusat renggangan yang berdekatan.



Gambar 2.8 Gelombang longitudinal

Sumber : <http://nondestes.blogspot.com/2013/10/ut-mode-gelombang-suara.html>

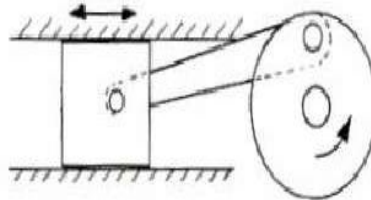
2.2.2 Getaran dalam Konteks Khusus

Dalam konteks ini, getaran dibedakan atas 2 jenis yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

a. Getaran Bebas

Getaran bebas (Gambar 2.9) terjadi bila sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*) dan jika tidak

ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuanya.

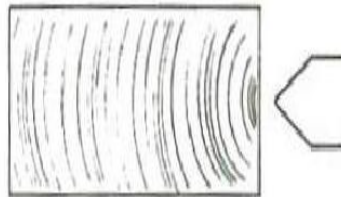


Gambar 2.9 Aplikasi getaran bebas pada piston

Sumber : Victor Wowk. 1991.

b. Getaran Paksa

Getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa (Gambar 2.10). jika rangsangan tersebut beresilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi.



Gambar 2.10 Aplikasi getaran paksa pada benda kerja yang diberi tekanan

Sumber : Victor Wowk. 1991.

2.2.3 Getaran Permesinan

Kalau kita melihat studi kasus yang paling dominan dalam getaran permesinan adalah getaran yang disebabkan oleh gaya eksitasi getaran yang berasal dari mesin tersebut, yang menyangkut diantaranya:

1. Kondisi yang tak seimbang (*unbalance*) baik yang statis maupun dinamis pada mesin tersebut.

2. *Crash* atau cacat yang terjadi pada elemen-elemen rotasi (bearing rusak, impeller macet, dll).
3. Ketidaksempurnaan bagian/fungsi mesin tersebut.

Mesin yang ideal tidak akan bergetar karena energi yang diterimanya digunakan sepenuhnya untuk fungsi mesin itu sendiri. Dalam praktek mesin yang dirancang dengan baik, getarannya relatif rendah namun untuk jangka pemakaian yang lama akan terjadi kenaikan level getaran karena hal berikut:

1. Keausan pada elemen mesin.
2. Proses pemantapan pondasi (*base plate*) sedemikian rupa sehingga terjadi deformasi dan mengakibatkan missalignment pada poros.
3. Perubahan perilaku dinamik pada mesin sehingga terjadi perubahan frekuensi.

Analisis ciri mekanik memungkinkan pemanfaatan sinyal getaran untuk mengetahui kondisi mesin tersebut tanpa membongkar atau menghentikan suatu mesin, sehingga dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut dalam perbaikan pada kerusakan yang terjadi. Dengan melakukan pengamatan analisis getaran secara berkala, maka sesuatu yang tidak normal pada suatu mesin dapat dideteksi sebelum kerusakan yang lebih besar terjadi.

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

1. Pembesaran sinyal getaran
2. Penyaringan sinyal getaran dari sinyal pengganggu
3. Penguraian sinyal, dan lainnya

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

1. Sensor penyimpangan getaran (displacement transducer)
2. Sensor kecepatan getaran (velocity transducer)
3. Sensor percepatan getaran (accelerometer).

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

1. Jenis sinyal getaran
2. Rentang frekuensi pengukuran
3. Ukuran dan berat objek getaran.
4. Sensitivitas sensor

Berdasarkan cara kerjanya sensor dapat dibedakan menjadi:

1. Sensor aktif, yakni sensor yang langsung menghasilkan tegangan listrik tanpa perlu catu daya (power supply) dari luar, misalnya Velocity Transducer.
2. Sensor pasif yakni sensor yang memerlukan catu daya dari luar agar dapat berkerja.

Catu daya yang digunakan pada umumnya dikemas dalam bentuk alat yang dinamai Conditioning Amplifier.

2.2.4 Tujuan Pengukuran Getaran

Pada saat dilakukan pengukuran getaran suatu mesin, maka akan timbul suatu pertanyaan, untuk apa sebenarnya dilakukan pengukuran tersebut. Dalam suatu pengukuran jelas tujuannya adalah untuk mendapatkan data, tetapi selanjutnya untuk apa data tersebut diambil. Ada beberapa tujuan pengambilan data getaran suatu mesin, tujuan tersebut adalah :

- Pengukuran rutin
- Pengukuran referensi (Baseline Measurement)
- Pengukuran sebelum dan sesudah perbaikan
- Trouble shooting

2.3 Alat Uji Getaran

Dalam penelitian ini alat yang digunakan adalah accelerometer, amplifier, ADC dan computer. Alat-alat ini akan dirangkai sedemikian rupa dan digunakan untuk mendapatkan data besar amplitudo yang diperoleh dari tiap-tiap parameter pengujian. Rangkaian alat uji getaran dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini:



Gambar 2.11 Rangkaian alat uji getaran

Sumber : ITS Surabaya

a. Accelerometer

Sebuah instrumen yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. *Accelerator* juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, dan mesin. Selain itu, accelerometer juga biasa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa dipengaruhi gravitasi bumi. Biasanya accelerator digunakan pada peralatan elektronik yang portabel.

Sebuah *accelerometer* pada dasarnya mengukur percepatan dan gravitasi yang dirasakan. Sebuah *accelerometer* yang diletakkan di permukaan bumi seharusnya mendeteksi percepatan sebesar 1 g (ukuran gravitasi bumi) pada titik vertikalnya.

Untuk percepatan yang dikarenakan oleh pergerakan horisontal, accererator akan mengukur percepatannya secara langsung ketika dia bergerak searah horisontal.

b. *Amplifier*

Adalah komponen elektronika yang dipakai untuk menguatkan daya (atau tenaga secara umum). Dalam bidang audio, *amplifier* akan menguatkan signal suara (yang telah dinyatakan dalam bentuk arus listrik) pada bagian inputnya menjadi arus listrik yang lebih kuat di bagian outputnya. Pada penelitian ini *Amplifier* digunakan untuk menguatkan sinyal getaran agar dapat terdeteksi di layar komputer, karena sinyal yang didapatkan oleh *accelerometer* masih sangat kecil.

Besarnya penguatan ini sering dikenal dengan istilah *gain*. Nilai dari *gain* yang dinyatakan sebagai fungsi frekuensi disebut sebagai fungsi transfer. Jadi *gain* merupakan hasil bagi dari daya di bagian *output* (P_{out}) dengan daya di bagian inputnya (P_{in}) dalam bentuk fungsi frekuensi. Ukuran dari *gain*, (G) ini biasanya memakai decibel (dB). Dalam bentuk rumus hal ini dinyatakan sebagai berikut:

$$G(\text{dB}) = 10 \log (P_{out}/P_{in}).$$

P_{out} adalah *Power* atau daya pada bagian *output*, dan P_{in} adalah daya pada bagian inputnya.

c. ADC (*Analog to Digital Corverter*)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah sebuah piranti yang dirancang untuk mengubah sinyal-sinyal analog menjadi bentuk sinyal digital. Banyak masukan, terutama yang berasal dari *transduser*, merupakan isyarat analog yang harus disandikan menjadi informasi digital sebelum masukan itu diproses, dianalisa atau disimpan didalam kalang digital. Pengubah mengambil masukan, mencobanya, dan kemudian memproduksi suatu kata digital bersandi yang sesuai dengan taraf dari isyarat analog yang sedang diperiksa. Keluaran digital bisa berderet (bit demi bit) atau berjajar dengan

semua bit yang disandikan disajikan serentak. Dalam sebagian besar pengubah, isyarat harus ditahan mantap selama proses pengubahan.

d. Komputer

Komputer adalah seperangkat alat yang digunakan untuk mengolah data menurut prosedur tertentu. Komputer tersusun atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Komputer disini digunakan untuk menampilkan data dari hasil percobaan yang dilakukan, data yang dihasilkan akan berbentuk grafik *waterfall* antara amplitudo getaran dan variasi yang diujikan.

2.4 Hipotesis

Hipotesa yang dibuat pada penelitian ini yaitu pengaruh putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran benda kerja aluminium 6061 pada proses drilling. Jadi semakin tinggi Putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat maka getaran yang timbul akan besar, begitu pula sebaliknya jika semakin rendah putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat maka getaran yang timbul akan kecil.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang digunakan untuk menguji dengan menambahkan beberapa perlakuan variasi, sehingga nanti akan didapatkan data besar getaran setiap penambahan variabel yang diujikan.

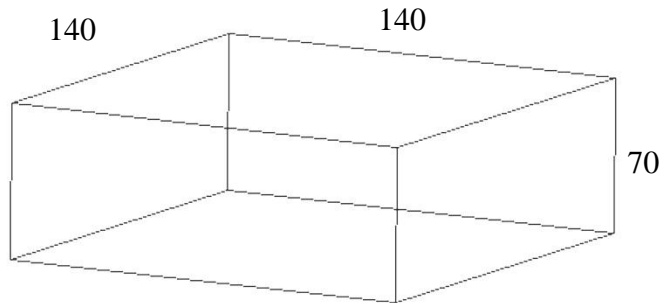
3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian getaran dilaksanakan di laboratorium Pemesinan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Waktu penelitian berlangsung selama kurang lebih 1 bulan yaitu dimulai dari bulan April 2014.

3.3 Bahan dan Alat

3.3.1 Bahan

Material atau benda kerja yang digunakan adalah Aluminium 6061 dengan ukuran panjang 140 mm, lebar 140 mm sedangkan tebal 70 mm seperti yang di tunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Profil benda kerja

3.3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a) Mesin Drill merek Kao Ming model KMR - 700DS seperti pada gambar 3.2. Dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Putaran spindle 136 rpm- 1250 rpm.
 - Gerak makan 0.07 mm/putaran, 0.13 mm/putaran, 0.22 mm/putaran.
 - Mampu cekam pahat diameter 8 mm – 15mm.
 - Buatan Taiwan tahun 1998.
- b) Pahat HSS (*High Speed Steel*) dengan sudut mata pahat 90°, 100° dan 118°.
- c) Jangka Sorong
- d) Kunci Sok
- e) Kunci Ring
- f) Kunci Pas
- g) Rangkaian alat ukur getaran



Gambar 3.2 Mesin drilling

Sumber : ITS Surabaya

3.4 Variabel Pengukuran

Variabel yang diberikan pada penelitian ini adalah variabel bebas, yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan yaitu:

- a. Putaran spindel (*spindle speed*), dengan variasi 136 rpm, 368 rpm, 681 rpm.
- b. Gerak makan atau *feeding* yang digunakan adalah : 0.07 mm/put, 0.13 mm/put, 0,22 mm/put.
- c. Pahat HSS sudut mata pahat 90°, 100°, 118° dengan diameter 14 mm.

Variabel terikat yaitu variable yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variable bebas. Variable terikat dalam penelitian ini adalah getaran.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode sebagai berikut:

3.5.1 Prosedur Proses *Drilling*

- a. Menyiapkan benda kerja yang akan diuji.
- b. Memotong benda kerja sesuai ukuran.
- c. Menyiapkan alat-alat yang diperlukan untuk melakukan proses drill, kunci pas, kunci sok dan jangka sorong.
- d. Menyiapkan pahat yang akan digunakan adalah pahat HSS (*High Speed Steel*), dengan sudut mata pahat 90° , 100° , 118° dengan diameter 14 mm.
- e. Memasang pahat pada *toolholder*.
- f. Memasang benda kerja yang akan dilakukan drill pada *chuck*, kemudian kencangkan.
- g. Mengatur variabel yang akan digunakan.
- h. Menghidupkan mesin dan melakukan proses drill dengan variabel yang telah ditentukan hingga selesai.
- i. Setelah selesai dilakukan semua proses drill, mesin drill dimatikan dan dibersihkan.

3.5.2 Prosedur Pengambilan Data Getaran pada Mesin

- a. Menyiapkan alat-alat yang digunakan untuk pengukur getaran antara lain, sensor pendeteksi getaran atau *accelerometer*, *charge amplifier*, ADC dan computer.
- b. Memasang sensor getaran (*accelerometer*) pada *benda kerja*, alat ini berfungsi sebagai sensor sinyal amplitudo getaran pada saat terjadi proses drilling.
- c. Menghubungkan sensor getaran ke *charge amplifier*, agar sinyal getaran dapat dikuatkan sehingga bisa ditampilkan.

- d. Menghubungkan *charge amplifier* ke ADC (*Analog to Digital Converter*), agar sinyal yang tadinya berupa analog dapat dikonversi ke digital dan bisa muncul di computer.
- e. Setelah dari ADC kemudian dihubungkan ke komputer untuk menampilkan data hasil uji getaran.
- f. Setelah alat pengukur getaran terangkai, mulai lakukan proses *drilling* dengan variabel yang telah ditentukan,
- g. Setiap melakukan pengamatan, mencatat hasil pengukuran kedalam tabel penyajian data.

3.5.3 Penyimpanan Data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan percobaan dengan variasi perubahan putaran spindle, variasi perubahan gerak makan dan variasi perubahan sudut mata pahat untuk mendapatkan tujuan utama dari penelitian ini yaitu amplitudo yang dihasilkan tiap variasi. Dari data yang diperoleh tiap percobaan akan disajikan dalam Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Pengukuran getaran hasil proses drilling

No	Putaran spindle (rpm)	Gerak Makan (mm/putaran)	Sudut Pahat (°)	Getaran (m/s ²)
1	136	0.07	90	
2			100	
3			118	
4		0.13	90	
5			100	
6			118	
7		0.22	90	
8			100	
9			118	
10	368	0.07	90	
11			100	
12			118	
13		0.13	90	
14			100	
15			118	
16		0.22	90	
17			100	
18			118	
19	681	0.07	90	
20			100	
21			118	
22		0.13	90	
23			100	
24			118	
25		0.22	90	
26			100	
27			118	

3.6 Metode Penyelesaian

Analisis dan pengujian data yang diperoleh pada saat penelitian akan diuji menggunakan metode analisis regresi linier berganda. Untuk mengetahui pengaruh antara putaran spindle, gerak makan dan sudut mata pahat terhadap getaran *Benda kerja* hasil proses pemesinan *drilling* serta untuk memudahkan penganalisaan dan menarik kesimpulan dari hasil percobaan, maka digunakan asumsi bahwa getaran *benda kerja* merupakan fungsi dari *spindle speed* (n), *feeding rate* (f), dan *sudut mata pahat* ($2\kappa_r$) dengan demikian dapat dituliskan fungsi sebagai berikut:

$$A = \beta (n.f. 2\kappa_r) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana :

- A = Getaran
- β = Pernyataan fungsi
- n = Putaran *spindle*
- f = Gerak makan
- $2\kappa_r$ = Sudut mata pahat

dari fungsi diatas dapat dirubah menjadi bentuk persamaan matematis sebagai berikut:

$$A = \beta_0 . n^{\beta_1} . f^{\beta_2} . 2\kappa_r^{\beta_3} \dots\dots\dots(3.2)$$

Untuk merubah kedalam bentuk linier maka bentuk tersebut diatas perlu ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma, sehingga menjadi:

$$\text{Log } A = \text{log } \beta_0 + \beta_1 \text{ log } n + \beta_2 \text{ log } f + \beta_3 \text{ log } 2\kappa_r \dots\dots\dots(3.3)$$

Persamaan diatas masih perlu ditransformasikan menjadi bentuk/model persamaan regresi linier multiple menjadi:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan transformasi

$$Y = \text{log } A, X_1 = \text{Log } n, X_2 = \text{Log } f, X_3 = \text{Log } 2\kappa_r, \alpha = \text{Log } \beta_0 \dots\dots\dots(3.5)$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan atau korelasi antara Y terhadap variabel $X_1, X_2,$ dan X_3 dengan menentukan nilai/harga konstanta α , harga

koefisien X_1 , X_2 , dan X_3 berupa β_1 , β_2 , dan β_3 . Untuk menentukan konstanta dan koefisien-koefisien tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak atau *software* SPSS 16.0. Dari hasil pengolahan data didapatkan persamaan regresi, analisa variansi dan hubungan antara variabel bebas dan variabel respon satu persatu serta dapat pula diketahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai penyimpangan geometri yang didapatkan melalui percobaan. Agar didapatkan kesimpulan yang akurat maka perlu dilakukan pengujian-pengujian terhadap regresi.

3.7 Syarat Regresi Linear Berganda

Uji asumsi klasik adalah persyaratan statistik yang harus dipenuhi pada analisis regresi linear berganda. Tidak semua uji asumsi klasik harus dilakukan pada analisis regresi, misalnya uji multikolinearitas tidak dilakukan pada analisis regresi linear sederhana dan uji autokorelasi tidak perlu diterapkan pada data *cross sectional*. Uji asumsi klasik yang sering digunakan yaitu uji normalitas, uji multikolinearitas, uji linearitas dan uji autokorelasi.

Tidak ada ketentuan yang pasti tentang urutan uji mana dulu yang harus dipenuhi. Analisis dapat dilakukan tergantung pada data yang ada. Sebagai contoh, dilakukan analisis terhadap semua uji asumsi klasik, lalu dilihat mana yang tidak memenuhi persyaratan. Kemudian dilakukan perbaikan pada uji tersebut, dan setelah memenuhi persyaratan, dilakukan pengujian pada uji yang lain.

3.7.1 Persyaratan untuk Statistik Parametrik

1. Uji Normalitas

Uji normalitas adalah untuk melihat apakah nilai residual terdistribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik adalah memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Jadi uji normalitas bukan dilakukan pada masing-masing variabel tetapi pada nilai residualnya.

Pengertian normal secara sederhana dapat dianalogikan dengan sebuah kelas. Dalam kelas siswa yang bodoh sekali dan pandai sekali jumlahnya hanya sedikit dan

sebagian besar berada pada kategori sedang atau rata-rata. Jika kelas tersebut bodoh semua maka tidak normal, atau sekolah luar biasa. Dan sebaliknya jika suatu kelas banyak yang pandai maka kelas tersebut tidak normal atau merupakan kelas unggulan.

Uji normalitas yang umum digunakan adalah dengan uji Kolmogorov Smirnov.

Perumusan hipotesa untuk uji normalitas, yaitu :

H_0 : data normal

H_a : data tidak normal

Dasar pengambilan keputusan untuk uji normalitas :

Signifikansi > 0.05 (H_0 diterima)

Signifikansi < 0.05 (H_0 ditolak)

Signifikansi pengujian ini dapat dicari dengan rumus:

$$KS = |S(z_i) - P(z_i)|$$

$$z_i: \frac{(e_i - e)}{s}$$

Dengan:

z_i : tranformasi dari nilai e_i

e_i : nilai galat, $e_i = Y_i - y_i$

Y_i : variabel terikat diperoleh dari percobaan

y_i : variabel terikat diperoleh dari dugaan rumus

e : rata – rata nilai galat

s : simpangan baku nilai galat

$S(z_i)$: peluang z_i

$P(z_i)$: peluang proporsional z_i

Jika residual tidak normal tetapi dekat dengan nilai kritis (misalnya signifikansi Kolmogorov Smirnov sebesar 0.049) maka dapat dicoba dengan metode lain yang mungkin memberikan justifikasi normal. Tetapi jika jauh dari nilai normal,

maka dapat dilakukan beberapa langkah yaitu: melakukan transformasi data, melakukan trimming data outliers atau menambah data observasi.

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah data sampel diperoleh dari populasi yang bervariasi homogen atau tidak. Apabila asumsi data sampel berasal dari populasi yang homogen ini tidak terpenuhi, maka kondisi ini menunjukkan bahwa ragam (\mathcal{E}_i) dari masing-masing sampel tidak sama. Apabila terjadi kecenderungan ragam nilai penelitian yang makin besar akibat dari nilai penelitian yang makin besar pula, maka menunjukkan bahwa populasi tersebut tidak bersifat homogen. Oleh karena itu, sebaiknya masing-masing pengamatan mempunyai ragam yang sama, tidak ada kecenderungan ragam makin besar. Untuk melakukan pengujian homogenitas populasi penelitian diperlukan hipotesa sebagai berikut:

H_0 : Data populasi bervariasi homogen

H_a : Data populasi tidak bervariasi homogen .

Uji Homogenitas yang umum digunakan adalah uji Levene Statistic. Untuk menyatakan apakah data berasal dari populasi yang bervariasi homogen atau tidak homogen. Alternatif ukuran yang dapat digunakan untuk menerima atau menolak H_0 .

Menggunakan nilai koefisien F Levene. Apabila ukuran ini digunakan, maka nilai koefisien F Levene tersebut harus dibandingkan dengan nilai kritis F pada tabel. Kriteria pengujian yang digunakan yaitu:

H_0 ditolak bila harga koefisien F Levene $>$ nilai kritis F tabel pada df1 dan df2 yang sesuai.

H_0 diterima bila harga koefisien F Levene \leq nilai kritis F tabel pada df1 dan df2 yang sesuai.

3.7.2 Uji Persyaratan Regresi Linear Berganda

1. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas adalah untuk melihat ada atau tidaknya korelasi yang tinggi antara variabel-variabel bebas dalam suatu model regresi linear berganda. Jika ada korelasi yang tinggi di antara variabel-variabel bebasnya, maka hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikatnya menjadi terganggu.

Metode yang sering dipergunakan untuk menguji gangguan multikolinearitas adalah dengan variance inflation factor (VIF), dengan asumsi variabel bebas X_i tidak terjadi multikolinearitas jika nilai VIF kurang dari 10.

Perumusan hipotesa untuk uji multikolinearitas adalah :

H_0 : tidak ada multikolinearitas

H_a : terjadi multikolinearitas

Pengambilan keputusan :

Jika $VIF > 10$ (H_0 ditolak)

Jika $VIF < 10$ (H_0 diterima)

Cara lain untuk mendeteksi ada tidaknya multikolinearitas yaitu dengan mengkorelasikan seluruh variabel bebas. Apabila nilai koefisien korelasi $r \geq 0.8$ maka diindikasikan adanya multikolinearitas.

Dengan rumus:

$$r = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n\sum X^2 - (n\sum X)^2} \sqrt{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

Indikator lainnya yang menunjukkan adanya multikolinearitas adalah nilai F yang sangat tinggi (signifikan), tetapi nilai t pada setiap variabel bebas X tidak ada yang signifikan.

Beberapa alternatif cara untuk mengatasi masalah multikolinearitas adalah sebagai berikut:

- a. Mengganti atau mengeluarkan variabel yang mempunyai korelasi yang tinggi.
- b. Menambah jumlah observasi.

Mentransformasikan data kedalam bentuk lain, misalnya logaritma natural, akar kuadrat atau bentuk first difference delta.

2. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi adalah untuk melihat apakah terjadi korelasi antara suatu periode t dengan periode sebelumnya ($t - 1$). Secara sederhana adalah bahwa analisis regresi adalah untuk melihat pengaruh antara variabel bebas terhadap variabel terikat, jadi tidak boleh ada korelasi antara observasi dengan data observasi sebelumnya.

Uji autokorelasi hanya dilakukan pada data time series (runtut waktu) dan tidak perlu dilakukan pada data cross section seperti pada kuesioner dimana pengukuran semua variabel dilakukan secara serempak pada saat yang bersamaan. Sebagaimana dalam uji linearitas dan uji multikolinear, untuk mengetahui ada tidaknya autokorelasi perlu juga dikemukakan hipotesa dengan bentuk sebagai berikut:

H_0 : Tidak terjadi autokorelasi diantara data pengamatan

H_a : Terjadi adanya autokorelasi diantara data pengamatan

Ada tidaknya autokorelasi dalam penelitian ini dideteksi dengan menggunakan uji Durbin-Watson (DW). Dasar pengambilan keputusan uji autokorelasi DW sebagai berikut :



Jika $0 < DW < D_L$, maka terdapat positif autokorelasi

Jika $D_L \leq DW \leq D_U$, maka tidak ada keputusan

Jika $D_U < DW < 4 - D_U$, maka tidak terdapat autokorelasi

Jika $4 - D_U \leq DW \leq 4 - D_L$, maka tidak ada keputusan

Jika $4-D_L < DW < 4$, maka terdapat negatif autokorelasi

Nilai DL dan DU dapat diketahui dari tabel Durbin Watson dengan menentukan taraf signifikan 0.05 dan n jumlah data serta k jumlah variabel bebas.

Sedangkan nilai DW dapat dicari dengan rumus berikut:

$$DW = \frac{\sum(e_i - e_{i-1})^2}{\sum e_i^2}$$

Dengan:

e_i : nilai galat, $e_i = Y_i - y_i$

Y_i : variabel terikat diperoleh dari percobaan

y_i : variabel terikat diperoleh dari dugaan rumus

Beberapa cara untuk menanggulangi masalah autokorelasi adalah dengan mentransformasikan data atau bisa juga dengan mengubah model regresi ke dalam bentuk persamaan beda umum (generalized difference equation). Selain itu juga dapat dilakukan dengan memasukan variabel lagi dari variabel terikatnya menjadi salah satu variabel bebas sehingga data observasi berkurang satu.

3. Uji Linearitas

Uji linearitas dipergunakan untuk melihat apakah model yang dibangun mempunyai hubungan linear atau tidak. Uji ini jarang digunakan pada berbagai penelitian, karena biasanya model dibentuk berdasarkan telaah teoretis bahwa hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikatnya adalah linear. Hubungan antar variabel yang secara teori bukan merupakan hubungan linear sebenarnya sudah tidak dapat dianalisis dengan regresi linear, misalnya masalah elastisitas.

Jika ada hubungan antara dua variabel yang belum diketahui apakah linear atau tidak, uji linearitas tidak dapat digunakan untuk memberikan penjelasan bahwa hubungan tersebut bersifat linear atau tidak. Uji linearitas digunakan untuk mengkonfirmasi apakah sifat linear antara dua variabel yang diidentifikasi

secara teori sesuai atau tidak dengan hasil observasi yang ada. Uji linearitas dapat menggunakan uji Durbin-Watson.

Perumusan hipotesa untuk uji linearitas, yaitu :

H_0 : hubungan antara variabel bebas dan terikat adalah linear

H_a : hubungan antara variabel bebas dan terikat tidak linear

Pengambilan keputusan :

Signifikansi > 0.05 (H_0 diterima)

Signifikansi < 0.05 (H_0 ditolak)

4. Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dilakukan untuk mengetahui apakah dalam sebuah model regresi terjadi ketidaksamaan varian dari residual satu pengamatan kepengamatan lain. Jika varians dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain tetap, maka disebut Homokedastisitas. Dan jika varians berbeda, maka disebut Heteroskedastisitas.

Diagnosa adanya Heteroskedastisitas secara kuantitatif dalam suatu regresi dapat dilakukan dengan pengujian korelasi rank Spearman. Hipotesis dalam pengujian ini adalah:

H_0 : tidak terdapat Heteroskedastisitas

H_a : terdapat Heteroskedastisitas

Menggunakan harga koefisien korelasi Spearman. Apabila koefisien ini yang digunakan, Maka harus dibandingkan dengan harga koefisien korelasi tabel untuk $df = N-1-1$ dengan alpha yang ditetapkan. Apabila r hitung $< r$ tabel maka tidak terjadi heteroskedastisitas diantara data pengamatan tersebut, yang berarti menerima H_0 dan apabila r hitung $> r$ tabel. Maka terjadi heteroskedastisitas diantara data hasil pengamatan tersebut, yang berarti menolak H_0 .

Dasar pengambilan keputusan adalah:

Jika signifikansi > 0.05 (H_0 diterima)

Jika signifikansi < 0.05 (H_0 ditolak)

3.8 Analisis Regresi Berganda

1. Uji Kesesuaian Model (Uji F)

Uji F dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat.

Langkah-langkah atau urutan menguji hipotesa dengan distribusi F:

a. Merumuskan hipotesa

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, berarti secara bersama-sama tidak ada pengaruh variabel X1, X2, X3 terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$, berarti secara bersama-sama ada pengaruh variabel X1, X2, X3 terhadap variabel terikat.

b. Menentukan taraf nyata atau level of significance = α

Taraf nyata atau derajat keyakinan yang digunakan sebesar $\alpha = 5\%$.

Derajat bebas (df) dalam distribusi F yaitu :

$$df_1 = k - 1$$

$$df_2 = n - k - 1$$

Dengan:

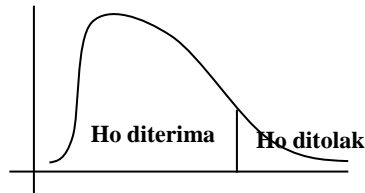
df = degree of freedom atau derajat kebebasan

n = Jumlah sampel

k = banyaknya variabel bebas

c. Menentukan daerah keputusan

H_0 ditolak apabila F hitung $>$ F tabel, artinya semua variabel bebas secara bersama-sama merupakan penjelas yang signifikan terhadap variabel terikat.



Keputusan bisa menerima H_0 atau menolak H_0 .

2. Uji Individual (Uji t)

a. Merumuskan hipotesa

Cara yang digunakan adalah dengan melihat level significant = 5% masing-masing variabel bebas. Jika nilai signifikansi lebih kecil dari 5% maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Sedangkan formula H_0 dan H_a , (H_0 ditolak jika, $t_{hitung} > t_{\alpha/2}$ atau $t_{hitung} < -t_{\alpha/2}$)

adalah sebagai berikut.

$X_1 : H_0 : \beta_1 = 0$ artinya tidak ada pengaruh yang berarti antara variabel X_1 secara parsial terhadap variabel terikat.

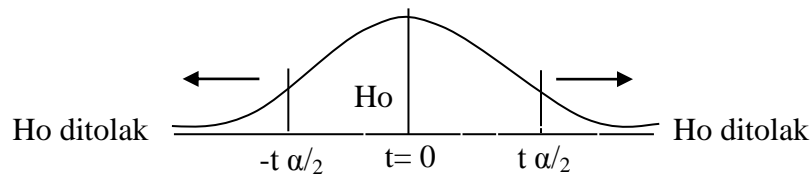
$H_a : \beta_1 \neq 0$ artinya ada pengaruh yang berarti antara variabel X_1 secara parsial terhadap variabel terikat.

$X_2 : H_0 : \beta_2 = 0$ artinya tidak ada pengaruh yang berarti antara variabel X_2 secara parsial terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_2 \neq 0$ artinya ada pengaruh yang berarti antara variabel X_2 secara parsial terhadap variabel terikat.

$X_3 : H_0 : \beta_3 = 0$ artinya tidak ada pengaruh yang berarti antara variabel X_3 secara parsial terhadap variabel terikat.

$H_a : \beta_3 \neq 0$ artinya ada pengaruh yang berarti antara variabel X_3 secara parsial terhadap variabel terikat.



3. Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien Determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur kontribusi variasi variabel bebas X_i terhadap variasi variabel terikat Y dalam kaitannya dengan persamaan $Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$. Selain itu, digunakan untuk menentukan apakah persamaan regresi berganda Y terhadap X_1, X_2, X_3

sudah cocok untuk digunakan sebagai pendekatan atas hubungan antar variabel berdasarkan hasil observasi.

Makin besar nilai R^2 , berarti makin tepat persamaan regresi digunakan sebagai suatu pendekatan. Apabila nilai $R^2=1$, maka pendekatan itu betul-betul tepat. Sebagai hasil analisis suatu penelitian, persamaan regresi selalu disertai dengan nilai R^2 sebagai ukuran kecocokan (*goodness of fit*).

R^2 dinyatakan dengan rumus:

$$R^2 = \frac{\beta_1 \Sigma x_1 y + \beta_2 \Sigma x_2 y + \beta_3 \Sigma x_3 y}{\Sigma y^2}$$

dengan:

β_i : koefisien X_i

$$\Sigma x_i y : \Sigma X_i Y - \frac{\Sigma X_i \Sigma Y}{n}$$

$$\Sigma y^2 : \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n}$$

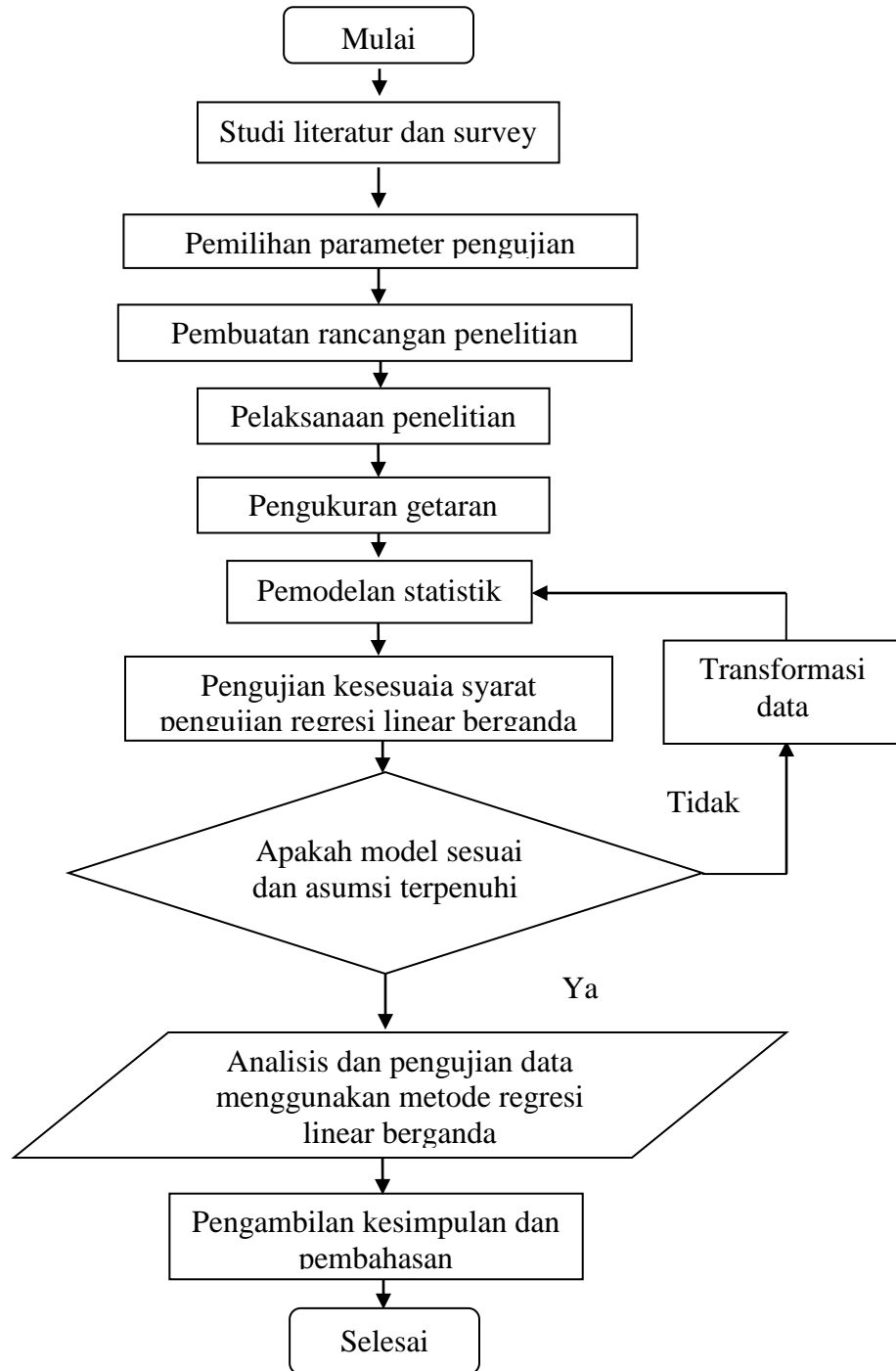
maka:

$$F_{hitung} = \frac{R^2 \cdot df}{k(1 - R^2)}$$

$$F_{tabel} = F_{\alpha(k-1, n-k-1)}$$

3.9 Flowchart Penelitian

Proses dalam penelitian ini dapat digambarkan pada *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3.3 *Flowchart* penelitian.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian serta menganalisa hasil data pengujian dapat disimpulkan bahwa:

1. Putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat berpengaruh terhadap terjadinya akselerasi getaran pada proses drilling.
2. Akselerasi getaran paling kecil diperoleh pada percobaan ke-9 dengan penggunaan putaran spindel 136 rpm, gerak makan 0.22 mm/put dan dengan sudut mata pahat 118°.
3. Akselerasi getaran paling besar diperoleh pada percobaan ke-26 dengan penggunaan putaran spindel 681 rpm, gerak makan 0.22 mm/put dan dengan sudut mata pahat 100°.
4. Persamaan getaran
$$A = 10^{3.371} * (n)^{0.627} * (f)^{0.581} * (2K_T)^{1.112}$$
5. Variabel prediktor (putaran spindel, gerak makan dan sudut mata pahat) mempunyai pengaruh sebesar 81.6% terhadap variabel respons yaitu getaran pada benda kerja.

5.2 Saran

Pada percobaan ini hanya membahas tentang pengaruh parameter-parameter pada proses drilling terhadap getaran saja. Sebaiknya perlu dikaji lebih dalam lagi seperti getaran pada proses drilling yang mengakibatkan permukaan hasil proses drilling (benda kerja) menjadi kasar dan bentuk lubang yang tidak silindris, sehingga dapat ditarik suatu hubungan antara besar getaran dengan kekasaran permukaan dan ke ovalan lubang hasil proses drilling pada benda kerja. Selain itu dapat dilakukan percobaan kembali dengan parameter – parameter yang belum ada pada penelitian ini,

seperti panjang mata pahat, sudut mata pahat diambil diatas da dibawah standar pabrik yaitu 118° .

DAFTAR PUSTAKA

- Bashori, Nuron. 2013. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat Terhadap Getaran Spindle Head Pada Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Uneversitas Jember.
- Candra, Arif. 2011. *Pengaruh Sudut Geram dan Kecepatan Potong terhadap Keausan Pahat HSS pada Proses Pendrillingan Baja S45C*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Dewantara, Ragil. 2012. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Jenis Pahat terhadap getaran spindle head hasil proses drilling*.
- Hermawan, Yuni. 2003. *Penelitian tentang Pengaruh Kecepatan Potong, gerak Makan, dan Kedalaman Potong terhadap Kesilindrisan Hasil Proses Drilling*. Tidak diterbitkan. Jember: Departemen Pendidikan Nasional Universitas Jember.
- [http://www.infokedokteran.com/Pengaruh-Kondisi-Pemotongan-Pahat-Gurdi Terhadap-Keausan-Pahat.html](http://www.infokedokteran.com/Pengaruh-Kondisi-Pemotongan-Pahat-Gurdi-Terhadap-Keausan-Pahat.html)
- <http://adepras.blogspot.com/2012/02/pengertian-mesin-bor.html>
- <http://lina-firmansyah.blogspot.com/2011/09/gelombang-transversal.html>
- <http://nondesdes.blogspot.com/2013/10/ut-mode-gelombang-suara.html>
- Mahadi, Rio. 2012. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Pemotongan Terhadap Getaran Spindel Head dan Kebulatan Hasil Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Uneversitas Jember.
- Mulyadi, Santoso. 2009. *Getaran Paksa 2 DOF dari Pahat Drill Menggunakan Program Matlab*. Jurnal Rotor Universitas Jember, 2 (2): 18-23.
- Omega, Tri. 2013. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Pahat Terhadap Getaran Benda kerja St-37 Pada Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Uneversitas Jember.
- Permana. Yuda Dewa, 2011. *Analisis Pengaruh Kecepatan Potong, Gerak Makan Terhadap Getaran Dan Kebulatan Pada Hasil Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.

- Rochim, Taufiq. 2008. *Perkakas dan Sistem Perkakas (Umur Pahat, Cairan Pendingin Pemesinan)*. Bandung: ITB. Ganesha 10.
- Rochim, Taufiq. 1993. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB.
- Sudarmanto, R. Gunawan. *(Analisis Regresi Linier Berganda Dengan SPSS)*. Graha Ilmu, 2005
- Sukma, Adriyan. 2010. *Pengaruh Spindel, Kedalaman Potong, dan Gerak Makan terhadap Getaran pada Proses Drilling*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Waluyo. Joko, 2010. *Pengaruh Putaran Spindel Utama Mesin Bor Terhadap Keausan Pahat Bor Dan Parameter Pengeboran Pada Proses Pengeboran Dengan Bahan Baja*. Surabaya: Fakultas Teknologi Industri Institut Sains dan Teknologi AKPRIND
- Wowk, Victor. 1991. *Machinery Vibration : Measurement and Analysis*.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A-1. Tabel Distribusi t

Titik Persentase Distribusi t (df = 1 – 40)

df	Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
		0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1		1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2		0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3		0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4		0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5		0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6		0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7		0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8		0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9		0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10		0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11		0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12		0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13		0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14		0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15		0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16		0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17		0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18		0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19		0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20		0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21		0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22		0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23		0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24		0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25		0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26		0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27		0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28		0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816

LAMPIRAN A-2. Tabel Distribusi F ($\alpha = 0.05$)

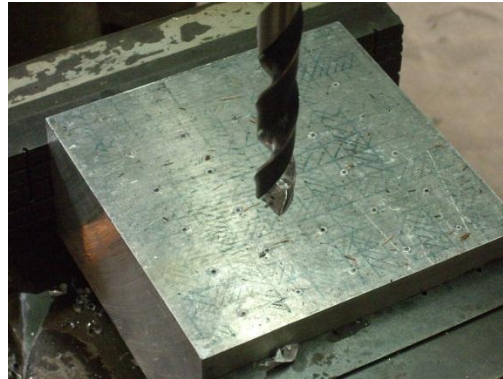
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06

LAMPIRAN A-3. Tabel Kolmogorov-Smirnov

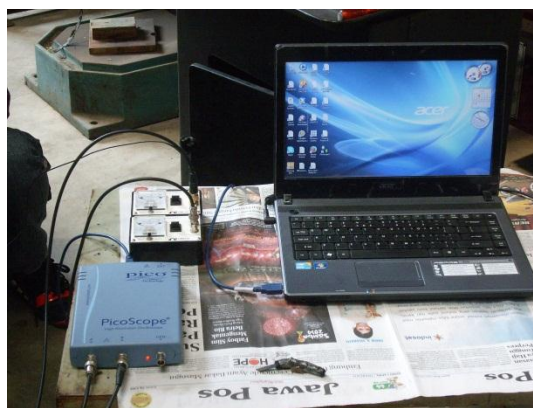
Tabel Durbin-Watson (DW), $\alpha = 5\%$

n	k=1		k=2		k=3		k=4		k=5	
	dL	dU	dL	dU	dL	dU	dL	dU	dL	dU
6	0.6102	1.4002								
7	0.6996	1.3564	0.4672	1.8964						
8	0.7629	1.3324	0.5591	1.7771	0.3674	2.2866				
9	0.8243	1.3199	0.6291	1.6993	0.4548	2.1282	0.2957	2.5881		
10	0.8791	1.3197	0.6972	1.6413	0.5253	2.0163	0.3760	2.4137	0.2427	2.8217
11	0.9273	1.3241	0.7580	1.6044	0.5948	1.9280	0.4441	2.2833	0.3155	2.6446
12	0.9708	1.3314	0.8122	1.5794	0.6577	1.8640	0.5120	2.1766	0.3796	2.5061
13	1.0097	1.3404	0.8612	1.5621	0.7147	1.8159	0.5745	2.0943	0.4445	2.3897
14	1.0450	1.3503	0.9054	1.5507	0.7667	1.7788	0.6321	2.0296	0.5052	2.2959
15	1.0770	1.3605	0.9455	1.5432	0.8140	1.7501	0.6852	1.9774	0.5620	2.2198
16	1.1062	1.3709	0.9820	1.5386	0.8572	1.7277	0.7340	1.9351	0.6150	2.1567
17	1.1330	1.3812	1.0154	1.5361	0.8968	1.7101	0.7790	1.9005	0.6641	2.1041
18	1.1576	1.3913	1.0461	1.5353	0.9331	1.6961	0.8204	1.8719	0.7098	2.0600
19	1.1804	1.4012	1.0743	1.5355	0.9666	1.6851	0.8588	1.8482	0.7523	2.0226
20	1.2015	1.4107	1.1004	1.5367	0.9976	1.6763	0.8943	1.8283	0.7918	1.9908
21	1.2212	1.4200	1.1246	1.5385	1.0262	1.6694	0.9272	1.8116	0.8286	1.9635
22	1.2395	1.4289	1.1471	1.5408	1.0529	1.6640	0.9578	1.7974	0.8629	1.9400
23	1.2567	1.4375	1.1682	1.5435	1.0778	1.6597	0.9864	1.7855	0.8949	1.9196
24	1.2728	1.4458	1.1878	1.5464	1.1010	1.6565	1.0131	1.7753	0.9249	1.9018
25	1.2879	1.4537	1.2063	1.5495	1.1228	1.6540	1.0381	1.7666	0.9530	1.8863
26	1.3022	1.4614	1.2236	1.5528	1.1432	1.6523	1.0616	1.7591	0.9794	1.8727
27	1.3157	1.4688	1.2399	1.5562	1.1624	1.6510	1.0836	1.7527	1.0042	1.8608
28	1.3284	1.4759	1.2553	1.5596	1.1805	1.6503	1.1044	1.7473	1.0276	1.8502
29	1.3405	1.4828	1.2699	1.5631	1.1976	1.6499	1.1241	1.7426	1.0497	1.8409
30	1.3520	1.4894	1.2837	1.5666	1.2138	1.6498	1.1426	1.7386	1.0706	1.8326

LAMPIRAN B. Foto Kegiatan



Benda Kerja



Rangkaian alat penguji getaran



Accelerometer pada benda kerja



Proses drilling dan pengujian



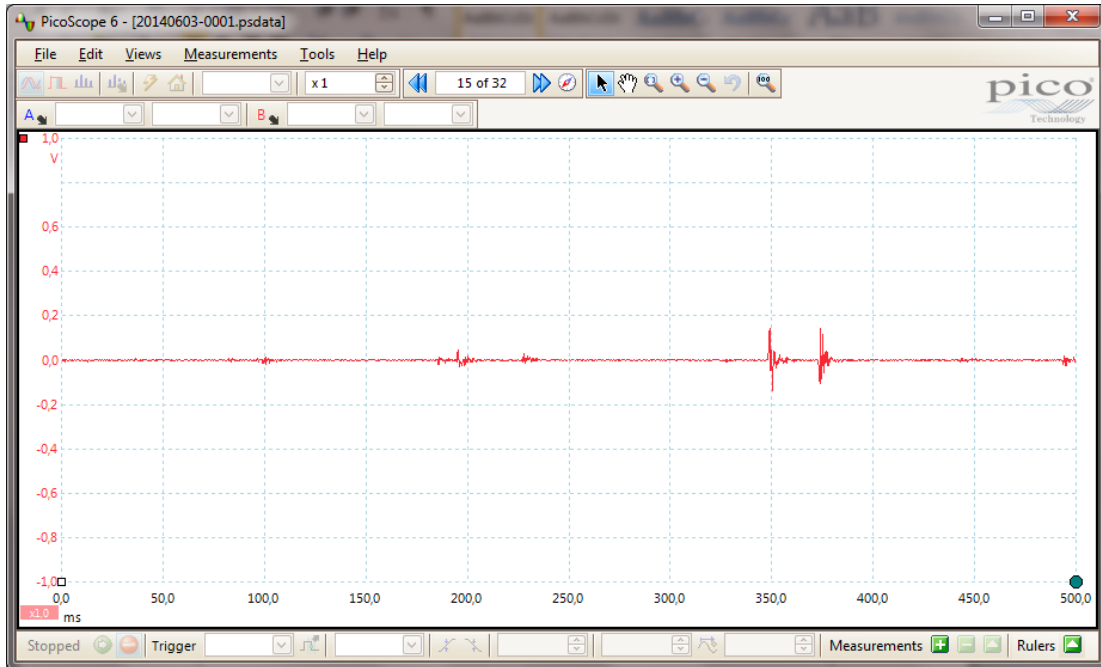
Proses drilling



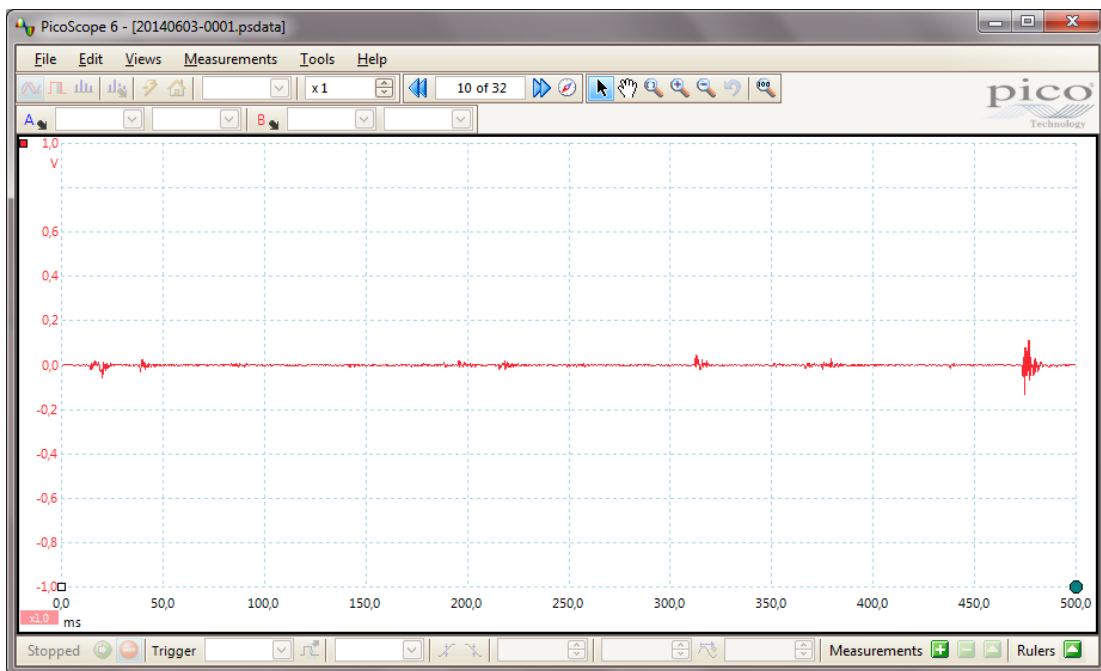
Rangkaian alat uji dan mesin drilling

LAMPIRAN C. Grafik Getaran

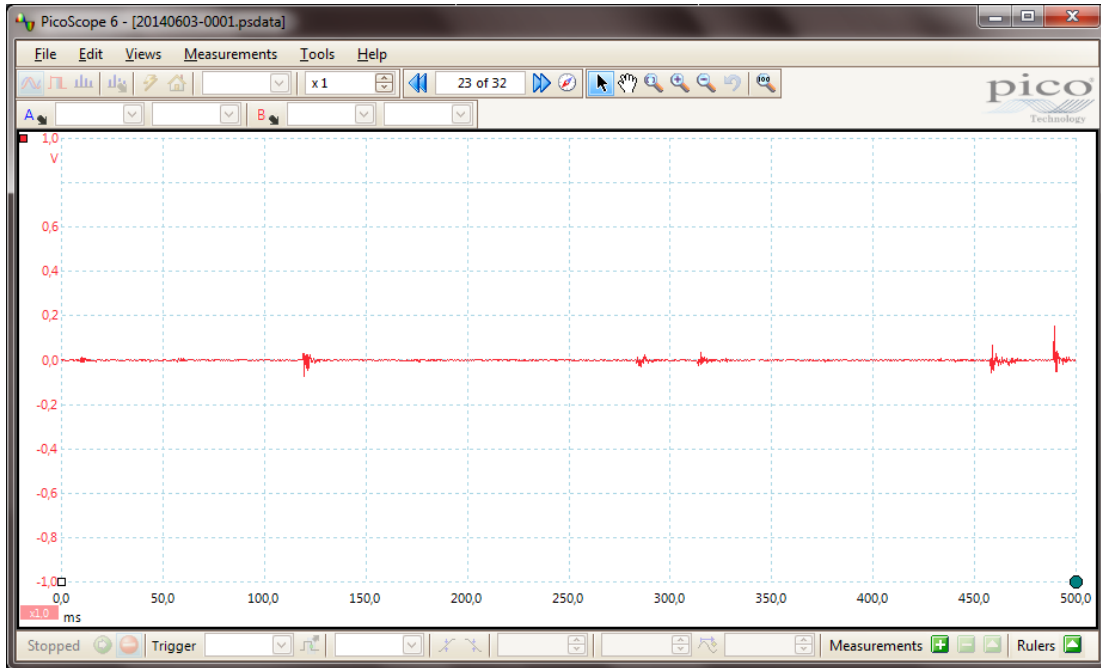
Percobaan 1



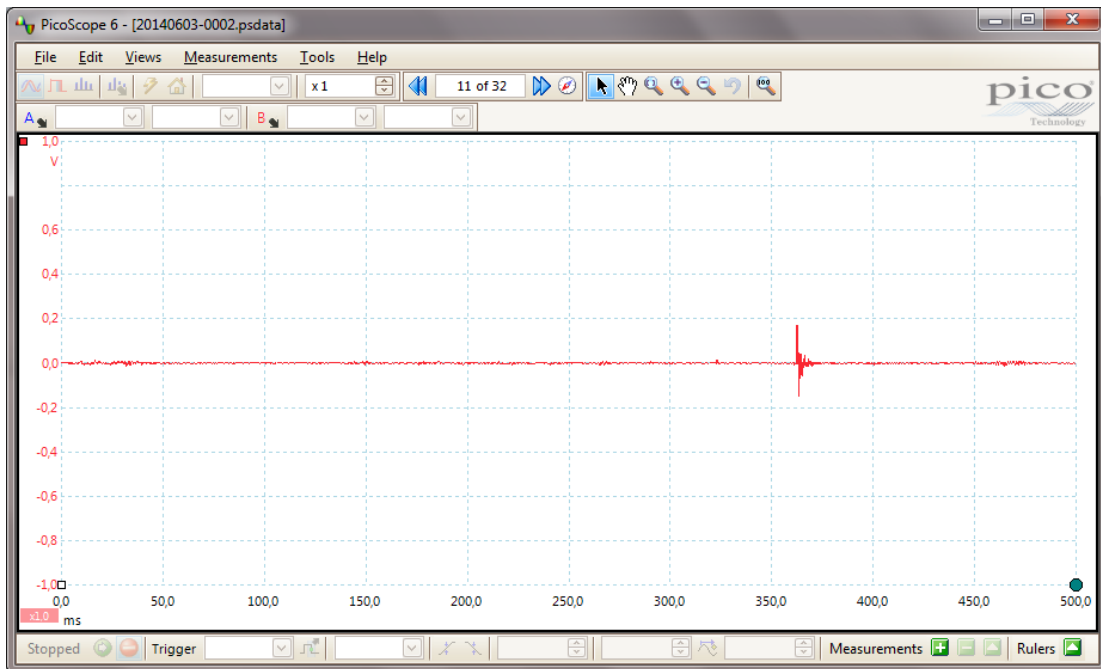
Percobaan 2



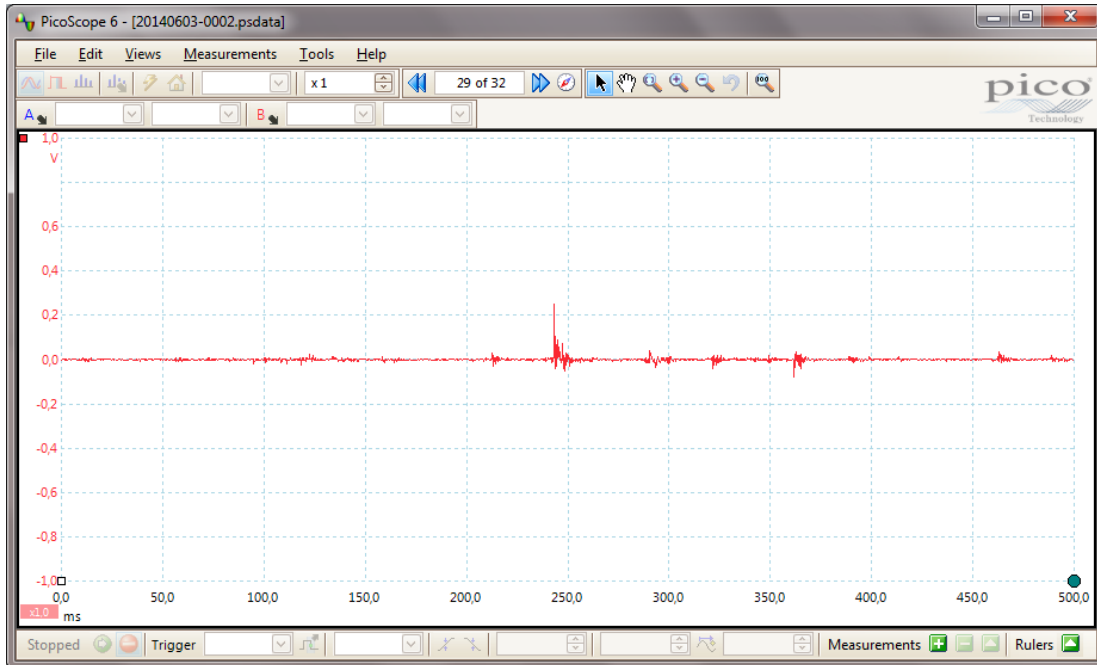
Percobaan 3



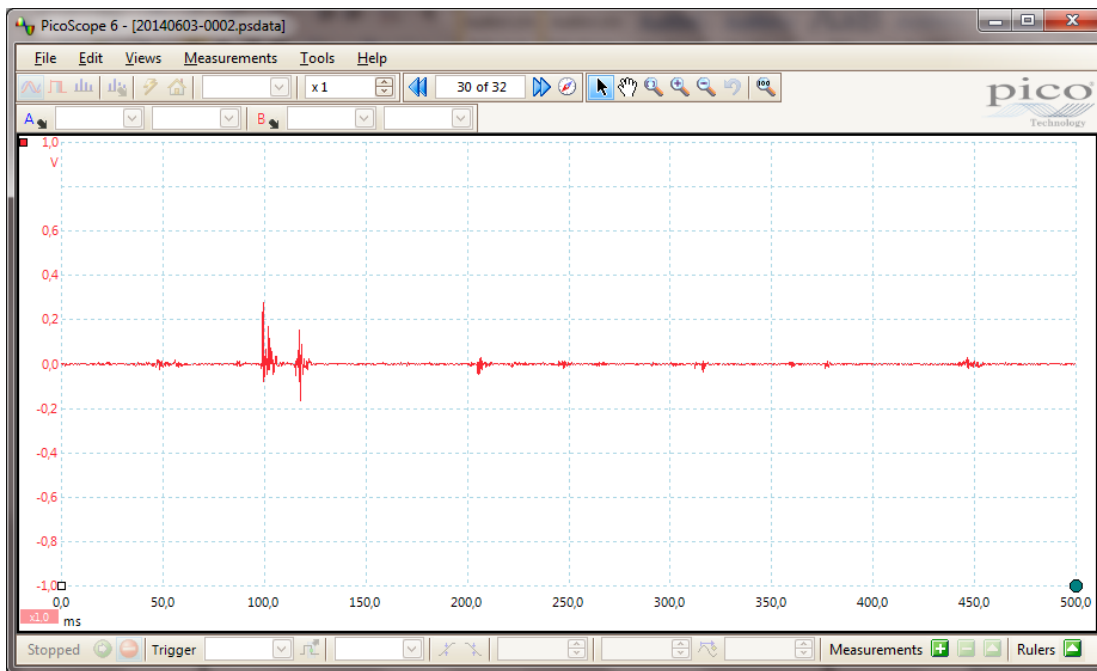
Percobaan 4



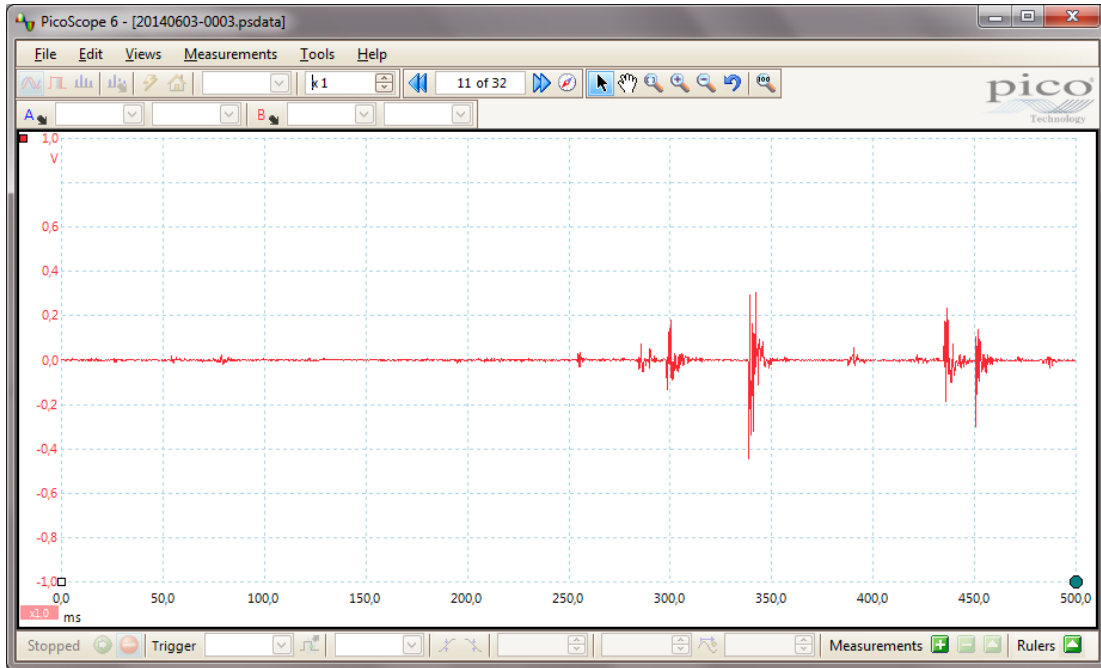
Percobaan 5



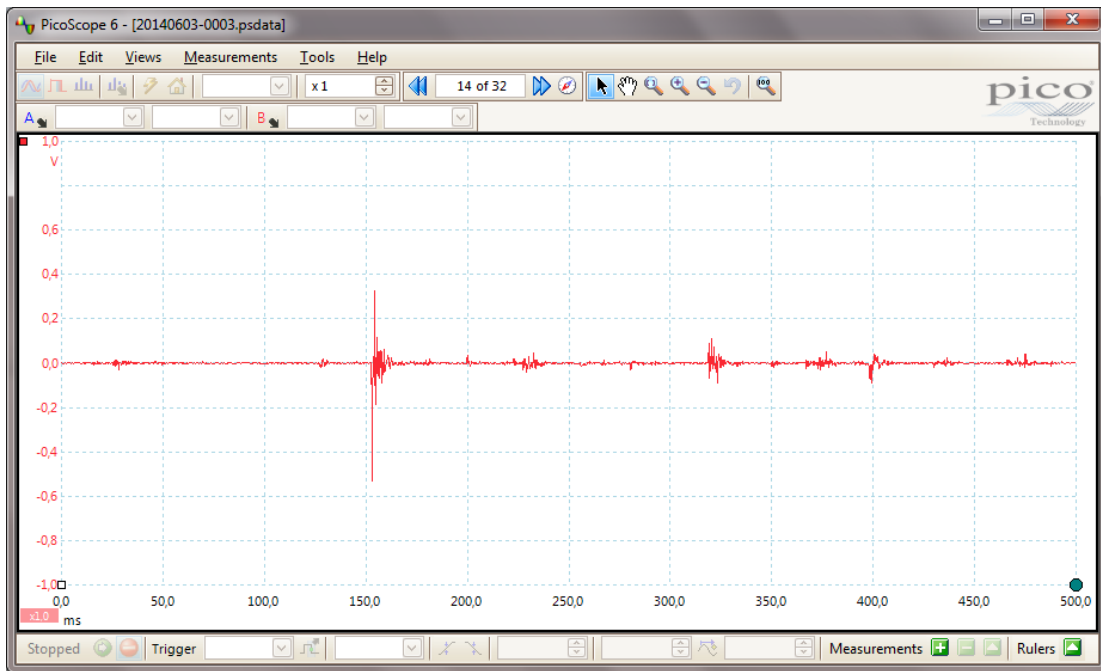
Percobaan 6



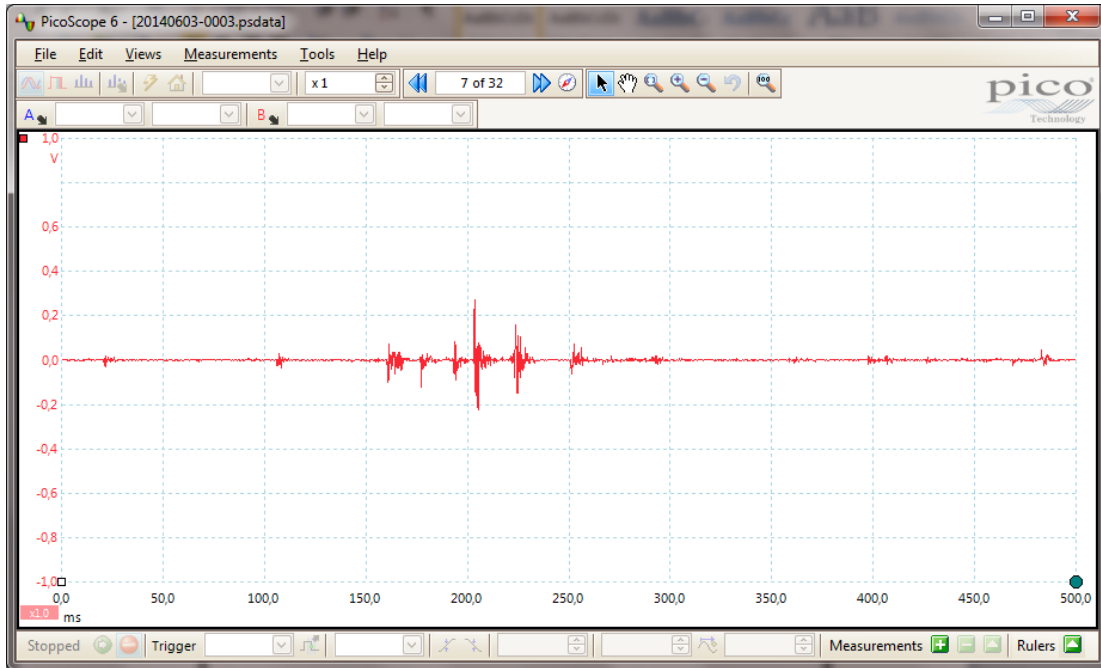
Percobaan 7



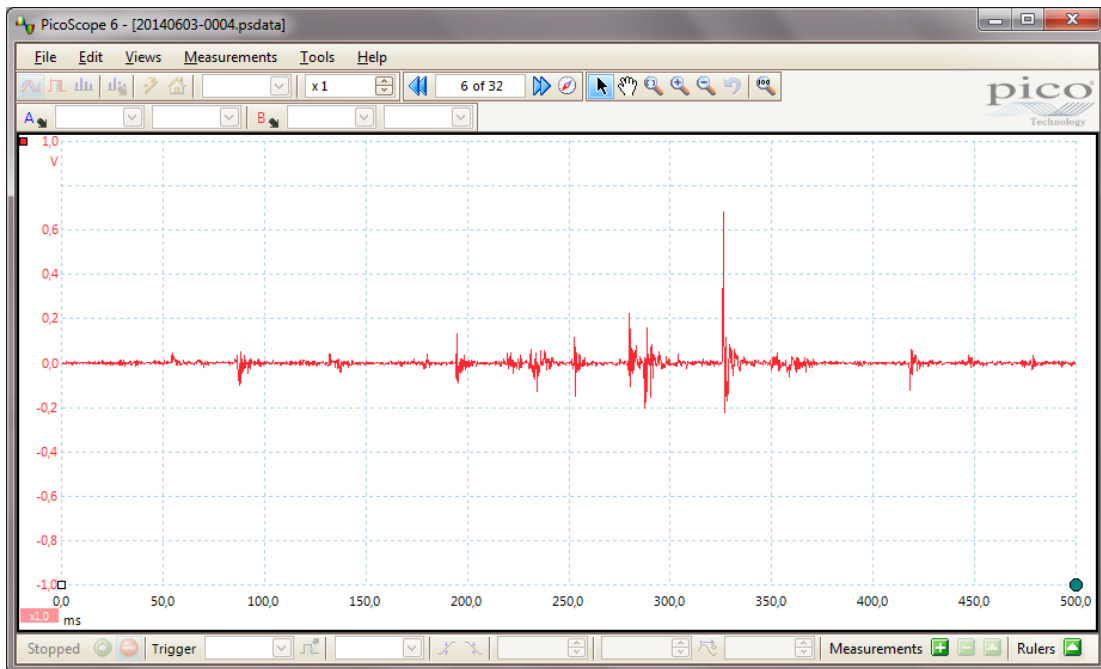
Percobaan 8



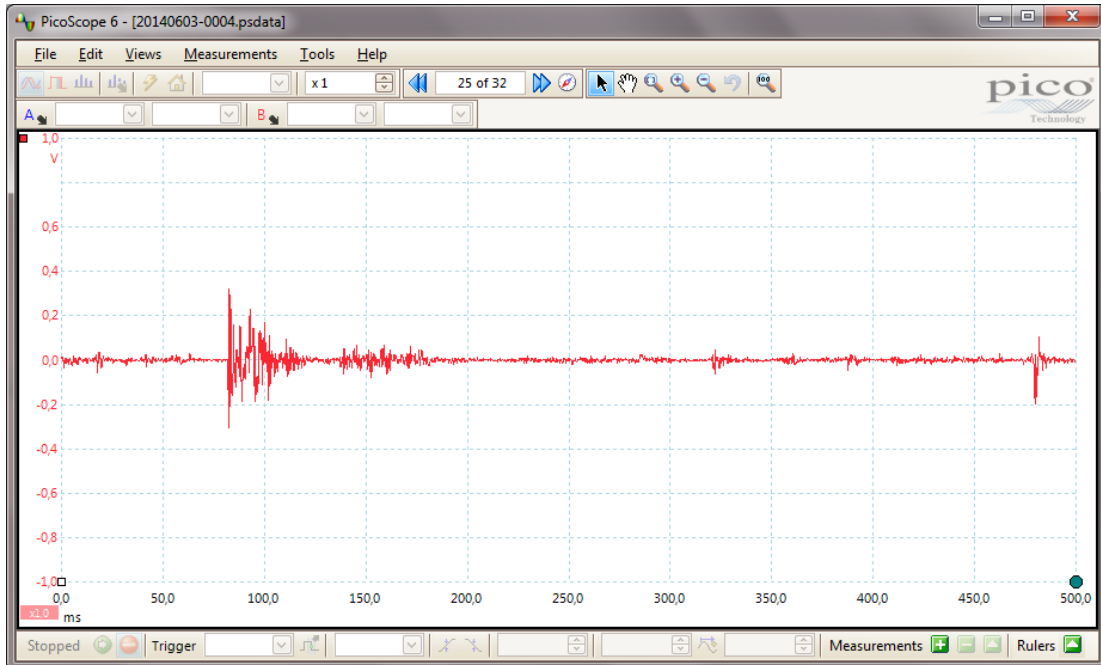
Percobaan 9



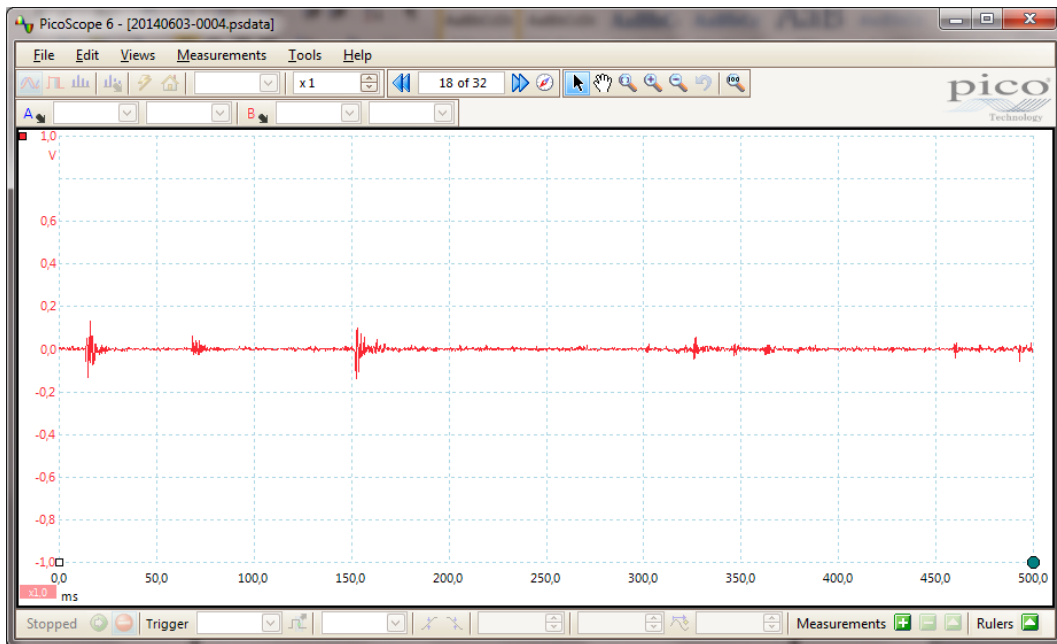
Percobaan 10



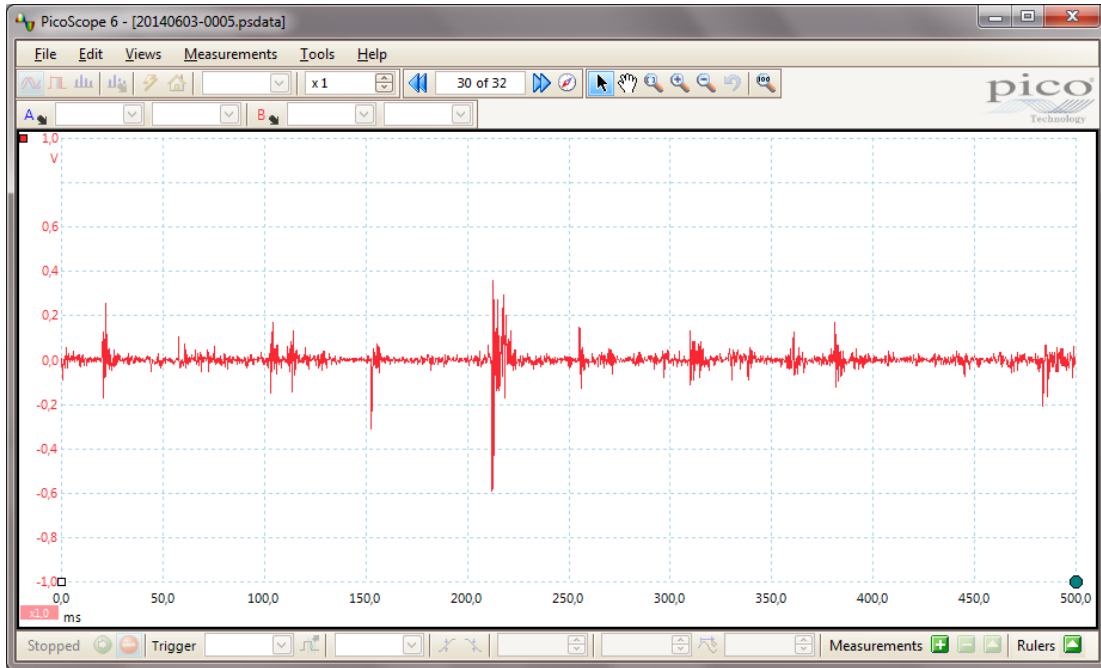
Percobaan 11



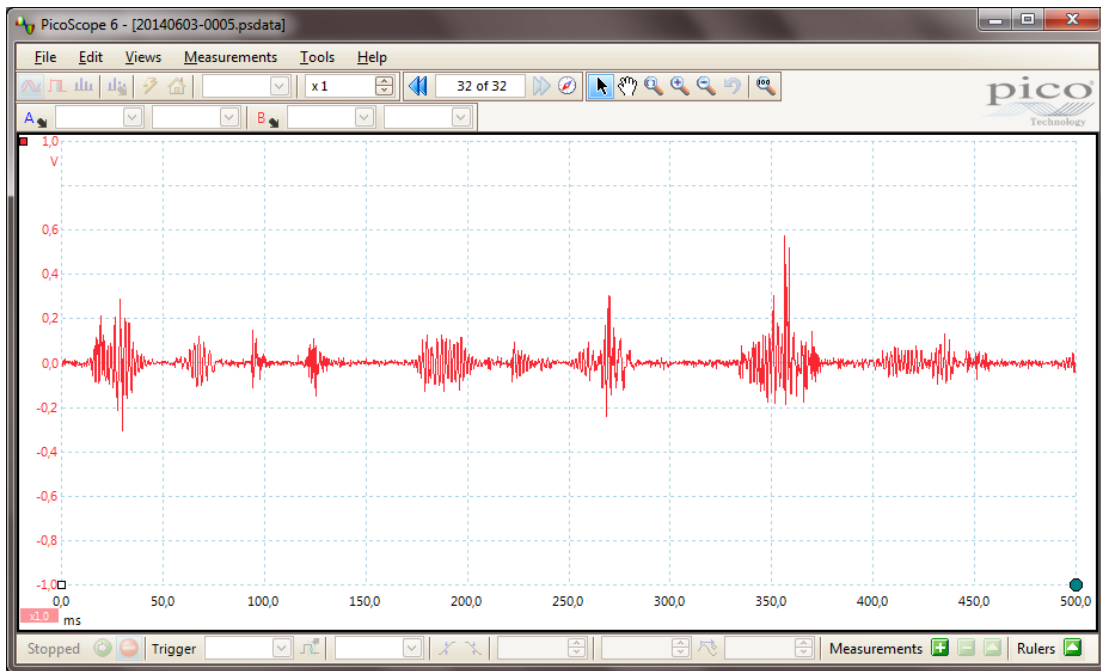
Percobaan 12



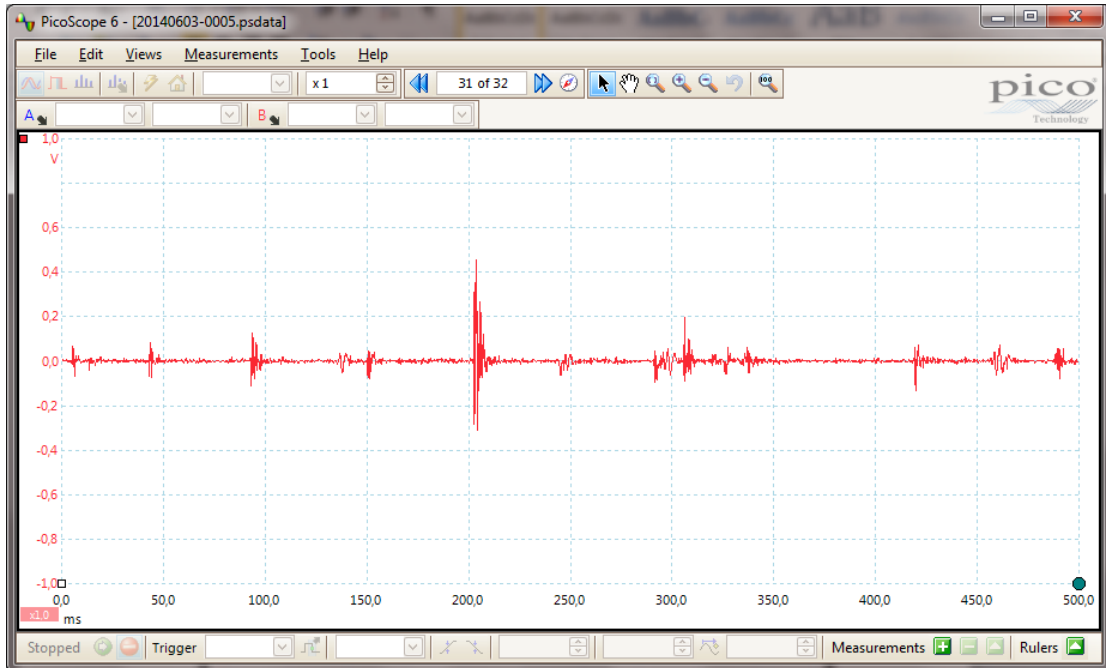
Percobaan 13



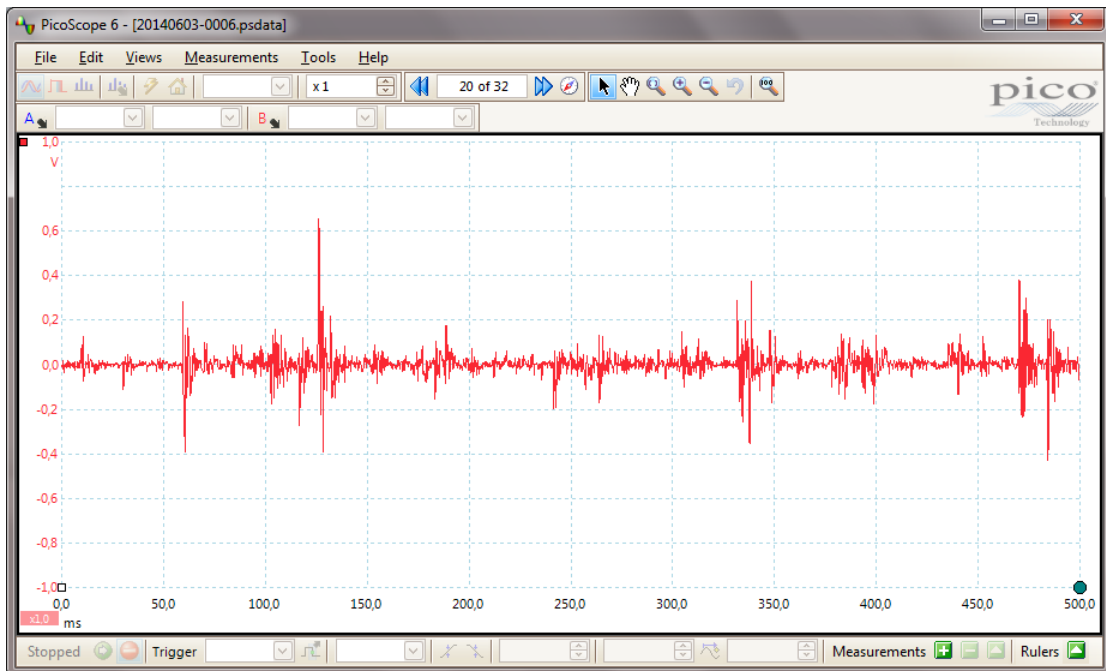
Percobaan 14



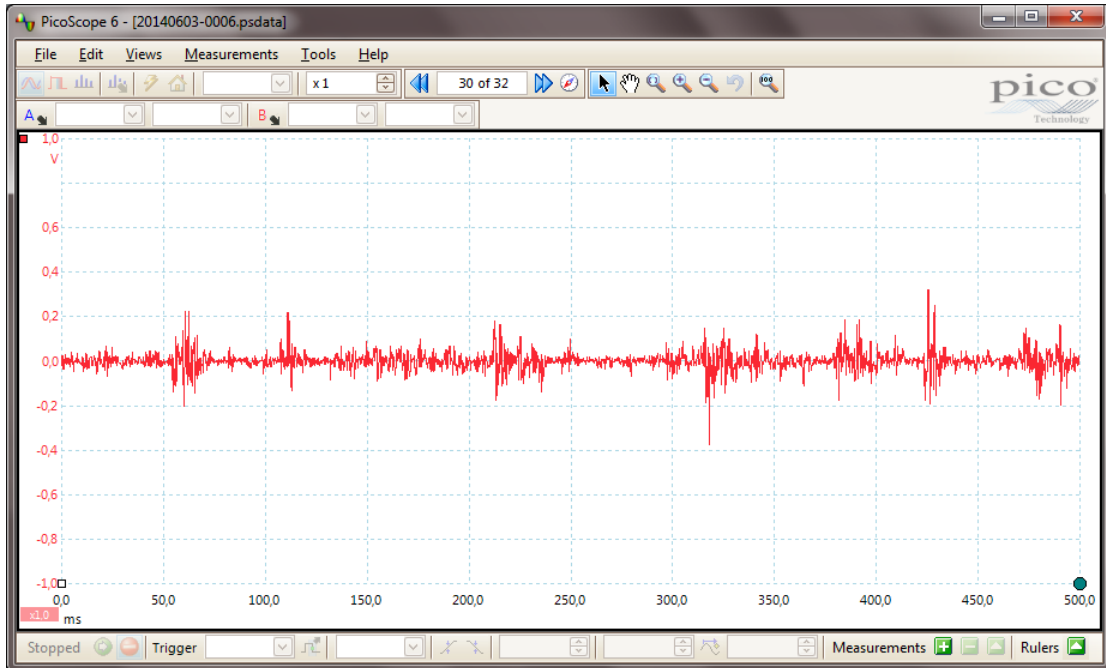
Percobaan 15



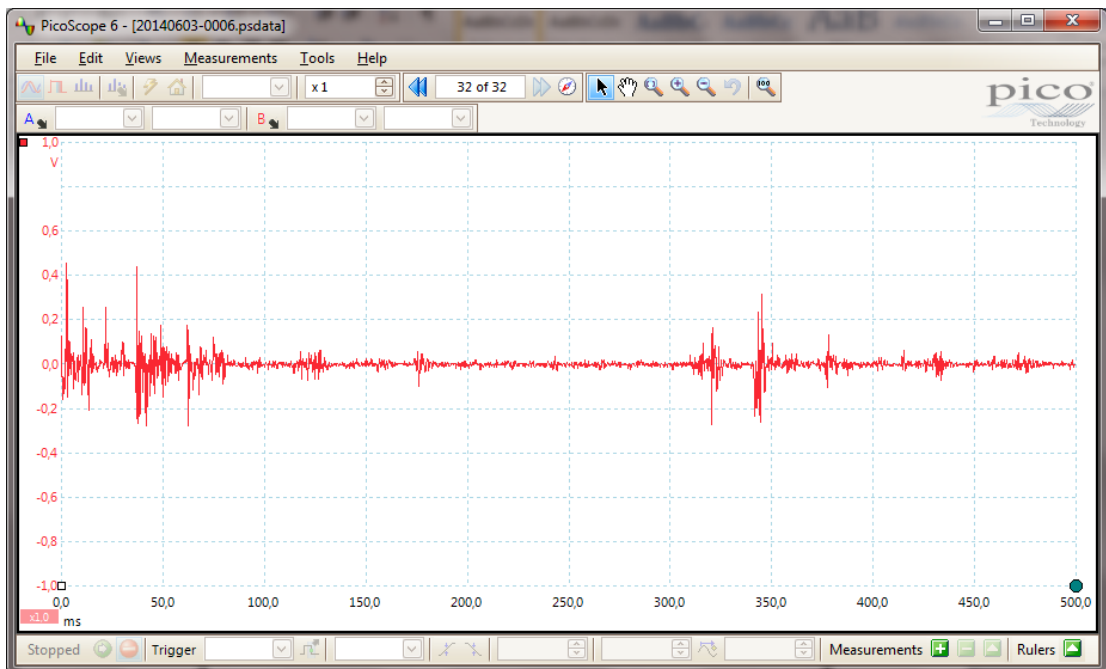
Percobaan 16



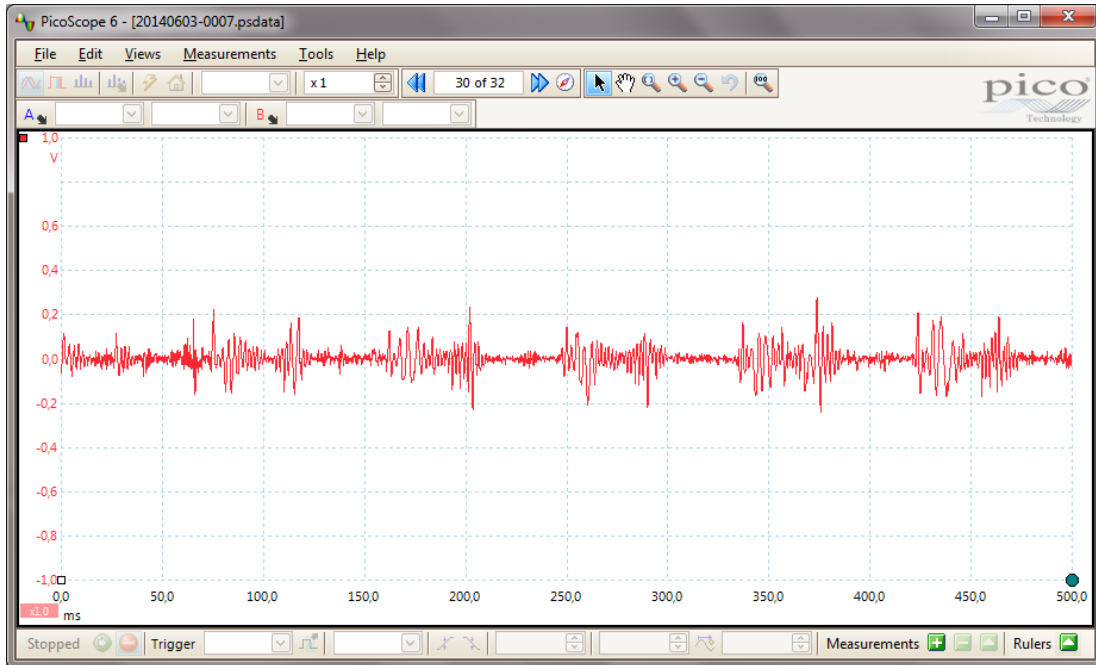
Percobaan 17



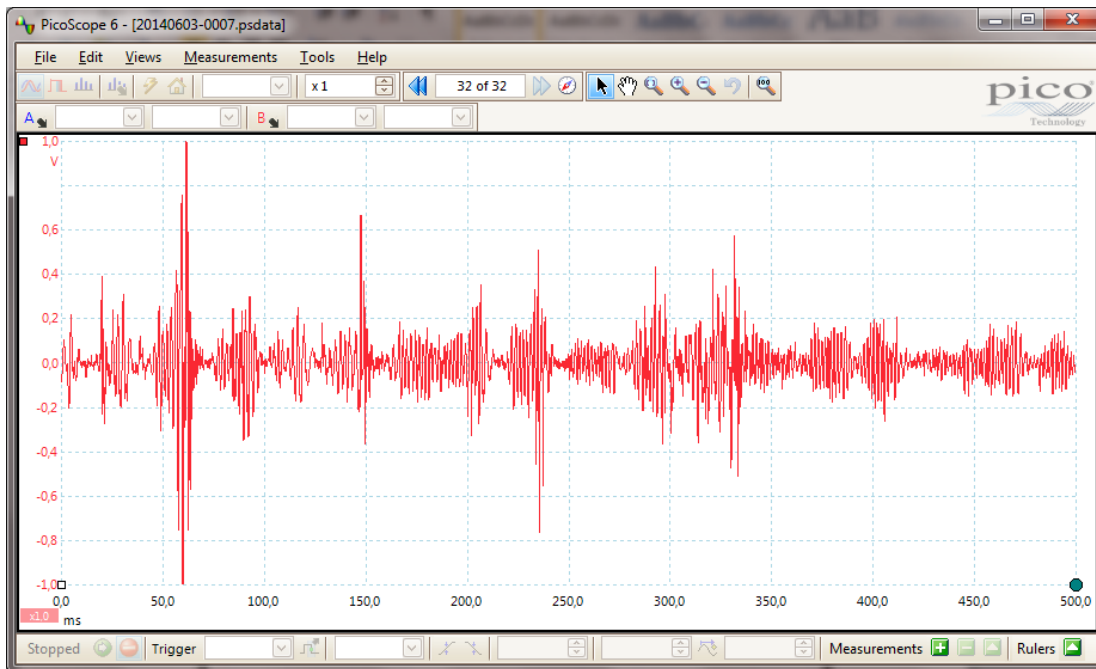
Percobaan 18



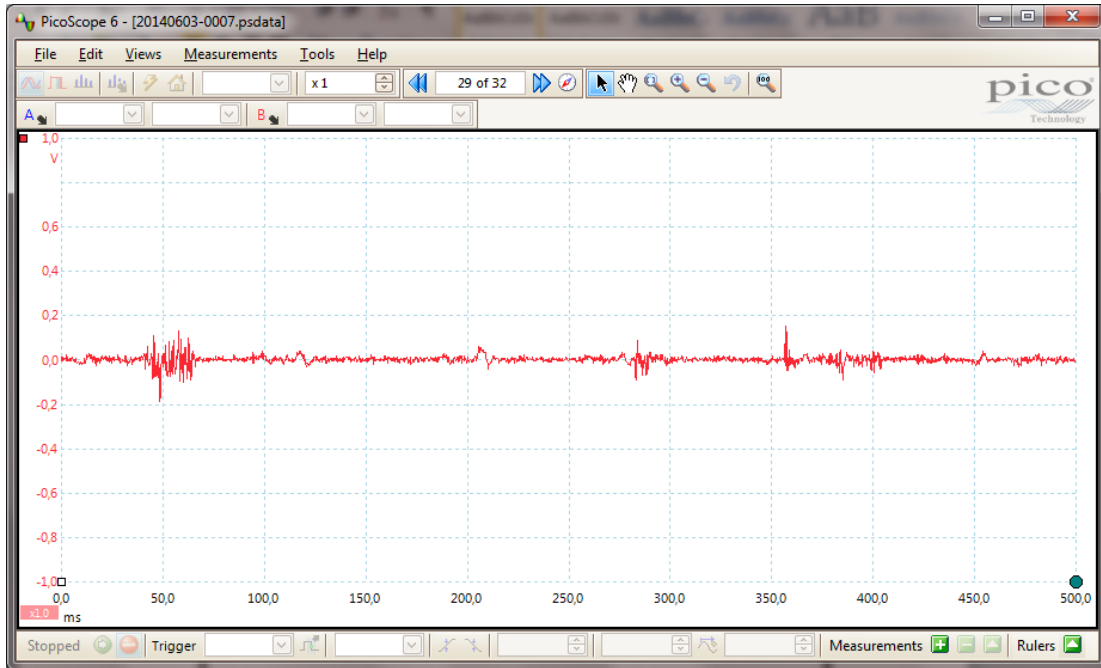
Percobaan 19



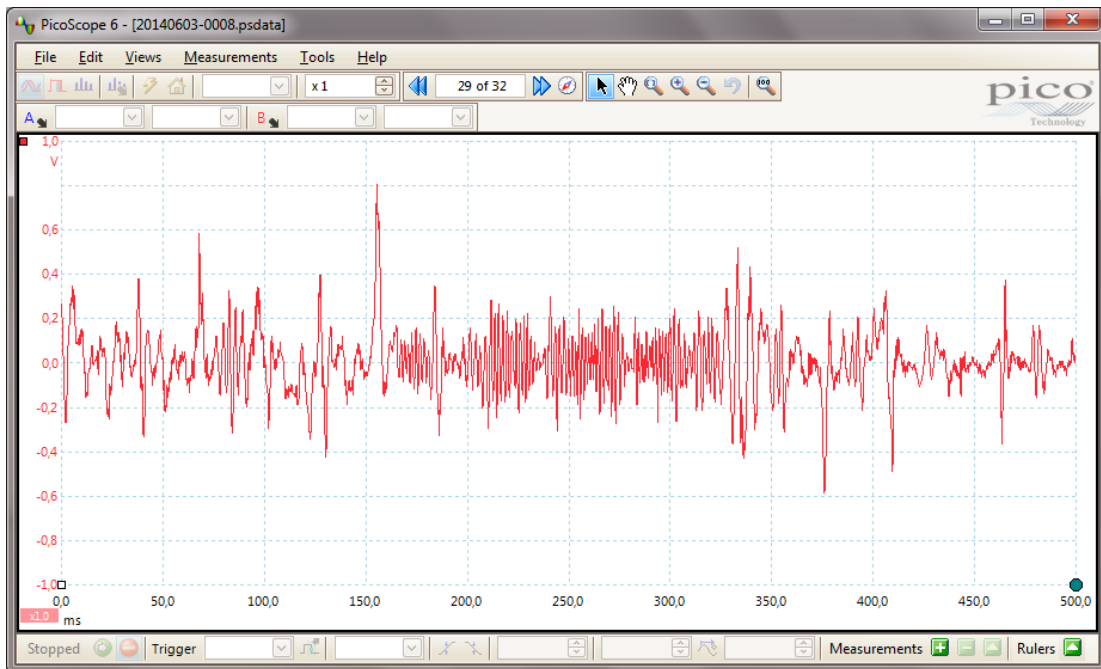
Percobaan 20



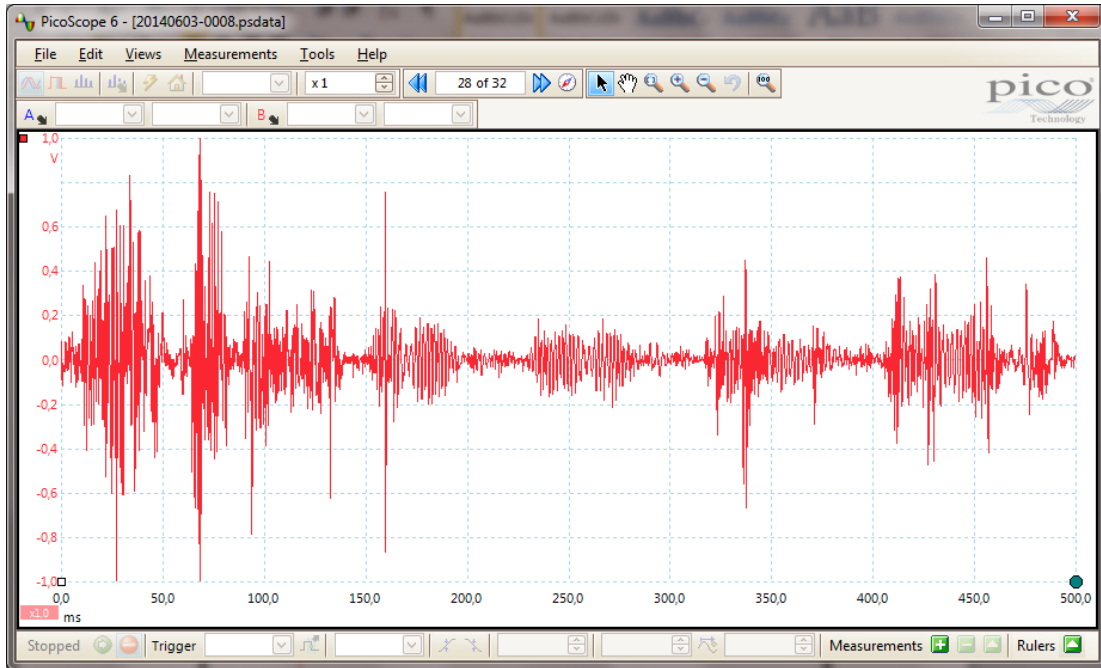
Percobaan 21



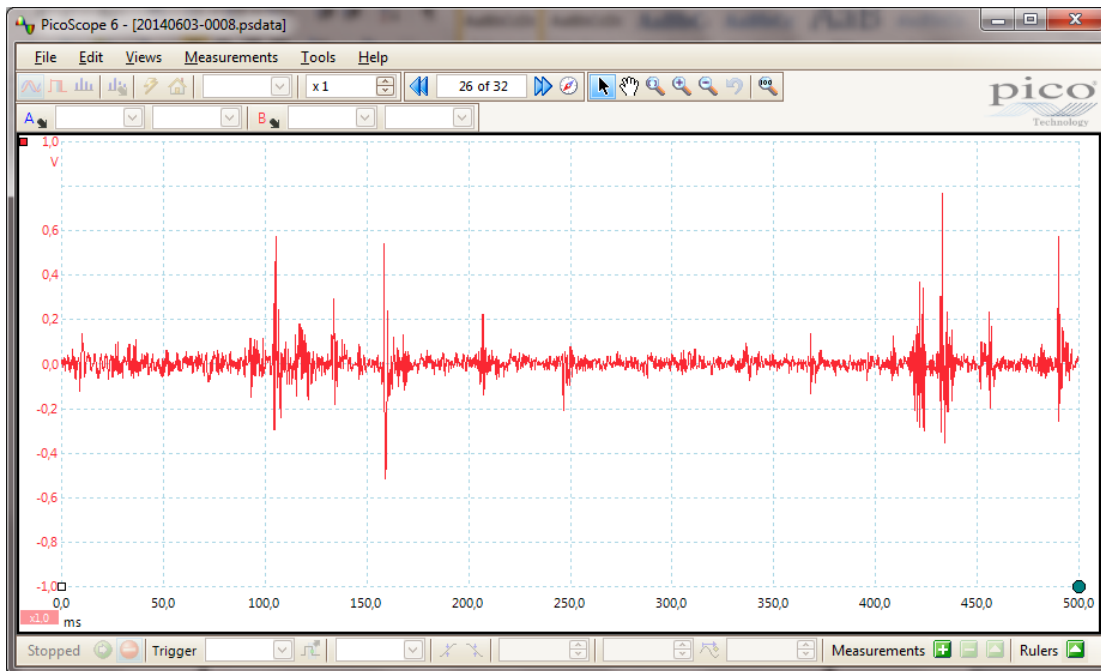
Percobaan 22



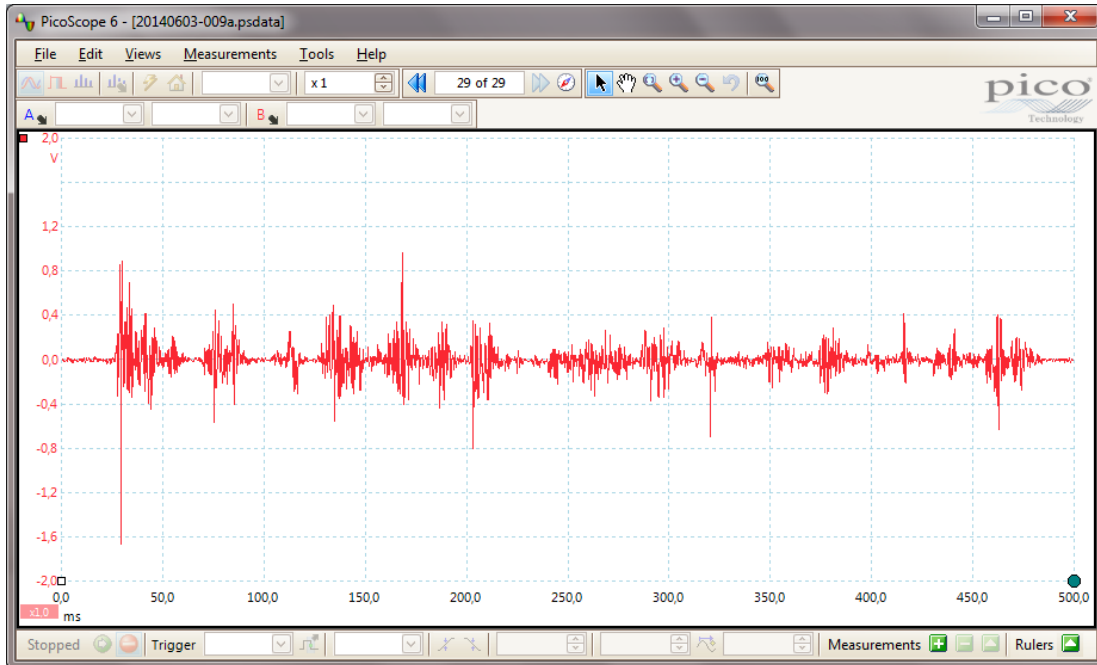
Percobaan 23



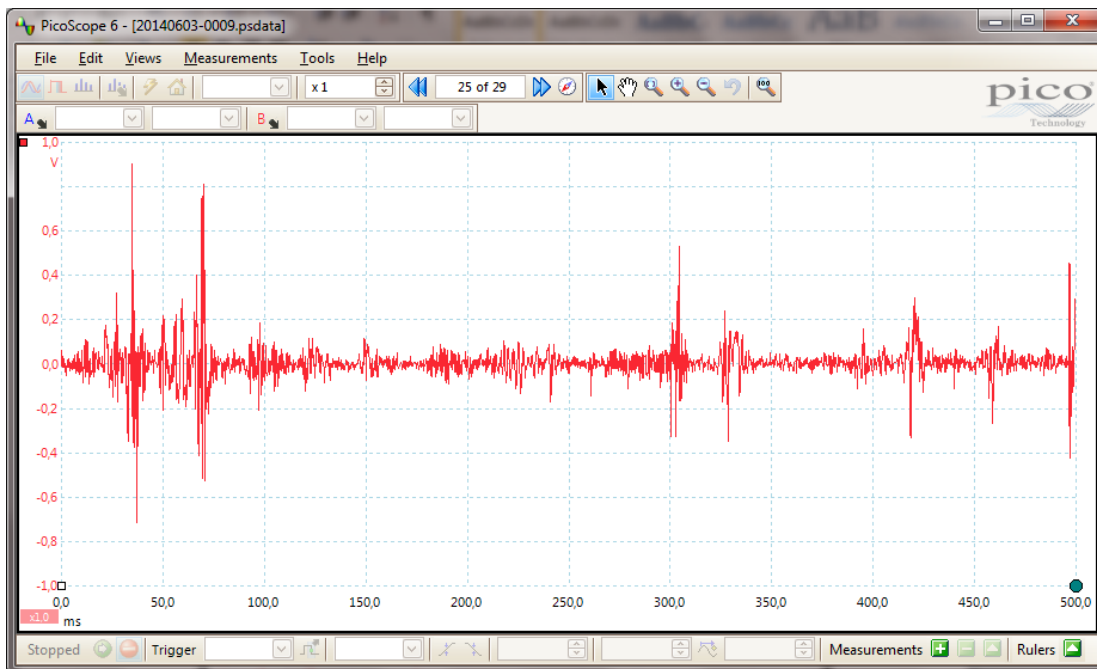
Percobaan 24



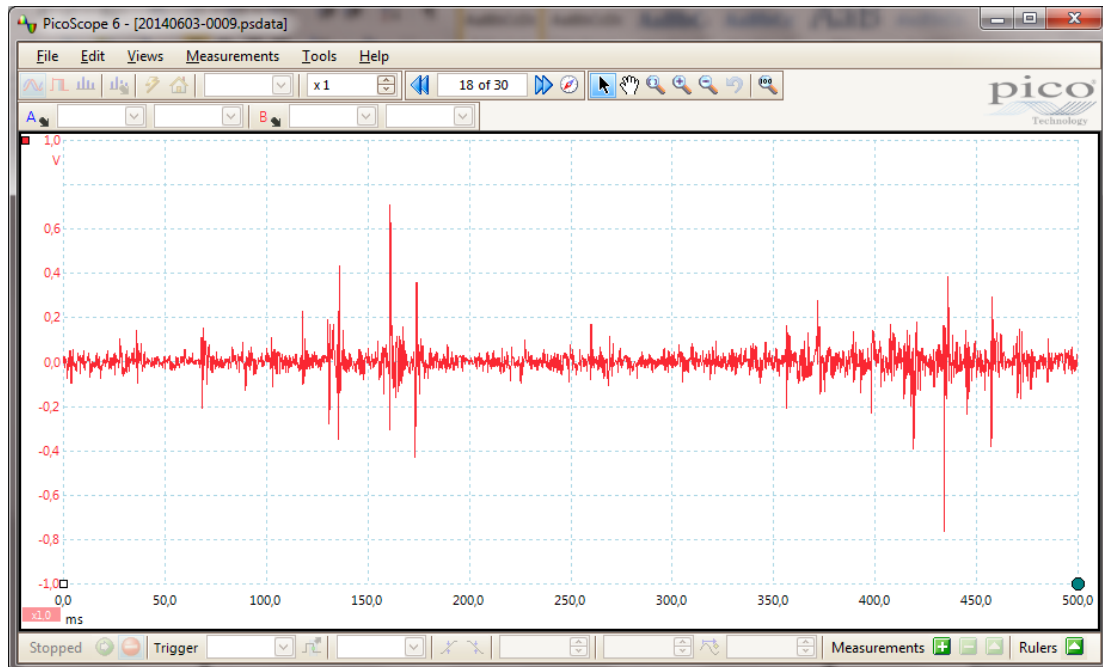
Percobaan 25



Percobaan 26

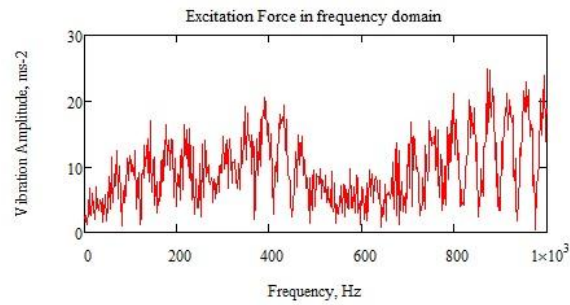
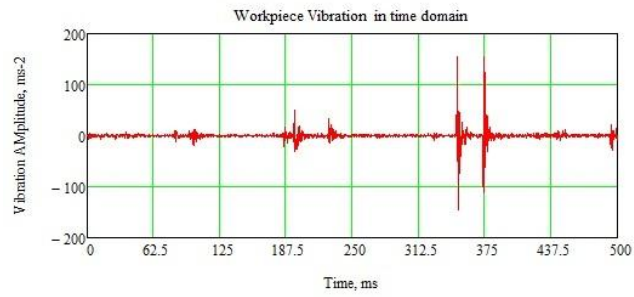


Percobaan 27

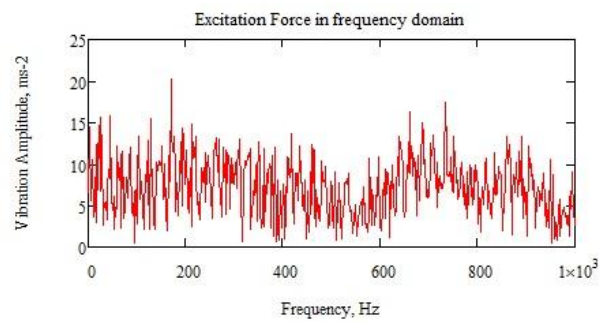
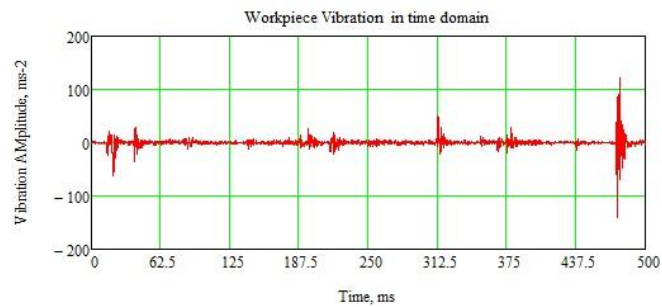


LAMPIRAN D. Grafik respon amplitudo terhadap domain waktu dan frekuensi

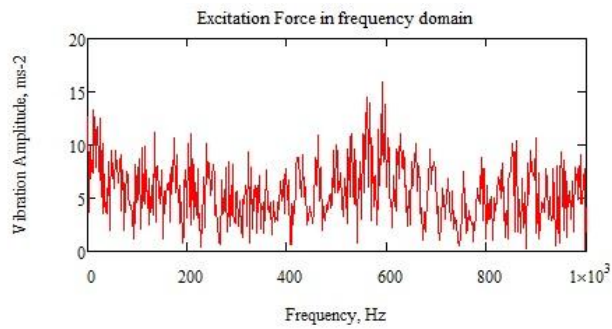
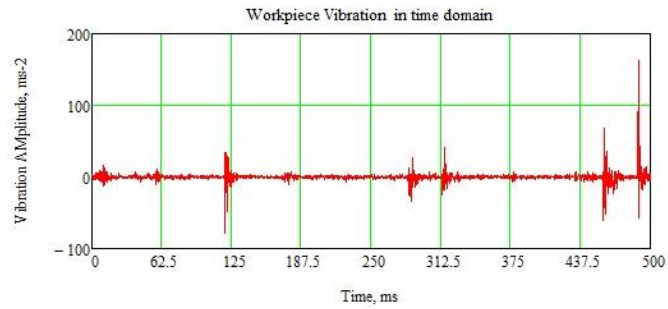
Percobaan 1



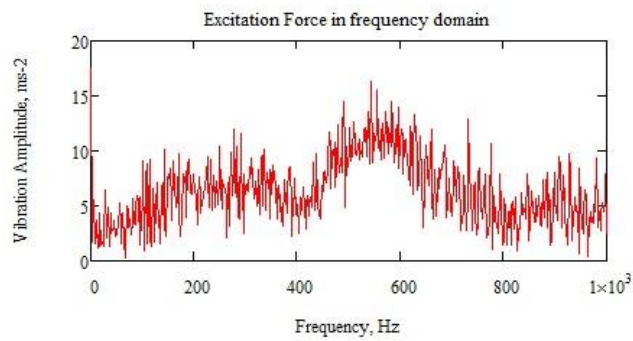
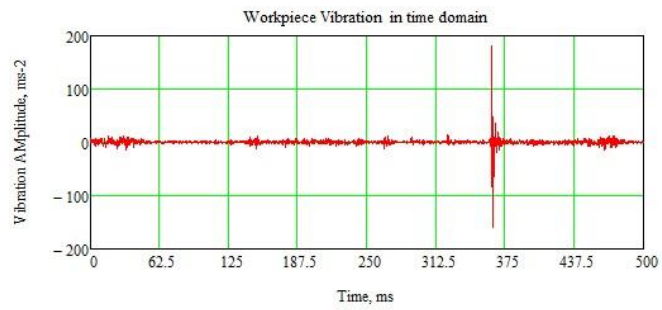
Percobaan 2



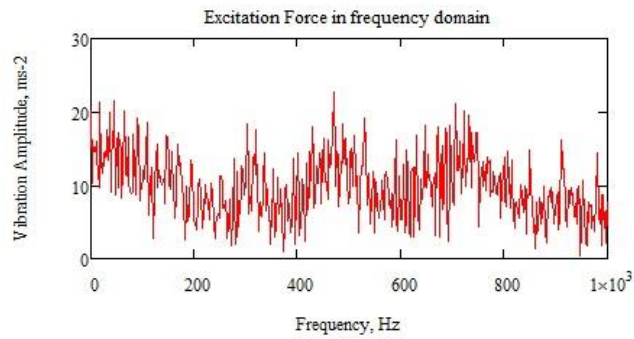
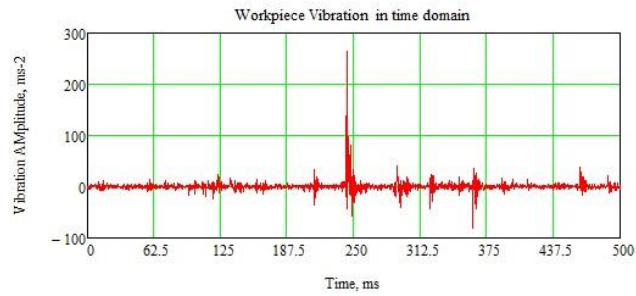
Percobaan 3



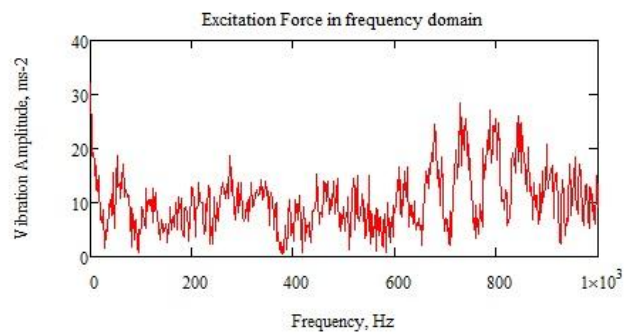
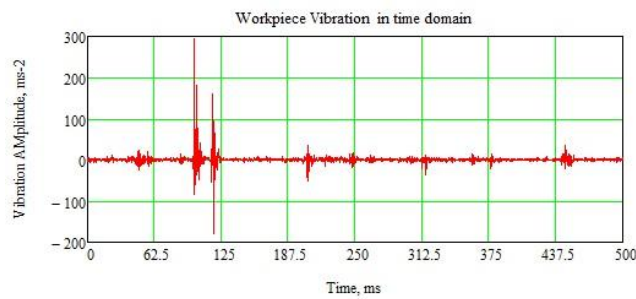
Percobaan 4



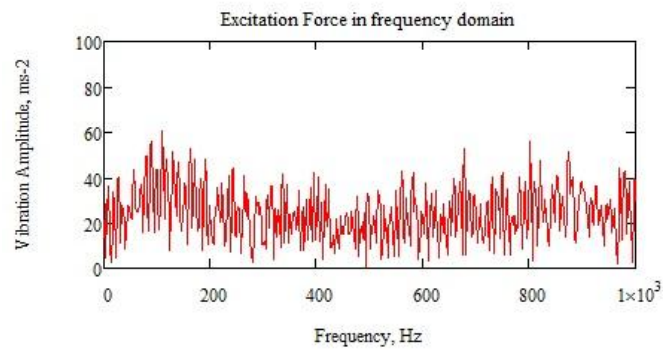
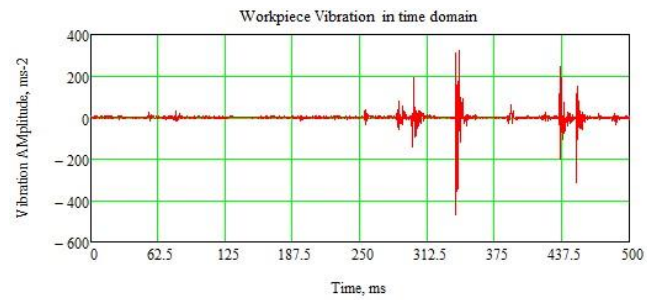
Percobaan 5



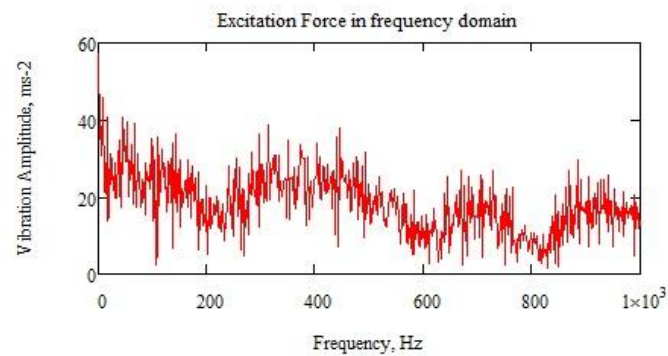
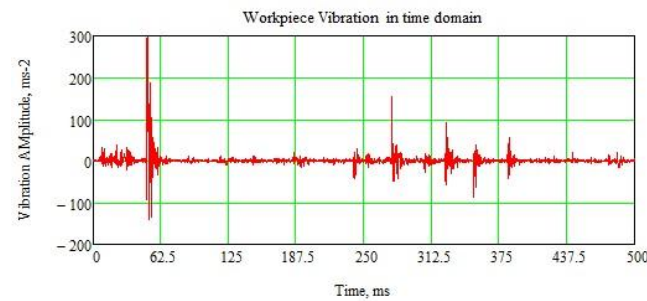
Percobaan 6



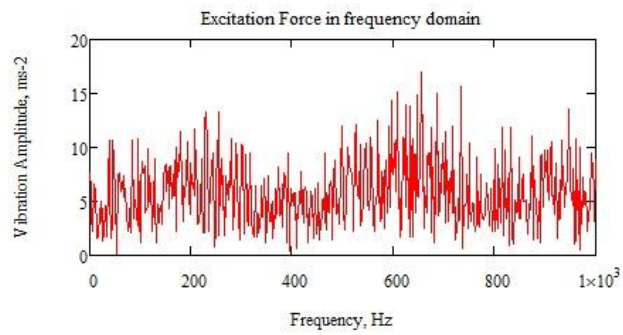
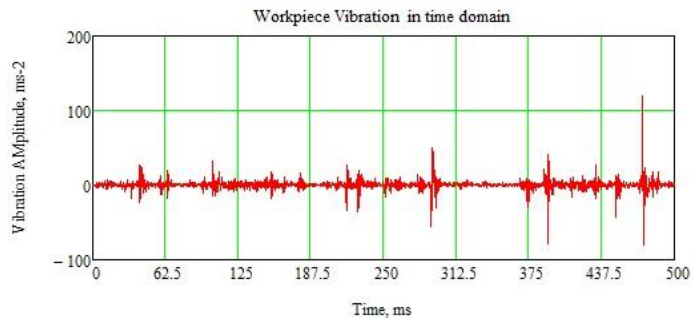
Percobaan 7



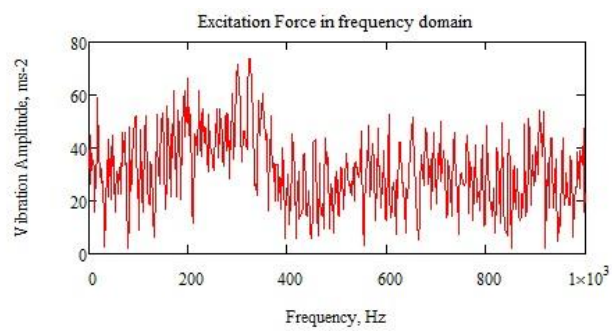
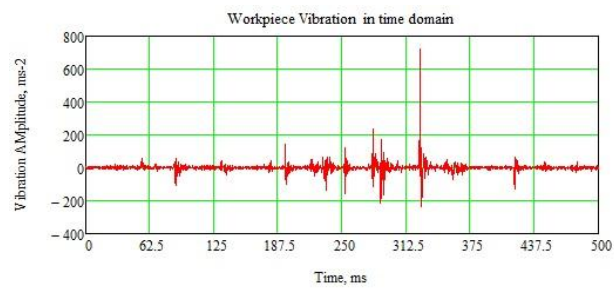
Percobaan 8



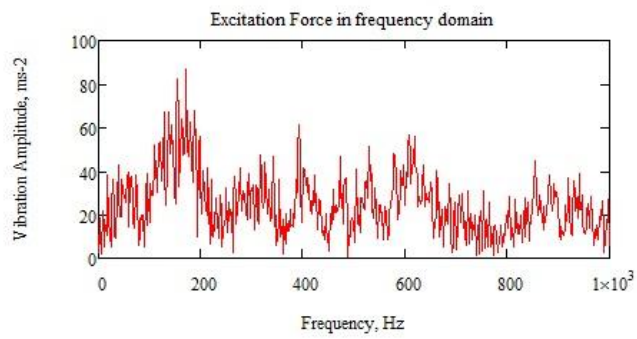
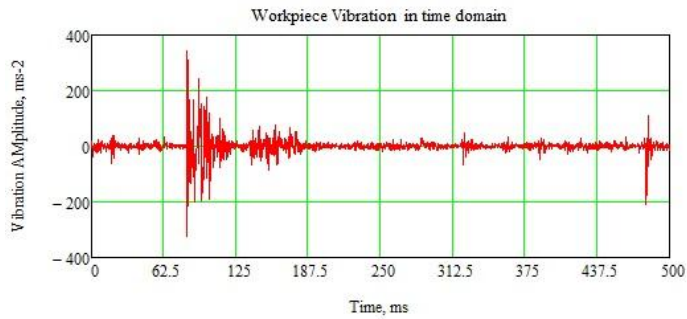
Percobaan 9



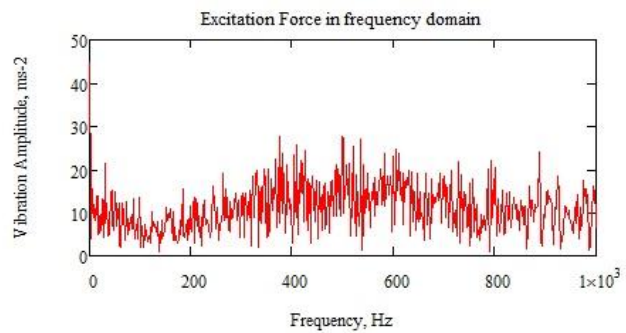
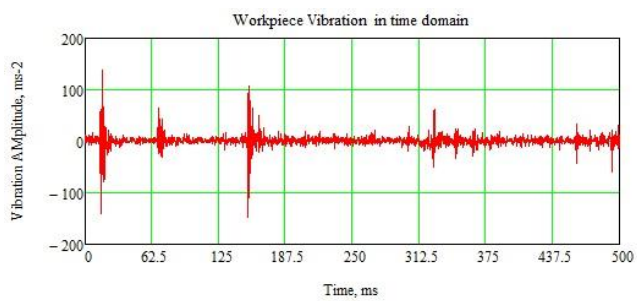
Percobaan 10



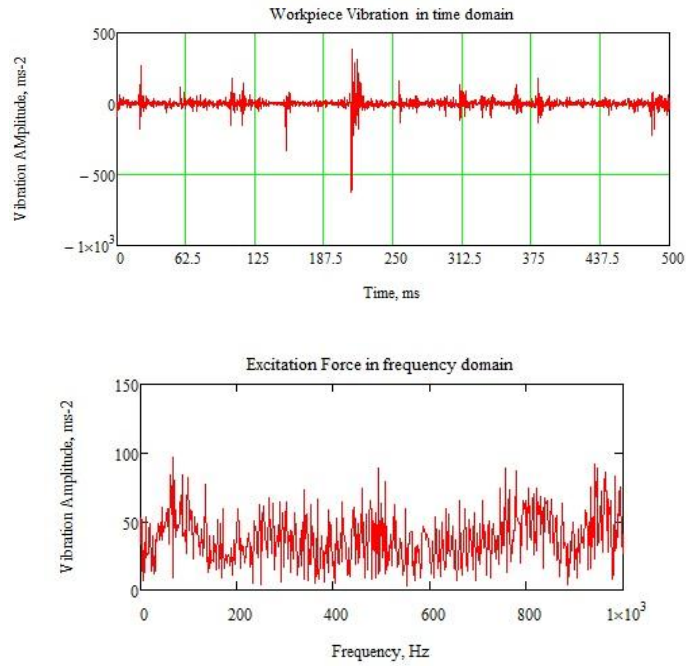
Percobaan 11



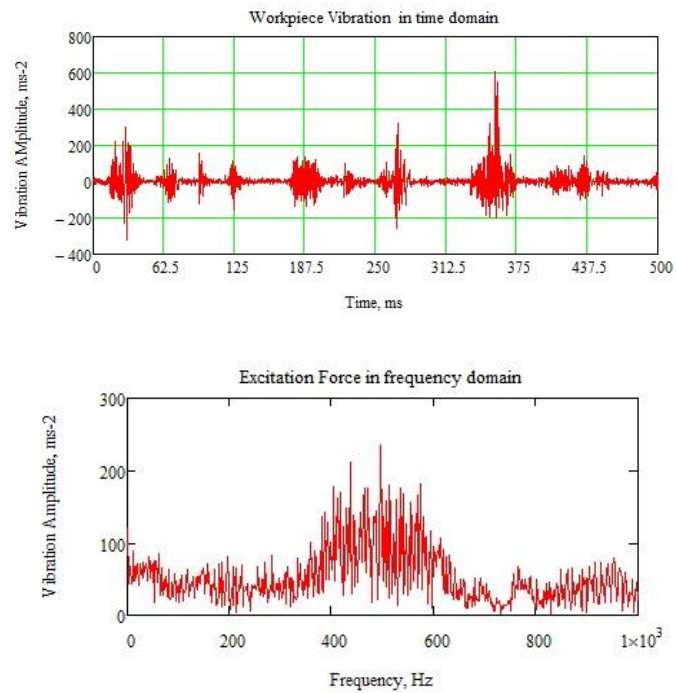
Percobaan 12



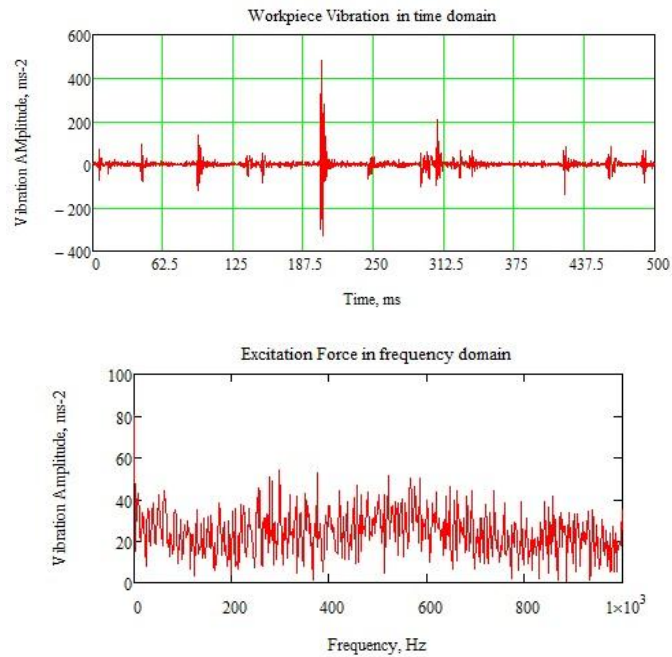
Percobaan 13



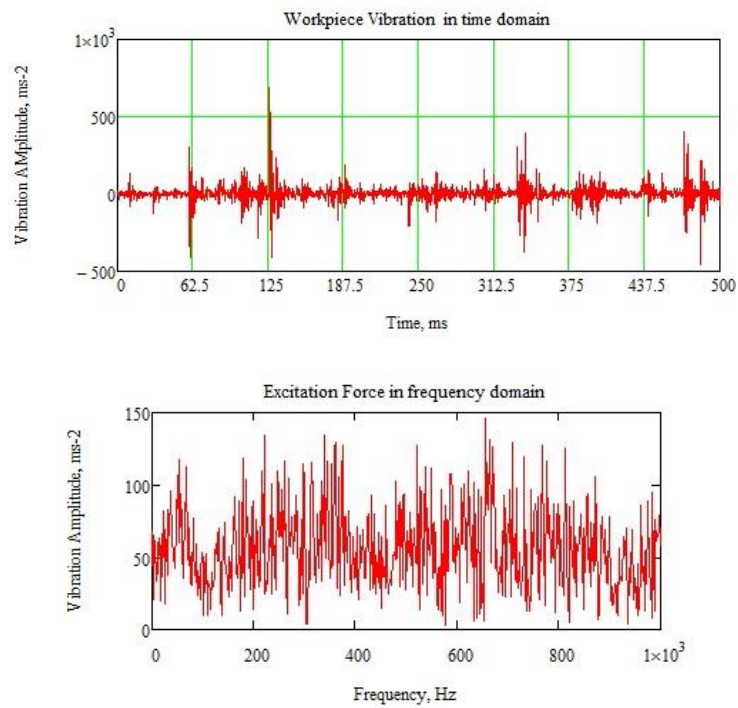
Percobaan 14



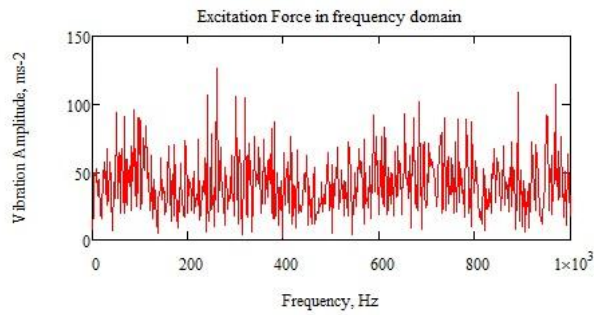
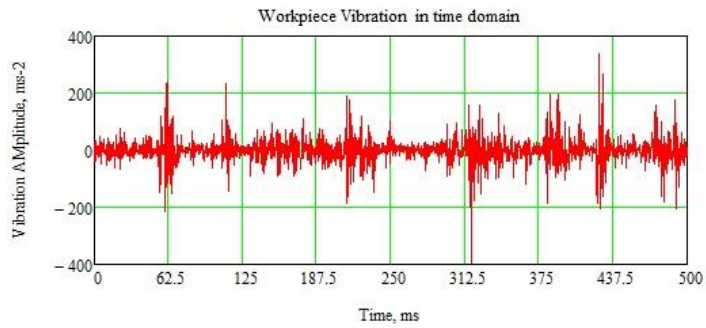
Percobaan 15



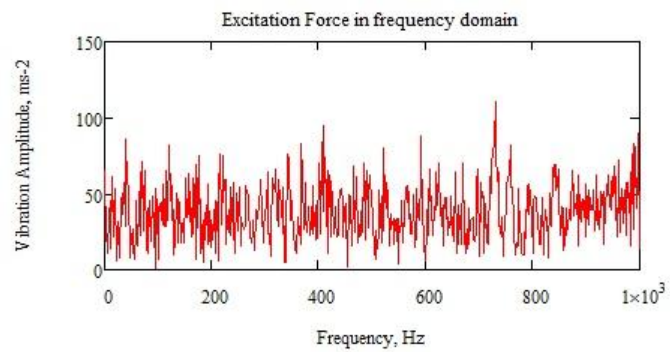
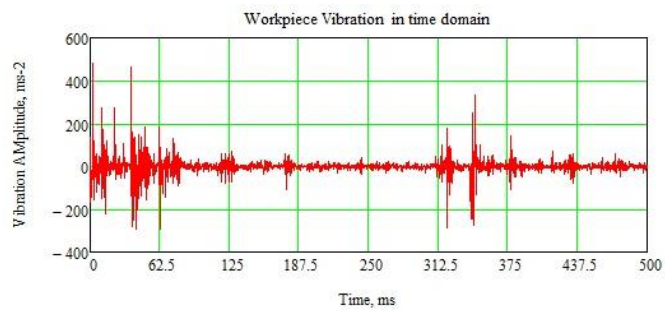
Percobaan 16



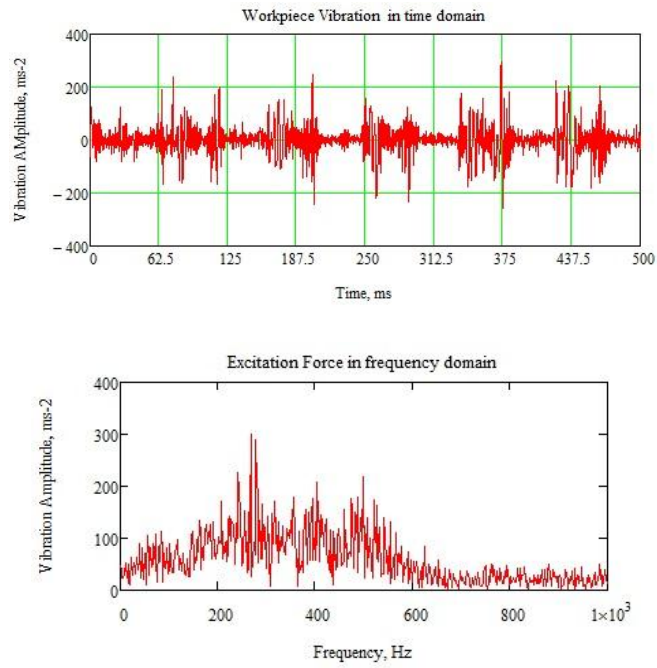
Percobaan 17



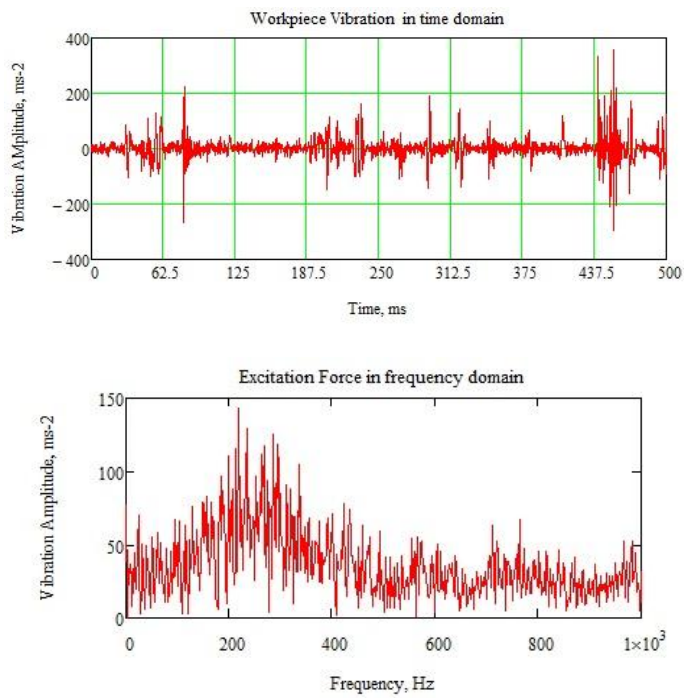
Percobaan 18



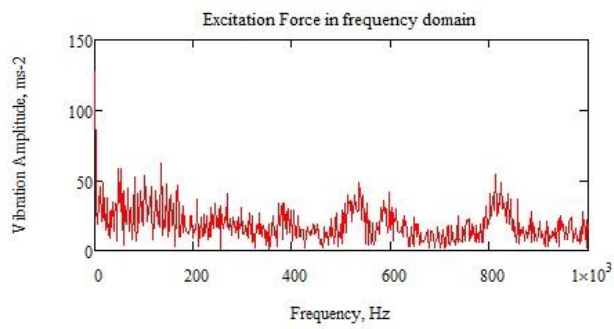
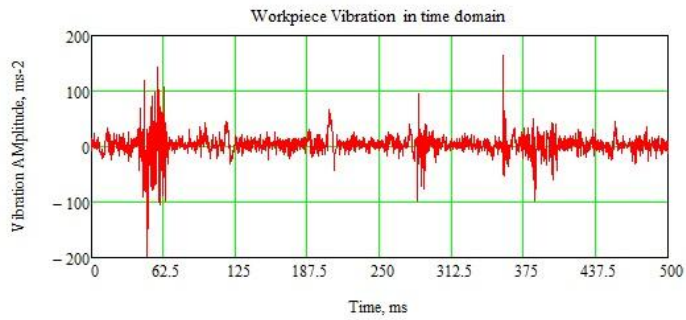
Percobaan 19



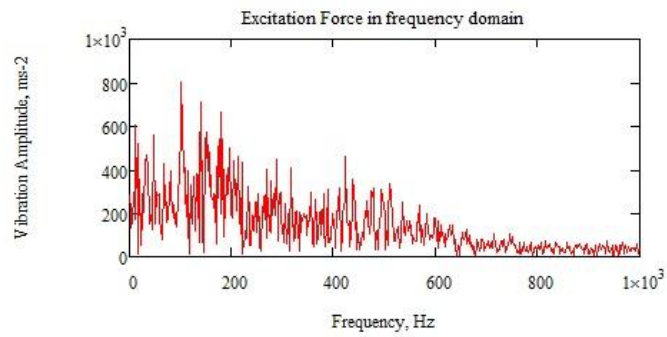
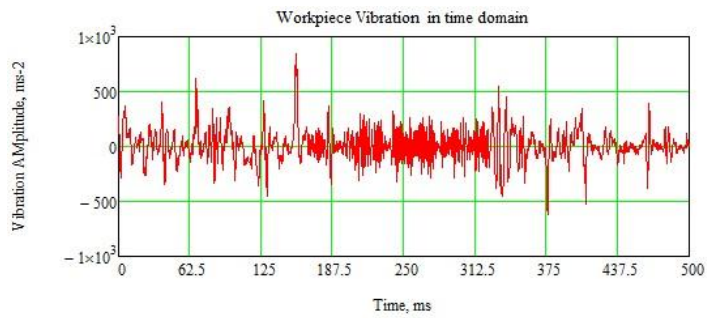
Percobaan 20



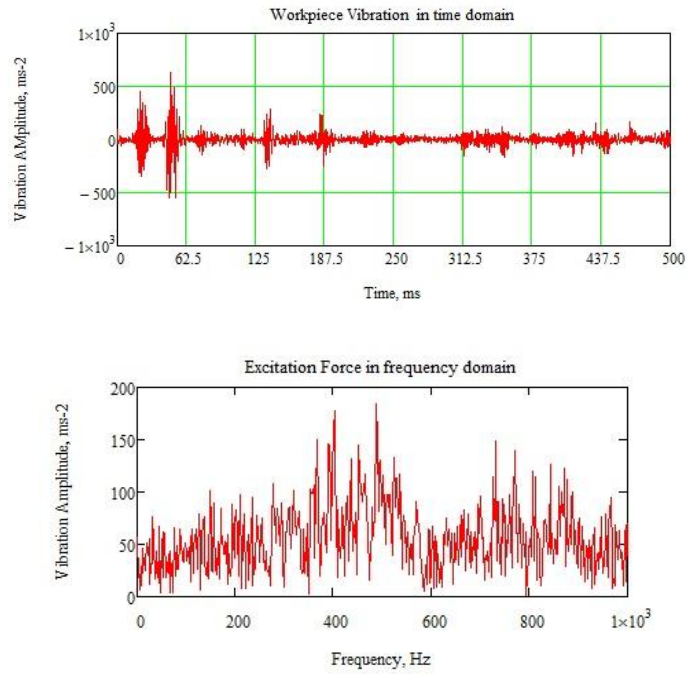
Percobaan 21



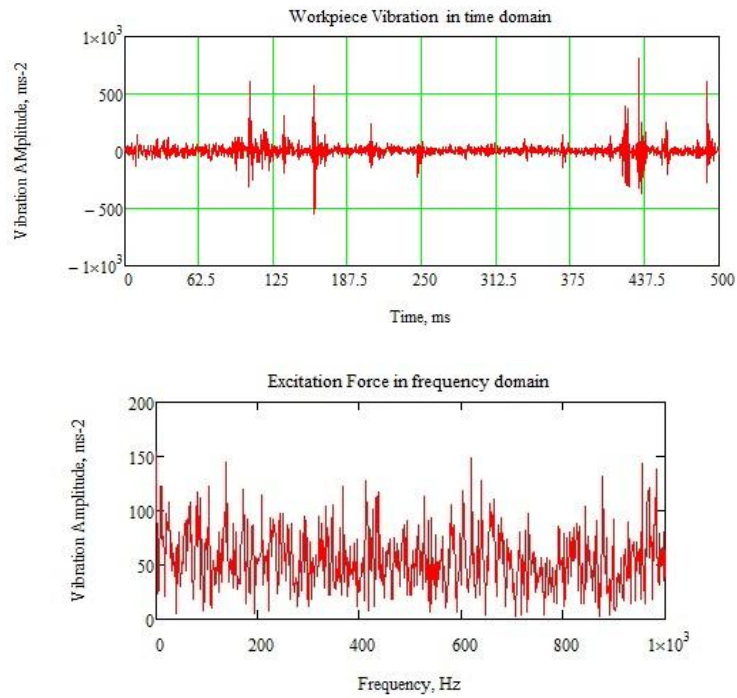
Percobaan 22



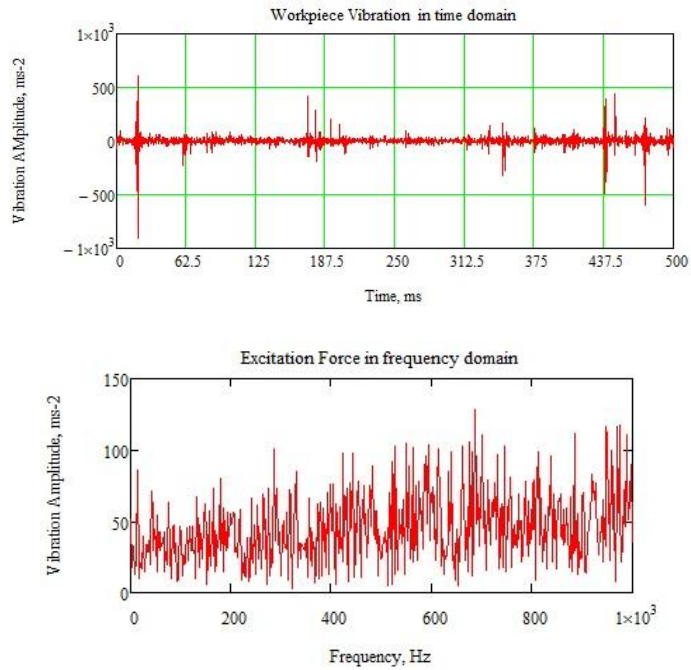
Percobaan 23



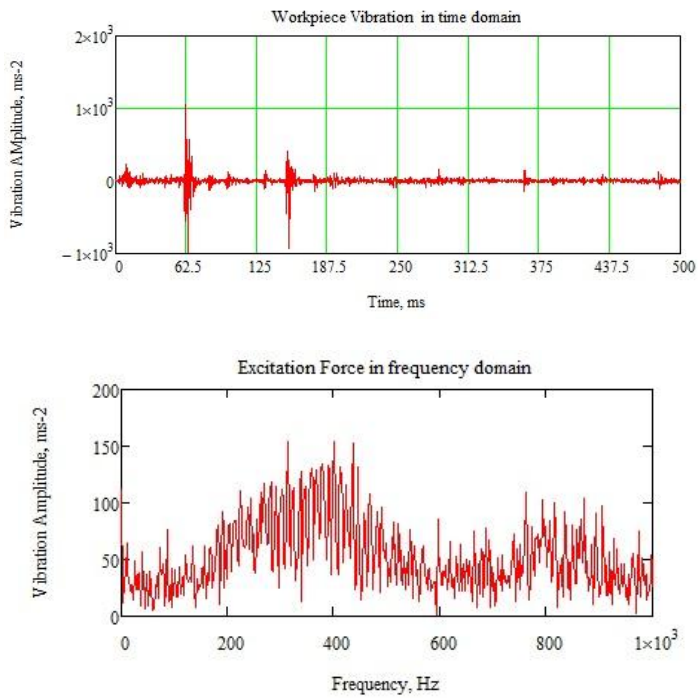
Percobaan 24



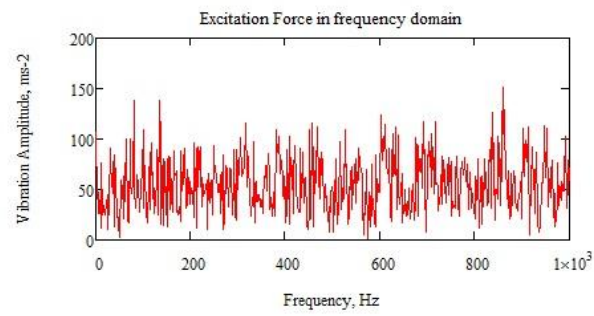
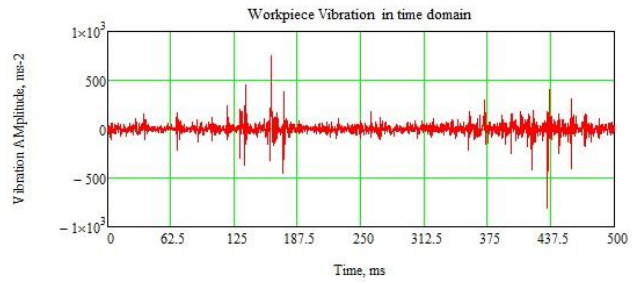
Percobaan 25



Percobaan 26



Percobaan 27



LAMPIRAN E. Tabel Output Spss

Tabel 4.3 Hasil uji Kolmogrov-Smirnov

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Y	X1	X2	X3
N		27	27	27	27
Normal Parameters ^a	Mean	2.5507E0	2.5108E0	-8.995E-1	2.0087E0
	Std. Deviation
Most Extreme Differences	Absolute	.126	.241	.225	.237
	Positive	.111	.234	.225	.237
	Negative	-.126	-.241	-.212	-.233
Kolmogorov-Smirnov Z		.656	1.252	1.167	1.230
Asymp. Sig. (2-tailed)		.782	.087	.131	.097

a. Test distribution is Normal.

Tabel 4.5 Hasil output VIF

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	3.731	1.465		2.548	.018		
	X1	.627	.119	.653	5.263	.000	1.000	1.000
	X2	.581	.169	.427	3.439	.002	1.000	1.000
	X3	-1.112	.710	-.194	-1.567	.131	1.000	1.000

a. Dependent Variable: Y

Tabel 4.6 Statistik Durbin-Watson

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.924 ^a	.816	.790	.178511336	2.146

a. Predictors: (Constant), X3, X2, X1

b. Dependent Variable: Y

Tabel 4.7 Uji linieritas

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Y*X1	Between Groups	(Combined)	.906	2	.453	9.326	.001
		Linearity	.883	1	.883	18.184	.000
		Deviation from Linearity	.023	1	.023	.469	.500
	Within Groups		1.165	24	.049		
	Total		2.071	26			

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Y*X2	Between Groups	(Combined)	.484	2	.242	3.662	.041
		Linearity	.377	1	.377	5.700	.025
		Deviation from Linearity	.107	1	.107	1.625	.215
	Within Groups		1.587	24	.066		
	Total		2.071	26			

ANOVA Table

			Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Y*X3	Between Groups	(Combined)	.082	2	.041	.497	.615
		Linearity	.078	1	.078	.944	.341
		Deviation from Linearity	.004	1	.004	.049	.826
	Within Groups		1.988	24	.083		
	Total		2.071	26			

Tabel 4.8 Uji Heteroskedastisitas

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1.161	.765		-1.518	.143
	X1	.047	.062	.145	.762	.454
	X2	-.122	.088	-.264	-1.384	.180
	X3	.531	.371	.273	1.434	.165

a. Dependent Variable: RES2

Tabel 4.9 Uji kesesuaian model (Uji F)

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.338	3	.446	13.994	.000 ^a
	Residual	.733	23	.032		
	Total	2.071	26			

a. Predictors: (Constant), X3, X2, X1

b. Dependent Variable: Y

Tabel 4.10 Uji Individual (Uji t)

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.731	1.465		2.548	.018
	X1	.627	.119	.653	5.263	.000
	X2	.581	.169	.427	3.439	.002
	X3	1.112	.710	.194	2.567	.131

a. Dependent Variable: Y

Tabel 4.11 Analisis regresi linier berganda bentuk log

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.731	1.465		2.548	.018
	X1	.627	.119	.653	5.263	.000
	X2	.581	.169	.427	3.439	.002
	X3	1.112	.710	.194	2.567	.131

a. Dependent Variable: Y



**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 : Agung Eko Hadiyoto

NIM : 121910101134

Jurusan : Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Telah melaksanakan penelitian pengukuran getaran *getaran pada Benda kerja* dalam proses Drilling dengan memvariasikan *Putaran Spindel, Gerak Makan dan Sudut Mata Pahat untuk Benda kerja dari Aluminium 6061*, serta pengolahan datanya di Laboratorium Mesin Perkakas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, ITS.

Demikian surat keterangan ini dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 3 Juni 2014
Ka.Lab. Mesin Perkakas FTI – ITS,



Prof. Dr.-Ing. Ir. Suhardjono, MSc.
NIP. 196206041987011001