



**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
KEDALAMAN POTONG TERHADAP GETARAN
SPINDLE HEAD DAN KEBULATAN
HASIL PROSES DRILLING**

SKRIPSI

Oleh

**Rio Mahadi Wibowo
NIM 071910101068**

**PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
KEDALAMAN POTONG TERHADAP GETARAN
SPINDLE HEAD DAN KEBULATAN
HASIL 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

**Rio Mahadi Wibowo
NIM 071910101068**

**PROGRAM STUDI STRATA - 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



P e r s e m b a h a n

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran *Spindle Head* dan Kebulatan Hasil Proses Drilling”** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Allah SWT.
2. Rasulullah Muhammad SAW.
3. Bapakku Ragil Harsito dan Ibuku Endang Sri Haryani yang selalu memberikan doa dan dukungan dari segi apapun, serta kasih sayang yang tidak pernah putus. Aku menyayangi kalian.
4. Mbah Kakung dan Mbah Putri terima kasih untuk kasih sayangnya
5. Kakakku Edo Maharu Wibowo dan Adekkku Aru Mahendra Wibowo terima kasih doa dan bantuan, Terus semangat kuliahnya semoga diberi kemudahan.
6. Mega Afrydiana Prastiwi yang dengan tulus memberikan doa, kasih sayang dan semuanya. Juga Ayah, Ibuk dan dek Wanda terima kasih atas doa, bantuan dan kasih sayang, aku menyayangi kalian.
7. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu. Terutama Bapak. Yuni Hermawan, S.T,M.T selaku DPU, Bapak. Santoso Mulyadi, S.T., M.T selaku DPA yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini,

Dosen Penguji I Bapak. Mahros Darsin S.T., M.Sc. dan Dosen Penguji II Bapak. Ir. FX Kristianta M.Eng.

8. Seluruh Guru-guruku dari TK, SD, SLTP, SMA dan Guru mengaji yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu.
9. Edy Sultoni yang telah membantu dan menemani dalam susah senang mengerjakan skripsi ini, Sukses buat kamu Kang “perjuangan ini tidak berhenti sampai disini”.
10. Keluarga besar Seven Engine: M.K. Aditya Wardana, S.T., Ainur Rachman Yaqin S.T, Yoga Aldia Anggadipta S.T, Eristia Gita, Donnax Carneolla H., S.T., Intan Hardiatama S.T, alm. Rendhy Destya, Dicky Adi Tyagita, S.T., Dimas Dwi Kusuma, S.T., Fregi Madatya S.T, Debi Jois Heriyanto, Agil Sayekti, Wahyu Harmanto, Firman Dwi Wicaksono, Adi Sugianto, S.T., Yuliyus Ispriadi S.T, Septian Reza Syah, Muhammad GZ, Rahmad Hari Efendy, Edi Kurniawan, S.T., Ari Firmansyah S.T, Bastian Dwi Agdianto, Ahmad Aufa Kamal, Pradhana Aji G.B.U., S.T., M. Fatah Yasin, Tri Handoyo S.T, Ahda Rizqi Maulana, M. Alfian Arga, Himawan Susanto, Ekik Yuris Wicaksono, Prima Yogie Aldelino, Windu Prasetiawan S.T, Edy Sultoni, Berry Marshal S.T, Anggi Febrianto, S.T., Zaenal Abidin S.T, Angger Sudrajat F.P., Purbo Wahyu Veri Fadli, Dimas Rizki Suryanto, Discovery Afrianto S.T, I Fata Sagedistira S.T, Ardhika Setiawan, Endika Surya Y.P S.T, Ayyub Hidayat, Diastian Vinaya W., S.T., M. Sigit Wijanarko, M. Sifak, **“sebuah persahabatan yang tidak pernah berakir”**.
11. Teman Mesin Diploma 3 angkatan 07. Ardi, Yoyong, Risqon, Deny, Beny, Dodik, Puji, Elma, Beyes, Yeyen dan teman-teman diploma yang tidak disebutkan satu per satu.
12. Keluarga besar SR/3 no 10 terutama Alfian Arga, Ardi Bayu, Berry, Endika Surya, Windu pras, Waone, I Fata

13. Keluarga KKT desa Sumberagung, Gesang (pak bos), Andi (pak dokter), Layalil dan Rafika (the virgin), Desy (eci). Avi (ibu), Anggoro (mas bro).
14. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



MOTTO

“Kemudian apabila kamu telah membulatkan tekad, maka bertawakallah kepada Allah, sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertawakal kepada-Nya”.
(Terjemahan Surat Al-Imron (3) ayat 159).

“Sesungguhnya amal perbuatan itu disertai niat dan setiap orang mendapat balasan amal sesuai dengan niatnya”.
(HR Bukhari dan Muslim).

“kehidupan ini tidaklah mudah semua butuh perjuangan.”
(Bapakku tercinta).

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rio mahadi Wibowo

NIM : 071910101068

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi yang berjudul "*Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Spindle head dan Kebulatan Hasil 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 kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2012

Yang menyatakan,

Rio Mahadi Wibowo

NIM. 071910101068

SKRIPSI

**PENGARUH PUTARAN SPINDEL, GERAK MAKAN DAN
KEDALAMAN POTONG TERHADAP GETARAN
SPINDLE HEAD DAN KEBULATAN
HASIL PROSES DRILLING**

Oleh

Rio Mahadi Wibowo

NIM 071910101068

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Yuni Hermawan, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Laporan skripsi berjudul “*Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Spindle Head dan Kebulatan Hasil Proses Drilling*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 26 Januari 2012

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

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

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.
NIP 19676123 199702 1 001

Dosen penguji I,

Dosen penguji II,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.
NIP 19700322 199501 1 001

Ir. FX Kristianta, M. Eng
NIP 19650120 200112 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, MT.
NIP 19610414 198902 1 001

RINGKASAN

Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran *Spindle head* dan Kebulatan Hasil Proses Drilling; Rio Mahadi Wibowo, 071910101068; 2012: 60 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

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.

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 terhadap benda kerja itu dituntut kepresisian yang tinggi (ketepatan ukuran atau mutu permukaan) pada dinding lubang, maka diperlukan pengerjaan lanjutan dengan pembenam atau penggerek.

Pada proses drill, geram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat drill ke luar 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 bor.

Dari hasil penelitian dapat diketahui pengaruh parameter yang digunakan terhadap nilai akselerasi getaran pahat dan kebulatan yang diperoleh. Dapat dilihat

nilai getaran pahat terkecil dihasilkan dari pengambilan data percobaan ke-1 sebesar $= 0.6361 \text{ m/s}^2$ pada $n = 136 \text{ rpm}$, $f = 0,07$ dan $a = 14 \text{ mm}$. Sedangkan nilai akselerasi getaran pahat terbesar didapatkan dari pengambilan data percobaan ke-27 sebesar $= 5,4267 \text{ m/s}^2$ pada $n = 681 \text{ rpm}$, $f = 0,22$ dan $a = 20 \text{ mm}$. Begitu pula halnya dengan pengukuran kebulatan tidak jauh berbeda. Dapat diperoleh nilai kebulatan terkecil yang mendekati nilai kebulatan adalah pada pengambilan data percobaan ke-19 sebesar $= 20 \mu\text{m}$. Sedangkan nilai kebulatan terbesar adalah pada pengambilan data percobaan ke-8 sebesar $= 40 \mu\text{m}$.

Dari persamaan regresi dapat diketahui parameter potong yang paling berpengaruh besar adalah kedalaman potong. Hasil penelitian secara umum bahwa nilai akselerasi getaran dan kebulatan, setelah nilai gerak makan dinaikkan maka nilai akselerasi getaran pahat dan kebulatan juga bertambah besar, hal ini disebabkan karena semakin besar gerak makan yang digunakan maka geram yang dihasilkan juga semakin tebal sehingga gaya potong yang diperlukan semakin besar. Akibatnya gaya tangensial juga naik dan menimbulkan gaya radial dan momen kopel. Momen dan gaya radial yang besar menimbulkan lenturan dan puntiran pada pahat, akibatnya penyimpangan kebulatan semakin besar.

SUMMARY

Effect Of Spindel Speed, Feeding and depth of cut to Vibration Spindle head and Roundness Result Processes Drilling; Rio Mahadi Wibowo, 071910101068; 2012: 60 pages; Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

The process of drilling or often referred to as the drill is the simplest machining process among other machining processes. Usually in the garage or workshop process is called the drill, although this term is actually less accurate. The process of the drill is intended as a process of making a round hole by using a drill (twist drill). While the process of drilling (boring) is the process to expand / enlarge the hole that can be done with a drill rod (boring bar) is not only done on the Drill Machine, but it could also Machine Tool, Machine Freis, or Drilling Machines.

The process used to manufacture drill cylindrical holes. Making holes with a drill spiral in a solid workpiece is a process of erosion with a large power flakiness. If the workpiece is required to high precision (accuracy of the size or quality of the surface) on the wall of the hole, it is necessary to work further with pembersih or borers.

In the drill, furious (chips) must exit through the helix groove chisel drill out the hole. Chisel tip attached to the workpiece is cut, so that the cooling process becomes relatively difficult. Cooling process is usually carried out by flushing the workpiece is perforated with a cooling fluid, sprayed with a liquid coolant, or coolant is inserted through a hole in the middle of the drill bit.

From the research results can be seen the effect of the parameters used to the chatter values obtained chisel and roundness. Can be seen carving the smallest value of the vibration generated from experimental data 1 is $=0.6361 \text{ m/s}^2$ at $n = 136 \text{ rpm}$, $f = 0,07$ and $a = 14 \text{ mm}$. While the biggest chisel vibration acceleration values

obtained from experimental data collection to 27 for $=,4267 \text{ m/s}^2$ at $n = 681 \text{ rpm}$, $f = 0,22$ and $a = 20 \text{ mm}$. Similarly, the roundness measurement is not much different. Can be obtained value is close to the smallest roundness roundness value is the data retrieval experiment 19th of $= 20 \mu\text{m}$. While the greatest value determination is on making data percobaan to-8 for $= 40 \mu\text{m}$.

From the regression equation can be known parameters of the most influential pieces of depth of cut. The results in general that the value of vibration acceleration and determination, after the meal motion raised the value of vibration acceleration chisel and roundness are also growing, this was due to the greater movement of food is used then the resulting anger is also getting thicker so that the required cutting force increasing large. Consequently tangential force is also rising and causing the radial force and moment coupling. Moments and radial forces which cause bending and twisting of the chisel, consequently the greater the roundness deviation.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, atas hidayahnya dan rahmatnya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam semoga Allah SWT limpahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dan membuat kami lebih kuat dan menatap setiap hal yang penuh optimis dan berfikir positif, dalam menunjang kemampuan kami dalam menajalani persaingan globalisasi kerja nantinya.

Dalam pelaksanaannya kami tidak lepas dari kesulitan dan permasalahan dalam penyusunan skripsi ini, baik dari proses pembuatan proposal kreatifitas mahasiswa sampai penyusunan selesai baik mengenai ilmu yang bermanfaat, moral dan sikap serta tanggung jawab dalam menyelesaikan proposal ini. Dengan demikian kami mengucapkan terima kasih pada:

1. Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Sumardji, S.T., M.T. Selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.
3. Yuni Hermawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Santoso Mulyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang memberikan arahan dan saran-saran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Prof. Dr. Ing. Ir. Suhardjono, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Lab. Pemesinan Universitas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan bantuan dalam penelitian khususnya pada saat proses pengujian penelitian.
5. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., selaku penguji pertama dan Ir. FX Kristianta, M,Eng. selaku penguji kedua yang telah memberikan saran dan waktu.
6. Robertus Sidartawan, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terima kasih atas bimbingan yang telah diberikan.
8. Bapak dan Ibu tercinta atas dukungan yang tak henti-hentinya .

9. Semua teman Mesin 2007 baik S1 maupun D3 yang telah menjadi saudara, rekan kuliah, teman main terima kasih atas segala doa, canda, bantuan dan semuanya yang kalian berikan “hutang harta dibalas harta, hutang budi dibawa mati”
10. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2004 s/d 2011, manusia tidak pernah luput dari salah, mohon maaf jika selama kita bersama ada tindakan yang kurang berkenan. Terus semangat perjuangan di depan semakin berat.
11. Kepada seluruh pihak yang telah membantu menyelesaikan pendidikan di Universitas Jember ini yang tidak dapat saya sebutkan satu- persatu .

Dalam penyusunan skripsi ini tentunya masih banyak kekurangan baik dalam isi maupun analisisnya, oleh karena itu kami mengharapkan pada para pembaca dapat merevisi dan manjadikan lebih baik, kami berharap semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca, terima kasih.

Jember, Februari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
HALAMAN PEMBIMBINGAN	vii
HALAMAN PENGESAHAN	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
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 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Mesin Drilling	4
2.1.1 Pengertian Mesin Drilling	4
2.1.2 Elemen Dasar Mesin Drilling	5
2.1.3 Gaya Pemotongan	6
2.1.4 Pahat <i>Twist drill</i>	8
2.1.5 Material Pahat HSS	9
2.1.6 Keausan Pahat	10
2.1.7 Pengasahan Pahat Drill	12

2.2	Getaran	13
2.2.1	Getaran dalam Konteks Umum	13
2.2.2	Getaran dalam Kopnteks Khusus	15
2.3	Alat Uji Getaran	16
2.4	Kebulatan	19
2.4.1	Definisi Kebulatan	19
2.4.2	Ketelitian Geometris	20
2.5	Alat Ukur Kebulatan CMM	23
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1	Metode Penelitian	24
3.2	Tempat dan Waktu	24
3.3	Bahan dan Alat	24
3.3.1	Bahan	24
3.3.2	Alat	25
3.4	Variabel Pengukuran	26
3.5	Pelaksanaan Penelitian	26
3.5.1	Prosedur Percobaan Proses Drilling	26
3.5.2	Prosedur Pengambilan Data Getaran	27
3.5.3	Prosedur Pengambilan Data Kebulatan	28
3.5.4	Penyimpanan Data	28
3.5.5	Pengolahan Data dengan Regresi	30
3.6	Jadwal Rencana Penelitian	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Tinjauan Umum Akselerasi Getaran	33
4.2	Data Hasil Percobaan Pengujian Getaran	33
4.3	Analisis Data Getaran	34
4.4	Pengujian Model Regresi	35
4.4.1	Analisis Korelasi	35
4.4.2	Pemodelan Regresi	36

4.4.3	Analisis Faktorial	37
4.4.4	Uji Kesesuaian Model	38
4.4.5	Memeriksa <i>Mean Square Residual</i>	39
4.4.6	Memeriksa Utilitas Model	39
4.4.7	Memeriksa Ukuran Kecukupan Model	41
4.4.8	Memeriksa <i>Unusual Observation</i>	41
4.4.9	Uji Identik	41
4.4.10	Uji Independen	42
4.4.11	Uji Kenormalan Residual	43
4.5	Pembahasan	45
4.6	Tinjauan Umum Kebulatan.....	46
4.7	Data Hasil Percobaan Pengujian Kebulatan	48
4.8	Analisis Kebulatan	47
4.9	Pengujian Model Regresi	49
4.9.1	Analisis Korelasi	49
4.9.2	Pemodelan Regresi	49
4.9.3	Analisis Faktorial	50
4.9.4	Uji Kesesuaian Model	51
4.9.5	Memeriksa <i>Mean Square Residual</i>	52
4.9.6	Memeriksa Utilitas Model	52
4.9.7	Memeriksa Ukuran Kecukupan Model	54
4.9.8	Memeriksa <i>Unusual Observation</i>	54
4.9.9	Uji Identik	54
4.9.10	Uji Independen	55
4.9.11	Uji Kenormalan Residual	56
4.10	Pembahasan	58

BAB 5. PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Mesin Drill	4
2.2 Proses Drill	6
2.3 Gaya Pemotongan pada proses drill	7
2.4 Pahat Twist drill	9
2.5 Pengukuran Keausan Pahat	12
2.6 Dua bidang utama yang tak seimbang luasanya	13
2.7 Frekuensi, Amplitude, dan Akselerasi	14
2.8 Aplikasi getaran bebas pada piston	15
2.9 Aplikasi Getaran paksa benda kerja yang diberi tekanan	15
2.10 Rangkaian alat uji getaran	16
2.11 Profil kebulatan	20
2.12 Ketegak-lurusan gerakan pada mesin	21
2.13 Penyimpangan rotasi pada mesin perkakas	22
2.14 <i>Coordinate measuring mechine</i> (CMM)	23
3.1 Profil benda kerja	24
3.2 Mesin Drill	25
3.3 Rangkaian alat uji getaran	28
3.4 Alat pengukur kebulatan.....	28
4.1 <i>Output</i> analisis regresi berganda Akselerasi Getaran	35
4.2 Analisis korelasi untuk getaran	36
4.3 Hasil Analisis <i>design factorial</i>	37
4.4 Tabel ANOVA	39
4.5 <i>Output</i> uji parameter model	40
4.6 <i>Plot residual the fitted values</i>	42
4.7 <i>Autocorrelation fuction</i> (ACF) untuk RESI1	43
4.8 <i>Plot</i> uji distribusi normal	44

4.9	<i>Output</i> analisis regresi berganda Kebulatan	48
4.10	Analisis korelasi untuk kebulatan	49
4.11	Hasil Analisis <i>design factorial</i>	50
4.12	Tabel ANOVA	52
4.13	<i>Output</i> uji parameter model	53
4.14	<i>Plot residual versus the fitted values</i>	55
4.15	<i>Autocorrelation fuction</i> (ACF) untuk RESI1	56
4.16	<i>Plot</i> uji distribusi normal	57

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Batas Keausan Kritis	12
3.1 Penyajian Data Getaran	29
3.2 Penyajian Data Kebulatan.....	30
3.3 Jadwal Rencana Kegiatan Penelitian	32
4.1 Data Getaran Setelah dilakukan Pengujian	34
4.2 Data Kebulatan Setelah dilakukan Pengujian.....	47

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 gurdi/ *drilling* merupakan salah satu bentuk proses pemesinan konvensional yang secara sederhana dapat dikatakan sebagai proses pembuatan lubang bulat 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. Serpih hasil proses gurdi yang biasa disebut dengan geram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat gurdi ke luar lubang. Ujung pahat menempel pada benda kerja yang terpotong, sehingga proses pendinginan menjadi relatif sulit. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kepresisian benda kerja dan keakuratan dimensi dari proses gurdi itu sendiri (Widarto, 2008).

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.

Dalam mencapai kualitas pada proses pengerjaan mesin adalah adanya getaran pahat dan benda kerja pada saat proses pemotongan berlangsung atau dikenal dengan istilah *chatter* (Mulyadi, 2009). 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.

Hal ini erat sekali kaitannya dengan fungsi produk itu sendiri. Bila suatu produk yang dihasilkan mempunyai karakteristik yang sesuai maka akan berpengaruh terhadap kekuatan dan umur suatu mesin, atau dengan kata lain kekuatan suatu mesin tergantung pada ketepatan dimensi dari komponen-komponennya (Hermawan, 2003).

Pada kenyataannya sangat sulit untuk mendapatkan benda kerja dengan karakteristik geometri yang sempurna dan memperoleh hasil dengan kualitas tinggi dengan tanpa memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi proses pemesinan. Oleh karena itu dalam suatu proses pemesinan benda kerja banyak terjadi penyimpangan penyimpangan yang salah satu diantaranya disebabkan oleh parameter pemotongan itu sendiri. Karena itu pada pembahasan karya tulis ini mengambil judul “*Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong terhadap Getaran Spindle Head dan Kebulatan Hasil Proses Drilling*”.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang timbul dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh putaran spindel (*spindle speed*), gerak pemakanan (*feeding*) dan kedalaman potong (*depth of cut*) terhadap getaran *spindle head* dan kebulatan yang ditimbulkan pada proses *drilling*.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu meluas maka perlu adanya batasan masalah antara lain sebagai berikut:

- a. Material benda kerja yang digunakan adalah besi persegi St 37, dengan ukuran 70x50x50 mm;
- b. Pahat HSS (*High Speed Steel*) dengan diameter 14 mm, 17 mm, 20 mm;
- c. Putaran spindel yang digunakan 136 rpm, 254 rpm, dan 368 rpm;
- d. Gerak makan yang digunakan 0.07 mm/put, 0.13 mm/put dan 0.22 mm/put;
- 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 spindle, gerak makan dan kedalaman potong terhadap getaran *spindle head* dan kebulatan hasil proses *drilling*;
- b. Memberikan masukan kepada praktisi di lapangan tentang seberapa besar pengaruh kondisi pemotongan yang bervariasi terhadap getaran dan kebulatan hasil proses *drilling*;
- c. Menganalisis terjadinya *chatter* pada *spindle head* dengan putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong hasil proses *drilling*;

1.5 Manfaat Penelitian

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

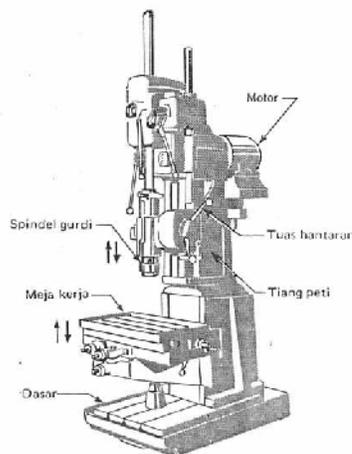
- a. Peneliti dapat mengetahui ada dan tidaknya pengaruh variabel (putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong) terhadap getaran (*chatter*) dan kebulatan yang dihasilkan dari proses *drilling*;
- b. Peneliti dapat mengetahui besar dan kecilnya pengaruh variabel (putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong) terhadap getaran (*chatter*) dan kebulatan yang dihasilkan dari 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

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

Pada proses drill, geram (*chips*) harus keluar melalui alur helix pahat drill ke luar 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 bor.

2.1.2 Elemen Dasar Mesin *Drilling*

Pahat drill mempunyai dua mata potong dan melakukan gerak potong karena diputar 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 bubut 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 benda kerja (mm),

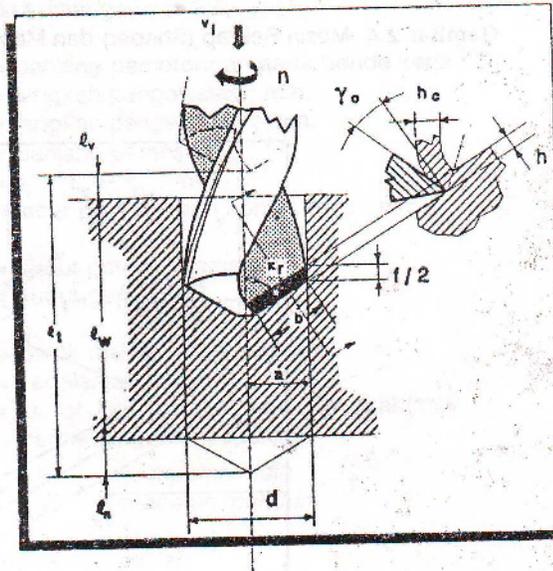
Pahat:

d = diameter drill (mm)

Mesin drill:

n = putaran poros utama (rpm)

f = gerak makan (mm/min)



Gambar 2.2 Proses drill.

Elemen proses drill adalah:

- a. Kecepatan potong,

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} (m/min)$$

- b. Gerak makan permata potong,

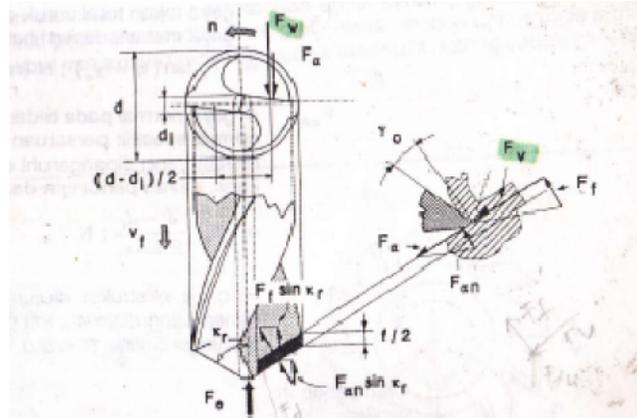
$$f_z = \frac{V_f}{(nz)} (mm/put)$$

- c. Kedalaman potong,

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

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.

Dari gambar 2.3 dapat diturunkan rumus gaya tangensial yaitu:

$$F_t = F_v + F_o ; N$$

Dimana,

F_v = gaya potong, sebagaimana dalam proses *drilling*

$$= \tau_{shi} \frac{d-d_i}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi+\eta-\gamma_0)} ; N$$

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

$$= k_f \cdot \frac{d-d_i}{2 \sin \kappa_r} ; N$$

Maka:

$$F_t = \tau_{shi} \frac{d-d_i}{2} \frac{f}{2} \frac{\cos(\eta-\gamma_0)}{\sin \phi \cos(\phi+\eta-\gamma_0)} + k_f \frac{d-d_i}{2 \sin \kappa_r} ; N$$

Momen torsi yang diperlukan untuk memutar pahat drill adalah:

$$M_t = F_t \frac{d-d_i}{2} ; N \text{ mm}$$

Gaya tekan yang diperlukan supaya proses pemakanan berlangsung adalah:

$$F_t = 2F_f \sin K_r + 2F_{an} \sin k_r + F_e; N$$

Dimana,

F_z = gaya tekan total untuk kedua mata potong; N

F_t = gaya makan, seperti halnya pada proses *drilling*

$$= F_v \tan (\eta - \gamma_0) ; N$$

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.

$$= k_f \cdot \frac{d - d_i}{2 \sin k_r}; N$$

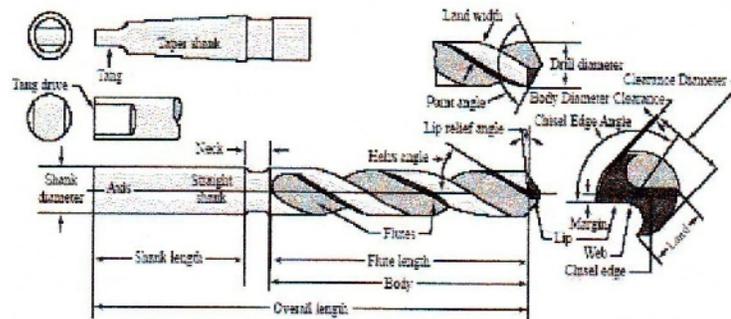
F_e = gaya ekstrusi diujung pahat drill, sesuai dengan penampang diameter inti d_1 dari hasil percobaan umumnya berharga sekitar 50% s.d 55% dari gaya tekan total; N

Oleh karena itu:

$$F_z = 4 \left\{ F_v \tan(\eta - \gamma_0) \sin k_r + k_n \frac{d-d_i}{2} \right\}; N$$

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*

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 :

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

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 :

- 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.

- Chromium (Cr)

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

-Vanadium (V)

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

- 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 sensitif terhadap *overheating* (hangus ujung-ujung yang runcing) sewaktu proses *heat treatment*.

- Cobalt (Co)

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

2.1.6 Keausan Pahat

Keausan pahat ditentukan dengan mengamati dan mengukur perkembangan keausan. Dalam pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab, antara lain:

- a. Keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat.

- b. Retak yang mengalir sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat.
- c. Deformasi plastis yang akan mengubah bentuk pahat.

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

- a. Proses Abrasif
- b. Proses Kimiawi
- c. Proses Adhesi
- d. Proses Difusi
- e. Proses Oksidasi
- f. Proses Deformasi Plastis
- g. Proses Keretakan dan Kelelahan

Semakin besar keausan atau kerusakan yang diderita pahat, maka kondisi pahat akan semakin kritis. Jika pahat tersebut masih tetap digunakan maka pertumbuhan keausan akan semakin cepat dan pada suatu saat ujung pahat sama sekali akan rusak. Kerusakan fatal seperti ini tidak boleh terjadi, sebab gaya pemotongan akan sangat tinggi sehingga dapat merusakkan seluruh pahat, mesin perkakas dan benda kerja, serta dapat membahayakan operator.

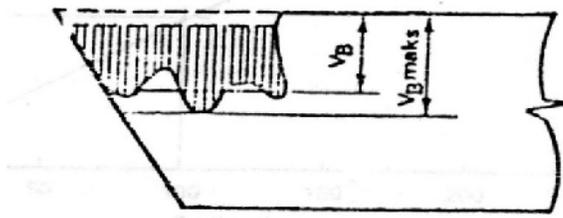
Untuk menghindari hal tersebut ditetapkan suatu batas harga keausan yang dianggap sebagai batas kritis ketika pahat tidak boleh digunakan. Sebagai contoh, berdasarkan pengalaman, batas keausan yang diizinkan bagi suatu jenis pahat yang digunakan untuk pemotongan suatu jenis benda kerja adalah seperti tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Batas Keausan Kritis

Pahat	Benda Kerja	Keausan Tepi (V_B) (mm)	Rasio Kawah (K)
HSS	Baja dan Besi Tuang	0.3	
Karbida	Baja	0.2	0.3
Keramik	Baja dan Besi Tuang	0.3	

Sumber : Taufiq Rochim,. 1993

Keausan tepi dapat diukur menggunakan mikroskop dimana sisi potong yang diamati harus paralel menggunakan preparat, dalam hal ini keausan tepi dapat diukur dan dapat diketahui dengan mengukur panjang V_B (mm) yaitu jarak antara mata potong sebelum terjadi keausan sampai ke garis rata-rata keausan pada bidang utama (dengan referensi mata potong yang ada di dekatnya). Pengukuran keausan bisa dilihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



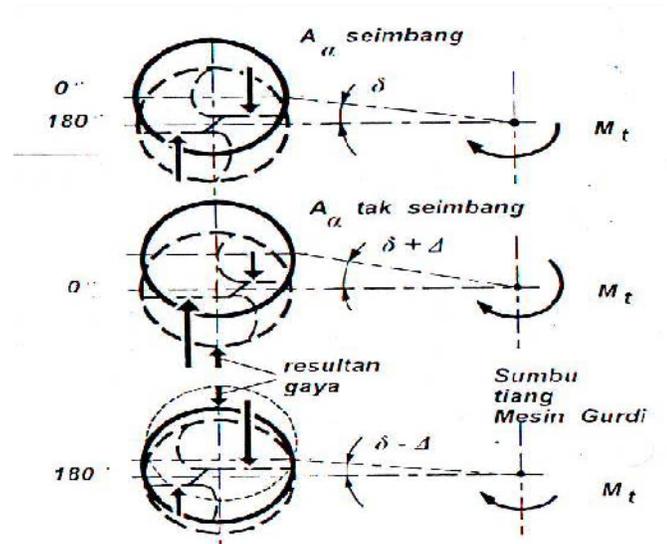
Gambar 2.5 Pengukuran Keausan Pahat

2.1.7 Pengasahan Pahat Drill

Pengasahan pahat drill harus menghasilkan luas kedua bidang utama yang sama besar. Jikalau 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 2.6 di bawah ini.



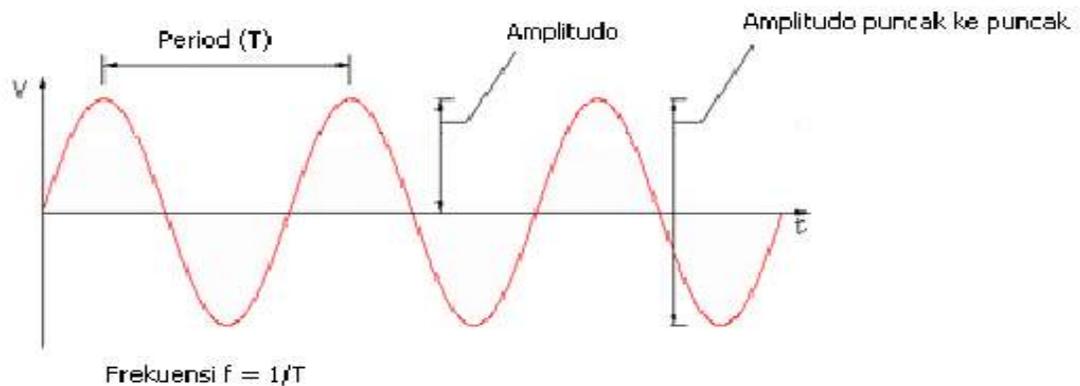
Gambar 2.6 Dua bidang utama yang tak seimbang luasanya

2.2 Getaran

2.2.1 Getaran dalam Konteks Umum

Dalam konteks yang paling sederhana, getaran dapat dianggap sebagai goyangan atau gerakan berulang dari suatu obyek di sekitar 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 di dalam 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, amplitude dan akselerasi pada (gambar 2.7).



Gambar 2.7 Frekuensi, Amplitudo dan Akselerasi

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/d^2). Besar akselerasi berubah dari nol ke maksimum selama

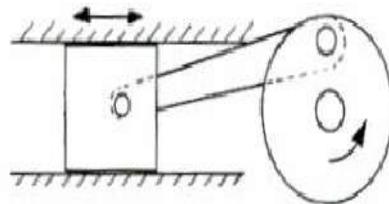
masing-masing siklus getaran dan meningkat seperti pergerakan objek yang bergetar lebih lanjut dari posisi diamnya.

2.2.2 Getaran dalam Konteks Khusus

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

a. Getaran Bebas

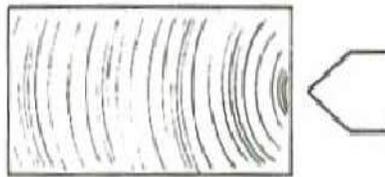
Getaran bebas (gambar 2.8) terjadi bila sistem berosilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*) dan jika tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya.



Gambar 2.8 Aplikasi getaran bebas pada piston (Victor Wowk, 1991)

b. Getaran Paksa

Getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa (gambar 2.9). jika rangsangan tersebut berosilasi, maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi.



Gambar 2.9 Aplikasi getaran paksa pada benda kerja yang diberi tekanan

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 2.10 di bawah ini:



Gambar 2.10 Rangkaian alat uji getaran

Fungsi alat:

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 horizontal, accelerator akan mengukur percepatannya secara langsung ketika dia bergerak searah horizontal.

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 Converter)*

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.

1. Teknik Pengubahan

Terdapat banyak cara untuk melaksanakan pengubahan analog ke digital, tergantung dari kecepatan dan ketelitian konversi yang dibutuhkan. Tipe pengubah yang sering dipakai adalah:

- a. Sistem loop terbuka
- b. Tegangan ke frekuensi

Pengubah tegangan ke frekuensi merupakan suatu sistem sederhana yang dapat dipakai bila tidak membutuhkan ketelitian tinggi. Masukan analog dikirimkan ke osilator terkendali tegangan.

Osilator menghasilkan keluaran yang merupakan suatu fungsi linear dari isyarat masukan. Keluaran osilator kemudian dikirimkan ke pencacah untuk dirubah menjadi isyarat digital.

- c. Tegangan ke lebar pulsa

Di sini tegangan masukan analog digunakan untuk mengendalikan lebar pulsa keluaran suatu ekamantap. Pulsa ekamantap digunakan untuk membuka gerbang untuk memungkinkan clock frekuensi tetap yang mantap untuk dicacah.

- 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. Parameter pada pengubah
 - a. Waktu pengubahan
 - b. Angka pengubahan
 - c. Taraf kuantum
 - d. Resolusi
 - e. Ketelitian
 - f. Kepresisian

2.4 Kebulatan

2.4.1 Definisi kebulatan

Kebulatan adalah kondisi pada permukaan bagian dengan penampang berbentuk lingkaran dimana setiap titik pada permukaan berjarak sama dengan perpotongan salib sumbunya (Hermawan, 2003).

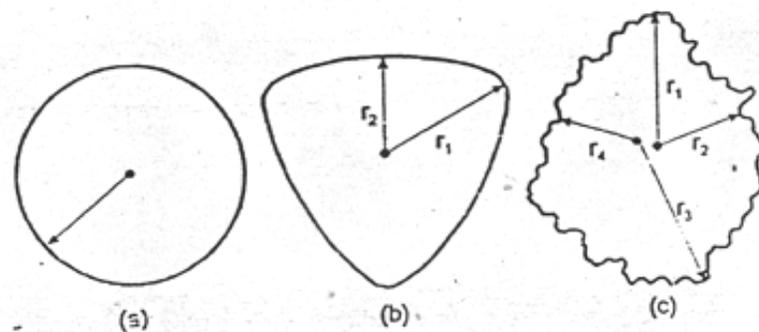
Suatu komponen dengan kebulatan ideal sangat sulit untuk dibuat, sehingga dapat dipastikan akan terjadi suatu ketidakbulatan pada komponen tersebut. Walaupun secara visual penampang suatu komponen berbentuk bulat, namun bila dilakukan pembesaran maka akan terlihat suatu ketidakbulatan terjadi pada penampang tersebut. Keterbatasan yang ada pada proses pembuatan menyebabkan hal tersebut tidak dapat dihindarkan, sehingga ketidakbulatan yang terjadi harus ditolerir dalam batasan tertentu sesuai dengan tujuan dan fungsi dari komponen tersebut. ISO/R 1101 mendefinisikan toleransi kebulatan sebagai daerah toleransi pada bidang penampang yang dibatasi oleh dua lingkaran konsentrik dengan selisih radius sebesar harga toleransinya (Rohman, 2009).

Untuk dapat melihat dan menganalisa ketidakbulatan suatu komponen maka perlu dilakukan suatu pembesaran, dimana pembesaran tersebut hanya dilakukan terhadap kesalahan/penyimpangan bentuk yang terjadi (bukan pembesaran pada penampang secara keseluruhan). Profil hasil pembesaran kesalahan/penyimpangan bentuk tersebut biasa disebut dengan profil kebulatan.

Pada umumnya suatu profil kebulatan dikatakan bulat sempurna bila jarak titik-titik yang terdapat pada bentuk geometri tersebut memiliki jarak yang sama terhadap sebuah titik yang disebut dengan titik pusat.

Suatu profil kebulatan dikatakan tidak bulat sempurna jika terjadi ketidakbulatan yang ditandai dengan adanya perbedaan jarak antara titik-titik pada bentuk geometri tersebut terhadap titik pusatnya.

Pada gambar 2.11a ditunjukkan suatu profil kebulatan yang dikatakan bulat sempurna. Sedangkan pada gambar 2.11b ditunjukkan suatu bentuk yang dikatakan tidak bulat sempurna, karena terjadi ketidakbulatan sebesar $r_1 - r_2$ dimana r_1 adalah radius terjauh dan r_2 adalah radius terdekat.



Gambar 2.11 Profil Kebulatan

Menentukan ketidakbulatan menjadi suatu hal yang sulit bila dilakukan pada bentuk-bentuk yang tidak beraturan, seperti ditunjukkan pada gambar 2.10c. Kesulitan pertama adalah menentukan titik pusat dari profil tersebut, sebagai langkah awal menentukan ketidakbulatannya. Bila digunakan sembarang titik pusat maka ketidakbulatan yang diperoleh akan berbeda-beda bergantung pada posisi titik pusat yang dipilih. Hal ini menunjukkan bahwa penentuan posisi titik pusat menjadi hal yang penting dalam analisis kebulatan.

2.4.2 Ketelitian Geometris

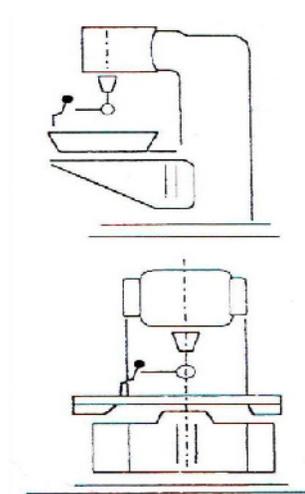
Suatu garis atau bidang permukaan yang terdapat pada suatu mesin perkakas apabila ditinjau dari segi bentuk, posisi atau gerak pindahannya mempunyai ciri tertentu yang bisa diungkapkan dalam bentuk:

a. Kerataan (*flatness*)

Suatu permukaan atau bidang dinyatakan rata atau datar bila perubahan jarak tegak lurus dari titik titik itu terhadap sebuah bidang geometris yang sejajar permukaannya.

b. Ketegak lurusan (*squarness*)

Suatu garis dengan bidang dikatakan tegak lurus satu sama lainnya jika penyimpangan kesejajaran relative terhadap suatu referensi ketegak lurusan tidak melebihi suatu harga tertentu. Gambar 2.12 di bawah ini merupakan kondisi ketegak lurusan gerakan pada mesin perkakas.



Gambar 2.12 Ketegak lurusan gerakan pada mesin.

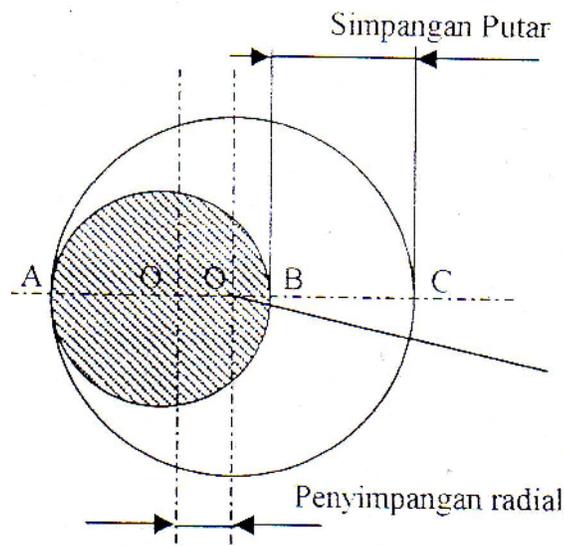
Jenis ketegak lurusan yang perlu dites pada mesin perkakas adalah:

- Ketegak lurusan komponen komponen mesin perkakas;
- Ketegak lurusan antara garis lurus dengan bidang;
- Ketegak lurusan antara sumbu dengan sumbu

c. Rotasi (*rotation*)

Penyimpangan rotasi banyak sekali terjadi pada mesin perkakas, karena sebagian besar dari mesin perkakas memakai prinsip kerja rotasi, walaupun dari prinsip kerja rotasi tersebut banyak diubah menjadi prinsip

translasi. Maka penyimpangan rotasi pada mesin perkakas selalu ada dan terjadi baik itu secara dinamik atau static. Pada mesin perkakas terdapat komponen rotasi yakni poros spindel dan poros ulir (*lead screw*). Kesalahan gerak komponen rotasi yang paling sering adalah simpang putar. Simpang putar yang terlihat pada Gambar 2.13 , memperlihatkan terjadinya simpang putar suatu poros yang berotasi, penampang poros adalah lingkaran berarsir yang berjari jari AO dan tegak lurus dengan bidang gambar serta melalui titik O merupakan sumbu geometric poros tersebut.



Gambar 2.13 Penyimpangan rotasi pada mesin perkakas

Garis tegak lurus bidang gambar dan melalui titik D adalah sumbu putar poros, sehingga dalam kasus ini sumbu geometris poros tidak berimpit (tidak konsentrik) dengan sumbu putarnya dan berjarak OD yang disebut dengan simpang radial (*radial throw*). Jarak BC disebut dengan simpang putar benar (*out true running*) yang besarnya dua kali simpang radial.

2.5 Alat Ukur Kebulatan Menggunakan *Coordinate-Measuring Machine* (CMM)

Coordinate-Measuring Machine (CMM) merupakan alat ukur geometrik modern dengan memanfaatkan komputer untuk mengontrol gerakan sensor relatif terhadap benda ukur serta untuk menganalisis data pengukuran. *Coordinate-Measuring Machine* (CMM) yang tampak pada gambar 2.14 merupakan instalasi untuk mengukur macam-macam jenis pengukuran dengan menggunakan arah sumbu X, Y, dan Z. Secara garis besar, konstruksi *Coordinate-Measuring Machine* (CMM) dibagi menjadi 3 bagian antara lain sebagai berikut:

- a. Unit mesin
- b. Instalasi pengolahan data (PC/ *Software*)
- c. *Probe* (*Touch probe, copy probe, un-direct probe, dsb*)



Gambar 2.14 *Coordinate-Measuring Machine* (CMM)

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 getaran dan kebulatan setiap penambahan variabel yang diujikan.

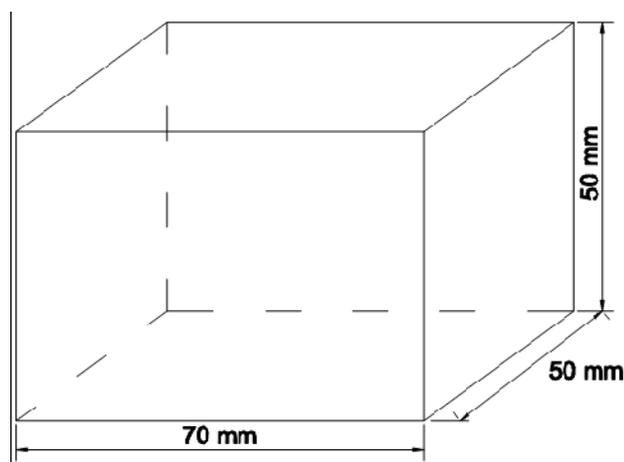
3.2 Tempat dan Waktu

Penelitian getaran dilaksanakan di laboratorium Pemesinan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penelitian kebulatan dilaksanakan di Politeknik ATMI Surakarta. Penelitian berlangsung selama kurang lebih 4 bulan dimulai bulan September – Desember 2011

3.3 Bahan dan Alat

3.3.1 Bahan

Material atau benda kerja yang digunakan adalah St 37 dengan ukuran panjang 70 mm, sedangkan tinggi dan lebar masing masing 50 mm.



Gambar 3.1 Profil benda kerja

3.3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Mesin Drill merek Krisbow model: KMR - 700DS seperti pada gambar 3.2.
- b. Pahat HSS (*High Speed Steel*) diameter 14mm, 17mm, 20mm
- c. Jangka Sorong
- d. Kunci Sok
- e. Kunci Ring
- f. Kunci Pas
- g. Rangkaian alat ukur getaran



Gambar 3.2 Mesin Drill

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. Mengatur putaran spindel (*spindle speed*), dengan variasi mulai dari 136 rpm, 254 rpm, dan 368 rpm.
- b. Gerak makan atau *feeding* yang digunakan adalah : 0.07 mm/put, 0.13 mm/put dan 0.22 mm/put.
- c. Kedalaman yang digunakan 7 mm, 8,5 mm, 10 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 dan kebulatan.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode sebagai berikut:

3.5.1 Prosedur percobaan proses *drilling*

- a. Mempersiapkan benda kerja yang akan diuji,
- b. Mempersiapkan alat-alat yang diperlukan untuk melakukan proses drill, kunci pas, kunci sok dan jangka sorong,
- c. Mempersiapkan pahat yang akan digunakan adalah pahat HSS (*High Speed Steel*),
- d. Pasang benda kerja yang akan dilakukan drill pada *ragum*, kemudian kencangkan,
- e. Pasang pahat pada *toolholder*,
- f. Mengatur variabel yang akan digunakan,
- g. Menghidupkan mesin dan melakukan proses drill dengan variabel yang telah ditentukan hingga selesai,
- h. Setelah selesai dilakukan semua proses drill, mesin drill dimatikan dan membersihkan.

3.5.2 Prosedur pengambilan data getaran pada mesin dan benda kerja

- a. Siapkan alat-alat yang digunakan untuk pengukur getaran antara lain, sensor pendeteksi getaran atau *accelerometer*, *charge amplifier*, ADC dan komputer,
- b. Pasang sensor getaran (*accelerometer*) pada *spindle head*, alat ini berfungsi sebagai sensor sinyal amplitudo getaran pada saat terjadi proses *pendrillingan*,
- c. Hubungkan sensor getaran ke *charge amplifier*, agar sinyal getaran dapat dikuatkan sehingga bisa ditampilkan,
- d. Hubungkan *charge amplifier* ke ADC (*Analog to Digital Converter*), agar sinyal yang tadinya berupa analog dapat dikonversi ke digital dan bisa muncul di komputer,
- e. Setelah dari ADC kemudian dihubungkan ke komputer untuk menampilkan data hasil uji getaran,
- f. Skema rangkaian alat uji getaran;



Gambar 3.3 Rangkaian alat uji getaran

- g. Setelah alat pengukur getaran terangkai, mulai lakukan proses *drilling* dengan variabel yang telah ditentukan,

- h. Setiap melakukan pengamatan, mencatat hasil pengukuran kedalam tabel penyajian data.

3.5.3 Prosedur pengambilan data kebulatan pada benda kerja hasil proses drilling.

- a. Spesimen yang telah dilubangi diukur kebulatannya dengan menggunakan *CMM (coordinate measuring machine)*, sehingga dihasilkan *print out* profil kebulatan.
- b. Dari *print out* tersebut tercetak nilai kebulatan.
- c. Masukkan nilai kebulatan tersebut kedalam tabel data pengamatan untuk masing-masing percobaan.



Gambar 3.4 Alat pengukur kebulatan

3.5.4 Penyimpanan data

Pengambilan data dilakukan dengan melakukan percobaan dengan variasi perubahan *spindle speed*, *feeding rate* dan *dept of cut* konstan untuk mendapatkan tujuan utama dari penelitian ini yaitu Amplitudo yang dihasilkan tiap variasi. Dari data yang diperoleh tiap percobaan akan disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Penyajian Data Getaran

Putaran Spindel (RPM)	Kedalaman potong (mm)	Gerak Makan (mm/put)	Getaran (mm/s ²)
136	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	
254	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	
368	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	

Tabel 3.2 Penyajian Data Kebulatan

Putaran Spindel (RPM)	Kedalaman potong (mm)	Gerak Makan (mm/put)	Kebulatan C (μm)
136	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	
254	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	
368	7	0,07	
		0,13	
		0,22	
	8,5	0,07	
		0,13	
		0,22	
	10	0,07	
		0,13	
		0,22	

3.5.5 Pengolahan data dengan Regresi

Analisis dan pengujian data yang diperoleh pada saat penelitian akan diuji menggunakan metode analisis regresi linier berganda. Untuk mengetahui pengaruh antara *spindle speed*, *feeding rate* dan *depth of cut* terhadap getaran dan kebulatan yang dihasilkan melalui proses drilling serta untuk memudahkan menganalisis dan menarik kesimpulan dari hasil percobaan, maka digunakan asumsi bahwa getaran (A)

merupakan fungsi dari *Spindle Speed* (n), *Feeding Rate* (f) dan *depth of cut* (a) dengan demikian dapat dituliskan fungsi sebagai berikut:

$$A = \beta(n, f, a) \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana:

A = Getaran

β = konstanta

n = *Spindle speed*

f = *Feeding rate*

a = *Depth of cut*

dari fungsi di atas dapat diubah menjadi bentuk persamaan matematis sebagai berikut:

$$A = \beta_0 \cdot n^{\beta_1} \cdot f^{\beta_2} \cdot a^{\beta_3} \dots \dots \dots (3.2)$$

Untuk merubah ke dalam bentuk linier maka bentuk tersebut di atas perlu ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma, sehingga menjadi:

$$\log A = \log \beta_0 + \beta_1 \log n + \beta_2 \log f + \beta_3 \log a \dots \dots (3.3)$$

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

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \dots \dots \dots (3.4)$$

Dengan transformasi

$$y = \log A, X_1 = \log n, X_2 = \log f, X_3 = \log a \dots \dots \dots (3.5)$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan hubungan atau korelasi antara y terhadap variabel X_1, X_2, X_3 dengan menentukan nilai atau harga konstanta β , harga koefisien X_1, X_2, X_3 berupa $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Untuk menentukan konstanta dan koefisien-koefisien tersebut dilakukan dengan bantuan perangkat lunak atau *software* minitab 14. Dari hasil pengolahan data didapatkan persamaan regresi, analisa varians dan hubungan antara variabel bebas dan variabel respon satu per satu serta dapat pula diketahui variabel-variabel yang berpengaruh terhadap nilai penyimpangan geometri yang didapatkan melalui penelitian.

3.6 Jadwal Rencana Kegiatan

Jadwal rencana kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan seperti pada Tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Rencana Kegiatan

Bulan Keg.	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Januari
Studi Literatur						
Pengajuan Judul						
Penyusunan Proposal						
Seminar Proposal						
Persiapan alat dan bahan						
Penelitian						
Pengolahan data						
Konsultasi Hasil						
Seminar Hasil						
Ujian Skripsi Laporan						

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum Akselerasi Getaran

Setelah dilakukan penelitian dengan melakukan beberapa parameter dihasilkan data besar getaran, setelah ini akan dilakukan analisa hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor yang telah ditentukan sebelumnya.

Variabel prediktor dan variasinya yaitu:

- a. Putaran spindel (n) : 136 rpm, 254 rpm, dan 368 rpm
- b. Gerak makan (f) : 0,07 mm/put, 0,13 mm/put, dan 0,22 mm/put
- c. Kedalaman potong (a): 7 mm, 8,5 mm dan 10 mm

Setelah memberikan parameter di atas maka akan didapatkan data besar getaran maka untuk mencari hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor, maka digunakan analisis regresi berganda untuk mendapatkan persamaan. Kemudian untuk mengetahui apakah model persamaan regresi yang didapat benar-benar valid, maka dilakukan pengujian model regresi seperti analisis faktorial, uji kesesuaian model, memeriksa *mean square residual*, memeriksa utilitas model, memeriksa ukuran kecukupan model, memeriksa *unusual observation*, analisis korelasi, pemodelan regresi, dan uji kenormalan residual.

Untuk mempermudah pencarian persamaan dan pengujian model regresi, maka digunakan *software* minitab 16, yaitu *software* khusus untuk mengolah data statistik. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, data yang akan diperoleh pada saat penelitian akan diolah dengan cepat dan akurat.

4.2 Data Hasil Percobaan Pengujian Getaran

Setelah didapatkan data besar getaran maka dilakukan analisis hubungan antara variabel prediktor dan respon, dalam penelitian ini getaran dan kebulatan adalah variabel Prediktor dan variable respon adalah, putaran spindel, kedalaman potong dan gerak makan, kemudian data yang diperoleh akan diolah secara statistik. Data tabel 4.1 yang diperoleh adalah sebagai berikut

Tabel 4.1 Data getaran setelah dilakukan pengujian

No	Parameter Pengujian						Hasil Percobaan			
	Putaran Spindel (rpm)	Logaritma Putaran Spindel (rpm)	Kedalaman Potong (mm)	Logaritma Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/put)	Logaritma Gerak Makan (mm/put)	Getaran Tanpa Beban (m/s ²)	Getaran Proses (m/s ²)	Getaran (m/s ²)	Logaritma Getaran (m/s ²)
1	136	2.133539	7	0.845098	0.07	-1.15490196	0,1162	0,7523	0.6361	-0.19647
2	136	2.133539	7	0.845098	0.13	-0.88605665	0,1162	0,9898	0.9898	-0.00445
3	136	2.133539	7	0.845098	0.22	-0.65757732	0,1162	1,2117	1.0955	0.039612
4	136	2.133539	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	0,1162	1,5243	1.4081	0.148633
5	136	2.133539	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	0,1162	1,9121	1.7959	0.254282
6	136	2.133539	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	0,1162	1,9447	1.8285	0.262095
7	136	2.133539	10	1	0.07	-1.15490196	0,1162	1,9942	1.8780	0.273696
8	136	2.133539	10	1	0.13	-0.88605665	0,1162	2,7462	2.6300	0.419956
9	136	2.133539	10	1	0.22	-0.65757732	0,1162	2,9081	2.6757	0.427437
10	254	2.404834	7	0.845098	0.07	-1.15490196	0,2719	1,1527	0.8808	-0.05512
11	254	2.404834	7	0.845098	0.13	-0.88605665	0,2719	1,4092	1.1373	0.055875
12	254	2.404834	7	0.845098	0.22	-0.65757732	0,2719	1,5903	1.3184	0.120047
13	254	2.404834	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	0,2719	1,6293	1.3574	0.132708
14	254	2.404834	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	0,2719	1,8170	1.5451	0.188957
15	254	2.404834	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	0,2719	2,0673	1.7954	0.254161
16	254	2.404834	10	1	0.07	-1.15490196	0,2719	2,8109	2.5390	0.404663
17	254	2.404834	10	1	0.13	-0.88605665	0,2719	3,6749	3.4030	0.531862
18	254	2.404834	10	1	0.22	-0.65757732	0,2719	3,8662	3.5943	0.555614
19	368	2.565848	7	0.845098	0.07	-1.15490196	0,3667	1,4839	1.1172	0.048131
20	368	2.565848	7	0.845098	0.13	-0.88605665	0,3667	1,5936	1.2269	0.088809
21	368	2.565848	7	0.845098	0.22	-0.65757732	0,3667	1,7621	1.3954	0.144699
22	368	2.565848	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	0,3667	2,4750	2.1083	0.323932
23	368	2.565848	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	0,3667	2,6387	2.2720	0.356408
24	368	2.565848	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	0,3667	3,2232	2.8565	0.455834
25	368	2.565848	10	1	0.07	-1.15490196	0,3667	4,2382	3.8150	0.581495
26	368	2.565848	10	1	0.13	-0.88605665	0,3667	5,2591	4.8924	0.689522
27	368	2.565848	10	1	0.22	-0.65757732	0,3667	5,7934	5.4267	0.734536

4.3 Analisis Data Getaran

Analisis data ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dan seberapa kuat hubungan tersebut antara variabel respons yaitu getaran dan variabel prediktor yaitu

putaran spindel (n) dan gerak makan (f) dan kedalaman potong (a). Berdasarkan data yang diperoleh, maka didapatkan analisis regresi sebagai berikut:

Regression Analysis: getaran versus n, a, f						
The regression equation is						
getaran = - 3.39 + 0.438 n + 3.13 a + 0.300 f						
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF	
Constant	-3.3939	0.2327	-14.59	0.000		
n	0.43811	0.06440	6.80	0.000	1.000	
a	3.1296	0.1814	17.25	0.000	1.000	
f	0.30008	0.05653	5.31	0.000	1.000	
S = 0.0597006 R-Sq = 94.2% R-Sq(adj) = 93.4%						
Analysis of Variance						
Source	DF	SS	MS	F	P	
Regression	3	1.32572	0.44191	123.99	0.000	
Residual Error	23	0.08198	0.00356			
Total	26	1.40770				
There are no replicates. Minitab cannot do the lack of fit test based on pure error.						
Source	DF	Seq SS				
n	1	0.16492				
a	1	1.06036				
f	1	0.10044				
Unusual Observations						
Obs	n	getaran	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
15	2.40	0.2542	0.3711	0.0180	-0.1169	-2.05R

Gambar 4.1 Output analisis regresi berganda

Output hasil analisis regresi berganda menggunakan minitab 16 terdapat tiga bagian. Bagian pertama adalah tabel persamaan regresi, bagian kedua adalah tabel ANOVA, dan bagian ketiga berisi *unusual observation*.

4.4 Pengujian Model Regresi

4.4.1 Analisis Korelasi

Untuk mendeteksi multikolinearitas antar variabel prediktor, dapat diketahui dengan membuat korelasi antar variabel prediktor. Pada analisis korelasi ini, tidak

hanya membuat korelasi antar variabel prediktor, tetapi juga membuat korelasi antara variabel prediktor dan variabel respons. Hipotesisnya adalah:

$H_0 =$ Ada korelasi antar variabel ($r_{ij} \neq 0$)

$H_1 =$ Tidak ada korelasi antar variabel ($r_{ij} = 0$)

Daerah penolakan:

menolak hipotesis awal apabila p-value kurang dari α . Sebaliknya, gagal menolak hipotesis awal atau menerima hipotesis alternatif apabila p-value melebihi α .

Correlations: getaran, n, a, f			
	getaran	n	a
n	0.342 0.081		
a	0.868 0.000	0.000 1.000	
f	0.267 0.178	0.000 1.000	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Gambar 4.2 Analisis korelasi untuk getaran, putaran spindle, kedalaman potong dan gerak makan.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara variabel putaran spindle dengan gerak makan ditunjukkan dengan nilai korelasi -0,000. Gerak makan dengan putaran spindle juga tidak menunjukkan adanya korelasi, nilai korelasi antara gerak makan dengan putaran spindle 0,000. Kedalaman potong dengan gerak makan juga menunjukkan tidak ada korelasi antara keduanya dengan nilai korelasi 0,000. Dalam kasus ini $\alpha = 5\%$, maka P-value $< \alpha$. Sehingga menolak hipotesis awal, dan menunjukkan bahwa tidak ada multikolinear antar variabel prediktor.

4.4.2 Pemodelan Regresi

Pada gambar 4.1 persamaan yang dapat diperoleh melalui analisis regresi linier berganda ini adalah:

$$\text{getaran} = - 3.39 + 0.438 n + 3.13 a + 0.300 f$$

Variance influence factors (VIF) digunakan untuk mengidentifikasi adanya multikolinear dalam model. Mutikolinear adalah suatu keadaan dimana antar variabel prediktor terdapat hubungan sangat erat. Dalam regresi, apabila ada korelasi antar variabel prediktor, maka akan ada ketidaksesuaian model yang telah dibuat. Untuk mengatasinya, diperlukan metode regresi khusus yang mampu menangani kasus multikolinearitas. Diantaranya adalah regresi *stepwise*, *best subset*, *backward elimination*, *forward selection*, dan lain-lain.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai *variance inflaction factors* sebesar 1,0. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada multikolinearitas atau hubungan yang sangat erat antar variabel prediktor, dan model yang digunakan sudah sesuai. Apabila $VIF > 1$, berarti ada korelasi antar variabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model. Ada juga literatur yang menyebutkan apabila VIF lebih dari 5 atau 10, maka taksiran parameter kurang baik.

4.4.3 Analisis Faktorial

Analisis faktorial yang didapatkan dari data hasil percobaan menggunakan *software* Minitab 16 adalah sebagai berikut:

General Linear Model: getaran versus n, a, f						
Factor	Type	Levels	Values			
n	fixed	3	2.13354, 2.40483, 2.56585			
a	fixed	3	0.84510, 0.92942, 1.00000			
f	fixed	3	-1.15490, -0.88606, -0.65758			
Analysis of Variance for getaran, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
n	2	0.18804	0.18804	0.09402	36.58	0.000
a	2	1.06487	1.06487	0.53243	207.14	0.000
f	2	0.10338	0.10338	0.05169	20.11	0.000
Error	20	0.05141	0.05141	0.00257		
Total	26	1.40770				
S = 0.0506993 R-Sq = 96.35% R-Sq(adj) = 95.25%						

Gambar 4.3 Hasil analisis desain factorial

Gambar 4.3 menunjukkan keterangan mengenai variabel prediktor, yaitu putaran spindel (n), kedalaman potong (a) dan gerak makan (f), masing-masing mempunyai 3 level faktor. Untuk putaran spindel dari 136, 254, dan 368 rpm, kedalaman potong 7, 8,5 dan 10 mm dan gerak makan yaitu 0,07, 0,13 dan 0,22 mm/put. Di bawah baris faktor terdapat tabel ANOVA yang digunakan untuk mengetahui pengaruh antara variabel respons dan variabel prediktor. Untuk mengetahui pengaruh-pengaruhnya maka hipotesisnya adalah:

$H_0 : F = 0$ (variabel prediktor tidak berpengaruh terhadap variabel respons)

$H_1 : F \neq 0$ (variabel prediktor berpengaruh terhadap variabel respons)

Dari gambar 4.3 dapat diketahui nilai F untuk masing-masing variabel prediktor adalah $n = 36,58$, $a = 207,14$ dan $f = 20,11$ dan p-value untuk variabel n, a dan f bernilai 0,000. Maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal yang berarti variabel prediktor tidak berpengaruh terhadap variabel respons karena p-value $< \alpha$, dimana $\alpha = 5\%$ dan menerima hipotesis alternatif yang berarti semua variabel prediktor berpengaruh cukup signifikan terhadap variabel respons.

4.4.4 Uji Kesesuaian Model

Hipotesis untuk uji kesesuaian model adalah:

$H_0 : \text{Ada salah satu parameter model } (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3) = 0$

$H_1 : \text{Parameter model } (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3) \neq 0$

Hipotesis awal berarti model yang dibuat tidak sesuai dengan data. Sebaliknya, hipotesis alternatif berarti model yang dibuat sesuai dengan data.

Pada analisis ini diperoleh persamaan getaran $= - 3.39 + 0.438 n + 3.13 a + 0.300 f$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada parameter model yang bernilai nol, ini berarti model menolak hipotesis awal.

Uji kesesuaian model menggunakan uji F. Daerah penolakannya adalah:

$$F_{hit} > F_{(\alpha, v_1, v_2)}$$

Level toleransi (α) dalam uji hipotesis adalah 0,05, $v_1 = 3$, $v_2 = (n - (k + 1)) = (27 - (3 + 1)) = 23$. Nilai $F_{(0,05,3,23)}$ dapat dilihat pada tabel di lampiran.

Berdasarkan tabel, kita dapat mengetahui $F_{(0,05,3,23)}$ sebesar 3,03. Gambar 4.1 menunjukkan statistik F pada ANOVA sebesar 123,99. Karena statistik F pengamatan lebih besar dari $F_{(0,05,3,23)}$, maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal dan menerima hipotesis alternatif. Berdasarkan kesimpulan, kita mengetahui bahwa model regresi linier yang dibuat telah mewakili data.

Selain menggunakan uji F, uji kesesuaian model bisa pula menggunakan p-value. Daerah penolakannya adalah: P-value < α , Pada analisis regresi ini menggunakan level toleransi (α) sebesar 0,05. Tabel ANOVA pada gambar 4.1 menunjukkan nilai p-value sebesar 0,000. P-value 0,000 < 0,05, ini berarti menunjukkan bahwa model regresi linier yang telah dibuat bisa dikatakan telah mewakili data yang ada.

4.4.5 Memeriksa *Mean Square Residual*

Pada model regresi, ada asumsi bahwa distribusi residual mengikuti distribusi normal dengan rata-rata dan standar deviasi sekecil mungkin. Semakin kecil standar deviasi residual berarti nilai taksiran model semakin mendekati nilai sebenarnya.

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	1.32572	0.44191	123.99	0.000
Residual Error	23	0.08198	0.00356		
Total	26	1.40770			

Gambar 4.4 Tabel ANOVA

Dalam regresi, ada istilah *mean square error* (MSE) yang merupakan varian residual (S^2). Varian residual adalah kuadrat standar deviasi. Gambar 4.1 menunjukkan nilai MSE untuk model yang telah dibuat adalah 0,0035. Jadi nilai standar deviasi model adalah:

$$s = \sqrt{0.0035} = 0,059$$

4.4.6 Memeriksa Utilitas Model

Hubungan antara variabel respons dengan variabel prediktor perlu diperiksa secara statistik. Oleh karena itu, parameternya perlu diuji dan dibandingkan dengan

level toleransi () yang ditentukan. *Output* uji parameter model dapat dilihat kembali pada gambar dibawah.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-3.3939	0.2327	-14.59	0.000	
n	0.43811	0.06440	6.80	0.000	1.000
a	3.1296	0.1814	17.25	0.000	1.000
f	0.30008	0.05653	5.31	0.000	1.000

Gambar 4.5 Output uji parameter model

Uji parameter model menggunakan statistik uji t. Tahap-tahap dalam uji hipotesis untuk melakukan uji parameter model adalah:

$$H_0 : \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 \neq 0$$

Dugaan awal (H_0) pada hipotesis adalah bahwa parameter $\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3$ ($\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 = 0$) tidak ada dalam model regresi.

Dugaan alternatif adalah parameter $\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3$ ($\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 \neq 0$) ada dalam model.

Daerah penolakannya adalah: $t_{hit} > t_{(\alpha, df)}$. Dalam hal ini, df (derajat bebas) didapat dari $n - (k + 1)$. Dalam hal ini, n adalah banyaknya pengamatan dan k adalah banyaknya parameter. Tabel t dapat dilihat pada lampiran. Output taksiran parameter pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai t untuk variabel putaran spindel, kedalaman potong dan gerak makan adalah 6,80, 17,25 dan 5,31. Derajat bebas (df) pada analisis sebesar $n - (k + 1) = 27 - (3 + 1) = 23$. Dari tabel t, diketahui untuk level toleransi sebesar 0,05 dan derajat bebas (df) sebesar 23 ($t_{(0,05; 23)}$) adalah 1,714. T parameter yang masing-masing 6,80, 17,25 dan 5,31 $> 1,714$.

Nilai statistik t bisa dikonversikan ke dalam p-value. Apabila menggunakan p-value, maka daerah penolakannya adalah $p\text{-value} < ()$. Nilai p-value yang ditunjukkan oleh gambar 4.5 bernilai 0,000; 0,000; 0,000, sedangkan nilai level toleransi sebesar 0,05. Ini berarti nilai p-value parameter yaitu 0,000; 0,000; 0,000 $< 0,05$. Kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal. Oleh karena itu, dugaan adanya pengaruh variabel respons dan variabel prediktor bisa diterima.

4.4.7 Memeriksa Ukuran Kecukupan Model

Untuk mengukur kecukupan model regresi, dapat diketahui dengan melihat koefisien determinasi (r^2). Koefisien determinasi menjelaskan besarnya variasi respons yang dapat dijelaskan prediktor.

Pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi model adalah 94,2%. Koefisien korelasi (r) yang merupakan akar koefisien determinasi menyatakan hubungan linier antara variabel respons dan variabel prediktor. Nilai r berkisar antara 0 sampai 1, dimana semakin mendekati satu berarti hubungan antar variabel semakin kuat. Dalam model ini, koefisien korelasinya sebesar:

$$r = \sqrt{0,942} = 0.970$$

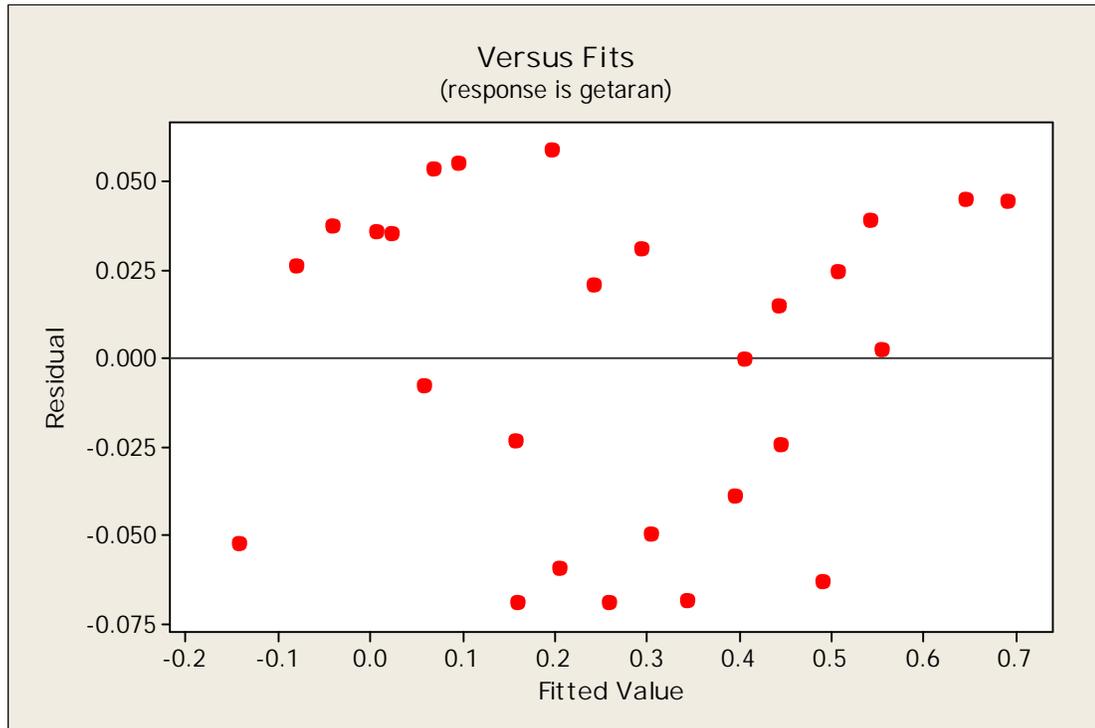
Koefisien menunjukkan bahwa ada hubungan linier yang kuat antara variabel respons dan variabel prediktor.

4.4.8 Memeriksa *Unusual Observation*

Unusual observation adalah pengamatan menyimpang dari pengamatan lainnya. Gambar 4.1 juga menampilkan *unusual observation* dari percobaan yang telah dilakukan. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pengamatan ke-15 menyimpang dari pengamatan yang lain.

4.4.9 Uji Identik

Residual adalah jarak antara nilai sebenarnya dengan garis model taksiran. Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Jika penyebaran datanya acak atau tersebar di sekitar garis nol dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.

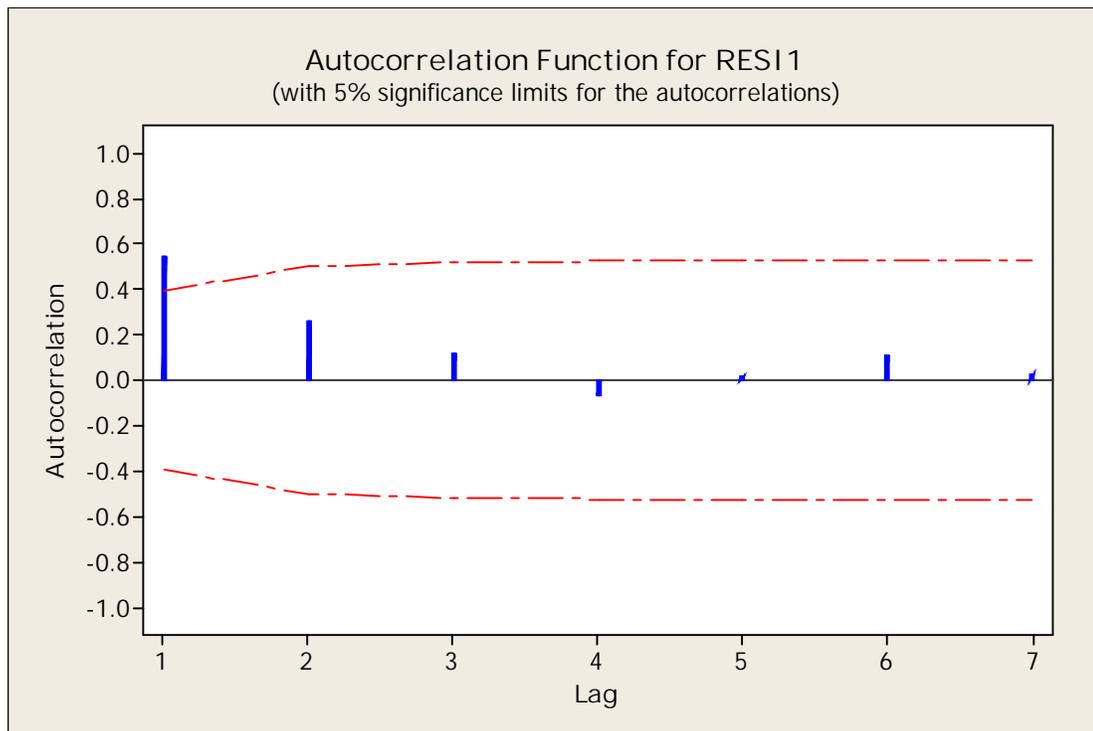


Gambar 4.6 Plot *Residuals the Fitted Values*

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa data tersebar acak di sekitar garis nol dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi bersifat identik terpenuhi.

4.4.10 Uji Independen

Plot *autocorrelation function* yang ditunjukkan pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antar pengamatan yang dilakukan secara independen terpenuhi. Hal ini dibuktikan dengan semua korelasi berada pada interval $\pm \frac{2}{n}$, dimana $n = 27$ yang berarti terdapat 27 percobaan.



Gambar 4.7 *Autocorrelation function (ACF)* untuk RESI1

4.4.11 Uji Kenormalan Residual

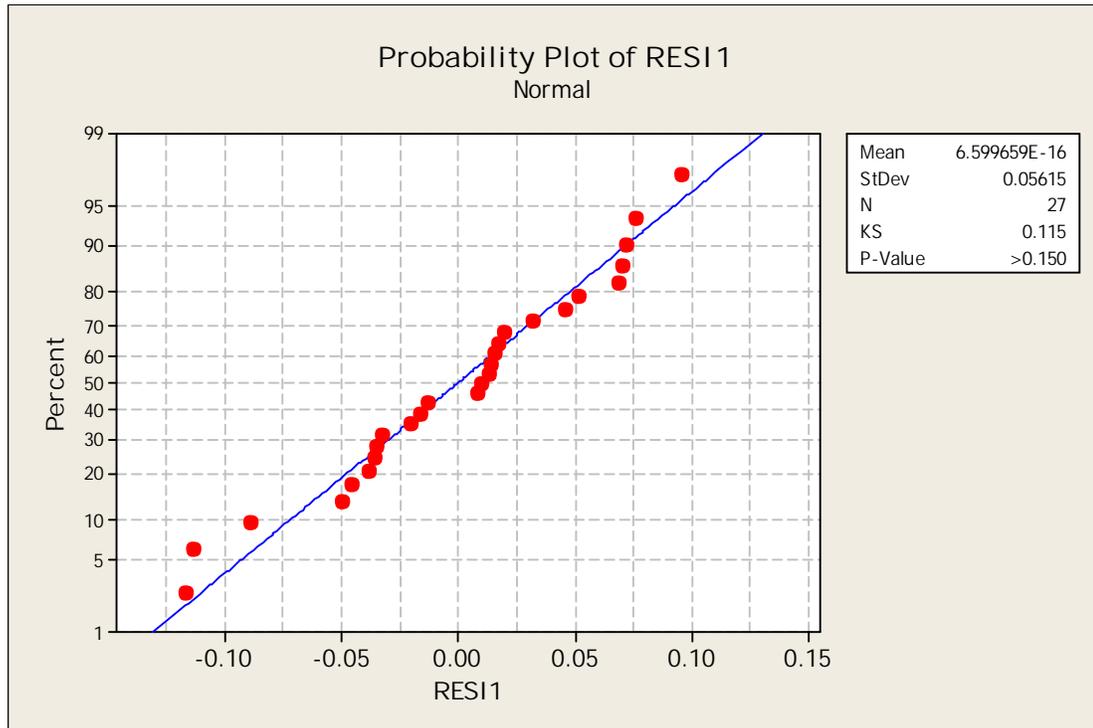
Untuk membuktikan bahwa residual model regresi linier berganda yang dibuat telah mengikuti distribusi normal yang diinginkan sesuai dengan asumsi model regresi, maka perlu dilakukan uji kenormalan residual model. Uji kenormalan residual ini menggunakan Kolmogorov-Smirnov *normality test*. Dengan hipotesis:

H_0 = Residual berdistribusi normal

H_1 = Residual tidak berdistribusi normal

Daerah penolakannya adalah $KS > KS_{1-\alpha}$ pada sejumlah pengamatan (n) tertentu. Apabila statistik Kolmogorov-Smirnov dikonversikan ke dalam p-value, maka daerah penolakannya adalah $p\text{-value} < \alpha$.

Pada uji kenormalan ini menggunakan level toleransi (α) sebesar 5% atau 0,05. Dari tabel Kolmogorov-Smirnov yang terdapat pada lampiran, statistik Kolmogorov untuk α sebesar 0,05 dan jumlah pengamatan sebanyak 27 pengamatan adalah 0,254 (uji 2 arah).



Gambar 4.8 Plot uji distribusi normal

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa titik-titik residual yang dihasilkan mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual), maka residual dapat dikatakan telah mengikuti distribusi normal. Gambar 4.8 juga menunjukkan nilai rata-rata sebesar $6,599 \times 10^{-15}$, standar deviasi sebesar 0,05615, dan jumlah pengamatan (n) = 27.

Nilai Kolmogorov-Smirnov untuk uji distribusi normal pada gambar 4.8 sebesar 0,115. Nilai Kolmogorov-Smirnov yang didapat pada percobaan lebih kecil daripada nilai Kolmogorov-Smirnov yang didapat pada tabel yaitu $0,115 < 0,254$. Dan untuk p-value untuk uji normal residual grafik melebihi 15%. Maka kesimpulannya adalah menerima hipotesis awal yang berarti residual berdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi linier sehingga model regresi yang telah dibuat bisa digunakan.

4.5 Pembahasan

Setelah menganalisa data hasil percobaan menggunakan metode regresi maka didapatkan persamaan statistik yang menunjukkan bahwa semua variabel prediktor yaitu putaran spindel (n), kedalaman potong (a), dan gerak makan (f) berpengaruh terhadap variabel respons yaitu getaran. Akselerasi getaran paling kecil diperoleh pada penggunaan putaran spindel 136 RPM, kedalaman potong 7mm dan dengan gerak makan 0,07 mm/put. Dan nilai paling besar diperoleh pada penggunaan putaran spindel 368 RPM, kedalaman potong 10mm dan dengan gerak makan 0.22 mm/put. dihasilkannya persamaan sebagai berikut:

$$\text{getaran} = - 3.39 + 0.438 n + 3.13 a + 0.300 f$$

Dari persamaan statistik yang dihasilkan pengaruh yang paling besar adalah kedalaman dan dalam penelitian ini variabel yang pengaruhnya paling kecil adalah putaran spindel, kemudian berangsur naik ketika putaran ditambah. Hal ini disebabkan karena getaran belum melewati frekwensi pribadinya, jika putaran spindel ditambah dengan putaran yang sangat tinggi sampai melewati frekwensi pribadinya maka getaran akan lebih stabil/kecil. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa semakin tinggi putaran spindel sangat sensitif terhadap terjadinya getaran. (Suhardjono 2004)

Selain putaran spindle, kedalaman potong juga berpengaruh terhadap terjadinya getaran pada proses gurdi, hal ini disebabkan karena adanya gaya potong yang terjadi pada saat pahat memotong benda kerja sehingga menyebabkan terjadinya getaran pada proses drill dan secara otomatis semakin dalam pemotongannya maka getaran semakin bertambah besar. Getaran yang ditimbulkan paling kecil dan dapat disimpulkan getaran akan semakin besar jika gaya tangensial yang dibutuhkan untuk pemotongan semakin besar.

4.6 Tinjauan Umum Kebulatan

Setelah dilakukan pengukuran dengan memvariasikan beberapa parameter dihasilkan data nilai kebulatan, setelah ini akan dilakukan analisa hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel prediktor dan variasinya yaitu:

- a. Putaran spindel (n) : 136 rpm, 254 rpm, dan 368 rpm
- b. Gerak makan (f) : 0,07 mm/put, 0,13 mm/put, dan 0,22 mm/put
- c. Kedalaman potong (a): 7 mm, 8,5 mm dan 10 mm

Untuk mencari hubungan antara variabel respons dan variabel prediktor, maka digunakan analisis regresi berganda untuk mendapatkan persamaan. Kemudian untuk mengetahui apakah model persamaan regresi yang didapat benar-benar valid (model persamaan regresi dengan koefisien-koefisiennya sudah dapat dianggap mewakili data-data yang diperoleh melalui penelitian), maka dilakukan pengujian model regresi seperti analisis faktorial, uji kesesuaian model, memeriksa *mean square residual*, memeriksa utilitas model, memeriksa ukuran kecukupan model, memeriksa *unusual observation*, analisis korelasi, pemodelan regresi, dan uji kenormalan residual.

Untuk mempermudah pencarian persamaan dan pengujian model regresi, maka digunakan *software* minitab 16, yaitu *software* khusus untuk mengolah data statistik. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, data yang akan diperoleh pada saat pengukuran akan diolah dengan cepat dan akurat.

4.7 Data Hasil Percobaan Pengujian Kebulatan

Setelah didapatkan data besar kebulatan maka dilakukan analisis hubungan antara variabel prediktor dan respon, dalam penelitian ini getaran dan kebulatan adalah variabel Prediktor dan variable respon adalah, putaran spindel, kedalaman potong dan gerak makan, kemudian data yang diperoleh akan diolah secara statistik.

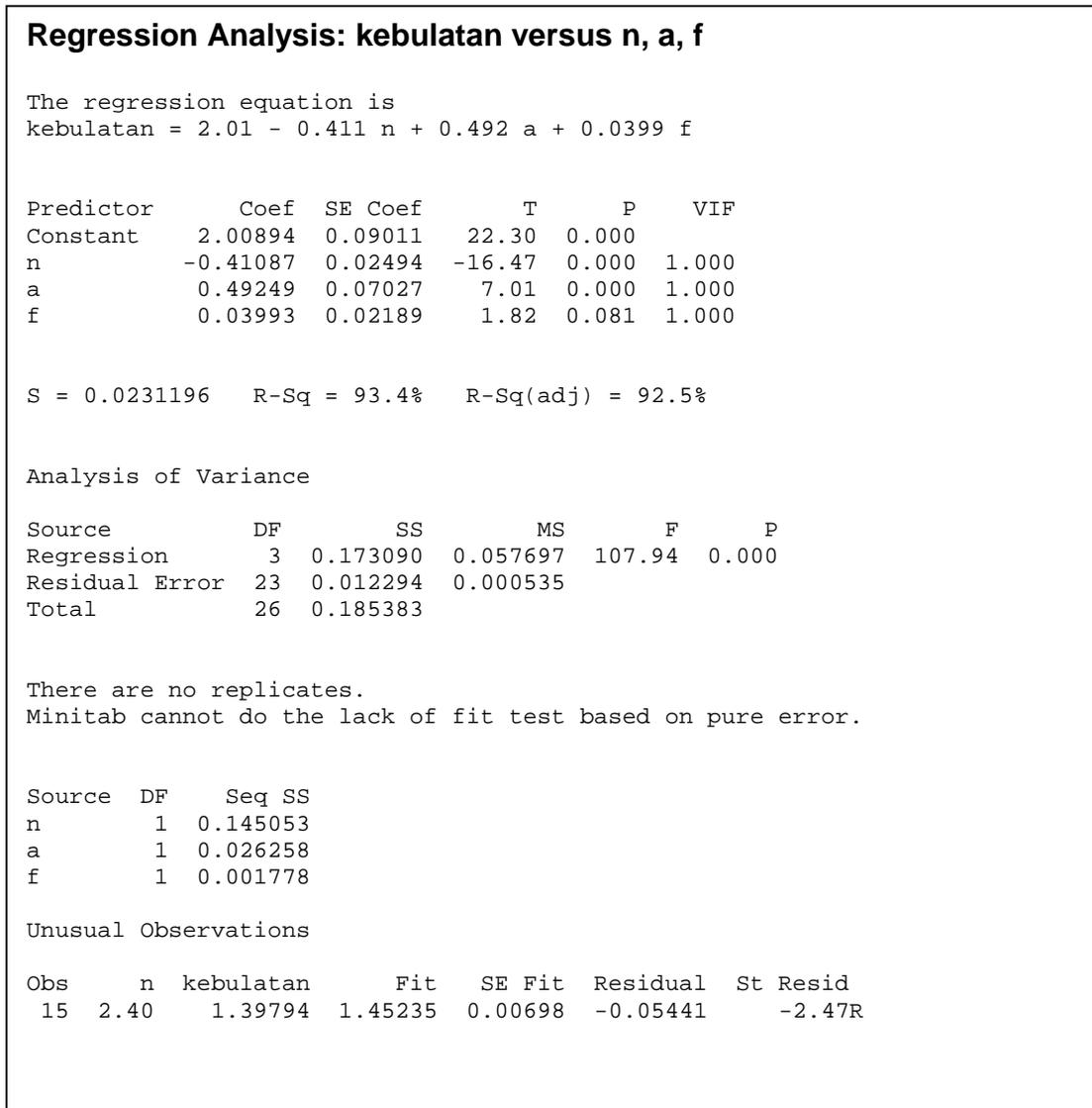
Tabel 4.2 Data Kebulatan setelah dilakukan pengujian

No	Parameter Pengujian						Hasil Percobaan	
	Putaran Spindel (rpm)	Logaritma Putaran Spindel (rpm)	Kedalaman Potong (mm)	Logaritma Kedalaman Potong (mm)	Gerak Makan (mm/put)	Logaritma Gerak Makan (mm/put)	Kebulatan C (μm)	Logaritma Kebulatan C (μm)
1	136	2.133539	7	0.845098	0.07	-1.15490196	33	1.51851394
2	136	2.133539	7	0.845098	0.13	-0.88605665	32	1.505149978
3	136	2.133539	7	0.845098	0.22	-0.65757732	33	1.51851394
4	136	2.133539	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	35	1.544068044
5	136	2.133539	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	35	1.544068044
6	136	2.133539	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	39	1.591064607
7	136	2.133539	10	1	0.07	-1.15490196	38	1.579783597
8	136	2.133539	10	1	0.13	-0.88605665	40	1.602059991
9	136	2.133539	10	1	0.22	-0.65757732	39	1.591064607
10	254	2.404834	7	0.845098	0.07	-1.15490196	26	1.414973348
11	254	2.404834	7	0.845098	0.13	-0.88605665	26	1.414973348
12	254	2.404834	7	0.845098	0.22	-0.65757732	25	1.397940009
13	254	2.404834	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	28	1.447158031
14	254	2.404834	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	29	1.462397998
15	254	2.404834	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	25	1.397940009
16	254	2.404834	10	1	0.07	-1.15490196	27	1.431363764
17	254	2.404834	10	1	0.13	-0.88605665	28	1.447158031
18	254	2.404834	10	1	0.22	-0.65757732	30	1.477121255
19	368	2.565848	7	0.845098	0.07	-1.15490196	20	1.301029996
20	368	2.565848	7	0.845098	0.13	-0.88605665	22	1.342422681
21	368	2.565848	7	0.845098	0.22	-0.65757732	21	1.322219295
22	368	2.565848	8.5	0.929419	0.07	-1.15490196	23	1.361727836
23	368	2.565848	8.5	0.929419	0.13	-0.88605665	24	1.380211242
24	368	2.565848	8.5	0.929419	0.22	-0.65757732	26	1.414973348
25	368	2.565848	10	1	0.07	-1.15490196	25	1.397940009
26	368	2.565848	10	1	0.13	-0.88605665	27	1.431363764
27	368	2.565848	10	1	0.22	-0.65757732	29	1.462397998

4.8 Analisis Kebulatan

Analisis data ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dan seberapa kuat hubungan tersebut antara variabel respons yaitu nilai kebulatan dan variabel predictor

yaitu putaran spindel (n), kedalaman potong (a) dan gerak makan (f). Berdasarkan data yang diperoleh, maka didapatkan analisis regresi pada gambar 4.9 sebagai berikut:



Gambar 4.9 Output analisis regresi berganda

Output hasil analisis regresi berganda menggunakan minitab 16 terdapat tiga bagian. Bagian pertama adalah tabel persamaan regresi, bagian kedua adalah tabel ANOVA, dan bagian ketiga berisi *unusual observation*.

4.9 Pengujian Model Regresi

4.9.1 Analisis Korelasi

Untuk mendeteksi multikolinearitas antar variabel prediktor, dapat diketahui dengan membuat korelasi antar variabel prediktor. Pada analisis korelasi ini, tidak hanya membuat korelasi antar variabel prediktor, tetapi juga membuat korelasi antara variabel prediktor dan variabel respons. Hipotesisnya adalah:

H_0 = Ada korelasi antar variabel ($r_{ij} \neq 0$)

H_1 = Tidak ada korelasi antar variabel ($r_{ij} = 0$)

Daerah penolakan:

Menolak hipotesis awal apabila p-value kurang dari α . Sebaliknya, gagal menolak hipotesis awal atau menerima hipotesis alternatif apabila p-value melebihi α .

Correlations: kebulatan, n, a, f			
	kebulatan	n	a
n	-0.885 0.000		
a	0.376 0.053	0.000 1.000	
f	0.098 0.627	0.000 1.000	0.000 1.000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Gambar 4.10 Analisis korelasi untuk kebulatan, putaran spindel, kedalaman potong dan gerak makan

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antara variabel putaran spindel dengan gerak makan ditunjukkan dengan nilai korelasi 0,000. Dalam kasus ini $\alpha = 5\%$. Maka P-value $< \alpha$. Sehingga kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal, dan menunjukkan bahwa tidak ada multikolinearitas antar variabel prediktor.

4.9.2 Pemodelan Regresi

Pada gambar 4.9 persamaan yang dapat diperoleh melalui analisis regresi linier berganda ini adalah:

$$\text{kebulatan} = 2.01 - 0.411 n + 0.492 a + 0.0399 f$$

Variance influence factors (VIF) digunakan untuk mengidentifikasi adanya multikolinear dalam model. Mutikolinear adalah suatu keadaan dimana antar variabel prediktor terdapat hubungan sangat erat. Dalam regresi, apabila ada korelasi antar variabel prediktor, maka akan ada ketidaksesuaian model yang telah dibuat. Untuk mengatasinya, diperlukan metode regresi khusus yang mampu menangani kasus multikolinearitas. Diantaranya adalah regresi *stepwise*, *best subset*, *backward elimination*, *forward selection*, dan lain-lain.

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai *variance inflaction factors* sebesar 1,0. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada multikolinearitas atau hubungan yang sangat erat antar variabel prediktor, dan model yang digunakan sudah sesuai. Apabila $VIF > 1$, berarti ada korelasi antar variabel prediktor sehingga ada ketidaksesuaian model. Ada juga literatur yang menyebutkan apabila VIF lebih dari 5 atau 10, maka taksiran parameter kurang baik.

4.9.3 Analisis Faktorial

Analisis faktorial yang didapatkan dari data hasil percobaan menggunakan *software* Minitab 16 adalah sebagai berikut:

General Linear Model: kebulatan versus n, a, f						
Factor	Type	Levels	Values			
n	fixed	3	2.13354, 2.40483, 2.56585			
a	fixed	3	0.84510, 0.92942, 1.00000			
f	fixed	3	-1.15490, -0.88606, -0.65758			
Analysis of Variance for kebulatan, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
n	2	0.145958	0.145958	0.072979	130.42	0.000
a	2	0.026350	0.026350	0.013175	23.54	0.000
f	2	0.001884	0.001884	0.000942	1.68	0.211
Error	20	0.011192	0.011192	0.000560		

Gambar 4.11 Hasil analisis desain faktorial

Gambar 4.11 menunjukkan keterangan mengenai variabel prediktor, yaitu putaran spindel (n), kedalaman potong (a) dan gerak makan (f), masing-masing mempunyai 3 level faktor. Untuk putaran spindel dari 136, 254, dan 368 rpm, kedalaman potong 7, 8,5 dan 10 mm dan gerak makan yaitu 0,07, 0,13 dan 0,22

mm/put. Di bawah baris faktor terdapat tabel ANOVA yang digunakan untuk mengetahui pengaruh antara variabel respons dan variabel prediktor. Untuk mengetahui pengaruh-pengaruhnya maka hipotesisnya adalah:

$H_0 : F = 0$ (variabel prediktor tidak berpengaruh terhadap variabel respons)

$H_1 : F \neq 0$ (variabel prediktor berpengaruh terhadap variabel respons)

Dari gambar 4.3 dapat diketahui nilai F untuk masing-masing variabel prediktor adalah $n = 130,42$, $a = 23,54$ dan $f = 1,68$ dan p-value untuk variabel n, a dan f bernilai 0,000. Maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal yang berarti variabel prediktor tidak berpengaruh terhadap variabel respons karena $p\text{-value} < \alpha$, dimana $\alpha = 5\%$ dan menerima hipotesis alternatif yang berarti semua variabel prediktor berpengaruh cukup signifikan terhadap variabel respons.

4.9.4 Uji Kesesuaian Model

Hipotesis untuk uji kesesuaian model adalah:

$H_0 : \text{Ada salah satu parameter model } (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3) = 0$

$H_1 : \text{Parameter model } (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3) \neq 0$

Hipotesis awal berarti model yang dibuat tidak sesuai dengan data. Sebaliknya, hipotesis alternatif berarti model yang dibuat sesuai dengan data.

Pada analisis ini diperoleh persamaan kebulatan $= 2.01 - 0.411 n + 0.492 a + 0.0399 f$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.9. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada parameter model yang bernilai nol, ini berarti model menolak hipotesis awal.

Uji kesesuaian model menggunakan uji F. Daerah penolakannya adalah:

$$F_{hit} > F_{(\alpha, v_1, v_2)}$$

Level toleransi (α) dalam uji hipotesis adalah 0,05, $v_1 = 3$, $v_2 = (n - (k + 1)) = (27 - (3 + 1)) = 23$. Nilai $F_{(0,05,3,23)}$ dapat dilihat pada tabel di lampiran.

Berdasarkan tabel, kita dapat mengetahui $F_{(0,05,3,23)}$ sebesar 3,03. Gambar 4.9 menunjukkan statistik F pada ANOVA sebesar 107,94. Karena statistik F pengamatan lebih besar dari $F_{(0,05,3,23)}$, maka kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal dan

menerima hipotesis alternatif. Berdasarkan kesimpulan, kita mengetahui bahwa model regresi linier yang dibuat telah mewakili data.

Selain menggunakan uji F, uji kesesuaian model bisa pula menggunakan p-value. Daerah penolakannya adalah: $P\text{-value} < \alpha$, Pada analisis regresi ini menggunakan level toleransi (α) sebesar 0,05. Tabel ANOVA pada gambar 4.9 menunjukkan nilai p-value sebesar 0,000. $P\text{-value} 0,000 < 0,05$, ini berarti menunjukkan bahwa model regresi linier yang telah dibuat bisa dikatakan telah mewakili data yang ada.

4.9.5 Memeriksa *Mean Square Residual*

Pada model regresi, ada asumsi bahwa distribusi residual mengikuti distribusi normal dengan rata-rata dan standar deviasi sekecil mungkin. Semakin kecil standar deviasi residual berarti nilai taksiran model semakin mendekati nilai sebenarnya.

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	0.173090	0.057697	107.94	0.000
Residual Error	23	0.012294	0.000535		
Total	26	0.18538			

Gambar 4.12 Tabel ANOVA

Dalam regresi, ada istilah *mean square error* (MSE) yang merupakan varian residual (S^2). Varian residual adalah kuadrat standar deviasi. Gambar 4.12 menunjukkan nilai MSE untuk model yang telah dibuat adalah 4,18. Jadi nilai standar deviasi model adalah:

$$s = \sqrt{0,000535} = 0,023$$

4.9.6 Memeriksa Utilitas Model

Hubungan antara variabel respons dengan variabel prediktor perlu diperiksa secara statistik. Oleh karena itu, parameternya perlu diuji dan dibandingkan dengan level toleransi (α) yang ditentukan. *Output* uji parameter model dapat dilihat kembali pada gambar 4.13 dibawah ini.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	2.00894	0.09011	22.30	0.000	
n	-0.41087	0.02494	-16.47	0.000	1.000
a	0.49249	0.07027	7.01	0.000	1.000
f	0.03993	0.02189	1.82	0.081	1.000

Gambar 4.13 Output uji parameter model

Uji parameter model menggunakan statistik uji t. Tahap-tahap dalam uji hipotesis untuk melakukan uji parameter model adalah:

$$H_0 : \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 = 0$$

$$H_1 : \beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 \neq 0$$

Dugaan awal (H_0) pada hipotesis adalah bahwa parameter $\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3$ ($\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 = 0$) tidak ada dalam model regresi.

Dugaan alternatif adalah parameter $\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3$ ($\beta_1, \beta_2, \text{ dan } \beta_3 \neq 0$) ada dalam model.

Daerah penolakannya adalah: $t_{hit} > t_{(\alpha, df)}$. Dalam hal ini, df (derajat bebas) didapat dari $n - (k + 1)$. Dalam hal ini, n adalah banyaknya pengamatan dan k adalah banyaknya parameter. Tabel t dapat dilihat pada lampiran. Output taksiran parameter pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai t untuk variabel putaran spindel, kedalaman potong dan gerak makan adalah -12,37, 5,19 dan 1,34. Derajat bebas (df) pada analisis sebesar $n - (k + 1) = 27 - (3 + 1) = 23$. Dari tabel t, diketahui untuk level toleransi sebesar 0,05 dan derajat bebas (df) sebesar 23 ($t_{(0,05; 23)}$) adalah 1,714. T parameter yang masing-masing -12,37, 5,19 dan 1,34 $> 1,714$.

Nilai statistik t bisa dikonversikan ke dalam p-value. Apabila menggunakan p-value, maka daerah penolakannya adalah $p\text{-value} < (\alpha)$. Nilai p-value yang ditunjukkan oleh gambar 4.9 bernilai 0,000; 0,000; 0,000, sedangkan nilai level toleransi sebesar 0,05. Ini berarti nilai p-value parameter yaitu 0,000; 0,000; 0,000 $< 0,05$. Kesimpulannya adalah menolak hipotesis awal. Oleh karena itu, dugaan adanya pengaruh variabel respons dan variabel prediktor bisa diterima.

4.9.7 Memeriksa Ukuran Kecukupan Model

Untuk mengukur kecukupan model regresi, dapat diketahui dengan melihat koefisien determinasi (r^2). Koefisien determinasi menjelaskan besarnya variasi respons yang dapat dijelaskan prediktor.

Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi model adalah 88,8%. Koefisien korelasi (r) yang merupakan akar koefisien determinasi menyatakan hubungan linier antara variabel respons dan variabel prediktor. Nilai r berkisar antara 0 sampai 1, dimana semakin mendekati satu berarti hubungan antar variabel semakin kuat. Dalam model ini, koefisien korelasinya sebesar:

$$r = \sqrt{0,888} = 0,94$$

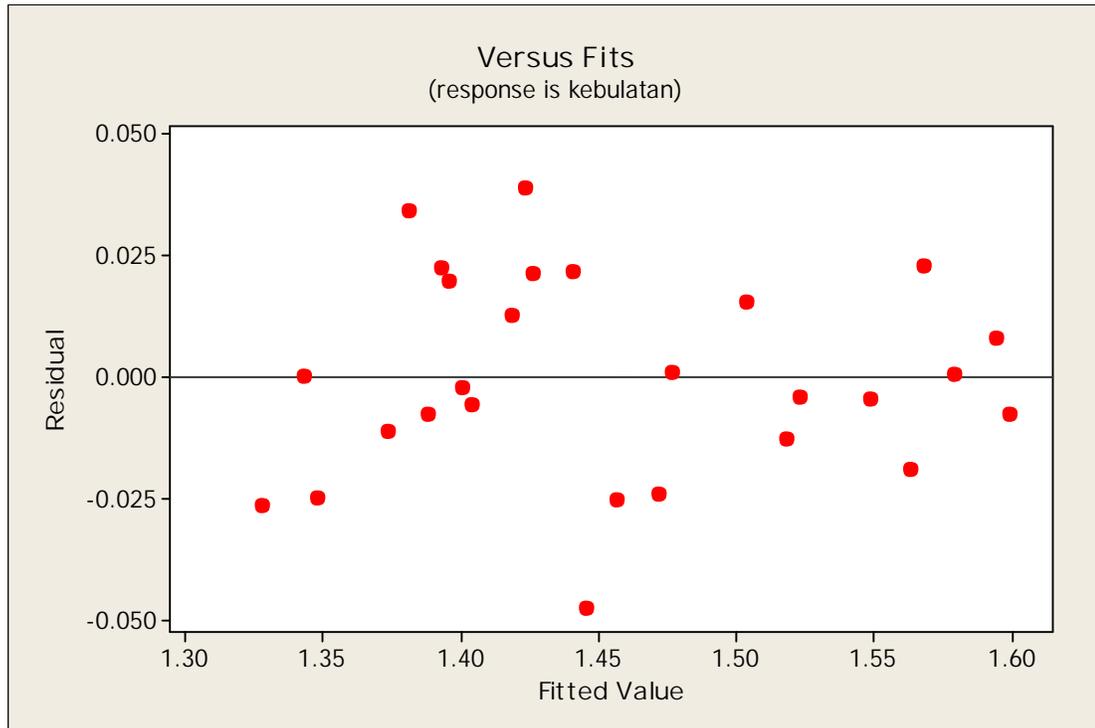
Koefisien menunjukkan bahwa ada hubungan linier yang kuat antara variabel respons dan variabel prediktor.

4.9.8 Memeriksa *Unusual Observation*

Unusual observation adalah pengamatan menyimpang dari pengamatan lainnya. Gambar 4.1 juga menampilkan *unusual observation* dari percobaan yang telah dilakukan. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pengamatan ke-15 menyimpang dari pengamatan yang lain.

4.9.9 Uji Identik

Residual adalah jarak antara nilai sebenarnya dengan garis model taksiran. Pengujian varian identik bertujuan untuk memenuhi apakah residual mempunyai penyebaran yang sama. Jika penyebaran datanya acak atau tersebar di sekitar garis nol dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu, maka asumsi identik terpenuhi.



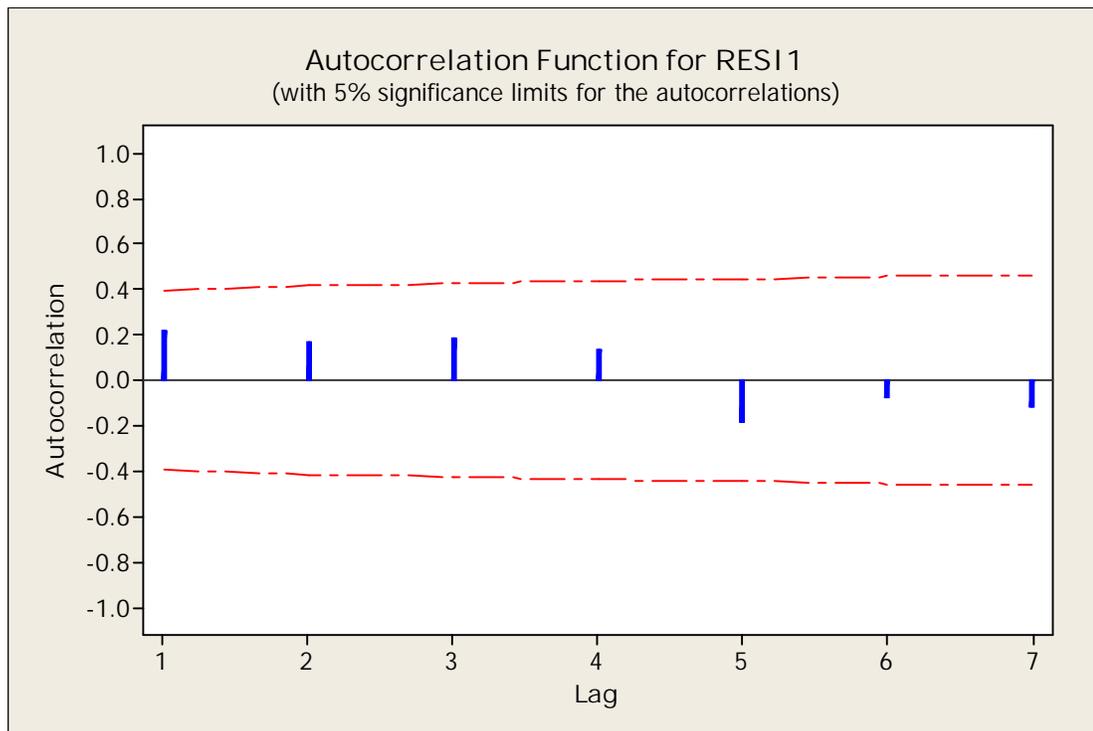
Gambar 4.14 Plot *Residuals Versus the Fitted Values*

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa data tersebar acak di sekitar garis nol dan tidak menunjukkan pola-pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi bersifat identik terpenuhi.

4.9.10 Uji Independen

Plot *autocorrelation function* yang ditunjukkan pada gambar 4.15 menunjukkan bahwa tidak ada korelasi antar pengamatan yang dilakukan secara independen terpenuhi. Hal ini dibuktikan dengan semua korelasi berada pada interval

$$\pm \frac{2}{\sqrt{n}}, \text{ dimana } n = 27 \text{ yang berarti terdapat } 27 \text{ percobaan.}$$



Gambar 4.15 *Autocorrelation function (ACF)* untuk RESI1

4.9.11 Uji Kenormalan Residual

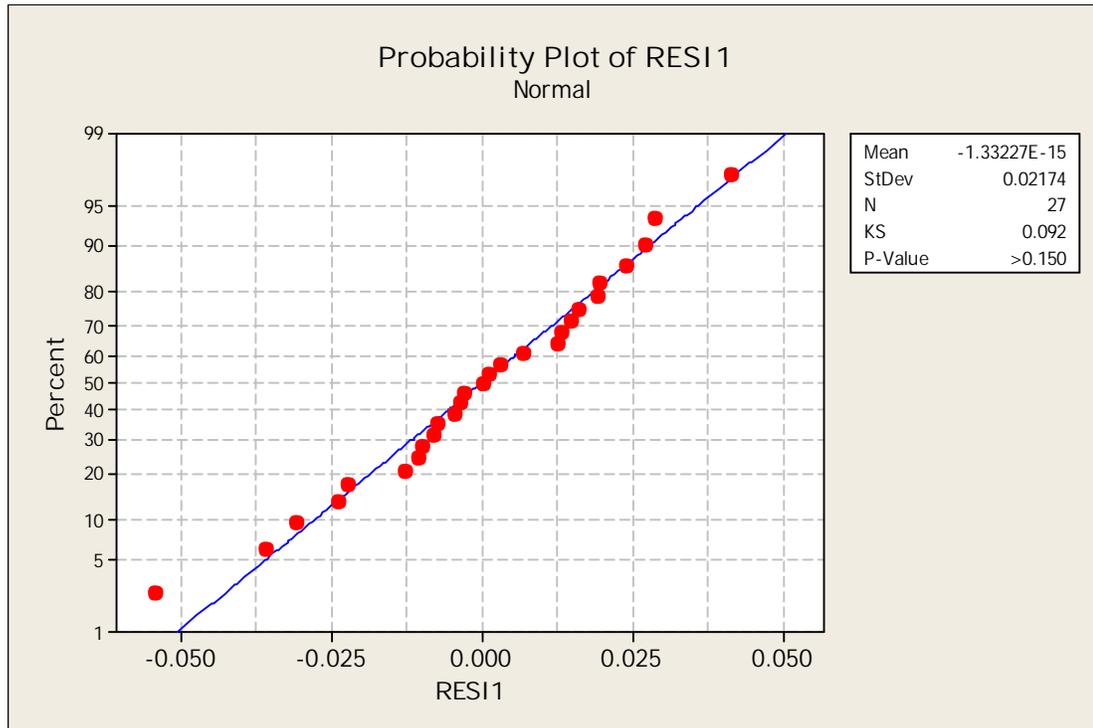
Untuk membuktikan bahwa residual model regresi linier berganda yang dibuat telah mengikuti distribusi normal yang diinginkan sesuai dengan asumsi model regresi, maka perlu dilakukan uji kenormalan residual model. Uji kenormalan residual ini menggunakan Kolmogorov-Smirnov *normality test*. Dengan hipotesis:

H_0 = Residual berdistribusi normal

H_1 = Residual tidak berdistribusi normal

Daerah penolakannya adalah $KS > KS_{1-\alpha}$ pada sejumlah pengamatan (n) tertentu. Apabila statistik Kolmogorov-Smirnov dikonversikan ke dalam p-value, maka daerah penolakannya adalah $p\text{-value} < \alpha$.

Pada uji kenormalan ini menggunakan level toleransi (α) sebesar 5% atau 0,05. Dari tabel Kolmogorov-Smirnov yang terdapat pada lampiran, statistik Kolmogorov untuk $n = 27$ sebesar 0,05 dan jumlah pengamatan sebanyak 27 pengamatan adalah 0,254 (uji 2 arah).



Gambar 4.16 Plot uji distribusi normal

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa titik-titik residual yang dihasilkan mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual), maka residual dapat dikatakan telah mengikuti distribusi normal. Gambar 4.16 juga menunjukkan nilai rata-rata sebesar $-1,332 \times 10^{-14}$, standar deviasi sebesar 0,021, dan jumlah pengamatan (n) = 27.

Nilai Kolmogorov-Smirnov untuk uji distribusi normal pada gambar 4.16 sebesar 0,092. Nilai Kolmogorov-Smirnov yang didapat pada percobaan lebih kecil daripada nilai Kolmogorov-Smirnov yang didapat pada tabel yaitu $0.092 < 0,254$. Dan untuk p-value untuk uji normal residual grafik melebihi 15%. Maka kesimpulannya adalah menerima hipotesis awal yang berarti residual berdistribusi normal. Asumsi kenormalan residual pada suatu model regresi telah dipenuhi oleh model regresi linier sehingga model regresi yang telah dibuat bisa digunakan.

4.10 Pembahasan

Setelah menganalisa data hasil percobaan menggunakan metode regresi maka didapatkan persamaan statistik yang menunjukkan bahwa semua variabel prediktor yaitu putaran spindel (n), kedalaman potong (a), dan gerak makan (f) berpengaruh terhadap variabel respons yaitu Kebulatan (C). Kebulatan paling kecil diperoleh pada penggunaan putaran spindel 368 RPM, kedalaman potong 7mm dan dengan gerak makan 0.07 mm/put. Dan nilai paling besar diperoleh pada penggunaan putaran spindel 136 RPM, kedalaman potong 10 mm dan dengan gerak makan 0.13 mm/put. dihasilakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{kebulatan} = 2.01 - 0.411 n + 0.492 a + 0.0399 f$$

Dari persamaan statistik yang dihasilkan pengaruh yang paling besar adalah kedalaman potong dan dalam penelitian ini variabel yang pengaruhnya paling kecil adalah putaran spindel. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rohman (2009), Semakin besar putaran spindel yang digunakan semakin tinggi juga temperatur yang terjadi, akibatnya gaya gesek mengecil sehingga gaya tangensial menurun. Hal ini akan menurunkan lenturan dan puntiran pahat sehingga penyimpangan kebulatan akan lebih kecil.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hermawan (2003), semakin besar gerak makan yang digunakan, geram yang dihasilkan semakin tebal sehingga gaya potong yang diperlukan juga semakin besar. Akibatnya gaya tangensial juga naik, panjang yang tak seimbang akan menimbulkan gaya radial (selisih kedua gaya tangensial) dan momen kopel. Momen dan gaya radial yang besar akan menimbulkan lenturan dan puntiran pada pahat, akibatnya penyimpangan kebulatan semakin besar.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Putaran spindle, kedalaman potong dan gerak makan sangat berpengaruh terhadap terjadinya getaran pada proses drilling.
2. Kedalaman potong berpengaruh paling besar terhadap besar getaran pada proses drilling.
3. Akselerasi getaran paling kecil diperoleh pada percobaan ke-1 dengan penggunaan putaran spindle 136 RPM dan dengan gerak makan 0.07 mm/put.
4. Akselerasi getaran paling besar diperoleh pada percobaan ke-27 dengan penggunaan putaran spindle 368 RPM dan dengan gerak makan 0.22 mm/put.
5. Putaran spindle dan gerak makan sangat berpengaruh terhadap terjadinya akselerasi getaran dan kebulatan pada proses drilling.
6. Putaran spindle, kedalaman potong dan gerak makan sangat berpengaruh terhadap terjadinya kebulatan pada proses drilling
7. Kedalaman potong berpengaruh paling besar terhadap besar kebulatan pada proses drilling.
8. getaran $= - 3.39 + 0.438 n + 3.13 a + 0.300 f$
kebulatan $= 2.01 - 0.411 n + 0.492 a + 0.0399 f$.
9. Variabel prediktor (putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong) mempunyai pengaruh sebesar 94,2% terhadap variabel respons yaitu getaran.
10. Variabel prediktor (putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong) mempunyai pengaruh sebesar 93,4% terhadap variabel respons yaitu kebulatan

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 benda kerja menjadi kasar, sehingga dapat ditarik suatu hubungan antara besar getaran dengan kekasaran permukaan benda kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Candra, Arif. 2011. *Pengaruh Sudut Geram dan Kecepatan Potong terhadap Keausan Pahat HSS pada Proses Pemdrillingan Baja S45C*. Jember: Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
- 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.
- Mulyadi, Santoso. 2009. *Getaran Paksa 2 DOF dari Pahat Drill Menggunakan Program Matlab*. Jurnal Rotor Universitas Jember, 2 (2): 18-23.
- Permana, Yusca. 2011. *Pengaruh Kecepatan Potong, Gerak Makan, dan Kedalaman Pemakanan terhadap Getaran pada Proses Drilling dengan Tail Stock*. Jember: Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
- Rochim, Taufiq. 1993. *Teori & Teknologi Proses Pemesinan*. Bandung: ITB
- Rochim, Taufiq. 2008. *Perkakas dan Sistem Perkakas (Umur Pahat, Cairan Pendingin Pemesinan)*. Bandung: ITB. Ganeshha 10.
- Rohman, Ainnur. 2009. *Optimasi Kebulatan pada Proses Drilling dengan Variasi Parameter Pemotongan dan Pahat Modifikasi*. Jember: Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
- Sukma, Adriyan. 2010. *Pengaruh Spindel, Kedalaman Potong, dan Gerak Makan terhadap Getaran pada Proses Drilling Tanpa Tail Stock*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Widarto. 2008. *Teknik Pemesinan Buku Jilid 2 Untuk SMK*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

www.Stephensprecision.com

<http://www.scribd.com/doc/37612005/Laporan-Metrin-Steven-Pratama>

<http://www.scribd.com/doc/33990247/Bab-2-Praktikum-Metrologi>

<http://www.thorudinc.com/images/NewCMM.gif>

.

LAMPIRAN

- Data material, Kecepatan potong, Sudut mata bor HSS, dan Cairan pendingin proses *drilling*.

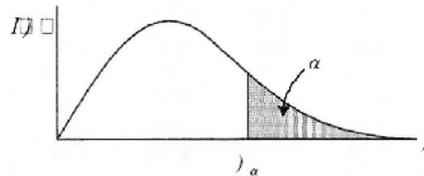
MATERIAL	CUTTING SPEEDS v_c		POINT ANGLE	LIP CLEARANCE	COOLANTS
	(METERS/MINUTE)	(FEET/MINUTE)			
Aluminum And Alloys	61.00 - 91.50	200 - 300	90 - 130 deg	12 - 15 deg	Kerosene/Kerosene & Lard Oil/Soluble Oil
Armor Plate	12.20 - 18.30	40 - 60	125 - 140 deg	6 - 9 deg	Light Machine Oil
Brass	61.00 - 91.50	200 - 300	118 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Kerosene/Lard Oil
Bronze	61.00 - 91.50	200 - 300	110 - 118 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Mineral Oil/Lard Oil
Bronze, High Tensile	21.25 - 45.75	70 - 150	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Dry/ Soluble Oil/Mineral Oil/Lard Oil
Cast Iron, Soft	30.50 - 45.75	100 - 150	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Medium	21.25 - 30.50	70 - 100	100 - 110 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Hard	9.15 - 12.20	30 - 40	100 - 118 deg	8 - 12 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Cast Iron, Cooled	9.15 - 12.20	30 - 40	118 - 125 deg	5 - 9 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Copper	61.00 - 91.50	200 - 300	100 - 118 deg	12 - 15 deg	Air Jet Dry/ Soluble Oil
Copper Graphite Alloy (Carbon Drills)	18.20 - 21.25	60 - 70	**...**	**...**	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerosene
Glass (Carbon Drills)	6.10 - 9.15	20 - 30	**...**	**...**	Soluble Oil/Dry/Mineral Oil/Kerosene
Iron, Malleable	15.25 - 27.45	50 - 90	90 - 100 deg	12 - 15 deg	Light Machine Oil
Magnesium And Alloys	76.75 - 172.6	250 - 400	70 - 118 deg	12 - 15 deg	Soluble Oil
Monel Nickel	4.15 - 15.25	30 - 50	118 - 125 deg	10 - 12 deg	Compressed Air/Mineral Oil
Nickel Alloy	12.20 - 18.20	40 - 60	125 - 140 deg	5 - 7 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Hot Set	30.50 - 91.50	100 - 300	60 - 90 deg	10 - 12 deg	Lard Oil/Soluble Oil
Plastic, Cold Set	30.50 - 91.50	100 - 300	118 - 125 deg	12 - 20 deg	Soap Solution
Steel, Low Carbon, 0.2-0.3C	24.40 - 33.25	80 - 110	110 - 118 deg	7 - 9 deg	Soap Solution
Steel, Medium Carbon 0.4-0.5C	21.25 - 24.40	70 - 80	118 - 125 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel (High Carbon 1.2C)	15.25 - 18.20	50 - 60	118 - 145 deg	7 - 9 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel, Forged	15.25 - 18.20	50 - 60	118 - 145 deg	7 - 12 deg	Soluble Oil/Mineral Oil/Sulfur Oil/Lard Oil
Steel, Alloy	15.25 - 21.25	50 - 70	118 - 125 deg	10 - 12 deg	Mineral Lard Oil
Steel, Alloy 100 To 400 Brinell	6.10 - 9.15	20 - 30	130 - 140 deg	7 - 10 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Free Machining	9.15 - 21.40	30 - 80	110 - 118 deg	8 - 12 deg	Soluble Oil
Steel, Stainless, Hard	4.57 - 15.25	15 - 50	118 - 135 deg	6 - 8 deg	Soluble Oil
Steel, Manganese	3.66 - 4.37	12 - 17	140 - 150 deg	7 - 10 deg	Soluble Oil
Stone (Carbide Drills)	7.63 - 9.15	25 - 30	**...**	**...**	Water Solution
Wood	91.50 - 122.2	300 - 400	60 - 70 deg	10 - 15 deg	Dry

2. Spesifikasi Mesin Drill, Tipe KMR – 700DS.

Low Speed		1			2			3			High Speed		4			5			6		
RPM	60 c/s	88			163			305			RPM	60 c/s	441			817			1500		
	50 c/s	75			136			254				50 c/s	368			681			1250		
Hard steel mm		38-25			25-19			19-12			Drill mm		12-10			10-6			6-3		
		16-12			12-6			6-3			TAB mm										
Cast Iron mm		50-38			38-28			28-22			Drill mm		22-19			19-10			10-3		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	feed No		1	2	3	1	2	3	1	2	3

3. Tabel Distribusi F

Tabel Distribusi F ($\alpha = 0,05$)



v_2	v_1	Derajat bebas (df) pembilang (v_1)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Derajat bebas (df) penyebut (v_2)	1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5
	2	18,51	19,0	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38
	3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
	4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
	5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
	6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
	7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
	8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
	9	2,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
	10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
	11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
	12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
	13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
	14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
	15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
	16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
	17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
	18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
	19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
	20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
	21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
	22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
	23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
	24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
	25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
	26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
	27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
	28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
	29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
	30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	

4. Tabel Kolmogrov - Smirnov

Tabel Kuantil Uji Statistik Kolmogorov - Smirnov

Uji satu arah <i>p</i>	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
Uji dua arah <i>p</i>	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99
<i>n</i>					
1	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.900	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.785	0.829
4	0.793	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.447	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.410	0.468	0.516	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.358	0.410	0.454	0.507	0.542
9	0.339	0.387	0.430	0.480	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.489
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.390	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.250	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
21	0.226	0.259	0.287	0.321	0.344
22	0.221	0.253	0.281	0.314	0.337
23	0.216	0.247	0.275	0.307	0.330
24	0.212	0.242	0.269	0.301	0.323
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
26	0.204	0.233	0.259	0.290	0.311
27	0.200	0.229	0.254	0.284	0.305
28	0.197	0.225	0.250	0.279	0.300
29	0.193	0.221	0.246	0.275	0.295
30	0.190	0.218	0.242	0.270	0.290

5. Foto Mesin drilling pada saat sebelum dilakukan proses pengambilan data getaran



6. Foto Mesin drilling pada saat menyala



7. Foto pada saat Proses Pengambilan Data Getaran



8. Perangkat Komputer



9. ADC Konverter



10. Accelerometer



11. Amplifier



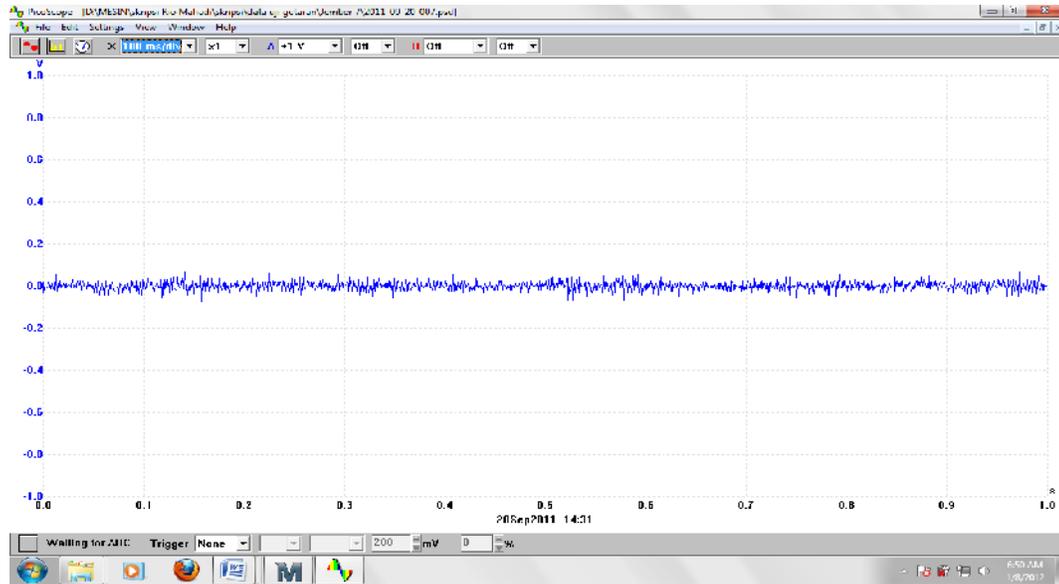
12. Material sebelum dan sesudah dilakukan proses drilling



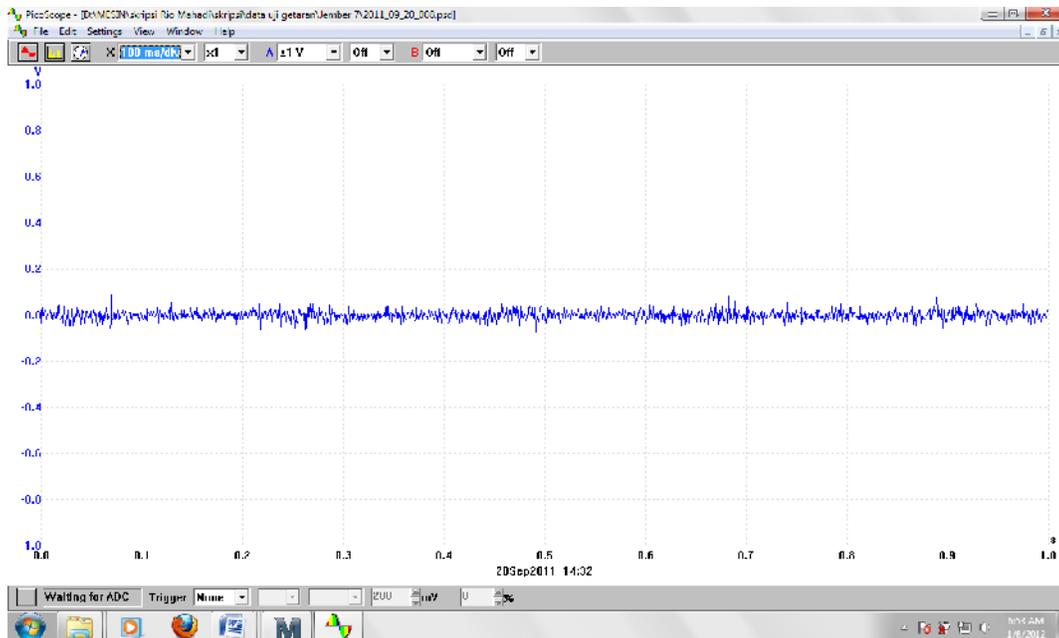
13. Pahat *Twist drill*



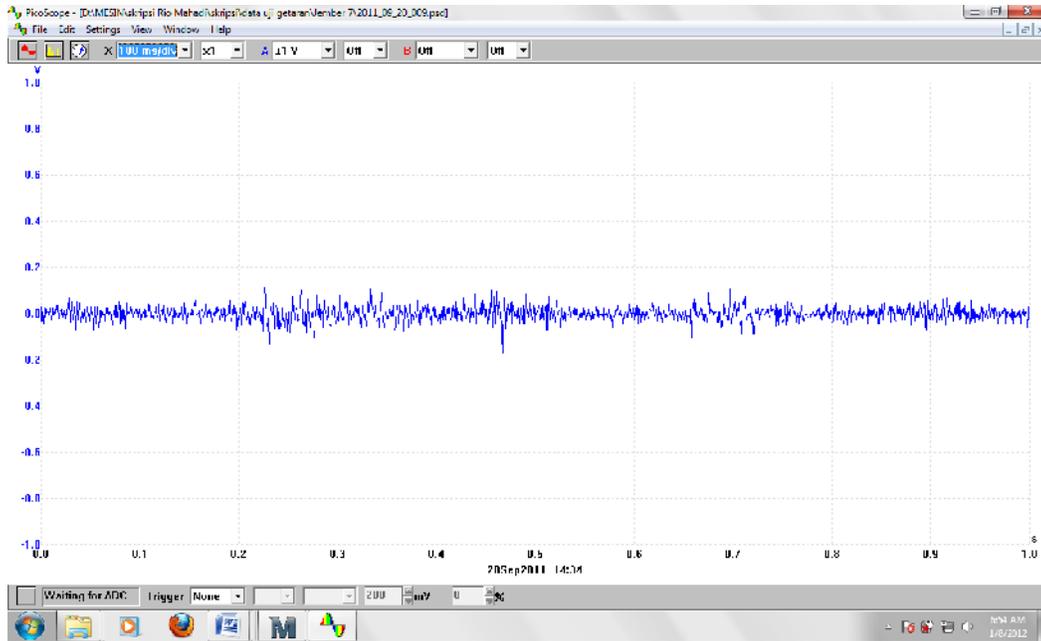
14. Grafik hasil pengambilan data getaran Percobaan 1



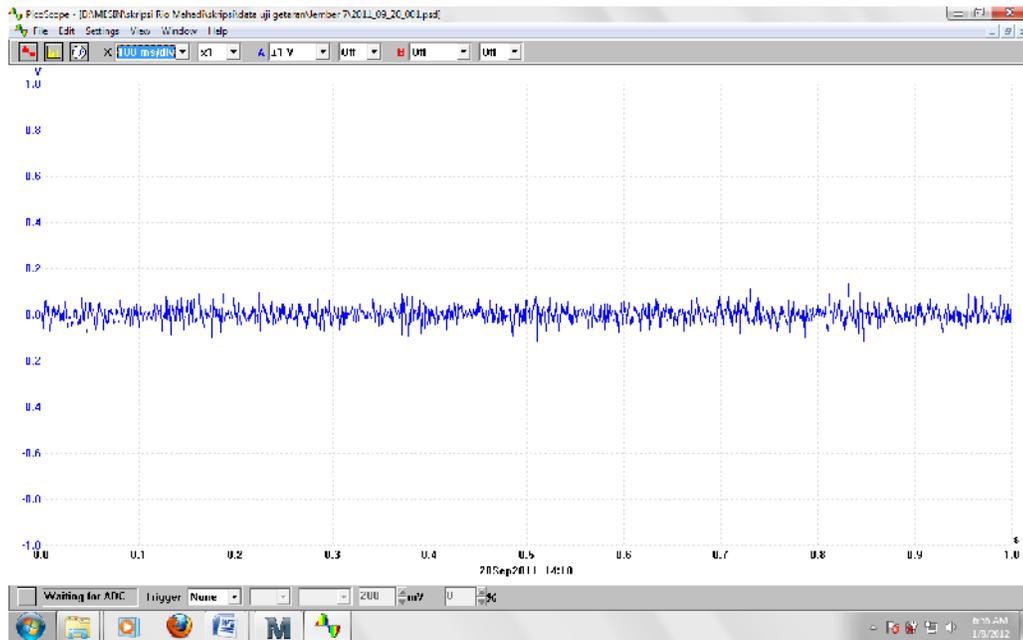
Percobaan 2



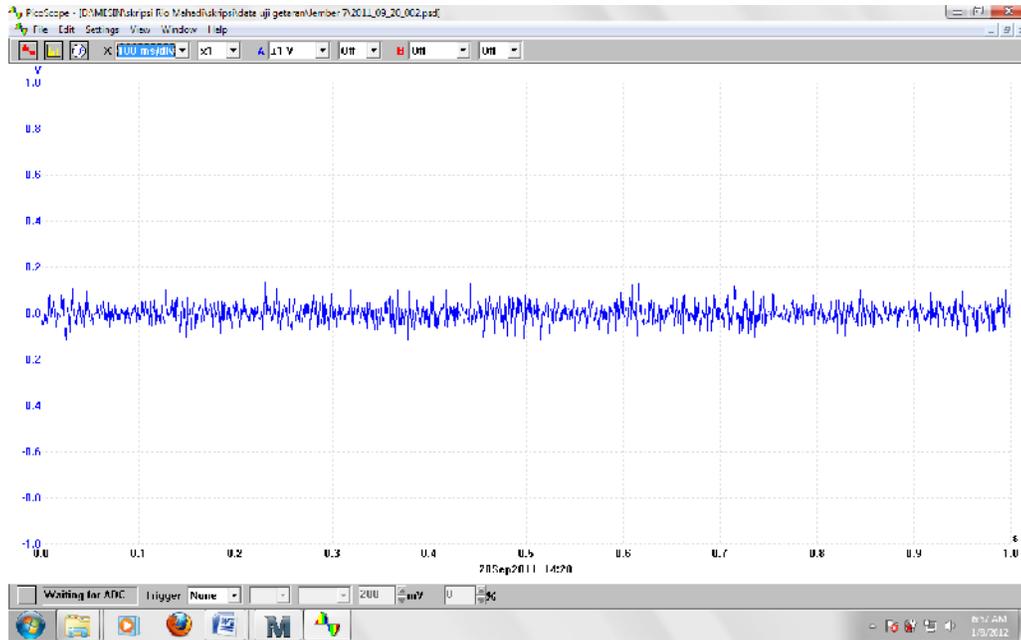
Percobaan 3



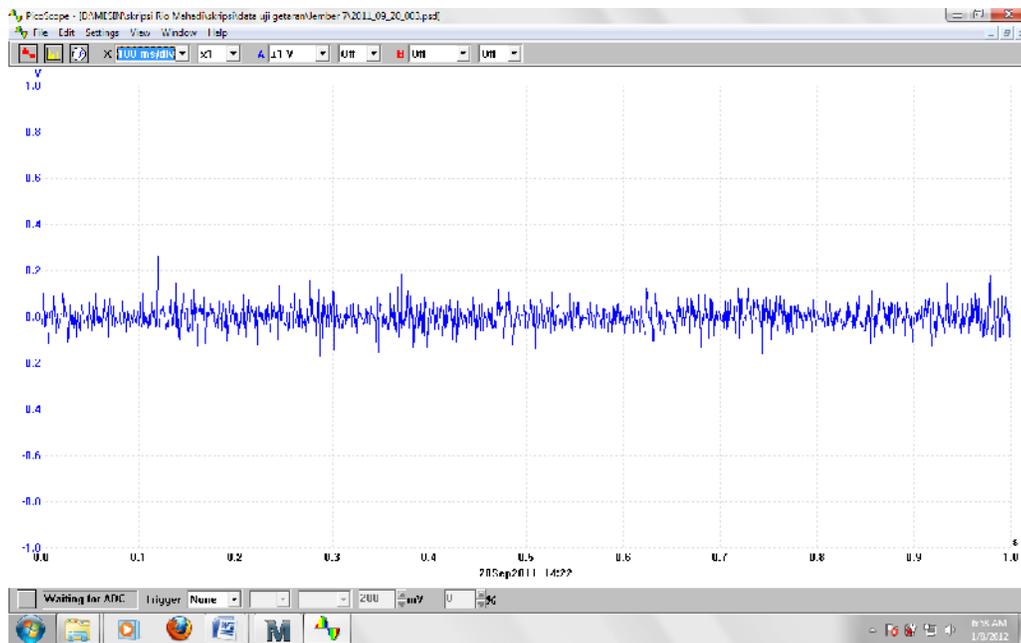
Percobaan 4



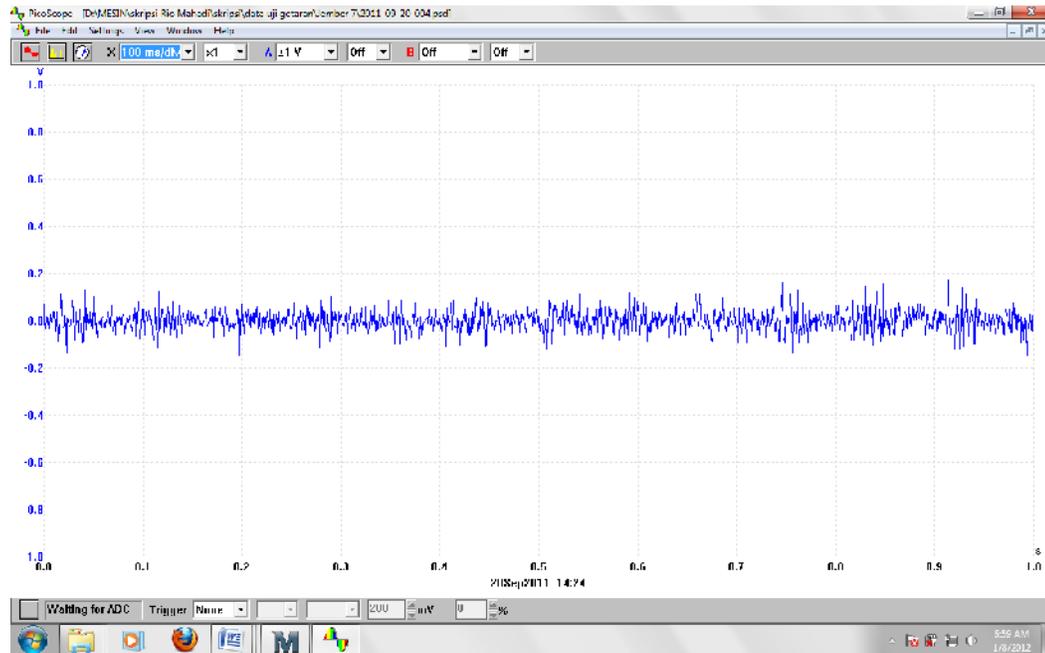
Percobaan 5



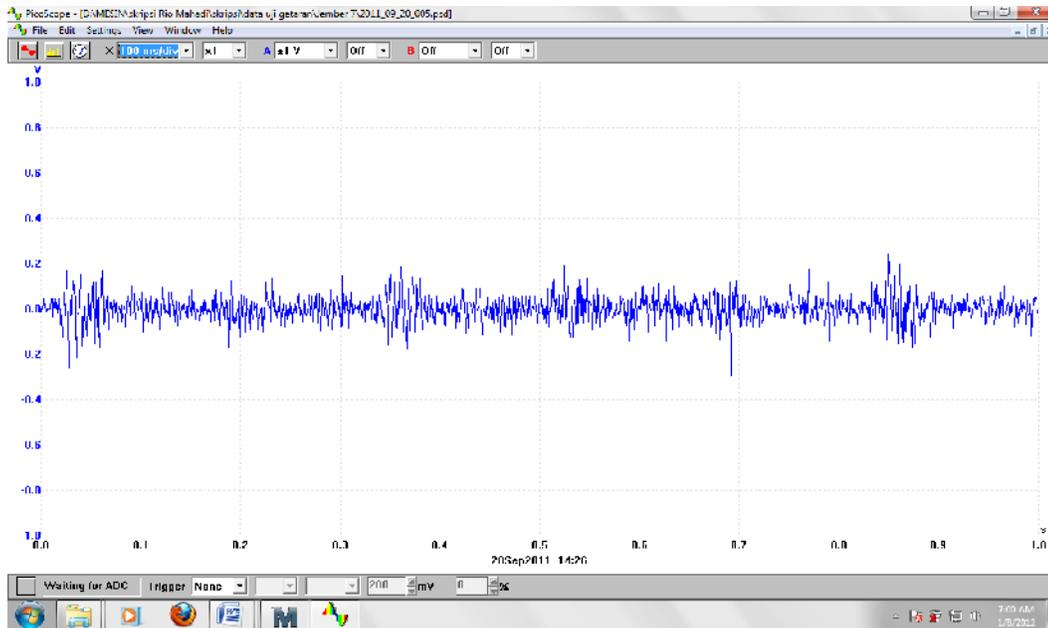
Percobaan 6



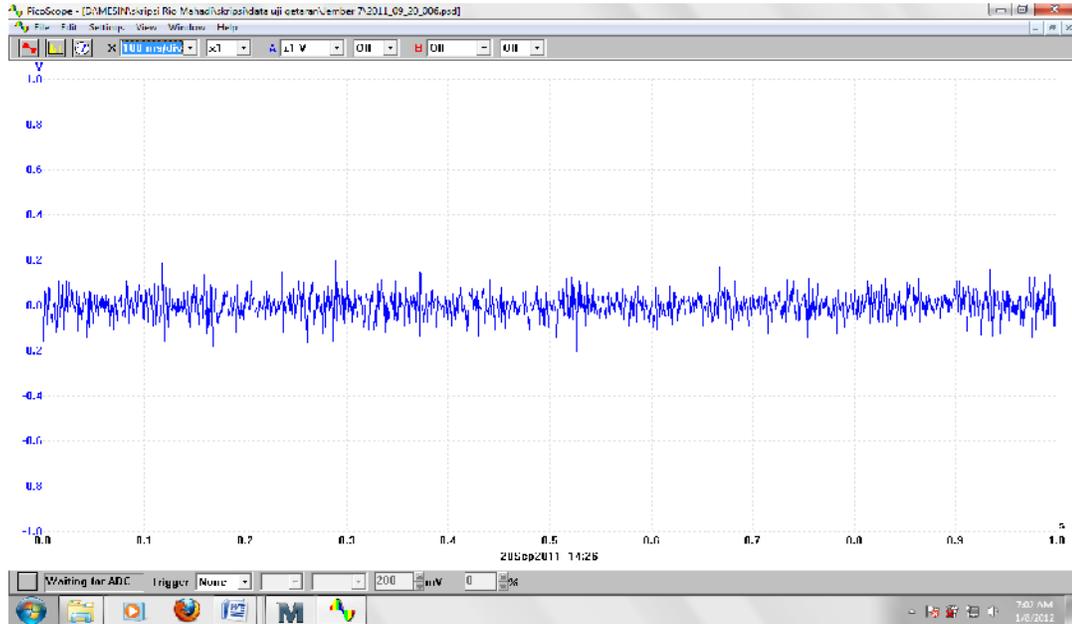
Percobaan 7



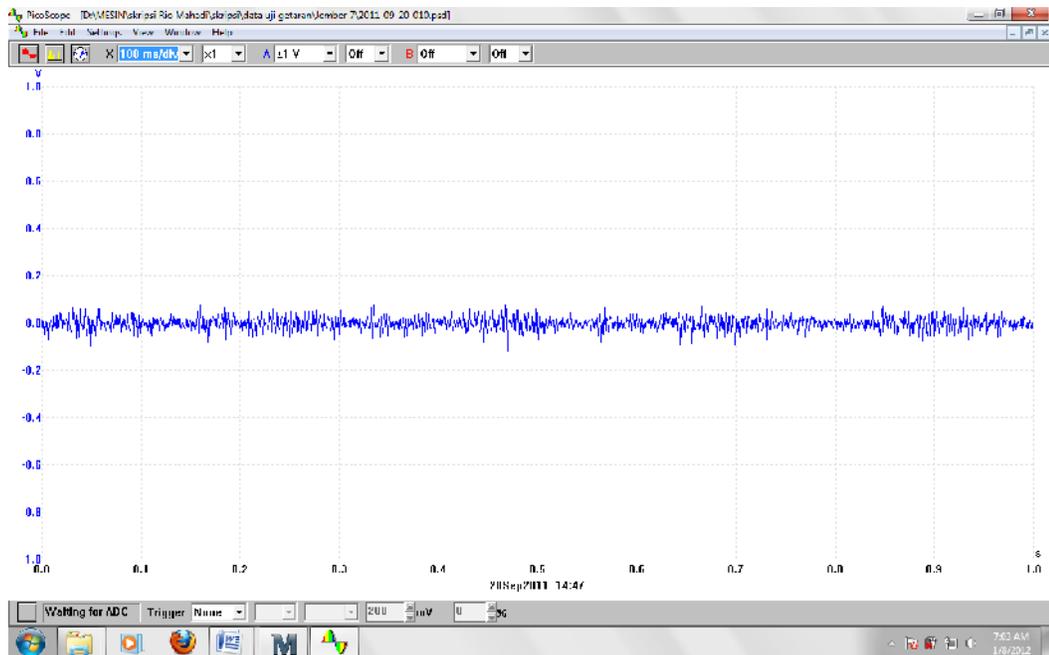
Percobaan 8



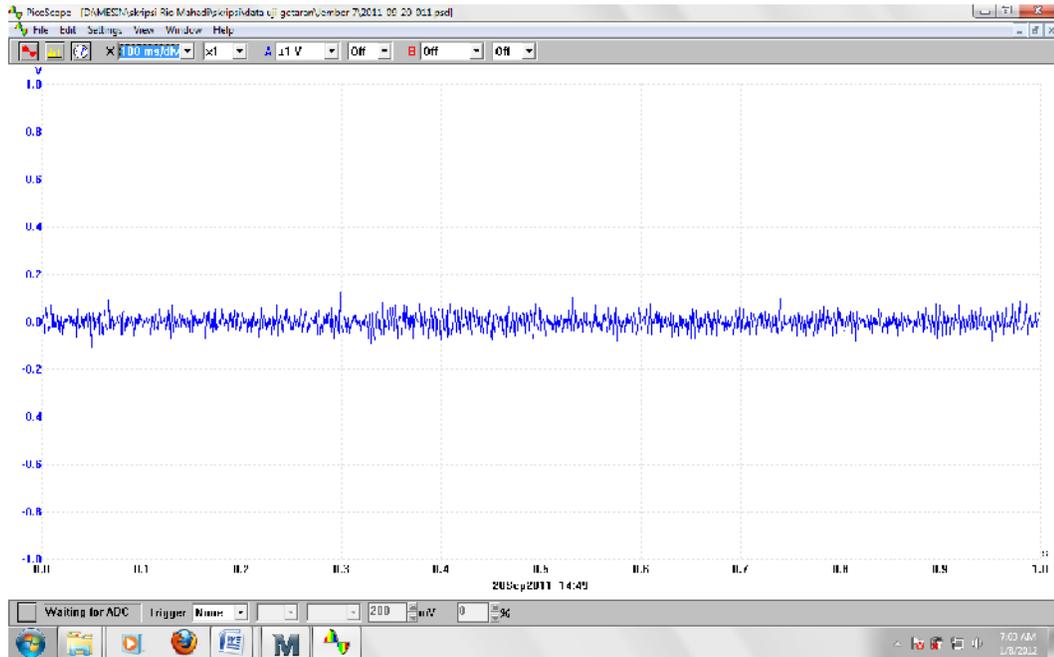
Percobaan 9



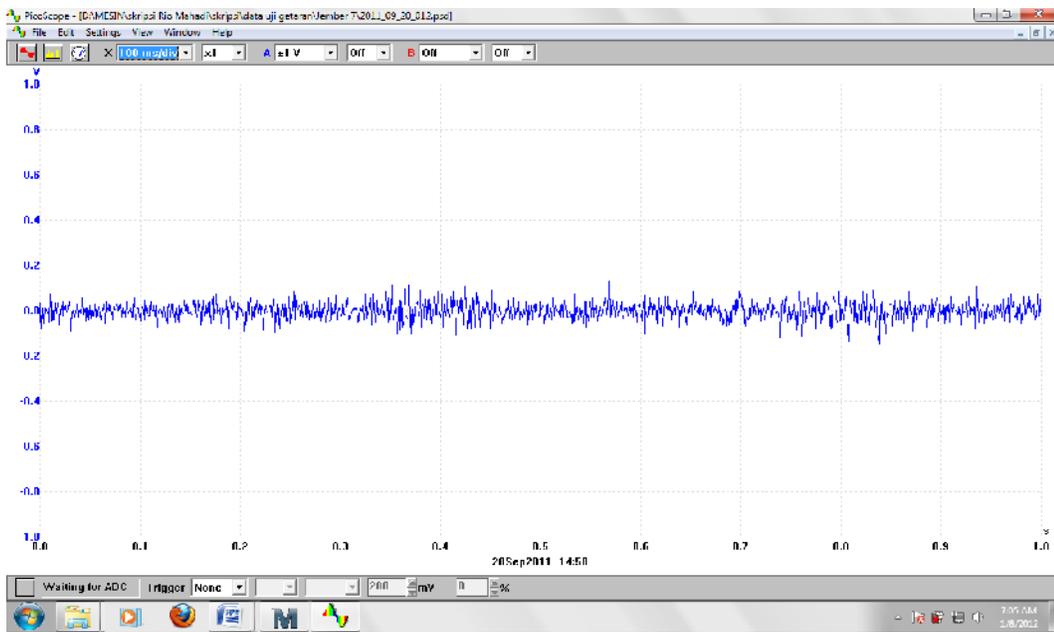
Percobaan 10



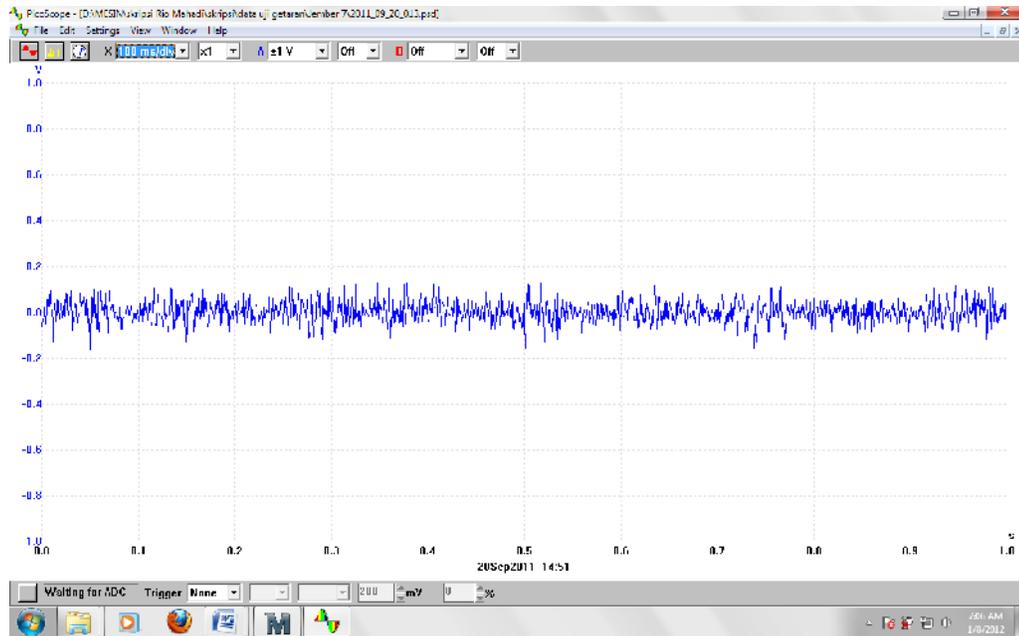
Percobaan 11



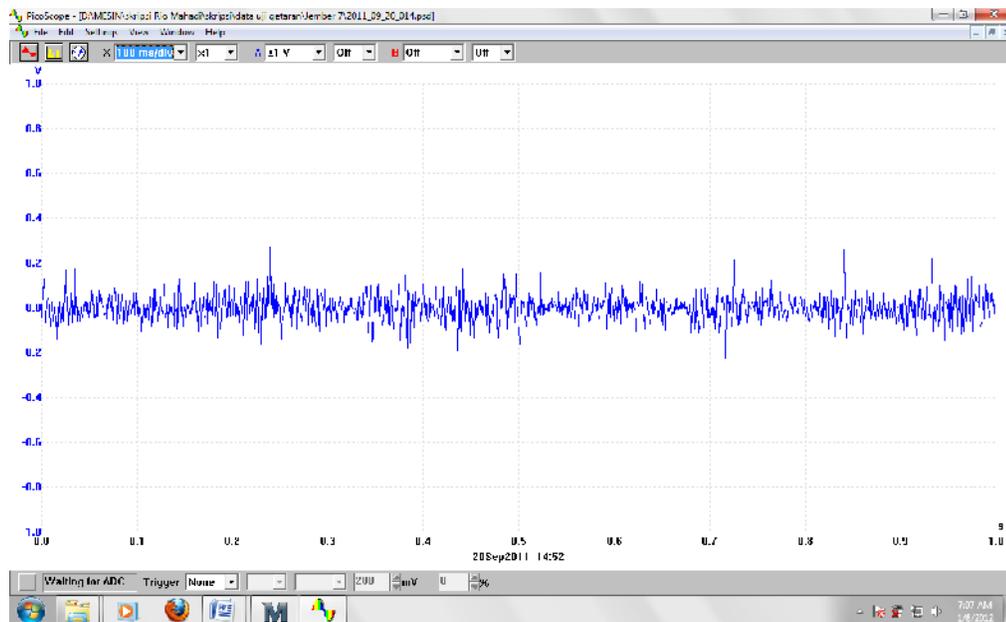
Percobaan 12



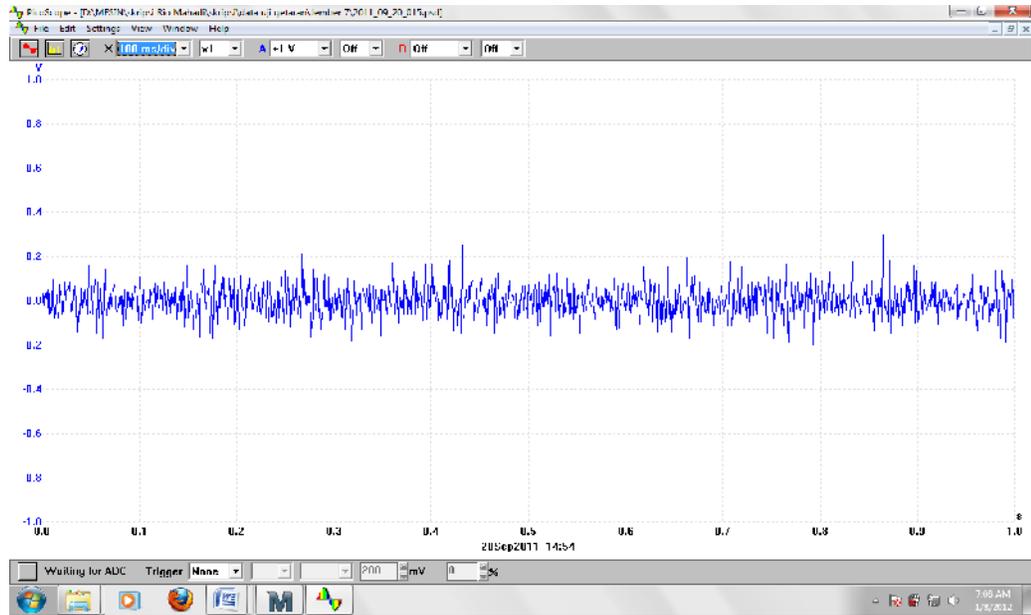
Percobaan 13



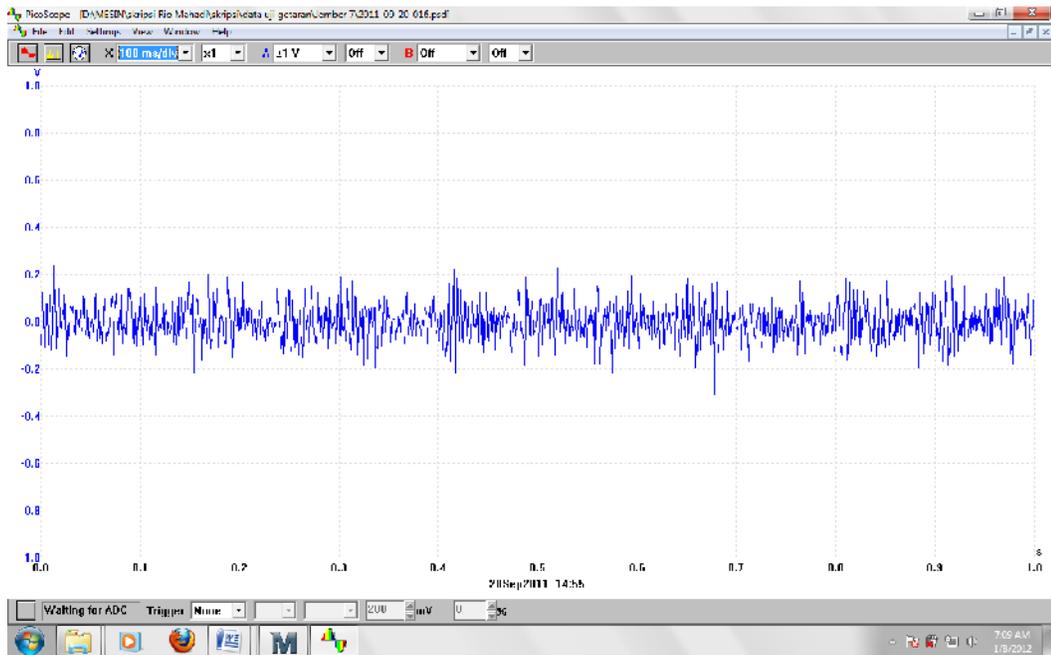
Percobaan 14



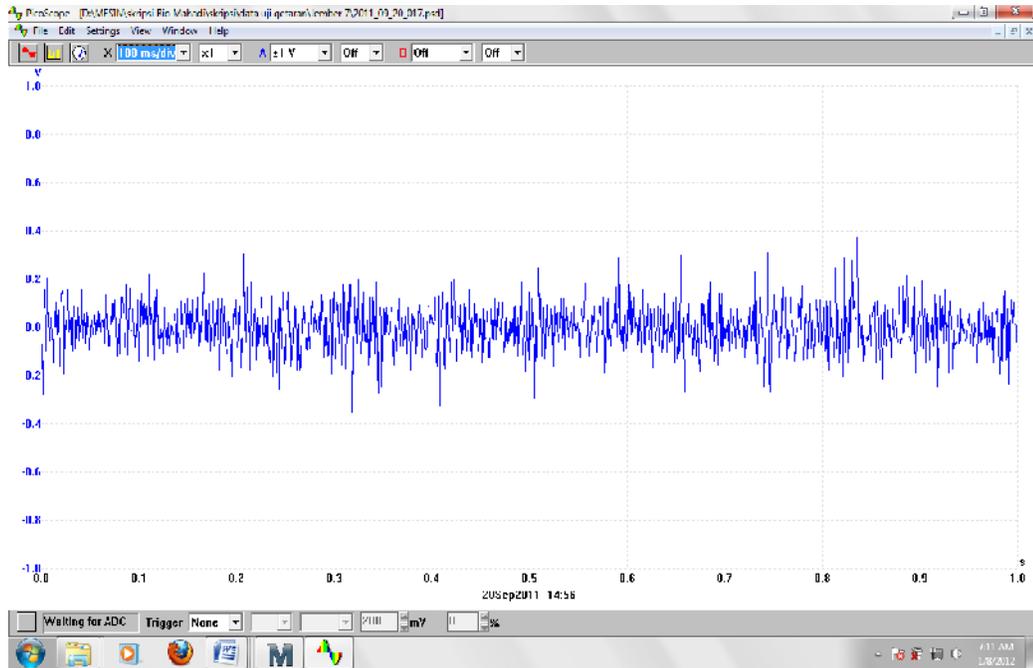
Percobaan 15



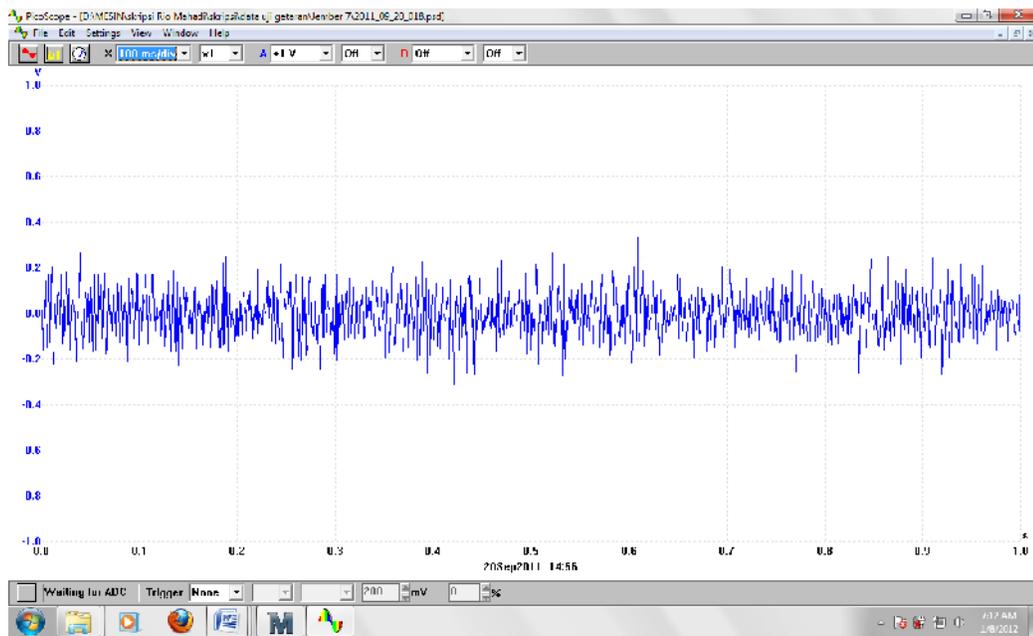
Percobaan 16



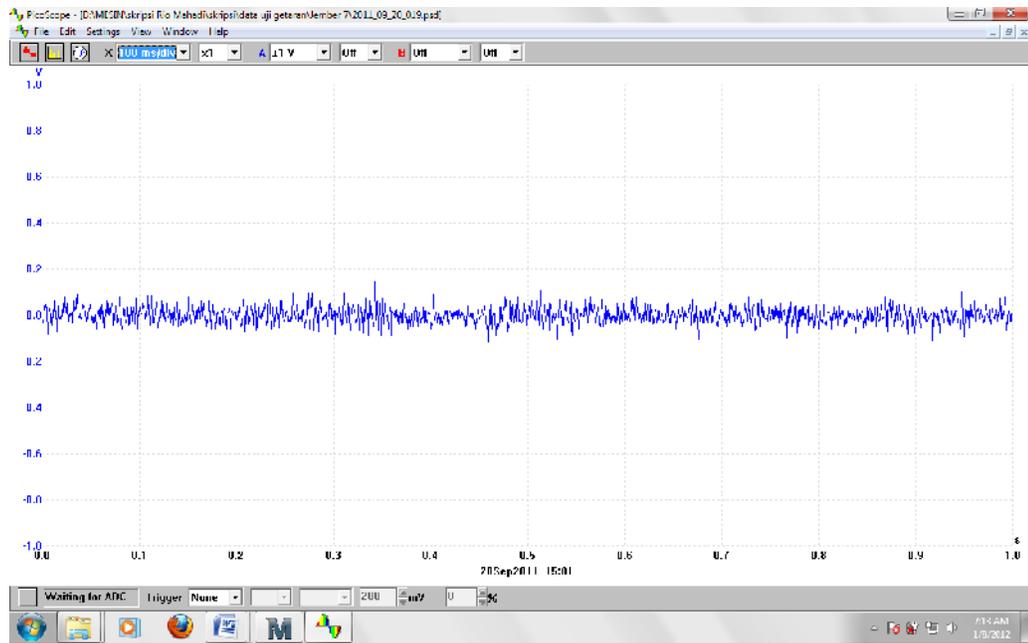
Percobaan 17



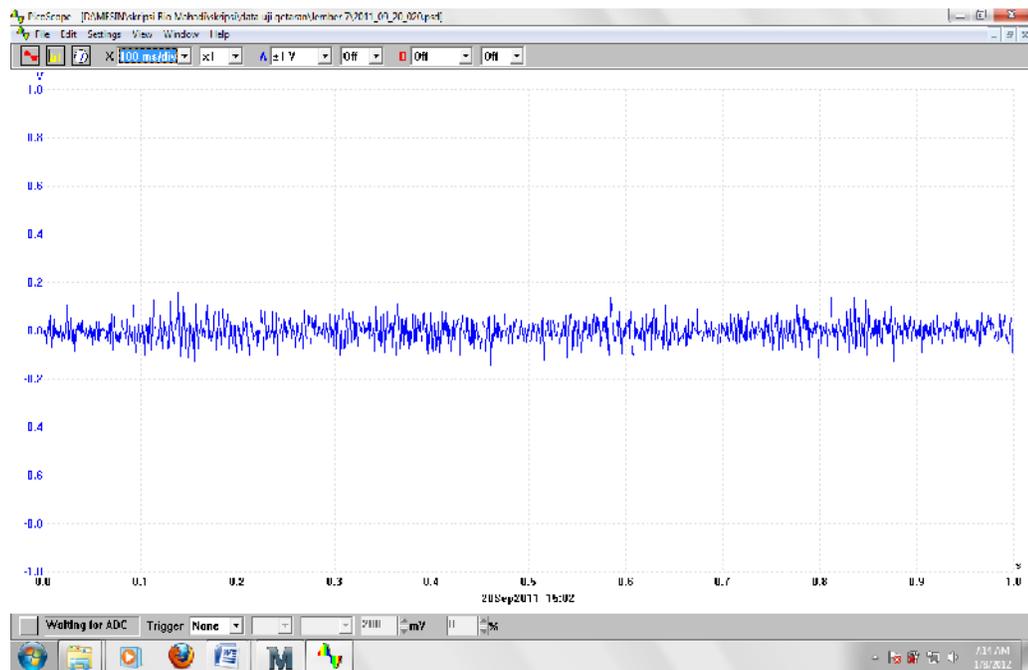
Percobaan 18



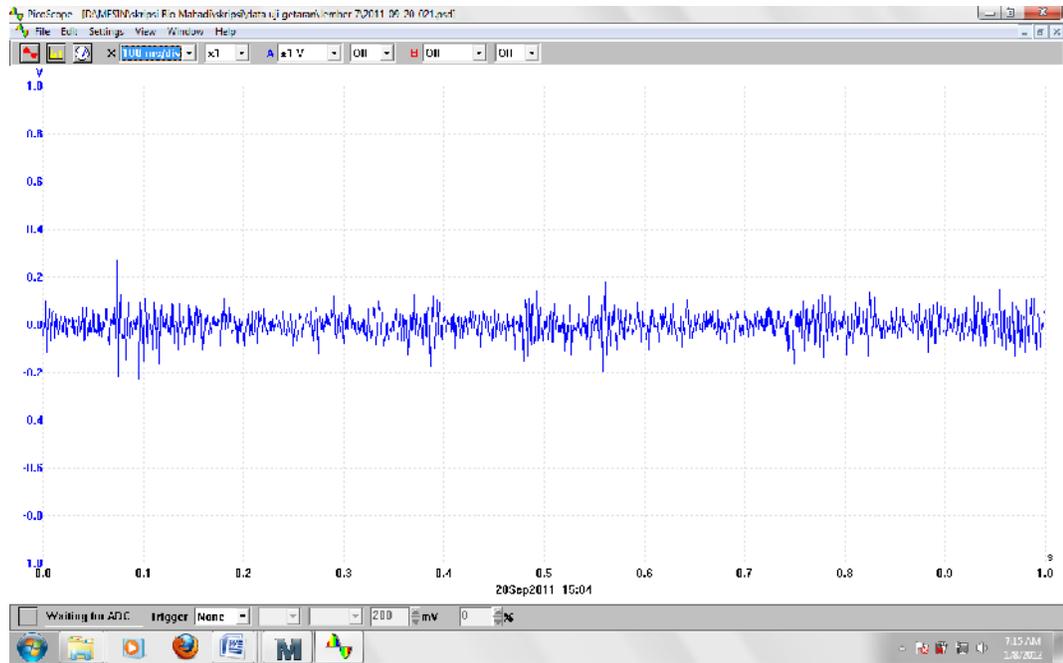
Percobaan 19



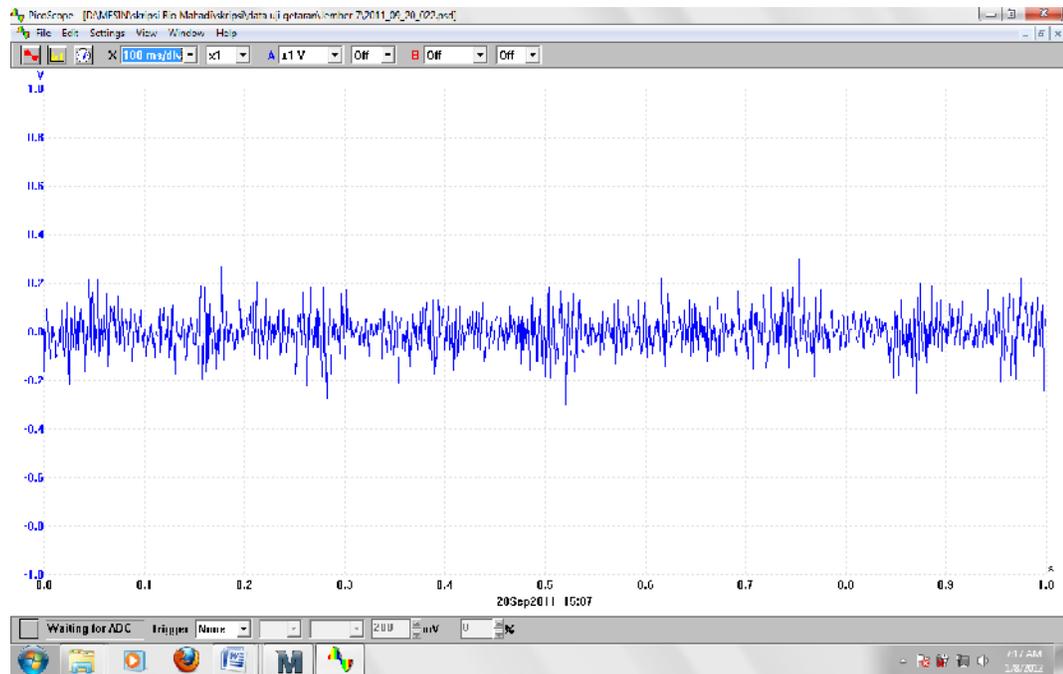
Percobaan 20



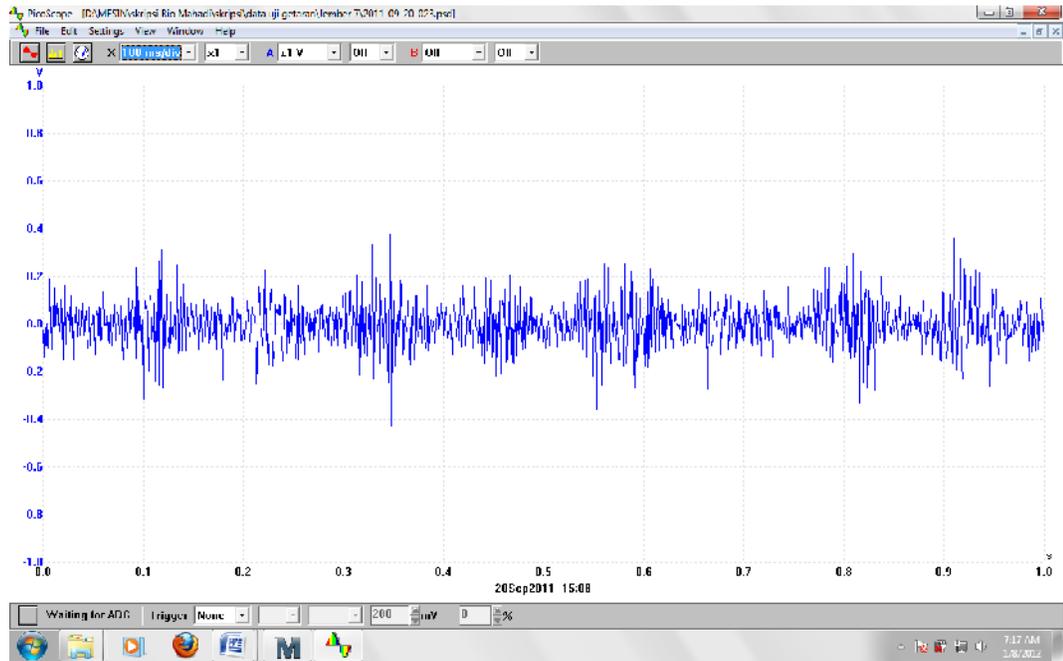
Percobaan 21



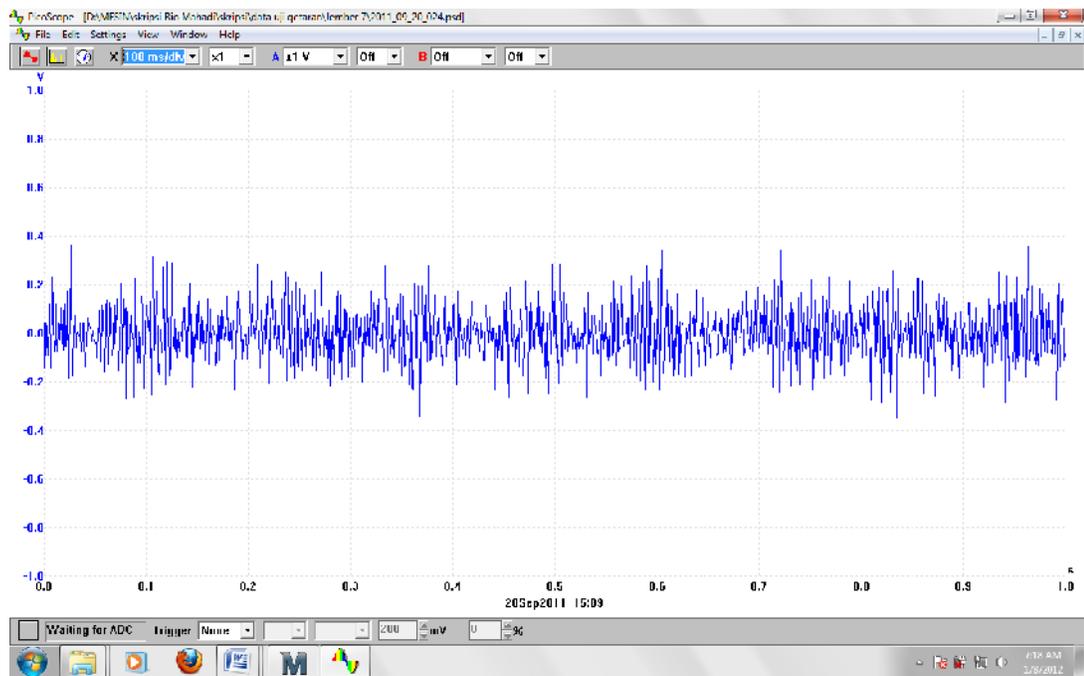
Percobaan 22



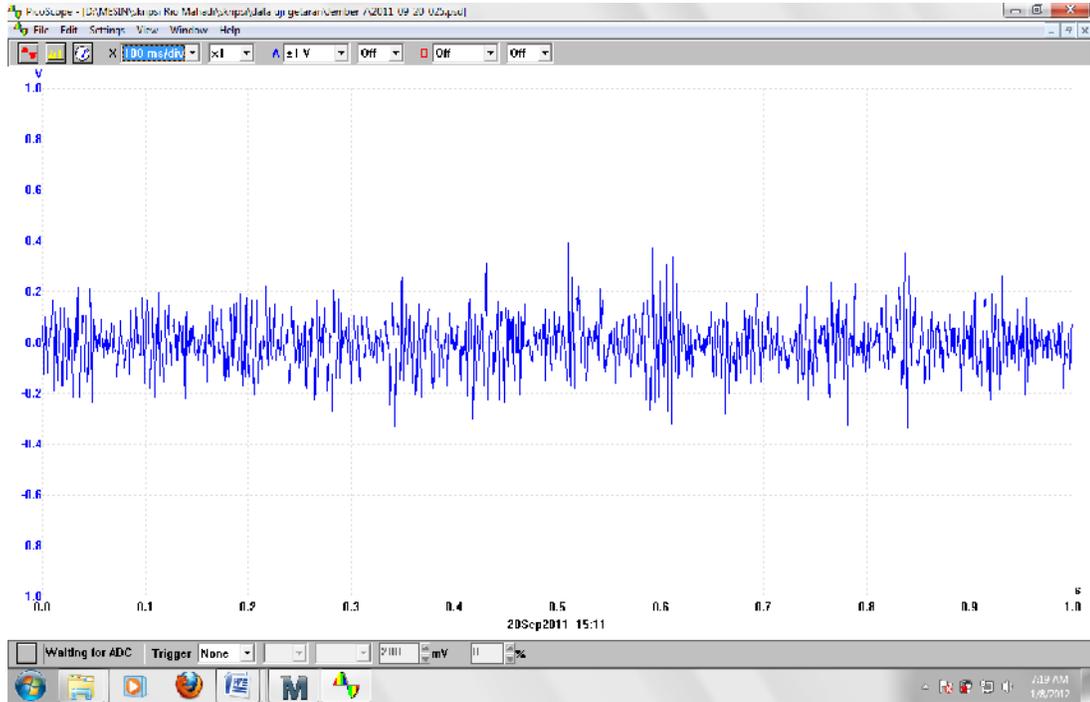
Percobaan 23



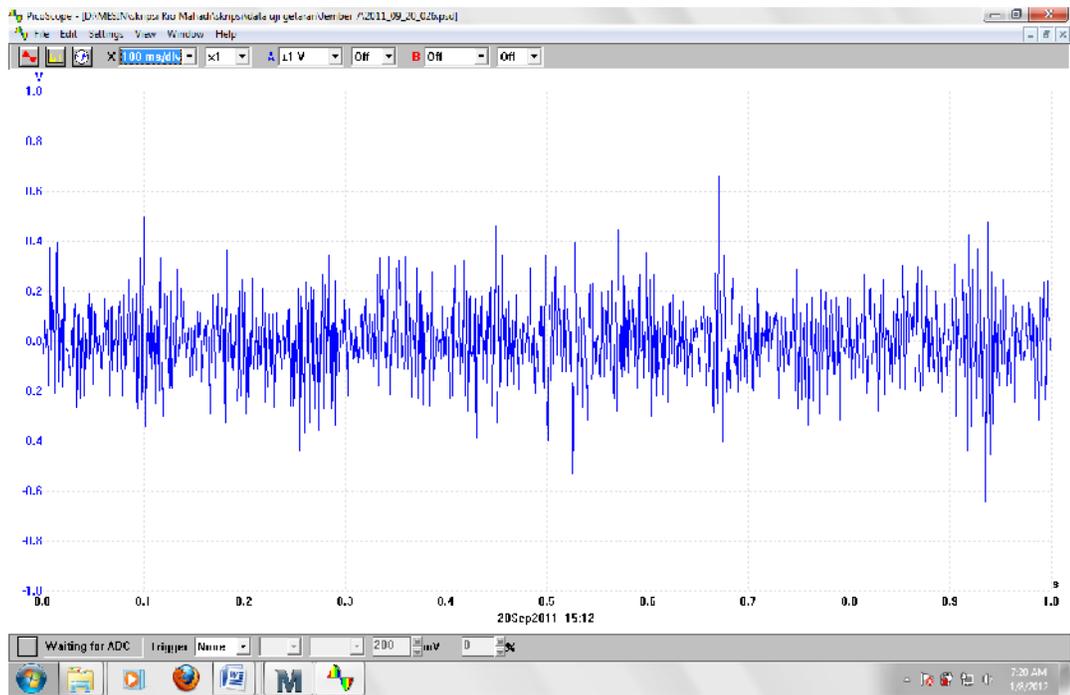
Percobaan 24



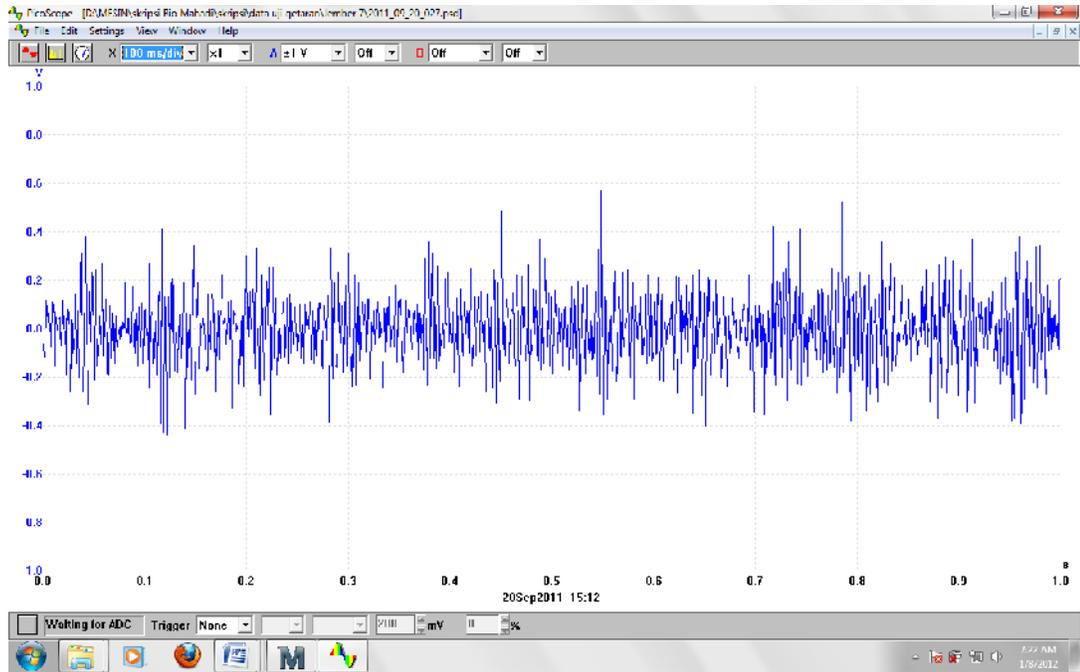
Percobaan 25



Percobaan 26



Percobaan 27



15. Grafik hasil pengambilan data getaran dari percobaan 1 hingga percobaan 27 menggunakan *software MathCad 15*

Persamaan Hasil Getaran

$$a1 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M1) \hat{f}}{7.62}$$

$$a2 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M2) \hat{f}}{7.62}$$

$$a3 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M3) \hat{f}}{7.62}$$

$$a4 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M4) \hat{f}}{7.62}$$

$$a5 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M5) \hat{f}}{7.62}$$

$$a6 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M6) \hat{f}}{7.62}$$

$$a7 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M7) \hat{f}}{7.62}$$

$$a8 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M8) \hat{f}}{7.62}$$

$$a9 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M9) \hat{f}}{7.62}$$

$$a10 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M10) \hat{f}}{7.62}$$

$$a11 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M11) \hat{f}}{7.62}$$

$$a12 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M12) \hat{f}}{7.62}$$

$$a13 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M13) \hat{f}}{7.62}$$

$$a14 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M14) \hat{f}}{7.62}$$

$$a15 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M15) \hat{f}}{7.62}$$

$$a16 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M16) \hat{f}}{7.62}$$

$$a17 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M17) \hat{f}}{7.62}$$

$$a18 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M18) \hat{f}}{7.62}$$

$$a19 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M19) \hat{f}}{7.62}$$

$$a20 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M20) \hat{f}}{7.62}$$

$$a21 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M21) \hat{f}}{7.62}$$

$$a22 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M22) \hat{f}}{7.62}$$

$$a23 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M23) \hat{f}}{7.62}$$

$$a24 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M24) \hat{f}}{7.62}$$

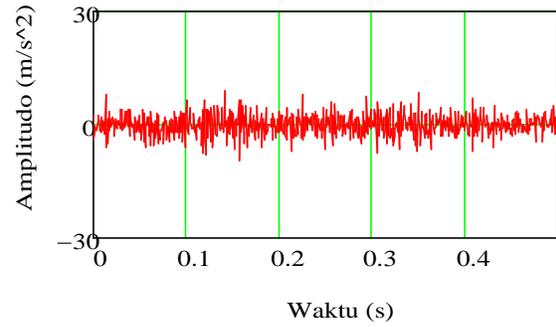
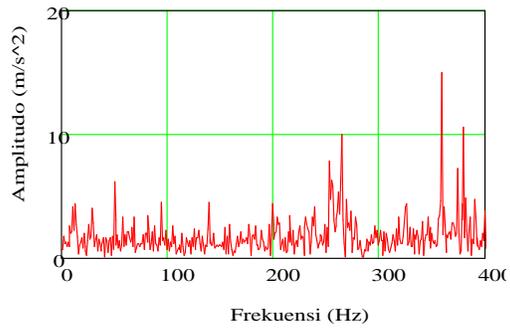
$$a25 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M25) \hat{f}}{7.62}$$

$$a26 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M26) \hat{f}}{7.62}$$

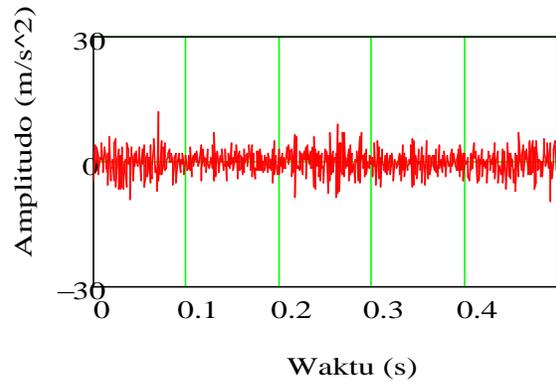
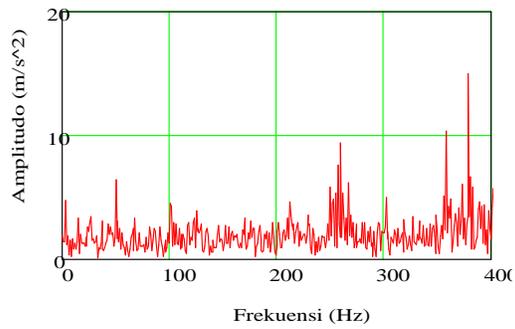
$$a27 := \frac{m \cdot s^{-2} \cdot (M27) \hat{f}}{7.62}$$

T	= waktu (s)
j	= jumlah data
fj	= frekuensi ke-j
a	= percepatan dengan domain waktu
ft	= percepatan dengan domain frekuensi
r	= bilangan real
Im	= bilangan imajiner

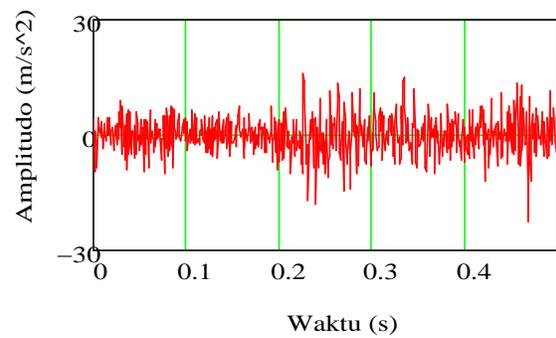
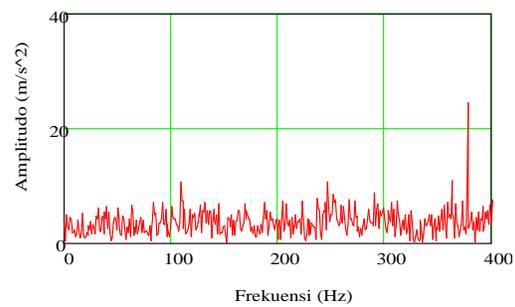
Grafik respon amplitude terhadap domain frekwensi dan waktu
Percobaan 1



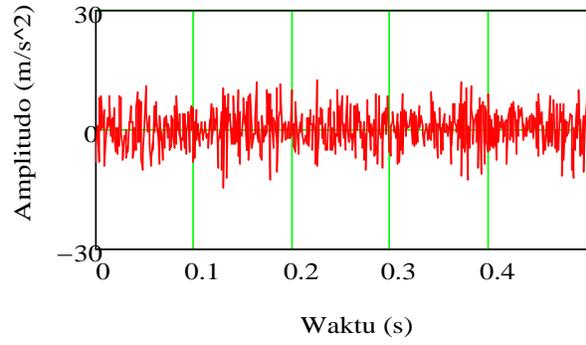
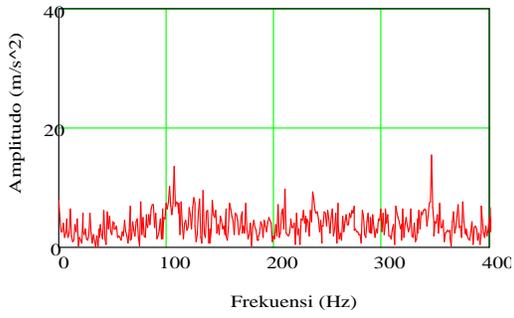
Percobaan 2



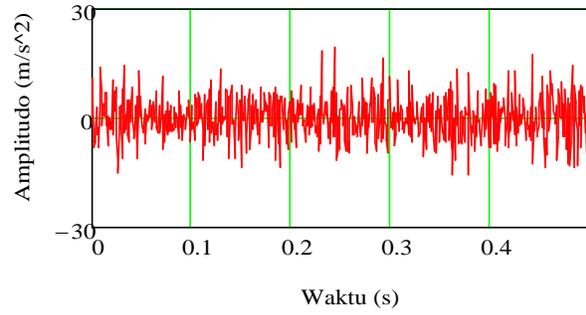
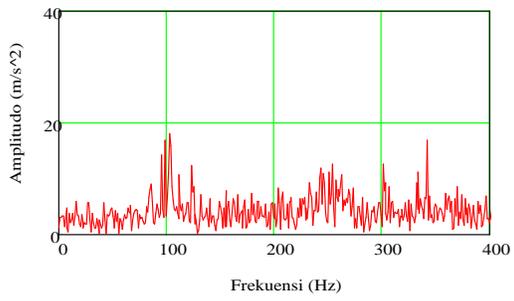
Percobaan 3



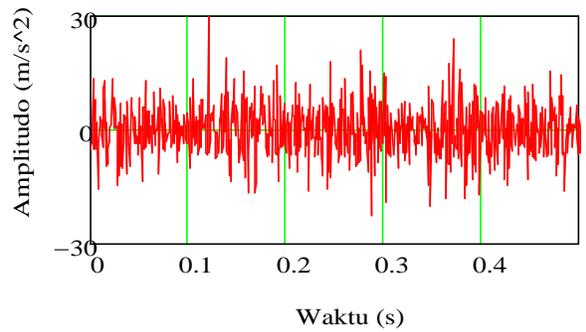
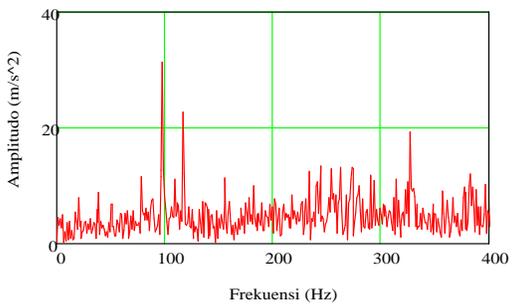
Percobaan 4



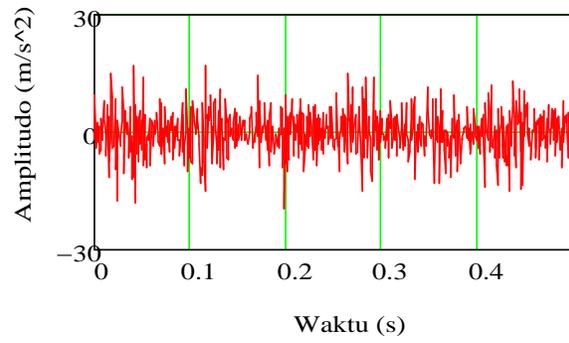
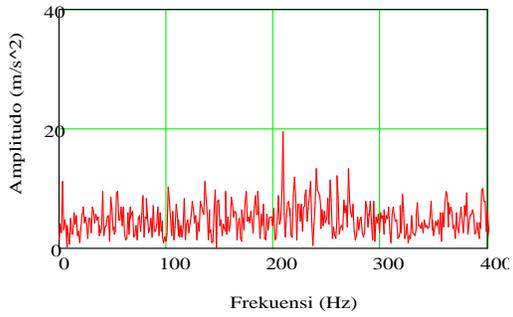
Percobaan 5



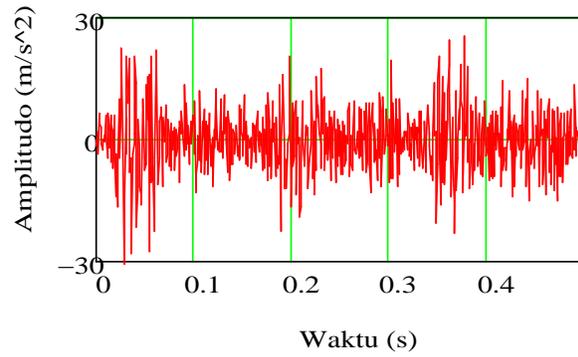
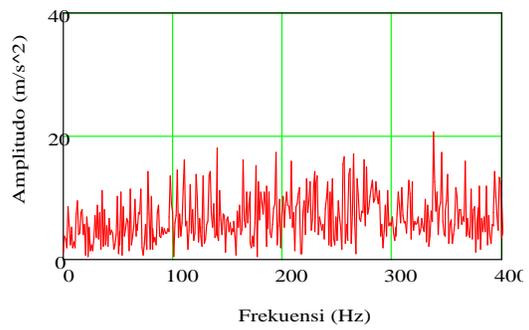
Percobaan 6



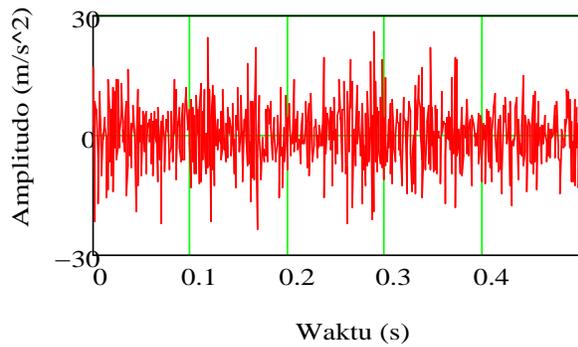
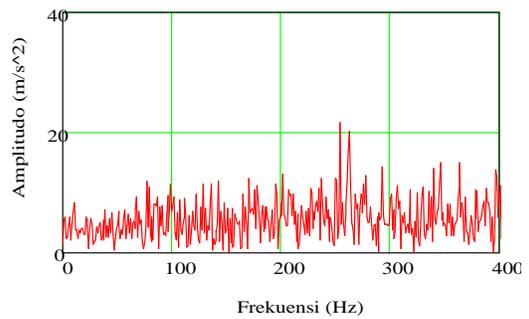
Percobaan 7



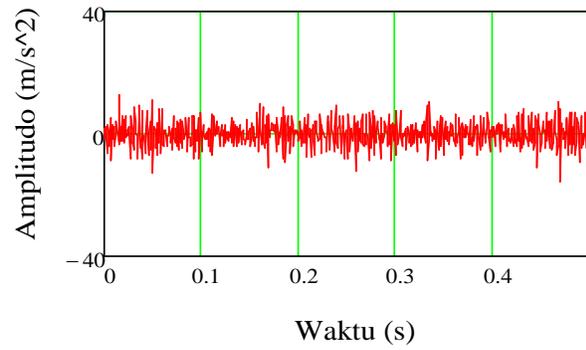
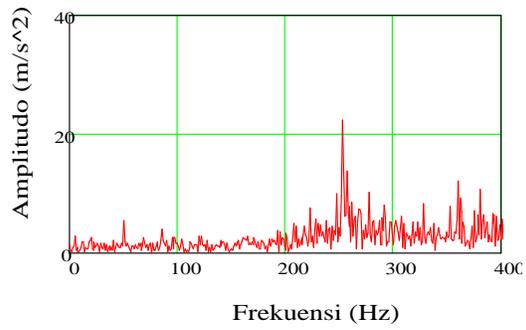
Percobaan 8



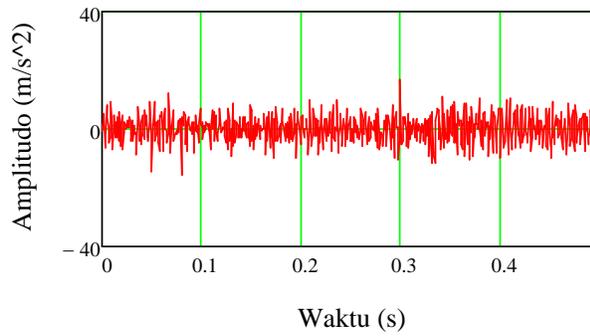
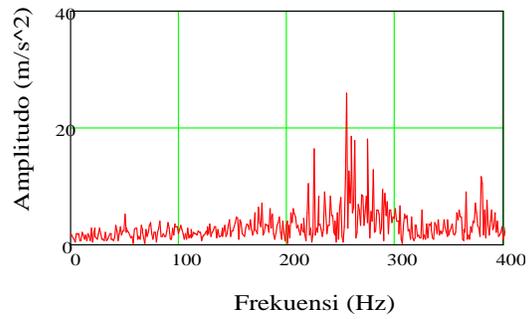
Percobaan 9



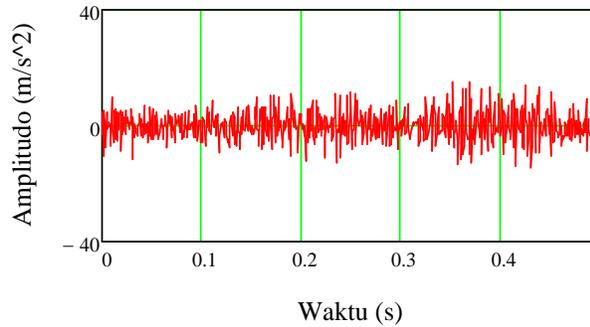
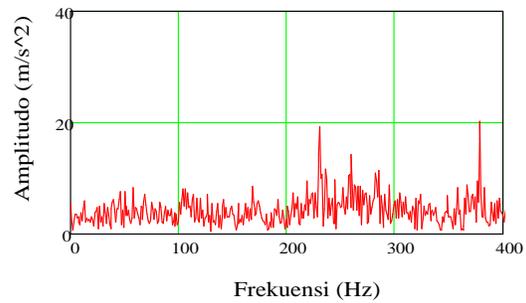
Percobaan 10



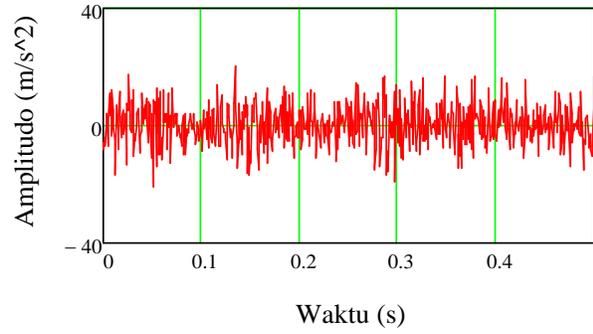
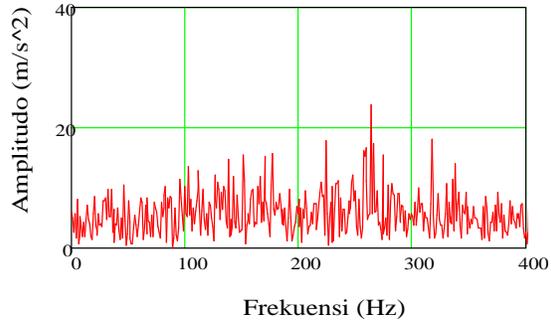
Percobaan 11



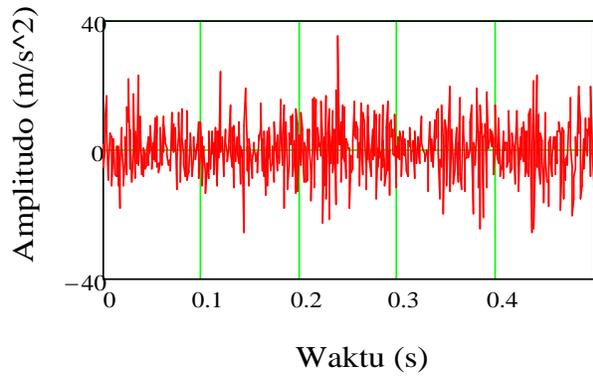
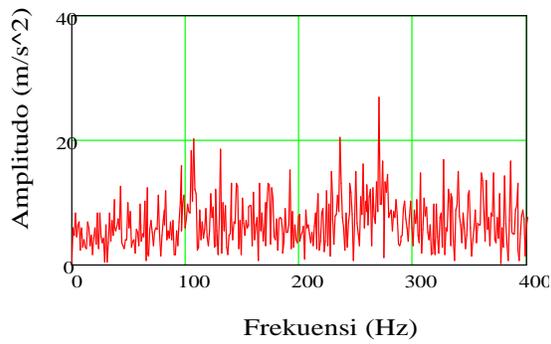
Percobaan 12



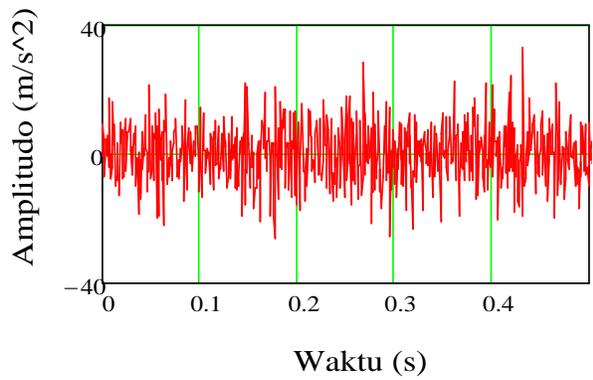
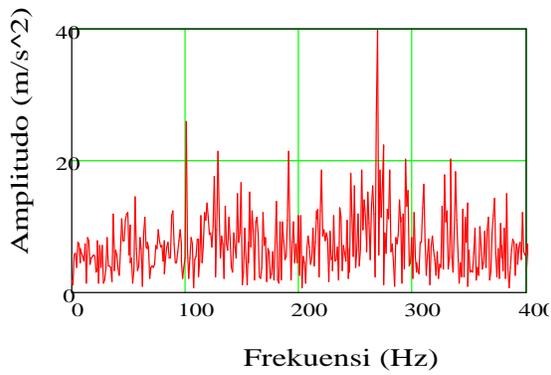
Percobaan 13



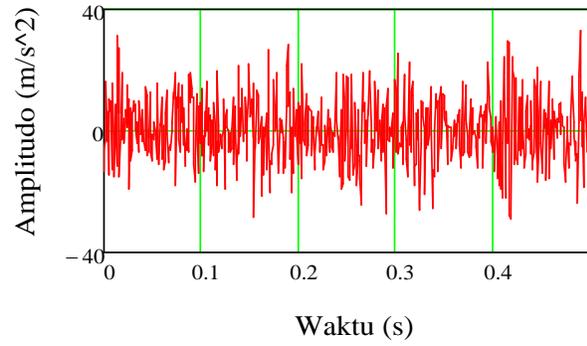
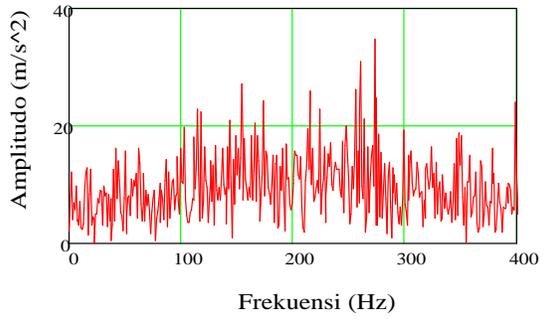
Percobaan 14



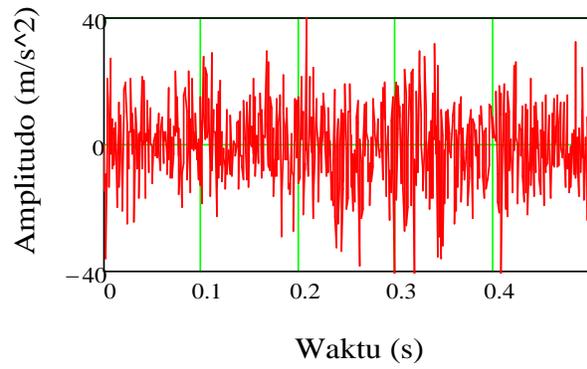
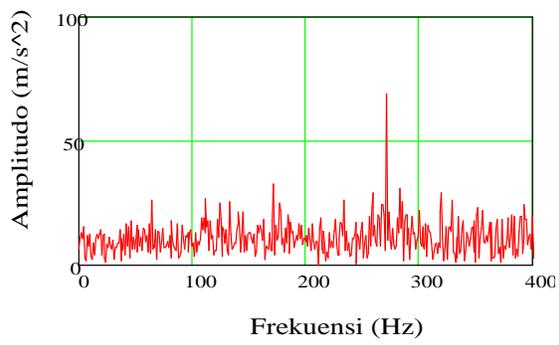
Percobaan 15



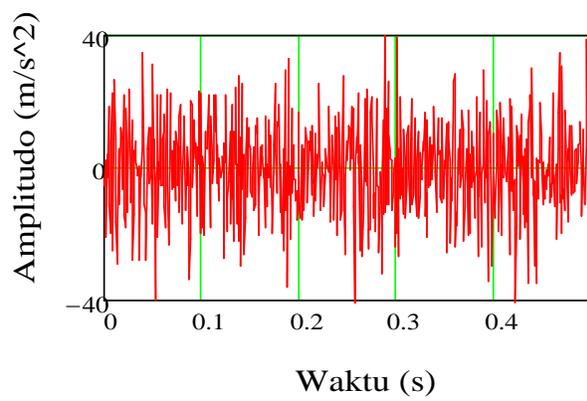
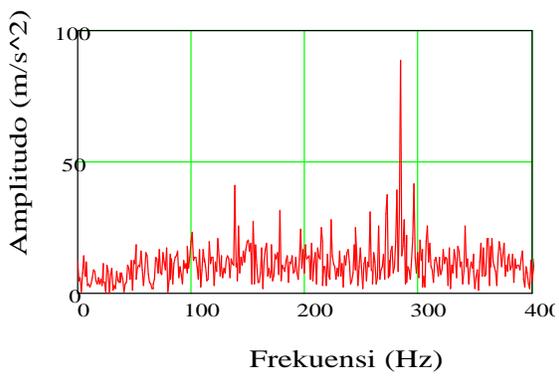
Percobaan 16



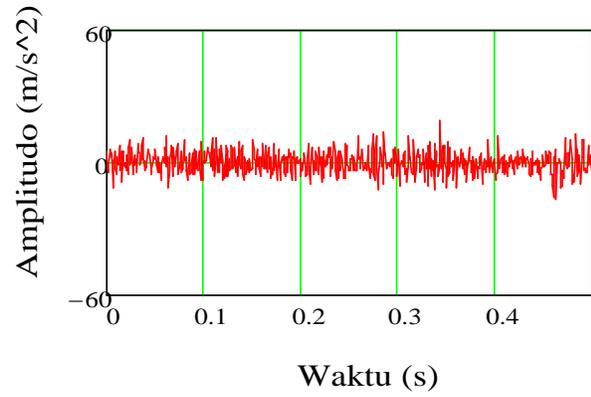
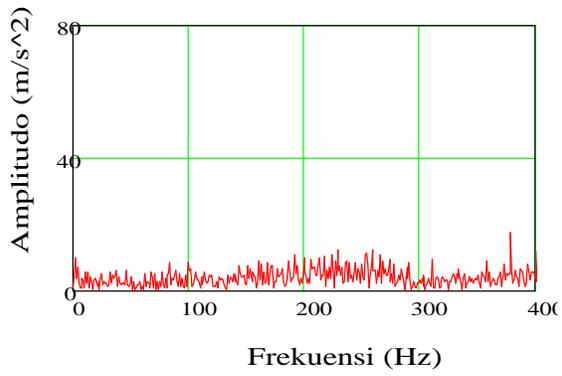
Percobaan 17



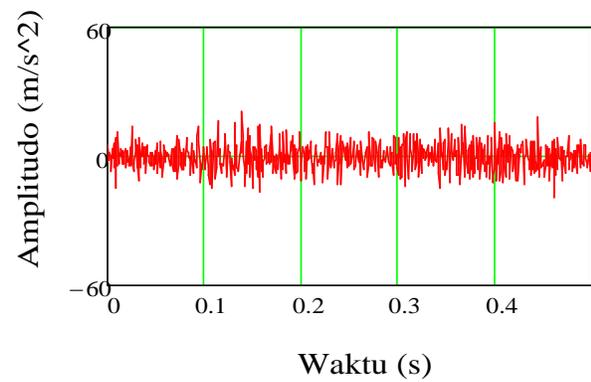
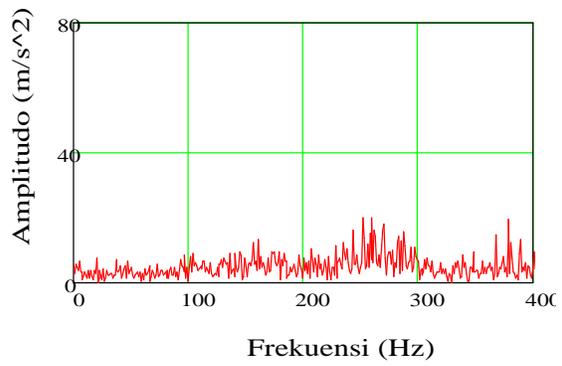
Percobaan 18



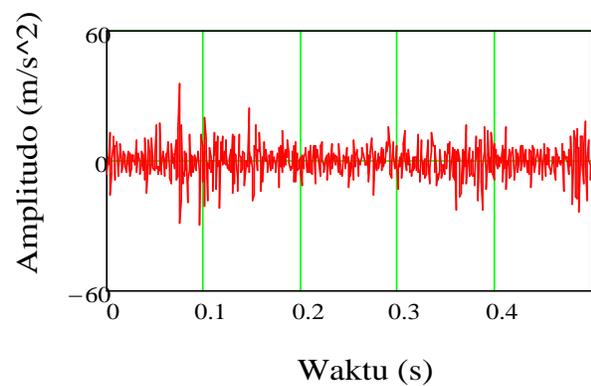
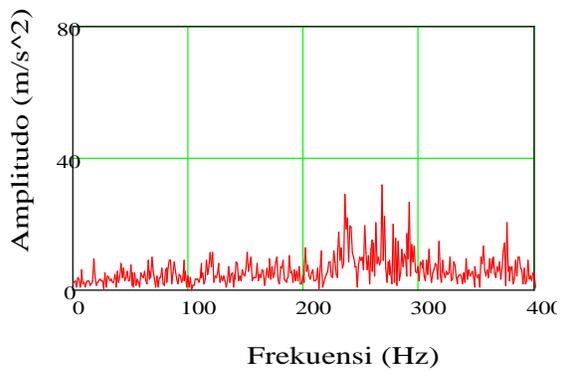
Percobaan 19



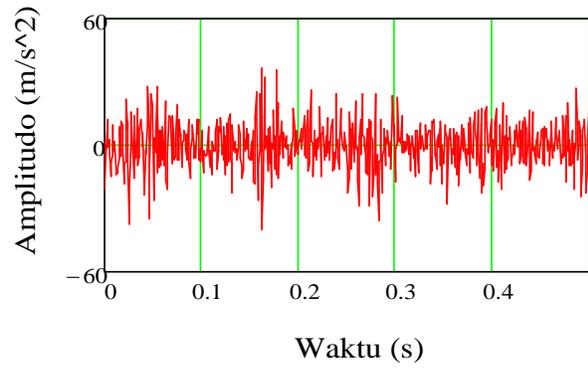
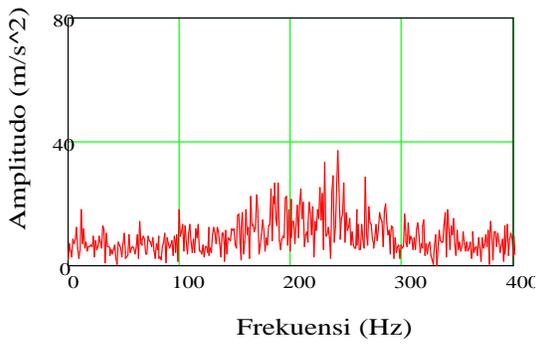
Percobaan 20



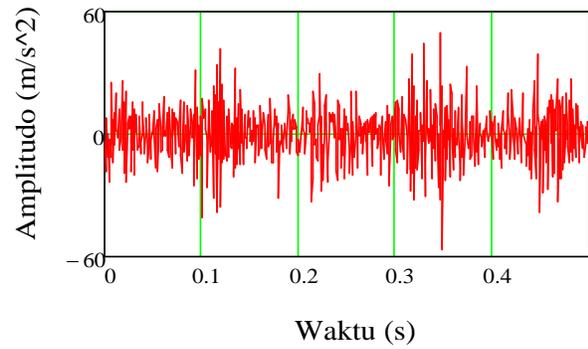
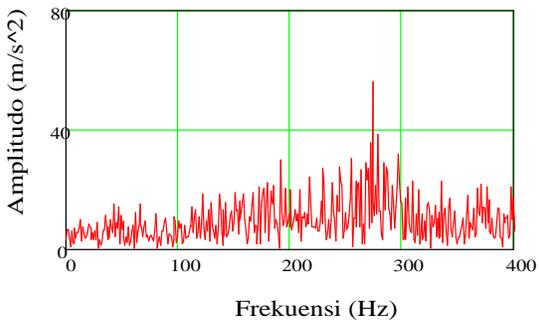
Percobaan 21



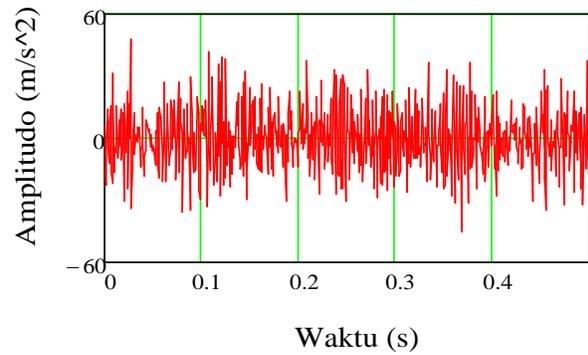
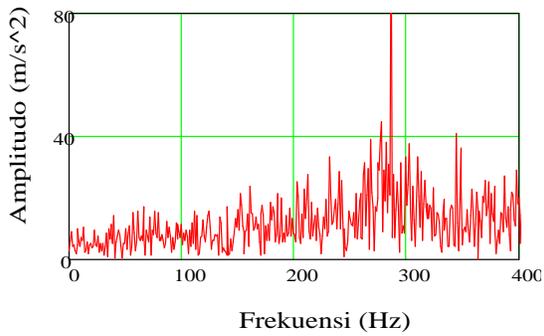
Percobaan 22



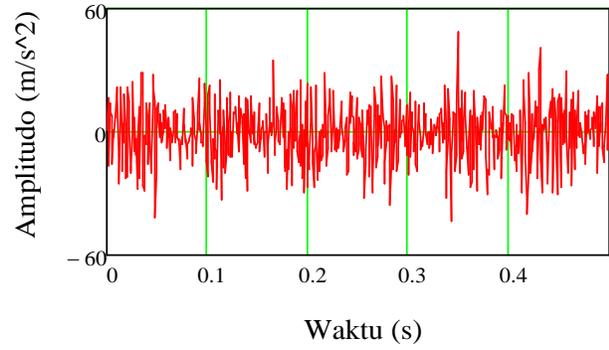
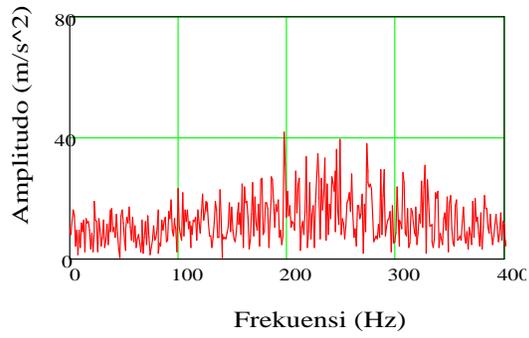
Percobaan 23



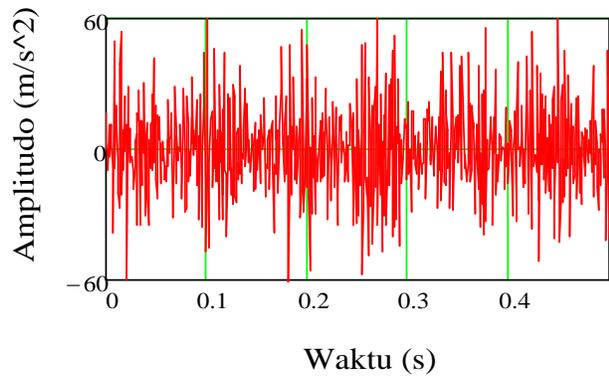
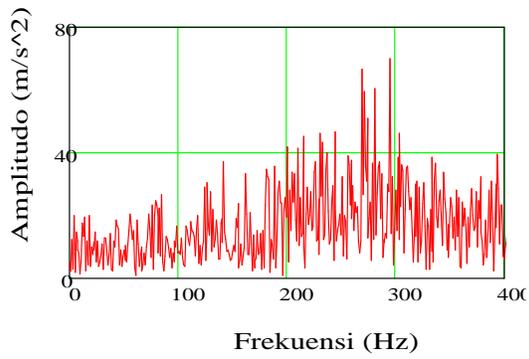
Percobaan 24



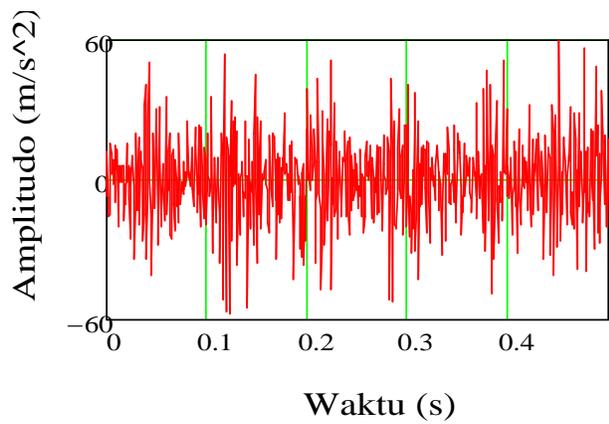
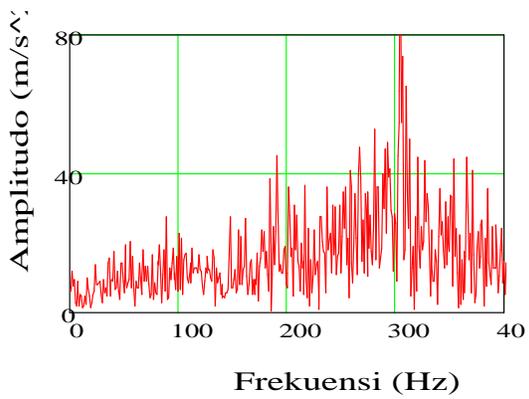
Percobaan 25



Percobaan 26

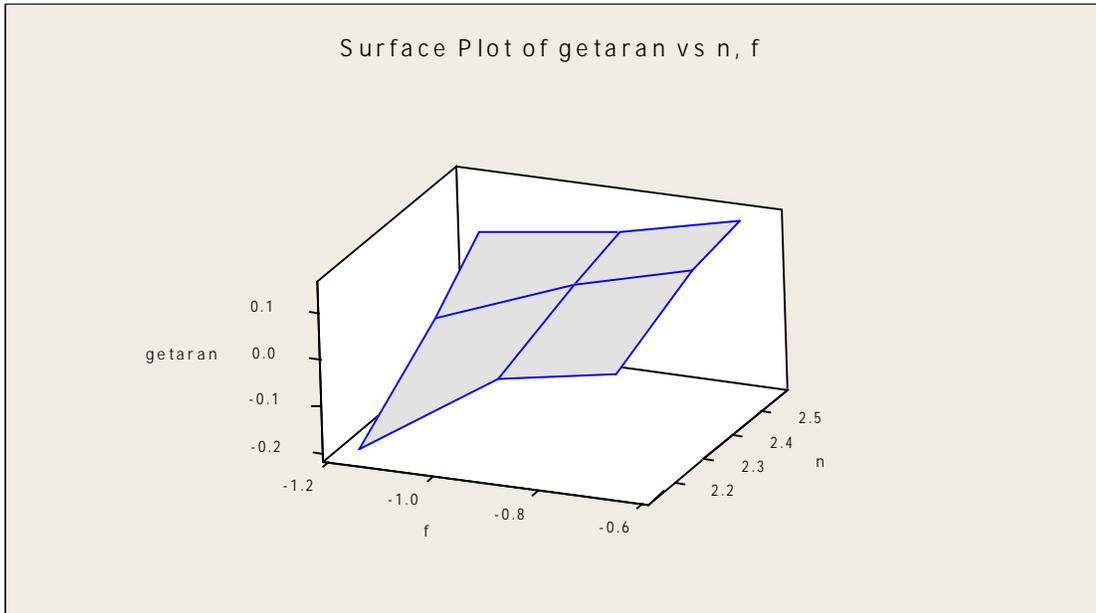


Percobaan 27

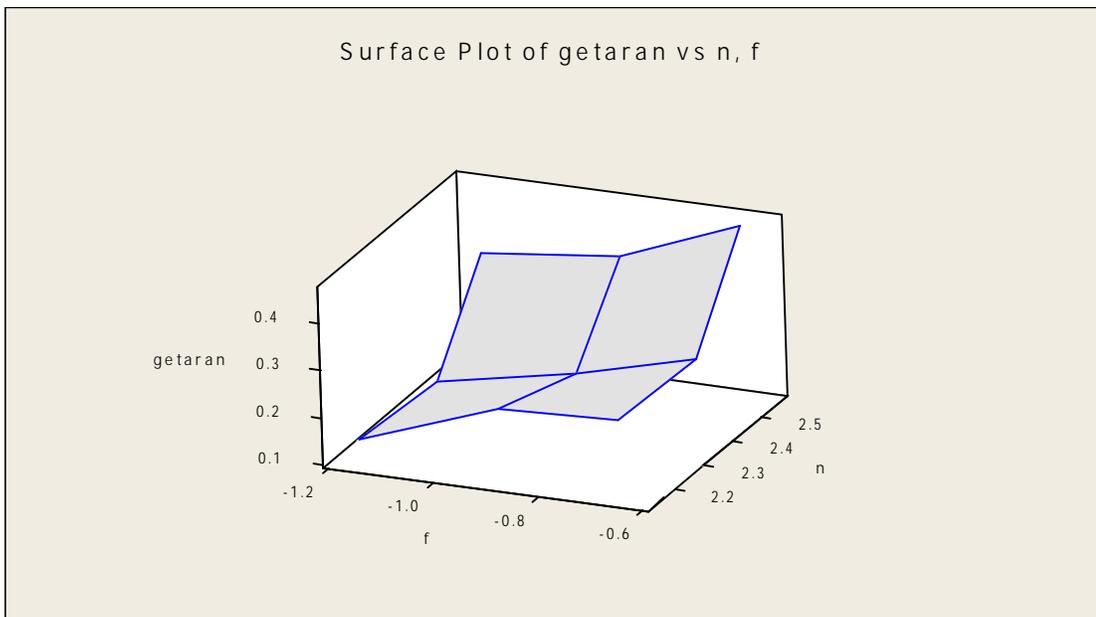


16. Grafik Akselerasi Getaran

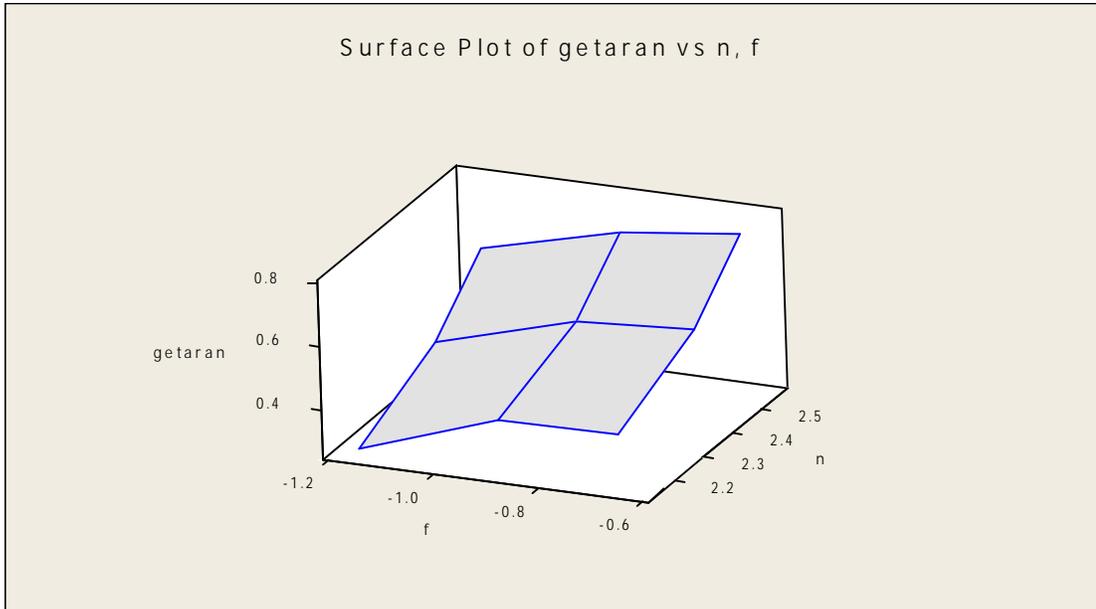
Kedalaman potong 7mm



Kedalaman potong 8,5mm

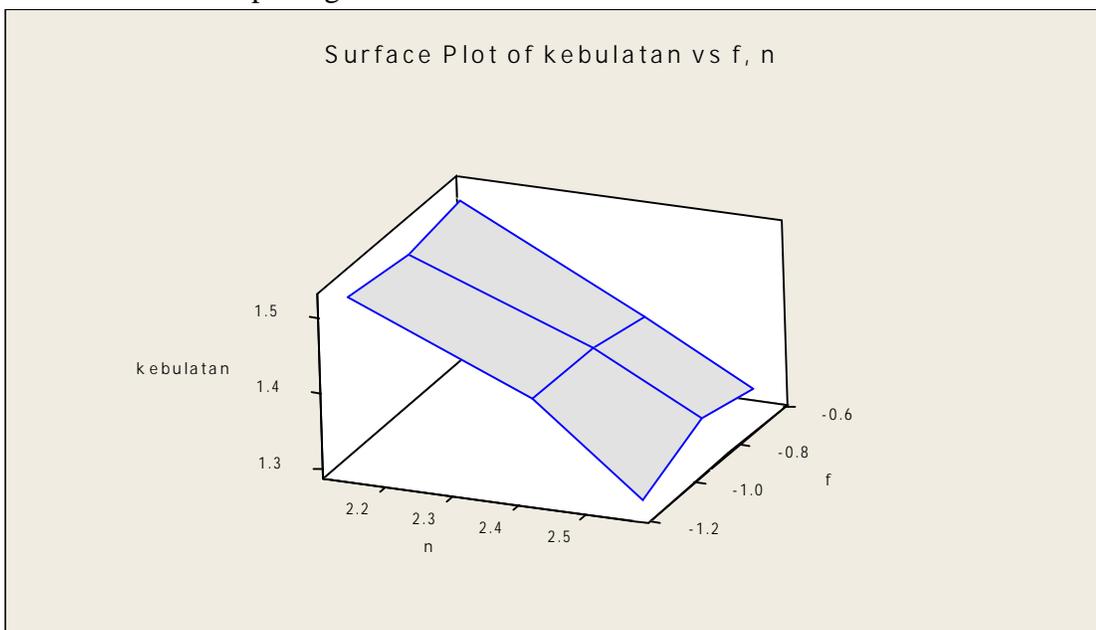


Kedalaman potong 10mm

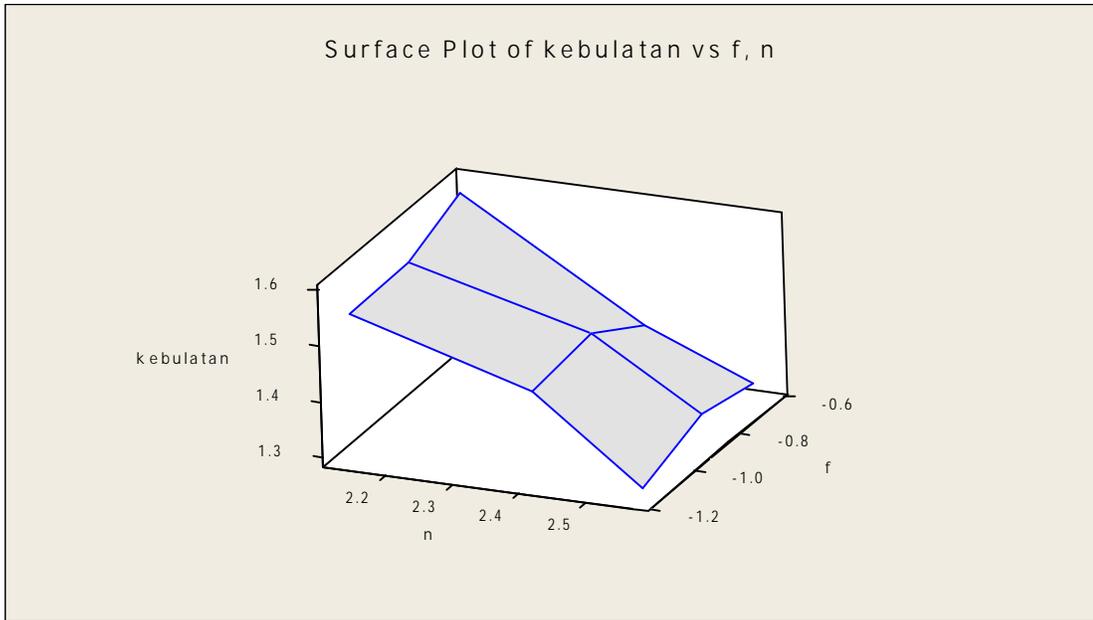


17. Grafik Kebulatan Hasil Percobaan

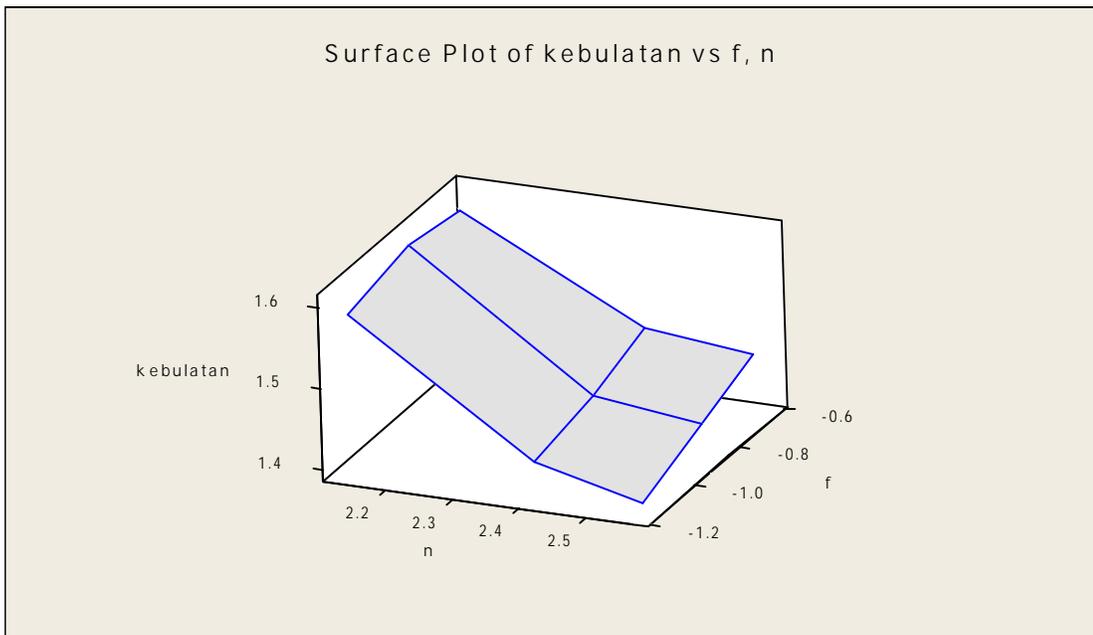
Kedalaman potong 7mm



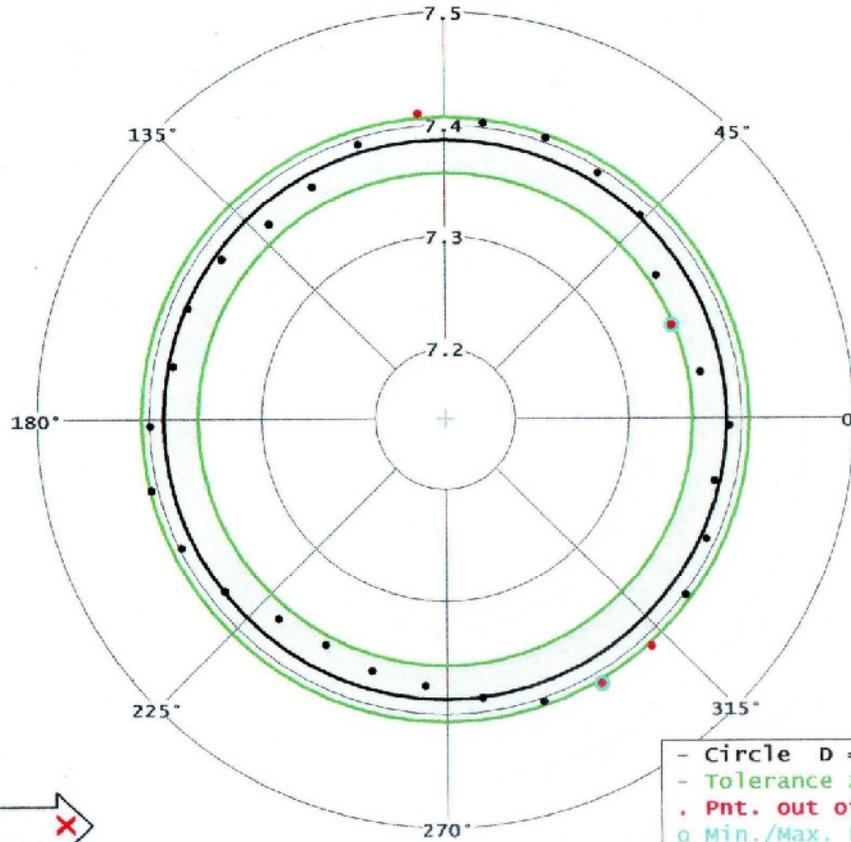
Kedalaman potong 8,5mm



Kedalaman potong 10mm



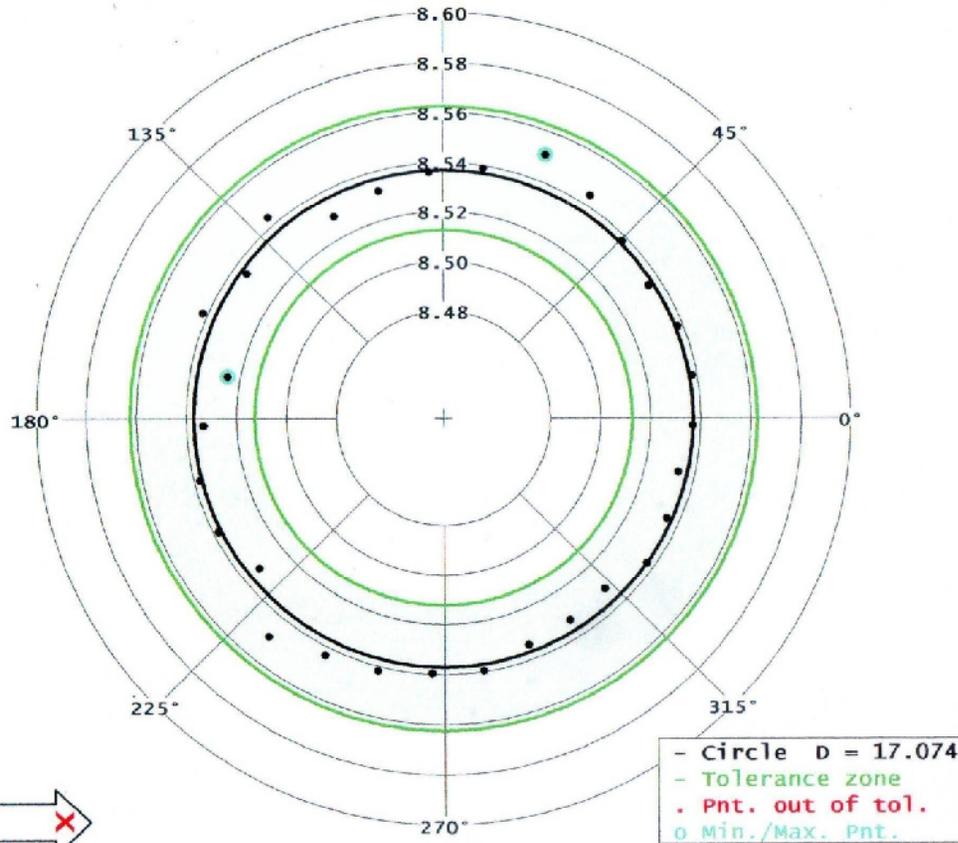
User name	Admin	Date and time	14/12/2011 13:01
Order Number :		Item No. / Title :	



[mm] | Magnification: 177

Tolerance zone	0.050	Upper tol.	0.020
		Lower tol.	-0.030
X	55.440	No. of pts.	30
Y	-16.073	Min./Max. Pnt.	29 / 6
Z	-3.000	Std. dev. * 4	0.045
Actual Radius	7.387	Circularity	0.033
Min. dist.	-0.033	Max. dist.	0.023
X	6.805	X	3.729
Y	2.780	Y	-6.403
Radius	7.354	Radius	7.409
Phi	22.275	Phi	300.215

User name	Admin	Date and time	14/12/2011 11:50
Order Number :		Item No. / Title :	



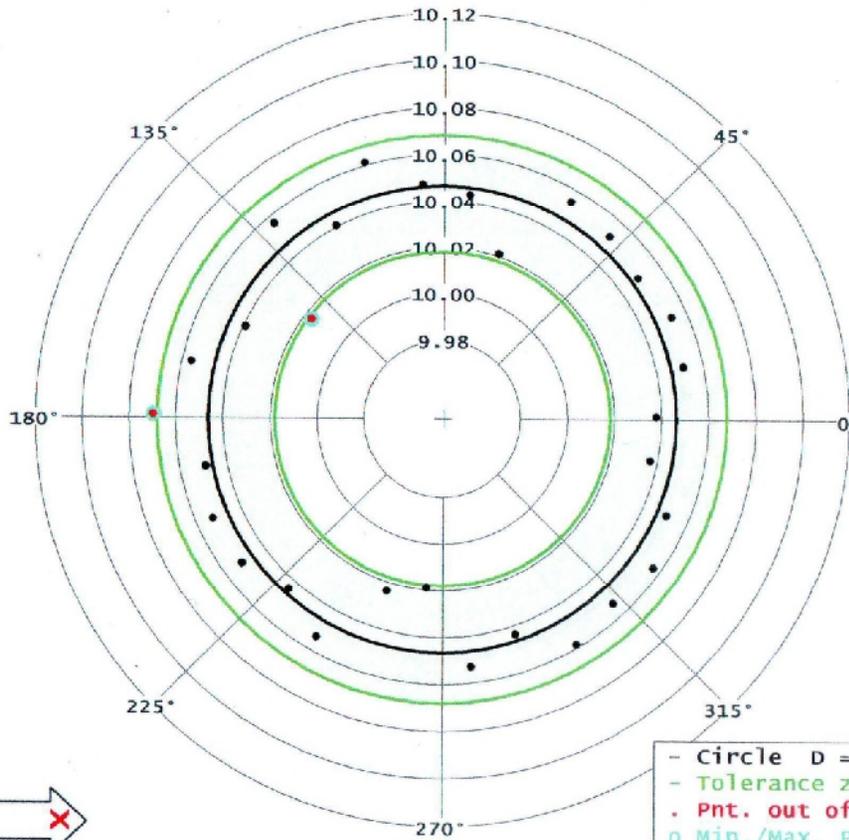
[mm] | Magnification: 395

Tolerance zone	0.050	Upper tol.	0.026
		Lower tol.	-0.024
X	24.564	No. of pts.	30
Y	-20.872	Min./Max. Pnt.	17 / 25
Z	-2.999	Std. dev. ' 4	0.023
Actual Radius	8.537	Circularity	0.026
Min. dist.	-0.012	Max. dist.	0.013
X	-0.371	X	3.111
Y	1.613	Y	7.964
Radius	8.525	Radius	8.550
Phi	169.092	Phi	68.661

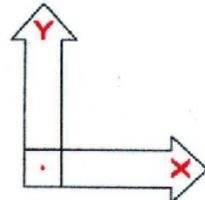
Rlo A [mm]

Circularity: Circle (4) Mea

User name	Admin	Date and time	14/12/2011 11:16
Order Number :		Item No. / Title :	



- Circle D = 20.093
 - Tolerance zone
 . Pnt. out of tol.
 o Min./Max. Pnt.



[mm] | Magnification: 371

Tolerance zone	0.050	Upper tol.	0.022
		Lower tol.	-0.028
X	25.342	No. of pts.	30
Y	0.014	Min./Max. Pnt.	19 / 16
Z	-3.000	Std. dev. * 4	0.023
Actual Radius	10.046	Circularity	0.025
Min. dist.	-0.030	Max. dist.	0.023
X	-8.001	X	-10.069
Y	6.026	Y	0.109
Radius	10.016	Radius	10.070
Phi	143.016	Phi	179.378