



**ANALISIS PUTARAN SPINDEL, KECEPATAN PEMAKANAN
DAN KEDALAMAN PEMAKANAN TERHADAP GETARAN
BENDA KERJA PROSES MILLNG CNC**

SKRIPSI

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

Oleh

**Mukhamad Ghozali
NIM 121910101110**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**ANALISIS PUTARAN SPINDEL, KECEPATAN PEMAKANAN
DAN KEDALAMAN PEMAKANAN TERHADAP GETARAN
BENDA KERJA PROSES MILLNG CNC**

SKRIPSI

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

Oleh

**Mukhamad Ghozali
NIM 121910101110**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Umi Kulsum dan Ayahanda M. Djufri yang tercinta serta selalu memberikan do'a, dukungan, kepercayaan, dan memberikan kasih sayang dan pengorbanan selama ini;
2. Kakakku M. Yusuf, M. Zulfan S., Adikku M. Syahrul K., dan yang tersayang Maulida F. Azizah;
3. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Skriptyan Syuhri sebagai Dosen Pembimbing Penelitian;
6. Sahabat-sahabatku Gigih Virgiansyah, Galang Eiga Prambudi, Bayu Oktavian Prasetya, Husni Mubarak dan Rahmat Fitrianto;
7. Teman-teman kos "Pink" M.Junaidi, M. Fadhil, Bayu O. P. , dkk;
8. Teman seperjuangan Tim Skripsi "CNC" Agung Suseno, Bijak Sunyapa dan Zainul Arifin.
9. Saudara-saudaraku di Jurusan Teknik Mesin terutama angkatan 2012 yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan do'anya **Solidarity Forever**.

MOTO

“Tiap-tiap umat mempunyai batas waktu, maka apabila telah datang waktunya mereka tidak dapat mengundurkannya barang sesaatpun dan tidak dapat (pula) memajukannya”
(Terjemahan Surah Ar-‘A’raf ayat 34)

“If we don’t change, we don’t grow. If we don’t grow, we aren’t really living”
(Gail Sheehy)

“Jika anda ingin meraih sukses, hindarilah untuk berfikir tentang kegagalan, namun berfikir dan berusaha untuk berhasil”
(Anonim)

“If you born poor, it’s not your mistake but if you die poor it’s your mistake”
(Bill Gates)

“ Effective managers live in the present bu concentrate on the future”
(James L. Hayes)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mukhamad Ghozali

NIM : 121910101110

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Putaran Spindel, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Benda Kerja Proses Milling CNC” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 12 Oktober 2016

Yang menyatakan,

Mukhamad Ghozali

NIM 121910101110

SKRIPSI

**ANALISIS PUTARAN SPINDEL, KECEPATAN PEMAKANAN DAN
KEDALAMAN PEMAKANAN TERHADAP GETARAN
BENDA KERJA PROSES MILLING CNC**

Oleh

Mukhamad Ghozali

NIM 121910101110

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Analisis Putaran Spindel, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Benda Kerja Proses Milling CNC*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 12 Oktober 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua (DPU),

Sekretaris (DPA),

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

Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T.
NIP 19681207 199512 1 002

Penguji I,

Penguji II,

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.
NIP 19691201 199602 1 001

Sumarji, S.T., M.T.
NIP 19680202 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Putaran Spindel, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Pemakanan Terhadap Getaran Benda Kerja Proses Milling CNC; Mukhamad Ghozali, 121910101110; 2016; 63 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses pemesinan frais (*milling*) merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk pembuatan komponen. Waktu yang dibutuhkan dari proses pemesinan konvensional atau non-konvensional untuk membuat komponen harus secepat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi atau sesuai target. Getaran pada benda kerja dan pahat merupakan variabel terikat yang mana getaran tersebut selalu terjadi selama proses pemesinan berlangsung. Efek dari getaran pemesinan yang terjadi pada mesin frais sangat berpengaruh pada hasil proses *milling CNC* seperti kekasaran permukaan. Umur mesin dan umur pahat (keausan) juga dipengaruhi oleh efek getaran yang berlebih.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap getaran benda kerja proses *milling CNC*. Serta mengetahui *setting* parameter pemotongan manakah yang menghasilkan nilai getaran benda kerja yang optimal pada proses *milling CNC* dengan menggunakan metode taguchi.

Pemilihan jenis matriks ortogonal berdasarkan jumlah parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Terdapat 3 buah parameter kendali yang akan digunakan. Sedangkan jumlah level yang akan digunakan adalah 3 buah setiap parameter kendali

Penelitian ini dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dalam satu kombinasi parameter. Kemudian pengambilan data nilai getaran benda kerja dilakukan dengan 2 arah pengukuran yang berbeda pada tiap pengulangan.

Hasil dari analisis statistik membuktikan bahwa pada variabel putaran spindel terbukti memberikan pengaruh secara signifikan terhadap getaran benda kerja dengan

nilai persen kontribusi sebesar 63,773%. Pada variabel kecepatan pemakanan terbukti memberikan pengaruh terhadap getaran benda kerja dengan nilai persen kontribusi sebesar 19,168%. Sedangkan untuk variabel kedalaman pemakanan terbukti memberikan pengaruh terhadap getaran benda kerja karena variabel telah dilakukan *pooling* dengan nilai persen kontribusi sebelum dilakukannya *pooling* sebesar 0,150%.

Sedangkan kombinasi yang optimum untuk tingkat getaran benda kerja yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor putaran spindel 1200rpm (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 200 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,2mm (faktor C level 1).

SUMMARY

The Analysis Spindle Speed, Feed Rate and Depth of Cut On Workpiece Vibrations CNC Milling; Mukhamad Ghozali, 121910101110; 2016; 63 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

Milling machining process is one of the machining process widely used for the manufacture of components. The time required of conventional machining processes or non-conventional to make the components should be as soon as possible in order to achieve a high production capacity or on target. Vibrations in the workpiece and the cutting tool is the dependent variable in which the vibration always occurs during the machining process takes place. Effects of machining vibrations that occur in the milling machine is very influential on the outcome of CNC milling processes such as surface roughness. Age of the machine and tool life (wear) is also influenced by the effects of excessive vibration.

This study aims to determine the effect of variations in spindle rotation speed feeds, and feeds the depth of the workpiece to vibrations CNC milling process. And to know the setting of cutting parameters Which values produce optimal vibration of the workpiece on the CNC milling process by using the Taguchi method.

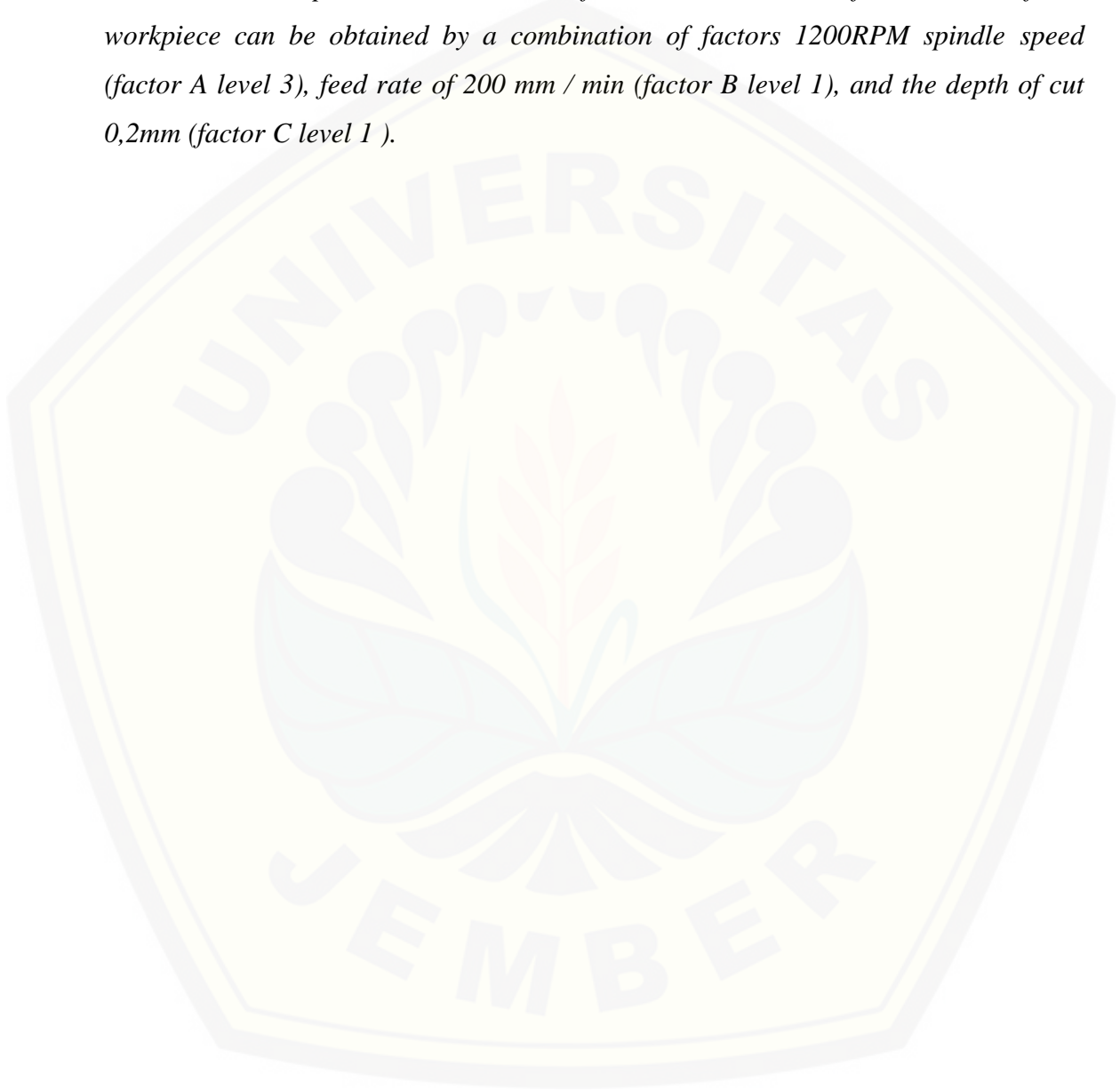
Selection of an orthogonal matrix type based on the number of control parameters to be used and the number of levels of each parameter control. There are three pieces of the control parameters to be used. While the number of levels that will be used is 3 pieces each parameter control

This research was done 3 times repetition in a combination of parameters. Then the data retrieval vibration value of the workpiece is done by two different directions at each measurement repeatability.

Results of statistical analysis proves that the variable spindle speed proven to provide significant influence on the vibration of the workpiece by a percent value contribution of 63.773%. At the variable feed rate proved to give effect to the workpiece by a percent value contribution of 19.168%. As for variable depth of cut

proven to give effect to the vibration of the workpiece because the variables have been done by a percent value contribution pooling prior to pooling of 0.150%.

While the optimum combination of the vibration level of the lowest of the workpiece can be obtained by a combination of factors 1200RPM spindle speed (factor A level 3), feed rate of 200 mm / min (factor B level 1), and the depth of cut 0,2mm (factor C level 1).



PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Putaran Spindel, Kecepatan Makan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Benda Kerja Proses Milling CNC”. 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 banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Aris Zainul Muttaqin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini;
3. Imam Sholahuddin, S.T., M.T. dan Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji;
4. Semua dosen Teknik Mesin yang tidak bisa disebutkan satu demi satu, terimakasih atas semua pengajaran dan bimbingan, semangat dan waktu yang telah diberikan;
5. SMKN 2 Jember dan Laboratorium Desain dan Uji Bahan Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memperbolehkan untuk melakukan penelitian dan pengambilan data.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Harapan penulis adalah supaya informasi dari skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Jember, 14 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Mesin Frais (Milling) Konvensional	4
2.1.1 Bagian-Bagian Mesin Frais (Milling)	5
2.2 Mesin Frais (Milling) CNC	6
2.2.1 Jenis-Jenis Mesin Frais (Milling) CNC	6
2.2.2 Bagian-bagian Utama Mesin Frais (Milling) CNC	7
2.3 Parameter Pengoperasian Mesin Frais (Milling)	12

2.3.1 Putaran Spindel (Spindle Speed)	12
2.3.2 Kedalaman Potong (Depth of Cut)	12
2.3.3 Kecepatan Makan (Feed Rate)	13
2.4 Getaran	13
2.4.1 Amplitudo	14
2.4.2 Displacement	14
2.4.3 Kecepatan (Velocity)	15
2.4.4 Percepatan (Acceleration)	15
2.4.5 Getaran Paksa	16
2.4.6 Batas Vibrasi Dan Standard Vibrasi	16
2.5 Metode Taguchi	19
2.5.1 Tahapan Dalam Metode Taguchi	20
2.6 Hipotesa	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian	26
3.2 Alat Dan Bahan	26
3.2.1 Alat Penelitian	26
3.2.2 Bahan	31
3.3 Variabel Pengukur	33
3.3.1 Variabel Bebas	33
3.3.2 Variabel Terikat	34
3.4 Jumlah Level dan Nilai Level Faktor	34
3.5 Pemilihan Matriks Ortogonal	34
3.6 Pelaksanaan Percobaan	35
3.7 Pengambilan Data	38
3.8 Data Percobaan	38
3.9 Metode Analisis	41
3.10 Diagram Alir Penelitian	43
3.11 Jadwal Penelitian	44
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	45

4.1 Data Hasil Pengujian	45
4.2 Analisis Data Getaran Benda Kerja	47
4.2.1 Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i>	47
4.2.2 Perhitungan ANOVA untuk <i>Signal to Noise Ratio</i>	51
4.2.3 Prediksi <i>Signal to Noise Ratio</i> yang Optimal	57
4.3 Analisis Pengaruh Variabel Terhadap Getaran Benda Kerja	58
4.3.1 Variabel Putaran Spindel dengan Getaran Benda Kerja	58
4.3.2 Variabel Kecepatan Makan dengan Getaran Benda Kerja	60
4.3.3 Variabel Kedalaman Potong dengan Getaran Benda Kerja	61
4.3.4 Analisis Getaran Benda Kerja untuk <i>Signal to Noise Ratio</i>	62
BAB 5. PENUTUP	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran	

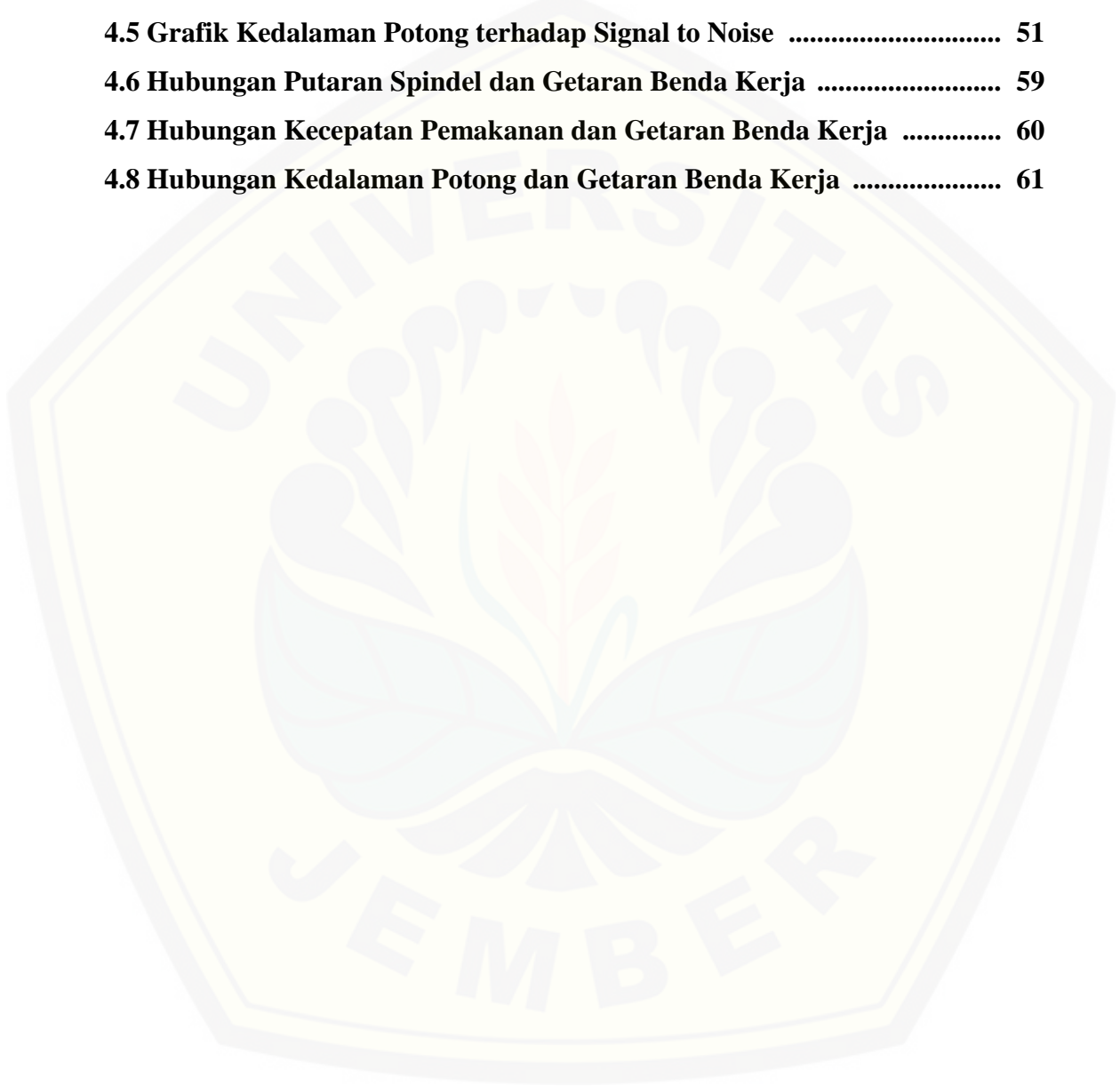
DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Karakteristik dan Satuan Getaran	13
2.2 ISO 2372 – ISO Pedoman Bagi Kelayakan Vibrasi Permesinan	17
2.3 Contoh Orthogonal Array Untuk L9	22
3.1 Kecepatan Potong Bahan	31
3.2 Unsur Kimia JIS G 4051. Baja Karbon Untuk Konstruksi Mesin	32
3.3 Sifat Mekanis Standar JIS G 4051	32
3.4 Penggolongan Baja Secara Umum	33
3.5 Daftar Variabel Bebas dan Level	34
3.6 Parameter Kendali Dan Level Untuk Matriks Ortogonal L9	35
3.7 Matriks Ortogonal Untuk Taguchi L9	35
3.8 Daftar Setting Parameter	37
3.9 Data Percobaan Hasil Pengujian	39
3.10 Jadwal Penelitian	44
4.1 Data Pengujian Getaran Benda Kerja	47
4.2 Hasil Perhitungan Rasio S/N	49
4.3 Respon Rata-rata Getaran Benda Kerja Untuk Rasio S/N	50
4.4 Hasil Analisis Varian Untuk Rasio S/N	56
4.5 Hasil <i>pooling</i> Untuk Analisis Varian	57
4.6 Data Hasil Penelitian	59
4.7 Hubungan Putaran Spindel dengan Getaran Benda Kerja	60
4.8 Hubungan Kecepatan Pemakanan dengan Getaran Benda Kerja ...	61
4.9 Hubungan Kedalaman Pemakanan dengan Getaran Benda Kerja...	62
4.10 Respon Rata-rata untuk Tiap Faktor	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Gambar Komponen Mesin Frais	4
2.2 Bagian-Bagian Mesin Frias/Milling	5
2.3 Mesin <i>milling</i> CNC	6
2.4 Motor Utama	7
2.5 Skema Gerakan Persumbuhan Mesin CNC	8
2.6 Step Motor	8
2.7 Rumah Alat Potong	9
2.8 Tool Holder	9
2.9 Collet	10
2.10 Ragum	10
2.11 Bagian Pengendali	11
2.12 Perpindahan terhadap waktu (t) dalam sistem getaran	14
2.13 Displacement	15
2.14 Aplikasi Getaran Paksa Pada Benda Kerja Yang Diberi Tekanan	16
2.15 Chart Ketidak Layakan Pada Permesinan	18
3.1 Mesin Milling CNC FOCUS ESEMKA VMC-L540	26
3.2 Accelerometer	28
3.3 Propscope USB Oscilloscope Parallax.....	29
3.4 Pahat End Mill HSS	30
3.5 Benda Kerja Sebelum Proses Milling CNC	33
3.6 Penghubungan Alat Ukur	34
3.7 Penempatan Sensor Pada Titik Ukur	34
3.8 Software Propscope USB Oscilospe	35
3.9 Benda Kerja Sebelum Dan Sesudah Proses Milling CNC	36
3.10 Flowchart Penelitian	43
4.1 Grafik Hasil Pengukuran di Titik a	45

4.2 Grafik Hasil Pengukuran di Titik b	45
4.3 Grafik Putaran Spindel terhadap Signal to Noise	50
4.4 Grafik Kecepatan Pemakanan terhadap Signal to Noise	50
4.5 Grafik Kedalaman Potong terhadap Signal to Noise	51
4.6 Hubungan Putaran Spindel dan Getaran Benda Kerja	59
4.7 Hubungan Kecepatan Pemakanan dan Getaran Benda Kerja	60
4.8 Hubungan Kedalaman Potong dan Getaran Benda Kerja	61



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin *Computer Numerically Controlled* didefinisikan sebagai suatu mesin perkakas yang mempunyai gerak otomatis dan dikontrol dengan bahasa numerik dan dikendalikan oleh sistem komputer, disebut sebagai mesin CNC TU A, karena mesin ini merupakan mesin frais dan mempunyai tiga sumbu utama, yaitu sumbu x, y dan z (Wiratma dan Suryaputra, 2011). Menurut Pramana (dalam Sukma, 2016), Industri besar menggunakan mesin *Computer Numerik control* (CNC) untuk menggantikan mesin *milling* konvensional. Apabila dibandingkan dengan mesin *konvensional*, mesin CNC memiliki banyak kelebihan dalam hal akurasi dan tidak memerlukan keahlian *operator*. “Proses pemesinan frais (*milling*) merupakan salah satu proses pemesinan yang banyak digunakan untuk pembuatan komponen” (Romiyadi dkk, 2012).

Waktu yang dibutuhkan dari proses pemesinan konvensional atau non-konvensional untuk membuat komponen harus secepat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi atau sesuai target. Getaran pada benda kerja dan pahat merupakan variabel terikat yang mana getaran tersebut selalu terjadi selama proses pemesinan berlangsung. Efek dari getaran pemesinan yang terjadi pada mesin frais sangat berpengaruh pada hasil proses *milling CNC* seperti kekasaran permukaan. Umur mesin dan umur pahat (keausan) juga dipengaruhi oleh efek getaran yang berlebih. Oleh karena itu dalam suatu proses pemesinan benda kerja banyak terjadi faktor penyebab timbulnya hal tersebut seperti getaran yang terjadi saat proses pemotongan oleh parameter pemotongan itu sendiri. Karena itu pada pembahasan karya tulis ini mengambil judul “*Analisis Putaran Spindel, Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Benda Kerja Proses Milling CNC*”.

Metode taguchi merupakan *offline quality control* artinya pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. *Offline quality control* dilakukan pada saat awal dalam *life cycle*

product yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (to get right first time). “Metode taguchi adalah metode eksperimen yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin sehingga dicapai kondisi yang optimal dan efisien” (Soejanto, 2009). Metode ini digunakan untuk memberikan *layout* pengujian, mengetahui kondisi optimal dari parameter permesinan terhadap getaran pada benda kerja saat proses *milling* CNC.

Dalam penelitian ini menggunakan metode taguchi *orthogonal array* yang merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini bisa hanya separuh, seperempat, atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi parameter pemotongan terhadap getaran benda kerja proses *milling* CNC dengan bahan baja S45C?
2. Bagaimana *setting* parameter agar didapatkan getaran benda kerja yang optimal pada proses *milling* CNC dengan bahan baja S45C?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh dari variasi parameter pemotongan terhadap getaran benda kerja proses *milling* CNC dengan bahan baja S45C.
2. Mengetahui setting parameter pemotongan yang optimal pada proses *milling* CNC dengan bahan baja S45C menggunakan metode taguchi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui hubungan variasi parameter pemotongan terhadap getaran benda kerja proses *milling CNC* dengan bahan baja S45C
2. Dapat memberikan informasi kepada dunia industri manufaktur bahwa parameter pemotongan sebagai acuan nilai getaran benda kerja yang optimal pada proses *milling CNC*.

1.5 Batasan Masalah

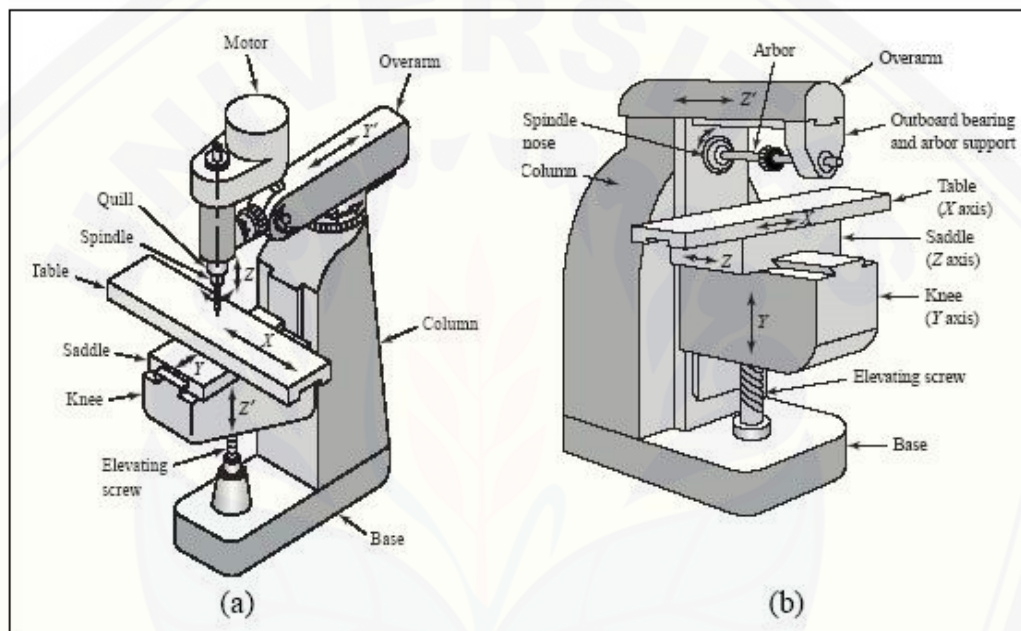
Di dalam penelitian ini membatasi masalah pada hal-hal yang berkaitan dengan variasi parameter pemotongan yang menghasilkan nilai getaran benda kerja yang optimal pada proses *milling CNC*, antara lain:

1. Penelitian hanya menggunakan material baja persegi S45C, dengan ukuran 40x25x25 mm.
2. Percobaan dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali pengulangan pada setiap parameter.
3. Pahat HSS (*High Speed Steel*) dengan diameter 16 mm.
4. Penelitian ini tidak menganalisa optimasi waktu pengerjaan.
5. Penelitian ini tidak membahas kekasaran permukaan benda kerja hasil proses *milling CNC*.
6. Penelitian ini tidak membahas pengaruh pemakaian *coolant* pada saat proses *milling CNC*.
7. Penelitian ini tidak membahas masalah hubungan dengan biaya-biaya dalam penerapan mesin *milling CNC*.
8. Penelitian ini tidak membahas cacat yang terjadi setelah pemotongan dan struktur mikro benda kerja baik sebelum dan sesudah proses *milling*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mesin Frais (*Milling*) Konvensional

Mesin frais merupakan mesin manufaktur yang penting di samping mesin bubut. Pada umumnya mesin frais dibagi menjadi dua, yaitu mesin frais tipe *knee* dan mesin frais tipe *bed* (Sugiri, dkk, 2011).

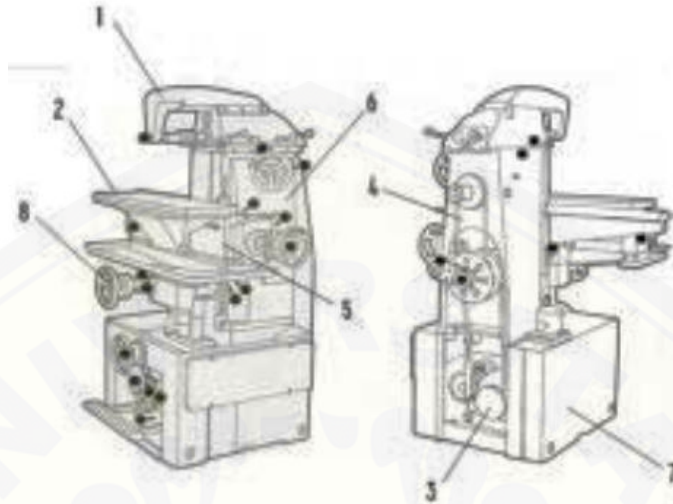


(a) mesin frais vertikal dan (b) mesin frais horisontal

Gambar 2.1 Gambar Komponen Mesin Frais

Mesin frais (*miling*) digunakan untuk meratakan permukaan, membuat alur, membuat roda-roda gigi dan membesarkan lubang. Prinsip kerja mesin frais (*miling*) adalah pahat atau pisau yang berbentuk silinder, mempunyai gerak mendatar, tegak atau berputar secara lambat. Mesin frais (*miling*) mempunyai berbagai macam model, yakni antara lain mesin frais universal, mesin frais tegak, mesin frais industri, mesin frais datar, mesin frais portal. Ukuran mesin frais (*miling*) ditentukan oleh kapasitas panjang langkah mejanya pada arah mendatar, melintang dan tinggi pergerakan lutut secara maksimum. Ukuran ini biasanya digabungkan dengan ukuran daya motornya (Daryanto, 1985).

2.1.1 Bagian-bagian Mesin Frais (*Milling*)



Gambar 2.2 Bagian-bagian mesin frais (Sumber: Universitas Gunadarma, 2010)

1. *Spindel* utama, merupakan bagian yang terpenting dari mesin *milling*, yaitu tempat untuk mencekam alat potong.
2. Meja / *table*, merupakan bagian mesin *milling*, yaitu tempat yang di gunakan untuk dudukan *clamping device* atau benda kerja.
3. *Motor drive*, merupakan bagian mesin yang berfungsi menggerakkan bagian-bagian mesin yang lain seperti spindel utama, gerakan makan (*feeding*) dan pendingin (*cooling*).
4. Transmisi, merupakan bagian mesin yang menghubungkan motor penggerak dengan yang digerakkan.
5. *Knee*, merupakan bagian mesin untuk menopang / menahan meja mesin. Pada bagian ini terdapat transmisi gerakan makan (*feeding*).
6. *Column* / tiang, merupakan badan dari mesin. Tempat menyatunya bagian-bagian mesin yang lain.

7. *Base* / dasar, merupakan bagian bawah dari mesin *milling*. Bagian ini yang berfungsi untuk menopang badan / tiang.
8. *Control*, merupakan pengatur dari bagian - bagian mesin yang bergerak.

2.2 Mesin Frais (*Milling*) CNC

Tidak jauh berbeda dengan mesin frais (*milling*) konvensional jika dibandingkan mesin frais (*milling*) CNC (*Computer Numerically Controlled*), hanya saja lebih canggih karena dibekali dengan program-program komputerisasi yang memudahkan *user* dalam membuat bentuk-bentuk yang rumit dengan ketelitian yang tinggi untuk memenuhi permintaan produk yang beragam bentuk.



Gambar 2.3 Mesin *Milling* CNC (Sumber: Wiratma, 2011)

2.2.1 Jenis-jenis Mesin Frais (*Milling*) CNC

Menurut Wiratma (2011) Mesin Frais (*Milling*) CNC secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

- a. Mesin Frais CNC *Training Unit* (TU)
- b. Mesin Frais CNC *Production Unit* (PU)

Kedua mesin tersebut mempunyai prinsip kerja yang sama, akan tetapi yang membedakan kedua tipe mesin tersebut adalah penggunaannya di lapangan. CNC Frais *Training Unit* digunakan untuk pelatihan dasar pemrograman dan pengoperasian CNC yang dilengkapi dengan EPS (*External Programing Sistem*). Mesin CNC jenis *Training*

Unit hanya mampu digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan ringan dengan bahan yang relatif lunak.

Sedangkan Mesin Frais *CNC Production Unit* dipergunakan untuk produksi masal, sehingga mesin ini dilengkapi dengan aksesoris tambahan seperti sistem pembuka otomatis yang menerapkan prinsip kerja hidrolis, pembuangan tatal, dan sebagainya.

2.2.2 Bagian-bagian Utama Mesin Frais (*Milling*) CNC

Menurut Wiratma (2011) Bagian-bagian utama mesin frais (*Milling*) CNC yaitu:

a. Motor Utama

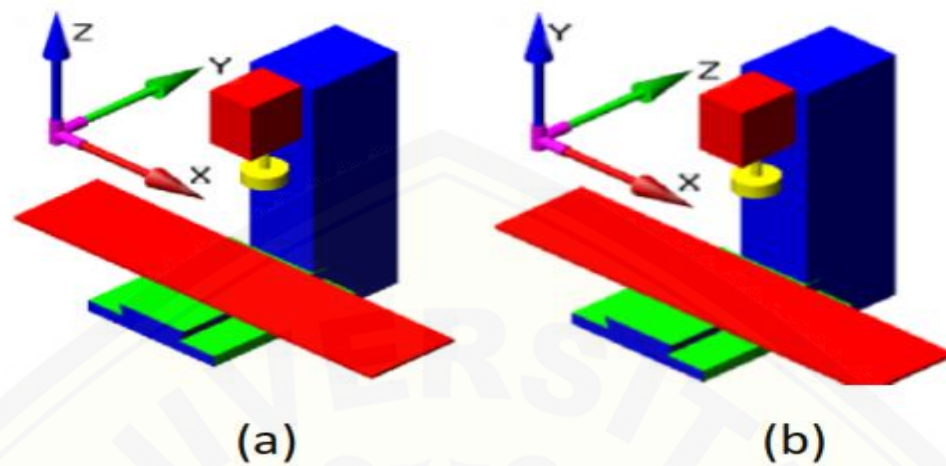
Motor utama adalah motor penggerak cekam untuk memutar benda kerja. Motor ini adalah jenis motor arus searah/ DC (*Direct Current*) dengan kecepatan putaran yang variabel.



Gambar 2.4 Motor Utama (Sumber: Widarto, 2008)

b. Eretan

Eretan merupakan gerak persumbuan jalannya mesin. Pada mesin 3 *axis*, mesin ini mempunyai dua fungsi gerakan kerja, yaitu gerakan kerja posisi vertikal dan gerakan kerja pada posisi horisontal. Berikut Gambar 2.5 merupakan gambar dari gerak persumbuan jalannya mesin:

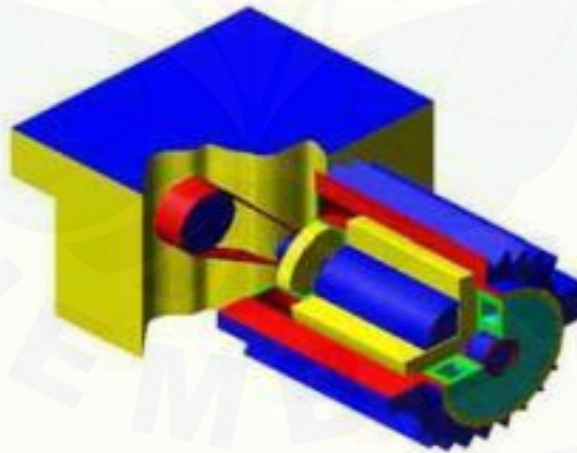


(a) Posisi vertikal dan (b) Posisi horizontal

Gambar 2.5 Skema Gerakan Persumbuan Mesin CNC (Sumber: Wiratma, 2011)

c. Step Motor

Step motor berfungsi untuk menggerakkan eretan, yaitu gerakan sumbu X dan gerakan sumbu Z. Tiap-tiap eretan memiliki step motor sendiri-sendiri.



Gambar 2.6 Step Motor (Sumber: Wiratma, 2011)

d. Rumah Alat Potong

Rumah alat potong digunakan untuk menjepit *tool holder* (alat potong) pada saat proses pengerjaan benda kerja. Sumber putaran rumah alat potong dihasilkan dari

motor utama, dengan kecepatan putaran 300-200 rpm. Pada mesin jenis *training unit* rumah alat potong hanya memungkinkan memegang satu alat, berbeda dengan jenis *production unit* yang dilengkapi alat semacam *revolver*, sehingga memungkinkan untuk membawa lebih dari satu *tool holder*.



Gambar 2.7 Rumah Alat Potong (Sumber: Google.com)

e. Penjepit Alat Potong

Penjepit alat potong atau *tool holder* pada mesin frais adalah penjepit manual, alat ini digunakan untuk menjepit pisau pada saat pemotongan benda kerja. Bentuk penjepit ini biasanya disesuaikan dengan bentuk rumah alat potong. Di bagian dalam *tool holder* dilengkapi sebuah alat bantu pencekaman.



Gambar 2.8 Tool Holder (Sumber: Wiratma, 2011)

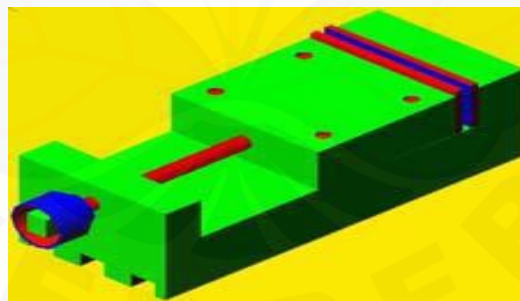
Alat bantu tersebut berfungsi untuk memperkuat pencekaman dari *tool holder*. Alat bantu tersebut dinamakan *collet*. *Collet* terbuat dari bahan logam dimana diameter lubang pada collet sesuai dengan besarnya diameter pisau.



Gambar 2.9 Collet (Sumber: Wiratma, 2011)

f. Ragum

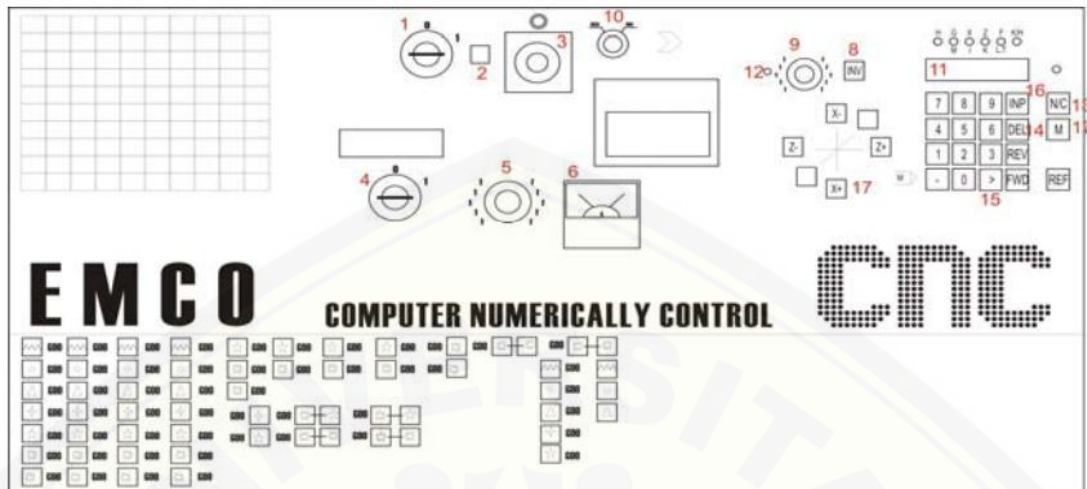
Ragum pada mesin CNC berfungsi untuk menjepit benda kerja pada saat proses pemotongan. Ragum pada mesin ini dilengkapi dengan sebuah *stopper*. Ragum bisa diganti sesuai kebutuhan. Ragum pada mesin ini dioperasikan secara manual.



Gambar 2.10 Ragum (Sumber: Wiratma, 2011)

g. Pengendali/Kontrol

Bagian pengendali/kontrol merupakan bak kontrol mesin CNC yang berisikan tombol-tombol dan saklar serta dilengkapi dengan monitor. Pada kotak kontrol merupakan unsur layanan langsung yang berhubungan dengan operator. Gambar berikut menunjukkan secara visual dengan nama-nama bagian sebagai berikut:



Gambar 2.11 Bagian Pengendali (Sumber: Wiratma, 2011)

Keterangan:

1. Saklar utama
2. Lampu kontrol saklar utama
3. Tombol emergensi
4. Saklar operasi mesin
5. Saklar pengatur kecepatan sumbu utama
6. Amperemeter
7. Tombol untuk eretan melintang, memanjang
8. Tombol shift
9. Saklar pengatur feeding meja
10. Tombol pengatur posisi metric-inch
11. Display pembaca gerakan
12. Lampu kontrol untuk pelayanan manual
13. Saklar option CNC atau manual
14. Tombol DEL
15. Tombol untuk memindah fungsi sumbu X, Y, Z
16. Tombol INP
17. Tombol M

2.3 Parameter Pengoperasian Mesin Frais (*Milling*)

Putaran spindel (n), kecepatan Pemakanan (f), dan kedalaman potong (a) merupakan parameter pengoperasian mesin frais dan mesin bubut yang dapat *operator* atur. Dari ketiga parameter tersebut kita dapat membuat berbagai bentuk sesuai keinginan dengan cara seperti, putaran spindel (n) diatur dengan cara mengubah posisi handel pengatur putaran mesin, gerak makan (f) bisa diatur dengan cara mengatur handel gerak makan sesuai dengan tabel f yang ada di mesin dan kedalaman potong (a) dapat diatur dengan 2 cara yaitu, menaikkan meja kerja atau menurunkan pahat.

2.3.1 Putaran Spindel (Spindle Speed)

Putaran spindel (n) berkaitan dengan besar kecilnya kecepatan potong tersebut. Untuk kecepatan potong ditentukan oleh kombinasi material pahat dan material benda kerja, dengan begitu kecepatan potong dapat ditentukan.

Untuk menghitung kecepatan potong (V_c):

$$C_s = \frac{\pi \times d \times n}{1000} \text{ (m/menit)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

C_s = kecepatan potong (m/menit),

d = diameter alat potong (mm),

n = kecepatan putar spindel (rpm).

2.3.2 Kedalaman Potong (Depth of Cut)

Kedalaman potong (a) ditentukan berdasarkan selisih tebal benda kerja sebelum penyayatan terhadap tebal benda kerja setelah penyayatan. Diperlukan perhitungan daya potong yang cermat bila kedalaman potong yang di perlukan relatif besar, karena akan berpengaruh pada hasil penyayatan mesin frais dan beberapa pengaruh lain seperti pahat yang patah akibat kedalaman potong yang besar tidak sebanding dengan daya potong, berhentinya motor penggerak mesin akibat hal yang sama dengan patahnya pahat.

2.3.3 Kecepatan Pemakanan (Feed Rate)

Pada umumnya mesin frais, dipasang tabel kecepatan Pemakanan atau *feeding* dalam satuan mm/menit. Jadi misalnya pada mesin disetel setel kecepatan Pemakanan pisau frais sebesar 28 mm/menit, artinya kecepatan Pemakanan pisau frais sebesar 28 mm/menit. Makin kecil kecepatan Pemakanan pisau frais, kekasaran semakin rendah. Tabel besar makan pada mesin baru berlaku jika mesin tersebut dijalankan dengan cara otomatis. Menghitung kecepatan Pemakanan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_f = f \times n \text{ (mm/menit)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

- V_f = Kecepatan Pemakanan (mm/menit)
- f = Bergesernya pisau frais (mm) dalam satuan putaran
- n = Kecepatan putar spindel (rpm)

2.4 Getaran

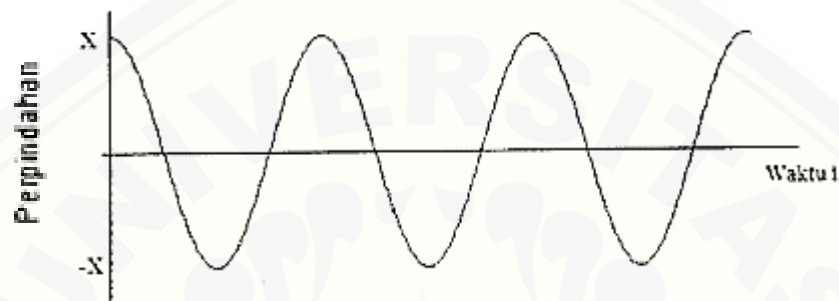
Getaran adalah gerakan berosilasi dari sistem mekanis serta kondisi-kondisi dinamisnya. Gerakan dapat berupa benturan yang berulang secara kontinyu atau dengan kata lain dapat juga berupa gerakan tidak beraturan atau acak (Karyasa, T.B, 2011).

Tabel 2.1 Karakteristik dan Satuan Getaran

Karakteristik Getaran	Satuan	
	Metrik	British
Perpindahan	Microns peak-to-peak (1µm = 0.001mm)	Mils peak-to-peak (0.001 in)
Kecepatan	Mm/s	In/s
Percepatan	G (1g = 9800 cm/s ²)	G (1g = 5386 in/s ²)
Frekuensi	cpm, cps, Hz	cpm, cps, Hz

(Sumber: Maintenance Engineering Handbook)

Menurut Suhardjono (2004), Getaran timbul akibat transfer gaya siklik melalui elemen-elemen mesin yang ada, dimana elemen-elemen tersebut saling beraksi satu sama lain dan energi didisipasi melalui struktur dalam bentuk getaran. Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi getaran.



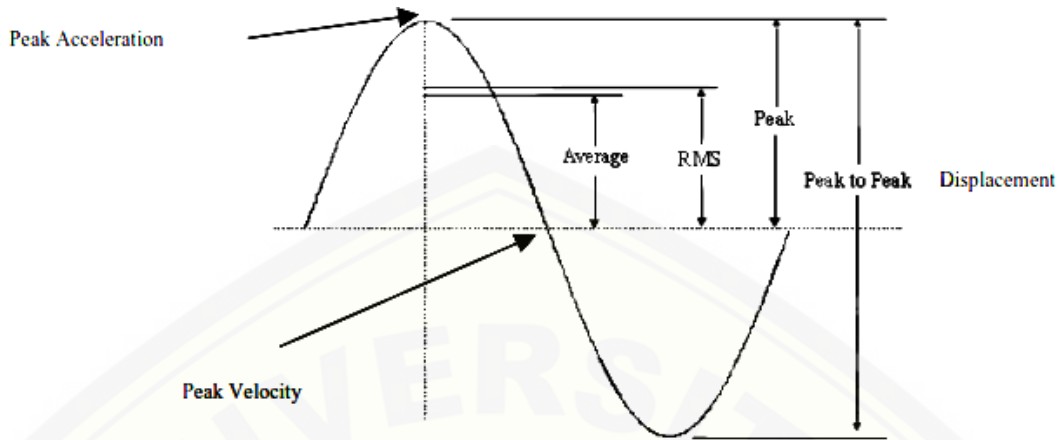
Gambar 2.12 Perpindahan terhadap waktu (t) dalam sistem getaran
(Sumber: Hutahaean, 2012)

2.4.1 Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan maksimum yang diukur dari titik keseimbangan dalam suatu getaran. Amplitudo dinyatakan dalam simbol A yang dinyatakan dalam satuan meter (m). Sebuah getaran memiliki jarak atau amplitudo yang berbeda-beda dengan getaran lainnya.

2.4.2 Displacement

Perpindahan Getaran atau *Vibration Displacement* ditunjukkan pada getaran dengan jarak yang ditempuh dari suatu puncak ke puncak (peak to peak) atau mengindikasikan berapa jauh suatu objek bergetar, perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan mikron (μm) atau mils. Dimana : $1 \mu\text{m} = 0,001$ (mm) dan $1 \text{ mils} = 0,001$ (inch).



Gambar 2.13 Displacement (Sumber: Sunarko, 2010)

Persamaan untuk perpindahan jika dilihat dari gambar 2.12, $x(t)$ menunjukkan perpindahan suatu massa dalam sistem getaran, maka kecepatan dan percepatan diperoleh dengan mendiferensiasikan $x(t)$ terhadap waktu, yaitu:

$$\text{Perpindahan } x = X \cos \omega \dots\dots\dots(2.3)$$

2.4.3 Kecepatan (*Velocity*)

Suatu ukuran seberapa cepat objek bergetar terhadap waktu dan dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s).

$$\text{Kecepatan } \dot{x} = \frac{dx}{dt} = -\omega X \sin \omega t \dots\dots\dots(2.4)$$

2.4.4 Percepatan / Akselerasi (*Acceleration*)

Suatu ukuran seberapa cepat kecepatan berubah terhadap waktu dan oleh karena itu, akselerasi dinyatakan dalam satuan meter per detik kuadrat (m/s²).

$$\text{Percepatan } \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 X \cos \omega t \dots\dots\dots(2.5)$$

Besar akselerasi berubah dari nol ke maksimum selama masing-masing siklus getaran dan meningkat seperti pergerakan objek yang bergetar lebih lanjut dari posisi diamnya.

2.4.5 Getaran Paksa

Getaran paksa merupakan getaran dari sistem akibat gaya luar yang memaksa terjadinya getaran, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi dan osilasi.



Gambar 2.13 Aplikasi getaran paksa pada benda kerja yang diberi tekanan (Sumber: Wibowo, R. T., 2013)

2.4.6 Batas Vibrasi dan Standard Vibrasi

a. Batas Vibrasi

Batas vibrasi merupakan *limit* dari sebuah ukuran tingkat keparahan atau kerusakan pada sebuah mesin. Untuk mengatasi permasalahan ini maka perlu memonitoring/pemeriksaan vibrasi secara teratur.

b. Standard Vibrasi

1) ISO 2372

Menurut Hamid (2012) Yang paling banyak digunakan sebagai standar indikator dari kelayakan vibrasi adalah ISO 2372 (8546Z5). Standar ini dapat digunakan untuk menentukan tingkat vibrasi yang dapat diterima bagi berbagai kelas permesinan. Dengan membaca pada chart kita dapat mengkaitkan kondisi kerusakan permesinan dengan getaran. Standar yang digunakan adalah parameter kecepatan-rms untuk mengindikasikan kerusakan. Huruf A, B, C, dan D seperti terlihat pada tabel 2.1 mengklasifikasi tingkat keparahan.

Tabel 2.2 ISO 2372 - ISO Pedoman bagi Kelayakan Vibrasi Permesinan.

R.m.s Vibration Velocity mm/s	Up to 15 kW Class I	15 to 75 kW Class II	> 75 kW (Rigid) Class III	> 75 kW (Soft) Class IV
0,28				
0,45	A	A	A	A
0,71				
1,12	B			
1,8		B		
2,8	C		B	
4,5		C		B
7,1			C	
11,2				C
18	D	D	D	D
28				
45				

Sumber: Hamid (2012)

Zona A

Getaran pada mesin yang baru dipasang dan akan diserahkan terimakan

Zona B

Getaran pada mesin yang dapat diterima dengan syarat mesin tidak boleh dioperasikan secara terus menerus/lama.

Zona C

Getaran pada mesin yang dianggap tidak memuaskan untuk pengoperasian terus menerus untuk waktu yang lama. Umumnya mesin dioperasikan untuk waktu yang terbatas pada kondisi ini, sampai kesempatan untuk tindakan perbaikan dilakukan.

Zona D

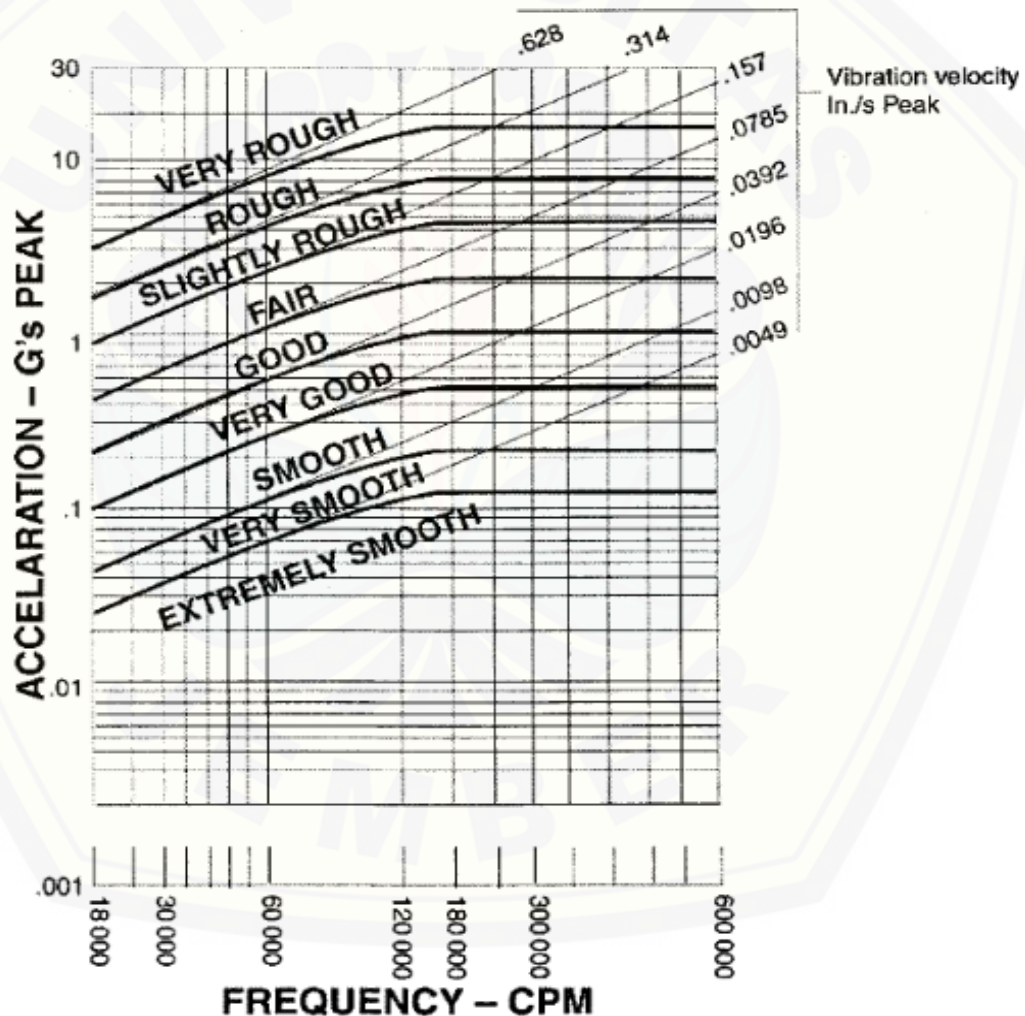
Nilai getaran yang dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin.

2) IRD Mechanalysis Standard Vibrasi

Menurut Hamid (2012) Diagram umum bagan kelayakan permesinan terlihat pada gambar 2.14 yang menggabungkan pengukuran kecepatan vibrasi bersama dengan pengukuran displasemen yang *familier*, bila pembacaan amplitudo dibaca dalam satuan *Indica* (*indica-peak-peak* atau *mm/s-peak*). Bagan *chart* tersebut

dikembangkan dari sejumlah besar data yang dikumpulkan dari berbagai peralatan permesinan.

Bila akan menggunakan pengukuran displasemen maka hanya pembacaan displasemen yang telah tersaring (untuk saja yang seharusnya diterapkan pada tabel tersebut. Kecepatan vibrasi keseluruhan dapat diterapkan karena garis yang membagi wilayah kelayakan adalah sebenarnya garis kecepatan konstan. Bagan chart digunakan untuk vibrasi casing dan tidak dimaksudkan untuk vibrasi poros.



Gambar 2.15 Chart Ketidak Layakan pada Permesinan (Sumber: Hamid, 2012)

Bagan *chart* tersebut berlaku bagi permesinan yang dipasang secara mati atau dibaut dengan sekrop pada fondasi yang cukup kaku. Garis vibrasi *velocity* konstan tersebut yang tersedia pada *chart* adalah untuk memberikan dasar perbandingan dan dapat dicatat bahwa untuk frekuensi vibrasi di bawah 60.000 cpm (1000 Hz), garis yang membagi wilayah ketidak layakan bagi *velocity* yang indikatornya konstan. Akan tetapi, di atas *limit* ini, daerah tingkat ketidak layakan ditentukan oleh nilai-nilai percepatan yang *indica* konstan.

Karena ketidak layakan getaran akselerasi tergantung pada frekuensi, hanya pembacaan akselerasi yang tersaring dapat diterapkan pada *chart*.

2.5 Metode Taguchi

Metode taguchi merupakan metode perancangan yang berprinsip pada perbaikan mutu dengan memperkecil akibat dari variasi tanpa menghilangkan penyebabnya. Hal ini dapat diperoleh melalui optimasi produk dan perancangan proses untuk membuat unjuk kerja kebal terhadap berbagai penyebab variasi suatu proses yang disebut perancangan parameter.

Metode taguchi menitik beratkan pada pencapaian suatu target tertentu dan mengurangi variasi suatu produk atau proses. Pencapaian tersebut dilakukan dengan menggunakan ilmu statistik. Apabila ada sejumlah parameter yang diperkirakan mempengaruhi suatu proses, maka dengan prinsip statistika pada metode taguchi ini dapat dihitung seberapa besar peran masing-masing parameter tersebut dalam mempengaruhi proses ataupun hasil dari proses tersebut. Dengan metode taguchi ini dapat ditarik kesimpulan parameter yang dominan, maka dapat dilakukan suatu optimasi dari parameter yang dominan tersebut, sehingga diperoleh proses yang optimum.

Analisis taguchi juga dapat memperkirakan hasil dari proses tersebut apabila digunakan kombinasi parameter yang berbeda dengan yang dilakukan pada pengujian, manfaat hasil perkiraan ini adalah untuk merencanakan suatu produksi.

2.5.1 Tahapan dalam Metode Taguchi

Metode analisis taguchi yang merupakan implementasi atas konsep desain kokoh (*robust design*), secara pokok terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

a. Proses Desain Parameter

Pada tahap ini, akan dilakukan pendekatan lain untuk meningkatkan kualitas karena tidak semua faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dapat dikendalikan tanpa mengeluarkan biaya besar. Dalam proses desain parameter dibagi atas tiga hal, yaitu:

1. Perancangan Sistem

Upaya untuk terus mengembangkan teknologi, konsep-konsep, metode-metode baru untuk peningkatan produk atau penemuan baru dalam desain sistem.

2. Perancangan Parameter

Upaya untuk mendapatkan kondisi faktor-faktor yang tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas yang mana sangat penting dalam meningkatkan keseragaman produk atau mencegah tingginya variabilitas.

3. Perancangan Toleransi

Upaya untuk meningkatkan kualitas dengan cara memperkecil toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

b. Desain Eksperimen

Pada umumnya desain eksperimen dibagi menjadi tiga tahap utama yang mencakup semua pendekatan eksperimen, yaitu:

1. Tahap Perencanaan

a.) Perumusan Masalah

Menentukan masalah atau fokus yang akan diselidiki dalam eksperimen dengan spesifik dan jelas secara teknis yang akan dilakukan pada saat eksperimen.

b.) Tujuan Eksperimen

Menjawab semua pernyataan yang ada dalam perumusan masalah secara sistematis untuk melandasi eksperimen.

c.) Penentuan Variabel Tak Bebas

Dalam merencanakan suatu eksperimen harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang akan di analisa.

d.) Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Menentukan faktor-faktor yang akan di analisa pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan

e.) Penentuan Jumlah Level

Menentukan berapa banyak jumlah level yang akan diteliti dalam eksperimen untuk mendapatkan ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak.

f.) Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Perhitungan untuk memperoleh derajat kebebasan, yaitu:

1) Untuk faktor utama, misal faktor utama A dan B:

$$V_A = (\text{jumlah level faktor A}) - 1 \\ = k_A \cdot 1 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_B = (\text{jumlah level faktor B}) \cdot 1 \\ = k_B \cdot 1 \dots\dots\dots (2.7)$$

2) Nilai derajat bebas total

$$V_t = (k_A \cdot 1) + (k_B \cdot 1) + (k_A \cdot 1)(k_B \cdot 1) \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

V_A = degree of freedom faktor A

k_A = Jumlah level faktor A

V_B = degree of freedom faktor B

k_B = Jumlah level faktor B

$V_A \times V_B$ = degree of freedom untuk interaksi faktor A \times B

V_T = degree of freedom total

g.) Pemilihan Matriks Ortogonal

Dalam memilih matriks ortogonal disesuaikan dengan nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap-tiap faktor yang mana akan mempengaruhi total jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan matriks ortogonal yang dipilih.

Bentuk umum dari model matriks ortogonal adalah:

$$La (b^c) \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyak baris/eksperimen

b = banyak level

c = banyak kolom/faktor

Tabel 2.3 Contoh Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$

Percobaan	Kolom / Faktor			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

2. Tahap Pelaksanaan

a.) Jumlah replikasi

Pengulangan kembali perlakuan yang sama dalam suatu percobaan dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi.

b.) Randomisasi

Penyebaran pengaruh faktor-faktor dengan cara randomisasi (pengacakan) urutan percobaan dengan tujuan mencari faktor-faktor yang berpengaruh dalam

eksperimen berdasarkan setting faktor pada matriks ortogonal dengan jumlah eksperimen sesuai jumlah replika dan urutan pada randomisasi.

3. Tahap Analisa

Tahap dimana dilakukan pengumpulan dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan data dan penyajian data. Berikut tahapan-tahapan dalam analisa metode taguchi:

a. Analisa Variasi (*Analisis of Varians*)

Untuk analisis variansi digunakan untuk menganalisis data yang telah disusun dalam perencanaan eksperimen statistik dengan menguraikan seluruh (total) variansi atas bagian-bagian yang diteliti dari suatu matriks ortogonal berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom.

1.) S_T – Jumlah Kuadrat total.

$$SS_T = \sum_{i=1}^N Y^2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

N = jumlah percobaan

Y= data yang diperoleh dari percobaan

2.) S_A – Jumlah Kuadrat faktor A.

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{K_A} \left(\frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{T^2}{N} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

A_i = level ke I faktor A

n_{A_i} = jumlah percobaan level ke I faktor A

3.) S_{AxB} – Jumlah interaksi AxB

$$S_{AxB} = \frac{[Total\ AxB1]^2}{n_1} + \frac{[Total\ AxB2]^2}{n_2} - \frac{[Total\ AxB]^2}{n_1 + n_2} \dots\dots\dots(2.12)$$

4.) SS_e – Jumlah kuadrat error

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AxB} + SS_e$$

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB} \dots\dots\dots(2.13)$$

b. Uji F

Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan.

c. Strategi *Pooling Up*

Strategi yang bertujuan untuk menguji F efek kolom terkecil terhadap yang lebih besar berikutnya untuk melihat kesignifikannya. Jika tidak ada rasio F signifikan yang muncul maka kedua F efek selanjutnya di *pooling* sampai rasio F yang signifikan muncul.

d. Signal to Noise Ratio (Rasio S/N)

Rasio S/N adalah suatu bilangan yang menggambarkan perbandingan antara signal dan noise dari suatu parameter kendali. Prinsip dasarnya adalah pengaturan proses produksi mencapai kondisi yang optimum jika dapat memaksimalkan nilai rasio S/N. Nilai rasio S/N didapat dari pengolahan data hasil percobaan untuk beberapa kombinasi level pada parameter kendali. Penggunaan rasio S/N bertujuan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen.

Jika target yang dituju adalah untuk meningkatkan respon, maka yang dilakukan adalah mencari kombinasi dari parameter kendali yang nilai rasio S/N dari setiap levelnya memiliki nilai terbesar. Ada tiga jenis rasio S/N yang biasa dipakai dalam optimasi permasalahan statik yaitu:

1) Smaller the Better

Optimasi jenis ini biasanya dipakai untuk mengoptimasi suatu cacat pada produk, yang mana harga idealnya kalau bisa harus sama dengan nol. Dapat juga digunakan untuk menentukan waktu produksi tercepat (paling produktif). Untuk menghitungnya dapat menggunakan rumus:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right) \dots \dots \dots (2.14)$$

2) Larger the Better

Optimasi jenis ini merupakan kebalikan dari optimasi Smaller the Better.

Rumus yang digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right) \dots \dots \dots (2.15)$$

3) Nominal the Better (Tertuju pada nilai tertentu)

Optimasi ini sering digunakan apabila nilai yang telah ditetapkan merupakan sesuatu yang mutlak atau sangat diharapkan. Jadi tidak boleh lebih besar atau lebih kecil dari nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Rumus yang dapat digunakan adalah:

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{V_m - V_e}{nV_e} \right) \dots \dots \dots (2.16)$$

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log V_e \dots \dots \dots (2.17)$$

2.6 Hipotesa

Hipotesa dari penelitian ini yaitu semakin besar putaran spindle, maka semakin rendah getaran benda kerja. Sedangkan semakin rendah kecepatan pemakanan dan kedalaman pemakanan, maka semakin rendah pula getaran benda kerja.

Putaran spindle yang tinggi akan menghasilkan getaran yang rendah pada benda kerja, karena pahat/cutter semakin cepat berputar dan semakin sering melakukan penyayatan. Semakin rendah kecepatan pemakanan, maka akan membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin rendah. Sehingga pahat akan bergetar lebih rendah dan menyebabkan getaran menjadi rendah. Dalam proses permesinan, kedalaman pemakanan yang rendah membuat beban pada saat melakukan penyayatan semakin kecil. Sehingga pahat tidak terlalu bergetar ketika melakukan penyayatan dan membuat getaran menjadi rendah

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Kompetensi Keahlian Teknik Permesinan SMKN 2 Jember pada bulan Juli 2016.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Mesin *Milling CNC*

Mesin *milling CNC* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Mesin Milling CNC FOCUS ESEMKA VMC – L540. Dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 3.1 Mesin Milling CNC FOCUS ESEMKA VMC – L540

- 1) Merk : FOCUS ESEMKA VMC – L540
- 2) Spesifikasi Perjalanan (Travel) Pisau :

- a) X-Axis Travel : 500 mm (19,7 in)
- b) Y-Axis Travel : 400 mm (15,7 in)
- c) Z-Axis Travel : 400 mm (15,7 in)
- d) Spindle Nose to Table : 120 – 540 mm (4,7 – 21,3 in)
- e) Spindle Center to Z – Rail : 410 mm (16,1 in)
- 3) Spesifikasi Meja/Table:
 - a) Table size : 600 × 380 mm (23,6 × 15 in)
 - b) T-slot : 3×18 mm × 100 mm (3×0,7 in × 4 in)
 - c) Maximum Table Load : 6300Kg (660 lb)
- 4) Spesifikasi Spindle:
 - a) Spindle Taper : BT-40/BT-30
 - b) Spindle RPM : 8000rpm/12000rpm/24000rpm
 - c) Type of Driving : Belt Type/Direct Type/Built Type
- 5) Kecepatan makan (Feed Rate):
 - a) X.Y Axis Rapaid Feed Rate : 36 m/min (1417,3 in/min)
 - b) Z Axis Rapaid Feed Rate : 30 m/min (1417,3 in/min)
 - c) X.Y.Z Max.Cutting Feed Rate : 10 m/min (393,7 in/min)
- 6) Motor (Misubishi/Fanuc):
 - a) Spindle Motor : SJ-PF5.5 (5,5 KW)/Beta 6 (5,5 KW)
 - b) X.Y Axis Servo Motor : HF-154 (1,5 KW)/Beta 6 (1,2 KW)
 - c) Z Axis Servo Motor : HF-204BS(2,0KW)/Beta22 (2,5KW)
 - d) Power : 15 KVA
 - e) Frekuensi : 50 Hz
 - f) Motor of Tool Change System : Geneva Type 60W/Arm Type 200W
- 7) Akurasi/Machine Accuracy:
 - a) Positioning Accuracy (JIS) : ± 0,005 mm / 300 mm
 - b) Repeat Poitioning Accuracy (JIS): ± 0,003 mm

b. *Accelerometer*

Sensor *Accelerometer* adalah sensor yang paling umum digunakan karena jenis ini paling serbaguna. Sensor getaran ini dapat digunakan dalam pengukuran syok (ledakan dan tes gagal), pengukuran frekuensi tinggi, dan lambat frekuensi rendah pengukuran getaran. Namun, sensor ini biasanya memiliki *output* di kisaran millivolt dan membutuhkan *high-input* impedansi, detektor suara rendah untuk menafsirkan tegangan.



Gambar 3.2 Accelerometer (ACC103)

Spesifikasi :

- 1) Frequency Response: 1 Hz to 10 kHz (up to $\pm 10\%$ rated output shift)
- 2) Rated Output: 10 mV/g nominal @ 100 Hz
- 3) Frequency Range: 2 Hz to 10 kHz (up to $\pm 5\%$ rated output shift)
- 4) Amplitude Range: ± 500 g peak
- 5) Amplitude Linearity: $\pm 2\%$ up to 500 g peak
- 6) Temperature Range: -50 to 120°C (-60 to 250°F)
- 7) Temperature Sensitivity Effect: 0.06% FS/°F
- 8) Discharge Time Constant: 0.5 s min
- 9) Transverse Sensitivity: 5% of axial max
- 10) Strain Sensitivity: 0.001 g per microstrain @ 25°C/ $\mu\epsilon$
- 11) Maximum g Without Clipping: ± 1000 g

- 12) Mounted Resonance Frequency: >40 kHz
- 13) Output Impedance: 1 00 n
- 14) Bias Voltage: 1 OV nominal
- 15) Base Strain: 0.03 g/microstrain nominal
- 16) Noise Floor (Wideband): 0.007 g (rms)
- 17) Weight: 1.5 g (0.05 oz) nominal (without cable)
- 18) Material: Stainless steel
- 19) Dimensions: 7.11 H x 6.35 mm hex base (0.28 x 0.25")
- 20) Connector: 10-32 male, cable not included (order model no. ACC-CB2-1 0)

c. PropScope USB Oscilloscope

PropScope USB Oscilloscope adalah modul yang dapat berfungsi sebagai *USB Oscilloscope*, *Function Generator*, *Logic Analyzer*, maupun *Spectrum Analyzer*. Dalam skripsi ini dengan menggunakan *PropScope USB Oscilloscope Parallelex*, modul ini terhubung dengan komputer melalui antarmuka USB. PropScope menyediakan 2 kanal pengukuran dengan kemampuan sampling hingga 25 juta sampling per detik dengan resolusi 10 bit.



Gambar 3.3 PropScope USB Oscilloscope Parallelex

Spesifikasi dari PropScope USB Oscilloscope Parallelex sebagai berikut:

- 1) Dimensi PropScope : 2.71 x 4.67 x 1.08 in (68.8 x 118.6 x 27.4 mm).
- 2) Sampling rate hingga 25 juta sampling per detik.
- 3) 20 Vpp maksimum input range (-10 V hingga +10 V ketika DC Coupled).
- 4) Resolusi 10 bit.
- 5) Tersedia pelemahan (attenuator) x1 atau x10 sehingga dapat digunakan untuk input range hingga 200 Vpp (-100 V hingga +100 V ketika DC Coupled).
- 6) Spesifikasi DAC card pada PropScope:
 - a) Resolusi 8 bit dengan sampling rate hingga 25 juta sampling per detik (25 Msps).
 - b) Range tegangan output -1,5 V hingga +1,5 V atau 0 hingga 5 V.
 - c) External input trigger dengan range -10 V hingga +10V.
 - d) bit logic analyzer dengan frekuensi sampling hingga 25 Msps.
 - e) bit NTSC/PAL output.
- 7) Tersedia pilihan bentuk sinyal output (mode Function Generator) seperti sinus, kotak (square), gigi gergaji (sawtooth), ataupun custom.
- 8) Tersedia GUI pada komputer dengan tampilan seperti Oscilloscope Analog.
- 9) Antarmuka ke komputer melalui port USB.
- 10) Tersedia driver USB untuk antarmuka dengan PC.
- 11) Perlengkapan PropScope:
 - a) PropScope module.
 - b) pcs 1X/10X BNC probe.
 - c) PropScope DAC card.
 - d) USB A to mini B cable.

d. Pahat

Pahat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pahat *Endmill* dengan bahan *High Speed Steel* (HSS) dengan ukuran pahat 16x40x95x16 dengan merek pahat yaitu NACHI Super Hard End Mills Four Flutes 6210 HSS-Co 4SE.



Gambar 3.4 Pahat End Mill HSS

Dalam proses penyayatan benda kerja kecepatan makan terhadap benda kerja perlu diperhatikan karena setiap jenis bahan memiliki *standard* kecepatan makan tertentu untuk penyayatan. Jika kecepatan makannya tidak sesuai dengan *standard* kecepatan makan bahan maka akan menyebabkan berbagai permasalahan seperti : mesin macet, hasil penyayatan kasar, keausan pada pahat dan cacat. Menghindari terjadinya berbagai permasalahan yang timbul maka kecepatan makan harus sesuai dengan *standard* yang sudah ditentukan.

Tabel 3.1 Kecepatan makan Bahan.

Bahan	Cutter HSS		Cutter Carbide	
	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Baja perkakas	75 – 100	25 - 45	185 – 230	110 – 140
Baja karbon rendah	70 – 90	25 – 40	170 – 215	90 – 120
Baja karbon menengah	60 – 85	20 – 40	140 – 185	75 – 110
Besi cor kelabu	40 – 45	25 – 30	110 – 140	60 – 75
Kuningan	85 – 100	45 – 70	185 – 215	120 – 150
Alumunium	70 – 110	30 - 45	140 - 215	60 - 90

Sumber: Sularso (1997).

3.2.2 Bahan

Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja S45C. Baja S45C merupakan baja karbon sedang. Baja karbon sedang mengandung karbon antara 0,3-0,6% dan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan sebagian

dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. (Hari Amanto dan Daryanto, 2003).

Untuk kandungan unsur bahan-bahan dari JIS (Standar Industri Jepang) dapat dilihat melalui tabel 3.2.

Tabel 3.2 Unsur Kimia JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin

Lambang	Unsur Kimia (%)				
	C	Si	Mn	P	S
S 30 C	0,27-0,33				
S 35 C	0,32-0,38				
S 40 C	0,37-0,43				
S 45 C	0,42-0,48	0,15-0,35	0,60-0,90	0,030	0,035
S 50 C	0,47-0,53				
S 55 C	0,52-0,58				
S 15 CK	0,13-0,18	0,15-0,35	0,30-0,60	0,025	0,025

Sumber: Sularso (2002).

Tabel 3.3 Sifat Mekanis Standar JIS G 4051. Baja karbon untuk konstruksi mesin

Lambang	Sifat mekanis			
	Perlakuan panas	Batas mulur (kg/mm ²)	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekerasan (H _B)
S30C	N	29	48	137-197
	H	34	55	152-212
S35C	N	31	52	149-207
	H	40	58	167-235
S40C	N	33	55	156-217
	H	45	62	179-255
S45C	N	35	58	167-229
	H	50	70	201-269
S50C	N	37	62	179-235
	H	55	75	212-277
S55C	N	40	66	185-255
	H	60	80	229-285
S15CK	H	35	50	143-235

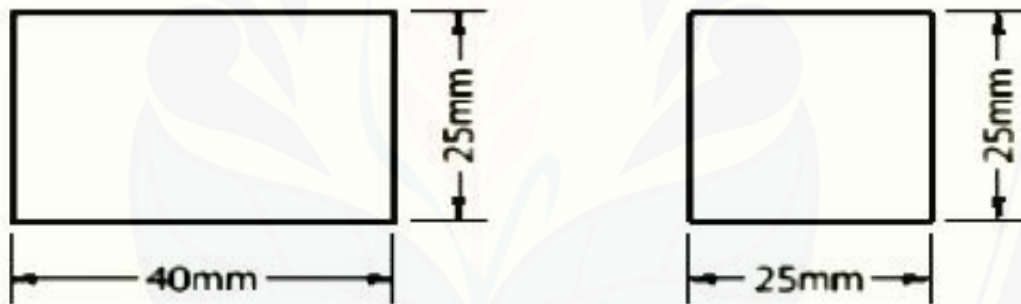
Sumber: Sularso (2002).

Tabel 3.4 Penggolongan baja secara umum

Golongan	Kadar C (%)
Baja lunak	-0.15
Baja liat	0.2-0.3
Baja agak keras	0.3-0.5
Baja keras	0.5-0.8
Baja sangat keras	0.8-0.12

Sumber: Sularso (2002).

Baja S45C digunakan sebagai bahan benda kerja dalam proses permesinan dengan berdimensi balok $S = 25$ mm. Jenis material Baja S45C yang umum digunakan sebagai material berbagai produk permesinan.



Gambar 3.5 Benda kerja sebelum proses milling CNC

3.3 Variabel Pengukur

Variabel yang digunakan dalam pengukuran ini adalah variabel bebas dan variabel terikat.

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya bebas ditentukan oleh peneliti. Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah variasi putaran spindel, variasi kecepatan makan, dan variasi kedalaman pemakanan. Pada Tabel 3.5 dapat dilihat daftar variabel bebas dan level.

Tabel 3.5 Daftar Variabel Bebas dan Level

Kode	Control Factors	Level		
		1	2	3
A	Putaran Spindle (rpm)	800	1000	1200
B	Kecepatan makan (mm/menit)	200	240	280
C	Kedalaman Pemotongan (mm)	0,2	0,4	0,6

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang faktornya diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah getaran benda kerja hasil proses pengefraisan.

3.4 Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Menentukan berapa banyak jumlah level yang akan diteliti dalam eksperimen untuk mendapatkan ketelitian hasil eksperimen dan ongkos pelaksanaan eksperimen. Makin banyak level yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak.

3.5 Pemilihan Matrik Ortogonal

Pemilihan jenis Matriks ortogonal berdasarkan jumlah parameter kendali yang akan digunakan dan jumlah level dari setiap parameter kendali. Untuk mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540, terdapat 3 buah parameter kendali yang akan digunakan. Sedangkan jumlah level yang akan digunakan adalah 3 buah setiap parameter kendali. Oleh karena itu, program Matriks ortogonal L9 yang dipilih. Sebab, pada Matriks ortogonal L9 dapat digunakan hingga 3 parameter kendali, dan jumlah level dari setiap parameter kendali adalah 3. Pada Tabel 3.6 dapat dilihat parameter kendali dan level untuk Matriks ortogonal L9.

Tabel 3.6 Parameter kendali dan level untuk Matriks ortogonal L9

Control Faktor	Level		
	1	2	3
A	A1	A2	A3
B	B1	B2	B3
C	C1	C2	C3

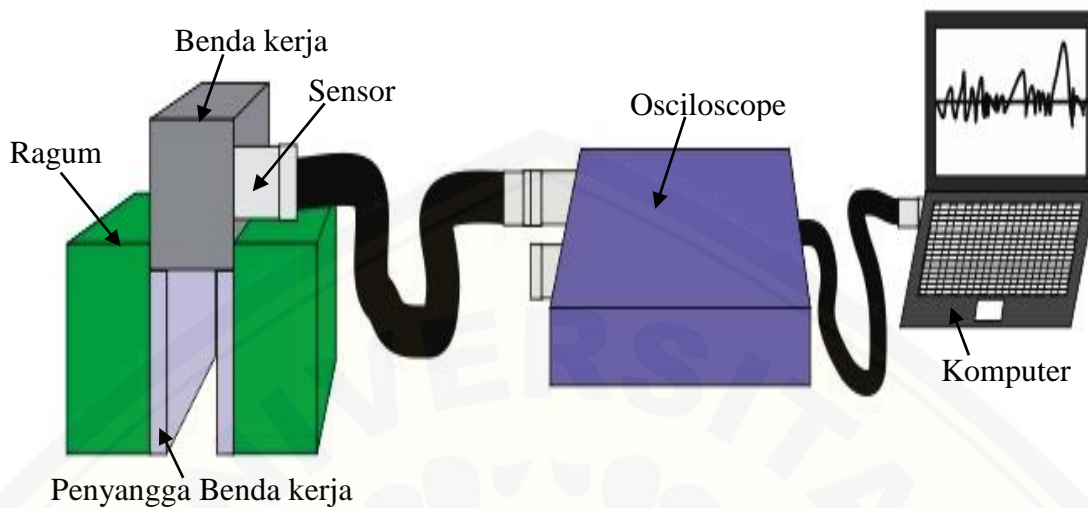
Tabel 3.7 Matrik Ortogonal untuk taguchi L9

No. Percobaan	Parameter Kendali		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

3.6 Pelaksanaan Percobaan

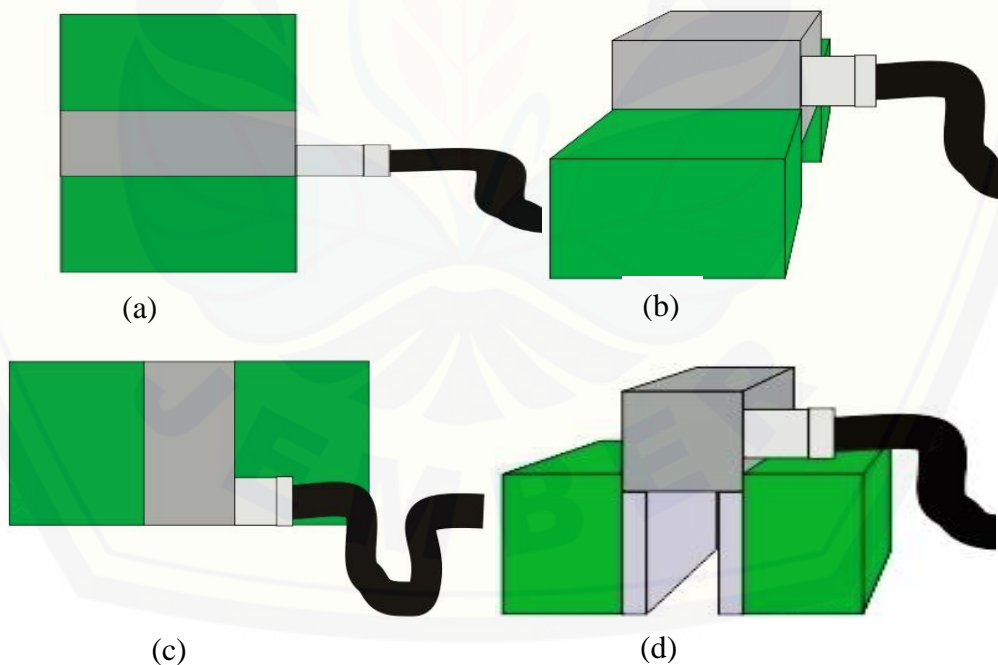
Mempersiapkan peralatan, benda kerja, dan mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540.

- Pesiapan benda kerja sesuai ukuran, seperti pada Gambar 3.3
- Persiapkan tool yang akan di pakai
- Membuat program CNC sesuai benda kerja yang akan di kerjakan dengan ketentuan yang sudah di variasikan
- Pasang pisau frais pada rumah pahat pada mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540
- Pasang benda kerja pada ragum mesin CNC milling Focus Esemka VMC– L540 dan kemudian kencangkan ragum
- Menghubungkan sensor Accelerometer ke PropScope USB Oscilloscope lalu dihubungkan ke computer.



Gambar 3.6 Penghubungan Alat Ukur

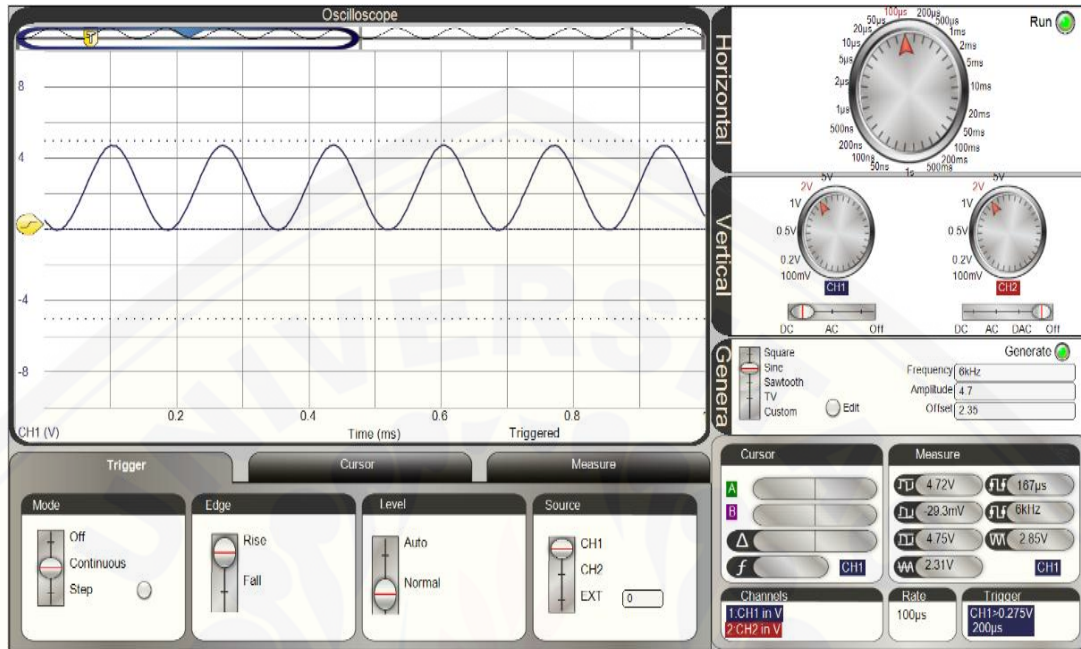
- g. Pasang sensor Accelerometer ke benda kerja di titik pengukuran yang sudah ditentukan.



- (a) Titik Pengukuran a (tampak atas), (b) Titik Pengukuran a (tampak samping), (c) Titik Pengukuran b (tampak atas), (d) Titik Pengukuran b (tampak samping)

Gambar 3.7 Penempatan Sensor pada Titik Ukur

h. Jalankan software PropScope USB Oscilloscope.



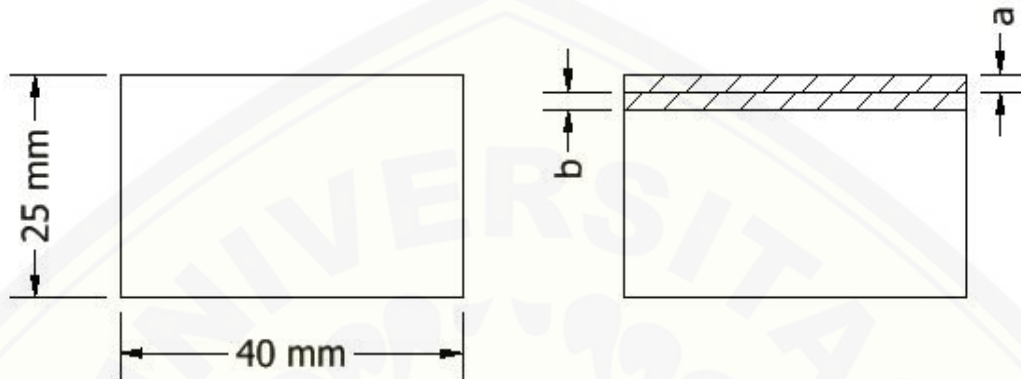
Gambar 3.8 Software PropScope USB Oscilloscope

- i. Masukkan program yang sudah dibuat sebelumnya pada mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540
- j. Hidupkan mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540 dan lakukan setting point dan setting parameter mesin CNC milling Focus Esemka VMC–L540

Tabel 3.8 Daftar Setting Parameter

Kode	Control Factors	Level		
		1	2	3
A	Putaran Spindle (rpm)	800	1000	1200
B	Kecepatan makan (mm/menit)	200	240	280
C	Kedalaman Pemotongan (mm)	0,2	0,4	0,6

k. Melakukan proses permesinan milling CNC dengan kedalaman sesuai variasi parameter dengan kedalaman pemotongan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut:



(a) Proses milling untuk titik pengukuran a dan (b) proses milling titik pengukuran b

Gambar 3.9 Benda kerja sebelum dan setelah proses milling CNC

- l. Memindahkan titik pengukuran sensor Accelerometer pada setiap variasi parameter yang telah ditentukan sebanyak tiga kali dan catat hasil pengukuran di tiap-tiap titik pengukuran.
- m. Matikan mesin CNC milling Focus Esemka VMC-L540
- n. Lepaskan benda kerja pada ragum mesin milling CNC

3.7 Pengambilan Data

Nilai getaran benda kerja diukur dengan menggunakan Accelerometer pada saat proses permesinan CNC milling Focus Esemka VMC-L540 pada tiap variasi parameter yang ditetapkan. Pengambilan data nilai getaran pada sisi benda kerja di 2 (satu) titik dengan pengambilan data sebanyak 1 (satu) kali pada tiap titik benda kerja.

3.8 Data Percobaan

Data dalam penelitian yang akan diambil data seperti yang terlihat pada Tabel 3.9 sebagai berikut:

Tabel 3.9 Data Percobaan Hasil Pengujian

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Hasil Percobaan	
	A	B	C		Titik Sensor	Nilai Getaran (m/s ²)
1	1	1	1	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
2	1	2	2	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
3	1	3	3	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
4	2	1	2	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
5	2	2	3	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b

No.	Parameter Kendali			Pengulangan	Hasil Percobaan	
	A	B	C		Titik Sensor	Nilai Getaran (m/s^2)
6	2	3	1	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
7	3	1	3	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
8	3	2	1	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b
9	3	3	2	1	a	1.a
					b	1.b
				2	a	2.a
					b	2.b
				3	a	3.a
					b	3.b

Optimasi akan tercapai jika ketelitian memiliki nilai rendah, oleh karena itu jenis optimasi yang digunakan adalah jenis *Smaller the Better*.

3.9 Metode Analisis

Dalam penelitian dan penyusunan laporan ini menggunakan beberapa metode antara lain:

1. Studi Literatur

Mencari sumber terkait seperti jurnal atau paper, buku-buku pustaka, karya ilmiah yang dimaksudkan untuk menjadikan referensi dan informasi serta landasan yang akan dipakai untuk mencapai suatu tujuan penelitian.

2. Monitoring Getaran

Untuk memonitoring getaran yang diukur oleh sensor getaran yang dihubungkan ke osciloskop kemudian di sambungkan ke sebuah PC untuk memonitoring getaran yang di visualisasikan sebagai plot grafik dalam domain waktu.

3. ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variant*) digunakan untuk mencari besarnya pengaruh dari setiap parameter kendali terhadap suatu proses. Besarnya efek tersebut dapat diketahui dengan membandingkan nilai *Sum of Square* dari suatu parameter kendali terhadap seluruh parameter kendali.

4. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Berkonsultasi dengan dosen pembimbing baik pada saat pengujian, analisis maupun pembuatan laporan.

5. Uji Hipotesis

Hipotesis adalah suatu pernyataan yang masih lemah kebenarannya dan perlu dibuktikan atau dugaan yang sifatnya masih sementara. Pengujian hipotesis akan menghasilkan keputusan menerima atau menolak hipotesis. Penolakan suatu hipotesis bukan berarti disimpulkan bahwa hipotesis salah, dimana bukti yang tidak konsisten dengan hipotesis. Penerimaan hipotesis sebagai akibat tidak cukupnya bukti untuk menolak dan tidak berimplikasi bahwa hipotesis itu pasti benar. Pada penelitian ini ditetapkan nilai taraf signifikansi α sebesar 5% atau 0,05 dengan artian ada

kemungkinan satu diantara dua puluh tujuh keputusan penolakan hipotesis nol adalah keputusan yang keliru.

Uji hipotesis F dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor yang tidak dapat dikendalikan. Hipotesis pengujian dalam suatu percobaan adalah:

H_0 : tidak ada pengaruh perbedaan level

H_1 : ada pengaruh perbedaan level

Apabila uji F lebih kecil dari nilai F tabel, maka H_0 diterima atau berarti tidak ada pengaruh perlakuan. Namun jika uji F lebih besar dari nilai F tabel, maka H_0 ditolak berarti ada pengaruh perlakuan. Kriteria dalam pengambilan keputusan:

- a. Jika $F_{hitung} < F_{tabel 5\%}$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level tidak berpengaruh terhadap getaran atau dengan kata lain H_0 diterima
- b. Jika $F_{hitung} > F_{tabel 5\%}$, maka hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan variansi level berpengaruh terhadap getaran atau dengan kata lain H_0 ditolak

6. Persen Kontribusi

Untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi, terlebih dahulu dihitung SS' :

$$SS'_{Faktor} = SS_{Faktor} - MS_{Error} (Vv) \dots\dots\dots(3.1)$$

Persen kontribusi masing-masing faktor dihitung dengan rumus:

$$\mu = \frac{SS'_{Faktor}}{SST} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

SS_{Faktor} = Jumlah Kuadrat Faktor

MS_{Error} = rata-rata variasi galat (*error*)

μ = rerata dari seluruh data (rerata besar, grand mean)

SST = Jumlah Kuadrat Total

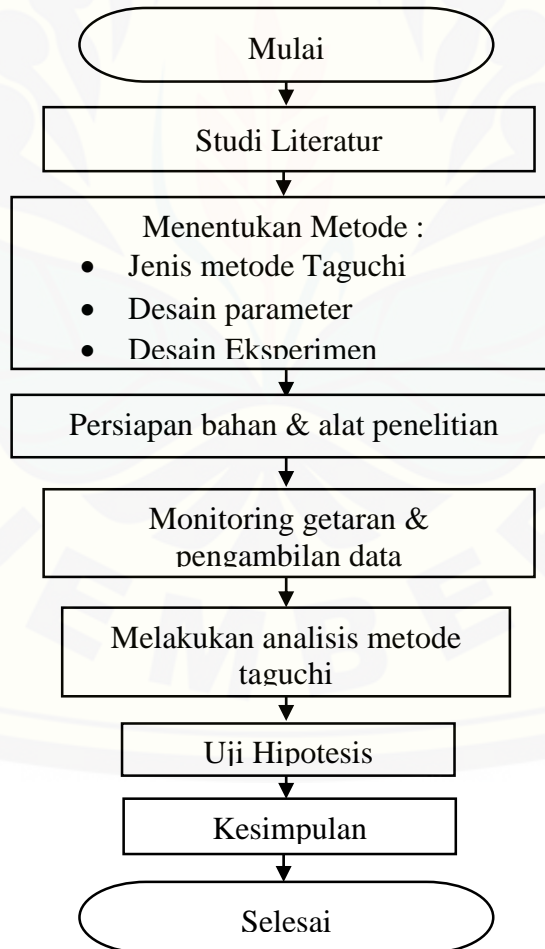
Prediksi Rasio S/N dan Mean yang Optimal

Setelah di ketahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap *S/N Ratio* dan *Mean* selanjutnya adalah pembuatan model persamaan rata-rata. Sebagai aturan empiris, hanya satu faktor yang paling berpengaruh yang di pilih karena dalam matriks ortogonal hanya diambil kira-kira setengah derajat kebebasan. Dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{\text{prediksi}} = \eta + (\text{nilai faktor} - \eta) \dots\dots\dots(3.3)$$

3.10 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penyelesaian dalam penelitian ini dilakukan sesuai dengan flowchart, berikut Gambar 3.10 merupakan gambar dari flowchart penelitian:



Gambar 3.10 Flowchart penelitian

3.11 Jadwal Penelitian

Penelitian dijadwalkan sebagaimana tabel 3.10 di bawah ini.

Tabel 3.10 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	April				Mei				Juni				Juli				Agustus			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																				
2	Penyusunan Proposal																				
3	Seminar Proposal																				
4	Persiapan Alat dan Bahan																				
5	Pelaksanaan Penelitian dan Pengujian																				
6	Pengolahan dan Analisis Data																				

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukannya penelitian dan didapatkan data nilai getaran benda kerja hasil proses pemesinan *milling* CNC dengan menggunakan variasi pemotongan yang meliputi putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan yang dihitung dan di analisis secara statistik dengan menggunakan metode Taguchi, yaitu:

1. Hasil dari analisis statistik menunjukkan bahwa pada putaran spindel terbukti memberikan pengaruh signifikan terhadap getaran benda kerja dengan nilai persen kontribusi sebesar 63.773%. Untuk kecepatan pemakanan terbukti memberikan pengaruh terhadap getaran benda kerja dengan nilai persen kontribusi sebesar 19.168%. Sedangkan untuk variabel kedalaman pemakanan terbukti memberikan pengaruh terhadap getaran benda kerja karena variabel telah dilakukan *pooling* dengan nilai persen kontribusi sebelum dilakukannya *pooling* sebesar 0.150%;
2. *Setting* parameter pemotongan yang optimum pada baja S45C untuk tingkat getaran benda kerja yang terendah dapat diperoleh dengan kombinasi faktor putaran spindel 1200rpm (faktor A level 3), kecepatan pemakanan 200 mm/menit (faktor B level 1), dan kedalaman pemakanan 0,2mm (faktor C level 1).

5.2 Saran

Penelitian yang telah penulis lakukan hanya membahas tentang pengaruh putaran spindel, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemakanan terhadap getaran benda kerja pada baja S45C. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu melihat lagi nilai variabel pemotongan yang akan diambil dalam penelitian kedepannya dapat menunjukkan pengaruh yang signifikan. Selain itu dapat dilakukan percobaan kembali dengan penambahan parameter lain yang belum ada dalam penelitian ini seperti menambahkan arah pengukuran getaran menjadi tiga arah pengukuran (x,y,z) yang mana dalam penelitian ini hanya melakukan 2 arah pengukuran (x,y) dan pengaruh getaran benda kerja terhadap hasil proses pemotongan seperti nilai kekasaran, cacat yang terjadi, umur pahat.

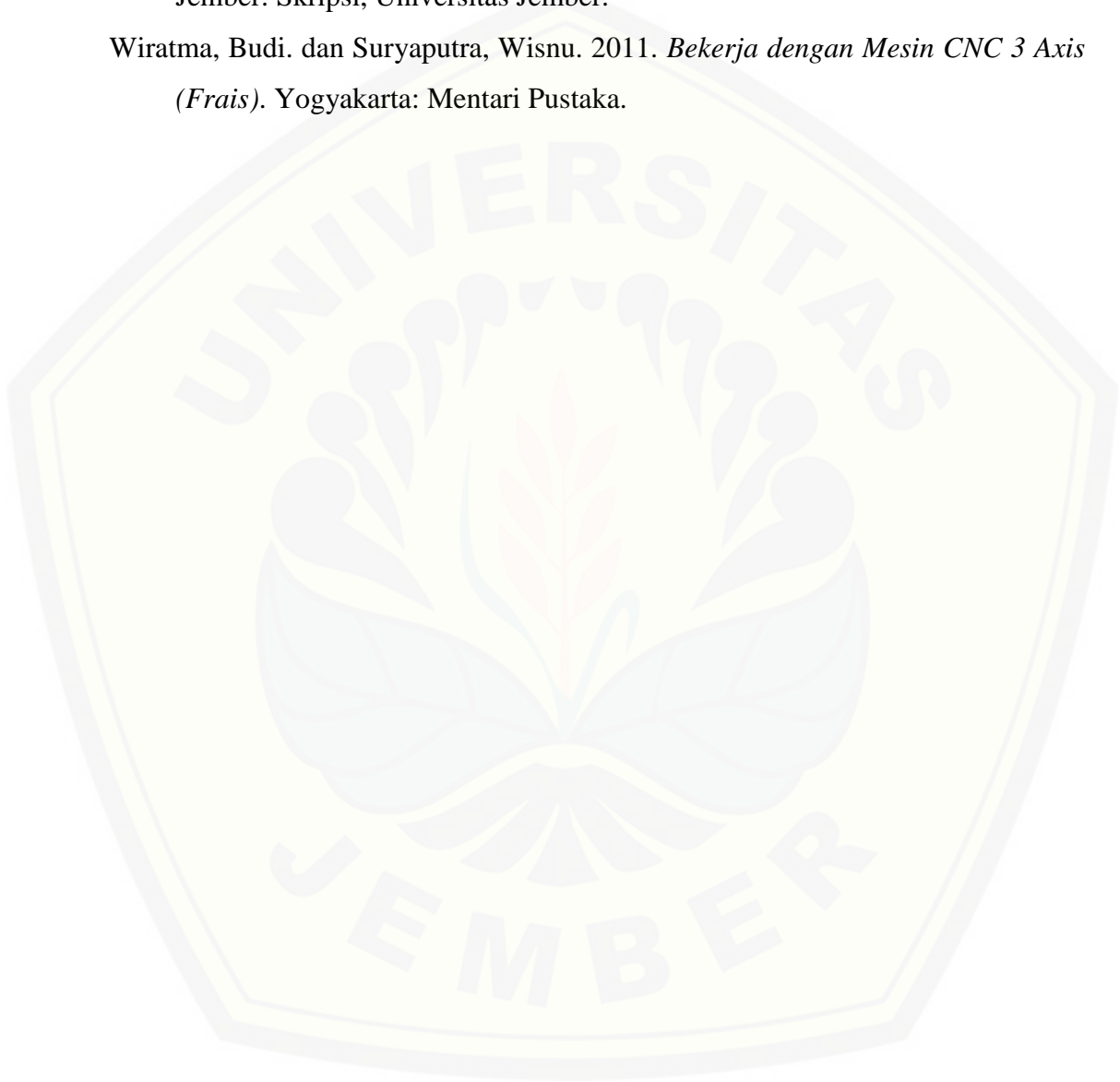
DAFTAR PUSTAKA

- Daryanto. 1985. *Ikhtisar Praktis Teknologi Mekanik*. Bandung: Tarsito.
- Hamid, Abdul. 2012. *Praktikal Vibrasi Mekanik Teori dan Praktik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hermawan, Yuni. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan Dan Kedalaman Potong Terhadap Getaran Spindle Head Hasil Proses Drilling*. Jurnal Rotor Volume 5 Nomor 1. 2012.
- Hutahaean, Ramses Y. 2012. *Getaran Mekanik*. Yogyakarta: ANDI.
- Karyasa, T. B. 2011. *Dasar-dasar Getaran Mekanis*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.
- Mulyadi, Santoso. 2012. *Pengaruh Kecepatan Potong, Gerak Makan Dan Ketebalan Pemotongan Terhadap Getaran Benda Kerja Pada Proses Sekrap*. Jurnal Rotor, Volume 5 Nomor 1. Universitas Jember.
- Rahdiyanta, Dwi. 2010. *Buku 3 Proses Frais (Milling)*. Jurusan Pendidikan Teknik Mesin. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Romiyadi., Azriadi, E. 2012. *Pengaruh Parameter Kecepatan Pemakanan Terhadap Getaran Mesin Perkakas Pada Proses Up Milling Dan Down Milling Menggunakan Mesin Frais Universal Knuth UFM 2*. Proseding Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi ke 7. 15 Desember 2012. Yogyakarta.
- Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sugiri, dkk. 2011. *Melakukan Pekerjaan dengan Mesin Frais (Dasar)*. Yogyakarta: PT. Pustaka Insan Madani, anggota IKAPI.
- Suhardjono, 2004. *Analisis Sinyal Getaran untuk Menentukan Jenis dan Tingkat Kerusakan Bantalan Bola (Ball Bearing)*. Jurnal Teknik Mesin, 6 (2): 39-48.
- Sukma, H. D. J. 2016. *Optimasi Laju Pembuangan Material AISI 1045 pada Bubut CNC dengan Metode Taguchi*. Jember: Skripsi, Universitas Jember.
- Sularso, Suga, K., 2002. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Sunarko, Beny Kresno. 2010. *Analisa Getaran Pada Mesin Sepeda Motor Berbasis LabView*. Tesis. Universitas Indonesia.

Wibowo, R.W. 2012. *Pengaruh Putaran Spindel, Gerak Makan dan Kedalaman Potong terhadap Getaran Spindle Head dan Kebulatanhasil Proses Drilling*. Jember: Skripsi, Universitas Jember.

Wiratma, Budi. dan Suryaputra, Wisnu. 2011. *Bekerja dengan Mesin CNC 3 Axis (Frais)*. Yogyakarta: Mentari Pustaka.



LAMPIRAN

Lampiran A. F-tabel untuk level tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$)

x/y	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.39	19.40
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14
10	4.97	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.10	3.01	2.95	2.90	2.85
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49
17	4.45	3.59	3.20	2.97	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45
18	4.41	3.56	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35
21	4.33	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.38	2.32	2.28
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.26
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.41	2.34	2.28	2.24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.17
31	4.16	3.31	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.26	2.20	2.15
32	4.15	3.30	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14
33	4.14	3.29	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.24	2.18	2.13
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11

Lampiran B. Perhitungan *Signal to Noise Ratio*

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-1

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_1 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 2.273^2 + 1.668^2 + 1.924^2 \right) \\ &= -0.589 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-2

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_2 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 2.569^2 + 2.627^2 + 1.841^2 \right) \\ &= -0.750 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-3

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_3 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 3.184^2 + 2.751^2 + 2.880^2 \right) \\ &= -0.938 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-4

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_4 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 1.659^2 + 1.774^2 + 2.064^2 \right) \\ &= -0.530 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-5

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_5 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_i^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 2.183^2 + 1.992^2 + 1.917^2 \right) \\ &= -0.617 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-6

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_6 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_i^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 1.997^2 + 2.341^2 + 1.809^2 \right) \\ &= -0.628 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-7

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_7 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_i^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 1.444^2 + 1.561^2 + 1.540^2 \right) \\ &= -0.361 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-8

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_8 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_i^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 1.819^2 + 1.778^2 + 1.434^2 \right) \\ &= -0.454 \end{aligned}$$

- *Signal to Noise Ratio* percobaan ke-9

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

$$\begin{aligned} \eta_9 &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum_{i=1}^r Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{3} \sum 1.632^2 + 1.700^2 + 1.900^2 \right) \\ &= -0.485 \end{aligned}$$

Lampiran C. Perhitungan Rata-rata Respon

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran Spindel (A) level 1 yaitu pada percobaan 1,2, dan 3.

$$\bar{A}_1 = \frac{(-0,589)+(-0,750)+(-0,938)}{3} = -0.759$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran Spindel (A) level 2 yaitu pada percobaan 4,5, dan 6.

$$\bar{A}_2 = \frac{(-0,530)+(-0,617)+(-0,628)}{3} = -0.591$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Putaran Spindel (A) level 3 yaitu pada percobaan 7,8, dan 9.

$$\bar{A}_3 = \frac{(-0,361)+(-0,454)+(-0,485)}{3} = -0.433$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 1 yaitu pada percobaan 1,4, dan 7.

$$\bar{B}_1 = \frac{(-0,589)+(-0,530)+(-0,361)}{3} = -0.494$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 2 yaitu pada percobaan 2,5, dan 8.

$$\bar{B}_2 = \frac{(-0,750)+(-0,617)+(-0,454)}{3} = -0.607$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kecepatan Pemakanan (B) level 3 yaitu pada percobaan 3,6, dan 9.

$$\bar{B}_3 = \frac{(-0,938)+(-0,628)+(-0,485)}{3} = -0.684$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 1 yaitu pada percobaan 1,6, dan 8.

$$\bar{C}_1 = \frac{(-0,589)+(-0,628)+(-0,454)}{3} = -0.557$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 2 yaitu pada percobaan 2,4, dan 9.

$$\bar{C}_2 = \frac{(-0,750)+(-0,530)+(-0,485)}{3} = -0.588$$

- Rata-rata respon untuk pengaruh faktor Kedalaman Pemakanan (C) level 3 yaitu pada percobaan 3,5, dan 7.

$$\bar{C}_3 = \frac{(-0,938)+(-0,617)+(-0,361)}{3} = -0.639$$

Lampiran D. Perhitungan ANOVA untuk *Signal to Noise Ratio*

- 1) \bar{y} – Rata-rata eksperimen keseluruhan

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\begin{aligned}\bar{y} &= \frac{-0,589+(-0,750)+(-0,938)+\dots+(-0,361)+(-0,454)+(-0,485)}{9} \\ &= -0.595\end{aligned}$$

- 2) ST – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total adalah sebagai berikut:

$$ST = \sum y^2$$

$$\begin{aligned}ST &= -0.589^2 + (-0.750)^2 + (-0.938)^2 + \dots + (-0.361)^2 + (-0.454)^2 + (-0.485)^2 \\ &= 3.417\end{aligned}$$

- 3) S_m – Jumlah kuadrat karena rata-rata (mean)

$$S_m = n \bar{y}^2$$

$$\begin{aligned}S_m &= 9 \times (-0.595^2) \\ &= 3.183\end{aligned}$$

- 4) SqA – Jumlah kuadrat karena faktor putaran *spindel*

Jumlah kuadrat faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$SqA = \frac{[Total A_1]^2}{n_1} + \frac{[Total A_2]^2}{n_2} + \frac{[Total A_3]^2}{n_3} - \frac{[Total A]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$SqA = \frac{[-2,278]^2}{3} + \frac{[-1,774]^2}{3} + \frac{[-1,300]^2}{3} - \frac{[-2,278 + (-1,774) + (-1,300)]^2}{3+3+3}$$

$$= 0.159$$

- 5) SqB – Jumlah kuadrat karena faktor kecepatan pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$SqB = \frac{[Total B_1]^2}{n_1} + \frac{[Total B_2]^2}{n_2} + \frac{[Total B_3]^2}{n_3} - \frac{[Total B]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$SqB = \frac{[-1,481]^2}{3} + \frac{[-1,821]^2}{3} + \frac{[-2,051]^2}{3} - \frac{[-1,481 + (-1,821) + (-2,051)]^2}{3+3+3}$$

$$= 0.055$$

- 6) SqC – Jumlah kuadrat karena faktor kedalaman pemakanan

Jumlah kuadrat faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$SqC = \frac{[Total C_1]^2}{n_1} + \frac{[Total C_2]^2}{n_2} + \frac{[Total C_3]^2}{n_3} - \frac{[Total C]^2}{n_1+n_2+n_3}$$

$$SqC = \frac{[-1,671]^2}{3} + \frac{[-1,765]^2}{3} + \frac{[-1,916]^2}{3} - \frac{[-1,671 + (-1,765) + (-1,916)]^2}{3+3+3}$$

$$= 0.010$$

- 7) Sqe – Jumlah kuadrat *error*

$$ST = Sm + SqA + SqB + SqC + Sqe$$

$$Sqe = ST - Sm - SqA - SqB - SqC$$

$$= 3.417 - 3.183 - 0.159 - 0.055 - 0.010$$

$$= 0.010$$

- 8) Mq – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$MqA = \frac{SqA}{vA}$$

$$= \frac{0.159}{2} = 0.080$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_A &= (\text{Banyak level} - 1) \\ &= 3 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

9) M_q – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{qB} &= \frac{S_{qB}}{v_B} \\ &= \frac{0.055}{2} = 0.027\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_B &= (\text{Banyak level} - 1) \\ &= 3 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

10) M_q – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{qC} &= \frac{S_{qC}}{v_C} \\ &= \frac{0.010}{2} = 0.005\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_C &= (\text{Banyak level} - 1) \\ &= 3 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

11) M_q – Rata-rata jumlah kuadrat

Untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}M_{qe} &= \frac{S_{qe}}{v_e} \\ &= \frac{0.010}{2} = 0.005\end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}v_e &= (\text{Total jumlah kuadrat} - \text{Total derajat kebebasan faktor} - 1) \\ &= 9 - 6 - 1 \\ &= 2\end{aligned}$$

12) F-ratio

Untuk faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_A &= \frac{Mq_A}{Mq_e} \\ &= \frac{0.080}{0.005} = 16.241\end{aligned}$$

13) F-ratio

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_B &= \frac{Mq_B}{Mq_e} \\ &= \frac{0.027}{0.005} = 5.593\end{aligned}$$

14) F-ratio

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_C &= \frac{Mq_C}{Mq_e} \\ &= \frac{0.005}{0.005} = 1.036\end{aligned}$$

15) F-ratio

Untuk faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_e &= \frac{Mq_e}{Mq_e} \\ &= \frac{0,005}{0,005} = 1,00\end{aligned}$$

16) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SqA' &= SqA - vA.ve \\ &= 0.159 - (2 \times 0.005) \\ &= 0.1495\end{aligned}$$

17) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}SqB' &= SqB - vB.ve \\ &= 0.055 - (2 \times 0.005) \\ &= 0.0451\end{aligned}$$

18) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

Untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SqC' &= SqC - vC \cdot ve \\ &= 0.010 - (2 \times 0.005) \\ &= 0.0004 \end{aligned}$$

19) Sq' – Jumlah kuadrat yang sesungguhnya

untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Sqe' &= St - SqA' - SqB' - SqC' \\ Sqe' &= 0.234 - 0.1495 - 0.0451 - 0.0004 \\ &= 0.0392 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} St &= ST - Sm \\ &= 3.417 - 3.183 \\ &= 0.234 \end{aligned}$$

20) ρ – Persen kontribusi untuk faktor putaran *spindel* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho A &= \frac{SqA'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{0,1495}{0.234} \times 100\% \\ &= 63.849\% \end{aligned}$$

21) ρ – Persen kontribusi untuk faktor kecepatan pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho B &= \frac{SqB'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{0,0451}{0.234} \times 100\% \\ &= 19.243\% \end{aligned}$$

22) ρ – Persen kontribusi untuk faktor kedalaman pemakanan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho C &= \frac{SqC'}{St} \times 100\% \\ &= \frac{0,0004}{0.234} \times 100\% = 0.150\% \end{aligned}$$

23) ρ – Persen kontribusi untuk *error* adalah sebagai berikut:

$$\rho e = \frac{Sqe'}{St} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}\rho e &= \frac{0,0392}{0.234} \times 100\% \\ &= 16.758\%\end{aligned}$$



Lampiran E. Gambar Benda Kerja



Benda Kerja 1.1



Benda Kerja 1.2



Benda Kerja 1.3



Benda Kerja 2.1



Benda Kerja 2.2



Benda Kerja 2.3



Benda Kerja 3.1



Benda Kerja 3.2



Benda Kerja 3.3



Benda Kerja 4.1



Benda Kerja 4.2



Benda Kerja 4.3



Benda Kerja 5.1



Benda Kerja 5.2



Benda Kerja 5.3



Benda Kerja 6.1



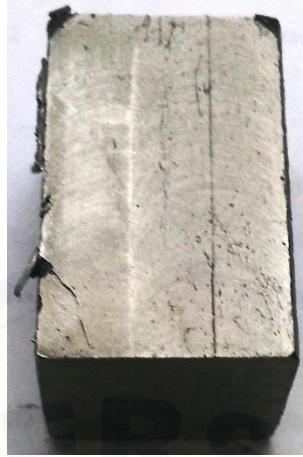
Benda Kerja 6.2



Benda Kerja 6.3



Benda Kerja 7.1



Benda Kerja 7.2



Benda Kerja 7.3



Benda Kerja 8.1



Benda Kerja 8.2



Benda Kerja 8.3



Benda Kerja 9.1

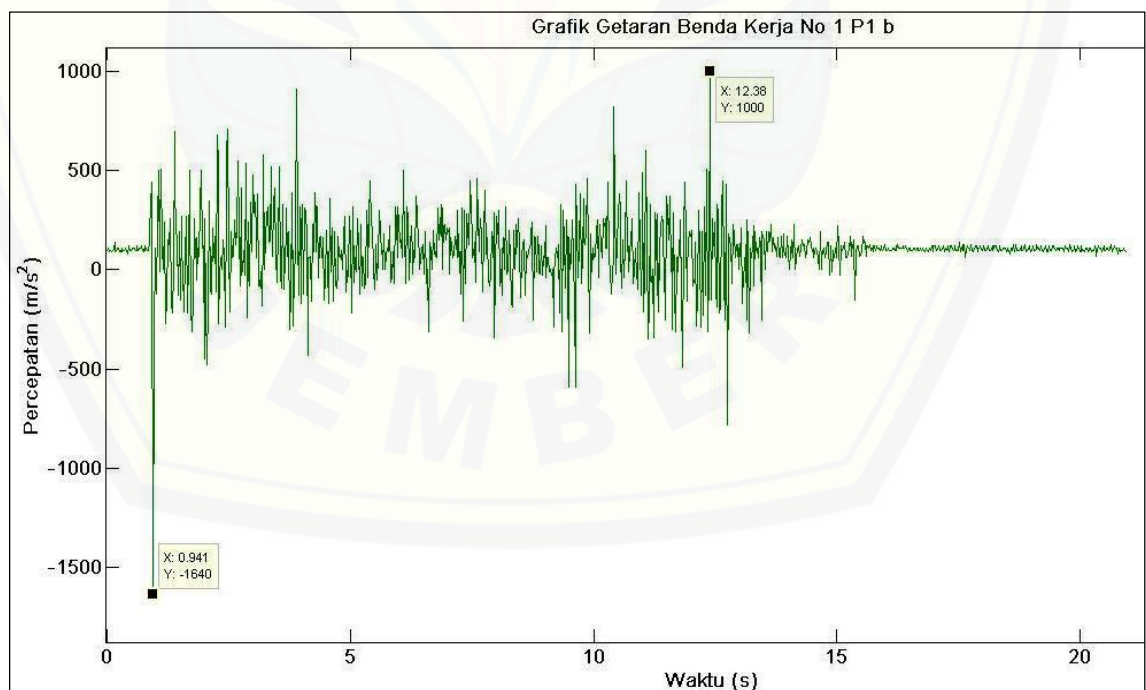
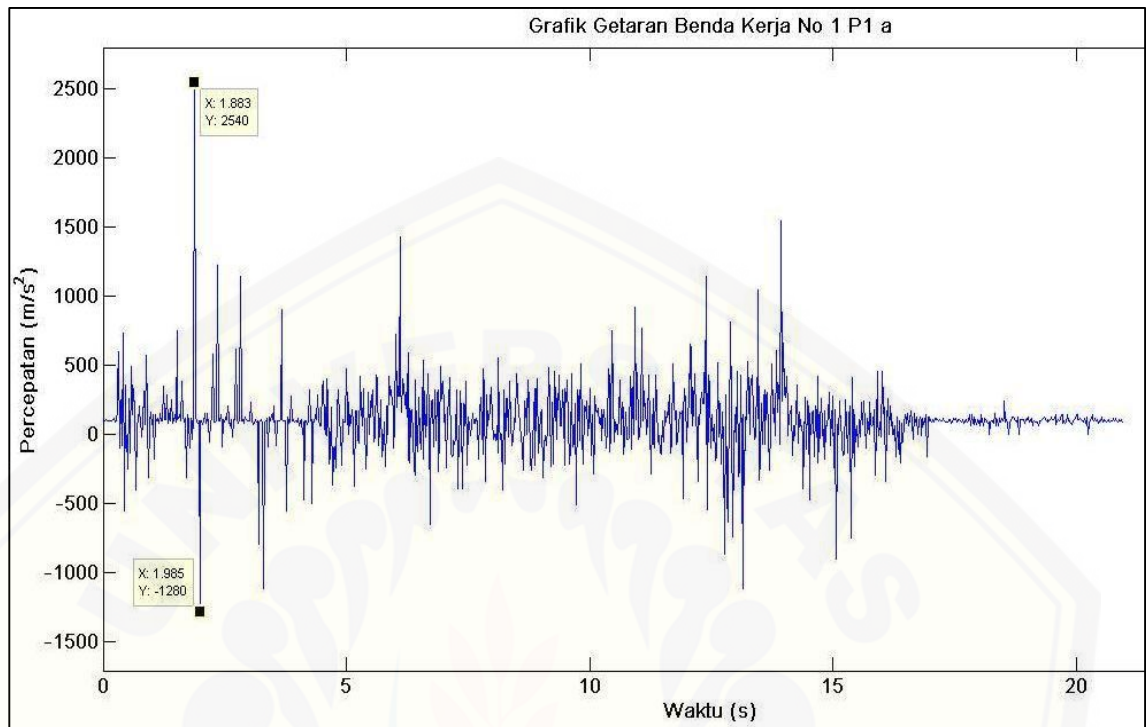


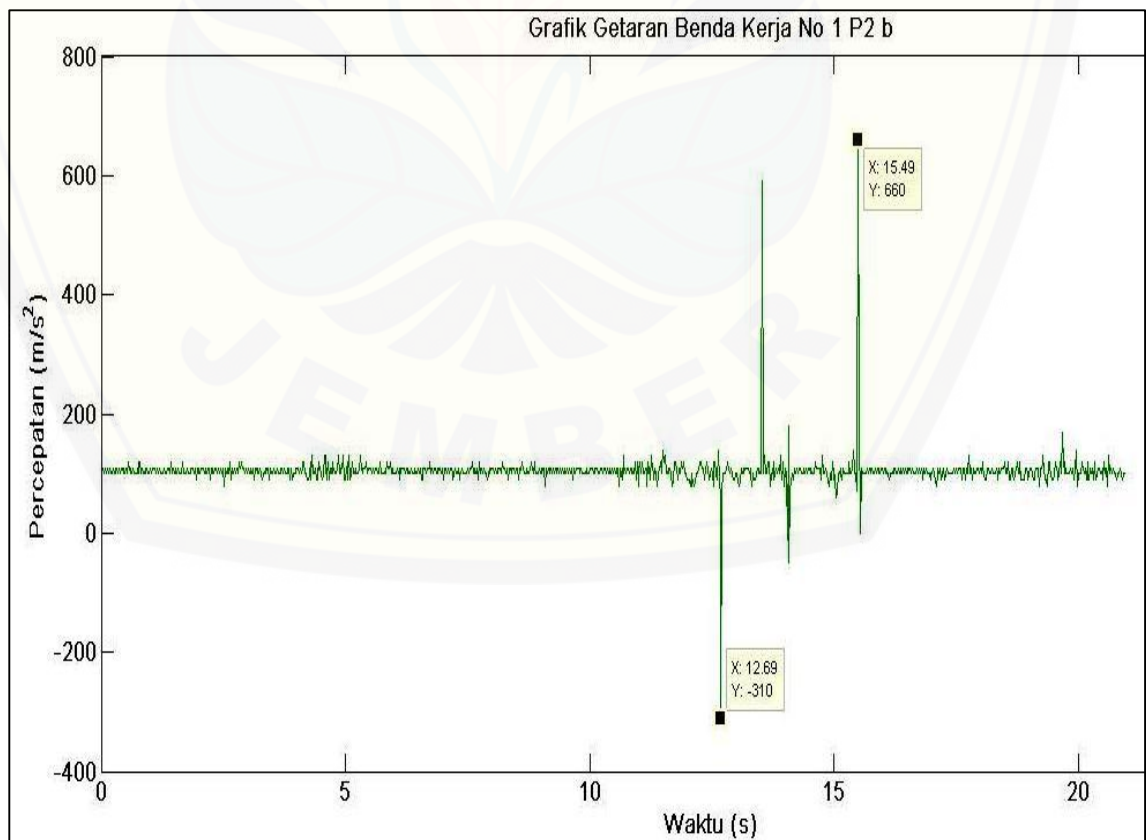
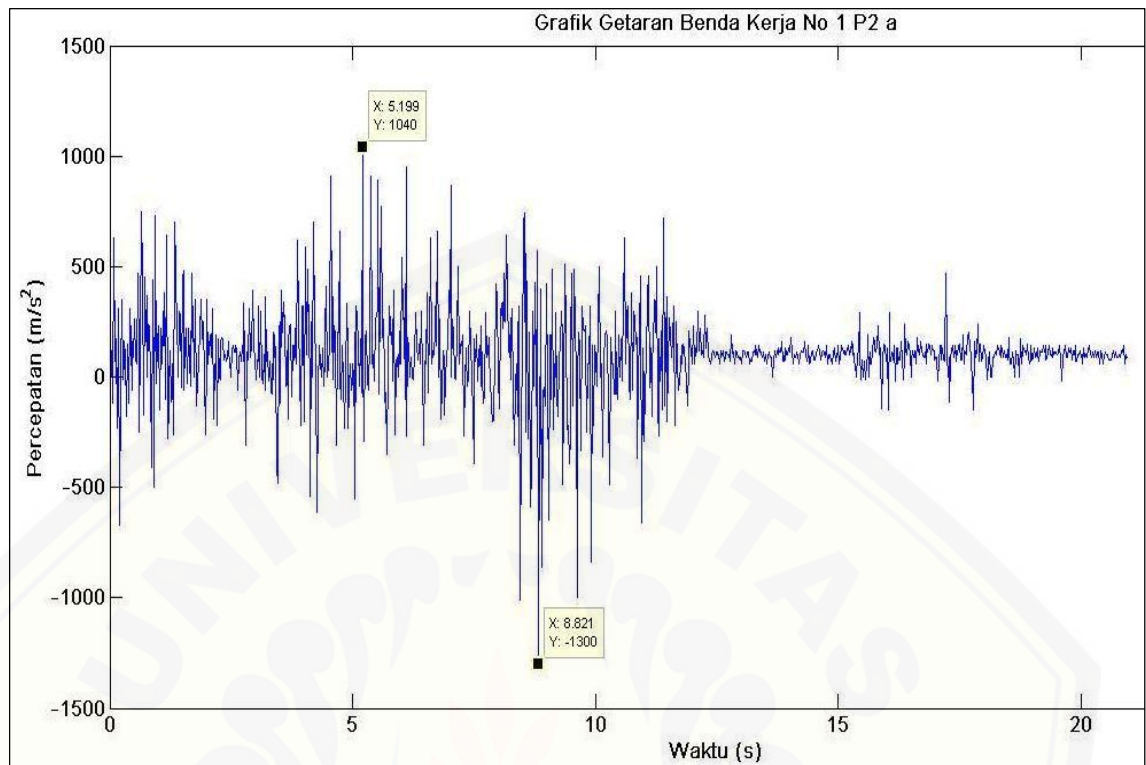
Benda Kerja 9.2

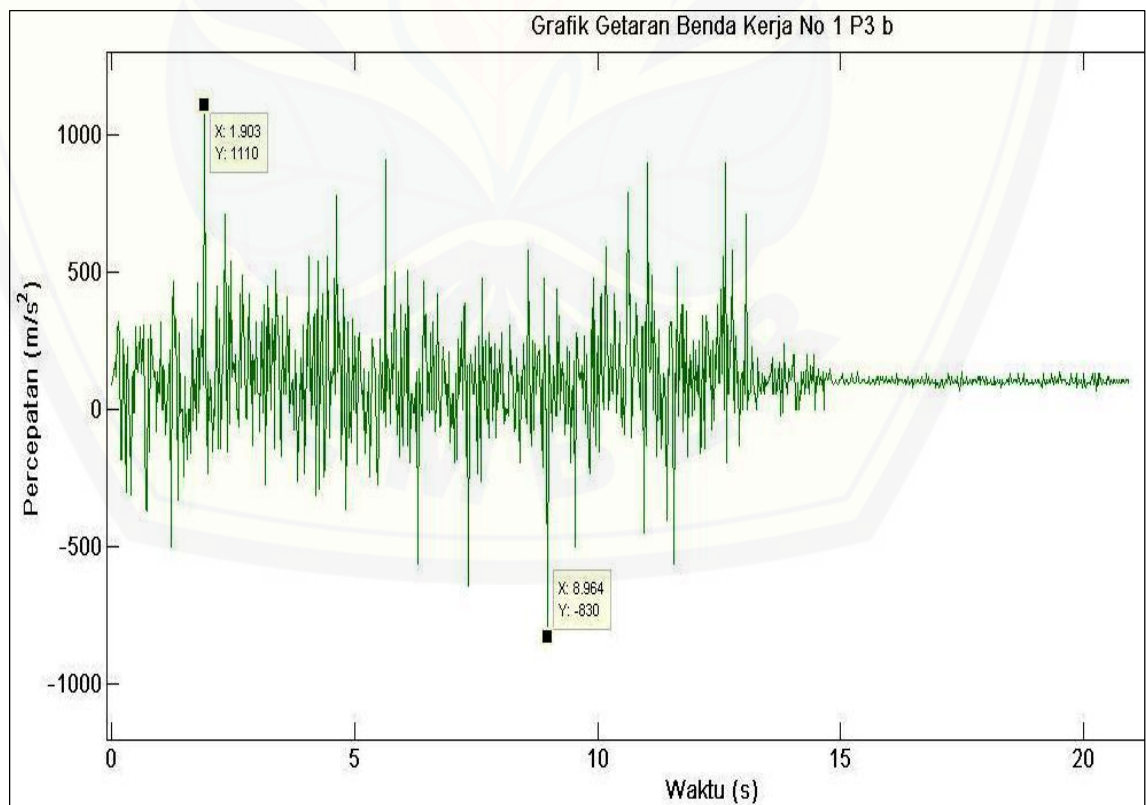
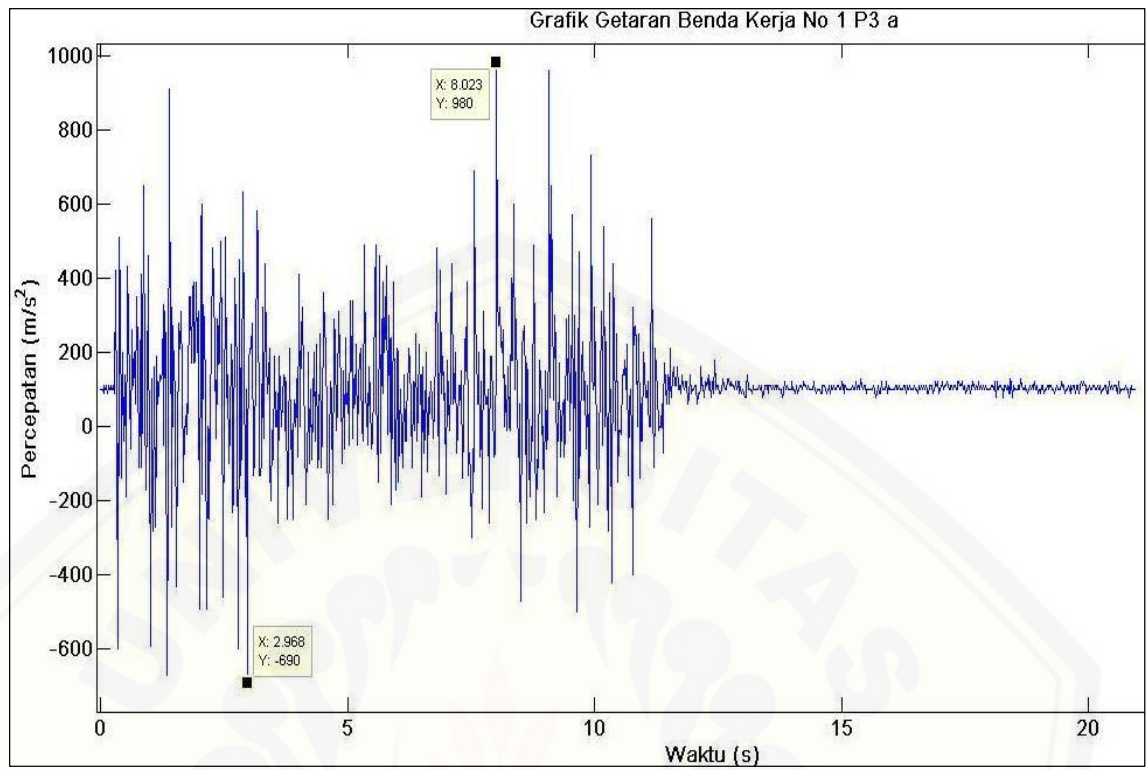


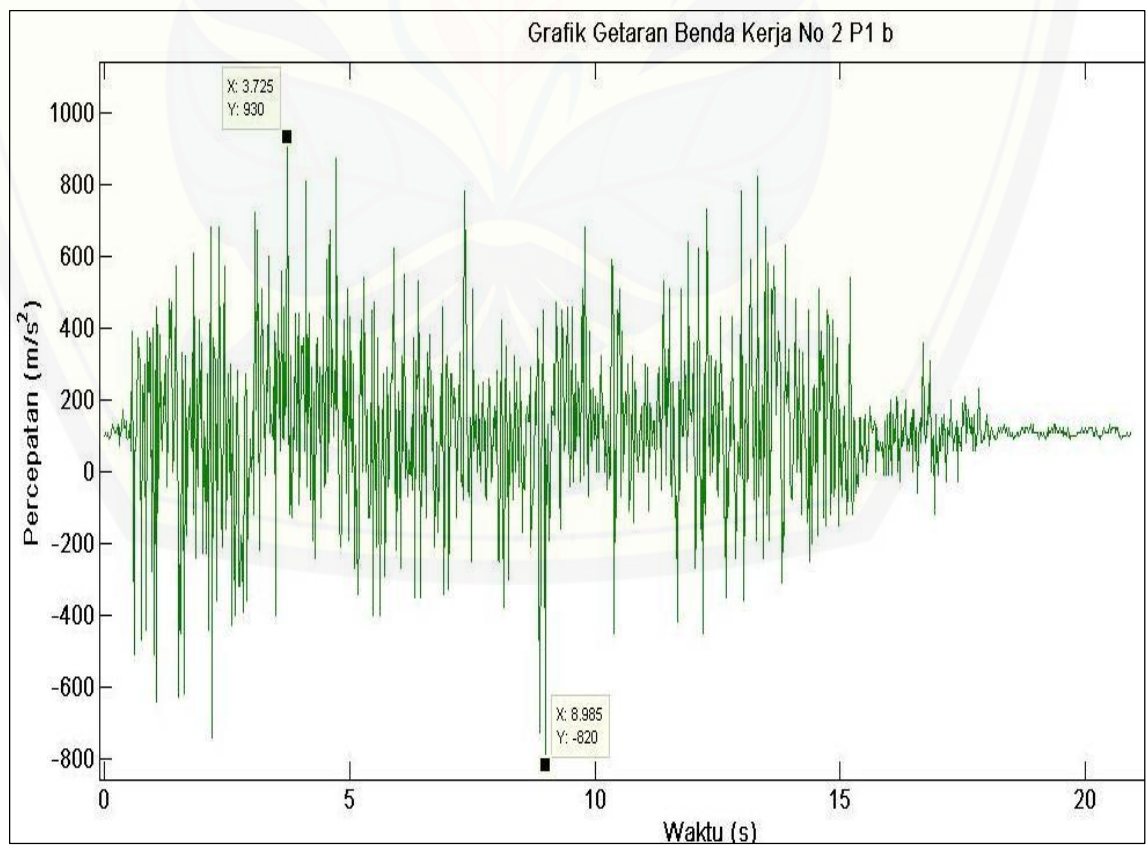
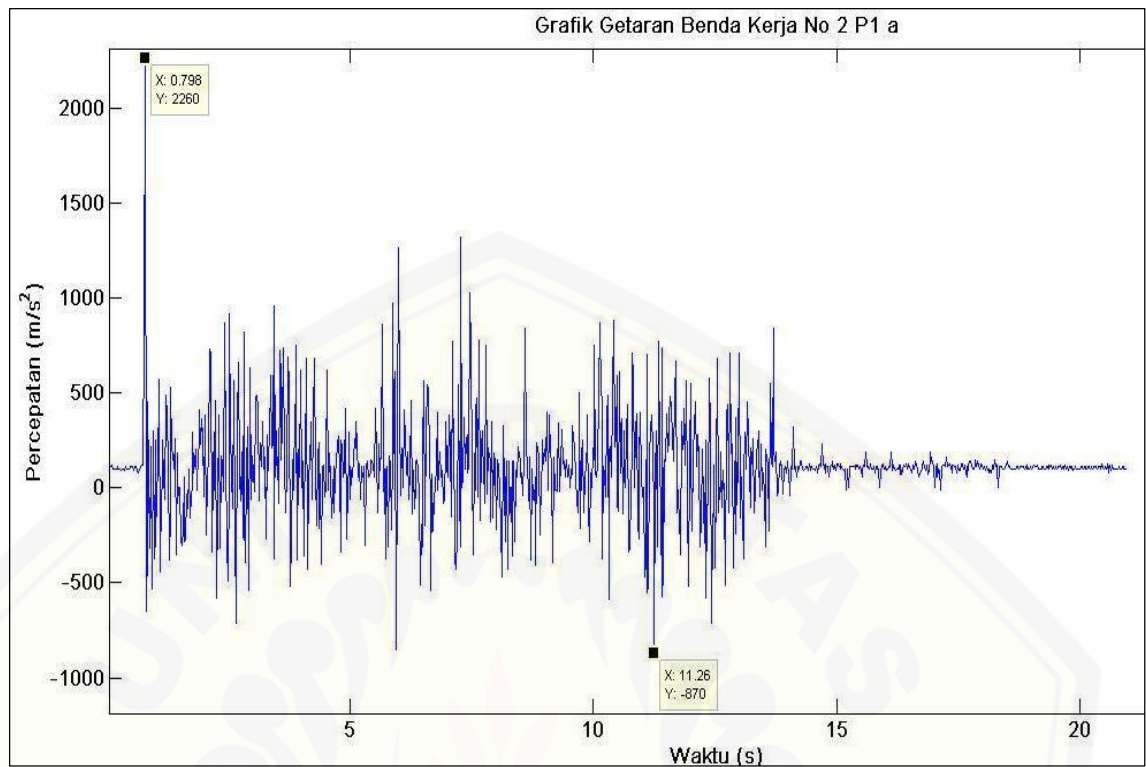
Benda Kerja 9.3

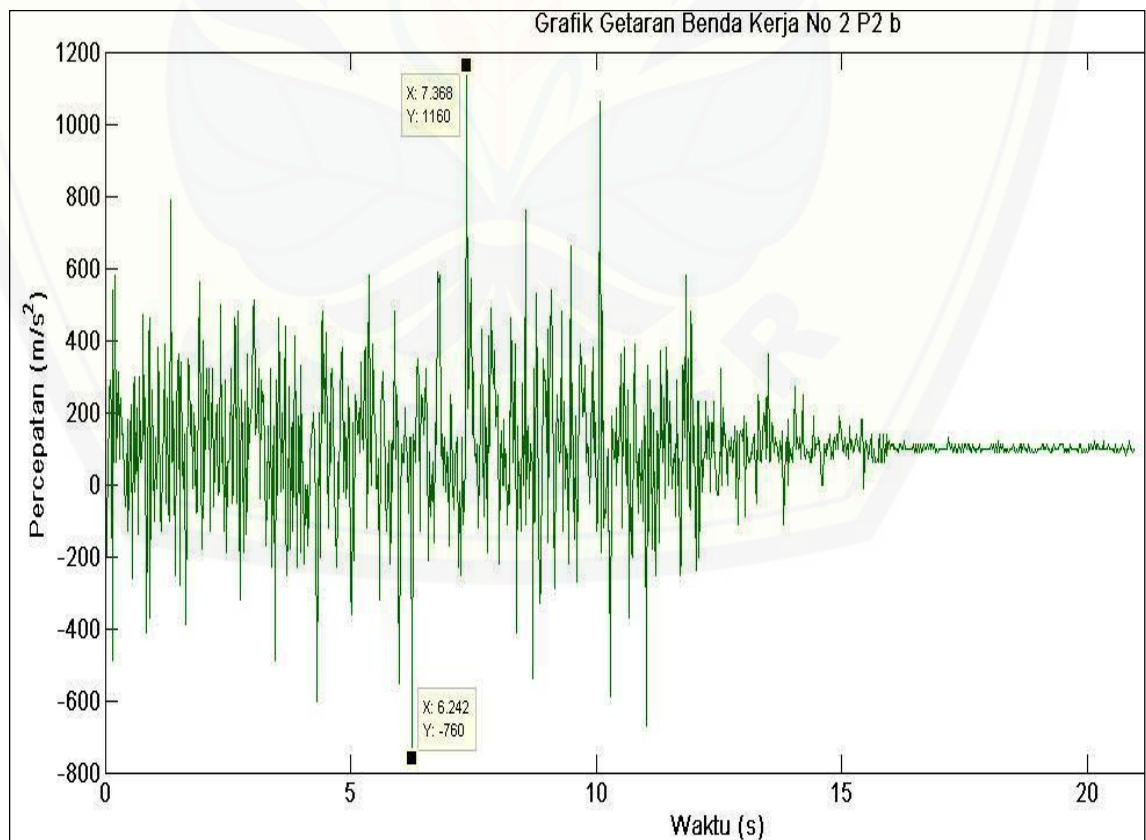
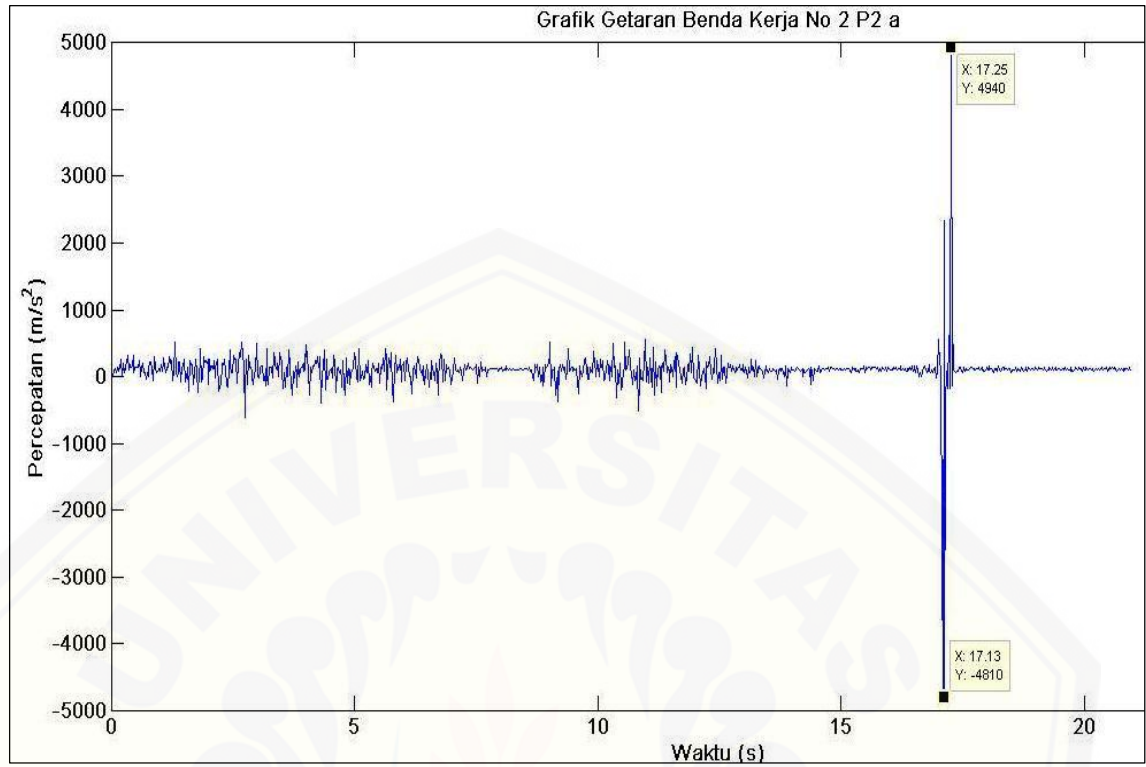
Lampiran F. Grafik Getaran Benda Kerja Proses Pemotongan *Milling CNC*

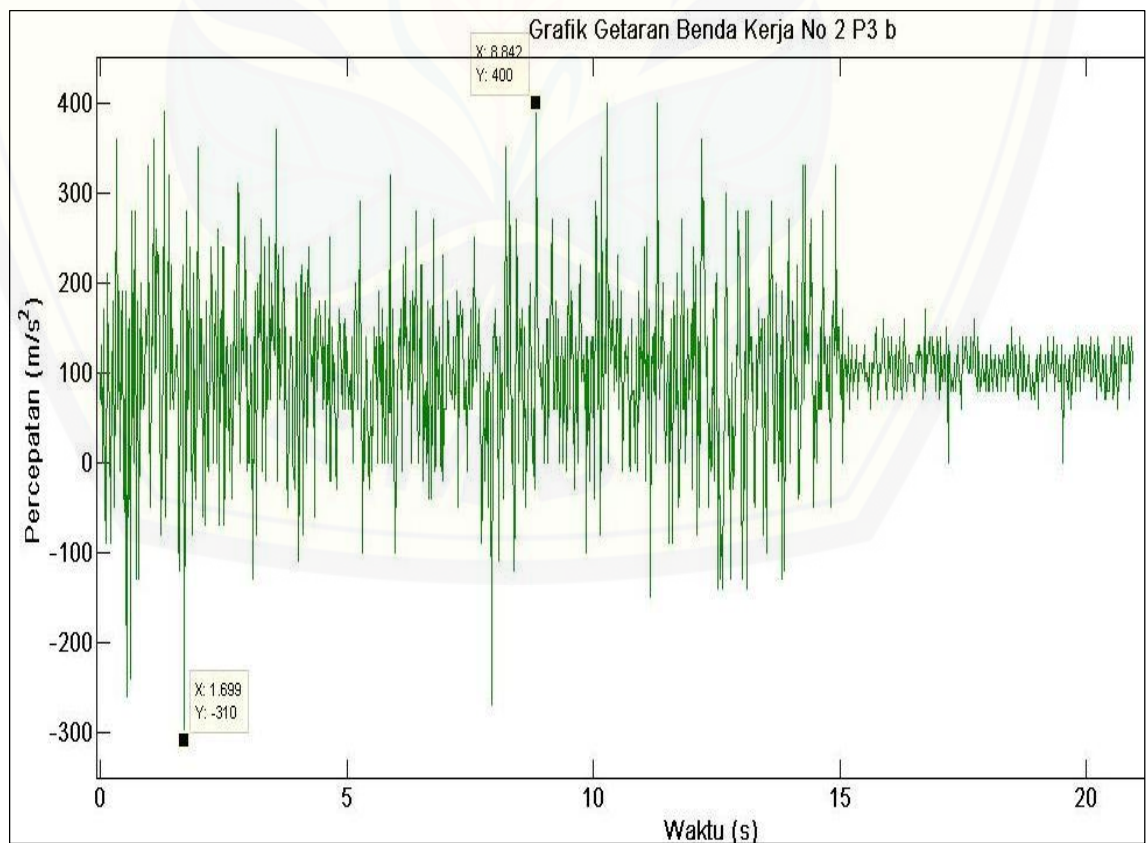
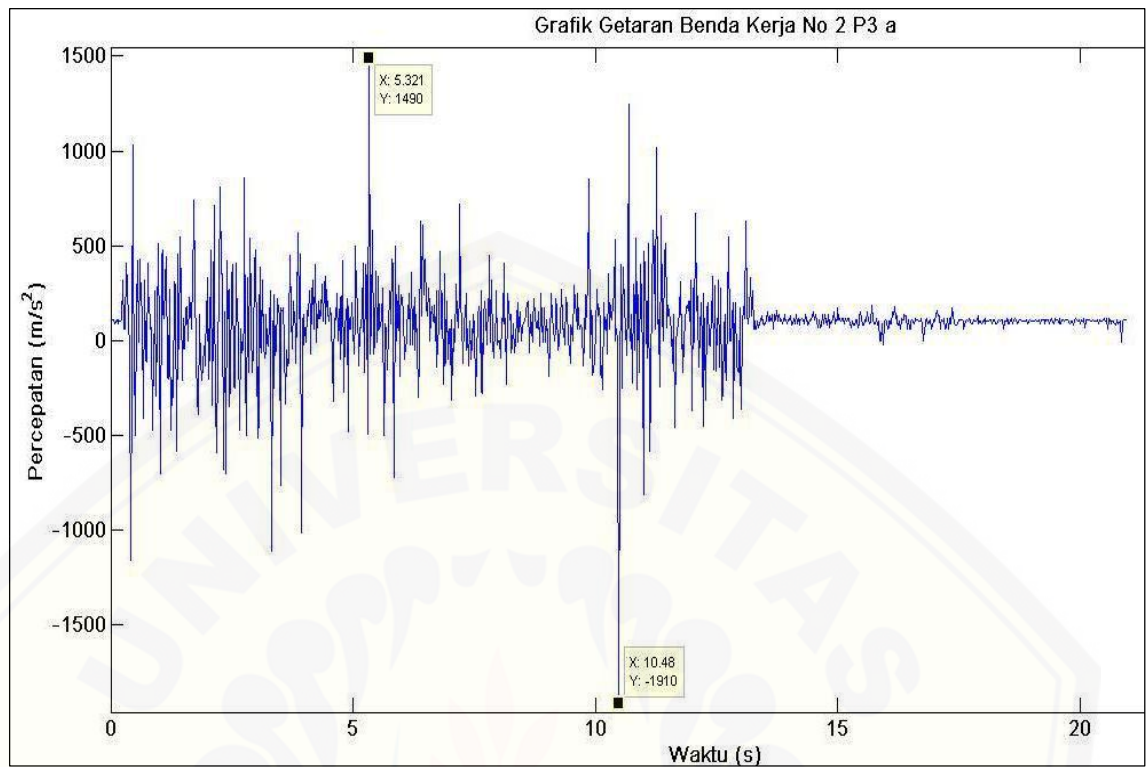


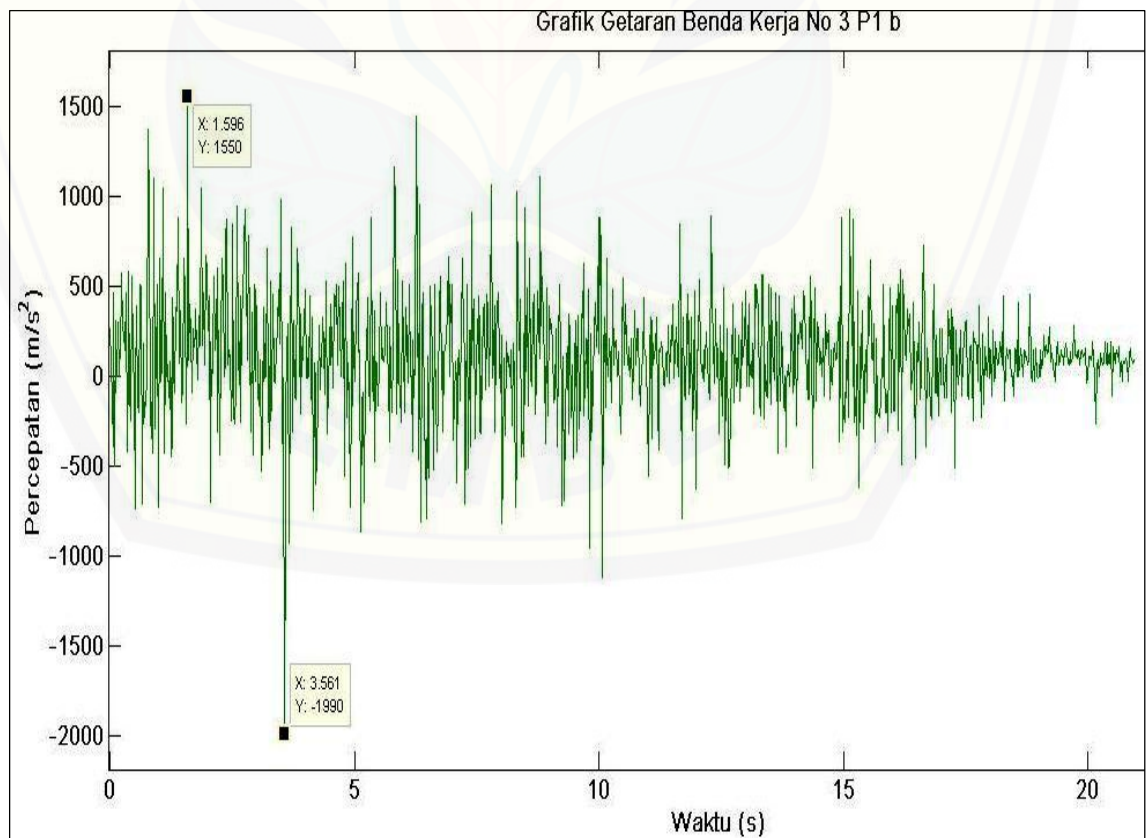
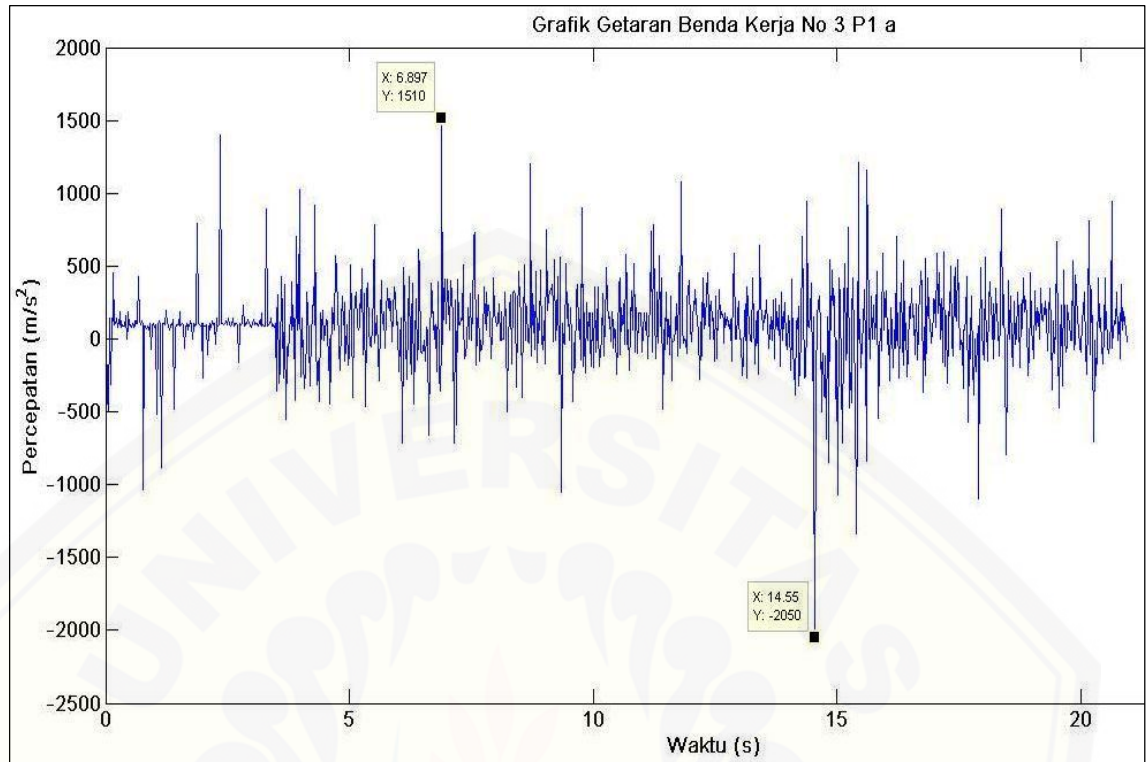


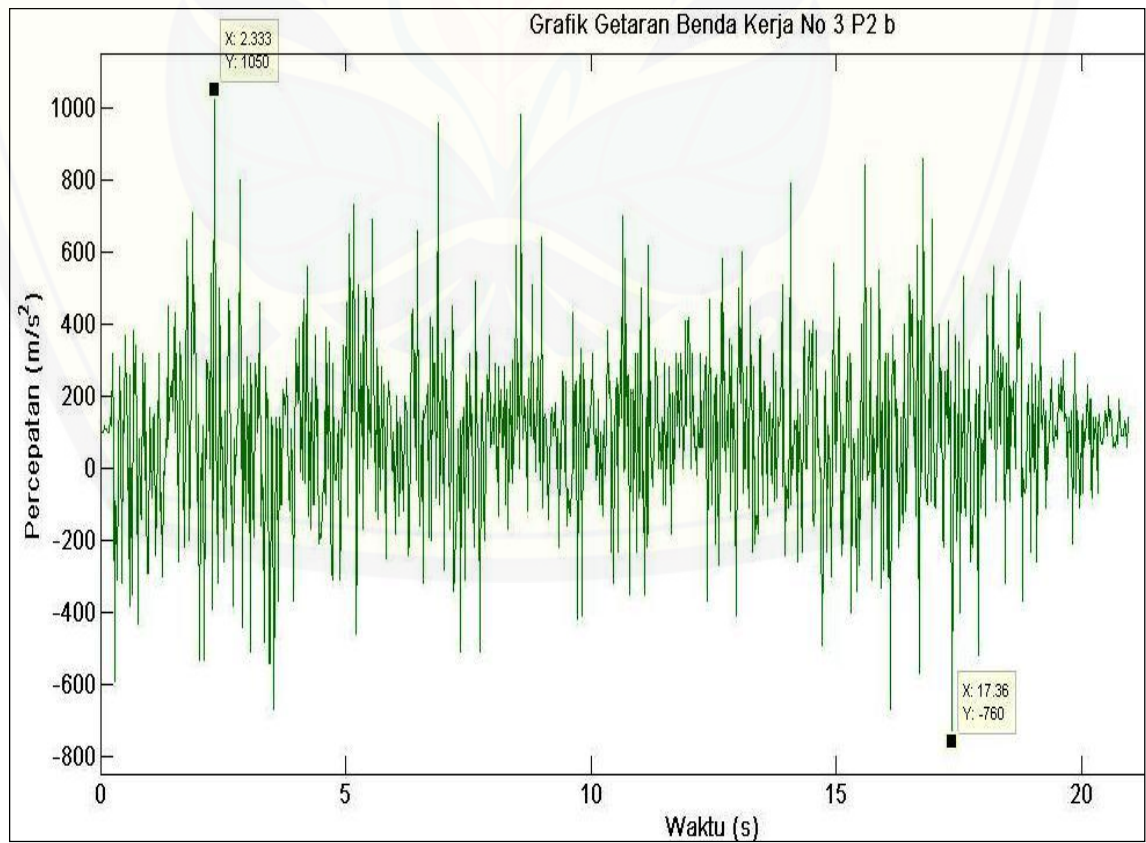
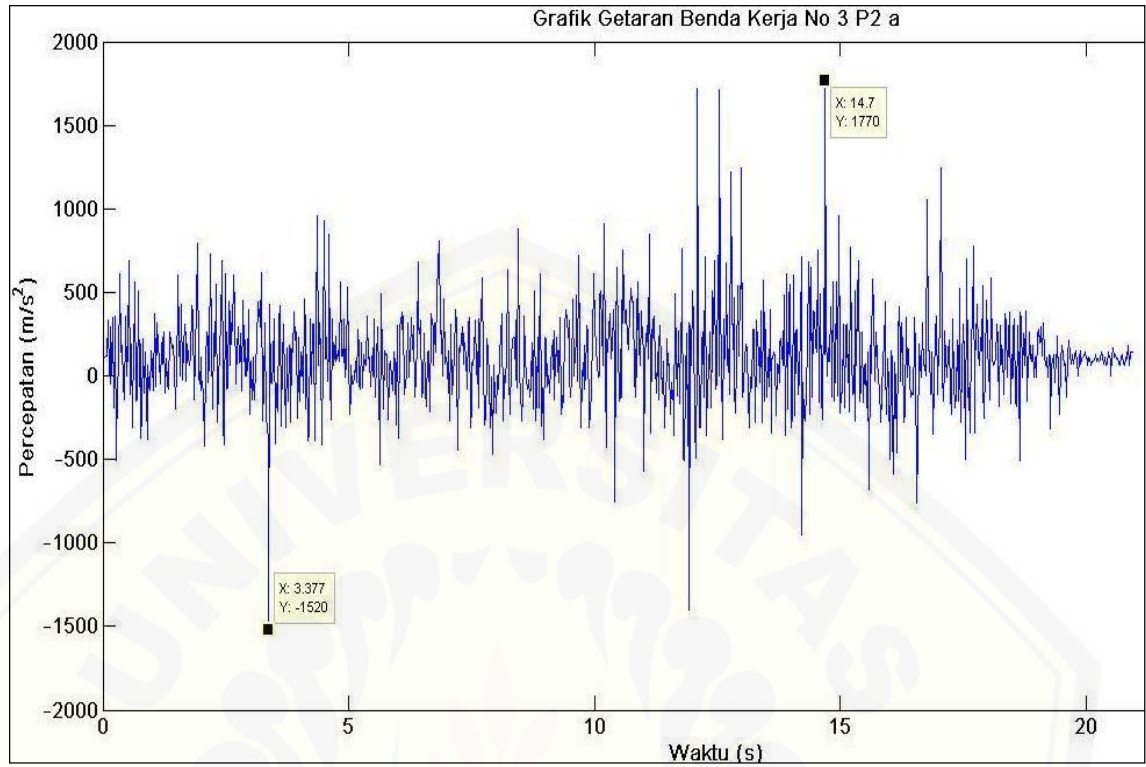


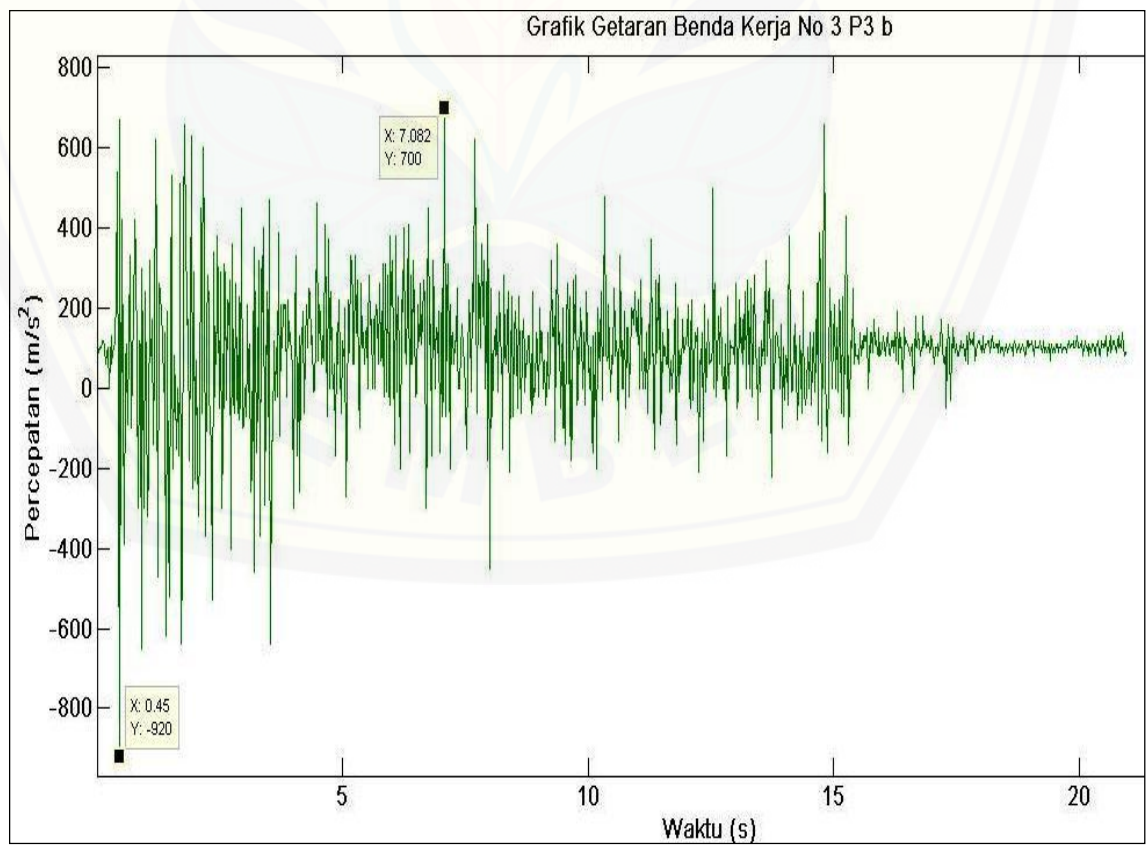
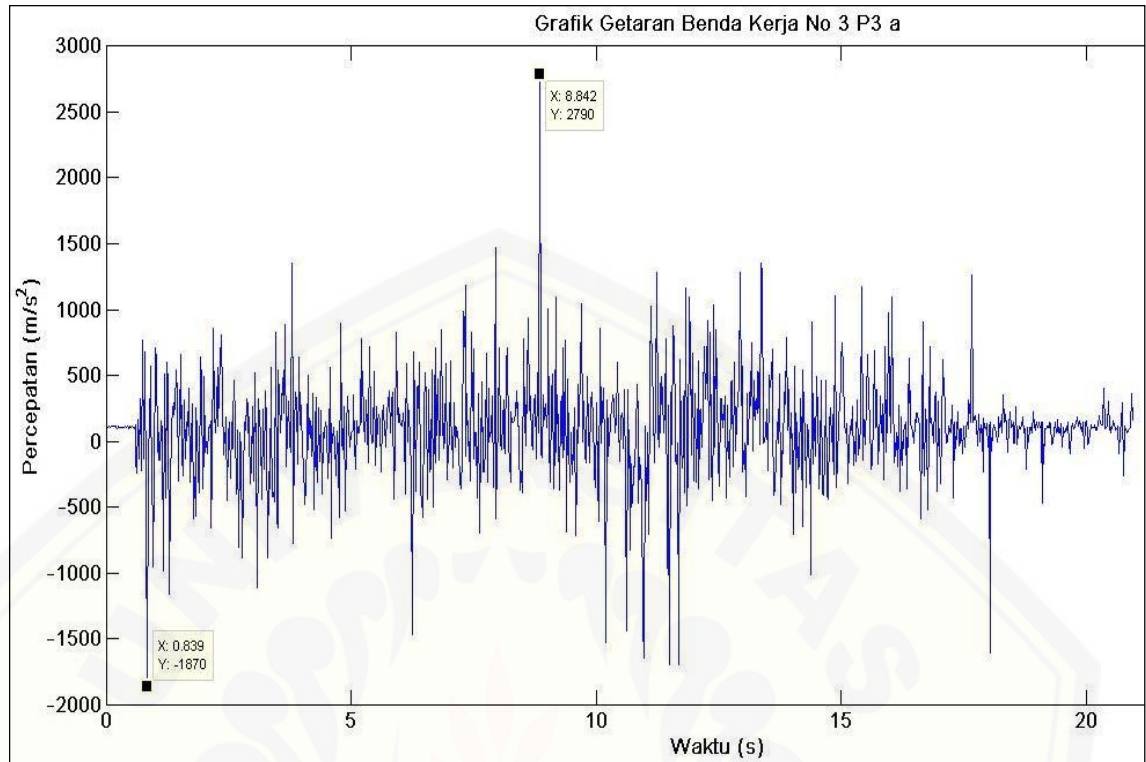


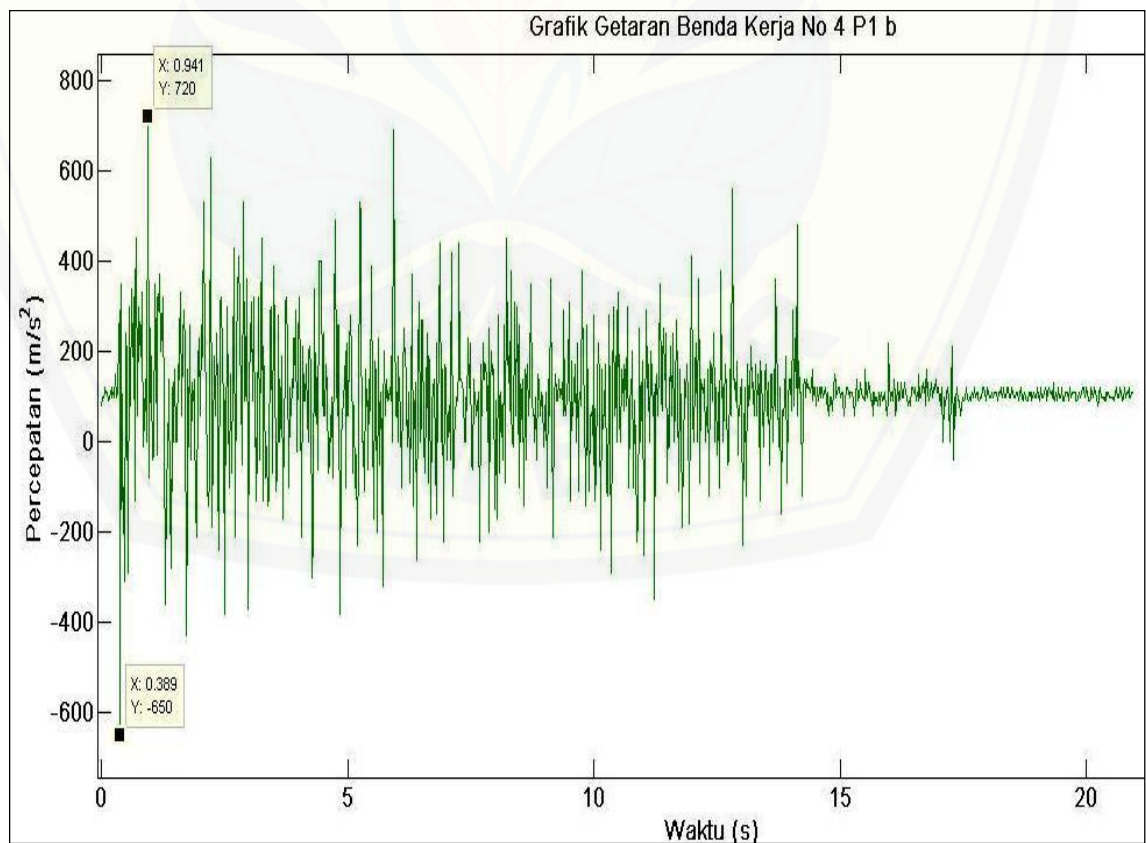
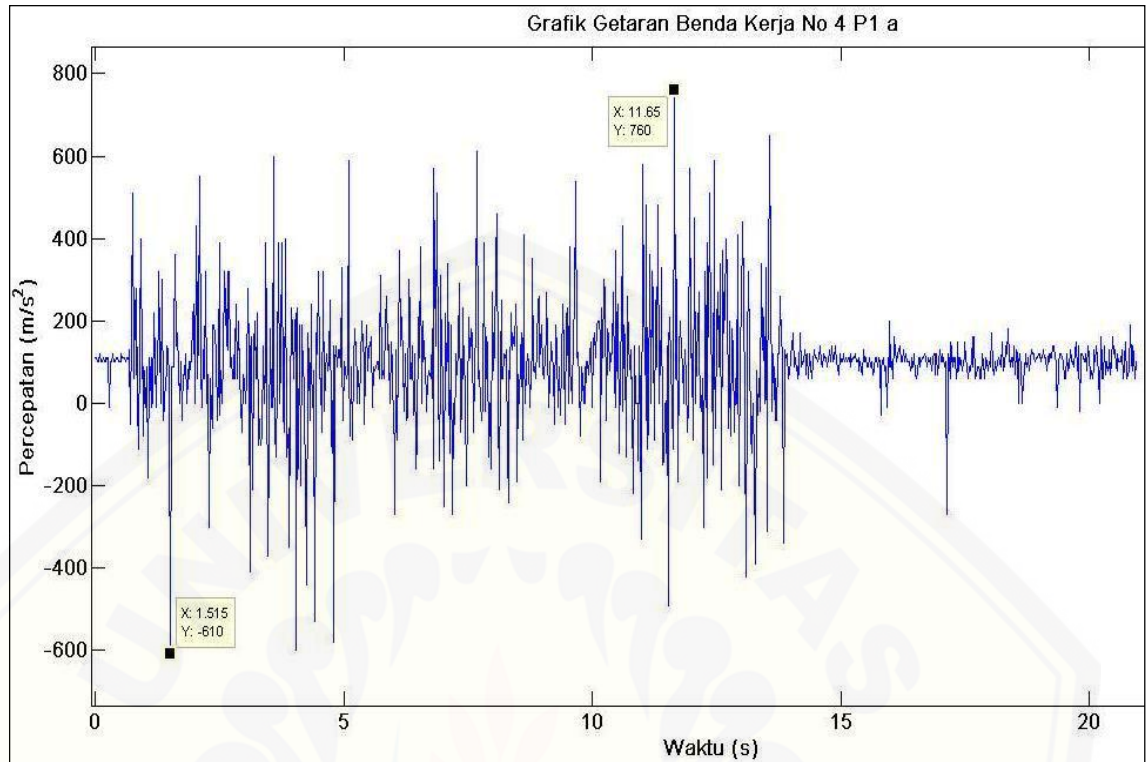


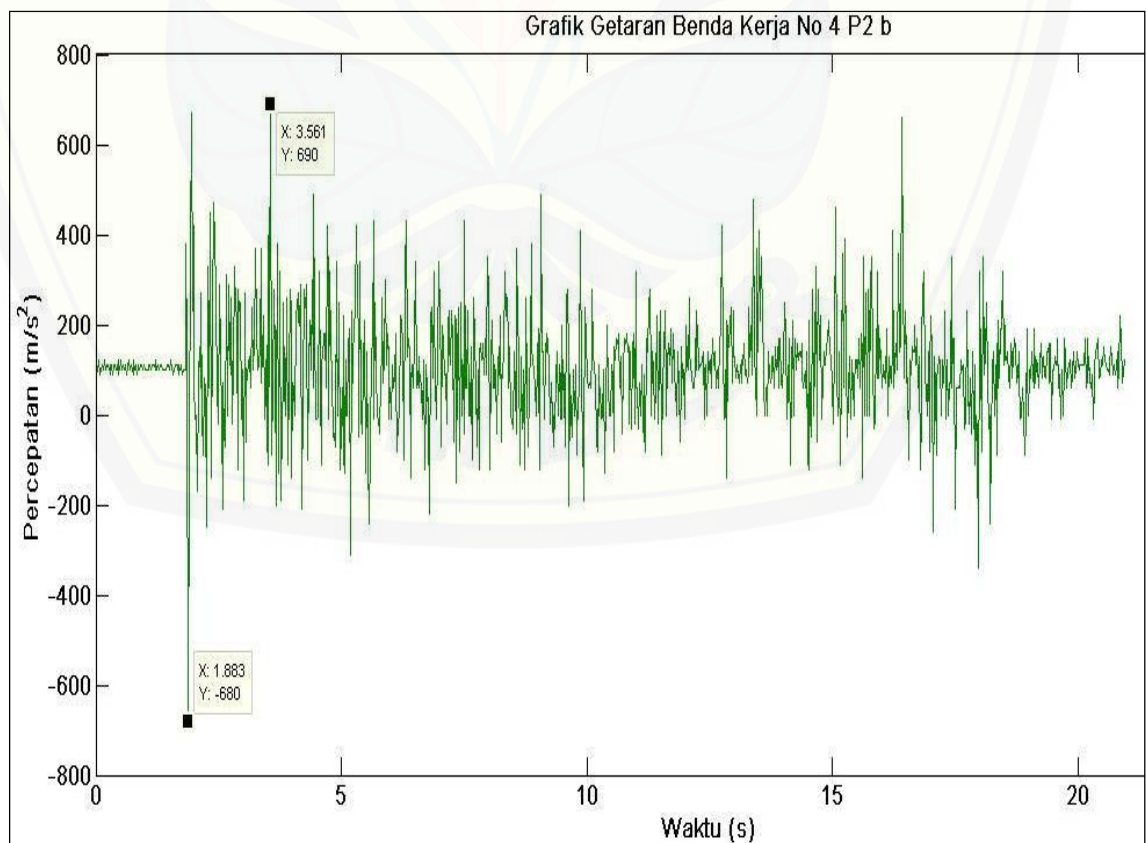
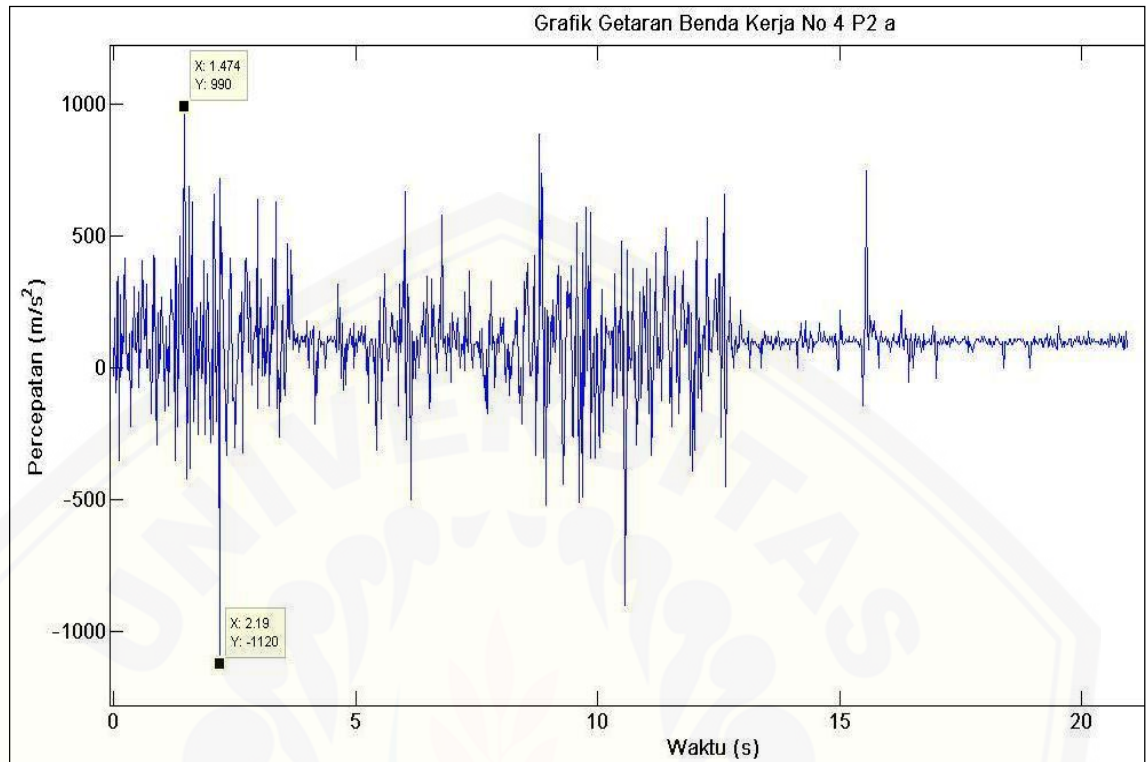


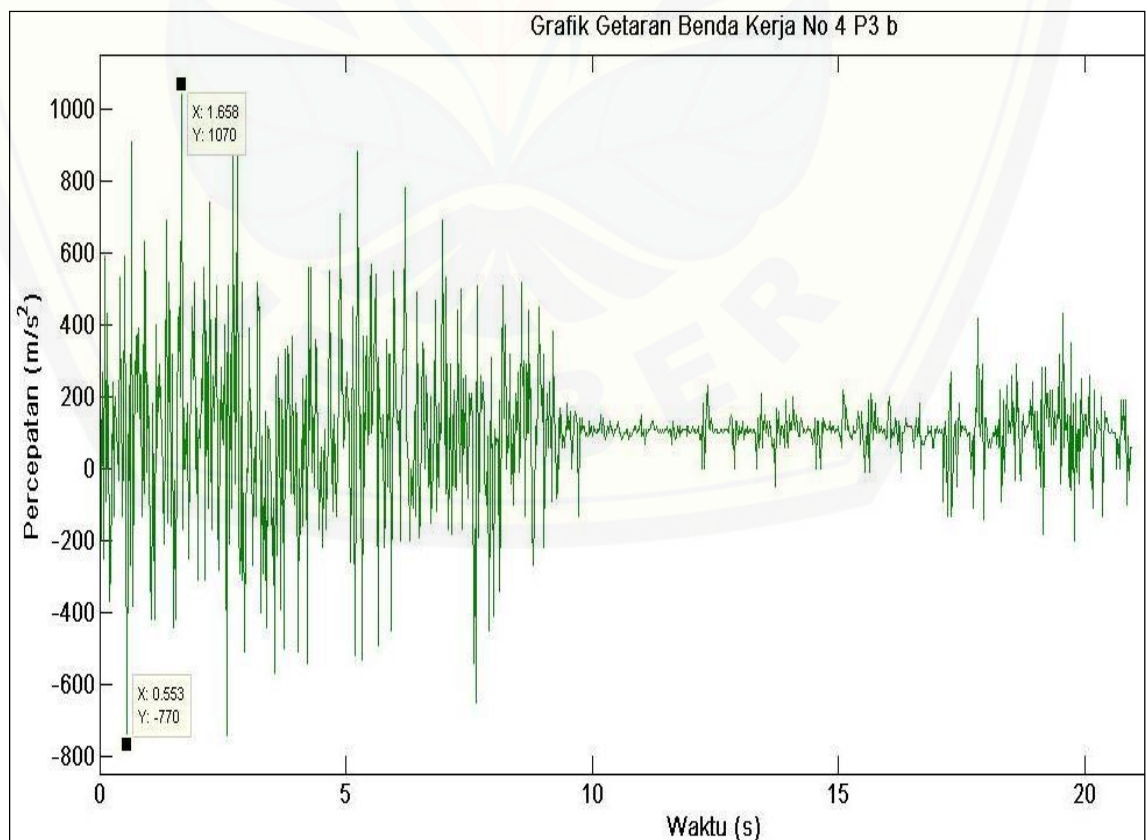
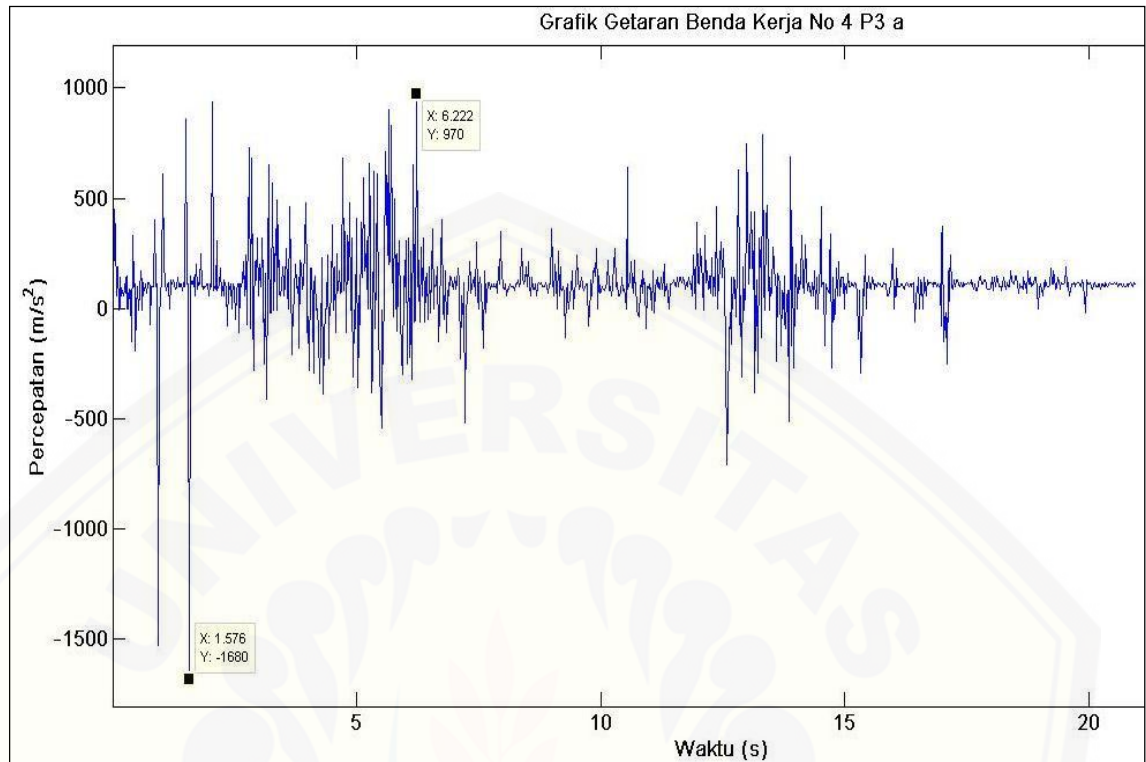




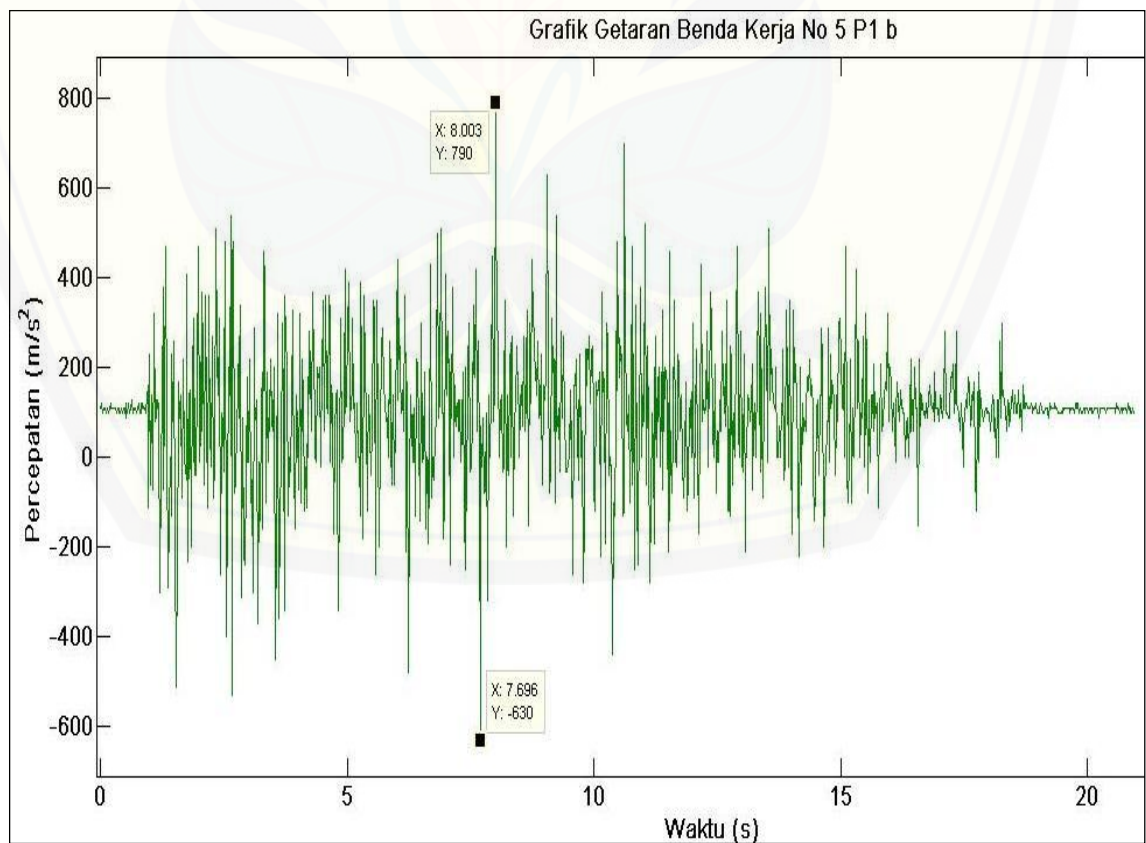
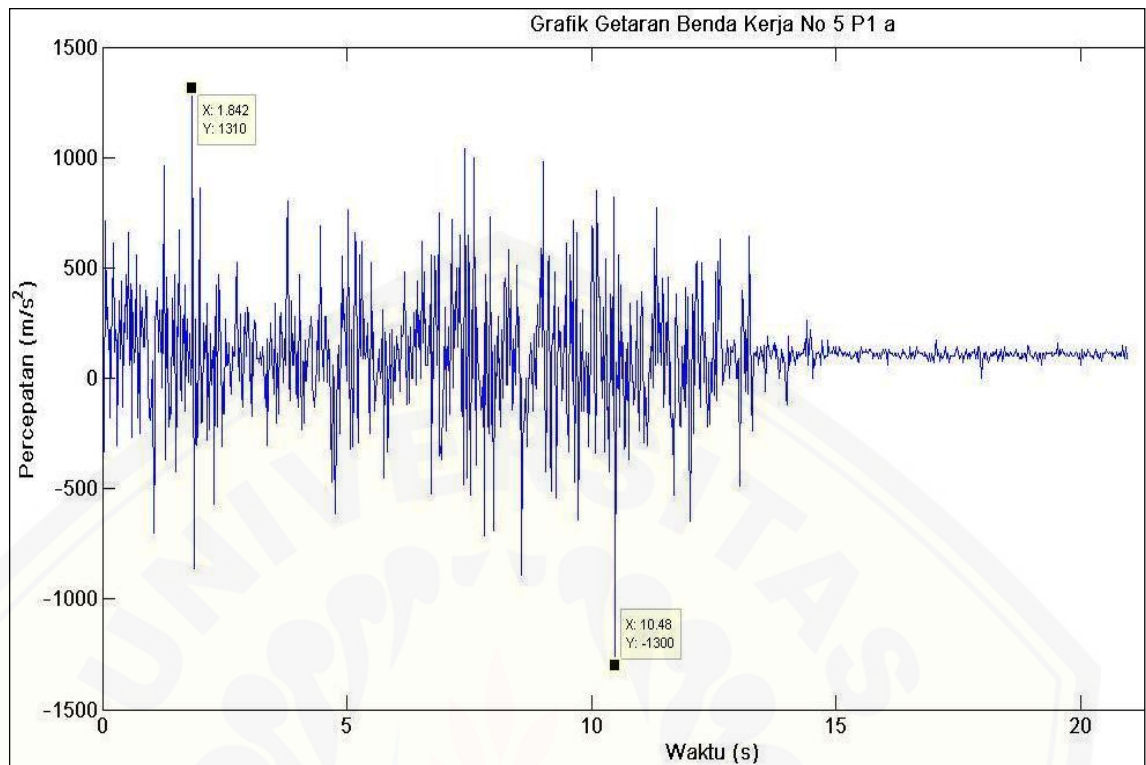


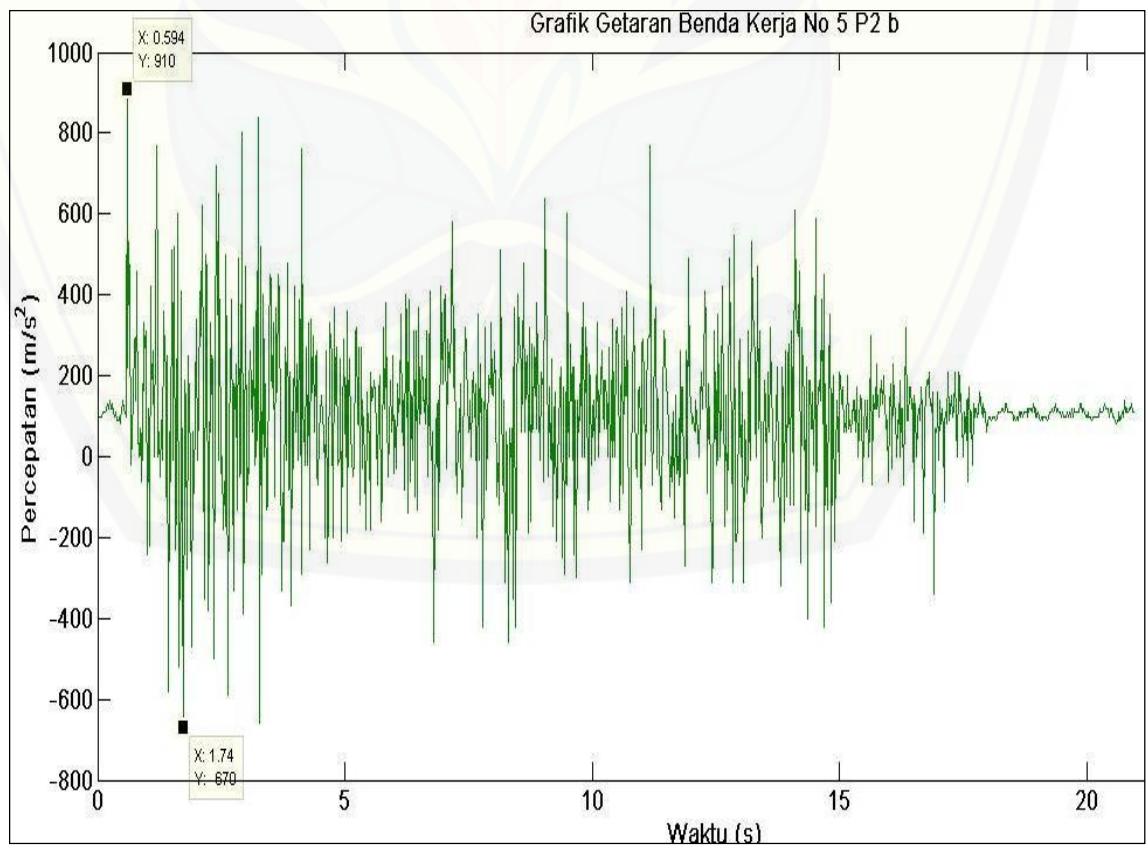
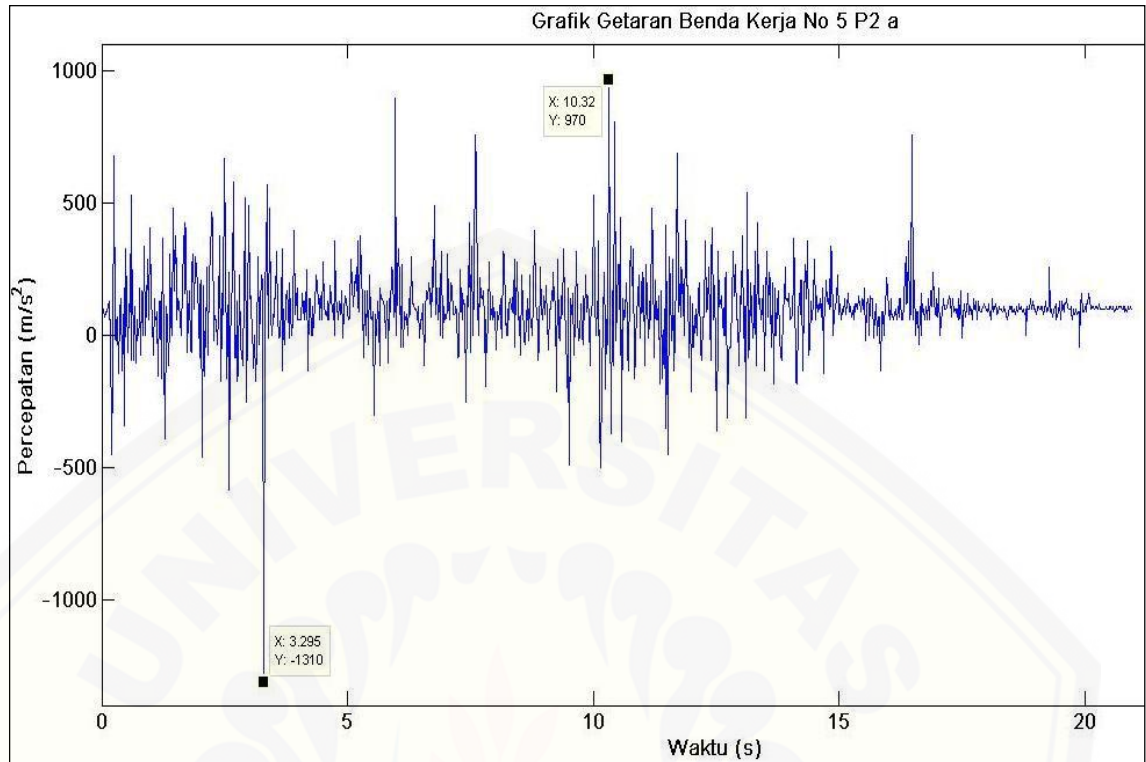


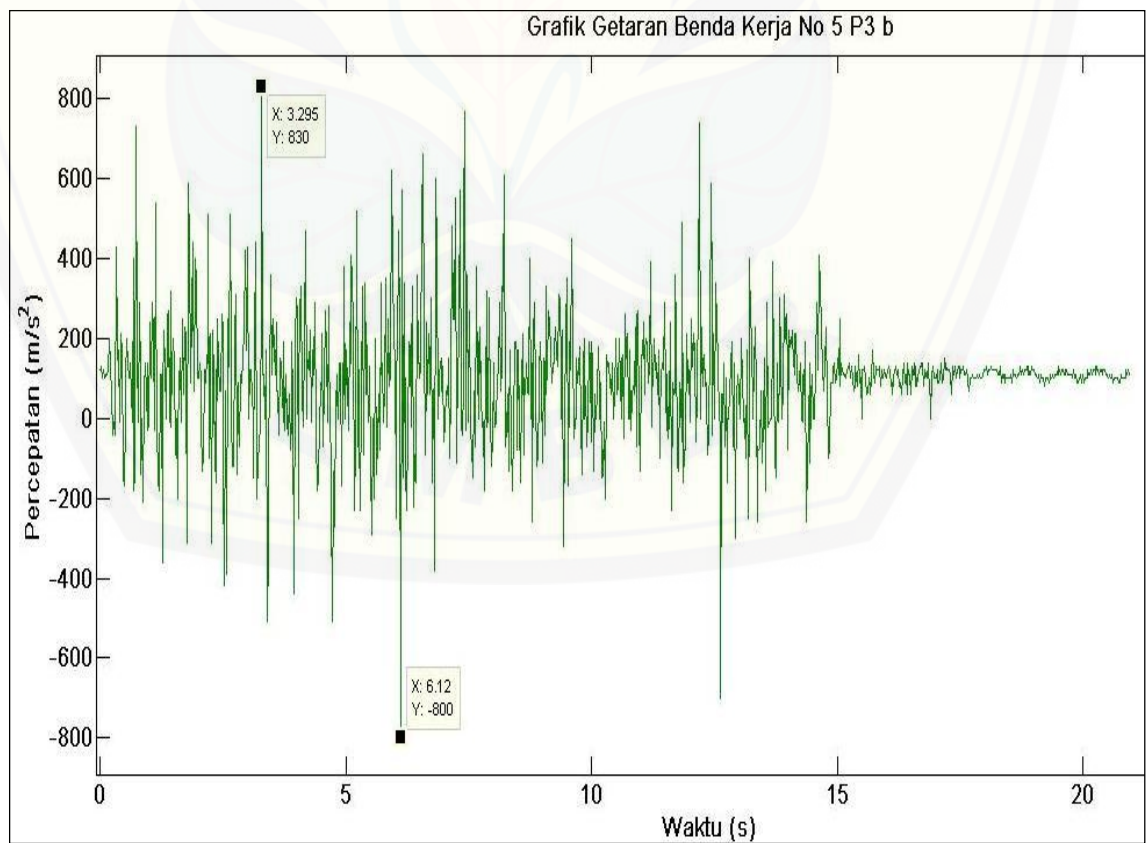
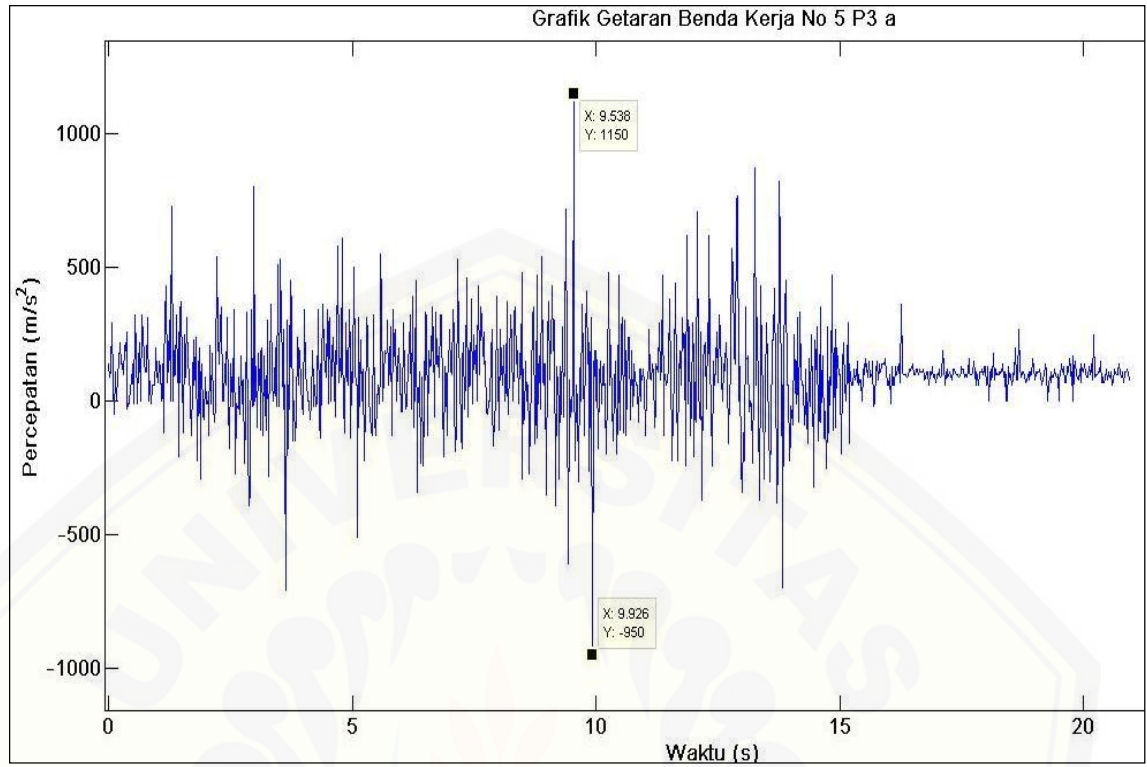


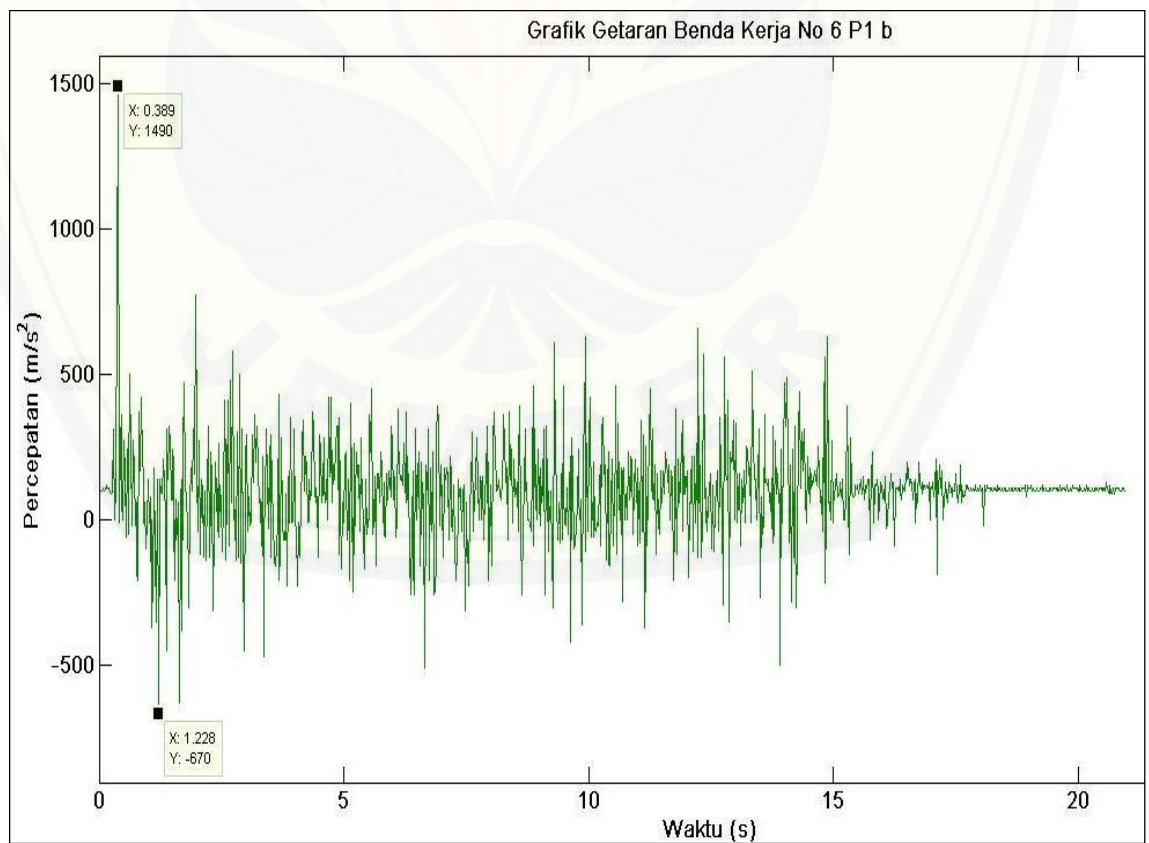
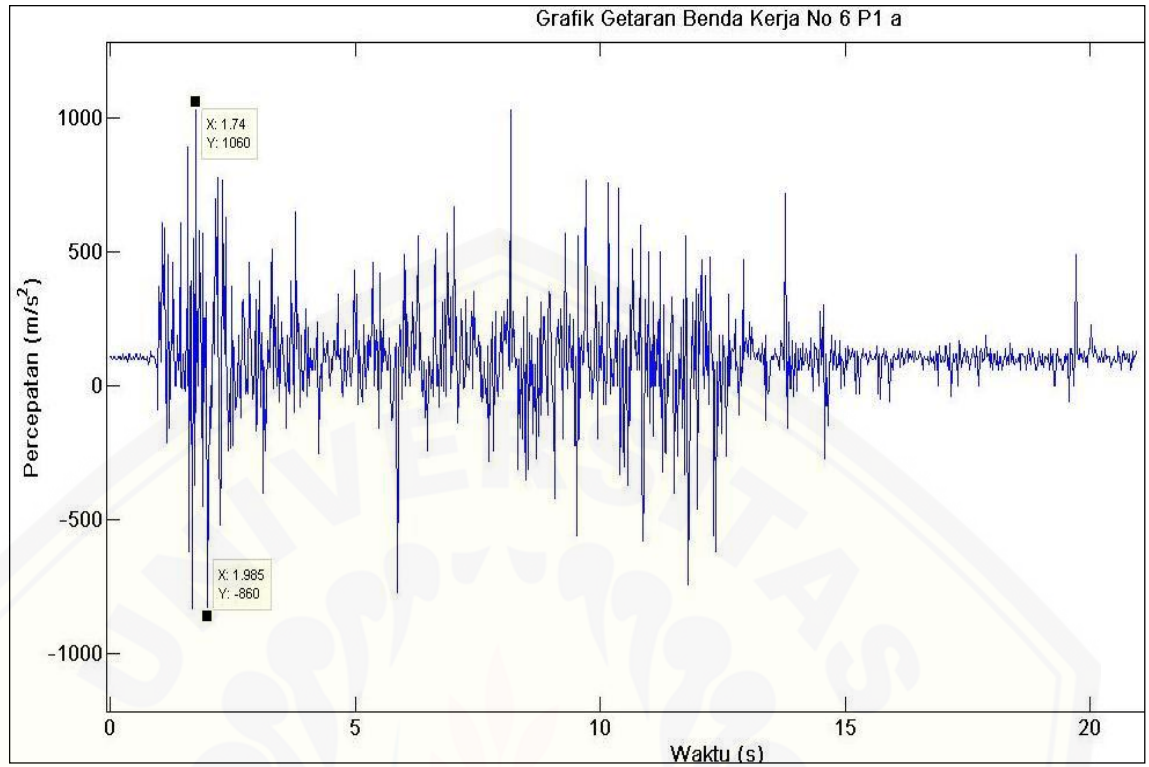


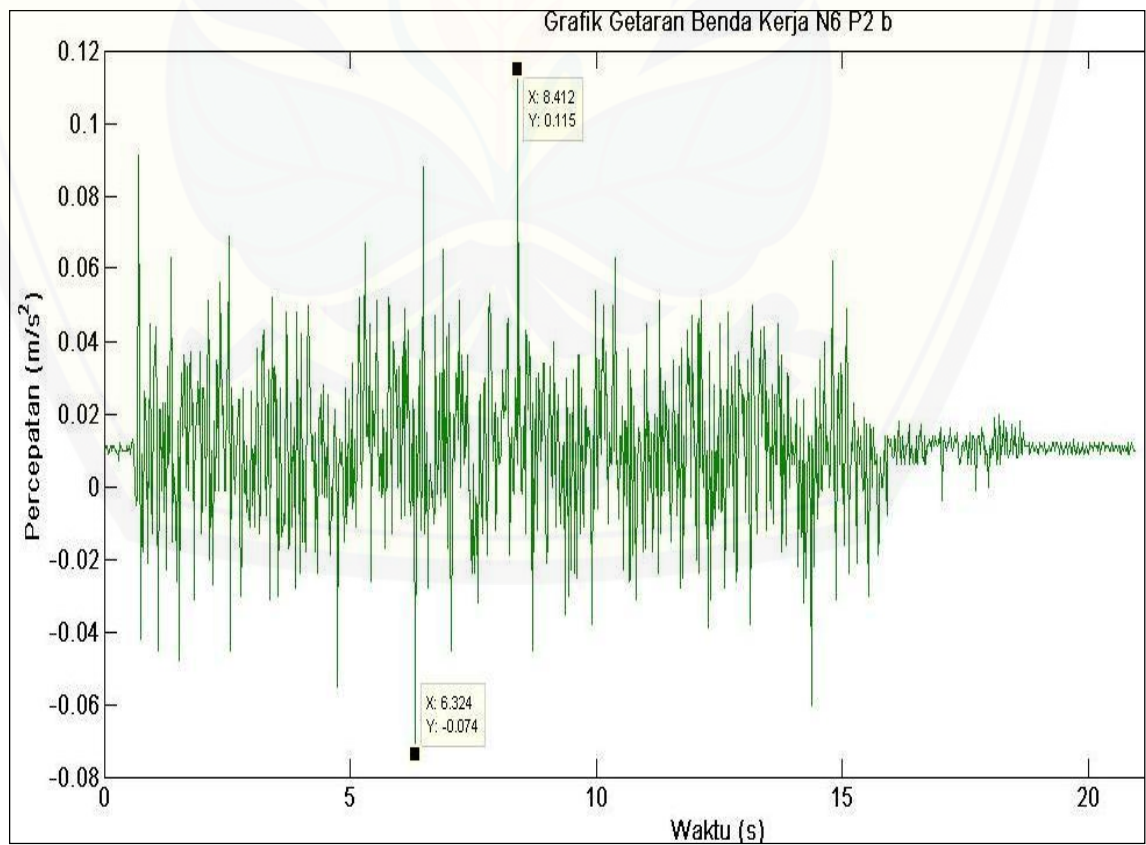
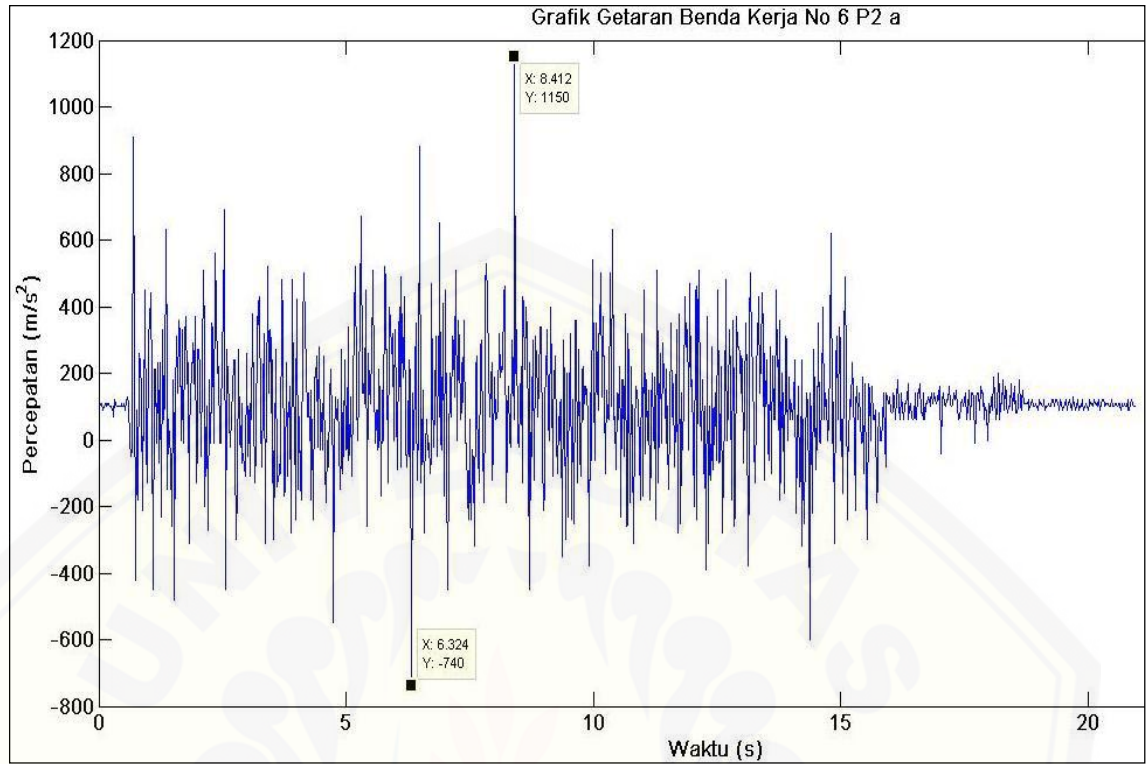


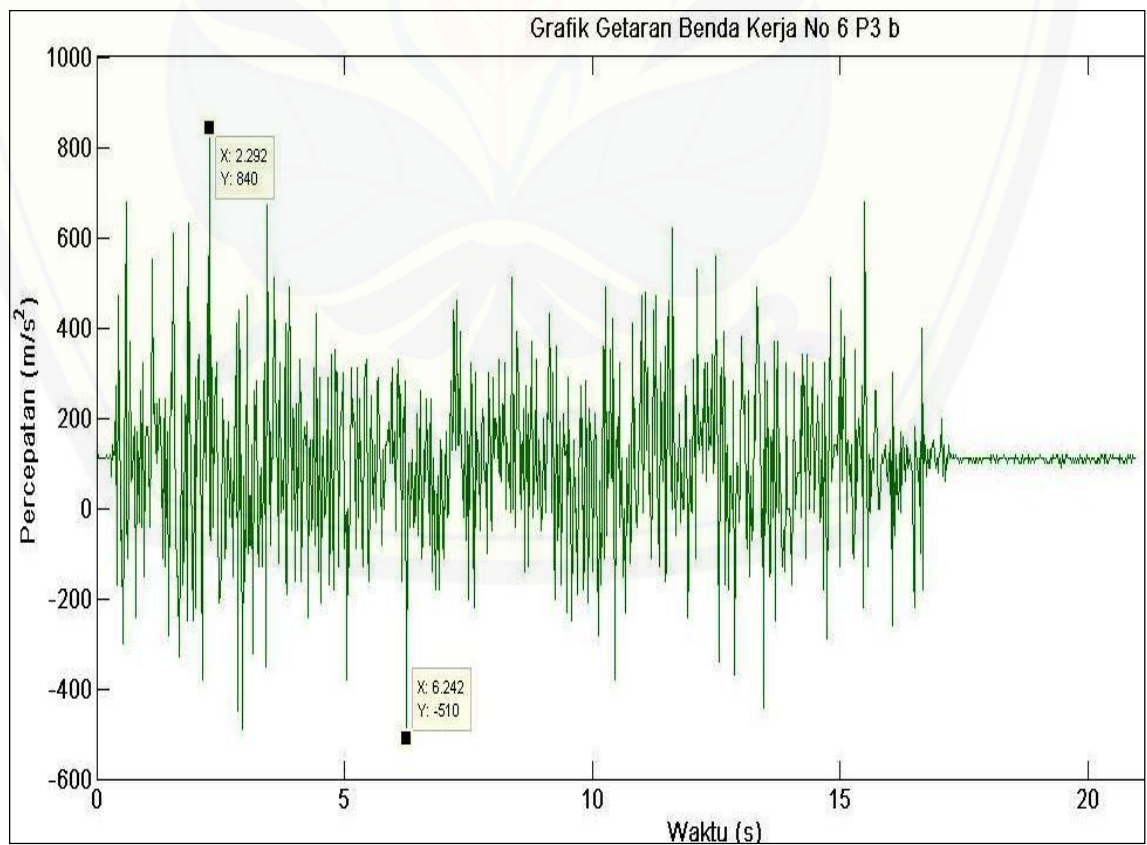
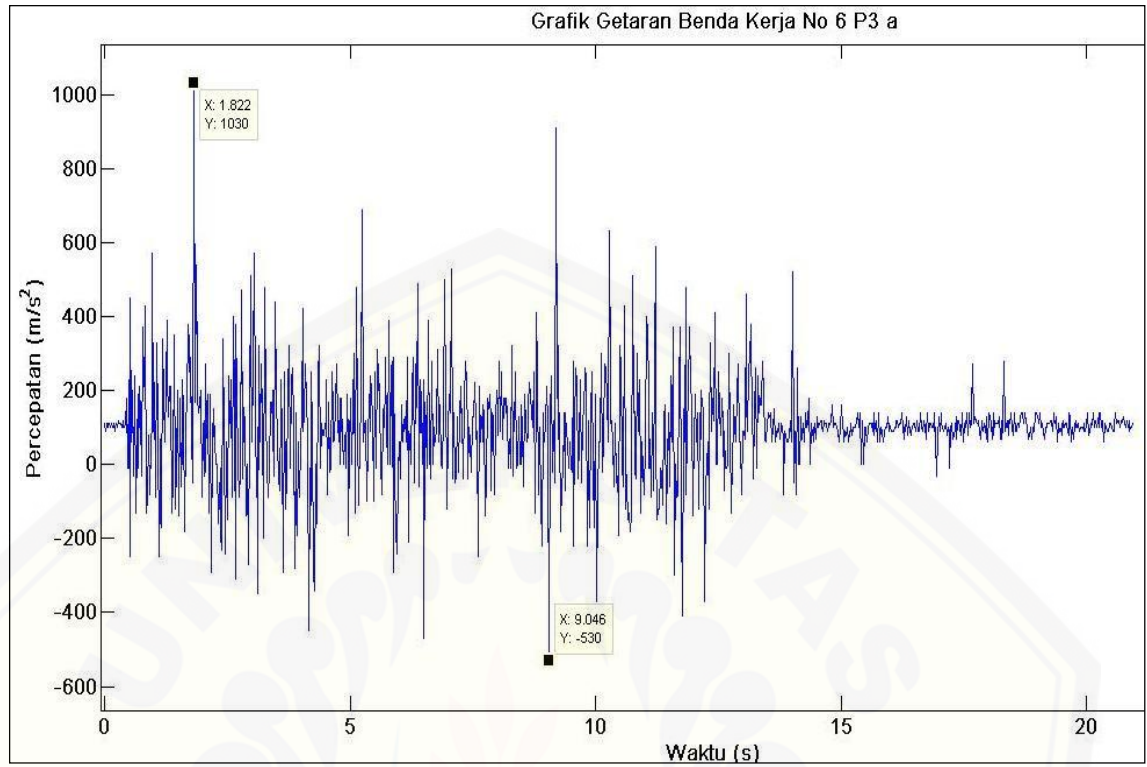


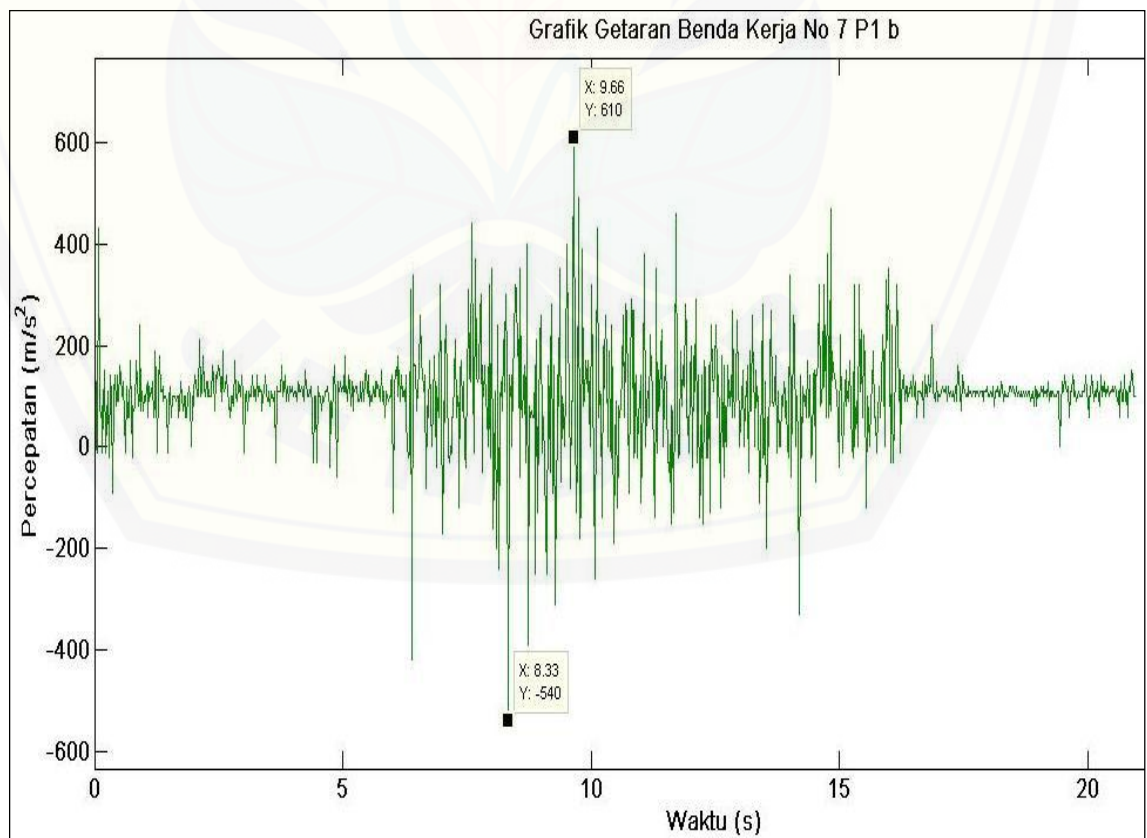
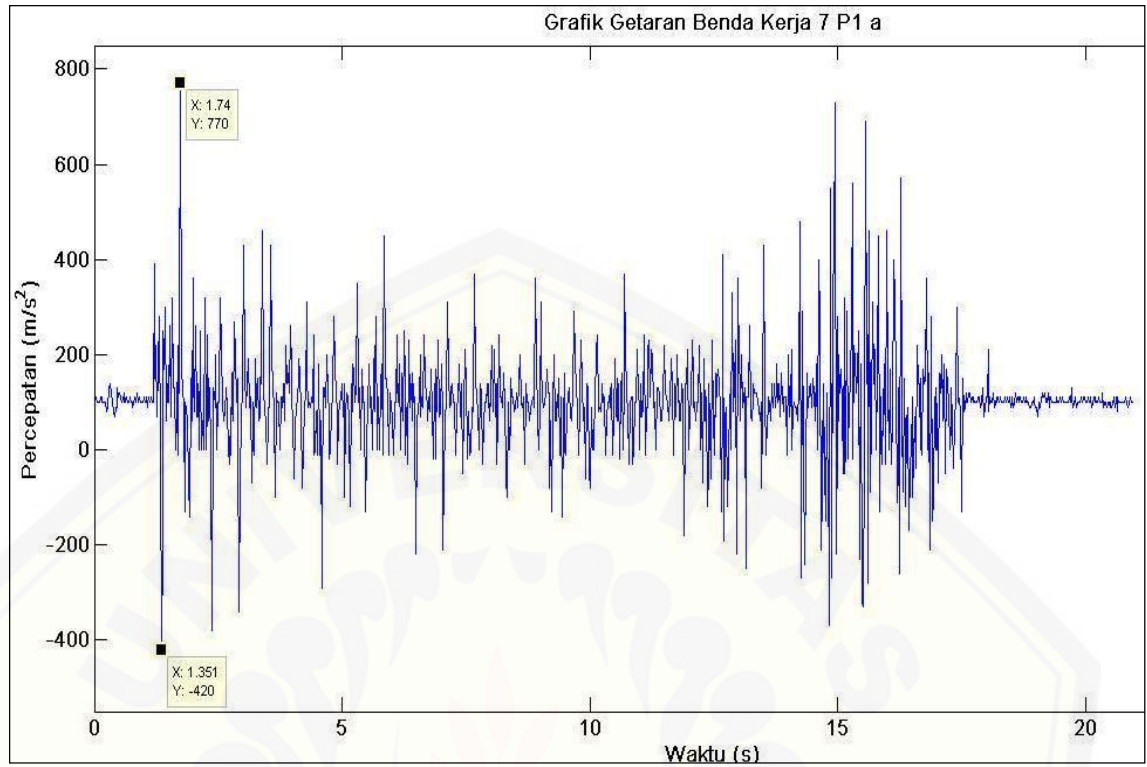


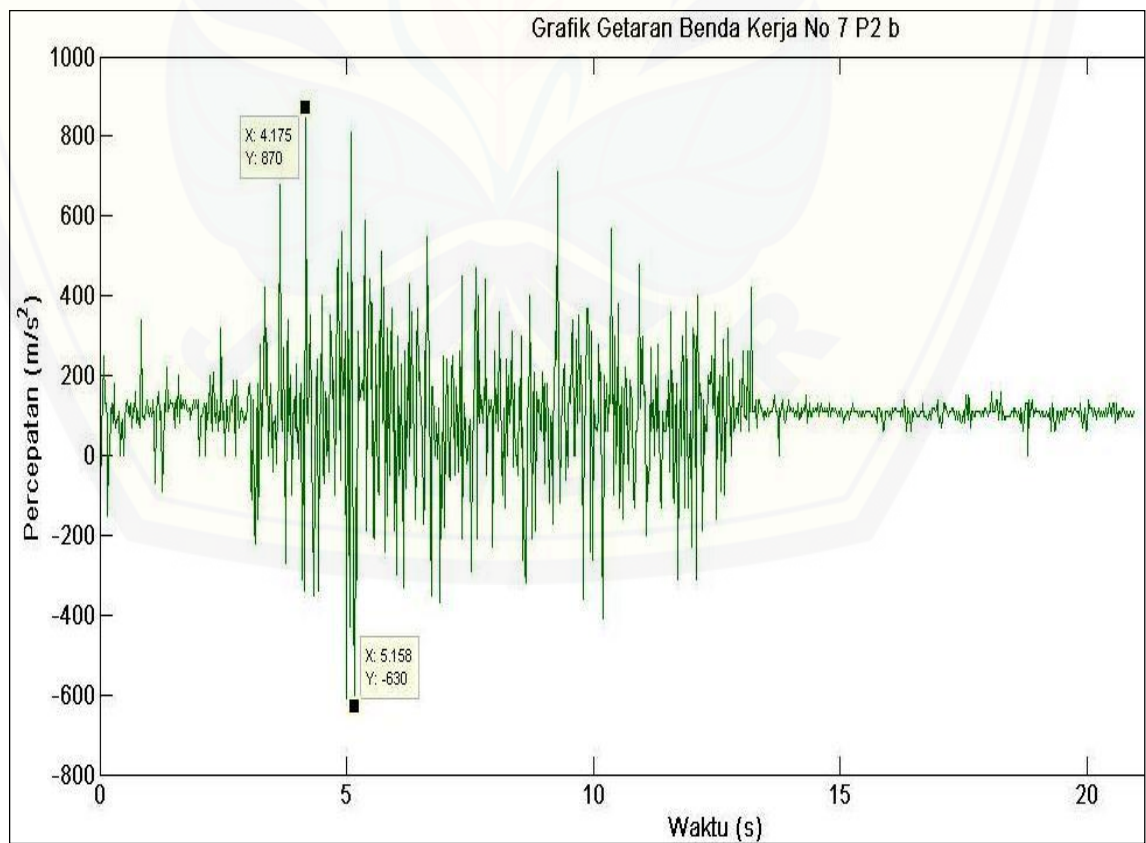
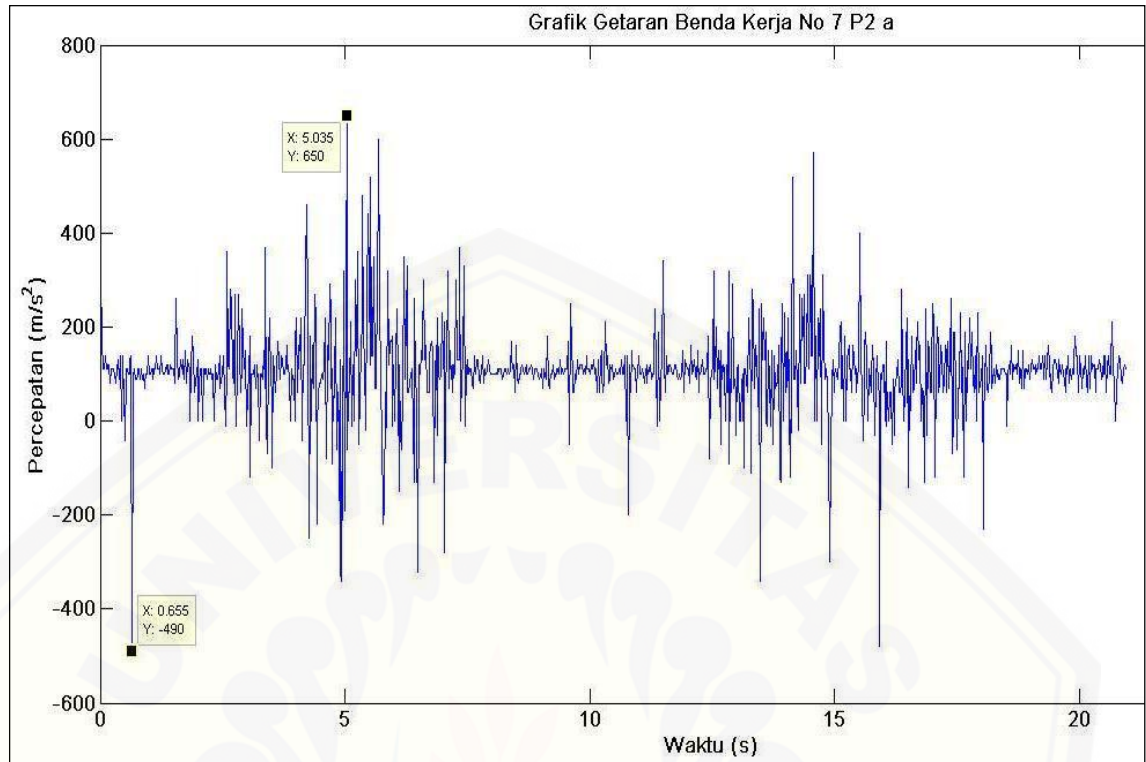


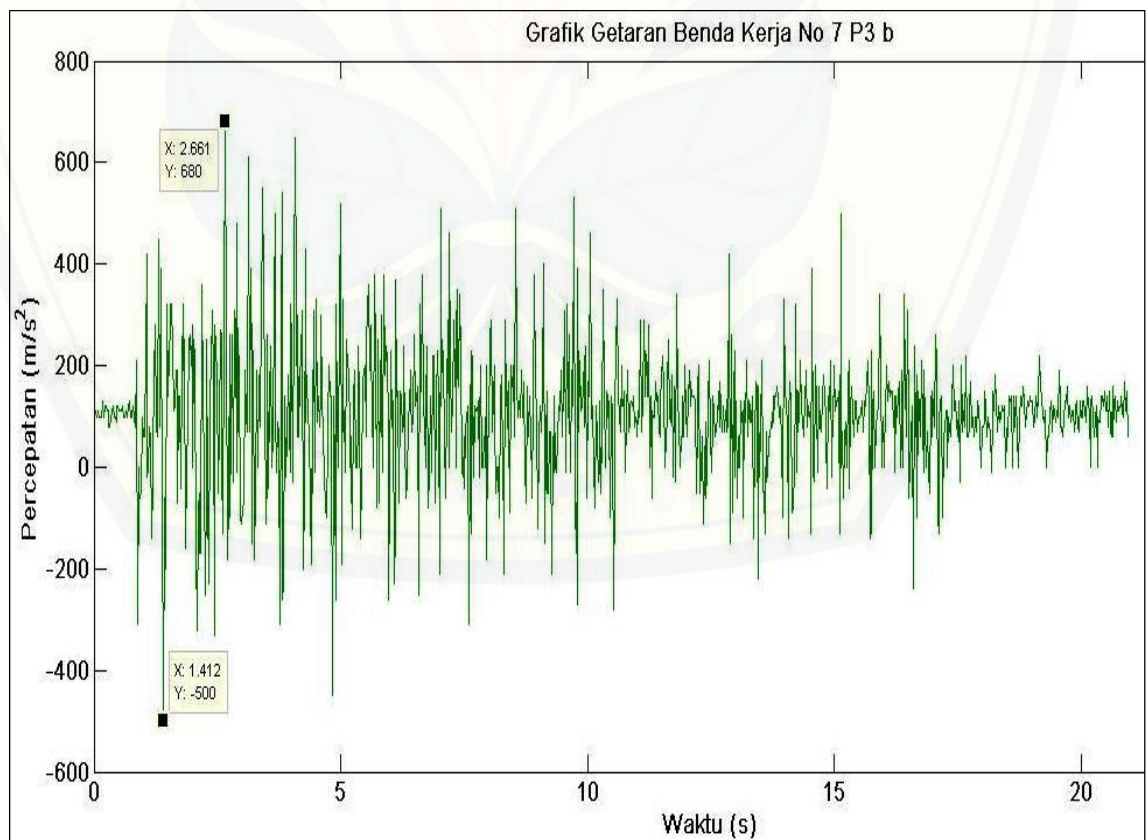
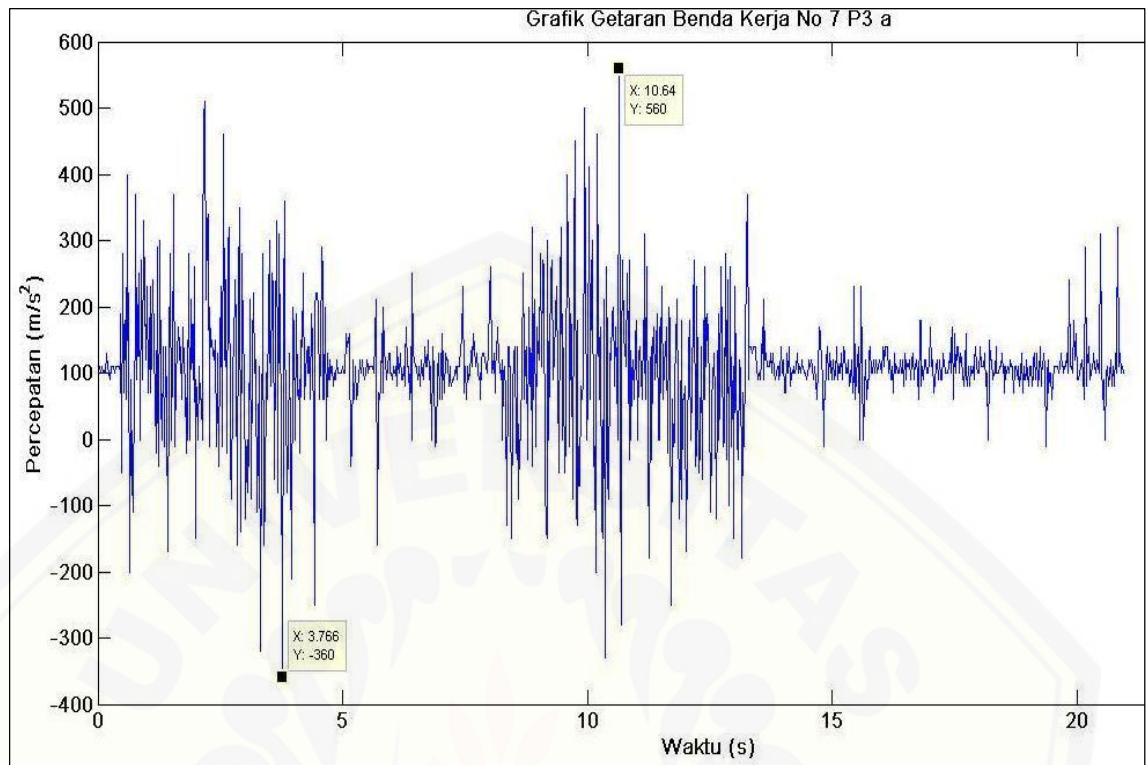


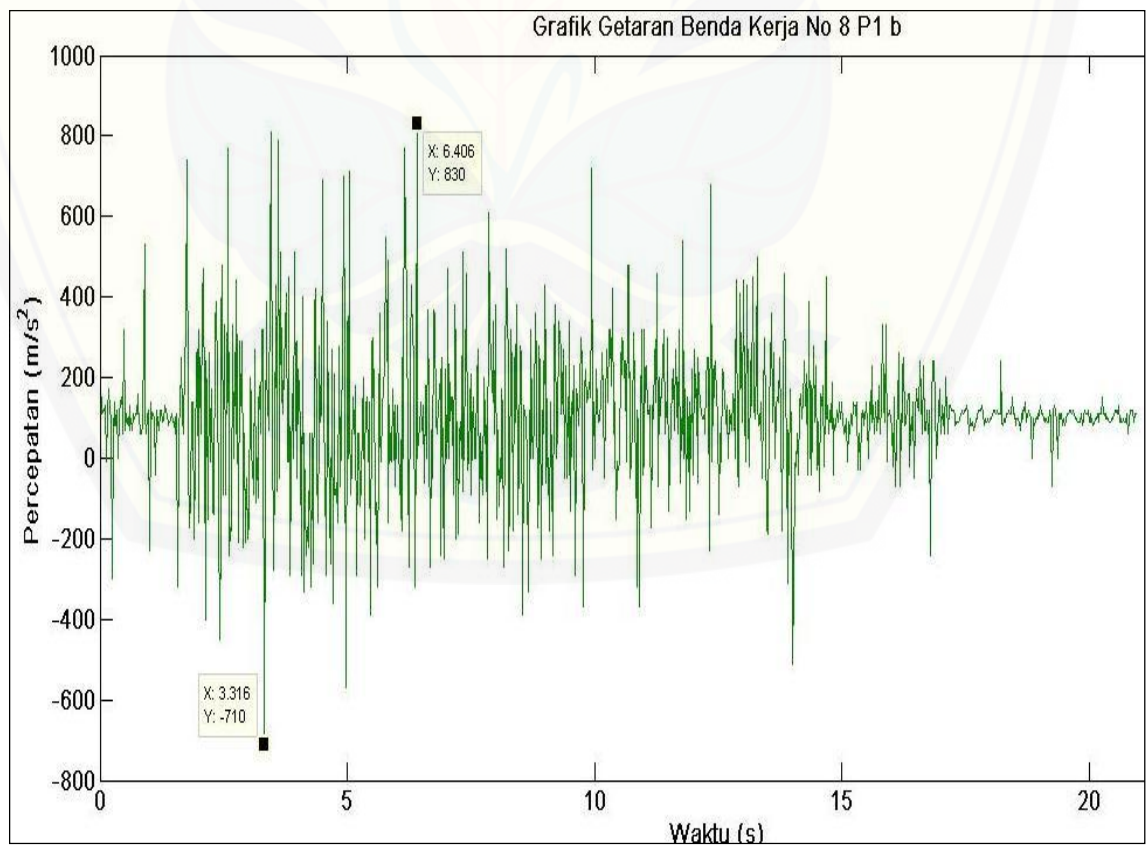
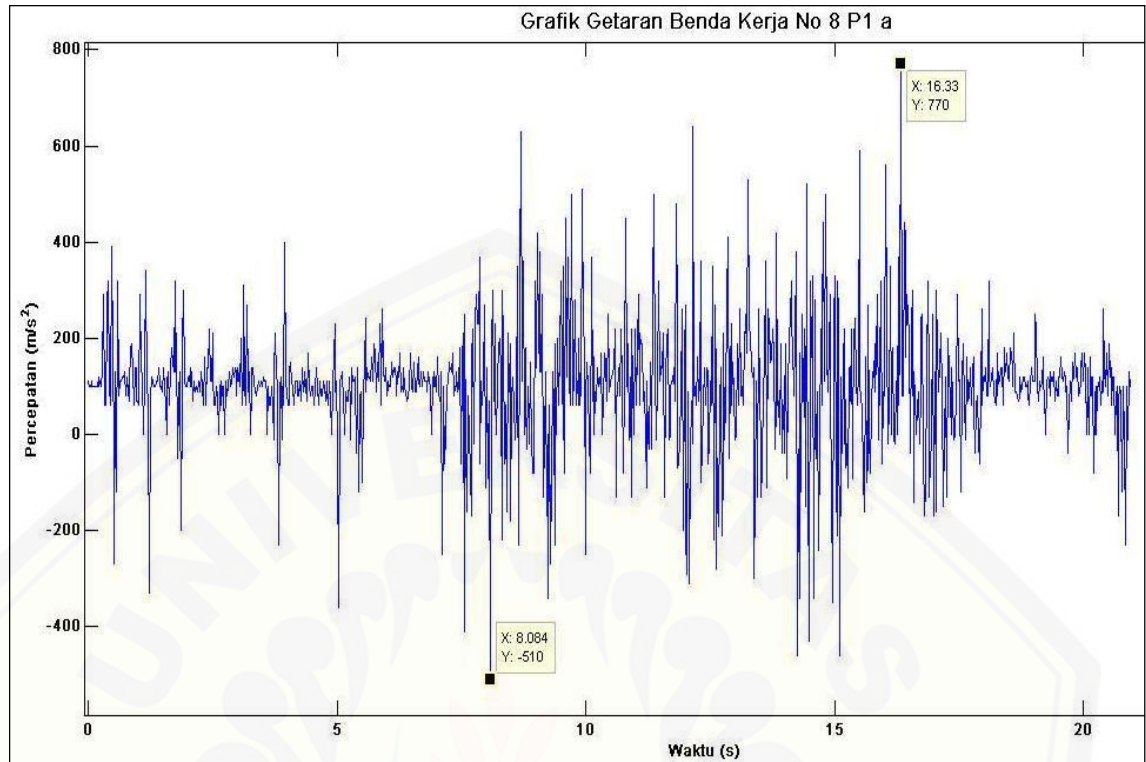


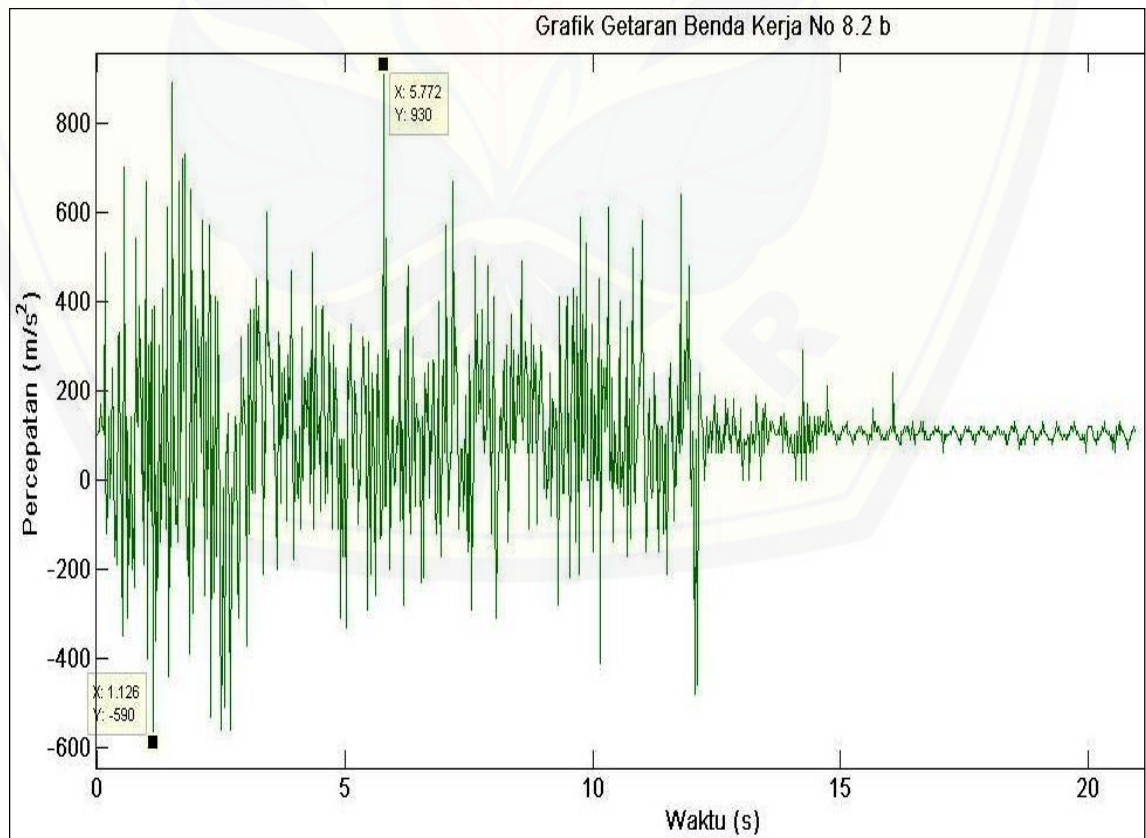
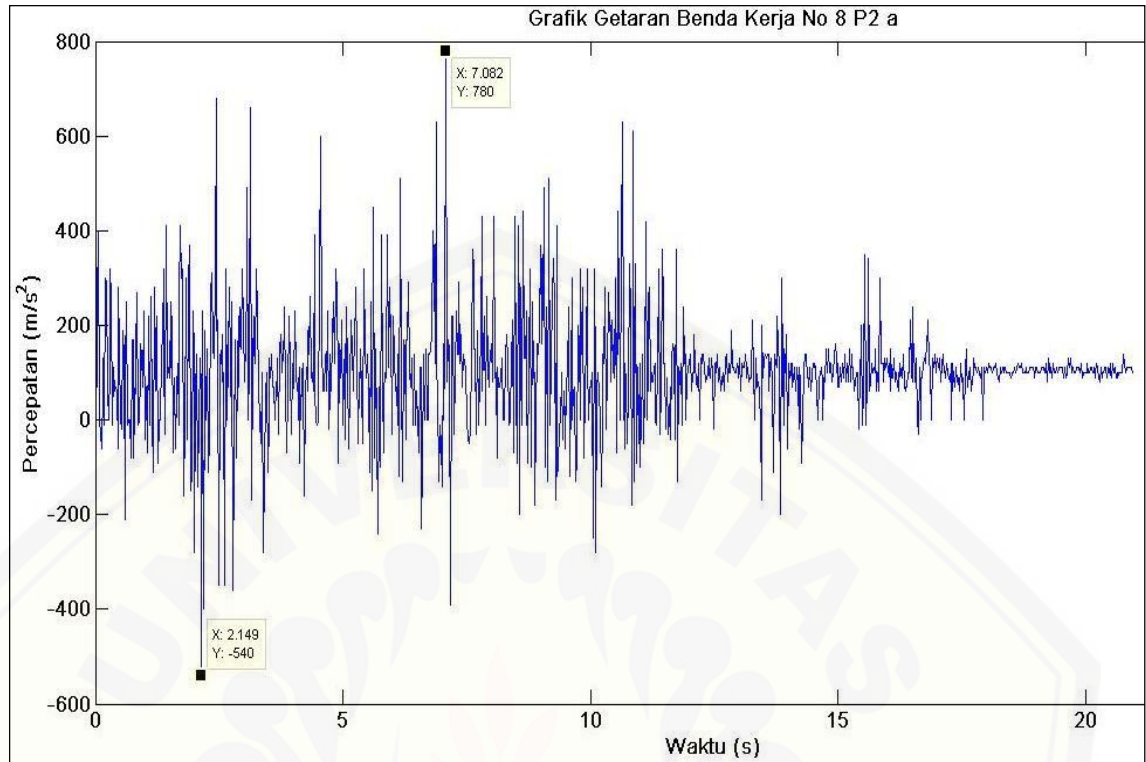


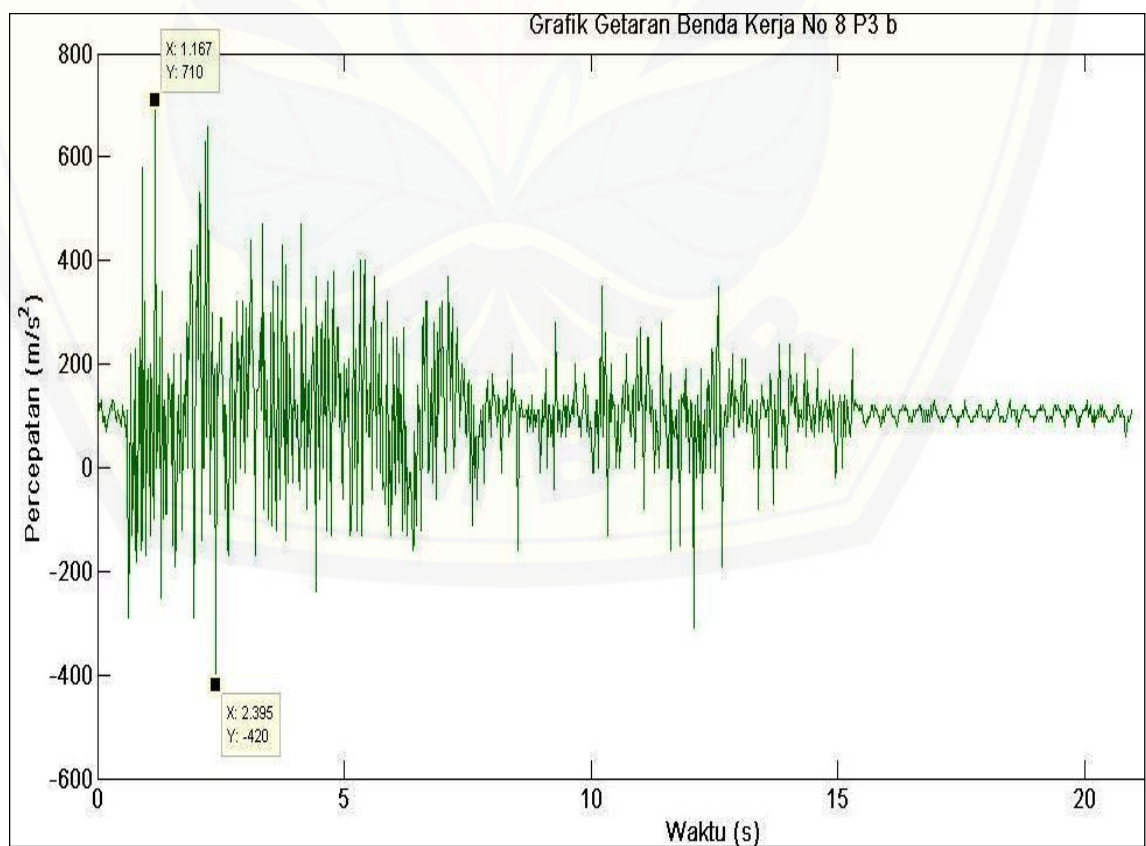
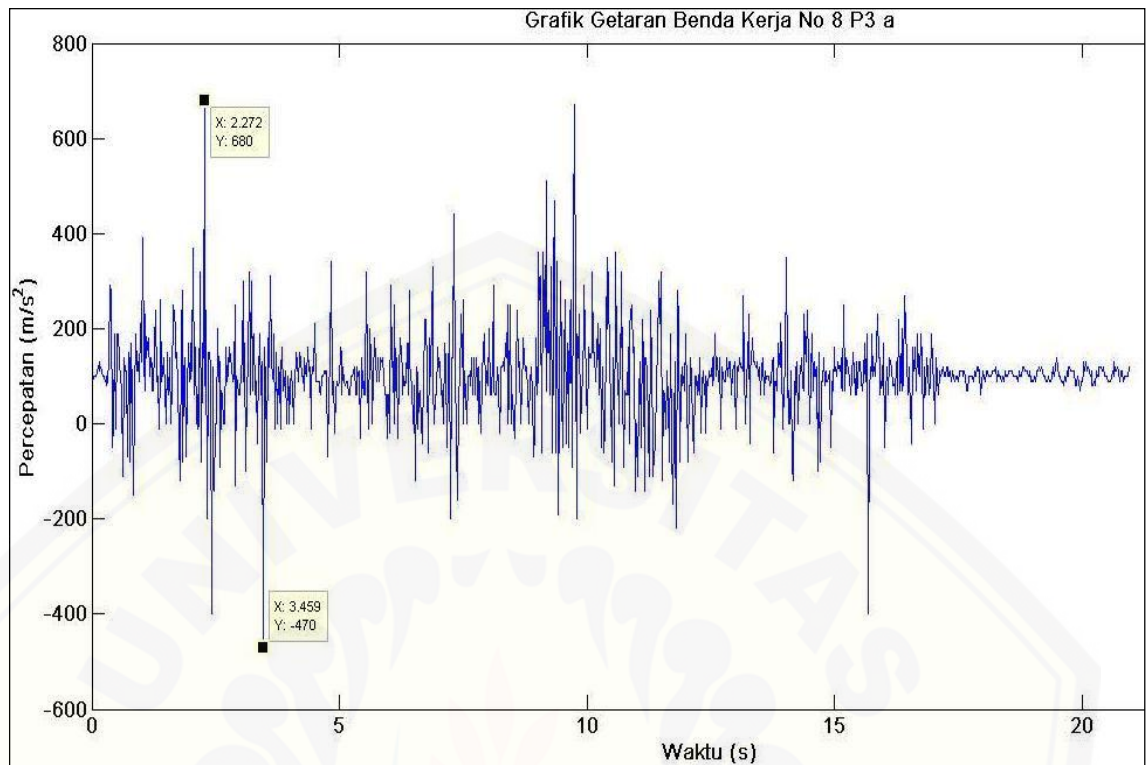


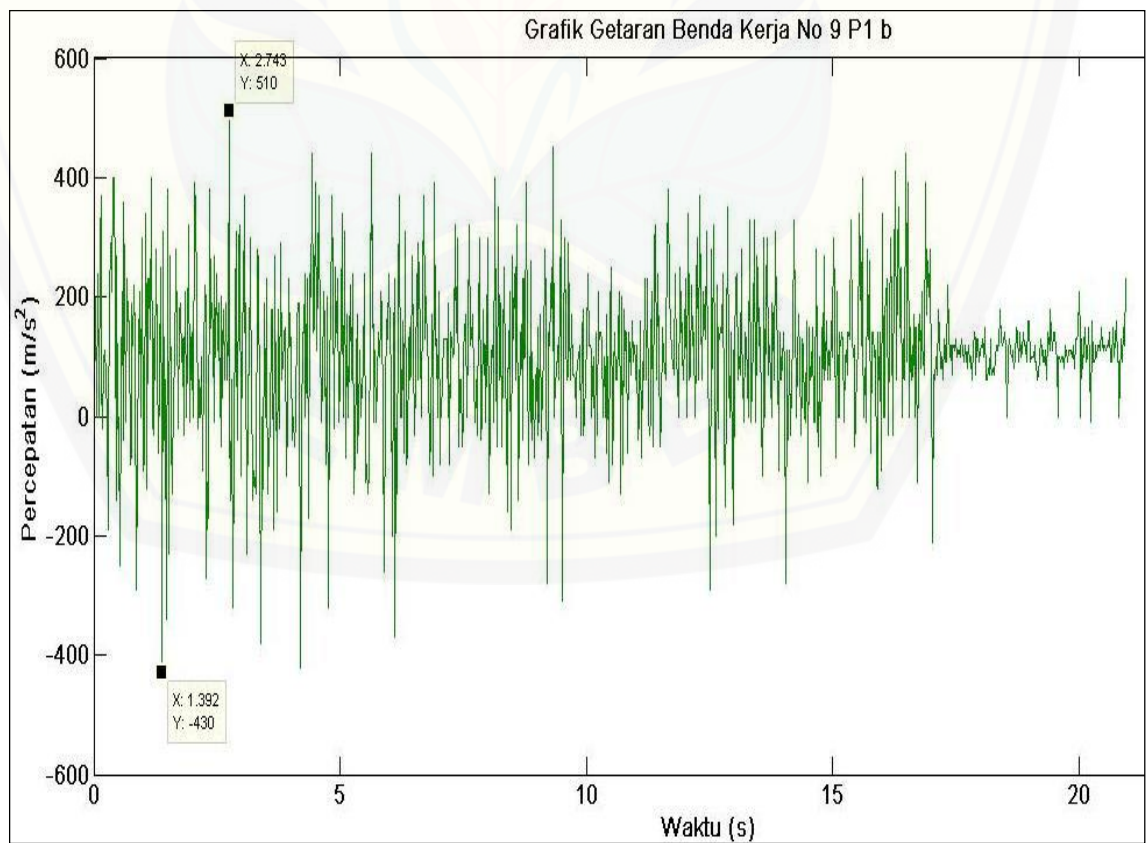
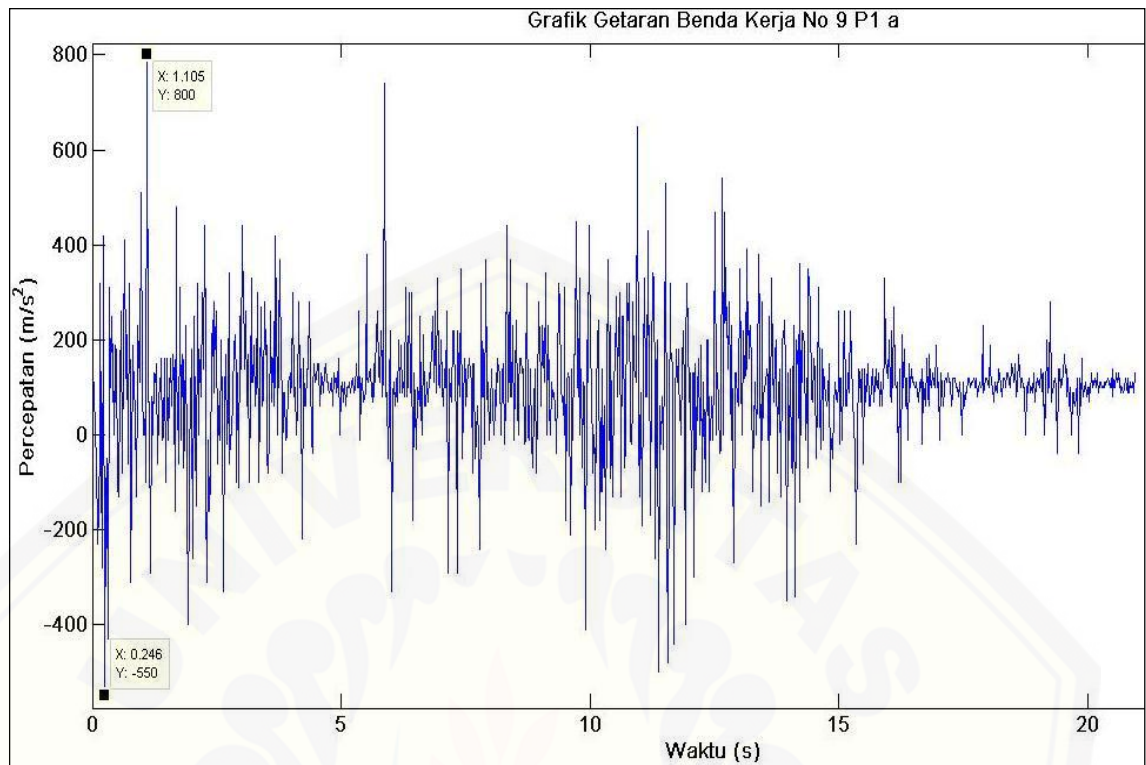


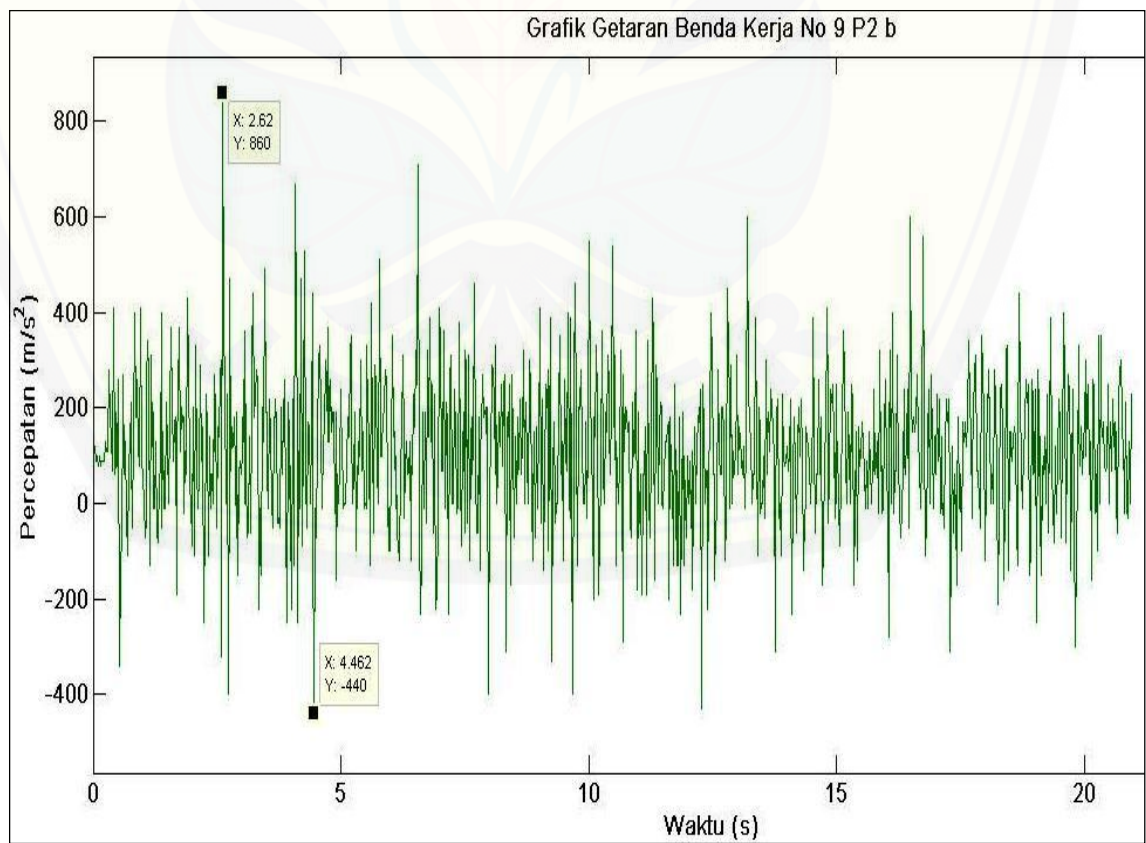
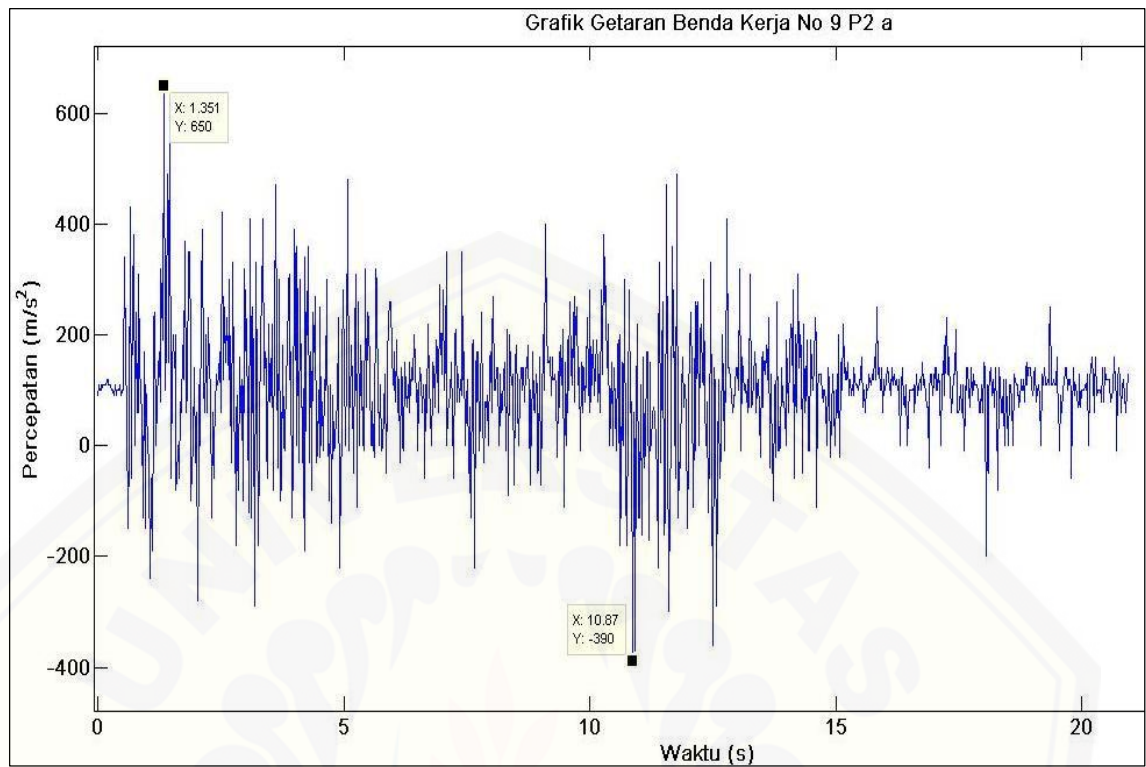


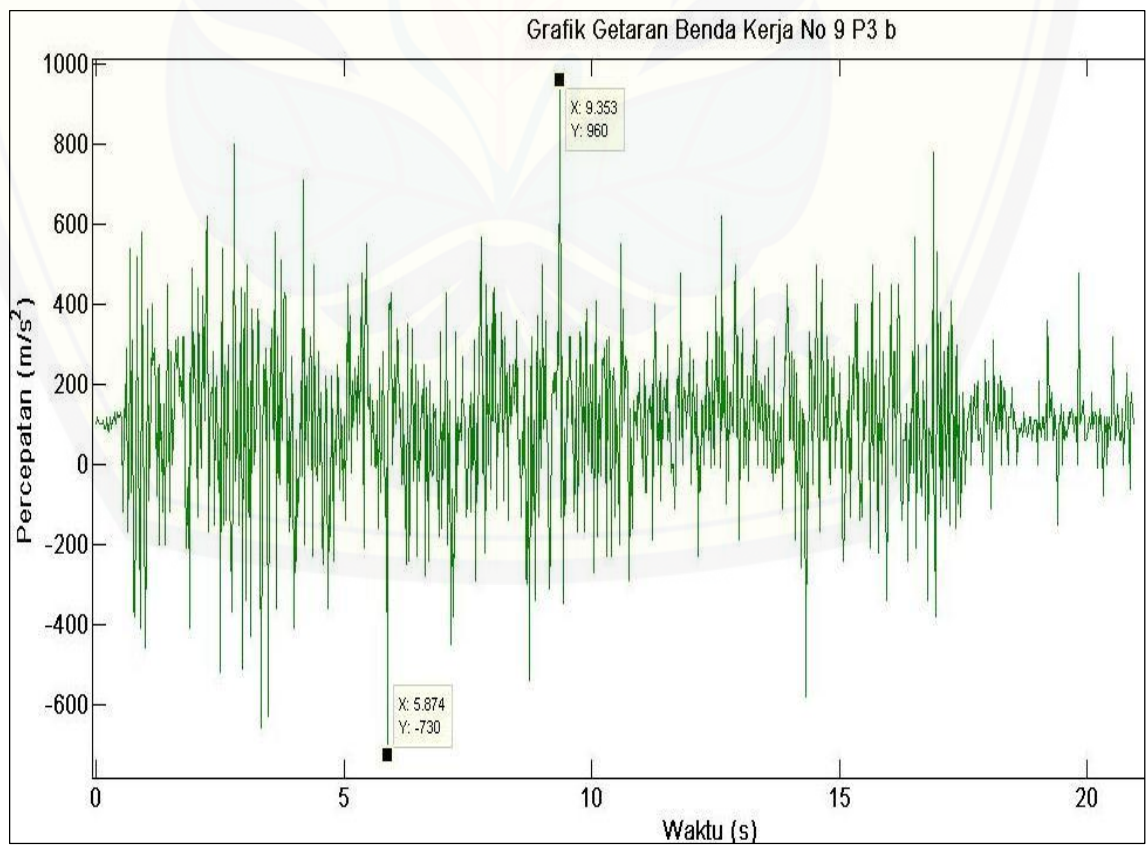
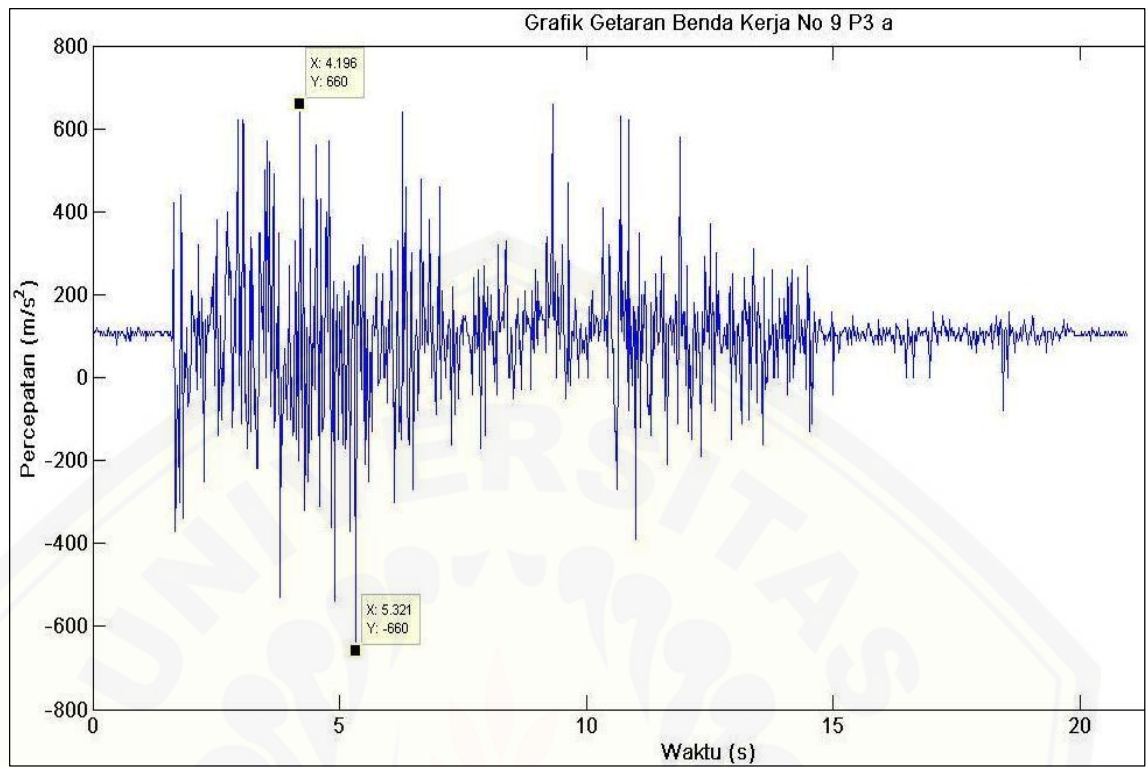








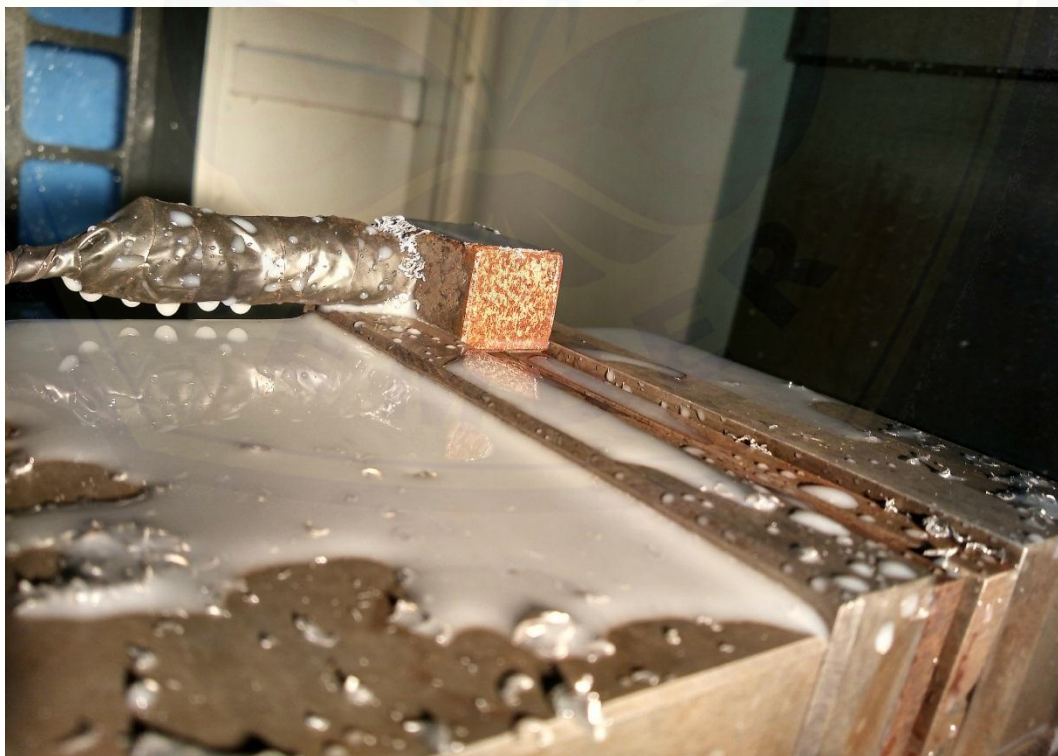




Lampiran G. Peletakan Posisi Sensor Accelerometer Pada Benda Kerja



Posisi Sensor Pada Titik a



Posisi Sensor Pada Titik b