



**ANALISIS GAYA POTONG PADA PROSES BUBUT DENGAN
MENGUNAKAN SENSOR *STRAIN GAUGE***

Skripsi

Oleh:

Ita Faidlotul Himmatil A'liyah

151910101094

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**ANALISIS GAYA POTONG PADA PROSES BUBUT DENGAN
MENGUNAKAN SENSOR *STRAIN GAUGE***

SKRIPSI

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

Oleh:

Ita Faidlotul Himmatil A'liyah

151910101094

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan dengan sepenuh hati kepada:

1. Allah SWT, puji syukur atas segala rahmat dan karunia-Nya dalam keadaan apapun.
2. Kedua orangtua tercinta Ibu Siti Kholifah dan Bapak Jalaludin Mahali, serta adik-adiku tersayang, Annisail Mustasyaroh dan M. Mufarijal Hammi, terimakasih atas pengorbanan, usaha, kasih sayang, dorongan, dan doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah dan perjuangan dalam menyelesaikan studi S1.
3. Bapak/Ibu Guru mulai dari TK, MI, MTs, MA, dan Dosen Perguruan Tinggi atas semua ilmu yang telah diberikan.
4. Bapak Ir. Santoso Mulyadi, S.T.,M.T selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Boy Arief Fachri, S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing anggota yang telah sabar membimbing dan mengoreksi kesalahan-kesalahan dalam menyelesaikan skripsi.
5. Almamater Teknik Mesin Universitas Jember tercinta.

MOTO

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan

(Q.S. Al-insyiroh ayat 5)

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah”

(B.J Habibi)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Ita Faidlotul Himmatil A'liyah

NIM: 151910101094

Menyatakan dengan sungguh sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Menggunakan Sensor *Strain Gauge*” adalah 100% hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan di institusi manapun dan bukan hasil jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran skripsi yang saya tulis.

Dengan demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia menerima sanksi akademik jika kemudian hari ternyata pernyataan ini terbukti tidak benar.

Jember, 17 Desember 2019

Yang Menyatakan,

Ita Faidlotul Himmatil A.

NIM151910101094



**ANALISIS GAYA POTONG PADA PROSES BUBUT DENGAN
MENGUNAKAN SENSOR *STRAIN GAUGE***

Oleh:

Ita Faidlotul Himmatil A'liyah

151910101094

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Boy Arief Fachri S.T.,M.T.,Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Menggunakan Sensor *Strain Gauge*” karya Ita Faidlotul Himmatil A’liyah telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Rabu, 18 Desember 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Ir. Santoso Mulyadi, S.T.,M.T.

NIP. 197002281997021001

Ir. Boy Arief Fachri, S.T.,M.T.,Ph.D.

NIP. 197409011999031002

Tim Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T.

NIP. 196008121998021001

Dr.Ir. Agus Triono, S.T.,M.T.

NIP. 19700802002121001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Analisis Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Menggunakan Sensor Strain Gauge; Ita Faidlotul Himmatil A'liyah, 151910101094; 2019: 78 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Proses bubut merupakan salah satu proses pembuatan bagian mesin dalam industri manufaktur. Persaingan didunia meningkat para produsen akan mengembangkan kualitas produk, pengurangan inspeksi, dan mengurangi total biaya permesinan. Besar gaya potong dalam proses pembubutan dipengaruhi oleh beberapa parameter. Gaya potong tersebut dapat memengaruhi kekasaran permukaan. Oleh sebab itu, pengukuran gaya potong dalam proses permesinan sangat dibutuhkan. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan metode pengukuran secara langsung gaya potong dengan menggunakan sensor *strain gauge (load cell)*. Pengukuran gaya potong pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter permesinan terhadap gaya potong.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan desain eksperimen taguchi $L9(3^4)$ untuk mengetahui pengaruh parameter permesinan terhadap gaya potong pada proses bubut. Alat ukur gaya potong yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor *strain gauge (load cell)* yang terhubung dengan pahat. Benda kerja yang digunakan pada penelitian ini yaitu Aluminium 6061 berdiameter 15 mm dengan panjang 150 mm. Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu putaran spindle (140 rpm, 215 rpm, dan 330 rpm), *feeding* (0,043 mm/r , 0,065 mm/r , dan 0,081 mm/r), dan kedalaman potong (0,2 mm, 0,4 mm, dan 0,6 mm).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter kedalaman potong merupakan parameter paling signifikan dengan nilai persentase kontribusi sebesar 60,06%. Parameter putaran spindle dan *feeding* pengaruhnya tidak signifikan. Persentase kontribusi parameter putaran spindle sebesar 28,25% sedangkan *feeding* memiliki persentase kontribusi sebesar 0,07%. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu nilai kedalaman potong yang semakin besar, gaya potong yang dihasilkan semakin besar.

SUMMARY

Cutting Force Analysis on Turning Process using Strain Gauge Sensor; Ita Faidlotul Himmatil A'liyah, 151910101094; 2019; 78 Pages; Mechanical Engineering Departement, Faculty of Engineering, University of Jember.

Turning Process is part of machine making in manufacture industry. The Competition in the industry world is rising and machine manufacturers will develop the quality of products, reduce inspections and the cost. The amount of cutting force of turning machine influence the surface roughness. Thus, cutting force measurement is needed in machine manufacturing. This research tries to develop measurement method through cutting force, using strain gauge sensor (load cell). The measurement of cutting force in this research is to know the influence parameter of machine towards cutting force.

The research used experimental method with design experiment taguchi L9(3⁴) to know the influence of machine parameters to cutting force in turning process. The measurement tool is strain guage sensor (load cell) connected to cutting tool. The workspace is alluminium 6061 with 15 mm diameter and 150 mm lenght. The parameters for this research are spindle speed (140 rpm, 215 rpm, and 330 rpm), feeding (0,043 mm/r , 0,065 mm/r , and 0,081 mm/r), and depth of cut (0,2 mm, 0,4 mm, and 0,6 mm).

The result shows that depth of cut parameter has the most significant, witch the contribution percentage is 60,06%. Spindle speed and feeding parameter has insignificant influence. The contribution percentage of spindle speed is 28,25% while the feeding has 0,07% contribution percentage. The conclusion of the research is that the bigger number of depth of cut, the bigger cutting force it will have.

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul “Analisis Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Menggunakan Sensor Strain Gauge” dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ir. Santoso Mulyadi, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ir. Boy Arief Fachri, S.T.,M.T.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian pada skripsi ini,
2. Ir. Dwi Djumhariyanto, M.T selaku Dosen penguji I, dan Dr. Ir. Agus Triono, S.T.,M.T selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran bersifat membangun untuk penyusunan skripsi ini,
3. Kedua orang tua saya, Ibu Siti Kholifah dan Bapak Jalaludin Mahali yang selalu memberikan dukungan dan do'a dalam setiap langkah penulis,
4. Keluarga Besar Tim Mobil Listrik TITEN yang telah memberikan motivasi dan dukungan,
5. Tim Riset Hore (Muh. Muklisin dan Salman Al Fariz Siregar) yang selalu sedia membantu dan mendukung penyusunan skripsi ini.
6. Danis Aprilia N yang telah mendukung dan menyemangati selama penyusunan skripsi,
7. Saudara seperjuangan Teknik Mesin 2015 Universitas Jember yang selalu memotivasi dan memberi semangat,

Demikian skripsi ini disusun, penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan wawasan serta manfaat bagi pembaca.

Jember, 17 Desember 2019

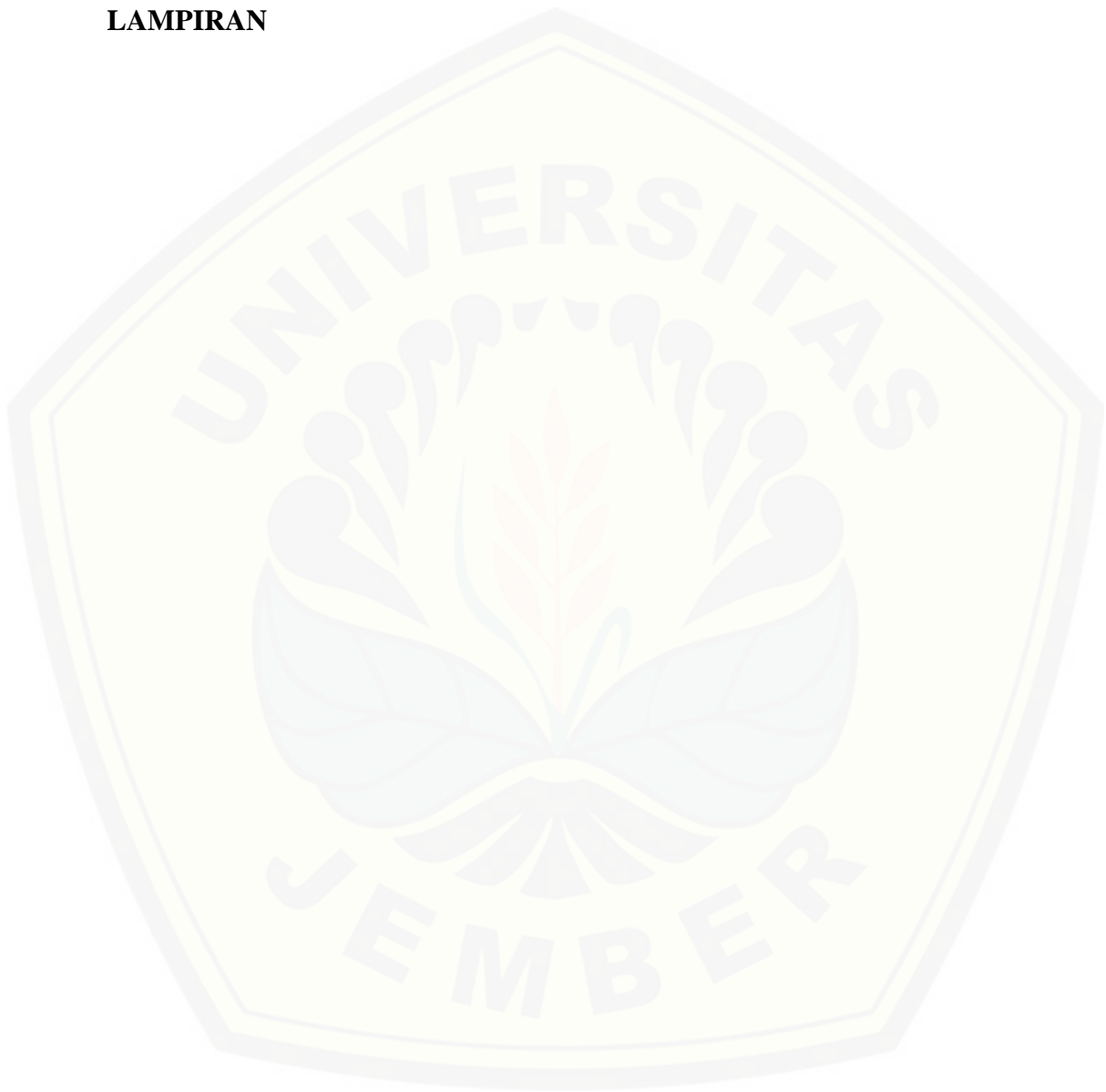
Ita Faidlotul Himmatil A

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	<i>i</i>
HALAMAN JUDUL	<i>ii</i>
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	<i>iii</i>
HALAMAN MOTO	<i>iv</i>
HALAMAN PERNYATAAN.....	<i>v</i>
HALAMAN PEMBIMBING.....	<i>vi</i>
HALAMAN PENGESAHAN	<i>vii</i>
RINGKASAN	<i>viii</i>
SUMMARY	<i>ix</i>
PRAKATA.....	<i>x</i>
DAFTAR ISI.....	<i>xiii</i>
DAFTAR GAMBAR.....	<i>xiv</i>
DAFTAR TABEL	<i>xv</i>
DAFTAR LAMPIRAN	<i>xvi</i>
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.4.1 Tujuan	3
1.4.2 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Proses Bubut.....	4
2.2 Parameter Mesin Bubut	5
2.3 Gaya-Gaya Pemotongan.....	7
2.4 Strain Gauge.....	9
2.4.1 Metal Strain Gauge.....	10

2.4.2	<i>Semiconductor Strain Gauges</i>	11
2.4.3	<i>Vapor - Deposid (Thin-Film) Strain Gauge</i>	11
2.4.4	<i>Capasitive Strain Gauge</i>	12
2.4.5	<i>Piezoelectric Strain Gauge</i>	12
2.4.6	<i>Photoelastic Strain Gauge</i>	12
2.4.7	<i>Mechanical Strain Gauge</i>	12
2.5	Jembatan Wheatstone	13
2.6	Ampifier	14
2.7	Analysis of Varians (ANOVA)	15
2.7	Hipotesis	15
BAB 3	Metodologi Penelitian	16
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	16
3.2.1	Alat Penelitian	16
3.2.2	Bahan Penelitian	16
3.3	Skema Kerja Alat	16
3.4	Prosedur Penelitian	17
3.5	Pelaksanaan Penelitian	18
3.5.1	Variabel Penelitian	18
3.5.2	Menentukan Faktor Kontrol dan Jumlah <i>Level</i>	18
3.5.3	Perhitungan Derajat Kebebasan	19
3.5.4	Pengambilan Data	20
3.6	Diagram Alir Penelitian	22
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Data Hasil Eksperimen	23
4.1.1	Proses Verifikasi Sensor <i>Strain Gauge</i>	23
4.1.2	Hasil Data Respon	25
4.1.3	Data Hasil Pengujian Gaya Potong	26
4.2	Analysis of Varian (ANOVA)	28
4.3	Analisa Pengaruh Parameter	34
4.4	Prediksi Respon Optimum	36

BAB 5 PENUTUP	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses-proses permesinan dengan mesin bubut	4
Gambar 2.2 Parameter mesin bubut	6
Gambar 2.3 Gaya-gaya pemotongan pada proses bubut	7
Gambar 2.4 Sudut-sudut gaya pada pemotongan orthogonal	8
Gambar 2.5 Desain pertama <i>strain gauge</i> Ruge	10
Gambar 2.6 <i>Strain gauge</i> dengan kawat logam	10
Gambar 2.7 <i>Strain gauge</i> dengan logam pelapis etsa	11
Gambar 2.8 Struktur <i>semiconductor strain gauge</i>	11
Gambar 2.9 <i>Vapor - Deposid (Thin-Film) Strain Gauge</i>	12
Gambar 2.10 <i>Mechanical extensometer</i>	13
Gambar 2.11 Rangkaian jembatan <i>wheatstone</i>	13
Gambar 2.12 Simbol operasi <i>amplifier</i>	14
Gambar 3.1 Diagram proses kerja alat uji gaya potong	17
Gambar 3.2 Skema alat uji	17
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4.1 Proses verifikasi sensor <i>strain gauge</i>	23
Gambar 4.2 Linieritas pada verifikasi data sensor <i>strain gauge</i>	24
Gambar 4.3 Contoh respon gaya potong pada variasi ke-1,2, dan 3.....	25
Gambar 4.4 Persentase kontribusi dari setiap parameter permesinan terhadap gaya potong	32
Gambar 4.5 Pengaruh parameter permesinan terhadap S/N Rasio dari gaya potong.....	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian bubut	19
Tabel 3.2 Jumlah <i>level</i> dan nilai <i>level</i> faktor dalam penelitian	19
Tabel 3.3 Derajat kebebasan total pada penelitian	19
Tabel 3.4 Matriks orthogonal L9(3 ⁴)	20
Tabel 3.5 Tabel pengujian gaya potong pada proses bubut	21
Tabel 4.1 Data verifikasi sensor <i>strain gauge</i>	24
Tabel 4.2 Data hasil pengujian gaya potong	26
Tabel 4.3 Data hasil perhitungan S/N rasio dari gaya potong.....	27
Tabel 4.4 Rata-rata nilai S/N rasio setiap <i>level</i> parameter permesinan.....	27
Tabel 4.5 Kombinasi parameter respon optimum.....	28
Tabel 4.6 Hasil ANOVA dengan nilai S/N rasio untuk gaya potong	30
Tabel 4.7 Hasil perhitungan persentase kontribusi	31
Tabel 4.8 Hasil uji Hipotesa dengan distribusi F	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Tabel Hasil Pengujian Gaya Potong.....	41
Lampiran 6.2 Perhitungan Rata-Rata Setiap Level Parameter Permesinan...	42
Lampiran 6.3 Perhitungan persentase kontribusi dari setiap parameter.....	43
Lampiran 6.4 Analisis ANOVA Gaya Potong dengan Minitab.....	45
Lampiran 6.5 Tabel Distribusi F Probabilitas 0,05.....	46
Lampiran 6.6 Data Pengujian.....	47
Lampiran 6.7 Data Hasil Respon pada setiap variasi di percobaan pertama..	74
Lampiran 6.8 Alat dan Bahan.....	75
Lampiran 6.9 Proses Pengambilan Data GayaPotong.....	78

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses bubut merupakan salah satu proses paling penting dalam pembuatan bagian-bagian mesin dalam industri manufaktur. Semakin meningkatnya persaingan dalam pasar dunia membuat produsen secara konsisten mengembangkan untuk kualitas produk, produktivitas, pengurangan kegiatan inspeksi, dan mengurangi total biaya permesinan. Salah satu kegiatan pengembangan yaitu dengan menganalisis variabel-variabel dalam proses permesinan.

Pada proses pembubutan dibutuhkan gaya potong untuk dapat memotong material. Besarnya gaya potong dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya kecepatan pemotongan, rata-rata pemakanan, kedalaman pemakanan, kedalaman potong, geometri pahat/ alat potong, jenis material benda kerja, dan cara pendinginan benda kerja, sehingga gaya potong mempengaruhi kekasaran permukaan, konsumsi energi, umur pahat, dan lain-lain. Oleh sebab itu, pengukuran gaya potong dalam proses permesinan sangat dibutuhkan.

Pengukuran gaya potong secara umum dibagi menjadi dua yaitu pengukuran tidak langsung dan pengukuran langsung. Pengukuran tidak langsung seperti dengan mendeteksi getaran pahat, motor, pengamatan *displacement fiber* secara optik, dan lain-lain. Metode pengukuran secara tidak langsung lebih sederhana tetapi akurasinya rendah. Sedangkan pengukuran secara langsung, akurasi pengukuran lebih tinggi dengan menggunakan sensor-sensor yang dibutuhkan. Sensor-sensor tersebut memiliki prinsip kerja yang berbeda-beda seperti resistansi efek regangan (*strain*), efek piezoelektrik, dan efek induksi. (Zhao, 2018)

Rudi (2015), melakukan analisis gaya potong dengan menggunakan tang ampere. Hasil pengukuran didapatkan bahwa putaran spindle yang tinggi gaya potong akan menurun dengan hubung $F_v = -802,4n + 2840,4$. Khairul (2016) melakukan perancangan dinamometer untuk pengukuran gaya potong. Gaya potong yang terbaca dengan menggunakan dinamometer ini yaitu gaya aksial dan

gaya tangensial dengan penyimpangan maksimal untuk gaya aksial 2 milivolt dan gaya tangensial maksimal 1 milivolt. Zhao (2016), melakukan desain dan pengembangan alat ukur dengan menggunakan sensor *strain gauge* semi-konduktif. Hasil penelitiannya yaitu frekuensi natural yang dihasilkan dari sensor yaitu 771 Hz dengan putaran spindle 11,565 rpm, pengukuran dengan menggunakan sensor *strain gauge* semi-konduktif sangat memungkinkan untuk menganalisa gaya yang dinamis. Xie (2017), melakukan pengukuran gaya potong proses *milling* dan *drilling* dengan menggunakan dinamometer. Hasil penelitiannya bahwa alat ukur yang digunakan mampu mengukur gaya potong secara tepat waktu, dengan error kurang dari 10%. Zhao (2018), melakukan pengembangan sensor untuk gaya potong dengan menggunakan MEMS (*micro-electro-mechanical-system*) *strain gauge*. Hasil penelitiannya yaitu sensitivitas sensor yang digunakan 27-30 lebih baik dari sebelumnya, dan akurasi pengukuran gaya potong meningkat.

Pada penelitian ini dilakukan pengembangan metode pengukuran secara langsung gaya potong dengan menggunakan sensor *strain gauge (load cell)*. Pemilihan sensor *strain gauge* untuk mengukur gaya potong karena memiliki akurasi yang lebih tinggi dan hasil pengukuran yang langsung dapat di lihat dan disimpan pada PC/display. Pengukuran dilakukan pada proses pembubutan (*turning*) yang dimana sensor akan diletakkan pada *tool post* untuk mendapatkan respon gaya pemotongan terhadap parameter permesinan. Diharapkan dengan penelitian ini analisa gaya potong dapat dilakukan secara tepat dan akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dijelaskan, dapat ditetapkan rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana proses pengukuran gaya potong pada proses bubut.
- b. Bagaimana pengaruh variasi parameter putaran spindle, *feeding*, dan kedalaman potong terhadap gaya potong.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

- a. Alat ukur yang digunakan yaitu sensor *strain gauge (load cell)*
- b. Mesin bubut yang digunakan yaitu GUT C623x1000 yang ada di Laboratorium permesinan Universitas Jember.
- c. Menggunakan sistem pemotongan tegak (orthogonal).
- d. Tidak menggunakan cairan pendingin.
- e. Keausan pahat (mata potong) tidak diperhatikan.
- f. Benda kerja yang digunakan menggunakan material Aluminium 6061 Ø15mm x 150 mm
- g. Jenis pahat yang digunakan adalah pahat HSS (*High Speed Steel*) ukuran $\frac{3}{4}$ "
- h. Gaya yang diukur yaitu gaya potong (tangensial) saja.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu

- a. Mengetahui proses pengukuran gaya potong dengan menggunakan sensor *strain gages*.
- b. Mengetahui pengaruh variasi parameter putaran spindle, *feeding*, dan kedalaman potong terhadap gaya potong.

1.4.2 Manfaat

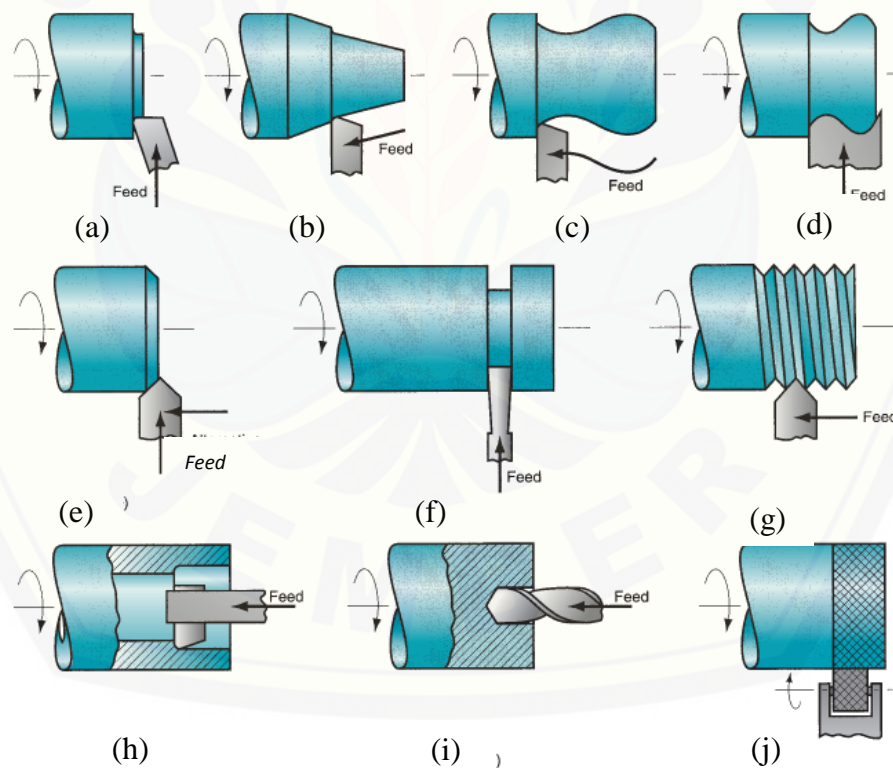
Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Sebagai bahan untuk mengetahui metode pengukuran yang digunakan untuk analisa gaya potong.
- b. Sebagai bahan dasar pertimbangan dalam mendesain suatu alat pengukur gaya potong pada proses bubut.
- c. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya mengenai pengukuran gaya potong dengan menggunakan sensor *strain gauge (load cell)*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Bubut

Proses bubut merupakan salah satu proses permesinan dengan satu titik pahat memotong material dari permukaan pada benda kerja yang berputar. Benda kerja dipegang oleh pencekam di ujung poros utama (*spindle*). Pahat dipasang pada kedudukan pahat (*tool post*). Pahat bergerak translasi pada proses pemakanan dengan lintasan arah sumbu Z. Gerak tegak lurus pahat terhadap benda dilakukan pada lintasan arah sumbu X. Gerak pada sumbu X dapat digunakan untuk membuat kontur, kemiringan, lengkungan, atau bentuk lainnya. (Stephenson & Agapiou, 2016)



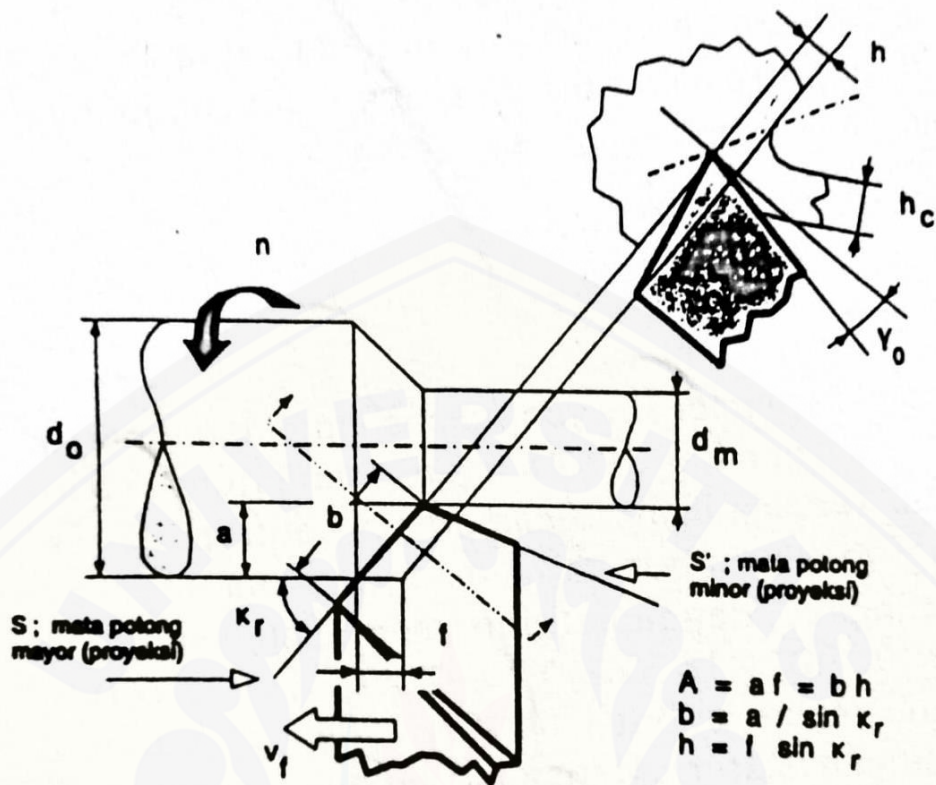
Gambar 2.1 Proses-proses permesinan dengan mesin bubut (Groover, 2010)
 (a) *facing*, (b) pembubutan tirus, (c) pembubutan lengkung, (d) pembubutan bentuk, (e) *chamfering*, (f) *cutoff*, (g) ulir, (h) *boring*, (i) *drilling*, (j) *knurling*.

Berikut keterangan dari gambar 2.1 tentang proses-proses permesinan dengan mesin bubut :

- a. *Facing*, pahat memakan secara radial pada benda kerja yang berputar untuk menghasilkan permukaan akhir yang datar.
- b. Pembubutan tirus, pahat bergerak secara paralel terhadap sumbu rotasi dengan sudut tertentu, sehingga terbentuklah tirus.
- c. Pembubutan lengkung, proses pemakanan lurus secara paralel terhadap sumbu putar, pahat juga bergerak mengikuti kontur selain lurus.
- d. Pembubutan bentuk, pahat memiliki bentuk, dan bergerak secara radial.
- e. *Chamfering*, pahat digunakan untuk memotong sebuah sudut pada sisi pojok silinder.
- f. *Cutoff*, pahat memakan secara radial pada benda kerja yang berputar hingga benda kerja terpotong menjadi dua bagian.
- g. Ulir, pahat berbentuk khusus, sesuai dengan bentuk ulir yang diinginkan baik ulir dalam maupun ulir luar.
- h. *Boring*, pahat bergerak paralel terhadap sumbu putar, dapat mengurangi diameter dalam pada tabung silindris
- i. *Drilling*, membuat lubang awal pada benda kerja.
- j. *Knurling*, membuat profil pada permukaan, agar benda kerja tidak licin dan mudah dipegang. Proses *knurling* sebenarnya bukan proses permesinan melainkan proses pembentukan (*forming*)

2.2 Parameter Mesin Bubut

Elemen dasar proses bubut dapat diketahui atau dihitung dengan menggunakan rumus yang dapat diturunkan dari dengan memperhatikan gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Parameter mesin bubut (Rochim, 2007)

Keterangan:

a. Benda Kerja ;

d_o = diameter mula (mm)

d_m = diameter akhir (mm)

l_t = Panjang permesinan (mm)

b. Pahat;

K_r = Sudut potong utama

$\gamma_o = \alpha$ = Sudut geram

c. Mesin Bubut

a = kedalaman potong (mm)

$a = (d_o - d_m)/2$(2.1)

f = gerak makan (mm/r)

n = putaran spindle/ poros utama (r/min)

Elemen dasar dapat dihitung dengan rumus- rumus berikut:

1. Kecepatan potong

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (\text{m/min}) \dots \dots \dots (2.2)$$

d merupakan diameter rata-rata, yaitu

$$d = \frac{d_o + d_m}{2} - d_o \quad (\text{mm}) \dots \dots \dots (2.3)$$

2. Kecepatan makan

$$vf = f \cdot n \quad (\text{mm/min}) \dots \dots \dots (2.4)$$

3. Waktu pemotongan

$$tc = \ell t / vf \dots \dots \dots (2.5)$$

4. Kecepatan penghasilan geram

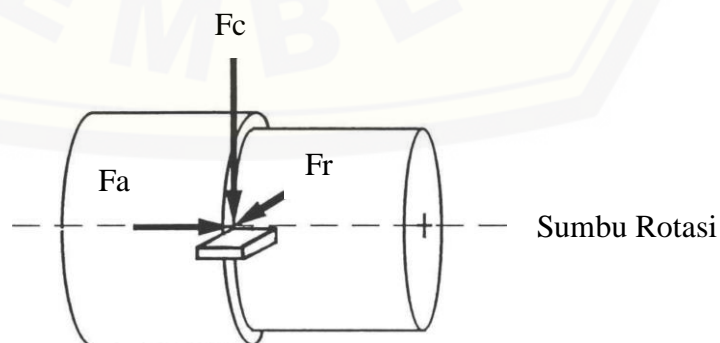
$$Z = A \cdot v \dots \dots \dots (2.6)$$

A merupakan penampang geram sebelum terpotong,

$$A = f \cdot a \quad (\text{mm}^2) \dots \dots \dots (2.7)$$

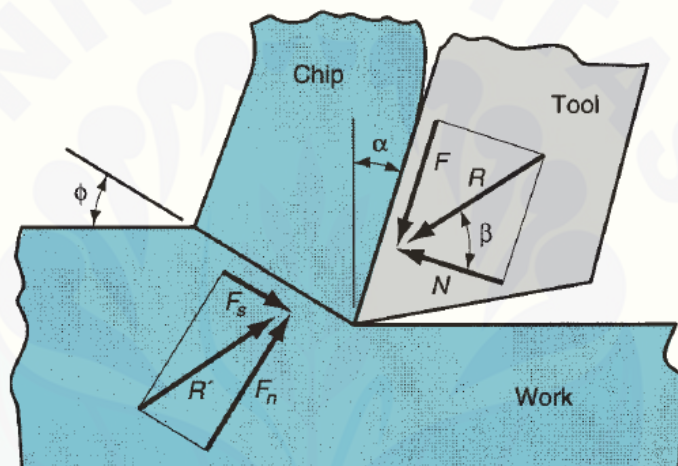
2.3 Gaya-Gaya Pemotongan

Logam pada umumnya memiliki sifat ulet (*ductile*) apabila mendapat tekanan sehingga menimbulkan tegangan (*stress*) di daerah sekitar konsentrasi gaya penekanan mata potong pahat. Tegangan pada benda kerja (logam) memiliki orientasi yang kompleks dan pada salah satu arah akan terjadi tegangan geser (*shearing stress*) yang maksimum. Tegangan geser yang melebihi kekuatan logam akan menyebabkan deformasi plastik (perubahan bentuk) yang menggeser benda kerja di ujung pahat pada suatu bidang geser. (Rochim, 2007)



Gambar 2.3 Gaya-gaya pemotongan pada proses bubut (Stephenson & Agapiou, 2016)

Komponen gaya F , N , F_s , dan F_n tidak dapat diukur dalam proses operasi permesinan, karena arah gaya yang diterapkan mereka berbeda pada kondisi geometri pahat dan kondisi pemotongan. Adapun kemungkinan gaya dapat diukur dengan menggunakan dinamometer yang terhubung dengan pahat. Terdapat 3 komponen yang dapat diukur dengan dinamometer yaitu gaya potong (F_c), gaya axial (F_a), dan gaya radial (F_r). Gaya-gaya yang bekerja pada proses pemotongan dapat dilihat pada gambar 2.3. Gaya potong (*cutting force*) searah dengan kecepatan potong (v). Gaya axial searah dengan kecepatan makan. Gaya radial (*radial force*) searah dengan kedalaman potong. (Groover, 2010)



Gambar 2.4 Sudut-sudut gaya pada pemotongan ortogonal (Groover, 2010)

Keterangan:

F_s = gaya geser

F_n = gaya normal pada bidang geser

α = Sudut geram (chip)

β = sudut geser

ϕ = Sudut gesek

Diagram gaya pada gambar 2.4 dapat diperoleh persamaan yang menghubungkan antara empat komponen gaya yang tidak diukur dengan dua komponen gaya yang dapat diukur menggunakan hubungan trigonometri sebagai berikut:

$$F = Fc \sin \alpha + Fa \cos \alpha \dots\dots\dots(2.8)$$

$$N = Fc \cos \alpha + Fa \sin \alpha \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Fs = Fc \cos \emptyset + Fa \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.10)$$

$$Fn = Fc \sin \emptyset + Fa \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.11)$$

Berdasarkan dari persamaan di atas, komponen gaya F, N, Fs, dan Fn dapat dihitung jika gaya potong dan gaya axial diketahui. Khusus pada pemotongan orthogonal dengan *rake angle* (α) = 0, maka nilai F = Fa dan N = Fc. Sehingga pada kasus ini gaya gesek dan gaya normal dapat diukur dengan dinamometer. (Grover, 2010)

Gaya potong dan gaya axial pada pemotongan orthogonal juga dapat dihitung jika kekuatan geser (*shear strength*) dari material benda kerja diketahui. Berikut persamaan gaya potong dan gaya makan:

$$Fc = \frac{St_o w \cos(\beta-\alpha)}{\sin \emptyset \cos(\emptyset+\beta-\alpha)} = \frac{Fa \cos(\beta-\alpha)}{\cos(\emptyset+\beta-\alpha)} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Fa = \frac{St w \sin(\beta-\alpha)}{\sin \emptyset \cos(\emptyset+\beta-\alpha)} = \frac{Fc \sin(\beta-\alpha)}{\cos(\emptyset+\beta-\alpha)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

St = tegangan geser (*shear strength*) (N/mm^2)

$w = A = b.h = a.f$ (mm^2)

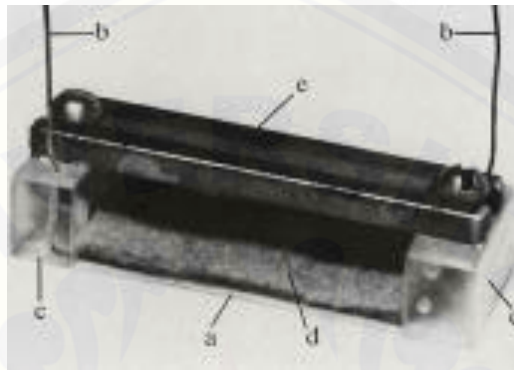
2.4 Strain Gauge

Strain gauge merupakan alat ukur regangan. Regangan terjadi disebabkan karena efek dari sebuah gaya yang mengakibatkan terjadinya perubahan panjang (elongasi). (Hoffman, 1989). Adapun macam-macam strain gauge sebagai berikut:

- a. *metal strain gauge*
- b. *semiconductor strain gauge*
- c. *vapor- deposid (thin-film) strain gauge*
- d. *capasitive strain gauge*
- e. *piezoelectric strain gauge*
- f. *mechanical strain gauge.*

2.4.1 Metal Strain Gauge

Metal strain gauge terbuat dari susunan kawat logam halus dimana ketebalan hanya $25\mu\text{m}$ yang dilindungi dengan penutup datar. *Strain gauge* jenis ini pertama kali dikembangkan oleh Arthur Calude Ruge. Berikut gambar desain pertama strain gauge Ruge. (Hoffman, 1989)

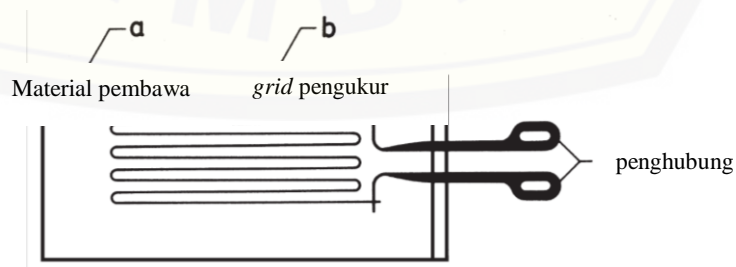


Gambar 2.5 Desain pertama *strain gauge* Ruge (Hoffman, 1989)

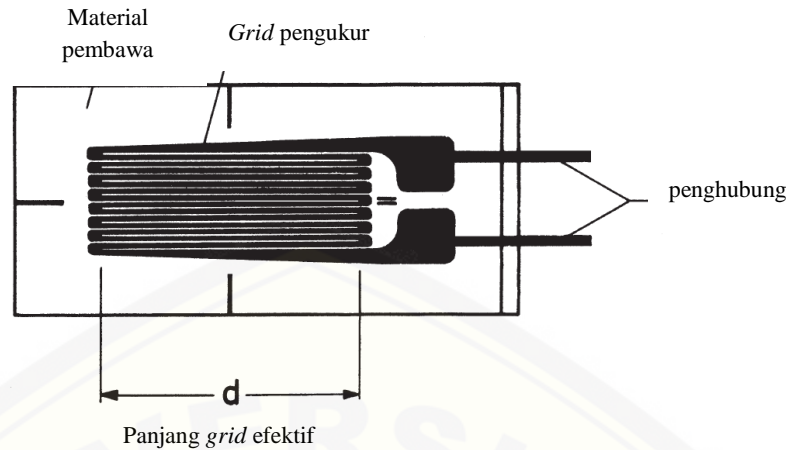
Keterangan:

- mengukut *grid* (sekat) yang terikat ke kertas dengan cairan selulosa
- kawat penghubung
- isolasi pendukung
- penutup dasar untuk melindungi pengukur *grid*
- braket

Adapun beberapa desain metal *strain gauge* yang kemudian dikembangkan yaitu *strain gauge* dengan kawat logam dan *strain gauge* dengan logam pelapis etsa. *Strain gauge* dengan logam pelapis etsa menggunakan tehnik “*printed circuit*”.



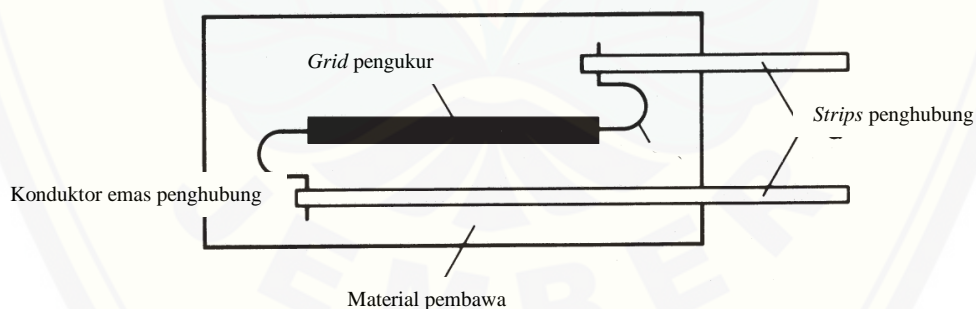
Gambar 2.6 *Strain gauge* dengan kawat logam (Hoffman, 1989)



Gambar 2.7 *Strain gauge* dengan logam pelapis etsa (Hoffman, 1989)

2.4.2 *Semiconductor Strain Gauge*

Susunan struktur dari semikonduktor strain gages sama seperti *metal strain gauge*. Elemen pengukur terdiri dari strip yang memiliki tebal sepersepuluh milimeter dan sepeerseratus milimeter yang permanen pada bagian *carrier foil*. Efek dioda dicegah dengan menggunakan kawat emas tipis sebagai penghubung antara elemen semikonduktor dan strip penghubung. (Hoffman, 1989)



Gambar 2.8 Struktur *semiconductor strain gauge* (Hoffman, 1989)

2.4.3 *Vapor - Deposid (Thin-Film) Strain Gauge*

Strain gauge jenis ini terdiri dari element pengukur yang mengukur di titik vakum dari penguapan paduan konstituen. Aplikasi dari strain gages ini terbatas pada produksi transduser. Proses pembuatan strain gages ini cukup sulit dilakukan

dengan hasil yang kurang maksimal, sehingga belum ada peningkatan dalam pasarnya.



Gambar 2.9 Vapor - Deposid (Thin-Film) Strain Gauge
(Hoffman, 1989)

2.4.4 Capacitive Strain Gauge

Capacitive Strain Gauge merupakan pengembangan baru, dimana tujuan pengembangannya ditujukan untuk penggunaan pada temperatur yang tinggi diluar keterbatasan dari *metal strain gauge*. Pada pengembangannya strain gages jenis ini mampu mengukur hingga 800°C.

2.4.5 Piezoelectric Strain Gauge

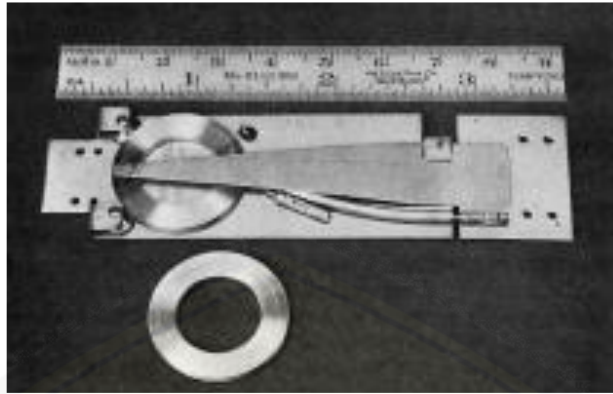
piezoelectric strain gauge memberikan muatan listrik yang sebanding dengan regangan dan dapat diukur dengan amplifier. Pengukuran yang mungkin dilakukan dengan ini yaitu pengukuran statis. Material yang digunakan *strain gauge* jenis ini yaitu *barium titanate*.

2.4.6 Photoelastic Strain Gauge

Pada *photoelastic strain gauge*, strip terbuat dari material aktif yang bersifat tegang dan pada daerah isokromatik berpindah hasil menjadi regangan. Strain gage tipe ini dibuat di USA dan bersifat tidak dikomersilkan atau dipasarkan.

2.4.7 Mechanical Strain Gauge

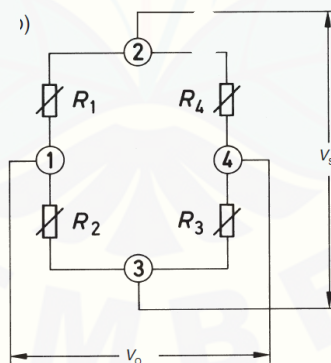
Mechanical strain gauge memiliki ukuran yang panjang sehingga diaplikasikan pada objek yang lebih besar. Kekurangan strain gages jenis ini yaitu tidak mampu pada suhu yang tinggi.



Gambar 2.10 *Mechanical extensometer*
(Hoffman, 1989)

2.5 Jembatan *Wheatstone*

Jembatan *wheatstone* merupakan rangkaian yang dapat digunakan untuk mengukur suatu tahanan yang relatif kecil. Cara kerja dari jembatan *wheatstone* adalah sirkuit listrik dengan empat tahanan dan sumber tegangan yang dihubungkan melalui dua titik diagonal. Keseimbangan dari Jembatan *wheatstone* tidak terpengaruh apabila tegangan dari sumber berubah. Keadaan seimbang juga tidak dipengaruhi oleh pergantian posisi dari sumber tegangan.



Gambar 2.11 Rangkaian jembatan *wheatstone*
(Hoffman, 1989)

Keterangan:

R= Resistor

V_s = Voltase eksitasi

V_o = Voltase keluaran (sinyal yang terukur)

Jembatan wheatstone pada kondisi tidak seimbang yang disebabkan karena nilai R_1, R_2, R_3 dan R_4 yang berbeda. Berdasarkan gambar 2.11 didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4} \right) \dots\dots\dots(2.12)$$

Jika pada kondisi stabil, besar voltase keluar adalah nol. Berikut persamaanya:

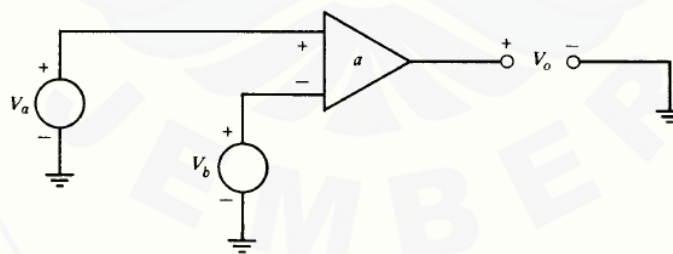
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \dots\dots\dots(2.13)$$

Pada kondisi *preset strain*, resistor berubah sehingga didapat ΔR , sehingga didapat persamaan:

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1+\Delta R_1}{R_1+\Delta R_1+R_2+\Delta R_2} - \frac{R_4+\Delta R_4}{R_3+\Delta R_3+R_4+\Delta R_4} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

2.6 Amplifier

Amplifier yaitu sistem operasi penguat sinyal dan biasa digunakan pada koneksi umpan balik. *Amplifier* merupakan aplikasi dari komputasi analog dimana didalamnya menggunakan macam-macam operasi amatematika. Dalam operasi *modern amplifier* umumnya digunakan untuk memproses elemen analog data. (Roberge, 1975)



Gambar 2.12 Simbol operasi *amplifier* (Roberge, 1975)

2.7 Analysis of Varians (ANOVA)

Analisis varians merupakan merupakan suatu metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen. Dalam analisis varian terdapat

kerangka umum untuk pengujian hipotesis berdasarkan staitstik. Analisis varians menggunakan teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuatitatif untuk memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Pada analisis varian menghasilkan nilai- ρ berdasarkan perbandingan F_{Hitung} dengan F_{Tabel} pada uji hipotesa. Jika rasio F_{Hitung} lebih besar dari nilai F_{Tabel} maka parameter yang dimaksud memiliki kontribusi yang signifikan. (Siegel, 2016)

Analisis varians mempunyai beberapa desain yaitu analisis varians satu arah (*one-way analysis of varians*) dan analisis varians dua arah (*two-ways analysis of varians*). Analisis varians satu arah hanya digunakan untuk menentukan varian karena rata-rata dan error. Analisis varians dua arah digunakan untuk data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih dan dapat memunculkan konstribusi interaksi antara satu faktor dengan yang lainnya. (Soejanto,2009)

2.8 Hipotesis

Berdasarkan beberapa literatur dan pengamatan yang didasari pada penelitian-penelitian sebelumnya dapat ditarik sebuah hipotesa awal serta praduga sementara penulis, bahwa parameter permesinan yang memiliki pengaruh besar pada gaya potong adalah putaran spindle. Gaya potong memiliki nilai kecil pada kecepatan spindle dan. Gaya potong memiliki nilai besar pada *feeding* dan kedalaman potong semakin tinggi yang semakin besar.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan alat uji sensor strain gages untuk mengetahui pengaruh parameter putaran spindle, pemakanan (*feeding*), dan kedalaman potong, terhadap gaya potong pada proses bubut. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Permesinan Fakultas Teknik Universitas Jember yang dimulai pada tanggal 01 Desember 2018.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

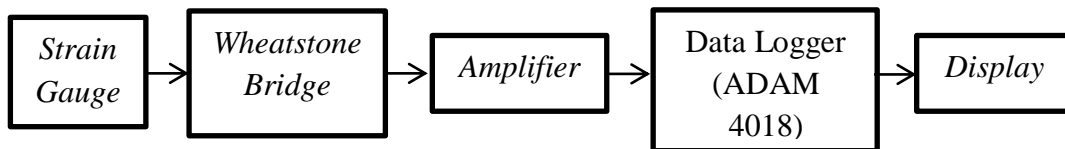
- a. Mesin Bubut GUT C6236x1000
- b. *Load cell*
- c. Sensor *strain gauge* Tipe 10-120-C1-11 L1M 2 R
- d. *Amplifier*
- e. Data logger (ADAM 4018)
- f. Laptop/ *Display*

3.2.2 Bahan

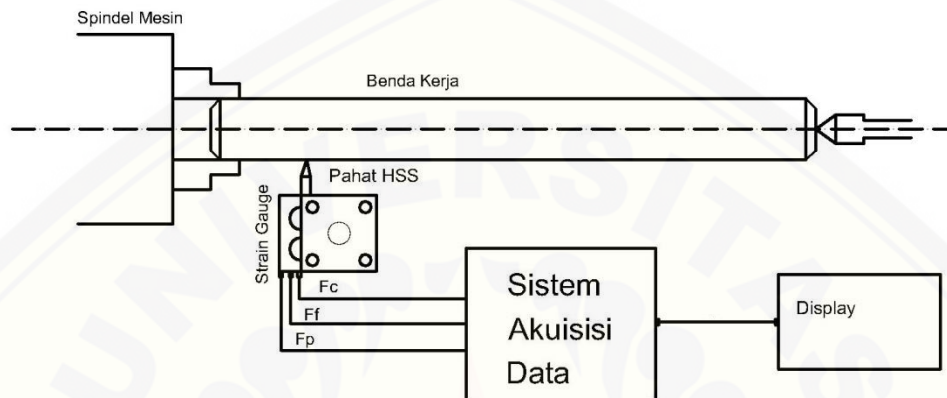
- a. Pahat HSS (*High Speed Steel*) ukuran $\frac{3}{4}$ "
- b. Aluminium 6061 Ø15mm x 150 mm

3.3 Skema Kerja Alat

Prinsip kerja dari alat pengujian gaya potong yaitu pahat dijepit pada dudukan pahat yang terhubung dengan sensor *strain gauge* dan *toolpost* kemudian ketika pahat mulai memotong benda kerja, sensor *strain gauge* akan membaca yang kemudian diteruskan ke *wheatstone bridge* untuk menstabilkan tegangan yang masuk. Tegangan keluaran (V output) dari *wheatstone bridge* diteruskan ke *amplifier* yang kemudian masuk ke data logger. Dari data logger data akan ditampilkan melalui *display/PC*. Berikut diagram proses kerja alat uji gaya potong pada gambar 3.1:



Gambar 3.1 Diagram proses kerja alat uji gaya potong



Gambar 3.2 Skema alat uji

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian berikut digunakan untuk mengetahui pengaruh parameter proses bubut terhadap gaya potong, yaitu dimulai dari:

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk menemukan referensi pendukung yang sesuai dengan topik penelitian. Materi yang dipelajari meliputi: analisa gaya pemotongan pada proses permesinan, teori dan teknik elektronika pada sistem sensor strain gauge dan rangkaianannya.

b. Perencanaan Eksperimen

Berdasarkan studi literatur yang menjadi latar belakang penelitian, selanjutnya menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Berdasarkan rumusan masalah, selanjutnya menentukan metode yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental langsung dengan desain eksperimental taguchi untuk menentukan kebebasan, dan pemilihan matriks orthogonal.

c. Eksperimen

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: menyiapkan alat dan bahan, pengaturan alat uji, melakukan proses bubut sesuai variasi parameter yang telah ditentukan, mengukur gaya potong pada proses bubut, menganalisa pengaruh parameter putaran spindle, *feeding*, dan kedalaman potong terhadap gaya potong.

d. Analisa Hasil Penelitian

Hasil data pengujian dari pengukuran gaya potong dianalisa dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh parameter putaran spindle, *feeding*, dan kedalaman potong terhadap gaya potong.

e. Kesimpulan

Kesimpulan diperoleh berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditentukan pada Bab 1.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Variabel Penelitian

Tahap awal dalam melakukan penelitian yaitu menentukan variabel penelitian. Terdapat dua jenis variabel yaitu meliputi:

a. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu gaya potong (F_c).

b. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang keberadaannya dapat mempengaruhi variabel terikat. Besar kecilnya variabel bebas dapat dikendalikan sesuai dengan pertimbangan dan tujuan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu, putaran spindle (rpm) , pemakanan (*feeding*), dan kedalaman potong.

3.5.2 Menentukan Faktor Kontrol dan Jumlah *Level*

Faktor kontrol merupakan faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan. Berikut tabel 3.1 faktor kontrol pada penelitian.

Tabel 3.1 Faktor kontrol pada penelitian

No	Faktor Kontrol
1	putaran Spindle
2	<i>Feeding</i>
3	Kedalaman Potong

Penentuan jumlah *level* dan nilainya menjelaskan bagaimana faktor tersebut dilakukan pengujian sesuai dengan banyaknya penelitian yang akan dilakukan. Semakin banyak *level* yang akan diujikan maka semakin banyak pula biaya dan waktu yang akan dibutuhkan dalam penelitian. Banyaknya *level* dan nilainya merupakan hasil kombinasi yang diteliti sesuai dengan keperluan penelitian. Berikut tabel 3.2 jumlah *level* dan nilai faktor.

Tabel 3.2 Jumlah *level* dan nilai *level* faktor dalam penelitian

Kode	Faktor Kontrol	<i>Level 1</i>	<i>Level 2</i>	<i>Level 3</i>
A	Putaran Spindle (rpm)	140	215	330
B	<i>Feeding</i> (mm/r)	0,043	0,065	0,081
C	Kedalaman Potong (mm)	0,2	0,4	0,6

3.5.3 Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan digunakan untuk menentukan jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Hasil dari perhitungan derajat kebebasan nantinya akan mempengaruhi tabel matriks orthogonal. Berikut tabel 3.3 derajat kebebasan total.

Tabel 3.3 Derajat kebebasan total pada penelitian

Faktor	Derajat Kebebasan	Total
A	(3-1)	2
B	(3-1)	2
C	(3-1)	2
Total Derajat Kebebasan		6

Berdasarkan tabel 3.3 perhitungan derajat kebebasan total sebanyak 6 derajat kebebasan, dan masing-masing faktor mempunyai 3 *level*. Matriks orthogonal yang digunakan berdasarkan perhitungan derajat kebebasan harus memiliki derajat kebebasan yang sama atau lebih besar dengan pilihat matriks orthogonal sebagai berikut:

$$L9(3^4) = 4 \times (3 - 1) = 8 \text{ derajat kebebasan}$$

$$L27(3^{13}) = 13 \times (3 - 1) = 26 \text{ derajat kebebasan}$$

Pada penelitian ini, matriks orthogonal yang digunakan adalah $L9(3^4)$. Rancangan matriks ini sudah sesuai jika digunakan dalam penelitian dengan tiga faktor dan tiga *level* yang sudah ditentukan. Selain itu, penggunaan $L9(3^4)$ dipilih karena penggunaan alat dan biaya yang terbatas. Berikut tabel matriks orthogonal $L9(3^4)$.

Tabel 3.4 Matriks orthogonal $L9(3^4)$

No	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

3.5.4 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur gaya potong dengan menggunakan sistem sensor strain gages yang diletakkan pada *tool post* mesin. Sistem sensor terhubung dengan amplifier sebagai penguat dan diteruskan ke data logger dan data keluar pada *display* PC. Pengujian dilakukan berdasarkan matriks

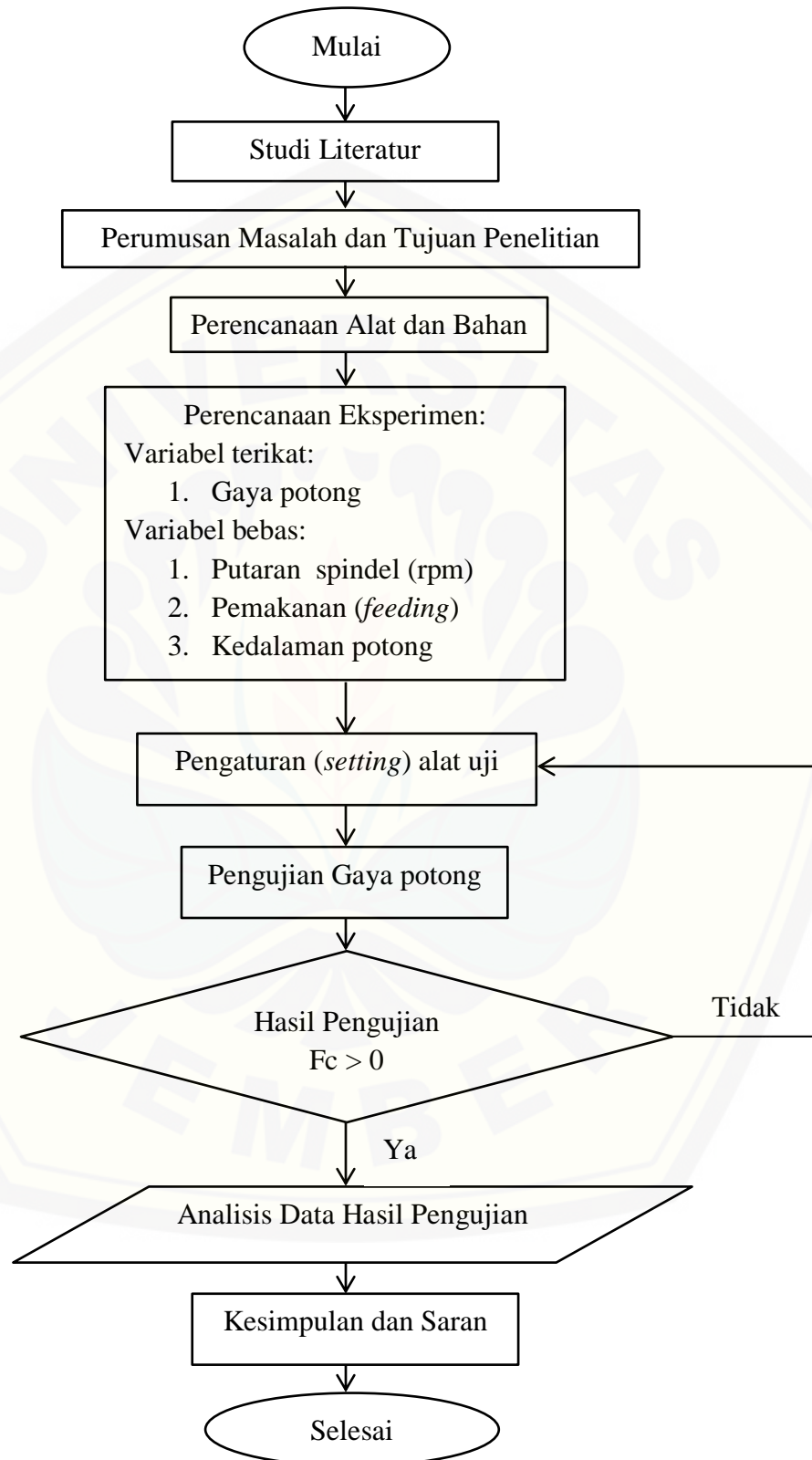
orthogonal L9(3⁴) dengan setiap variasi dilakukan replikasi sebanyak tiga kali.

Berikut tabel 3.5 tabel pengujian dalam pengukuran gaya potong:

Tabel 3.5 Tabel pengujian gaya potong pada proses bubut

No.	Parameter			Hasil Eksperimen			Rata-Rata Fc
	Putaran spindle (rpm)	<i>Feeding</i> (mm/r)	Kedalaman potong (mm)	Fc1	Fc2	Fc3	
1	140	0.043	0.2				
2	140	0.065	0.4				
3	140	0.081	0.6				
4	215	0.043	0.4				
5	215	0.065	0.6				
6	215	0.081	0.2				
7	330	0.043	0.6				
8	330	0.065	0.2				
9	330	0.081	0.4				

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan pada pengukuran gaya potong pada proses bubut dengan parameter yang telah ditentukan menunjukkan bahwa dari penelitian yang berjudul “Analisis Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Menggunakan Sensor *Strain Gauge*” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Proses pengujian terhadap alat ukur gaya potong menghasilkan keluaran tegangan bernilai positif (+) lebih besar dari 0 mV. Pergeseran *offset* pada alat ukur terjadi hingga $\pm 0,020$ mV.
- b. Parameter permesinan yang paling signifikan pada penelitian ini yaitu parameter kedalaman potong dengan nilai persentase kontribusi sebesar 60,06 % sedangkan parameter kecepatan spindle dan *feeding* memiliki pengaruhnya yang tidak signifikan. Persentase kontribusi parameter putaran spindle yaitu 28,25% sedangkan *feeding* memiliki persentase kontribusi sebesar 0,07%.

5.2 Saran

- a. Menetapkan (*fix*) nilai nol pada *offset* dan *gain* untuk meminimalisir pergeseran nilai offset pada saat pengujian.
- b. Desain bentuk dudukan yang digunakan yang menghubungkan *toolpost* dengan *loadcell* perlu dilakukan analisis desain lebih lanjut untuk mengurangi getaran pada pahat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, B.de, Bernal, C, Camacho,A.M, & Rubio, E.M. (2013). Experimental Analysis of Cutting Force Obtained in Dry Turning Processes of UNS A97075 Aluminium Alloys. The manufacturing engineering society international conference, MESIC 2013. *Procedia Engineering 63 (2013) 694-699*.
- Anwar, Khairul dan Yohanes. (2016). Rancang Bangun Dinamometer Berbasiskan *Strain Gauge* dengan Batang Sensor Tipe *Four Square Stalk* untuk Pengukuran Gaya potong Mesin Bubut. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau. *Jom FTEKNIK volume 3 No.2*.
- Groover, Mikell P. (2010). *Fundamental of Modern Manufacturing Materials, Processes, and System 4th Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Grzesik. (2017). Chapter Six: Orthogonal and Oblique Cutting Mechanics. *Advanced Machining Process of Metallic Materials. Elsevier B.V.*
- Hoffmann, Karl. (1989). *An Introduction to Stress Analysis and Transduser Design Using Strain Gages*. HBM Test and Measurement.
- Kosaraju, Satyanarayana, & Chandraker, Satyam.(2015). Taguchi analysis on cutting force and surface roughness in turning MDN350 steel. 4th international conference on material Processing and Characterization. *Proceedings 2 (2015) 3388-3393*.
- Manjunatha.R & Umesh C.K. (2014). Optimization of Tangential Force, Feed Force and surface roughness using taguchi technique in turning operation. International conference on advances in manufacturing and materials engineering, AMME 2014. *Procedia Materials Science 5(2014) 1685-1691*.
- Poeng, Rudy dan Fentje Abdul Rauf. (2015). Analisis Pengaruh Putaran *Spindle* terhadap Gaya Potong Pada Mesin Bubut. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi. *Jurnal Tekno Mesin/Volume 2 Nomor 2*.
- Roberge, James K. (1975). *Operational Amplifiers: Theory and Practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Rochim, Taufiq. (2007). *Klasifikasi Proses, Gaya, Daya Permesinan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rosehan, Lubis, Sobron, & Firmansyah, Mochammad. (2014). Analisis Parameter Permesinan terhadap Gaya Potong pada Proses Pembubutan Logam S45C. *Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI9) 2014*.

- Siegel, A. F. (2016). Chapter 15: ANOVA. Practical Business Statistics Seventh Edition. Academic Press. Elsevier Inc.
- Sivaraman, V. Sankaran, S. & Vijayaraghavan, L. (2012). The Effect of Cutting Parameters on Cutting Force During Turning Multiphase Microalloyed Steel. India: IIT Madras. *Procedia CIRP 4* (2012) 157-160.
- Soejanto, Irwan. (2009). Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi. Yogyakarta: GRAHA ILMU.
- Stephenson, David A. & Agapiou, John S. (2016). *Metal Cutting Theory and Practice Third Edition*. New York: CRS Press.
- Xie, Zhengyou, Lu, Yong, & Li, Jianguang. (2017). *Development and testing of an Integrated Smart Tool Holder for Four-Component Cutting Force Measurement*. China: Harbin Institute of Technology. Elsevier Ltd 088-3270.
- Zhao, You. Et al. (2016). *Design and Development of a Cutting Force Sensor Based on Semi-Conductive Strain Gauge*. China: Xi'an Jiaotong University.. Elsevier B.V 0924-4247.
- Zhao, You. Zhao, Yulong & Ge. Xiaohui. (2018). *The Development of a Triaxial Cutting Force Sensor Based on a MEMS Strain Gauge*. MDPI micromachines.

LAMPIRAN

Lampiran 6.1 Tabel Hasil Pengujian Gaya Potong

Tabel Hasil Pengujian gaya potong

No.	Parameter			Hasil Eksperimen			Rata-Rata Fc
	Putaran	<i>Feeding</i> (mm/r)	Kedalaman	Fc1	Fc2	Fc3	
	spindle (rpm)		potong (mm)				
1	140	0.043	0.2	54,82	54,56	54,61	54,66
2	140	0.065	0.4	56,15	56,47	56,43	56,35
3	140	0.081	0.6	90,33	89,36	89,51	89,73
4	215	0.043	0.4	54,24	54,06	53,97	54,09
5	215	0.065	0.6	80,46	80,12	80,56	80,38
6	215	0.081	0.2	33,74	34,06	34,37	34,06
7	330	0.043	0.6	59,5	59,19	58,92	59,20
8	330	0.065	0.2	23,67	24,71	24,26	24,21
9	330	0.081	0.4	39,58	39,41	40,89	39,96

Tabel Hasil S/N rasio gaya potong

No.	Parameter			Hasil	
	Putaran spindle (rpm)	<i>Feeding</i> (mm/r)	Kedalaman potong (mm)	Eksperimen	S/N Rasio
1	140	0,043	0.2	54,66	-34,75
2	140	0,065	0.4	56,35	-35,02
3	140	0,081	0.6	89,73	-39,06
4	215	0,043	0.4	54,09	-34,66
5	215	0,065	0.6	80,38	-38,10
6	215	0,081	0.2	34,06	-30,64
7	330	0,043	0.6	59,20	-35,45
8	330	0,065	0.2	24,21	-27,68
9	330	0,081	0.4	39,96	-32,03

Lampiran 6.2 Perhitungan Rata-Rata Setiap *Level* Parameter PermesinanPerhitungan rata-rata S/N rasio dari setiap parameter pada setiap *Level*

a. Kecepatan Spindle

$$\bar{A} \text{ level 1} = \frac{(-34,75)+(-35,02)+(-39,06)}{3} = -36,28$$

$$\bar{A} \text{ level 2} = \frac{(-34,66)+(-38,1)+(-30,64)}{3} = -34,47$$

$$\bar{A} \text{ level 3} = \frac{(-35,45)+(27,68)+(-32,03)}{3} = -31,72$$

b. Feeding

$$\bar{B} \text{ level 1} = \frac{(-34,75)+(-34,66)+(-35,45)}{3} = -34,95$$

$$\bar{B} \text{ level 2} = \frac{(-35,02)+(-38,10)+(-27,68)}{3} = -33,60$$

$$\bar{B} \text{ level 3} = \frac{(-39,06)+(-30,64)+(-32,03)}{3} = -33,91$$

c. Kedalaman Potong

$$\bar{C} \text{ level 1} = \frac{(-34,75)+(-30,64)+(-27,68)}{3} = -31,03$$

$$\bar{C} \text{ level 2} = \frac{(-35,02)+(-34,66)+(-32,03)}{3} = -33,90$$

$$\bar{C} \text{ level 3} = \frac{(-39,06)+(-38,10)+(-35,45)}{3} = -37,54$$

d. Rata-Rata Total

$$\bar{Y} = \frac{(-36,28)+(-34,47)+(-31,72)+(-34,95)+(-33,60)+(-33,91)+(-31,03)+(-33,90)+(-37,54)}{9}$$

$$= -34,16$$

Lampiran 6.3 Perhitungan Persentase Kontribusi dari Setiap Parameter

$$SSR = SST - SSA - SSB - SSC$$

$$SSR = 101,409 - 31,591 - 3,016 - 63,854$$

$$SSR = 2,949$$

$$MSR = \frac{SSR}{dfe}$$

$$MSR = \frac{2,949}{2}$$

$$MSR = 1,474$$

- a) Persentase kontribusi parameter kecepatan spindle

$$SS'_A = SSA - df_A \times MSR$$

$$SS'_A = 31,591 - 2 \times 1,474$$

$$SS'_A = 28,643$$

$$\rho_A = \frac{SS'_A}{SST} \times 100\%$$

$$\rho_A = \frac{28,643}{101,409} \times 100\%$$

$$\rho_A = 28,25\%$$

- b) Persentase kontribusi parameter *feeding*

$$SS'_B = SSB - df_B \times MSR$$

$$SS'_B = 3,016 - 2 \times 1,474$$

$$SS'_B = 0,068$$

$$\rho_B = \frac{SS'_B}{SST} \times 100\%$$

$$\rho_A = \frac{0,068}{101,409} \times 100\%$$

$$\rho_A = 0,07 \%$$

$$\rho_A = 0,07\%$$

c) Persentase kontribusi parameter kedalaman potong

$$SS'_c = SSC - df_c \times MSR$$

$$SS'_c = 63,854 - 2 \times 1,474$$

$$SS'_c = 60,906$$

$$\rho_c = \frac{SS'_c}{SST} \times 100\%$$

$$\rho_c = \frac{60,906}{101,409} \times 100\%$$

$$\rho_c = 60,06 \%$$

$$\rho_R = \rho_T - \rho_A - \rho_B - \rho_C$$

$$\rho_R = 100\% - 28,24\% - 0,07\% - 60,06\%$$

$$\rho_R = 11,63\%$$

Lampiran 6.4 Analisis ANOVA Gaya Potong dengan Minitab

Model Summary

S	R-Sq	R-Sq(adj)
1,2143	97,09%	88,36%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Putaran Spindle (rpm)	2	31,579	31,579	15,789	10,71	0,085
<i>Feeding</i> (mm/r)	2	3,014	3,014	1,507	1,02	0,495
Kedalaman Potong (mm)	2	63,845	63,845	31,922	21,65	0,044
Residual Error	2	2,949	2,949	1,475		
Total	8	101,387				

Response Table for Signal to Noise Ratios*Smaller is better*

Level	Putaran Spindle (rpm)	<i>Feeding</i> (mm/r)	Kedalaman Potong (mm)
1	-36,28	-34,95	-31,03
2	-34,47	-33,60	-33,90
3	-31,72	-33,91	-37,54
Delta	4,56	1,35	6,51
Rank	2	3	1

Lampiran 6.5 Tabel Distribusi F Probabilitas 0,05

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05															
df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89

Lampiran 6.6 Data Pengujian

Data V1C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (ms)
3,144	1,42	5
3,152	2,10	10
3,183	4,72	15
3,175	4,04	20
3,175	4,04	25
3,176	4,13	30
3,163	3,03	35
3,183	4,72	40
3,168	3,45	45
3,172	3,79	50
3,178	4,29	55
3,17	3,62	60
3,188	5,14	65
3,179	4,38	70
3,189	5,22	75
3,193	5,56	80
3,17	3,62	85
3,19	5,31	90
3,202	6,32	95
3,183	4,72	100
3,187	5,05	105
3,166	3,28	110
3,175	4,04	115
3,178	4,29	120
3,178	4,29	125
3,192	5,48	130
3,183	4,72	135
3,197	5,90	140
3,198	5,98	145
3,19	5,31	150
3,183	4,72	155
3,189	5,22	160
3,184	4,80	165
3,185	4,88	170
3,178	4,29	175
3,173	3,87	180

3,19	5,31	185
3,17	3,62	190
3,201	6,24	195
3,203	6,40	200
3,187	5,05	205
3,212	7,16	210
3,185	4,88	215
3,182	4,63	220
3,178	4,29	225
3,176	4,13	230
3,192	5,48	235
3,187	5,05	240
3,194	5,64	245
3,203	6,40	250
3,187	5,05	255
3,207	6,74	260
3,204	6,49	265
3,205	6,57	270
3,199	6,07	275
3,187	5,05	280
3,188	5,14	285
3,18	4,46	290
3,183	4,72	295
3,196	5,81	300
3,19	5,31	305
3,189	5,22	310
3,207	6,74	315
3,187	5,05	320
3,193	5,56	325
3,198	5,98	330
3,2	6,15	335
3,204	6,49	340
3,194	5,64	345
3,193	5,56	350
3,182	4,63	355
3,196	5,81	360
3,191	5,39	365
3,188	5,14	370
3,207	6,74	375
3,199	6,07	380
3,209	6,91	385

3,209	6,91	390
3,207	6,74	395
3,211	7,08	400
3,193	5,56	405
3,207	6,74	410
3,203	6,40	415
3,188	5,14	420
3,21	7,00	425
3,203	6,40	430
3,19	5,31	435
3,208	6,83	440
3,203	6,40	445
3,209	6,91	450
3,196	5,81	455
3,206	6,66	460
3,211	7,08	465
3,205	6,57	470
3,197	5,90	475
3,202	6,32	480
3,193	5,56	485
3,204	6,49	490
3,199	6,07	495
3,192	5,48	500
3,201	6,24	505
3,2	6,15	510
3,221	7,92	515
3,202	6,32	520
3,199	6,07	525
3,208	6,83	530
3,194	5,64	535

$$\bar{X} V1C1 = 5,481 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,481 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 54,81 \text{ N}$$

VIC2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,086	1,42	5
3,093	2,01	10
3,102	2,77	15
3,131	5,22	20
3,127	4,89	25
3,123	4,55	30
3,126	4,80	35
3,125	4,72	40
3,121	4,38	45
3,124	4,63	50
3,135	5,56	55
3,13	5,14	60
3,119	4,21	65
3,131	5,22	70
3,13	5,14	75
3,129	5,05	80
3,122	4,46	85
3,126	4,80	90
3,133	5,39	95
3,122	4,46	100
3,128	4,97	105
3,143	6,24	110
3,124	4,63	115
3,132	5,31	120
3,131	5,22	125
3,132	5,31	130
3,13	5,14	135
3,126	4,80	140
3,128	4,97	145
3,133	5,39	150
3,13	5,14	155
3,127	4,89	160
3,132	5,31	165
3,133	5,39	170
3,134	5,48	175
3,124	4,63	180
3,139	5,90	185

3,119	4,21	190
3,132	5,31	195
3,138	5,81	200
3,144	6,32	205
3,127	4,89	210
3,123	4,55	215
3,143	6,24	220
3,132	5,31	225
3,137	5,73	230
3,141	6,07	235
3,133	5,39	240
3,149	6,74	245
3,139	5,90	250
3,138	5,81	255
3,13	5,14	260
3,129	5,05	265
3,128	4,97	270
3,137	5,73	275
3,126	4,80	280
3,132	5,31	285
3,141	6,07	290
3,13	5,14	295
3,144	6,32	300
3,135	5,56	305
3,13	5,14	310
3,138	5,81	315
3,123	4,55	320
3,124	4,63	325
3,137	5,73	330
3,135	5,56	335
3,148	6,66	340
3,135	5,56	345
3,13	5,14	350
3,147	6,57	355
3,139	5,90	360
3,146	6,49	365
3,148	6,66	370
3,129	5,05	375
3,141	6,07	380
3,138	5,81	385
3,144	6,32	390

3,147	6,57	395
3,143	6,24	400
3,145	6,40	405
3,141	6,07	410
3,135	5,56	415
3,125	4,72	420
3,136	5,65	425
3,13	5,14	430
3,136	5,65	435
3,151	6,91	440
3,137	5,73	445
3,133	5,39	450
3,148	6,66	455
3,137	5,73	460
3,131	5,22	465
3,141	6,07	470
3,136	5,65	475
3,135	5,56	480
3,125	4,72	485
3,137	5,73	490
3,149	6,74	495
3,123	4,55	500
3,145	6,40	505
3,144	6,32	510
3,13	5,14	515
3,132	5,31	520
3,126	4,80	525
3,14	5,98	530

$$\bar{X}_{V1C2} = 5,456 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,456 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 54,56 \text{ N}$$

Data V1C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,021	0,33	5
3,021	0,33	10
3,034	1,42	15
3,045	2,35	20
3,06	3,62	25
3,063	3,87	30
3,065	4,04	35
3,065	4,04	40
3,082	5,48	45
3,084	5,64	50
3,078	5,14	55
3,081	5,39	60
3,075	4,89	65
3,072	4,63	70
3,071	4,55	75
3,082	5,48	80
3,073	4,72	85
3,089	6,07	90
3,077	5,05	95
3,079	5,22	100
3,078	5,14	105
3,081	5,39	110
3,072	4,63	115
3,074	4,80	120
3,071	4,55	125
3,082	5,48	130
3,081	5,39	135
3,078	5,14	140
3,088	5,98	145
3,087	5,90	150
3,088	5,98	155
3,076	4,97	160
3,079	5,22	165
3,086	5,81	170
3,098	6,83	175
3,082	5,48	180
3,081	5,39	185
3,084	5,64	190

3,076	4,97	195
3,087	5,90	200
3,083	5,56	205
3,072	4,63	210
3,084	5,64	215
3,089	6,07	220
3,081	5,39	225
3,093	6,40	230
3,074	4,80	235
3,077	5,05	240
3,075	4,89	245
3,073	4,72	250
3,077	5,05	255
3,077	5,05	260
3,089	6,07	265
3,079	5,22	270
3,093	6,40	275
3,091	6,24	280
3,078	5,14	285
3,074	4,80	290
3,081	5,39	295
3,083	5,56	300
3,074	4,80	305
3,089	6,07	310
3,078	5,14	315
3,085	5,73	320
3,085	5,73	325
3,092	6,32	330
3,088	5,98	335
3,096	6,66	340
3,084	5,64	345
3,087	5,90	350
3,082	5,48	355
3,086	5,81	360
3,078	5,14	365
3,077	5,05	370
3,075	4,89	375
3,088	5,98	380
3,088	5,98	385
3,09	6,15	390
3,076	4,97	395

3,088	5,98	400
3,09	6,15	405
3,095	6,57	410
3,094	6,49	415
3,094	6,49	420
3,079	5,22	425
3,076	4,97	430
3,087	5,90	435
3,073	4,72	440
3,089	6,07	445
3,073	4,72	450
3,085	5,73	455
3,084	5,64	460
3,092	6,32	465
3,075	4,89	470
3,078	5,14	475
3,089	6,07	480
3,093	6,40	485
3,073	4,72	490
3,081	5,39	495
3,092	6,32	500
3,078	5,14	505
3,089	6,07	510
3,088	5,98	515

$$\bar{X} V1C3 = 5,413 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,413 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 54,13 \text{ N}$$

Data V2C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
2,985	2,34	5
3,046	5,63	10
3,035	6,12	15
3,024	5,53	20
3,04	5,85	25
3,042	5,42	30
3,033	4,93	35
3,033	4,93	40
3,067	6,77	45
3,042	5,42	50
3,029	4,72	55
3,035	5,58	60
3,036	6,18	65
3,039	6,34	70
3,029	6,34	75
3,045	5,58	80
3,028	6,66	85
3,048	6,28	90
3,05	5,85	95
3,022	5,42	100
3,033	6,01	105
3,028	6,61	110
3,043	5,47	115
3,019	6,88	120
3,044	5,53	125
3,039	5,26	130
3,045	5,58	135
3,026	4,55	140
3,055	6,12	145
3,021	4,28	150
3,029	4,72	155
3,035	5,04	160
3,019	4,17	165
3,043	5,47	170
3,047	5,69	175
3,026	4,55	180
3,037	5,15	185

3,031	4,82	190
3,039	5,26	195
3,046	5,63	200
3,02	4,23	205
3,016	4,01	210
3,036	6,72	215
3,035	6,12	220
3,048	6,28	225
3,035	6,12	230
3,039	5,80	235
3,027	6,23	240
3,029	4,72	245
3,036	6,18	250
3,034	5,53	255
3,035	5,04	260
3,033	6,01	265
3,018	5,74	270
3,027	6,23	275
3,048	6,28	280
3,034	6,61	285
3,028	4,66	290
3,038	6,50	295
3,034	4,99	300
3,036	6,18	305
3,037	5,69	310
3,068	6,82	315
3,024	5,53	320
3,03	4,77	325
3,048	5,74	330
3,029	6,88	335
3,039	5,26	340
3,042	5,42	345
3,037	5,15	350
3,032	4,88	355
3,053	6,39	360
3,029	5,80	365

$$\bar{X} V2C1 = 5,616 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,616 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 56,16 \text{ N}$$

Data V2C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
2,986	2,39	5
3,035	5,04	10
3,018	4,12	15
3,05	5,85	20
3,049	5,80	25
3,043	5,47	30
3,04	5,31	35
3,034	4,99	40
3,076	7,26	45
3,022	4,34	50
3,031	4,82	55
3,053	6,01	60
3,054	6,07	65
3,04	5,31	70
3,056	6,18	75
3,045	5,58	80
3,048	5,74	85
3,068	6,82	90
3,033	4,93	95
3,044	5,53	100
3,056	6,18	105
3,049	5,80	110
3,063	6,55	115
3,034	4,99	120
3,018	4,12	125
3,052	5,96	130
3,06	6,39	135
3,065	6,66	140
3,037	5,15	145
3,076	7,26	150
3,039	5,26	155
3,052	5,96	160
3,031	4,82	165
3,063	6,55	170
3,034	4,99	175
3,046	5,63	180
3,052	5,96	185

3,027	4,61	190
3,066	6,72	195
3,035	5,04	200
3,053	6,01	205
3,035	5,04	210
3,031	4,82	215
3,038	5,20	220
3,057	6,23	225
3,06	6,39	230
3,046	5,63	235
3,03	4,77	240
3,025	4,50	245
3,116	9,42	250
3,037	5,15	255
3,049	5,80	260
3,023	4,39	265
3,065	6,66	270
3,028	4,66	275
3,045	5,58	280
3,054	6,07	285
3,054	6,07	290
3,038	5,20	295
3,03	4,77	300
3,059	6,34	305
3,063	6,55	310
3,04	5,31	315
3,052	5,96	320
3,066	6,72	325
3,043	5,47	330
3,031	4,82	335
3,065	6,66	340
3,03	4,77	345

$$\bar{X} V2C2 = 5,647 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,647 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 56,47 \text{ N}$$

Data V2C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,065	2,21	5
3,059	1,69	10
3,104	5,54	15
3,111	6,13	20
3,109	5,96	25
3,1	5,20	30
3,114	6,39	35
3,095	4,77	40
3,1	5,20	45
3,11	6,05	50
3,093	4,60	55
3,11	6,05	60
3,084	3,83	65
3,089	4,26	70
3,104	5,54	75
3,114	6,39	80
3,103	5,45	85
3,099	5,11	90
3,111	6,13	95
3,118	6,73	100
3,112	6,22	105
3,118	6,73	110
3,109	5,96	115
3,093	4,60	120
3,117	6,65	125
3,116	6,56	130
3,105	5,62	135
3,12	6,90	140
3,101	5,28	145
3,114	6,39	150
3,099	5,11	155
3,125	7,33	160
3,087	4,09	165
3,088	4,17	170
3,115	6,48	175
3,114	6,39	180
3,1	5,20	185
3,109	5,96	190

3,108	5,88	195
3,09	4,34	200
3,097	4,94	205
3,117	6,65	210
3,103	5,45	215
3,12	6,90	220
3,098	5,02	225
3,103	5,45	230
3,091	4,43	235
3,115	6,48	240
3,094	4,68	245
3,126	7,42	250
3,112	6,22	255
3,105	5,62	260
3,112	6,22	265
3,115	6,48	270
3,101	5,28	275
3,089	4,26	280
3,103	5,45	285
3,108	5,88	290
3,098	5,02	295
3,1	5,20	300
3,104	5,54	305
3,106	5,71	310
3,111	6,13	315
3,095	4,77	320
3,111	6,13	325
3,124	7,24	330
3,111	6,13	335
3,102	5,37	340
3,089	4,26	345
3,091	4,43	350
3,097	4,94	355
3,123	7,16	360
3,093	4,60	365

$$\bar{X} V2C3 = 5,643 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,643 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 56,43 \text{ N}$$

Data V3C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,103	6,55	5
3,105	6,66	10
3,152	9,20	15
3,154	9,31	20
3,186	11,04	25
3,125	7,74	30
3,139	8,50	35
3,186	11,04	40
3,14	8,55	45
3,178	10,61	50
3,158	9,53	55
3,16	9,64	60
3,176	10,50	65
3,114	7,15	70
3,141	8,61	75
3,179	10,66	80
3,141	8,61	85
3,13	8,01	90
3,124	7,69	95
3,211	12,39	100
3,175	10,45	105
3,156	9,42	110
3,177	10,56	115
3,15	9,10	120
3,134	8,23	125
3,154	9,31	130
3,15	9,10	135
3,138	8,45	140
3,157	9,47	145
3,15	9,10	150
3,148	8,99	155
3,146	8,88	160
3,167	10,02	165
3,154	9,31	170
3,144	8,77	175
3,184	10,93	180
3,135	8,28	185
3,13	8,01	190

3,158	9,53	195
3,138	8,45	200
3,104	6,61	205
3,144	8,77	210
3,172	10,29	215
3,14	8,55	220
3,138	8,45	225
3,18	10,72	230
3,113	7,09	235
3,147	8,93	240
3,157	9,47	245
3,107	6,77	250
3,142	8,66	255

$$\bar{X} V3C1 = 9,033 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 9,033 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 90,33 \text{ N}$$

Data V3C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,146	1,59	5
3,179	4,38	10
3,204	6,49	15
3,211	7,08	20
3,232	8,85	25
3,234	9,02	30
3,215	7,42	35
3,24	9,53	40
3,213	7,25	45
3,25	10,37	50
3,228	8,52	55
3,238	9,36	60
3,247	10,12	65
3,248	10,20	70
3,225	8,26	75
3,238	9,36	80
3,226	8,35	85
3,23	8,68	90
3,241	9,61	95
3,247	10,12	100
3,212	7,16	105
3,228	8,52	110
3,243	9,78	115
3,229	8,60	120
3,236	9,19	125
3,221	7,92	130
3,231	8,77	135
3,225	8,26	140
3,238	9,36	145
3,233	8,94	150
3,249	10,29	155
3,243	9,78	160
3,233	8,94	165
3,245	9,95	170
3,216	7,50	175
3,243	9,78	180
3,22	7,84	185
3,241	9,61	190

3,215	7,42	195
3,245	9,95	200
3,244	9,87	205
3,227	8,43	210
3,223	8,09	215
3,247	10,12	220
3,232	8,85	225
3,244	9,87	230
3,223	8,09	235
3,234	9,02	240
3,241	9,61	245
3,255	10,79	250
3,22	7,84	255
3,239	9,44	260
3,245	9,95	265
3,228	8,52	270

$$\bar{X} V3C2 = 8,936 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 8,936 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 89,36 \text{ N}$$

Data V3C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,172	3,79	5
3,174	3,96	10
3,184	4,80	15
3,211	7,08	20
3,249	10,29	25
3,227	8,43	30
3,238	9,36	35
3,242	9,70	40
3,241	9,61	45
3,214	7,33	50
3,224	8,18	55
3,233	8,94	60
3,231	8,77	65
3,234	9,02	70
3,238	9,36	75
3,216	7,50	80
3,238	9,36	85
3,251	10,46	90
3,249	10,29	95
3,247	10,12	100
3,238	9,36	105
3,232	8,85	110
3,223	8,09	115
3,221	7,92	120
3,237	9,28	125
3,23	8,68	130
3,241	9,61	135
3,257	10,96	140
3,252	10,54	145
3,234	9,02	150
3,236	9,19	155
3,244	9,87	160
3,215	7,42	165
3,243	9,78	170
3,225	8,26	175
3,226	8,35	180
3,217	7,59	185
3,243	9,78	190

3,225	8,26	195
3,241	9,61	200
3,245	9,95	205
3,236	9,19	210
3,211	7,08	215
3,23	8,68	220
3,248	10,20	225
3,248	10,20	230
3,215	7,42	235
3,22	7,84	240
3,251	10,46	245
3,235	9,11	250
3,243	9,78	255
3,229	8,60	260

$$\bar{X} V3C3 = 8,951 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 8,951 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 89,51 \text{ N}$$

Data V4C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,153	2,18	5
3,155	2,35	10
3,184	4,80	15
3,197	5,90	20
3,206	6,66	25
3,197	5,90	30
3,185	4,88	35
3,197	5,90	40
3,182	4,63	45
3,181	4,55	50
3,205	6,57	55
3,187	5,05	60
3,2	6,15	65
3,201	6,24	70
3,191	5,39	75
3,205	6,57	80
3,177	4,21	85
3,2	6,15	90
3,203	6,40	95
3,192	5,48	100
3,198	5,98	105
3,191	5,39	110
3,185	4,88	115
3,183	4,72	120
3,185	4,88	125
3,192	5,48	130
3,196	5,81	135
3,179	4,38	140
3,205	6,57	145
3,183	4,72	150
3,192	5,48	155
3,205	6,57	160
3,191	5,39	165
3,205	6,57	170
3,192	5,48	175
3,178	4,29	180
3,185	4,88	185
3,202	6,32	190

3,201	6,24	195
3,182	4,63	200
3,182	4,63	205
3,199	6,07	210
3,178	4,29	215
3,204	6,49	220
3,194	5,64	225
3,181	4,55	230
3,203	6,40	235
3,178	4,29	240
3,178	4,29	245
3,199	6,07	250
3,179	4,38	255
3,192	5,48	260
3,181	4,55	265
3,192	5,48	270
3,203	6,40	275
3,188	5,14	280
3,189	5,22	285
3,197	5,90	290
3,177	4,21	295
3,193	5,56	300
3,181	4,55	305
3,178	4,29	310
3,202	6,32	315
3,194	5,64	320
3,192	5,48	325
3,21	7,00	330
3,192	5,48	335
3,193	5,56	340
3,194	5,64	345
3,188	5,14	350
3,205	6,57	355
3,184	4,80	360

$$\bar{X} V4C1 = 5,424 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,424 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 54,24 \text{ N}$$

Data V4C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,147	1,68	5
3,169	3,53	10
3,197	5,90	15
3,182	4,63	20
3,193	5,56	25
3,197	5,90	30
3,184	4,80	35
3,187	5,05	40
3,187	5,05	45
3,207	6,74	50
3,192	5,48	55
3,197	5,90	60
3,19	5,31	65
3,195	5,73	70
3,201	6,24	75
3,181	4,55	80
3,205	6,57	85
3,195	5,73	90
3,201	6,24	95
3,193	5,56	100
3,202	6,32	105
3,186	4,97	110
3,186	4,97	115
3,194	5,64	120
3,188	5,14	125
3,197	5,90	130
3,183	4,72	135
3,205	6,57	140
3,19	5,31	145
3,188	5,14	150
3,18	4,46	155
3,195	5,73	160
3,203	6,40	165
3,184	4,80	170
3,186	4,97	175
3,194	5,64	180
3,195	5,73	185
3,189	5,22	190

3,203	6,40	195
3,188	5,14	200
3,182	4,63	205
3,187	5,05	210
3,199	6,07	215
3,199	6,07	220
3,188	5,14	225
3,197	5,90	230
3,187	5,05	235
3,198	5,98	240
3,189	5,22	245
3,202	6,32	250
3,189	5,22	255
3,185	4,88	260
3,181	4,55	265
3,184	4,80	270
3,196	5,81	275
3,183	4,72	280
3,183	4,72	285
3,184	4,80	290
3,191	5,39	295
3,187	5,05	300
3,184	4,80	305
3,188	5,14	310
3,188	5,14	315
3,198	5,98	320
3,195	5,73	325
3,185	4,88	330
3,187	5,05	335
3,184	4,80	340
3,195	5,73	345
3,185	4,88	350

$$\bar{X} V4C2 = 5,406 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,406 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 54,06 \text{ N}$$

Data V4C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,139	1,76	5
3,191	6,15	10
3,189	5,98	15
3,175	4,80	20
3,187	5,81	25
3,174	4,72	30
3,177	4,97	35
3,184	5,56	40
3,178	5,05	45
3,178	5,05	50
3,198	6,74	55
3,186	5,73	60
3,188	5,90	65
3,187	5,81	70
3,171	4,46	75
3,188	5,90	80
3,175	4,80	85
3,191	6,15	90
3,177	4,97	95
3,194	6,40	100
3,18	5,22	105
3,184	5,56	110
3,183	5,48	115
3,186	5,73	120
3,18	5,22	125
3,181	5,31	130
3,191	6,15	135
3,184	5,56	140
3,171	4,46	145
3,184	5,56	150
3,176	4,89	155
3,18	5,22	160
3,173	4,63	165
3,19	6,07	170
3,175	4,80	175
3,188	5,90	180
3,19	6,07	185
3,188	5,90	190

3,173	4,63	195
3,187	5,81	200
3,191	6,15	205
3,186	5,73	210
3,188	5,90	215
3,171	4,46	220
3,183	5,48	225
3,176	4,89	230
3,171	4,46	235
3,176	4,89	240
3,19	6,07	245
3,179	5,14	250
3,176	4,89	255
3,188	5,90	260
3,187	5,81	265
3,18	5,22	270
3,177	4,97	275
3,17	4,38	280
3,172	4,55	285
3,19	6,07	290
3,184	5,56	295
3,186	5,73	300
3,176	4,89	305
3,174	4,72	310
3,187	5,81	315
3,186	5,73	320
3,173	4,63	325
3,18	5,22	330
3,178	5,05	335
3,189	5,98	340
3,187	5,81	345
3,179	5,14	350

$$\bar{X} V4C3 = 5,397 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,397 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 53,97 \text{ N}$$

Data V5C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,167	4,46	5
3,211	8,18	10
3,205	7,67	15
3,199	7,16	20
3,189	6,32	25
3,212	8,26	30
3,211	8,18	35
3,212	8,26	40
3,203	7,50	45
3,224	9,27	50
3,208	7,92	55
3,216	8,60	60
3,206	7,75	65
3,2	7,25	70
3,202	7,42	75
3,206	7,75	80
3,214	8,43	85
3,193	6,66	90
3,221	9,02	95
3,216	8,60	100
3,199	7,16	105
3,233	10,03	110
3,192	6,57	115
3,204	7,59	120
3,204	7,59	125
3,201	7,33	130
3,215	8,51	135
3,211	8,18	140
3,224	9,27	145
3,214	8,43	150
3,208	7,92	155
3,19	6,40	160
3,224	9,27	165
3,199	7,16	170
3,223	9,19	175
3,206	7,75	180
3,236	10,29	185
3,229	9,70	190

3,213	8,35	195
3,212	8,26	200
3,2	7,25	205
3,219	8,85	210
3,222	9,11	215
3,209	8,01	220
3,223	9,19	225

$$\bar{X} V5C1 = 8,046 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 8,046 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 80,46 \text{ N}$$

Data V5C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,127	1,09	5
3,147	2,77	10
3,215	8,51	15
3,21	8,09	20
3,203	7,50	25
3,208	7,92	30
3,221	9,02	35
3,201	7,33	40
3,204	7,59	45
3,214	8,43	50
3,193	6,66	55
3,212	8,26	60
3,215	8,51	65
3,21	8,09	70
3,216	8,60	75
3,212	8,26	80
3,205	7,67	85
3,218	8,77	90
3,216	8,60	95
3,206	7,75	100
3,207	7,84	105
3,194	6,74	110
3,225	9,36	115
3,196	6,91	120
3,218	8,77	125
3,204	7,59	130
3,196	6,91	135
3,213	8,35	140
3,213	8,35	145
3,215	8,51	150
3,22	8,94	155
3,205	7,67	160
3,209	8,01	165
3,223	9,19	170
3,195	6,83	175
3,205	7,67	180
3,195	6,83	185
3,211	8,18	190

3,209	8,01	195
3,212	8,26	200
3,207	7,84	205
3,2	7,25	210
3,213	8,35	215
3,211	8,18	220
3,225	9,36	225
3,203	7,50	230
3,204	7,59	235

$$\bar{X} V5C2 = 8,012 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 8,012 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 80,12 \text{ N}$$

Data V5C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,116	0,16	5
3,185	5,98	10
3,198	7,08	15
3,189	6,32	20
3,205	7,67	25
3,215	8,51	30
3,204	7,59	35
3,195	6,83	40
3,207	7,84	45
3,203	7,50	50
3,197	7,00	55
3,214	8,43	60
3,215	8,51	65
3,199	7,16	70
3,22	8,94	75
3,218	8,77	80
3,218	8,77	85
3,226	9,44	90
3,199	7,16	95
3,215	8,51	100
3,202	7,42	105
3,205	7,67	110
3,218	8,77	115
3,217	8,68	120
3,215	8,51	125
3,226	9,44	130
3,207	7,84	135
3,214	8,43	140
3,214	8,43	145
3,198	7,08	150
3,22	8,94	155
3,222	9,11	160
3,223	9,19	165
3,196	6,91	170
3,223	9,19	175
3,206	7,75	180
3,201	7,33	185
3,204	7,59	190

3,197	7,00	195
3,205	7,67	200
3,224	9,27	205
3,21	8,09	210
3,208	7,92	215
3,219	8,85	220
3,228	9,61	225
3,217	8,68	230
3,205	7,67	235
3,204	7,59	240

$$\bar{X} V5C3 = 8,056 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 8,056 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 80,56 \text{ N}$$

Data V6C1

$$\bar{X} V6C1 = 3,374$$

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,135	3,80	5
3,13	3,53	10
3,133	3,69	15
3,139	4,01	20
3,146	4,39	25
3,147	4,44	30
3,131	3,58	35
3,115	2,71	40
3,13	3,53	45
3,128	3,42	50
3,126	3,31	55
3,137	3,90	60
3,119	2,93	65
3,108	2,34	70
3,123	3,15	75
3,122	3,09	80
3,124	3,20	85
3,127	3,36	90
3,125	3,25	95
3,129	3,47	100
3,122	3,09	105
3,109	2,39	110
3,121	3,04	115
3,127	3,36	120
3,124	3,20	125
3,126	3,31	130
3,12	2,98	135
3,135	3,80	140
3,126	3,31	145
3,116	2,77	150
3,145	4,34	155
3,126	3,31	160
3,133	3,69	165
3,121	3,04	170

$$F = m \times a$$

$$F = 3,374 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 33,74 \text{ N}$$

Data V6C2

$$\bar{X} V6C2 = 3,406 \text{ Kg}$$

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,248	2,39	5
3,263	3,20	10
3,249	2,44	15
3,272	3,69	20
3,275	3,85	25
3,271	3,63	30
3,268	3,47	35
3,273	3,74	40
3,268	3,47	45
3,257	2,88	50
3,273	3,74	55
3,268	3,47	60
3,268	3,47	65
3,273	3,74	70
3,262	3,15	75
3,254	2,71	80
3,272	3,69	85
3,263	3,20	90
3,265	3,31	95
3,274	3,80	100
3,269	3,52	105
3,268	3,47	110
3,266	3,36	115
3,273	3,74	120
3,269	3,52	125
3,268	3,47	130
3,27	3,58	135
3,265	3,31	140
3,261	3,09	145
3,274	3,80	150
3,259	2,98	155
3,257	2,88	160
3,27	3,58	165
3,276	3,90	170
3,26	3,04	175
3,265	3,31	180

$$F = m \times a$$

$$F = 3,406 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 34,06 \text{ N}$$

Data V6C3

$$\bar{X} V6C3 = 3,437 \text{ Kg}$$

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,273	2,23	5
3,285	2,88	10
3,304	3,90	15
3,294	3,36	20
3,287	2,98	25
3,294	3,36	30
3,3	3,69	35
3,288	3,04	40
3,288	3,04	45
3,303	3,85	50
3,3	3,69	55
3,286	2,93	60
3,296	3,47	65
3,297	3,53	70
3,293	3,31	75
3,302	3,80	80
3,296	3,47	85
3,3	3,69	90
3,294	3,36	95
3,29	3,15	100
3,294	3,36	105
3,29	3,15	110
3,307	4,07	115
3,296	3,47	120
3,3	3,69	125
3,29	3,15	130
3,298	3,58	135
3,294	3,36	140
3,296	3,47	145
3,306	4,01	150
3,299	3,63	155
3,307	4,07	160
3,299	3,63	165
3,3	3,69	170
3,291	3,20	175
3,296	3,47	180
3,294	3,36	185

$$F = m \times a$$

$$F = 3,437 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 34,37 \text{ N}$$

Data V7C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,271	3,63	5
3,321	6,34	10
3,306	5,53	15
3,297	5,04	20
3,33	6,82	25
3,315	6,01	30
3,317	6,12	35
3,298	5,09	40
3,303	5,36	45
3,328	6,72	50
3,285	4,39	55
3,308	5,63	60
3,313	5,90	65
3,318	6,18	70
3,289	4,61	75
3,326	6,61	80
3,307	5,58	85
3,325	6,55	90
3,328	6,72	95
3,288	4,55	100
3,323	6,45	105
3,329	6,77	110
3,323	6,45	115
3,295	4,93	120
3,325	6,55	125
3,34	7,36	130
3,298	5,09	135
3,313	5,90	140
3,33	6,82	145
3,309	5,69	150
3,326	6,61	155
3,312	5,85	160
3,3	5,20	165
3,318	6,18	170
3,327	6,66	175
3,329	6,77	180
3,311	5,80	185

3,313	5,90	190
3,319	6,23	195
3,314	5,96	200
3,32	6,28	205
3,312	5,85	210
3,312	5,85	215
3,33	6,82	220
3,301	5,26	225
3,292	4,77	230

$$\bar{X} V7C1 = 5,950 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,950 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 59,50 \text{ N}$$

Data V7C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,238	2,24	5
3,292	5,18	10
3,3	5,61	15
3,31	6,16	20
3,309	6,11	25
3,3	5,61	30
3,293	5,23	35
3,299	5,56	40
3,312	6,27	45
3,311	6,21	50
3,293	5,23	55
3,321	6,76	60
3,29	5,07	65
3,302	5,72	70
3,315	6,43	75
3,301	5,67	80
3,315	6,43	85
3,301	5,67	90
3,291	5,12	95
3,298	5,51	100
3,298	5,51	105
3,314	6,38	110
3,307	6,00	115
3,3	5,61	120
3,303	5,78	125
3,307	6,00	130
3,309	6,11	135
3,299	5,56	140
3,318	6,60	145
3,295	5,34	150
3,312	6,27	155
3,311	6,21	160
3,299	5,56	165
3,296	5,40	170
3,304	5,83	175
3,315	6,43	180
3,305	5,89	185

3,307	6,00	190
3,3	5,61	195
3,315	6,43	200
3,305	5,89	205
3,32	6,70	210
3,314	6,38	215
3,311	6,21	220
3,323	6,87	225
3,311	6,21	230

$$\bar{X} V7C2 = 5,919 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,919 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 59,19 \text{ N}$$

Data V7C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,234	2,51	5
3,292	5,67	10
3,304	6,32	15
3,283	5,18	20
3,302	6,21	25
3,305	6,38	30
3,298	6,00	35
3,291	5,62	40
3,311	6,71	45
3,301	6,16	50
3,301	6,16	55
3,297	5,94	60
3,307	6,49	65
3,284	5,23	70
3,309	6,60	75
3,306	6,43	80
3,296	5,89	85
3,306	6,43	90
3,299	6,05	95
3,288	5,45	100
3,275	4,74	105
3,293	5,72	110
3,298	6,00	115
3,307	6,49	120
3,298	6,00	125
3,299	6,05	130
3,28	5,02	135
3,287	5,40	140
3,295	5,83	145
3,296	5,89	150
3,3	6,11	155
3,295	5,83	160
3,299	6,05	165
3,284	5,23	170
3,297	5,94	175
3,289	5,51	180
3,304	6,32	185

3,283	5,18	190
3,28	5,02	195
3,291	5,62	200
3,306	6,43	205
3,305	6,38	210
3,296	5,78	215

$$\bar{X} V7C3 = 5,892 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 5,892 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 58,92 \text{ N}$$

Data V8C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,229	2,24	5
3,236	2,62	10
3,244	3,06	15
3,223	1,91	20
3,23	2,29	25
3,239	2,78	30
3,224	1,97	35
3,221	1,80	40
3,23	2,29	45
3,233	2,46	50
3,246	3,16	55
3,238	2,73	60
3,224	1,97	65
3,229	2,24	70
3,225	2,02	75
3,238	2,73	80
3,224	1,97	85
3,228	2,18	90
3,221	1,80	95
3,252	3,49	100
3,233	2,46	105
3,226	2,07	110
3,223	1,91	115
3,242	2,95	120
3,226	2,07	125

$$\bar{X} V8C1 = 2,367 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 2,367 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 23,67 \text{ N}$$

Data V8C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,278	1,96	5
3,285	2,34	10
3,288	2,50	15
3,283	2,23	20
3,287	2,44	25
3,286	2,39	30
3,289	2,55	35
3,282	2,17	40
3,294	2,82	45
3,295	2,88	50
3,288	2,50	55
3,282	2,17	60
3,283	2,23	65
3,293	2,77	70
3,294	2,82	75
3,289	2,55	80
3,293	2,77	85
3,279	2,01	90
3,283	2,23	95
3,294	2,82	100
3,289	2,55	105
3,281	2,12	110
3,285	2,34	115
3,291	2,66	120
3,285	2,34	125
3,296	2,93	130
3,284	2,28	135
3,293	2,77	140
3,287	2,44	145
3,28	2,06	150

$$\bar{X} V8C2 = 2,471 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 2,471 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 24,71 \text{ N}$$

Data V8C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,25	1,36	5
3,264	2,12	10
3,268	2,34	15
3,264	2,12	20
3,277	2,82	25
3,267	2,28	30
3,279	2,93	35
3,27	2,44	40
3,275	2,71	45
3,266	2,23	50
3,274	2,66	55
3,261	1,96	60
3,274	2,66	65
3,264	2,12	70
3,274	2,66	75
3,27	2,44	80
3,273	2,61	85
3,263	2,07	90
3,267	2,28	95
3,276	2,77	100
3,268	2,34	105
3,268	2,34	110
3,264	2,12	115
3,279	2,93	120
3,276	2,77	125
3,263	2,07	130
3,267	2,28	135
3,27	2,44	140

$$\bar{X} V8C3 = 2,426 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 2,426 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 24,26 \text{ N}$$

Data V9C1

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,306	3,47	5
3,314	3,90	10
3,298	3,04	15
3,32	4,23	20
3,314	3,90	25
3,304	3,36	30
3,32	4,23	35
3,314	3,90	40
3,3	3,15	45
3,332	4,88	50
3,327	4,61	55
3,308	3,58	60
3,309	3,63	65
3,322	4,34	70
3,309	3,63	75
3,306	3,47	80
3,312	3,80	85
3,316	4,01	90
3,327	4,61	95
3,324	4,44	100
3,315	3,96	105
3,323	4,39	110
3,327	4,61	115
3,313	3,85	120

$$\bar{X} V9C1 = 3,958 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 3,958 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 39,58 \text{ N}$$

Data V9C2

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,274	3,80	5
3,276	3,90	10
3,283	4,28	15
3,286	4,44	20
3,276	3,90	25
3,273	3,74	30
3,279	4,07	35
3,283	4,28	40
3,272	3,69	45
3,274	3,80	50
3,281	4,17	55
3,273	3,74	60
3,28	4,12	65
3,267	3,42	70
3,274	3,80	75
3,284	4,34	80
3,265	3,31	85
3,286	4,44	90
3,273	3,74	95
3,275	3,85	100

$$\bar{X} V9C2 = 3,941 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 3,941 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 39,41 \text{ N}$$

Data V9C3

Tegangan (mV)	Massa (Kg)	Waktu (s)
3,256	1,69	5
3,303	4,23	10
3,302	4,17	15
3,314	4,82	20
3,287	3,36	25
3,303	4,23	30
3,308	4,50	35
3,297	3,90	40
3,302	4,17	45
3,313	4,77	50
3,294	3,74	55
3,302	4,17	60
3,297	3,90	65
3,312	4,72	70
3,31	4,61	75
3,289	3,47	80
3,303	4,23	85
3,312	4,72	90
3,291	3,58	95
3,306	4,39	100
3,308	4,50	105

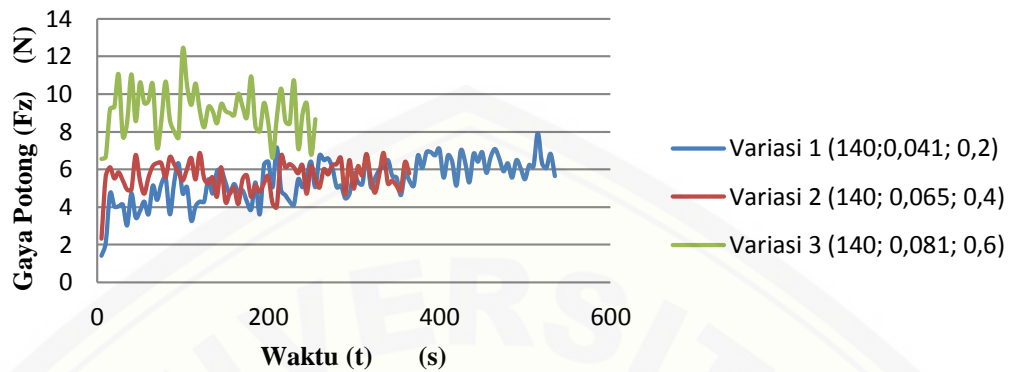
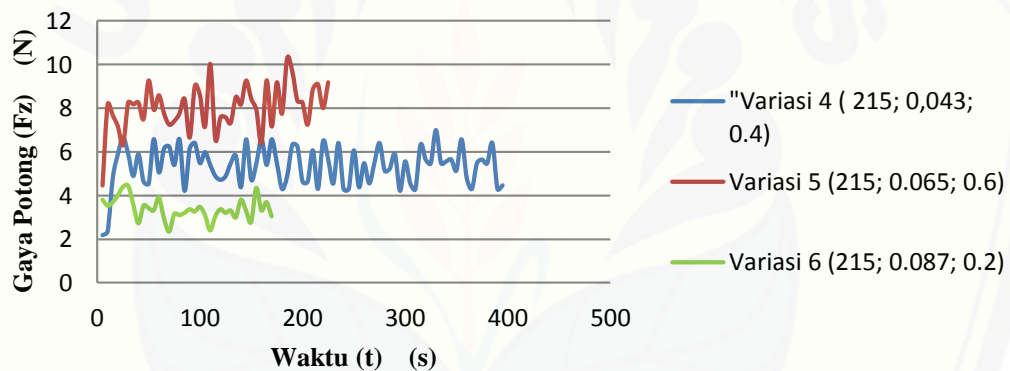
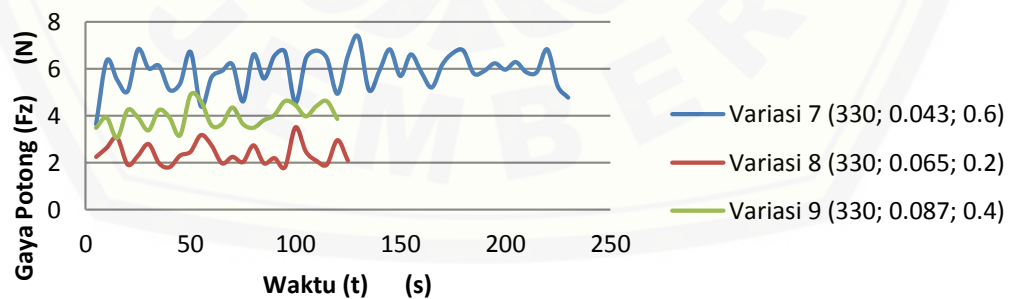
$$\bar{X} V9C1 = 4,089 \text{ Kg}$$

$$F = m \times a$$

$$F = 4,089 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$F = 40,89 \text{ N}$$

Lampiran 6.7 Data Hasil Respon pada setiap variasi di percobaan pertama

Respon Gaya Potong (F_c) Variasi ke 1,2, dan 3**Respon Gaya Potong (F_c) Variasi ke 4,5, dan 6****Respon Gaya potong (F_c) Variasi ke 7,8, dan 9**

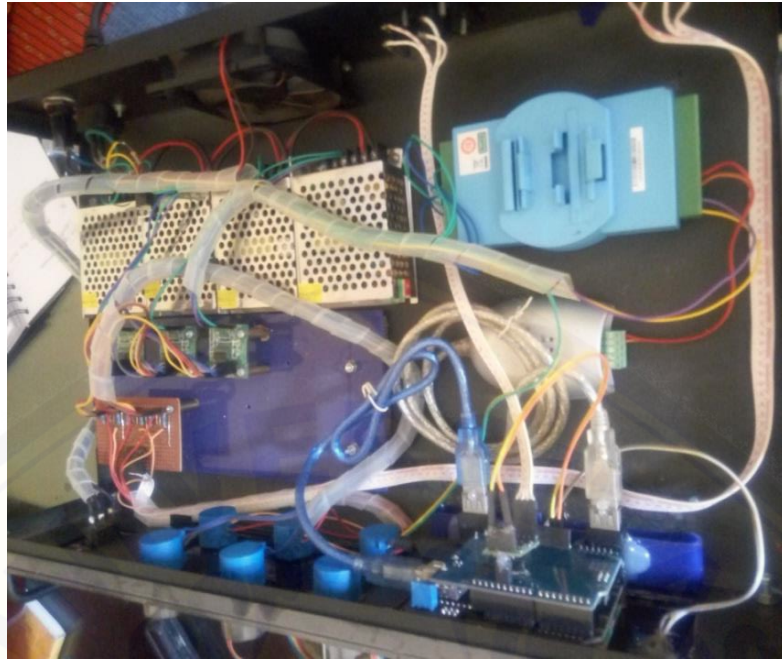
Lampiran 6.8 Alat dan Bahan

1. Gambar Alat yang digunakan



Mesin Bubut GUT C6236x1000

Sensor *Strain Gauge*Tampak samping sensor *strain gauge*



Sistem Akuisisi data



Potensio pengatur *offset* dan *gain* untuk *strain gauge*

2. Gambar Bahan

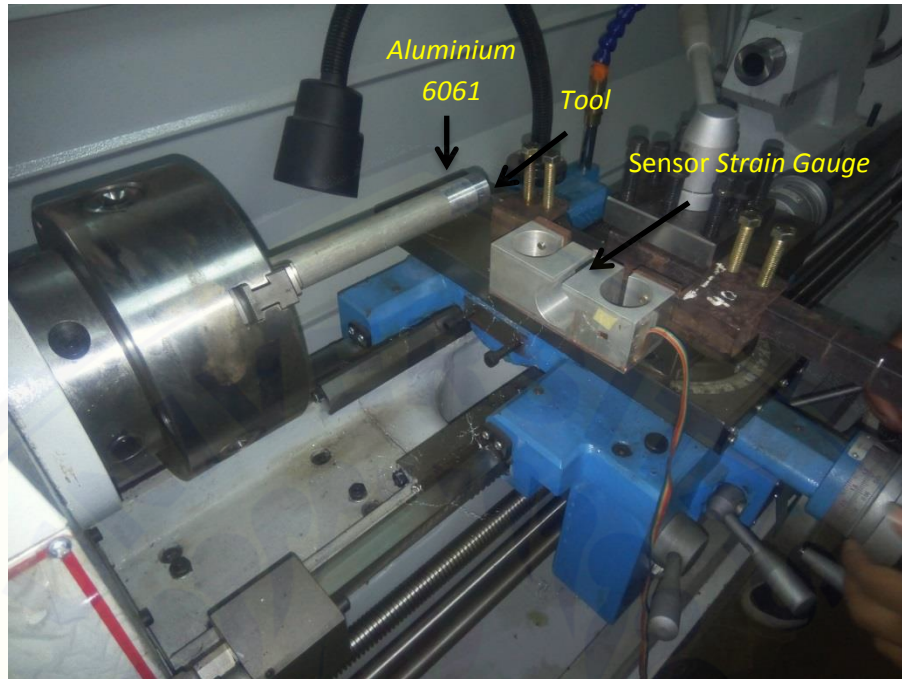


Pahat HSS



Aluminium 6061

Lampiran 6.9 Proses Pengambilan Data Gaya Potong



penempatan sensor *strain gauge* pada mesin bubut



Proses pengambilan data