

**PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT UKUR GAYA POTONG
PEMESINAN BUBUT**

(Skripsi)

Oleh :

AHMAD GUSTIYAWAN SUTRISNO



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT UKUR GAYA POTONG PEMESINAN BUBUT

Oleh

AHMAD GUSTIYAWAN SUTRISNO

Proses pemesinan bubut merupakan proses pemesinan yang cukup populer digunakan. Terutama dalam pembuatan benda kerja yang berbentuk silindris. Dalam proses pembubutan, diperlukan pahat yang awet dan tahan terhadap berbagai macam situasi pemakanan. Selama proses pembubutan terdapat gaya yang mempengaruhi kinerja pahat dan ketahanan pahat. Gaya tersebut adalah gaya tangensial, longitudinal dan radial. Ketiga gaya tersebut dapat mempengaruhi umur pahat. Besar gaya yang terjadi dapat dipengaruhi oleh geometri pahat, jenis material benda kerja, material pahat, dan kondisi pemotongan. Gaya potong yang besar dapat mengurangi umur pahat. Dengan begitu besar gaya yang terjadi menjadi penting untuk diketahui untuk meminimalisir tingkat keausan pahat dan membuat umur pahat bisa optimal. Untuk mengetahui besaran gaya pada saat proses pembubutan maka diperlukan alat yang dapat membaca besaran gaya yang terjadi. Perangkat gaya yang dibuat dalam penelitian ini menggunakan sensor *strain gauge* yang langsung terpasang pada pahat. Pahat yang digunakan disini adalah pahat dengan jenis HSS dengan ukuran 0.25 inch dengan panjang 10 cm. Nilai keluaran sensor di konversikan menjadi tegangan oleh jembatan *wheatstone*, diperbesar dengan *instrument amplifier*, dan diproses oleh arduino. Pengujian dilakukan dengan beberapa parameter yaitu kecepatan spindel, kedalaman pemotongan, dan kecepatan pemakanan. Kecepatan spindel (n) berpengaruh terhadap gaya potong, makin besar kecepatan spindel maka akan semakin kecil gaya potong. Semakin dalam kedalaman potong (*depth of cut*), akan mengakibatkan gaya potong semakin besar. Semakin cepat kecepatan makan (*feeding*) maka akan mengakibatkan gaya potong semakin besar pula.

Kata Kunci : Keausan, pahat HSS, jembatan *wheatstone*, *strain gauge*, *instrument amplifier*, arduino, kecepatan spindel, kedalaman potong, *feeding*.

ABSTRACT

MAKING AND TESTING OF CUTTING FORCE MEASURING DEVICES IN LATHE MACHINES

By

AHMAD GUSTIYAWAN SUTRISNO

The lathe machining process is a machining process that is quite popular to use. Especially in the manufacture of cylindrical workpieces. In the turning process, a tool that is durable and resistant to a variety of feed situations is needed. During the turning process there are styles that affect tool performance and tool resistance. These forces are tangential, longitudinal and radial forces. These three forces can affect tool life. The amount of force that occurs can be affected by tool geometry, type of workpiece material, tool material, and cutting conditions.

Large cutting styles can reduce tool life. With such a large force, it is important to know to minimize tool wear and make tool life optimal. To determine the amount of force during the turning process, a tool is needed that can read the amount of force that occurs. The style device made in this study uses a strain gauge sensor which is directly attached to the tool. The tool used here is a tool with a type of HSS with a size of 0.25 inch with a length of 10 cm. The sensor output value is converted to voltage by the wheatstone bridge, enlarged with the instrument amplifier, and processed by Arduino. Tests are carried out with several parameters, such as spindle speed, depth of cut, and feed rate. Spindle speed (n) affects the cutting force, the greater the spindle speed, the smaller cutting force. The deeper the depth of cut, will result in greater cutting force. The faster the speed of feeding (feed rate) will result in greater cutting force.

Keywords : Wear, HSS tool, wheatstone bridge, strain gauge, instrument amplifier, arduino, spindle speed, depth of cut, feed rate.

**PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT UKUR GAYA POTONG
PEMESINAN BUBUT**

Oleh :

AHMAD GUSTIYAWAN SUTRISNO

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

**Judul Skripsi : PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT
UKUR GAYA POTONG PEMESINAN BUBUT**

Nama Mahasiswa : Ahmad Gustiyawan Sutrisno

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021009

Program Studi : Teknik Mesin

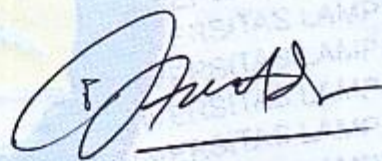
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

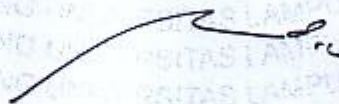


Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.
NIP 19710817 199802 1 003



Achmad Yahya Teguh Panuju, S.T., M.T.
NIP 19800205 200501 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Mesin



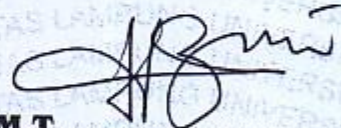
Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP 19740816 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

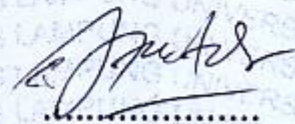
Ketua

: **Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T.**



Anggota

: **Achmad Yahya TP, S.T., M.T.**



Penguji

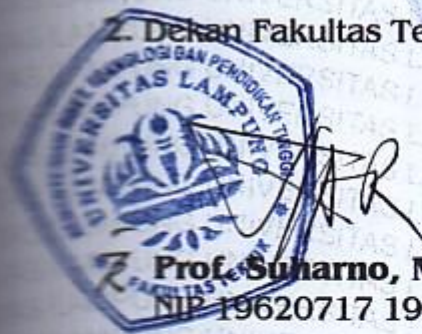
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **12 Juli 2018**

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR DALAM PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR NO. 3187/H26/DT/2010 .

YANG MEMBUAT PERNYATAAN



AHMAD GUSTIYAWAN SUTRISNO

NPM 1215021009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Astra Ksetra Kecamatan Gedung Meneng Kabupaten Tulang Bawang Provinsi Lampung pada tanggal 26 Agustus 1993, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Kusno dan Ibu Suryani. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD 01 YAPINDO pada tahun 2006, pendidikan

Sekolah Menengah Pertama di SMP YAPINDO Tulang Bawang pada tahun 2009 dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Sugar Group pada tahun 2012.

Dan pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi internal kampus, yaitu sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi penelitian dan pengembangan periode 2014 - 2015. Pada bidang akademik, pada tahun 2015 penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Sweet Indolampung di Tulang Bawang. Kemudian penulis pernah menjadi asisten gambar selama dua tahun dan asisten kegiatan praktikum Proses Produksi pada tahun ajaran 2017. Dan pada tahun 2016 penulis melakukan penelitian pada bidang konsentrasi Produksi sebagai Tugas Akhir “Pembuatan dan Pengujian Perangkat Ukur Gaya Potong Pemesinan Bubut“ dibawah Bimbingan Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim S.T.,M.T. dan Bapak Achmad Yahya TP, S.T.,M.T.

MOTTO

Aku tak punya bakat khusus. Aku cuma punya rasa penasarannya yang menggebu-gebu.

(Albert Einstein)

Aku tak bisa memberimu rumus kesuksesan. Tapi aku bisa memberimu rumus kegagalan, dan itu adalah mencoba menyenangkan tiap orang.

(Herbert Bayard Swope)

Apa yang membuatmu tak nyaman adalah kesempatan terbesarmu untuk tumbuh.

(Bryant McGill)

Siapa pun yang berhenti belajar akan menua, entah itu berumur 20 atau 80. Siapa pun yang terus belajar akan tetap muda.

(Henry Ford)

Rahasia kesuksesan adalah melakukan hal yang biasa secara tak biasa.

(John D. Rockefeller Jr)

Kesempatan tak terjadi. Kaulah yang menciptakannya.

(Chris Grosser)

Kepemimpinan itu adalah tentang cara berpikir, cara beraksi, dan yang paling penting, cara berkomunikasi.

(Simon Sinek)

Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari. Tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu.

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.

(QS Al Baqarah 216)

Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.

(QS Al Insyirah 5 - 6)

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.

(QS Ar Ra'd 11)

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha”

(B.J. Habibie)

Hal yang paling sulit saat menjadi presiden adalah menyatukan pemikiran rakyatnya.

(Ahmad Gustiyawan Sutrisno)



KUPERSEMBAHKAN KARYA SEDERHANA INI KEPADA

IBU dan BAPAK Tercinta

Semua pengorbanan, keringat kerja keras dan kasih sayang yang selalu kalian berikan menjadikanku lebih kuat dalam melangkah dan mampu pada kalianlan aku memandang marah adalah nasehat yang berguna

Kakak dan Adikku Tercinta

Teringat ketika kita bermain tertawa bersama, walau terkadang ada pertengkaran namun selalu penuh kehangatan kasih sayang dan kebersamaan

Dosenku yang sangat berjasa

Kalian ibarat sebuah lilin yang menghabiskan dirinya untuk mencerahkan kehidupan orang lain, selalu membagi ilmu dan wawasannya tanpa kenal lelah

Calon Pendamping Hidupku

Senan tiasa selalu memberi motivasi dan semangat dalam belajar, berbagi waktu suka maupun duka

Sahabat Mesin '12

Yang selalu memberi semangat dan berdiri tegap disampingku saat suka maupun duka, berbagi nasihat dan keceriaan

Almamater kebanggaanku Fakultas Teknik Universitas Lampung

Republik Indonesia

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Bismillahirrahmanirrahim, segala puji bagi Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah serta hinayahnya kepada penulis. Sehingga penulis selalu mendapat kelancaran dan kemudahan dalam penulisan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tucurahkan kepada junjungan Nabi besar kita Muhammad SAW, serta para keluarga dan sahabat Nya hingga akhir zaman.

Alhamdulillahirabbilalamin, akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan ini sebagai salah satu syarat dalam meraih gelar sarjana teknik pada jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknuk Universitas Lampung. Skripsi ini berjudul "PEMBUATAN DAN PENGUJIAN PERANGKAT UKUR GAYA POTONG PEMESINAN BUBUT". Dalam proses penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan, motivasi dan bantuan baik secara moral maupun materil oleh banyak pihak. Untuk itu dengan sepenuh ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, yang telah membantu kelancaran selama penyelesaian tugas akhir penulis.
3. Bapak Dr. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama tugas akhir, terima kasih atas semua arahan, bimbingan, segala nasehat dan juga motivasinya terhadap penulis serta ilmu yang diberikan selama penyelesaian tugas akhir penulis.

4. Bapak Achmad Yahya TP, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing pendamping tugas akhir, terima kasih atas semua saran-saran, bimbingan, dan juga atas segala kelancaran selama penyelesaian tugas akhir penulis.
5. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T. selaku dosen pembahas tugas akhir, terima kasih atas semua saran-saran, perbaikan yang sangat membangun.
6. Kedua orang tuaku tercinta Bapak Kusno dan Ibu Suryani yang selalu memberikan kasih sayang, sabar menunggu dan mendoakan atas harapan akan kesuksesan penulis hingga dapat menyelesaikan studi S-1.
7. Kepada adik-adikku : Silvia Dwi Kusuma Nurjannah dan Ahmad Bintang Nur Akhsay, terima kasih atas dukungan, motivasi, pengertian, doa dan kasih sayangnya.
8. Kepada calon pendamping yang belum diketahui namanya, terima kasih telah memotivasi diri untuk segera menyelesaikan skripsi dan kuliah untuk menguak teka-teki nama yang mungkin akan semakin jelas.
9. Bapak Harnowo Supriadi, S.T.,M.T selaku dosen kordinator Tugas Akhir yang selalu membantu dan memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin atas ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik maupun teladan dan motivasi untuk masa yang akan datang.
11. Mas Marta, Mas Dadang dan Mas Nanang yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin.
12. Mas Agus, A.Md dan Mas Joko, S.T. selaku asisten Lab Produksi dan SMI yang telah banyak membantu dalam proses penelitian.

13. Rekan-rekan sahabat terbaik : Guruh Permadhie Iskandar, Lutfi Yunianto, Tri Hadi, Raziz Arif Wibowo, Fahmi Bastiar, Nur Wakhid, Bagus Purnomo, Tobit Rafael Samosir, Ajito Surancoyo, Muhammad Iqbal, Zaenal Arifin, Ahmad Alfian, Andika Sofyan, Farid Nanda Syanur, dan Rajiz Arif Wibowo semoga rasa kebersamaan dan kekeluargaan ini akan selalu ada untuk selamanya.
14. Rekan-rekan kosan Puri Agung terbaik dengan segala kelebihan dan keunikan pada zamannya. Guruh Permadhie Iskandar, Lutfi Yunianto, Tri Hadi Widodo, Novandra Erico, Muktie si virus Tampan, Beny Cassandra, Bang Eko Alan P., Bang Budi, Bang Andreas Paska, Bang Rahmadi Hamijaya, Bang Wisnu Ismoyo, Bang Arnadi, Bang Yandi Darma Wijaya, Imam Abiyyu Hamid, Ferly Apriansyah, Beny Pratama Damisma, Fernando Silaban, Dafri Maulana, Awan Gunaevi, Izzaturizal, Bagus, Raziz Arif Wibowo (baru bergabung), dan Mad Kur. Kalian Luar Biasa. Pertahankan keunikan kalian. Sukses untuk kedepannya. Reuni dengan membawa mobil impian masing-masing!
15. Rekan-rekan Teknik Mesin 2012 semua yang tidak bisa disebut namanya satu persatu terima kasih atas partisipasinya dalam kelancaran skripsi ini. Semoga kebersamaan ini tetap terjaga hingga akhir hayat, “SOLIDARITY FOREVER”.
16. Dan seluruh rekan-rekan Teknik Mesin seluruh angkatan.
18. Dan kepada semua pihak yang tidak disebutkan yang telah membantu saya selama rentang hidup saya hingga saat ini.

Terimakasih penulis ucapkan atas bantuan yang diberikan sehingga terselesaikannya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Amin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bandar Lampung, 8 Agustus 2018

Penulis

Ahmad Gustiyawan Sutrisno

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
 BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Sistematika Penulisan	5
 BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pengertian Proses Permesinan	8
B. Mesin Bubut (<i>Turning</i>)	10
C. Elemen-Elemen Dasar Pemotongan pada Bubut	14
D. Jenis - Jenis Pahat	19
E. Akuisisi Data	24

F. Strain Gage	28
G. Jembatan Wheatstone	34
H. Arduino.....	37
I. Instrumen Amplifier	39
J. Pengukuran Gaya Potong Menggunakan Sensor <i>Strain Gauge</i>	44
K. Magnesium	45

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	52
B. Alur Penelitian	54
C. Alat dan Bahan	55
1. Sensor <i>Strain Gauge</i>	55
2. Pahat	56
3. Lem <i>Strain Gauge</i>	57
4. Instrumen Amplifier INA 125.....	58
5. Arduino Uno R3	60
6. Komputer / Laptop	62
7. Material Uji	62
8. Mesin Bubut	63

D. Prosedur Penelitian	65
1. Tahap-Tahap Prosedur Penelitian.....	65
2. Mekanisme Kerja Sistem	65
3. Persiapan Bahan	66
4. Pembuatan Alat	67

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Perangkat Ukur	70
B. Pengujian dan Cara Kerja Alat.....	85
C. Data Hasil Pengujian.....	89

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan	115
B. Saran	116

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Spesifikasi <i>Strain Gauge</i> BF350 3AA	30
Tabel 2. Spesifikasi BB INA 125	44
Tabel 3. Sifat Atom Magnesium	47
Tabel 4. Sifat Fisik Magnesium.....	48
Tabel 5. Rencana kegiatan penelitian	52
Tabel 6. Spesifikasi <i>Strain Gauge</i>	56
Tabel 7. Spesifikasi Pahat HSS 1/4 inch.....	57
Tabel 8. Spesifikasi Lem <i>Strain Gauge</i>	57
Tabel 9. Spesifikasi INA 125	59
Tabel 10. Fitur Kelebihan INA 125	60
Tabel 11. Spesifikasi Arduino Uno R3	61

Tabel 12. Karakteristik Fisik dan Thermal MagnesiumAZ31	62
Tabel 13. Sifat Fisik Magnesium	63
Tabel 14. Spesifikasi Mesin Bubut Konvensional	64
Tabel 15. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 1-3	90
Tabel 16. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 4-6	91
Tabel 17. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 7-9.....	91
Tabel 18. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 10-12...	92
Tabel 19. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 12-15...	92
Tabel 20. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 16-18...	93
Tabel 21. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 19-21...	93
Tabel 22. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 22-24...	94
Tabel 23. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 1 Pengujian 25-27.....	94
Tabel 24. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 1-3	95
Tabel 25. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 4-6	95
Tabel 26. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 7-9	96
Tabel 27. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 10-12.....	96
Tabel 28. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 13-15.....	97
Tabel 29. Data Hasil Pengujian Sensor <i>Strain Gauge</i> 2 Pengujian 16-18.....	97

Tabel 30. Data Hasil Pengujian Sensor *Strain Gauge* 2 Pengujian 19-21..... 98

Tabel 31. Data Hasil Pengujian Sensor *Strain Gauge* 2 Pengujian 22-24..... 98

Tabel 32. Data Hasil Pengujian Sensor *Strain Gauge* 2 Pengujian 25-27..... 99

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Macam-macam proses pemesinan	10
Gambar 2. Mesin Bubut	11
Gambar 3. Bagian - Bagian Mesin bubut	13
Gambar 4. Gaya - gaya pada pemotongan	14
Gambar 5. Sistem akuisisi data dengan satu sensor	28
Gambar 6. <i>Strain gauge</i> BF350 3AA	29
Gambar 7. Bagian - bagian <i>strain gauge</i>	29
Gambar 8. Arti kode spesifikasi <i>strain gauge</i>	31
Gambar 9. Konfigurasi pemasangan sensor <i>strain gauge</i>	33
Gambar 10. Rangkaian jembatan <i>wheatstone</i>	34
Gambar 11. Skema pemasangan sensor <i>strain gauge</i>	36
Gambar 12. Arduino Uno R3	37

Gambar 13. Simbol Operasional Amplifier (Op-Amp)	39
Gambar 14. Rangkaian Dasar Op-Amp Penguat Diferensial	41
Gambar 15. Instrumen Amplifier INA 125	42
Gambar 16. Konfigurasi pin INA 125	43
Gambar 17. Skema susunan perangkat ukur gaya pada proses bubut	45
Gambar 18. Prinsip bidang dan arah pada elemen magnesium	49
Gambar 19. Penamaan paduan magnesium	50
Gambar 20. <i>Flowchart</i> penelitian	54
Gambar 21. Sensor <i>strain gauge</i>	55
Gambar 22. Pahat HSS	56
Gambar 23. Lem <i>strain gauge</i>	58
Gambar 24. INA 125	58
Gambar 25. Arduino UNO R3	61
Gambar 26. Magnesium AZ 31	62
Gambar 27. Mesin Bubut	64
Gambar 28. Skema sistem alat ukur gaya	66
Gambar 29. Analisis tegangan pada pahat ..	73
Gambar 30. Pemasangan sensor <i>strain gauge</i> pada pahat	75

Gambar 31. Pahat yang telah terpasang <i>strain gauge</i>	75
Gambar 32. Instalasi kabel pada <i>strain gauge</i>	75
Gambar 33. Jembatan wheatstone	76
Gambar 34. Resistor variabel multiturn seri 3296	77
Gambar 35. <i>Strain gauge</i> sebagai resistor pada rangkaian	78
Gambar 36. Skema pemasangan rangkaian INA 125 pada sistem	80
Gambar 37. PCB versi 1 tampak atas	81
Gambar 38. PCB versi 1 tampak bawah	82
Gambar 39. PCB versi 2 tampak atas	82
Gambar 40. PCB versi 2 tampak bawah	83
Gambar 41. Skema sistem akuisisi data	84
Gambar 42. Instalasi pahat pada mesin bubut	86
Gambar 43. PCB dengan jembatan <i>wheatstone</i> , <i>amplifier</i> , dan arduino	86
Gambar 44. Pemasangan pahat, benda kerja dan kabel	87
Gambar 45. Instalasi perangkat ukur pada mesin bubut	88
Gambar 46. Grafik pengaruh kecepatan putar spindel terhadap gaya potong (gaya longitudinal) pada DoC 1 mm dan <i>feed rate</i> 0.2 mm/rev	101

- Gambar 47.** Grafik pengaruh kecepatan putar spindel terhadap gaya potong (gaya tangensial) pada DoC 1.5 mm dan *feed rate* 0.2 mm/rev 102
- Gambar 48.** Grafik hubungan gaya longitudinal dengan kecepatan potong dengan parameter DoC 1 mm 106
- Gambar 49.** Grafik hubungan gaya longitudinal dengan kecepatan potong dengan parameter *feed rate* 0.2 mm/rev 106
- Gambar 50.** Grafik pengaruh *feed rate* terhadap gaya potong(gaya longitudinal) pada 185 rpm dan DoC 0.5 mm 108
- Gambar 51.** Grafik pengaruh *feed rate* terhadap gaya potong(gaya longitudinal) pada 340 rpm dan DoC 1 mm 108
- Gambar 52.** Grafik pengaruh *depth of cut* terhadap gaya potong(gaya tangensial) pada 185 rpm dan *feed rate* 0.1 mm/rev 110
- Gambar 53.** Grafik pengaruh *depth of cut* terhadap gaya potong(gaya tangensial) pada 185 rpm dan *feed rate* 0.1 mm/rev 110

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat mesin bubut beroperasi, akan muncul gaya akibat proses pemotongan yang timbul diantara benda kerja dan mata pahat. Pahat bersama benda kerja menerima beban gaya dengan intensitas yang berbeda. Pada saat proses bubut akan timbul gaya pemotongan yaitu gaya radial, gaya tangensial, dan gaya longitudinal. Gaya tangensial timbul akibat kecepatan potong dan bekerja pada arah sumbu y yang searah dengan putaran benda kerja, gaya radial timbul akibat pengaruh kedalaman pemotongan dan terjadi di sumbu z , serta gaya longitudinal, timbul akibat adanya gerakan pemakanan dan terjadi di sumbu x .

Untuk mempertahankan akurasi dan usia pakai mesin bubut maka perlu diperhatikan beberapa aspek-aspek yang mempengaruhinya. Gaya yang timbul saat proses pemotongan juga dapat mempengaruhi usia mata pahat dan hasil dari benda kerja. Dengan adanya gaya-gaya yang timbul dan gesekan yang terjadi pada pahat dan benda kerja tersebut, maka akan sangat mungkin terjadi keausan pada mata pahat. Keausan pahat dapat dipengaruhi geometri pahat, selain itu juga dipengaruhi oleh faktor - faktor proses pemesinan antara

lain jenis bahan benda kerja dan pahat, kondisi (parameter) pemotongan (kecepatan potong, kedalaman pemotongan, dan gerak makan), cairan pendingin, dan jenis dari proses pemesinan (Rochim, 2007). Saat proses pembubutan, kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemotongan akan mempengaruhi besarnya gaya potong. Makin besar gaya potong maka akan memperbesar suhu kontak antara benda kerja dengan mata pahat. Hal ini dapat membuat pahat lebih cepat mengalami keausan. Dengan begitu, besaran gaya pada proses pembubutan menjadi penting untuk diketahui. Pengukuran gaya pemotongan mesin bubut nantinya dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses pemesinan di mesin bubut (Baldoukas, 2008).

Untuk mengetahui gaya yang terjadi selama proses pembubutan, dapat menggunakan dinamometer yang khusus diperuntukkan pada mesin bubut, namun harganya sangat mahal. Alat lain yang dapat digunakan adalah dial indikator. Cara kerjanya dengan mengukur besaran defleksi dari pahat dan memasukkan data ke rumus persamaan, namun cara ini kurang praktis dan tidak akurat. Karena harga yang mahal dan permasalahan tersebut, peneliti akan membuat dinamometer pemesinan bubut yang lebih murah dan akurat. Untuk sensor sendiri dapat menggunakan sensor piezoelektrik dan *strain gauge*. Untuk soal harga, sensor piezoelektrik lebih mahal dibandingkan sensor *strain gauge*. Oleh karena itu peneliti memutuskan untuk menggunakan sensor *strain gauge* yang lebih murah dan sensitif terhadap pembacaan gaya pada mesin bubut.

Peneliti sebelumnya membuat alat ukur atau dinamometer sederhana menggunakan dial indikator yang langsung dipasangkan pada mesin bubut (Fajar, 2008). Data yang didapat dari dial indikator dimasukkan ke dalam rumus persamaan sehingga bisa didapatkan nilai gaya. Pengolahan data yang manual tersebut membuat data keluaran tidaklah *realtime*. Untuk nilai akurasi dari pengukuran gaya menggunakan dial indikator adalah kurang akurat, namun bila menggunakan sensor *strain gauge* nilai akurasi akan lebih akurat karena defleksi yang sangat kecil saja dapat terbaca oleh mikrokontroler akibat dari sensitivitas yang tinggi pada sensor strain gauge. Dengan ini maka perlu dilakukan pengembangan dengan digitalisasi menggunakan sensor strain gauge yang dapat mengukur besaran gaya yang muncul dengan lebih akurat dan praktis.

Dengan demikian nantinya akan dibuat alat yang dapat digunakan untuk membaca atau mengetahui besaran gaya yang terjadi pada saat proses pemotongan. Pahat akan dimodifikasi dengan menambahkan sensor *strain gauge*. Sensor akan dipasang di batang pahat pada lokasi tertentu dengan posisi yang sudah ditentukan. Saat mesin bubut beroperasi dan pahat menyentuh benda kerja, maka akan timbul gaya dan membuat batang pahat mengalami defleksi. Besaran defleksi ini nantinya akan diubah oleh *strain gauge* menjadi sinyal digital dan sinyal tersebut akan diproses menggunakan mikrokontroler arduino tipe UNO. Hasil akan diproses pada komputer dan ditampilkan pada layar komputer. Sebelumnya alat harus dikalibrasi agar hasil dari pembacaannya akurat. Dengan adanya alat pengukur gaya ini dapat

memberikan banyak keuntungan. Hasil bisa terbaca langsung tanpa harus melakukan proses perhitungan manual seperti pada pengukuran yang menggunakan dial indikator. Selain itu besar daya yang dibutuhkan mesin untuk pengerjaan benda kerja dapat dengan mudah diketahui dari kalkulasi gaya potong yang timbul sehingga optimasi dan daya tahan pahat bisa dibuat semaksimal mungkin.

B. Perumusan Masalah

Masalah yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana membuat perangkat pengukur gaya potong pada pemesian bubut dengan biaya yang murah dan mudah dalam pengaplikasiannya. Penelitian ini dilakukan karena masih sulitnya dilakukan pengukuran gaya potong pada mesin bubut dan mahalny alat dinamometer yang digunakan untuk mengukur gaya potong pemesian bubut. Maka dibuatlah desain alat ukur gaya potong pemesian bubut menggunakan sensor *strain gauge* yang lebih murah dan mudah diaplikasikan pada pengujian sehingga nantinya memudahkan dalam pengambilan informasi gaya pada pemesian bubut.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membuat perangkat pengukuran gaya potong pada pemesian bubut dengan harga yang murah dan melakukan pengujian

untuk mendapatkan ketelitian dan sensitivitas yang baik terhadap pengukuran gaya pada proses pemesinan bubut antara benda kerja dengan pahat.

D. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mesin bubut yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin bubut dengan merek Phinaco tipe S-90/200 yang berada di Laboratorium Produksi Teknik Mesin Universitas Lampung.
2. Sensor yang digunakan pada batang pahat adalah sensor *strain gauge*.
3. Pahat yang digunakan adalah pahat dengan jenis HSS ukuran 1/4 inch.
4. Benda kerja yang digunakan adalah Magnesium AZ 31.
5. Variasi pemesinan meliputi *feeding*, *depth of cut* dan *spindle speed*.
6. Keausan mata potong pahat tidak diperhitungkan.

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Bab I. Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang perlunya kajian akan besar gaya yang timbul pada proses pembubutan untuk mencegah proses keausan.

Dengan menggunakan sensor strain gauge yang ditanamkan pada pahat. Sinyal keluaran di perbesar dengan instrument amplifier dan

diolah pada mikrokontroller. Mikrokontroller yang digunakan disini adalah Arduino UNO R3, dan sistematika penulisan berisikan latar belakang permasalahan, tinjauan pustaka, metode penelitian yang digunakan, data dan pembahasan yang didapat, penutup, daftar pustaka yang dijadikan kajian, dan lampiran dari penelitian.

Bab II. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berisikan teori mengenai pengertian proses pemesinan, mesin bubut (*turning*), elemen-elemen dasar pemotongan pada bubut, jenis-jenis pahat, ootomasi, sistem kontrol, mikrokontroller arduino, strain gauge, dan menghitung gaya menggunakan strain gauge.

Bab III. Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang hal-hal yang berhubungan dengan penelitian, yaitu alat dan bahan penelitian yang digunakan pada penelitian, waktu dan tempat penelitian dilaksanakan, alur penelitian, dan prosedur penelitian mulai dari mempersiapkan bahan, pembuatan dinamometer, proses instalasi, proses kalibrasi, proses pembubutan, pengambilan data, dan menganalisa hasil.

Bab IV. Data dan Pembahasan

Bab ini berisikan hasil dari pengujian yang telah dilakukan, berupa hasil gaya yang diperoleh saat dilakukan prosesbubut, perbandingan

nilai gaya dengan parameter yang digunakan, dan akurasi dari dinamometer.

Bab V. Simpulan dan Saran

Bab ini berisikan mengenai kesimpulan dari hasil pengukuran gaya menggunakan dinamometer dengan sensor strain gauge, analisa error dan akurasi dari dinamometer, serta saran untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik lagi.

Daftar Pustaka berisi referensi yang digunakan penulis untuk mengerjakan laporan tugas akhir.

Lampiran berisikan perlengkapan laporan penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Proses Pemesinan

Pengertian dari proses pemesinan adalah proses membuat produk dengan tahapan tertentu dari bahan mentah dengan cara mengubah atau memproses secara sistematis untuk menghasilkan sebuah produk yang dapat berfungsi. Komponen mesin dapat memiliki geometri yang ideal jika komponen tersebut sesuai dengan rancangan awal pembuatan, mempunyai dimensi yang tepat, bentuk yang sempurna, dan permukaan yang halus. Dalam praktek tidaklah mungkin kita membuat suatu komponen dengan karakteristik geometri yang ideal. Suatu hal yang tidak dapat kita hindari adalah terjadi penyimpangan selama proses pembuatan, sehingga akhirnya produk tidak mempunyai geometri yang ideal. Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya penyimpangan pada proses pemotongan logam yaitu : penyetelan mesin perkakas, metode pengukuran, gerakan dari mesin perkakas, keausan dari pahat, temperatur, dan gaya-gaya pemotongan.

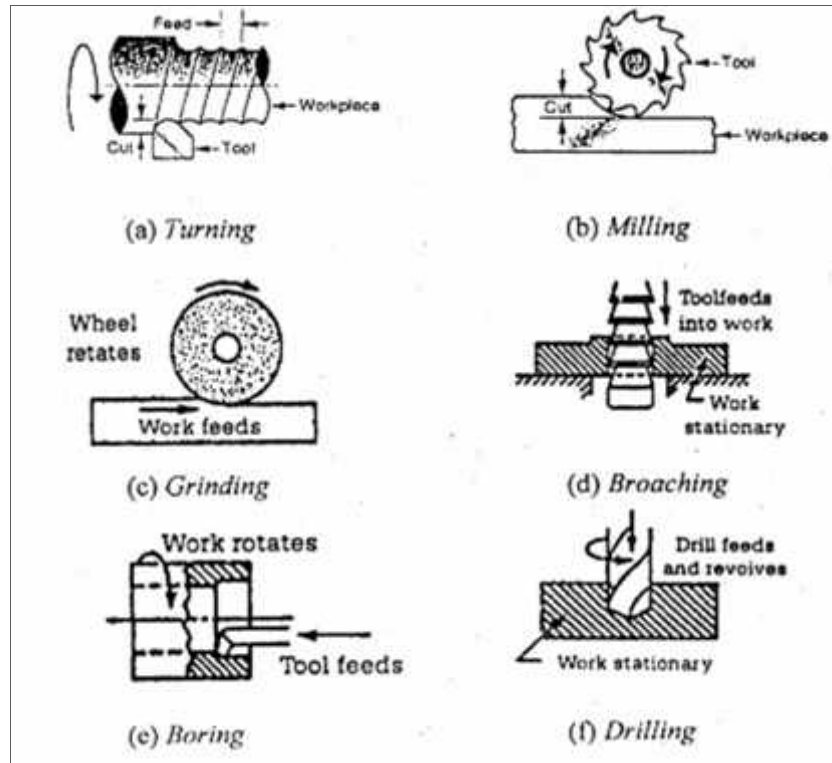
Rochim (2007), menyatakan bahwa keausan pahat dapat dipengaruhi oleh geometri pahat, selain itu juga dipengaruhi oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses pemesinan, antara lain : jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman pemotongan, dan gerak

makan), cairan pendingin, dan jenis proses pemesinan. Sewaktu pemotongan berlangsung, temperatur yang tinggi akan terjadi pada mata pahat. Panas ini sebagian akan mengalir ke geram, ke benda kerja dan ke pahat. Demikian pula panas yang terjadi akibat gesekan pada sistem transmisi daya dari mesin perkakas (roda gigi) akan merambat ke komponen-komponen sehingga akan terjadi perbedaan temperatur atau pemuaiian antara bagian-bagian mesin tidak sama rata, akibatnya akan terjadi deformasi. Kemungkinan sumbu *spindle* dari mesin bubut menjadi tidak sejajar dengan meja ataupun terjadi perubahan tingginya. Meskipun deformasi ini kecil tapi harus kita perhitungkan jika ingin membuat produk yang ideal. Oleh karena itu untuk mengurangi kesalahan geometris akibat dari deformasi karena temperatur ini, biasanya dilakukan pemanasan mesin terlebih dahulu sebelum mulai produksi.

Kekuatan dan kekakuan dari mesin perkakas maupun benda kerja adalah sangat penting untuk mengurangi deformasi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang terjadi sewaktu pemotongan. Lenturan yang terjadi pada benda kerja ataupun bagian-bagian mesin lainnya akan mengurangi ketelitian dari produk. Berdasarkan keterangan bahwa terdapat gaya pemotongan maka perlu adanya alat ukur gaya potong pada mesin bubut sehingga kita bisa menganalisis berapa besar gaya yang dibutuhkan untuk memproses suatu material. Kecermatan alat ukur harus dijamin seimbang dengan ketelitian pemakaiannya dalam proses pengukuran. Ketepatan hasil pengukuran perlu diperhatikan.

Marsyahyo (2003), menyebutkan ada beberapa cara untuk menghasilkan suatu produk yang diinginkan yaitu dengan suatu proses pemesinan, antara

lain *turning*, *milling*, *grinding*, *broaching*, *boring*, *drilling*. Berikut adalah contoh gambar dari proses pemesinan.



Gambar 1. Macam-macam proses pemesinan (Sumber : Fajar, 2008).

B. Mesin Bubut (*Turning*)

Mesin bubut adalah suatu jenis mesin perkakas yang dalam proses kerjanya bergerak memutar benda kerja dan menggunakan mata potong pahat sebagai alat untuk menyayat benda kerja tersebut. Mesin bubut merupakan salah satu mesin proses produksi yang dipakai untuk membentuk benda kerja yang berbentuk silindris. Pada prosesnya benda kerja terlebih dahulu dipasang pada *chuck* (pencekam) yang terpasang pada *spindle* mesin, kemudian *spindle* dan benda kerja diputar dengan kecepatan sesuai perhitungan. Alat potong (pahat)

yang dipakai untuk membentuk benda kerja akan disayatkan pada benda kerja yang berputar.



Gambar 2. Mesin bubut (Sumber : Fajar, 2008).

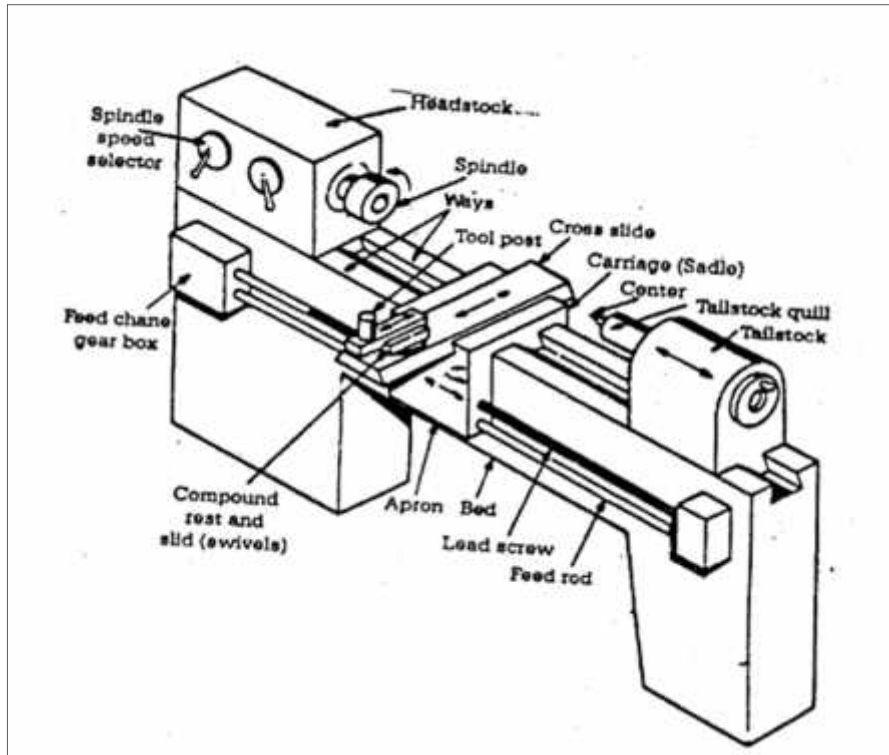
Pada umumnya pahat bubut beroperasi dalam keadaan diam, dicekam pada *tool post*, pada perkembangannya ada jenis mesin bubut yang berputar alat potongnya, sedangkan benda kerjanya diam. Dalam kecepatan putar sesuai perhitungan, alat potong akan mudah memotong benda kerja sehingga benda kerja mudah dibentuk sesuai yang diinginkan. Dikatakan konvensional karena untuk membedakan dengan mesin-mesin yang dikontrol dengan komputer (*Computer Numerically Controlled*) ataupun kontrol numerik (*Numerical Control*) dan karena jenis mesin konvensional mutlak diperlukan keterampilan manual dari operatornya. Pada kelompok mesin bubut konvensional juga terdapat bagian-bagian otomatis dalam pergerakannya bahkan juga ada yang dilengkapi dengan layanan sistem otomasi baik yang dilayani dengan sistem hidraulik, pneumatik ataupun elektrik. Ukuran mesinnya tidak semata-mata kecil karena tidak sedikit mesin bubut

konvensional yang dipergunakan untuk mengerjakan pekerjaan besar seperti yang dipergunakan pada industri perkapalan dalam membuat atau merawat poros baling-baling kapal yang diameternya mencapai 1000 mm.

Fungsi utama mesin bubut konvensional adalah untuk membuat atau memproduksi benda-benda berpenampang silindris, misalnya poros lurus, poros bertingkat (*step shaft*), poros tirus (*cone shaft*), poros beralur (*groove shaft*), poros berulir (*screw thread*) dan berbagai bentuk bidang permukaan silindris lainnya misalnya anak buah catur (Noorhadi, 2017).

Bagian utama mesin bubut:

1. *Spindle* : bagian yang berputar (terpasang pada headstock) untuk memutar *chuck* (pencekam benda kerja).
2. *Headstock* : bagian dimana transmisi penggerak benda.
3. *Tailstock* : bagian yang berfungsi untuk mengatur center atau pusat atau titik tengah yang dapat diatur untuk proses bubut paralel maupun *tapper*.
4. *Carriage* (sadel) : bagian ini berfungsi menghantarkan *cutting tool* (yang terpasang pada *tool post*) bergerak sepanjang meja bubut saat operasi pembubutan berlangsung.
5. *Bed* : meja dimana *headstock*, *tailstock*, dan bagian lainnya terpasang kuat dimeja ini.



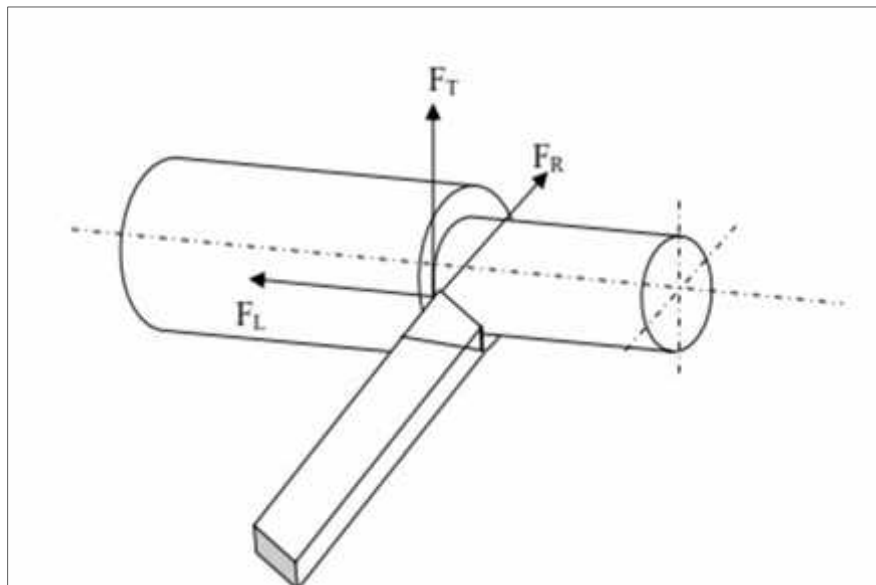
Gambar 3. Bagian-bagian mesin bubut (Sumber : Fajar, 2008).

Faktor untuk menentukan spesifikasi performa operasional mesin bubut :

1. Maksimum diameter benda kerja yang mampu dicekam pada *workholder* (*chuck*), semakin besar diameter pada pencekam semakin besar diameter poros benda kerja yang dapat dibubut.
2. Maksimum panjang benda kerja yang dapat dicekam (jarak *headstock spindle* dan *tailstock spindle*).
3. Maksimum panjang meja (panjang lintasan *carriage / tool post*), semakin panjang ukuran meja semakin panjang benda kerja yang dapat dibubut.
4. Range kecepatan *spindle* (jumlah tingkat kecepatan transmisi roda gigi pada *headstock*), semakin bervariasi jangkauan kecepatan *spindle* semakin lengkap pengaturan kecepatan potong benda kerja yang dibubut.

5. Daya motor penggerak (penggerak transmisi *spindle*), semakin besar daya motor semakin besar torsi yang dihasilkan untuk memutar benda kerja.

Pada pahat potong, diketahui bahwa resultan gaya terdiri atas tiga komponen dasar, yaitu F_T (Gaya Tangensial / Gaya pada kecepatan potong), F_R (Gaya Radial / Gaya pada kedalaman pemotongan), dan F_L (Gaya Longitudinal / Gaya pada pemakanan atau gerak makan). Gaya tangensial ini adalah gaya yang paling tinggi dari ketiga gaya tersebut.



Gambar 4. Gaya-gaya pada pemotongan (Sumber : *Fajar, 2008*).

C. Elemen Dasar Pemotongan pada Bubut

Elemen dasar pemotongan pada proses bubut dapat diketahui dengan rumus yang dapat diturunkan dengan memperhatikan gambar teknik, di mana di dalam gambar teknik dinyatakan spesifikasi geometri suatu produk komponen mesin yang di gambar. Setelah itu harus dipilih suatu proses atau urutan proses

yang digunakan untuk membuatnya. Salah satu cara atau prosesnya adalah dengan bubut, pengerjaan produk, komponen mesin, dan alat-alat menggunakan mesin bubut akan ditemui dalam setiap perencanaan proses pemesinan. Untuk itu perlu kita pahami lima elemen dasar pemesinan bubut, yaitu (Fajar, 2008) :

1. Kecepatan Potong (*cutting speed*)

Kecepatan potong adalah panjang ukuran lilitan pahat terhadap benda kerja atau dapat juga disamakan dengan panjang tatal yang terpotong dalam ukuran meter yang diperkirakan apabila benda kerja berputar selama satu menit. Sebagai contoh, baja lunak dapat dipotong sepanjang 30 meter tiap menit. Hal ini berarti *spindle* mesin perlu berputar supaya ukuran mata lilitan pahat terhadap benda kerja sepanjang 30 meter dalam waktu putaran satu menit. Karena ukuran benda kerja berbeda-beda, maka kecepatan potong ditentukan dengan rumus :

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan V_c = adalah kecepatan potong, (m/min)
 π = adalah konstanta, (3,14)
 d = diameter rata-rata, (mm)
 n = kecepatan putar poros utama, (rpm)

Di mana

$$d = (d_0 + d_m) \dots \dots \dots (2)$$

Karena diameter dinyatakan dalam milimeter, dan kecepatan potong dalam meter, maka $\pi \times d$ atau keliling benda kerja dibagi dengan 1000.

2. Kecepatan Gerak Makan (*feed rate*)

Kecepatan gerak makan adalah kecepatan yang dibutuhkan pahat untuk bergeser menyayat benda kerja tiap radian per menit. Kecepatan tersebut dihitung tiap menit. Untuk menghitung kecepatan gerak makan didasarkan pada gerak makan (f).

Gerak makan ini biasanya disediakan dalam daftar spesifikasi yang dicantumkan pada mesin bubut bersangkutan. Untuk memperoleh kecepatan gerak makan yang kita inginkan kita bisa mengatur gerak makan tersebut. Untuk menghitung kecepatan gerak makan dapat kita rumuskan sebagai berikut :

$$v = f \cdot n \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : v = kecepatan gerak makan, (m/min)

f = gerak makan, (mm/rev)

n = putaran benda kerja, (rad/min)

3. Kedalaman Pemakanan (*depth of cut*)

Kedalaman pemakanan adalah rata-rata selisih dari diameter benda kerja sebelum dibubut dengan diameter benda kerja setelah di bubut. Kedalaman pemakan dapat diatur dengan menggeserkan peluncur silang melalui roda pemutar (skala pada pemutar menunjukkan selisih harga diameter).

Kedalaman pemakanan dapat diartikan pula dengan dalamnya pahat menusuk benda kerja saat penyayatan atau tebalnya tatal bekas bubutan.

Kedalaman pemakanan dirumuskan sebagai berikut :

$$a = \frac{d_0 - d_m}{2} \dots \dots \dots (4)$$

dimana : a = kedalaman pemakanan (mm)

d₀ = diameter awal,(mm)

d_m = diameter akhir,(mm)

4. Waktu Pemotongan (*cutting time*)

Waktu pemotongan bisa diartikan dengan panjang pemesinan tiap kecepatan gerak pemakanan. Satuan waktu pemesinan adalah milimeter.

Panjang pemesinan sendiri adalah panjang pemotongan pada benda kerja ditambah langkah pengawalan ditambah dengan langkah pengakhiran, waktu pemotongan dirumuskan dengan :

$$t_c = \frac{\lambda_f}{v_f} \dots \dots \dots (5)$$

Dengan t_c = waktu pemotongan, (min)

t = panjang pemesinan, (mm)

v_f = Kecepatan pemakanan, (mm/min)

5. Kecepatan Penghasilan Geram (*rate of metal removal*)

Kecepatan penghasil geram merupakan laju bertambahnya geram dari proses pembubutan dalam waktu tertentu. Dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = A.v \dots \dots \dots (6)$$

dimana, penampang geram sebelum terpotong $A = f . a$; mm^2 , maka:

$$Z = f.a.v_f \dots \dots \dots (7)$$

Dengan Z = kecepatan penghasilan geram, (cm^3/min)

f = gerak makan, (mm/rev)

a = kedalaman potong, (mm)

v_f = kecepatan makan, (mm/min)

D. Jenis - Jenis Pahat

Proses pembentukan geram dengan cara pemesinan berlangsung dengan cara mempertemukan dua jenis material, yaitu benda kerja dengan pahat. Untuk menjamin kelangsungan proses ini maka jelas diperlukan material pahat yang lebih unggul dari pada material benda kerja. Keunggulan tersebut dapat dicapai karena pahat dibuat dengan memperhatikan berbagai aspek – aspek berikut ini :

1. Kekerasan yang cukup tinggi melebihi kekerasan benda kerja tidak saja pada temperatur ruang melainkan pada temperatur tinggi pada saat proses pembentukan geram berlangsung.
2. Keuletan yang cukup besar untuk menahan beban kejut yang terjadi sewaktu pemesinan dengan interupsi maupun sewaktu memotong benda kerja yang mengandung bagian yang keras.
3. Ketahanan beban kejut termal diperlukan bila terjadi perubahan temperatur yang cukup besar secara berkala.
4. Sifat adhesi yang rendah, untuk mengurangi afinitas benda kerja terhadap pahat, mengurangi laju keausan, serta penurunan gaya pemotongan.
5. Daya larut elemen atau komponen material yang rendah, dibutuhkan untuk memperkecil laju keausan akibat mekanisme.

Berikut adalah jenis material pahat yang ada di pasaran, dimulai dari yang paling ulet hingga yang paling getas, yaitu :

1. Baja Karbon

Pahat jenis ini mengandung unsur karbon berkisar antara 0,8% sampai dengan 1,2%. Pahat ini cukup keras, namun akan kehilangan kekerasan jika suhunya mencapai 300°C.

2. *High Speed Steels* (HSS)

Pahat *high speed steels* (HSS) terbuat dari jenis baja paduan tinggi dengan unsur paduan krom (Cr) dan tungsten atau wolfram (W). Melalui proses penuangan (*Wolfram metallurgi*) kemudian diikuti pengerolan ataupun penempaan. Baja ini dibentuk menjadi batang atau silinder. Pada kondisi lunak bahan tersebut dapat diproses secara pemesinan menjadi berbagai bentuk pahat potong. Setelah proses laku panas dilaksanakan, kekerasannya akan cukup tinggi sehingga dapat digunakan pada kecepatan potong yang tinggi. Apabila telah aus pahat HSS dapat diasah sehingga mata potongnya menjadi tajam kembali. Karena sifat keuletannya yang relatif baik maka sampai saat ini pahat HSS masih digunakan.

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

a. Tungsten atau Wolfram

Tungsten atau Wolfram dapat membentuk karbida yaitu paduan yang sangat keras yang menyebabkan kenaikan temperatur untuk proses

hardening dan *tempering*, dengan jalan mempertinggi nilai *hot hardness*.

b. Chromium (Cr)

Chromium menaikkan *harden ability* dan *hot hardness*. Krom merupakan elemen pembentuk karbida, akan tetapi krom menaikkan sensitivitas terhadap *overheating*.

c. Vanadium

Vanadium akan menurunkan sensitivitas terhadap *overheating* serta menghaluskan besar butir. Vanadium juga merupakan elemen pembentuk karbida

d. Molybdenum (Mo)

Molybdenum mempunyai efek yang sama seperti wolfram akan tetapi lebih terasa. Yaitu dengan menambah 0,4 – 0,9 % Mo dalam HSS dengan paduan utama W (W- HSS) dapat dihasilkan HSS yang mampu dikeraskan di udara. Selain itu, Mo HSS lebih liat sehingga HSS mampu menahan beban kejut. Sifat buruknya adalah lebih sensitif terhadap *overheating* (hangusnya ujung-ujung yang runcing) sewaktu dilakukan proses *heat treatment*.

e. Cobalt (Co)

Cobalt bukan elemen pembentuk karbida. Cobalt ditambahkan dalam HSS untuk menaikkan *hot hardness* dan tahanan keausan. Besar butir

menjadi lebih halus hingga ujung – ujung yang runcing tetap terpelihara dari hangus selama *heat treatment* pada temperatur tinggi.

3. Karbida

Jenis karbida yang disemen merupakan bahan pahat yang dibuat dengan cara *sintering* serbuk karbida (nitrida, oksida) dengan bahan pengikat yang umumnya dari cobalt (Co). Dengan cara *Carburising* masing-masing bahan dasar (serbuk) tungsten (Wolfram, W), Titanium (Ti), Tantalum (Ta) dibuat menjadi karbida yang kemudian digiling dan disaring. Salah satu atau campuran serbuk karbida tersebut kemudian dicampur dengan bahan pengikat (Co) dan dicetak tekan dengan memakai bahan pelumas. Setelah itu dilakukan *presintering* (1000°C) pemanasan mula untuk menguapkan bahan pelumas. Dan kemudian di-*sintering* dengan suhu 1600°C sehingga akan menyusut menjadi sekitar 80 % dari volume semula. Ada tiga jenis utama pahat karbida simpan, yaitu :

- a. Karbida tungsten (WC + Co) yang merupakan jenis pahat karbida untuk memotong besi tuang.
- b. Karbida tungsten paduan (WC-TiC+Co; WC-TaC-TiC+Co; WC-TaC+Co; WC-TiC-TiN+Co; TiC-Ni+Co) merupakan jenis pahat karbida untuk memotong baja.
- c. Karbida lapis, merupakan jenis karbida tungsten yang dilapisi karbida, nitrida atau oksidasi lain yang lebih rapuh tapi *hot hardnessnya* tinggi.

4. Keramik

Serbuk alumunium oksida dengan bahan tambahan titanium, dicampurkan dengan pengikat dan diproses menjadi sisipan pahat pemotong dengan teknik metalurgi serbuk. Sisipan ini diapitkan pada pemegang pahat atau diikatkan dengan epoxy resin.

Bahan yang dihasilkan mempunyai kekuatan kompresif sangat tinggi tetapi agak rapuh. Oleh karena itu sisipan ini harus diberi 5 sampai 7 derajat pengukuran negatif untuk memperkuat tepi potong dan harus didukung dengan baik oleh pemegang pahat. Titik pelunakan pahat keramik adalah di atas 1100°C, dan sifat ini digabungkan dengan konduktivitas panas yang rendah, memungkinkan pahat itu beroperasi pada kecepatan potong tinggi dan mengambil pemotongan yang dalam.

Tidak ada peningkatan unsur yang mencolok dari pahat dengan penggunaan media pendingin. Keuntungan dari pahat keramik mencakup kekerasan dan kekuatan pada suhu tinggi dan rendah, kekuatan kompresif tinggi, dan tidak mempunyai gaya gabung untuk bahan yang dipotong. Penggunaan pahat keramik hanya dibatasi oleh kerapuhannya, kekakuannya, kapasitas dan kecepatan dari mesin perkakas konvensional, dan kesulitan untuk menguatkan sisipan kepada pemegangnya.

5. Cubic Baron Nitrides

CBN termasuk jenis keramik. Diperkenalkan oleh GE (USA, 1957, Borazon). Dibuat dengan penekanan panas (1500°C) sehingga serbuk graphit putih nitridabaron dengan struktur atom heksagonal berubah

menjadi struktur kubik. Pahat sisipan CBN bisa dibuat dengan menyinter serbuk BN tanpa atau dengan material pengikat AL_2O_3 , TiN atau Co, *hot hardness* CBN ini sangat tinggi. CBN dapat digunakan untuk pemesinan berbagai jenis baja dalam keadaan dikeraskan (*hardened steel*), besi tuang, HSS maupun karbida semen. Afinitas terhadap baja sangat kecil dan tahan terhadap perubahan reaksi kimiawi sampai dengan temperatur pemotongan $1300^{\circ}C$ (kecepatan potong yang yang tinggi). Saat ini harga pahat CBN sangat mahal sehingga pemakaiannya masih terbatas pada pemesinan untuk mencapai ketelitian dimensi dan kehalusan permukaan yang sangat tinggi.

6. Intan

Sintered Diamond (GE,1955) merupakan hasil proses *sintering* serbuk intan tiruan dengan bahan pengikat Co (5% - 10%). *Hot hardness* sangat tinggi dan tahan terhadap deformasi plastik. Sifat ini ditentukan oleh besar butir intan serta presentase dan komposisi material pengikat. Karena intan pada temperatur tinggi akan berubah menjadi graphit dan mudah terdifusi dengan atom besi, maka pahat intan tidak bisa digunakan untuk memotong bahan yang mengandung besi (*ferros*).

E. Akuisisi Data

Akuisisi data (*data acquisition* = DAQ) adalah proses memperoleh data yang diperlukan untuk keperluan tertentu. Keperluan tersebut tentunya tidak sekedar memiliki data, namun juga bagaimana data tersebut dapat

ditampilkan. Disimpan dan diproses lebih lanjut melalui analisis data ataupun digunakan sebagai umpan balik pada suatu sistem kendali. Pengertian akuisisi data ini memperluas pengertian sistem pengukuran yang hanya mencakup cara pengukuran suatu besaran fisik (Agung, 2010). Saat ini komputer digunakan secara luas pada sistem DAQ karena mempunyai beberapa kelebihan, antara lain media penyimpanan yang lebih kompak, akurasi data yang dihasilkan lebih baik, dapat digunakan pada sistem kendali sistem real time, dan data dapat diproses pada waktu lama setelah data diambil. Sistem akuisisi data terdiri dari sensor atau transduser, pengkondisi sinyal, konverter A/D dan komputer. Sensor bertugas untuk mengubah besaran fisik yang diukur menjadi sinyal elektrik. Sinyal elektrik yang telah dikondisikan ini masih berupa sinyal analog, yang selanjutnya memasuki konverter A/D (Analog ke Digital) untuk diubah menjadi sinyal digital yang akan diterima oleh komputer.

Sekarang tersedia sistem akuisisi data untuk PC berupa plug boards yang disebut kartu kontrol dari akuisisi data. Kartu-kartu tersebut menggunakan berbagai macam bahasa pemrograman seperti C, FORTRAN, BASIC, PASCAL, dan DELPHI, ataupun dalam bahasa pemrograman tingkat rendah, terutama ASSEMBLY. Pemrograman tingkat tinggi yang khusus untuk akuisisi data yang terkenal antara lain Labview dari National Instrument. Biasanya terdapat berbagai macam fitur input dan output yang tersedia misalnya I/O, konversi D/A, pewaktu dan pencacah pengkondisian sinyal. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan adalah jumlah bit dan laju sampling maksimum.

Akuisisi data merupakan sistem yang digunakan untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data yang sedang berjalan, kemudian data tersebut diolah lebih lanjut dalam komputer untuk keperluan tertentu (Husein, 2010). Menurut Subrata (2008), penyaluran data dalam sistem akuisisi data dapat dilakukan secara seri maupun paralel dari instrumen ke komputer. Pada penyaluran data seri, umumnya *interface* yang digunakan adalah jenis RS232 atau jalur COM. Sedangkan pada penyaluran data paralel, *interface* yang digunakan adalah jenis ADC atau GPIB. Penyaluran data secara seri dilakukan bit per bit data sehingga waktu penyaluran lebih lama dibandingkan dengan penyaluran secara paralel yang dilakukan hanya dengan sekali penyaluran. Namun penyaluran paralel kurang efisien untuk penyaluran jarak jauh karena memerlukan jalur komunikasi yang cukup banyak. Oleh karena itu, penyaluran jarak jauh lebih efisien menggunakan penyaluran secara seri.

Akuisisi data adalah proses perubahan data dari sensor menjadi sinyal-sinyal listrik yang kemudian dikonversi lebih lanjut menjadi bentuk digital untuk pemrosesan dan analisis oleh komputer. Sebuah sistem akuisisi data terdiri dari sensor, unit pemrosesan sinyal, peranti keras akuisisi data, dan unit komputer (Bolton, 2006). Sistem akuisisi data membutuhkan piranti-piranti sensor untuk mengkonversi variabel-variabel fisik menjadi variabel tegangan listrik (Nasrullah, 2009).

Lingkungan analog terdiri dari transduser dan *signal conditioner* serta kelengkapannya. Sedangkan lingkungan digital terdiri dari *analog to digital converter* (ADC) dan selanjutnya *digital processing* yang dilakukan oleh

mikroprosesor atau sistem yang berbasis mikroprosesor. Konversi dari data analog menjadi data digital dilakukan oleh ADC (Setiawan, 2008). Pada sensor dengan *port analog*, dibutuhkan ADC untuk mengubah data analog yang didapat dari sensor menjadi data digital agar data dapat diolah oleh mikrokontroler. Akurasi data yang didapatkan mikrokontroler dipengaruhi oleh besarnya resolusi data dari ADC (Nugroho, 2011).

1. Konverter Analog ke Digital (ADC)

Suatu konverter analog ke digital (Analog to Digital Converter = ADC) adalah peranti yang mengkonversikan suatu tegangan analog menjadi kode digital. Output dari ADC dapat langsung diantarmukakan dengan perangkat digital, misalnya mikrokontroler dan komputer. Dalam pemilihan ADC perlu diperhatikan dua hal, yaitu waktu konversi dan resolusi. Waktu konversi berkaitan dengan waktu pencuplikan sinyal sedangkan resolusi adalah perubahan terkecil dari sinyal input analog yang diterima ADC adalah berupa tegangan. Resolusi, Q tergantung pada jumlah keadaan yang mungkin pada output, N dan rentang tegangan input (tegangan referensi), yang merupakan selisih dari nilai maksimum tegangan referensi, V_{max} dikurangi nilai minimumnya, V_{min} .

$$Q = \frac{(V_{max} - V_{min})}{N - 1} \dots \dots \dots (8)$$

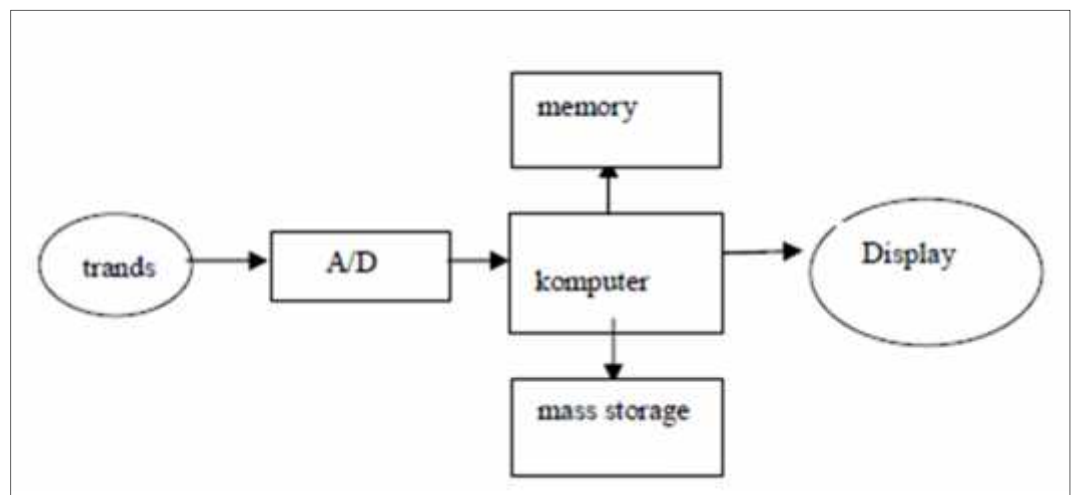
Jumlah keadaan yang mungkin pada output ditentukan oleh jumlah bit yaitu:

$$N = 2^n$$

Jika tegangan referensi yang dipergunakan adalah 0 dan 5 Volt, maka resolusi ADC 8 bit adalah:

$$Q = \frac{(5V - 0V)}{(2^8) - 1} = \frac{5V}{255} = 0.0196V = 19.6mV$$

Berikut adalah contoh skema sistem akuisisi data dengan satu sensor atau transduser.

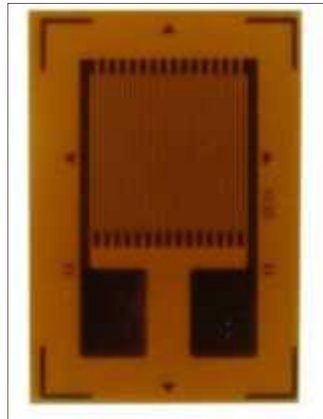


Gambar 5. Sistem akuisisi data dengan satu sensor (Sumber : Habibi, 2014).

F. Strain Gauge

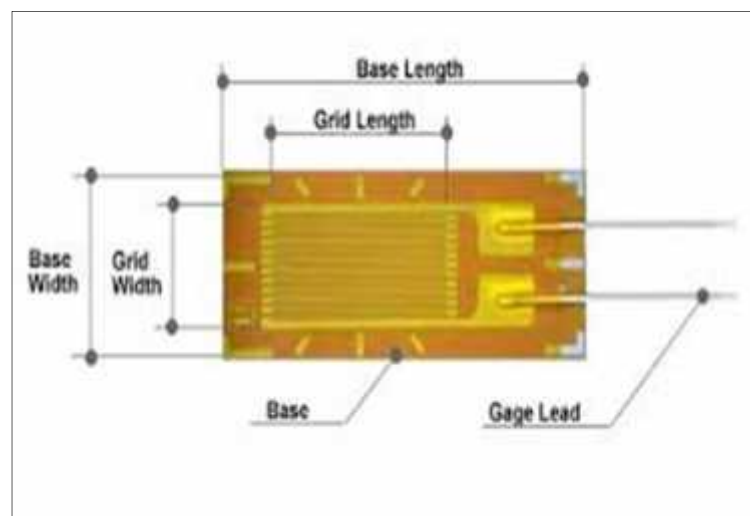
Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau *strain*). Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan

dimasukkan kedalam rangkaian jembatan *wheatstone* yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada *strain gauge*. Berikut adalah gambar dari *strain gauge* dengan tipe BF 350 3AA.



Gambar 6. *Strain Gauge* BF350 3AA (Sumber: AGS TECH, 2017).

Strain gauge jenis ini mudah dicari di pasaran dengan harga yang relatif murah. Sensor ini memiliki bagian-bagian penting di dalamnya. Bagiannya berupa *grid length*, *grid width*, *base length*, *base width*, *base*, dan *gauge lead*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 7. Bagian-bagian *strain gauge* (Sumber: AGS TECH, 2017).

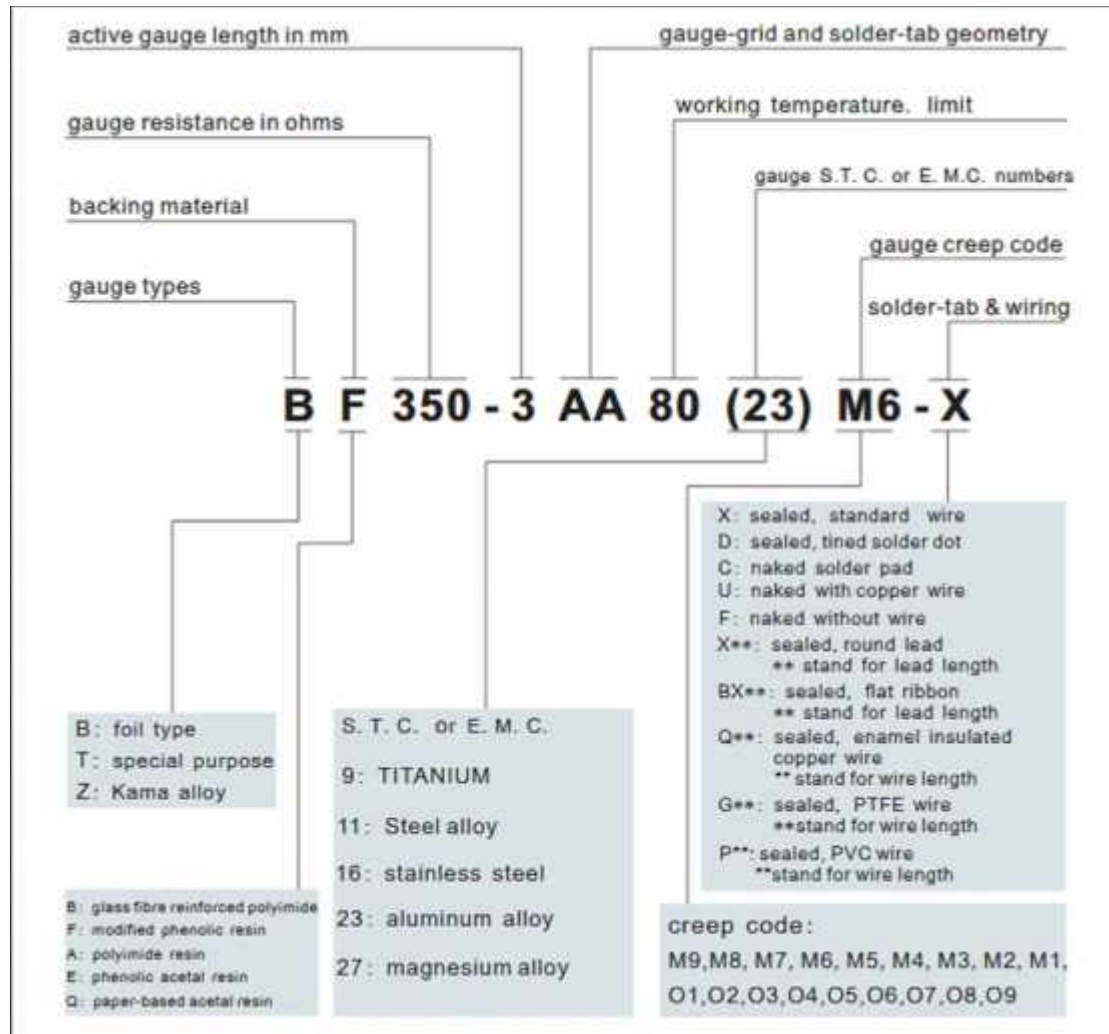
Untuk setiap jenis *strain gauge* juga memiliki spesifikasi bermacam-macam untuk banyak keperluan tertentu. Spesifikasi dari *strain gauge* jenis ini akan dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi *Strain Gauge* BF 350 3AA

<i>Resistance</i>	350 ohm
<i>Sensitivity coefficient</i>	2.0 - 2.2
<i>Strain limit</i>	2.50%
<i>Wire grid size</i>	3.5 x 3.5 mm(<i>Length x Width</i>)
<i>Base size</i>	6 x 4.5 mm (<i>Length x Width</i>)
<i>Creep</i>	10 - 1000 KG
<i>Gate material</i>	<i>Constantan wire</i>
<i>Fatigue life</i>	>10000000 <i>times</i>
<i>Flux</i>	<i>Rosin ordinary solder</i>

(Sumber: *Coding System of Strain Gauges-AGS-TECH*, 2017)

Untuk penulisan jenis *strain gauge* sendiri memiliki arti dan spesifikasi. Berikut adalah arti dari kode yang tertera pada spesifikasi *strain gauge*.



Gambar 8. Arti kode spesifikasi *strain gauge* (Sumber: AGS TECH, 2017).

Jadi dengan mengetahui kode dari *strain gauge*, kita bisa mengetahui jenis serta spesifikasi dari *strain gauge*. BF 350 3AA mempunyai spesifikasi berikut, B berarti bertipe *foil*, F artinya terbuat dari resin termodifikasi, 350 menunjukkan besarnya tahanan pada *strain gauge*, 3 menunjukkan panjang *gauge*, dan AA menunjukkan bentuk pola dari *strain gauge*.

Tegangan keluaran dari jembatan *Wheatstone* merupakan sebuah ukuran regangan yang terjadi akibat tekanan dari setiap elemen penginderaan *strain gauge*. Tekanan itu kemudian dihubungkan dengan regangan sesuai

dengan hukum *Hook* yang berbunyi : Modulus elastis adalah rasio tekanan dan regangan. Dengan demikian jika modulus elastis adalah sebuah permukaan benda dan regangan telah diketahui, maka tekanan bisa ditentukan. Hukum *Hook* dituliskan sebagai:

$$\text{Regangan} = \frac{E}{s} \dots \dots \dots (9)$$


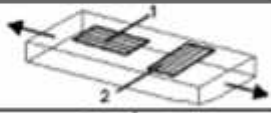


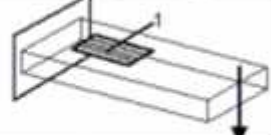
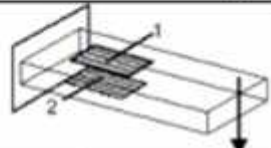
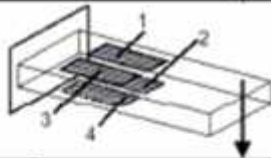


Dengan: Regangan = regangan, (tanpa satuan)

s = tegangan geser, kg/cm²

E = modulus *Young* kg/cm²

Bila dua *gauge* atau lebih digunakan, maka tekanan pada pelacakan arah setiap *gauge* bisa ditentukan dengan menggunakan perhitungan. Namun demikian persamaannya memiliki tingkat kompleksitas yang berbeda tergantung pada kombinasi dan orientasi *gauge* tersebut.

Posisi dari peletakan *strain gauge* juga perlu diperhitungkan, untuk mendapatkan lengkungan tertinggi sehingga akan didapatkan sensitivitas maksimum dari perangkat ukur. Konfigurasi pemasangan sensor juga penting. Pada penelitian ini menggunakan konfigurasi untuk mendapatkan nilai *bending* dengan menggunakan satu *strain gauge* untuk satu arah yang akan diukur. Karena gaya yang diukur adalah gaya dengan dua axis, maka menggunakan dua *strain gauge* pada satu pahat. Berikut adalah contoh konfigurasi pemasangan *strain gauge*.

Strain	Gauge Setup	Bridge Type	Sensitivity MV/V @ 1000 μ E	Details
Axial		$\frac{1}{4}$	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Also responds to Bending Strain.
		$\frac{1}{2}$	0.65	Better: Temperature compensated, but it is sensitive to bending strain.
		$\frac{1}{2}$	1.0	Better: Rejects Bending Strain, but not temperature. Must use dummy gauges if compensating for temperature.
		Full	1.3	Best: More sensitive and compensates for both temperature and bending strain.
Bending		$\frac{1}{4}$	0.5	Good: Simplest to implement, but must use a dummy gauge if compensating for Temperature. Responds equally to Axial Strain.
		$\frac{1}{2}$	1.0	Better: Rejects axial strain and is temperature compensated
		Full	2.0	Best: Rejects axial strain and is temperature compensated. Most sensitive to bending strain.
Torsional and Shear		$\frac{1}{2}$	1.0	Good: Gauges must be mounted at 45 degrees from centerline. Axial and Bending forces produce equal strain and are hence rejected.
		Full	2.0	Best: More sensitive full-bridge version of previous setup. Rejects both axial and bending strains.

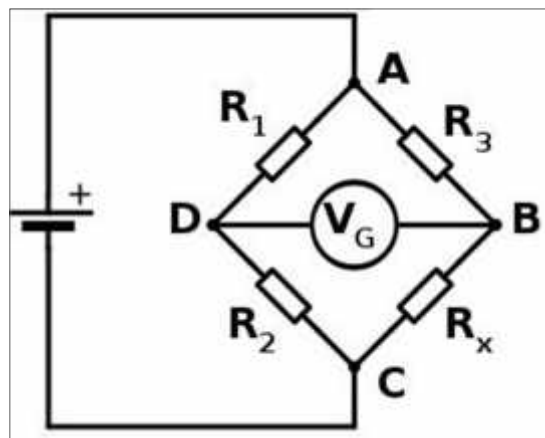
Gambar 9. Konfigurasi Pemasangan Sensor *Strain Gauge* (Sumber:

AGS TECH, 2017).

G. Jembatan *Wheatstone*

Jembatan *Wheatstone* adalah alat ukur yang ditemukan oleh *Samuel Hunter Christie* pada 1833 kemudian dipopulerkan oleh *Sir Charles Wheatstone* pada tahun 1843. Jembatan *Wheatstone* digunakan untuk mengukur atau mengetahui besar hambatan listrik suatu benda yang belum diketahui atau sangat kecil nilainya dengan ketelitian yang sangat tinggi. Rangkaian ini dibentuk oleh empat buah tahanan atau resistor (R) yang membentuk formasi segiempat yang disusun secara seri dan tertutup. Dalam penggunaannya rangkaian ini dihubungkan dengan sumber tegangan dan sebuah pengukur tegangan. (Suryatmo, 1986).

Cara kerjanya yaitu resistor yang telah tersusun dialirkan sumber tegangan listrik arus searah dihubungkan pada dua titik diagonalnya dan pada kedua diagonal yang lain dipasang galvanometer atau multitester. (Pratama, 2010). Berikut adalah skema pemasangan resistor pada jembatan *wheatstone*.



Gambar 10. Rangkaian jembatan *wheatstone* (Sumber: Luthfi, 2014).

Prinsip kerjanya bila R_1 , R_2 , R_3 , dan R_x memiliki besar hambatan yang sama dan dialiri listrik arus searah pada titik A dan C, maka tegangan keluaran pada titik B dan C adalah nol. Ketika tegangan yang keluar adalah nol, dengan salah satu hambatan resistor yang tidak diketahui (R_x) maka dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3} \dots\dots\dots (10)$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3 \dots\dots\dots (11)$$

Pendeteksian perbedaan voltase atau arus yang keluar dengan menggunakan jembatan *wheatstone* ini sangatlah presisi. Perubahan hambatan yang sangat kecilpun dapat terdeteksi oleh rangkaian jembatan *wheatstone* ini. Oleh karena itu rangkaian jembatan *wheatstone* ini digunakan pada instrumen pengukur yang memerlukan keakuratan yang tinggi. Salah satunya dalam penggunaan sensor *strain gauge* yang perlu diperbesar secara akurat nilai keluarannya. Untuk mencari besar nilai voltase pada V_G maka digunakan rumus berikut ini:

$$V_G = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_x}{R_x + R_3} \right) V_s \dots\dots\dots (12)$$

dengan: V_G = Tegangan yang dicari, Tegangan Galvanometer

V_s = Tegangan supply atau sumber

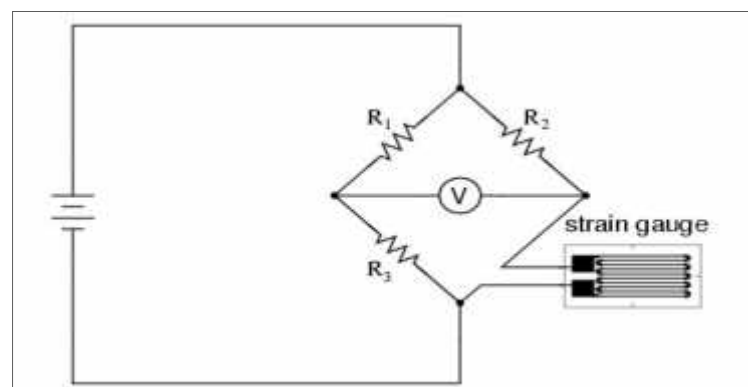
R_1 = Nilai hambatan resistor 1

R_2 = Nilai hambatan resistor 2

R_3 = Nilai hambatan resistor 3

R_x = Nilai hambatan resistor x

Untuk membaca voltase keluaran dari sensor *strain gauge*, maka perlu digunakan rangkaian jembatan *wheatstone* dengan salah satu resistor diganti dengan sensor *strain gauge*. Untuk resistor yang lainnya menggunakan nilai hambatan yang sama dengan sensor *strain gauge* yang digunakan. Misalkan sensor *strain gauge* yang digunakan memiliki nilai hambatan sebesar 120 ohm, maka pemilihan nilai hambatan ketiga resistor yang lain adalah 120 ohm juga. Pendekatan nilai resistor ini penting untuk ketepatan pembacaan nilai voltase keluaran dari perubahan nilai hambatan yang terjadi pada *strain gauge*. Semakin presisi nilai hambatan resistor mendekati nilai hambatan *strain gauge*, maka akan semakin akurat dalam pembacaan perubahan dari *strain gauge*. Berikut ini adalah gambar skema pemasangan *strain gauge* pada jembatan *wheatstone*.



Gambar 11. Skema pemasangan sensor *strain gauge* (Sumber: Elektronika Dasar, 2013).

H. Arduino

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai 'otak' yang mengendalikan input, proses dan output sebuah rangkaian elektronik.



Gambar 12. Arduino Uno R3 (Sumber : *Arduino, 2012*)

Mikrokontroler ada pada perangkat elektronik di sekeliling kita. Misalnya handphone, MP3 player, DVD, televisi, AC, dll. Mikrokontroler juga dipakai untuk keperluan mengendalikan robot. Baik robot mainan, maupun

robot industri. Karena komponen utama Arduino adalah mikrokontroler, maka Arduino pun dapat diprogram menggunakan komputer sesuai kebutuhan. Kegunaan Arduino tergantung kepada kita yang membuat program. Arduino bisa digunakan untuk mengontrol LED, bisa juga digunakan untuk mengontrol helikopter.

Bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C. Tetapi bahasa ini sudah dipermudah menggunakan fungsi-fungsi yang sederhana sehingga pemula pun bisa mempelajarinya dengan cukup mudah. (Arduino, 2017)

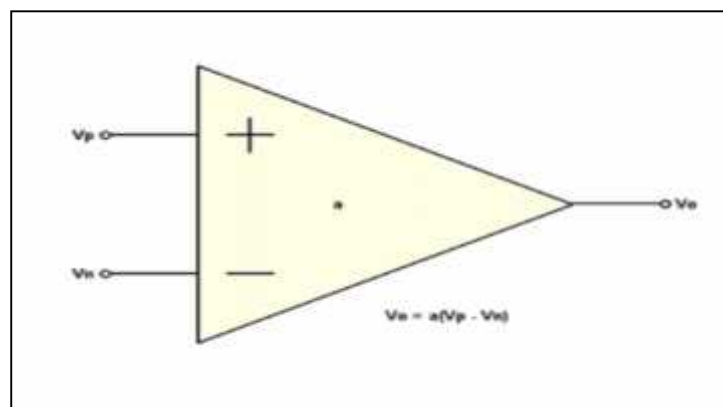
Adapun kelebihan dari mikrokontroler Arduino yaitu:

1. Tidak perlu perangkat chip programmer karena di dalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer.
2. Harganya terjangkau dan mudah didapatkan.
3. *Open source* dan pemrograman yang mudah.
4. Sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna laptop yang tidak memiliki port serial/RS323 bisa menggunakannya.
5. Bahasa pemrograman relatif mudah karena *software* Arduino dilengkapi dengan kumpulan *library* yang cukup lengkap.
6. Memiliki modul siap pakai (*shield*) yang bisa ditancapkan pada board Arduino. Misalnya *shield* GPS, *Ethernet*, *SD Card*, dll.

I. Instrumen Amplifier

Instrumen amplifier atau sering disebut operasional amplifier (Op-Amp) adalah suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi dalam sebuah chip IC yang memiliki dua *input inverting* dan *non-inverting* dengan sebuah terminal *output*, dimana rangkaian umpan balik dapat ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan pada operasional amplifier (Op-Amp). Pada dasarnya operasional amplifier (Op-Amp) merupakan suatu penguat diferensial yang memiliki 2 input dan 1 output.

Op-amp ini digunakan untuk membentuk fungsi-fungsi linier yang bermacam-macam atau dapat juga digunakan untuk operasi-operasi tak linier, dan seringkali disebut sebagai rangkaian terpadu linier dasar. Penguat operasional (Op-Amp) merupakan komponen elektronika analog yang berfungsi sebagai amplifier multiguna dalam bentuk IC dan memiliki simbol sebagai berikut :



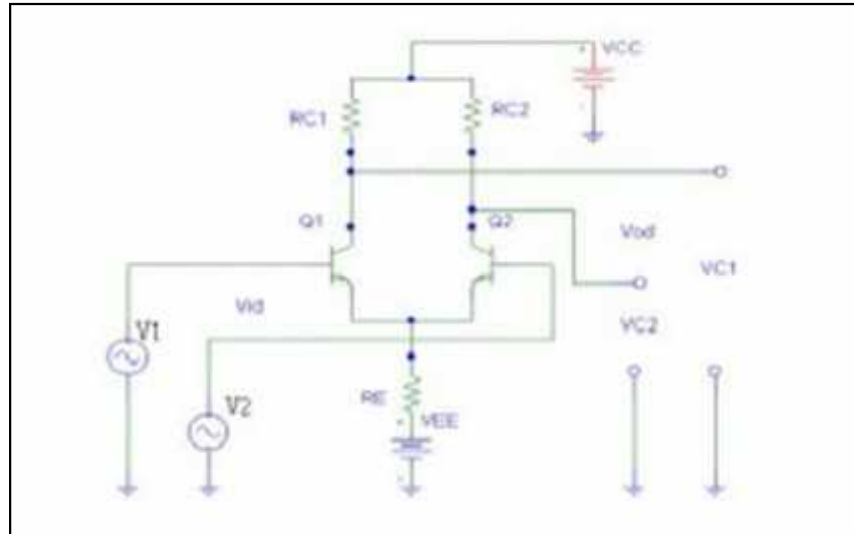
Gambar 13. Simbol Operasional Amplifier (Op-Amp). (Sumber:

Instrumentation Control, 2014).

Prinsip kerja sebuah operasional Amplifier (Op-Amp) adalah membandingkan nilai kedua input (*input inverting* dan *input non-inverting*), apabila kedua *input* bernilai sama maka *output* Op-amp tidak ada (nol) dan apabila terdapat perbedaan nilai *input* keduanya maka *output* Op-amp akan memberikan tegangan *output*. Operasional amplifier (Op-Amp) dibuat dari penguat diferensial dengan 2 *input*. Sebagai penguat operasional ideal, operasional amplifier (Op-Amp) memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Impedansi Input (Z_i) besar =
2. Impedansi Output (Z_0) kecil = 0
3. Penguatan Tegangan (A_v) tinggi =
4. *Band Width* respon frekuensi lebar =
5. $V_0 = 0$ apabila $V_1 = V_2$ dan tidak tergantung pada besarnya V_1 .
6. Karakteristik operasional amplifier (Op-Amp) tidak tergantung temperatur / suhu.

Rangkaian dasar operasional amplifier (Op-Amp) dibuat dari bipolar transistor (BJT) seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 14. Rangkaian Dasar Operasional Amplifier Penguat Diferensial

(Sumber: *Instrumentation Control*, 2014).

Pada penguat diferensial diatas terdapat dua sinyal masukan (input) yaitu V1 dan V2. Dalam kondisi ideal, apabila kedua masukan identik ($V_{id} = 0$), maka keluaran $V_{od} = 0$. Hal ini disebabkan karena $I_{B1} = I_{B2}$ sehingga $I_{C1} = I_{C2}$ dan $I_{E1} = I_{E2}$. Karena itu tegangan keluaran (V_{C1} dan V_{C2}) harganya sama sehingga $V_{od} = 0$.

Apabila terdapat perbedaan antara sinyal V1 dan V2, maka $V_{id} = V1 - V2$. Hal ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan antara I_{B1} dan I_{B2} . Dengan begitu harga I_{C1} berbeda dengan I_{C2} , sehingga harga V_{od} meningkat sesuai sesuai dengan besar penguatan Transistor.

Untuk memperbesar penguatan dapat digunakan dua tingkat penguat diferensial (*cascade*). Keluaran penguat diferensial dihubungkan dengan masukan penguat diferensial tingkatan berikutnya. Dengan begitu besar

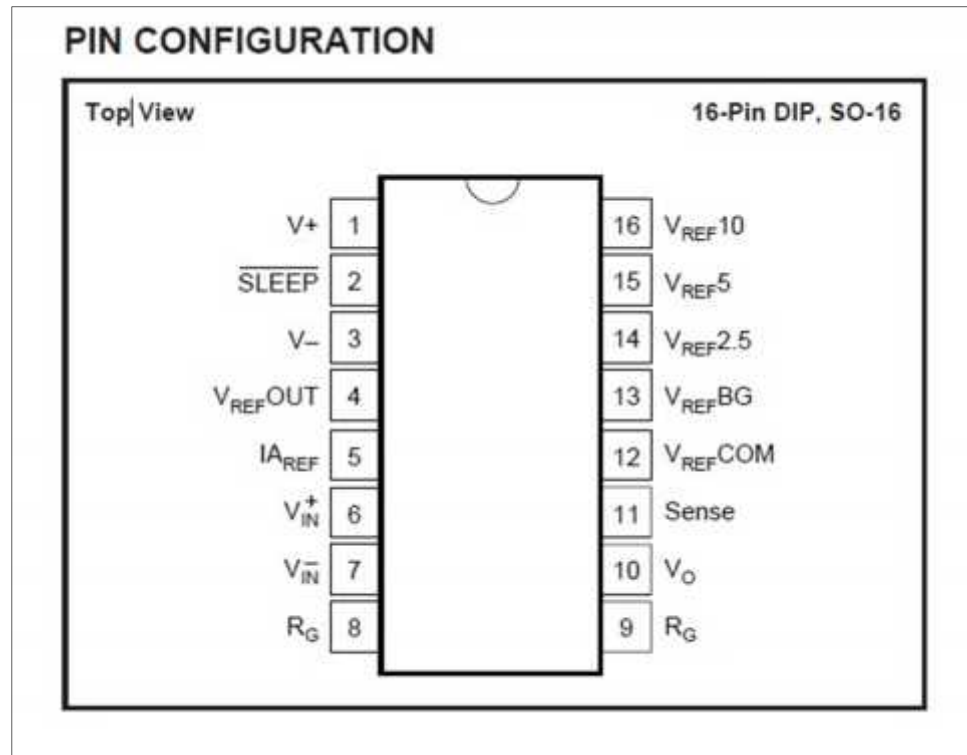
penguatan total (A_d) adalah hasil kali antara penguatan penguat diferensial pertama (V_{d1}) dan penguatan penguat diferensial kedua (V_{d2}).

Untuk penggunaan instrumen amplifier pada penelitian ini menggunakan instrumen amplifier dengan seri INA 125 yang dapat digunakan untuk memperbesar sinyal keluaran sensor hingga 10.000 kali. IC ini memiliki kelebihan yaitu dapat mengalikan sinyal input hingga ribuan kali dengan nilai *noise* yang kecil. Sehingga IC ini sangat cocok digunakan dalam penguatan sensor-sensor yang digunakan dalam alat ukur. Berikut adalah gambar dari instrumen amplifier INA 125.



Gambar 15. Instrumen Amplifier INA 125 (Sumber : *Burr Brown, 2012*).

IC ini memiliki memiliki 16 pin konektor yang memiliki fungsi masing-masing. Pemasangan pin nya haruslah benar agar IC ini dapat bekerja sebagaimana mestinya. Tidak semua pin digunakan, hanya pin-pin tertentu yang memang diperlukan disambungkan pada sistem. Konfigurasi pin akan dijelaskan pada gambar berikut ini.



Gambar 16. Konfigurasi Pin INA 125 (Sumber : *Burr Brown, 2012*).

Konfigurasi pin tersebut adalah sama selama kode IC yang digunakan adalah sama yakni INA 125. Ada beberapa macam merek IC INA 125 di pasaran, diantaranya adalah BB (*Burr-Brown*) dan *Texas Instrument*. IC INA 125 dengan merek BB lebih mudah ditemui di pasaran, meskipun keduanya agak sulit untuk didapatkan. Untuk pemasangannya diperlukan adaptor untuk pin nya sebanyak 16 pin. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan terjadinya panas berlebih pada IC yang akan berakibat IC rusak akibat suhu yang terlalu tinggi. Penempatan IC ini diharapkan dipasang pada tempat yang lega dan memiliki sirkulasi panas yang baik agar tidak terjadi *overheating*. IC ini memiliki spesifikasi yang akan dipaparkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 . Spesifikasi BB INA 125

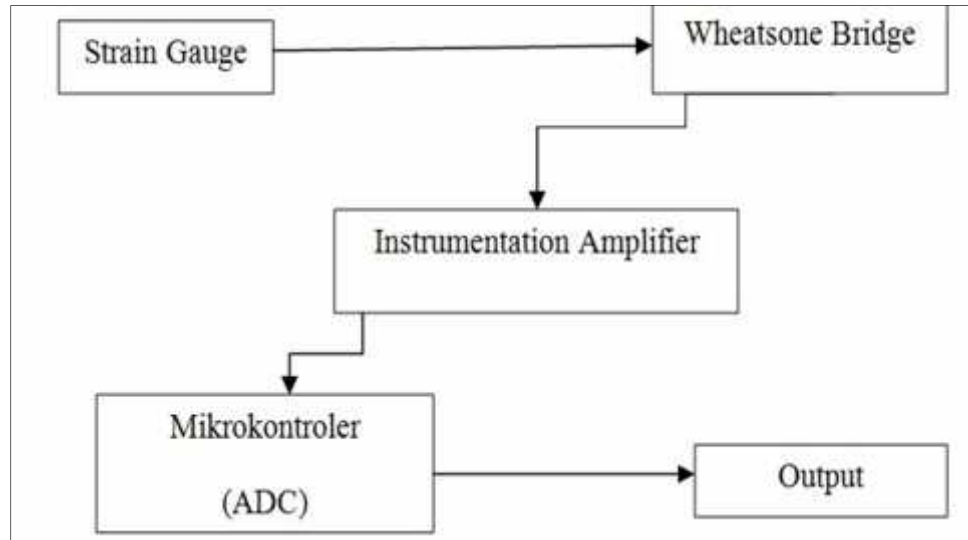
<i>Power Supply Voltage</i>	36 V
<i>Input Signal Voltage</i>	± 40 V
<i>Output Short Circuit</i>	<i>Continuous</i>
<i>Operating Temperature</i>	-55°C to 125°C
<i>Storage Temperature</i>	-55°C to 125°C
<i>Lead Temperature</i>	+300°C
<i>Gain</i>	10.000 <i>times</i>

(Sumber : *Burr Brown, 2012*)

J. Pengukuran Gaya Potong Menggunakan Sensor *Strain Gauge*

Untuk mencari besar gaya yang terdapat pada pahat secara digital dalam proses pembubutan maka diperlukan sistem digital dengan mikrokontroler, sensor, dan instrumentasi amplifier. Sensor yang digunakan untuk mengetahui besaran gaya adalah sensor *strain gauge*. Nantinya akan terjadi defleksi pada pahat dan kelengkungan dari pahat tersebut akan ditangkap oleh sensor *strain gauge* dan diolah sinyal keluarannya dengan instrumen amplifier. Perangkat ini (instrumen amplifier) akan memperbesar keluaran sinyal hingga ribuan kali. Alat ini diperlukan karena sinyal yang dikeluarkan oleh *strain gauge* sangat lemah. Setelah sinyal dikondisikan, lalu sinyal diproses pada mikrokontroler dan diperoleh data keluaran yang dapat diproses lebih lanjut. Setelah instalasi selesai, maka perlu dilakukan proses kalibrasi untuk menentukan ketepatan

pembacaan pada alat ukur. Berikut adalah skema dari perangkat ukur gaya pada proses bubut yang akan dilakukan.



Gambar 17. Skema susunan perangkat ukur gaya pada proses bubut.

K. Magnesium

Magnesium ditemukan oleh *Sir Humphrey* pada tahun 1808. Butuh waktu sekitar 100 tahun sebelum permintaan kebutuhan untuk magnesium dikembangkan. Penggunaan magnesium mulai digunakan secara masal sebagai unsur paduan pada paduan aluminium (*Albright dan Haagensen, 1997*). Magnesium merupakan suatu logam yang mempunyai sifat-sifat sama dengan aluminium. Logam ini diperoleh dengan cara elektrolisis dari magnesit (MgCO_3), dolomit ($\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$) atau karnalit ($\text{MgCl}_2 \times \text{KCl}$). Magnesium terutama dipakai sebagai bagian campuran untuk aluminium. Akan tetapi ada pula paduan kepal magnesium atau paduan tuang magnesium, dengan Al (sampai 11 %), Zn (sampai 4,5 %), dan Si

(sampai 2 %). Magnesium tidak tahan terhadap asam, tetapi berlawanan dengan aluminium. Magnesium tahan terhadap alkali dan tahan pula terhadap kebanyakan zat organik, jadi terutama dipakai di industri kimia (Amanto dan Daryanto, 2003).

Magnesium merupakan logam yang paling ringan dari semua logam yang umum digunakan sebagai logam struktural, dengan kepadatan sekitar dua pertiga dari aluminium dan seperempat dari baja. Magnesium merupakan elemen berlimpah, yang terdiri dari 2 % dari kerak bumi, dan tersedia secara komersial dengan kemurnian melebihi 99,8 %. Magnesium memiliki temperatur leleh yang relatif rendah dan spesifik panas yang tinggi. Oleh karena itu, magnesium dan paduannya dapat dengan mudah dibentuk dengan metode pengecoran konvensional (Nie, 2012).

Paduan magnesium sering digunakan terutama untuk bahan yang memerlukan massa yang ringan namun juga tetap memiliki kekuatan yang baik. Magnesium biasa dicampur dengan bahan lain seperti aluminium, mangan, dan juga *zinc* untuk meningkatkan sifat fisik, namun dengan beberapa persentase yang berbeda (Buldum, 2011).

1. Sifat-sifat Magnesium

Ada dua sifat utama magnesium yaitu sifat murni dan sifat fisik magnesium. Berikut penjelasannya :

a. Sifat Murni Magnesium

Magnesium diklasifikasikan sebagai logam alkali tanah. Hal ini dapat dilihat dalam tabel periodik yang ditunjukkan pada tabel

2.3.

Tabel 3. Sifat Atom Magnesium

Simbol Unsur	Mg
Nomor Atom	12
Berat Atom	24,3050
Diameter Atom	0,320
Volume Atom	14,0 cm ³ / mol

(Sumber : *Friedrich dan Mordike*, 2006)

Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "*magnalium*" atau "*magnelium*".

Seperti halnya pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oksigen). Dibanding dengan aluminium, magnesium memiliki permukaan yang keropos, ini disebabkan oleh kelembaban udara karena *oxid film*. Terbentuknya *oxid film* pada permukaan magnesium hanya mampu melindungi dari udara yang kering. Ketahanan lapisan *oxid* pada magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi dipengaruhi oleh unsur air dan garam pada kelembaban udara. Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan seperti cat atau meni.

Kekuatan tarik magnesium murni adalah sebesar 110 N/mm² dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*). Untuk meningkatkan angka kekuatan tarik ini dapat dilakukan melalui proses pengerjaan. Magnesium memiliki modulus elastis yang sangat rendah dan

bersifat lembut. Dalam sifat pengerjaannya magnesium memiliki struktur yang berada di dalam kisi *hexagonal* sehingga tidak mudah terjadi slip. Disamping itu, presentase perpanjangannya hanya mencapai 5 % dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas (Andriyansyah, 2013).

b. Sifat Fisik Magnesium

Daftar keterangan sifat fisik magnesium ditunjukkan pada tabel 2.4.

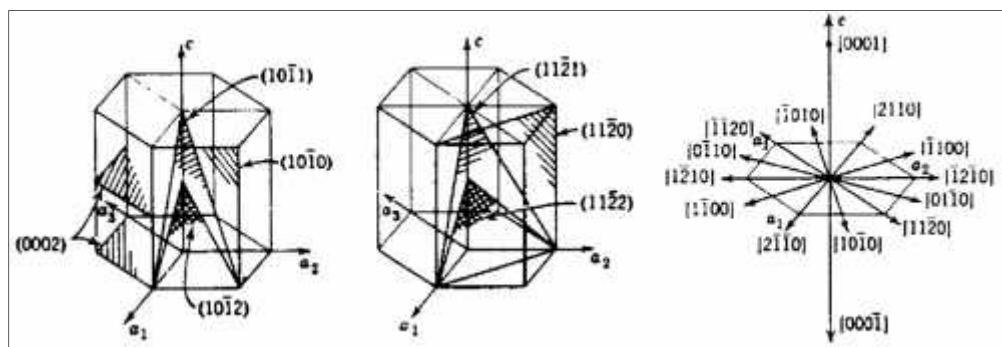
Tabel 4. Sifat Fisik Magnesium

Sifat Fisik	Magnesium Paduan
Titik cair, K	922 K
Titik didih, K	1380 K
Energi ionisasi 1	738 kJ/mol
Energi ionisasi 11	1450 kJ/mol
Kerapatan massa ()	1,74 g/cm ³
Jari-jari atom	1,60 A
Kapasitas panas	1,02 J/Gk
Potensia ionisasi	7,646 Volt
Konduktivitas kalor	156 W/mK
Entalpi penguapan	127,6 kJ/mol
Entalpi pembentukan	8,95 kJ/mol

(Sumber : Doni, 2015 : Andriyansyah, 2013)

2. Karakteristik Magnesium

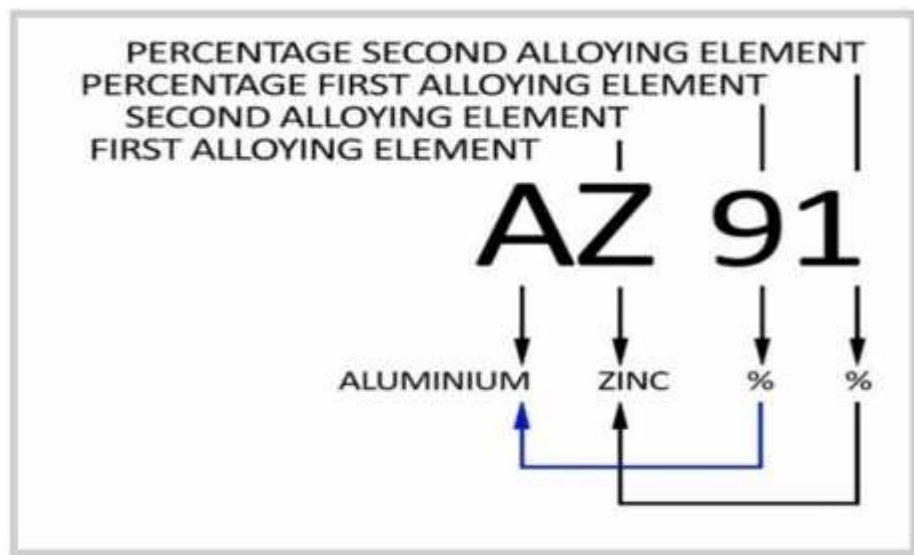
Magnesium memiliki struktur kristal heksagonal (Gambar 2.1) (Polmer, 1994). Karena faktor ukuran yang baik (diameter atom 0.320 nm), karakteristik paduan ditandai oleh kemampuan untuk membentuk larutan padat dengan berbagai elemen, termasuk Al, Zn, Li, Ce, Ag, Zr, dan Th. Struktur heksagonal yang rapat, besar dan variabel ukuran butir telah menyebabkan kurang dari sifat mekanik optimum. Pengembangan paduan untuk lebih efektif bersaing dengan paduan aluminium tempa tahan dari perbedaan substansial dalam pemahaman tentang fase transformasi yang terjadi di paduan magnesium dibandingkan dengan paduan aluminium akibat langsung dari jumlah penelitian yang telah dilakukan pada paduan magnesium. Sementara paduan magnesium umumnya menunjukkan korosi yang baik saat terpapar atmosfer, memiliki kerentanan terhadap korosi di lingkungan klorida menjadi batasan praktis untuk diaplikasikan menjadi lebih luas (Froes, 1998).



Gambar 18. Prinsip bidang dan arah pada elemen magnesium (Sumber : Polmer, 1994).

Paduan Magnesium ditetapkan sebagai berikut :

- a. Satu atau dua huruf awalan, menunjukkan elemen paduan utama.
- b. Dua atau tiga angka, menunjukkan persentase unsur paduan utama dan dibulatkan ke desimal terdekat.
- c. Huruf abjad (kecuali huruf I dan O) menunjukkan standar paduan dengan variasi kecil dalam komposisi.
- d. Simbol untuk sifat material, mengikuti sistem yang digunakan untuk paduan aluminium.
- e. Sebagai contoh, ambil paduan AZ91C-T6 :



Gambar 19. Penamaan paduan magnesium (Sumber : (Riyadi, 2015 : Buldum, 2011).

Berikut adalah penjelasannya:

- a. Unsur-unsur paduan utama adalah aluminium (A sebesar 9%, dibulatkan) dan seng (Z sebesar 1%).
- b. Huruf C, huruf ketiga dari alfabet, menunjukkan bahwa paduan ini adalah yang ketiga dari satu standar (kemudian dari A dan B, yang

merupakan paduan pertama dan kedua yang standar, berturut-turut).

- c. T6 paduan menunjukkan bahwa larutan ini telah direaksikan dan masa artifisial.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 10 bulan yaitu dari bulan Juni 2017 sampai dengan April 2018. Penelitian akan dilakukan di Laboratorium Produksi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Tabel 5. Rencana Kegiatan Penelitian

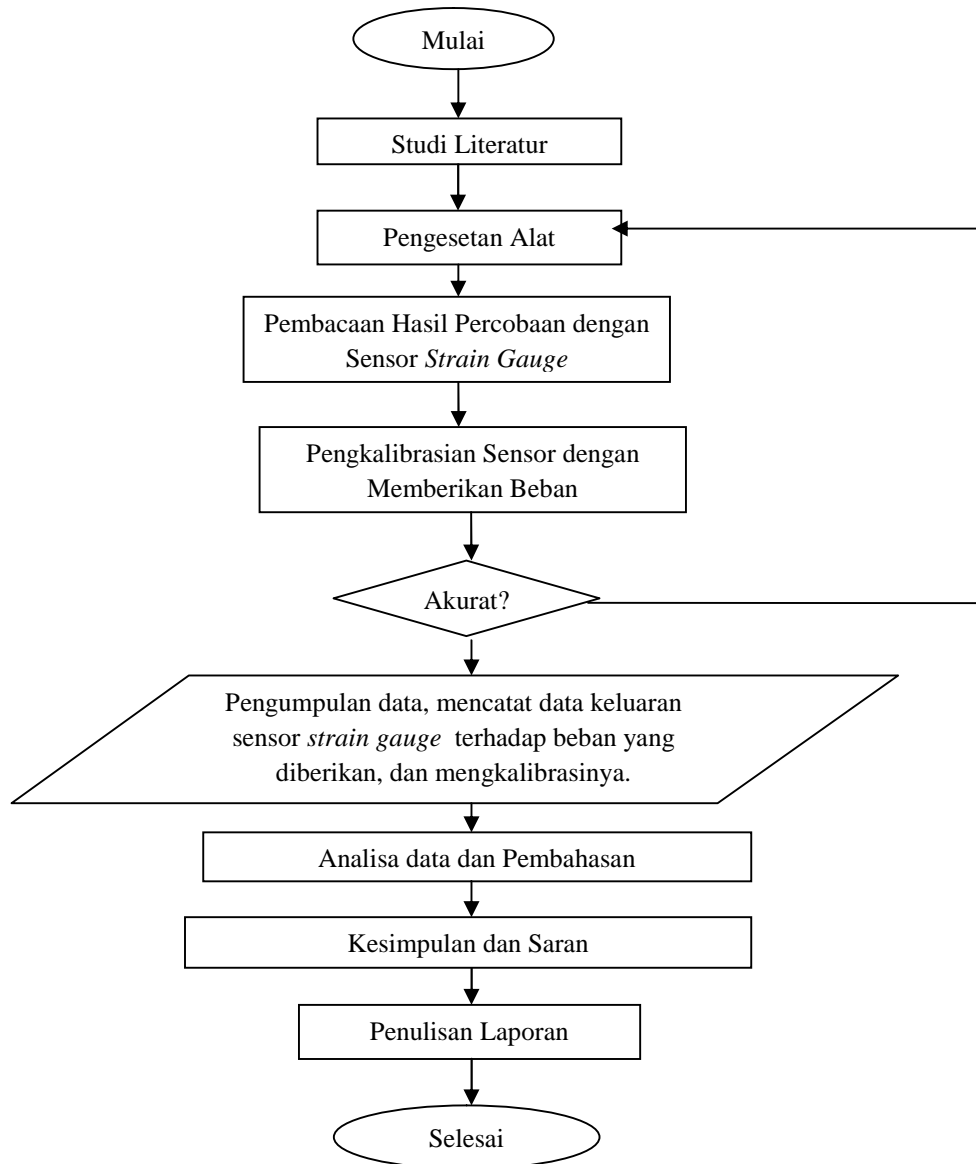
Kegiatan	Juni 2017				Juli 2017				Agustus 2017				September 2017				November 2017			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1 Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■												
2 Persiapan Alat dan Perancangan Alat						■	■	■	■	■	■	■								
3 Pembuatan Alat									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4 Pengujian Alat																	■	■	■	■

Tabel 5. (lanjutan)

Kegiatan	Desember 2017				Januari 2018				Februari 2018				Maret 2018				April 2018			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
4 Pengujian Alat																				
5 Pengambilan Data																				
6 Pengolahan Data																				
7 Pembuatan Laporan Akhir																				

B. Diagram Alur Penelitian

Secara garis besar, alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada *flowchart* berikut ini :



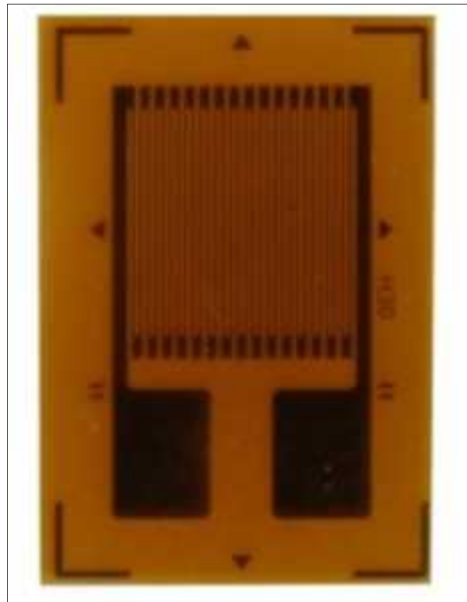
Gambar 20. *Flowchart* penelitian.

C. Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sensor *Strain Gauge*

Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain). Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan Whetstone yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada Strain Gauge.



Gambar 21. Sensor *strain gauge*.

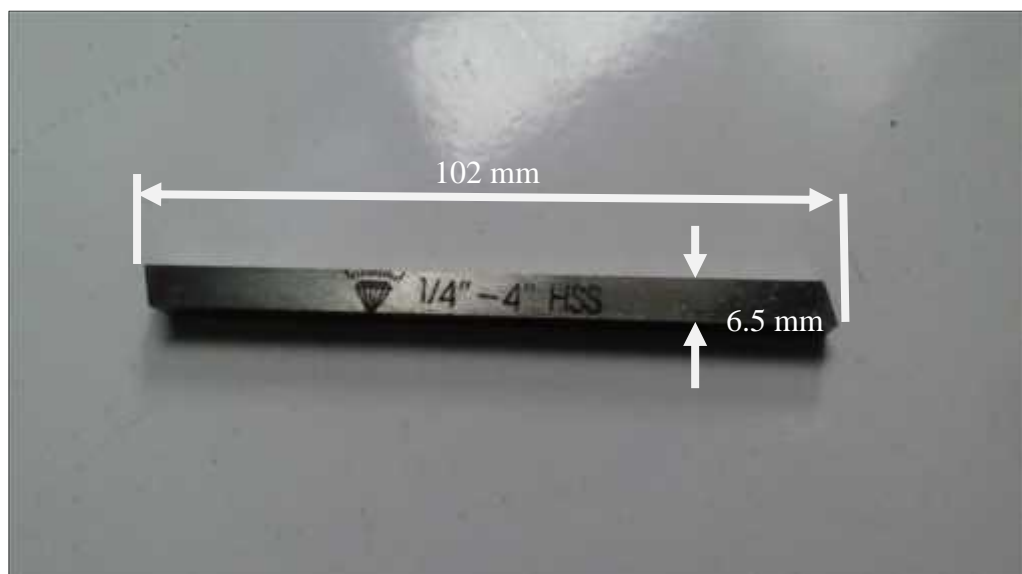
Tabel 6. Spesifikasi *Strain Gauge*

Model	BF350-3AA
<i>Resistance</i>	350 ohms
<i>Sensitivity coefficient</i>	2.0-2.2
<i>Strain limit</i>	2.5%
<i>Wire grid size</i>	3.5 x 3.5 mm (<i>Length x Width</i>)
<i>Base Size</i>	G x 4.5 mm (<i>Length x Width</i>)
<i>Creep</i>	10 - 1000 Kg
<i>Gate Material</i>	<i>Constantan wire</i>
<i>Flux</i>	<i>Rosin ordinary solder</i>
<i>Fatigue life</i>	> 10000000 <i>times</i>

(Sumber : AGS Tech, 2017)

2. Pahat

Pahat digunakan untuk memotong benda kerja. Pahat yang digunakan adalah pahat dengan jenis HSS berukuran 1/4 inch dengan panjang keseluruhan pahat adalah 4 inch. Pahat ini mudah dicari di pasaran dengan harga yang relatif murah.



Gambar 22. Pahat HSS.

Tabel 7. Spesifikasi Pahat HSS 1/4 inch

Merk Pahat	Diamond
Jenis Material Pahat	HSS
Panjang Pahat	102 mm
Tebal Pahat	6.5 mm

(Sumber : Diamond, 2017)

3. Lem *Strain Gauge*

Lem yang digunakan dalam merekatkan sensor strain gauge pada gagang pahat adalah lem khusus strain gauge dengan material dasar *cyanoacrylate*. Lem yang digunakan pada penelitian ini adalah Kyowa CC-33A. Lem ini mempunyai karakteristik cepat kering, kuat dan memiliki elastisitas yang baik untuk digunakan sebagai lem sensor *strain gauge*.

Tabel 8. Spesifikasi Lem *Strain Gauge*

<i>Type</i>	<i>Instantaneous adhesive cured at normal temperatures</i>
<i>Features</i>	<i>Suitable for bonding general-purpose gages, such as KFG, KFGS and KFR, which are used for general stress measurement at normal temperatures of 20 to 80 °C.</i>
	<i>Quick curing time and stable bonding of various materials in a wide range of temperature and humidity ranges.</i>
	<i>Quick curing ensures smooth bonding works.</i>
	<i>Enables measurement in approximately 1 hour from bonding.</i>
<i>Operating Temp.</i>	<i>-196 to 120</i>
<i>Ingredients</i>	<i>1 type of cyanoacrylate liquid</i>
<i>Main material</i>	<i>Metals (Steel, stainless steel, copper, aluminum alloys A1050/A2024, etc.)</i>
	<i>Plastics (acrylate, vinyl chloride, nylon, etc.)</i>
	<i>Composite materials (CFRP, GFRP, printed board, etc.)</i>
	<i>Rubber</i>

(Sumber : Kyowa, 2017)



Gambar 23. Lem *strain gauge*.

4. Instrumen Amplifier INA 125

Sinyal keluaran dari strain gauge harus diperbesar oleh instrumen amplifier. Pada penelitian kali ini menggunakan INA 125 sebagai pembesar nilai output dari strain gauge. Instrument amplifier yang digunakan pada penelitian ini adalah INA 125 dengan merek Burr-Brown atau sering disingkat dengan BB. INA 125 memiliki kaki sebanyak 16 pin dan dapat memperbesar sinyal input hingga 10.000 kali.



Gambar 24. INA 125.

Berikut adalah spesifikasi INA 125 dengan input 5V.

Tabel 9. Spesifikasi INA 125 pada Tegangan Supply 5V Merk Burr-Brown

Parameter		Kondisi	INA 125			Unit	
			Min	Typ	Max		
Input	<i>Offset Voltage, RTI Initial</i>			± 75	±500	mV	
	<i>Vs Temperature</i>			±0.25		mV/°C	
	<i>Vs Power Supply</i>	Vs= +2.7V to +36V		3	20	mV/V	
	<i>Input Voltage Range Common-Mode Rejection</i>	Vcm= +1.1V to +3.6V					
		G = 4	78	84			dB
		G = 10	86	94			dB
		G = 100	100	114			dB
Gain	<i>Gain Error</i>	V0= +0.3V to +3.8V					
		G=4		±0.01		%	
Output	<i>Voltage Positive</i>		-1.2	-0.8		V	
	<i>Voltage Negative</i>		+0.3	+0.15		V	
Power Supply	<i>Specified Operating Voltage</i>			+5		V	
	<i>Operating Voltage Range</i>		+2.7		+36	V	
	<i>Quiescent Current</i>	I _O = I _{REF} = 0mA		460	525	mA	
	<i>Sleep Current (V sleep < 100mV)</i>	R _L = 10k , Ref Load = 2k		±1	±25	mA	

(Sumber : Burr-Brown, 2017)

Instrumen amplifier memiliki beberapa keunggulan, berikut adalah fitur kelebihan INA 125.

Tabel 10. Fitur Kelebihan di INA 125

<i>Low Quiescent Current</i>	460 mA
<i>Precision Voltage Reference</i>	1.24V, 2.5V, 5V or 10V
<i>Low Offset Voltage</i>	250mV max
<i>Low Offset Drift</i>	2mV/°C max
<i>Low Input Bias Current</i>	20nA max
<i>High CMR</i>	100dB min
<i>Low Noise</i>	38nV/√Hz at f = 1kHz
<i>Input Protection to ±40V</i>	±40V
<i>Single Supply</i>	2.7V to 36V
<i>Dual Supply</i>	±1.35V to ±18V
<i>PIN</i>	16

(Sumber : Burr-Brown, 2017)

5. Arduino UNO R3

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikroprocessor dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (integrated circuit) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Cara kerjanya dengan memproses data dari sensor-sensor dengan bantuan mikrokontroler dan akan dihasilkan nilai keluaran berupa sinyal digital.



Gambar 25. Arduino UNO R3.

Tabel 11. Spesifikasi Arduino UNO R3

<i>Microcontroller</i>	ATmega328P
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limit)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14
<i>PWM Digital I/O Pins</i>	6
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	20 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328P) <i>of which 0.5 KB used by bootloader</i>
<i>SRAM</i>	2 KB (ATmega328P)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega328P)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>LED_BUILTIN</i>	13
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g

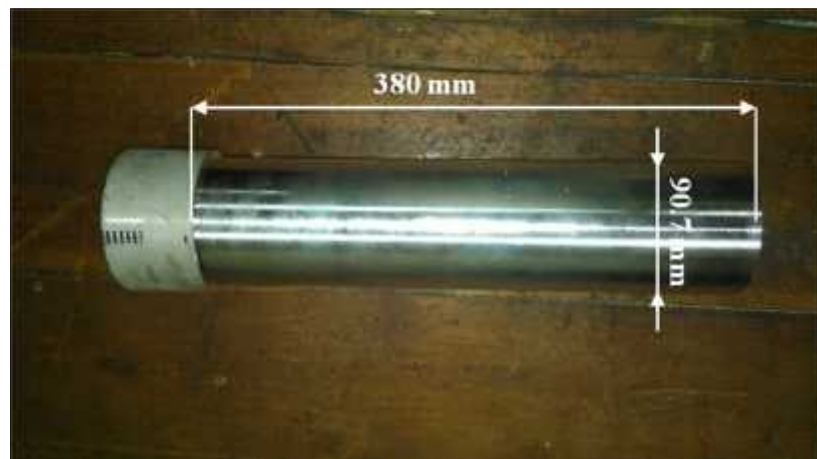
(Sumber : Arduino, 2017)

6. Komputer / Laptop

Laptop yang digunakan adalah laptop yang menggunakan sistem operasi Windows dengan menggunakan software Arduino.

7. Material Uji

Material yang diuji dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan material Magnesium AZ 31.



Gambar 26. Magnesium AZ 31.

Material Magnesium memiliki karakteristik fisik dan termal. Karakteristik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 12. Karakteristik Fisik dan Thermal Magnesium AZ31.

<i>Density</i> [kg/mm^3]	$1,77 \times 10^{-6}$
<i>Young's Modulus</i> [kN/mm^2]	45,000
<i>Possion's ratio</i>	0.35
<i>Melting temperature</i> [K]	891
Konduktifitas thermal [$\text{w}/(\text{mK})$]	$77 + 0.096T$
Kapasitas Spesifik panas [$\text{J}/(\text{kgK})$]	$1000 + 0.666T$
Koefisien muai panas [K^{-1}]	2.48×10^{-5}

(Sumber : Doni, 2015)

Tabel 13. Sifat Fisik Magnesium

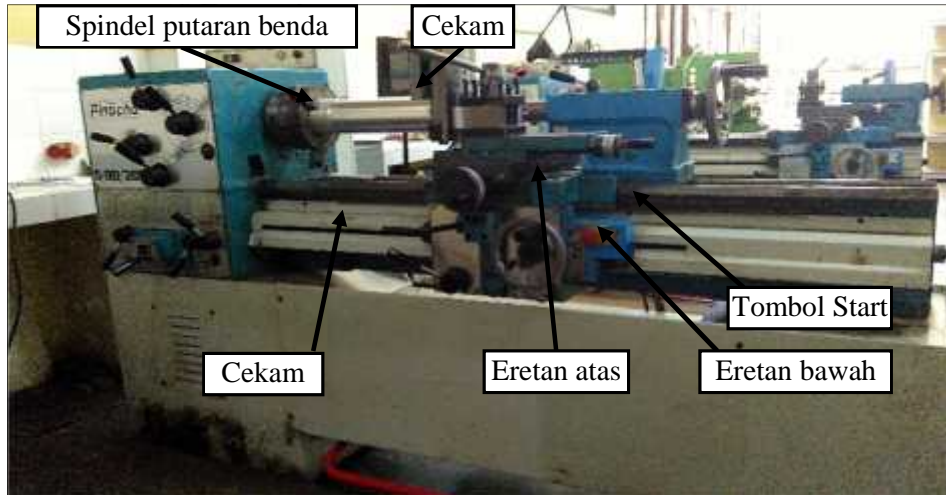
Sifat Fisik	Magnesium Paduan
Titik cair, K	922 K
Titik didih, K	1380 K
Energi ionisasi 1	738 kJ/mol
Energi ionisasi 11	1450 kJ/mol
Kerapatan massa ()	1,74 g/cm ³
Jari-jari atom	1,60 A
Kapasitas panas	1,02 J/gk
Potensial ionisasi	7,646 Volt
Konduktivitas kalor	156 W/mK
Entalpi penguapan	127,6 kJ/mol
Entalpi pembentukan	8,95 kJ/mol

(Sumber : Doni, 2015 : Andriyansyah, 2013)

8. Mesin Bubut

Mesin bubut merupakan mesin perkakas untuk proses pemotongan logam (*metal-cutting process*). Operasi dasar dari mesin bubut adalah melibatkan benda kerja yang berputar dan cutting tool-nya bergerak linier. Kekhususan operasi mesin bubut adalah digunakan untuk memproses benda kerja dengan hasil atau bentuk penampang lingkaran atau benda kerja berbentuk silinder.

Mesin bubut disini akan digunakan untuk proses pengujian perangkat ukur gaya. Nantinya perangkat ukur gaya akan dipasangkan pada mesin bubut dan dilakukan ujicoba menggunakan material yang akan diuji.



Gambar 27. Mesin bubut.

Tabel 14. Spesifikasi Mesin Bubut Konvensional

Merek	PHINACO
Tipe	S-90/200
Motor	Main Motor Power:4 Kw
<i>Central High</i>	200 mm
<i>Central Distance</i>	750 mm - 1150 mm
<i>Swing Over Bed</i>	400 mm
<i>Swing Over Grap</i>	600 mm
<i>Swing Over Carriage</i>	370 mm
<i>Swing Cross Slide</i>	210 mm

(Sumber : Doni, 2015)

D. Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian memiliki beberapa tahapan diantaranya :

1. Tahap-Tahap Prosedur Penelitian

Prosedur penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

- a. Penentuan benda kerja yang akan diuji (Magnesium AZ91C-T6).
- b. Pembuatan desain sistem kontrol.
- c. Perakitan alat ukur gaya dengan sensor *strain gauge*.
- d. Melakukan pengkalibrasian dengan beban dan mencatat perubahan nilai yang terjadi.
- e. Mencari best practice dari pengukuran gaya dengan *strain gauge*.

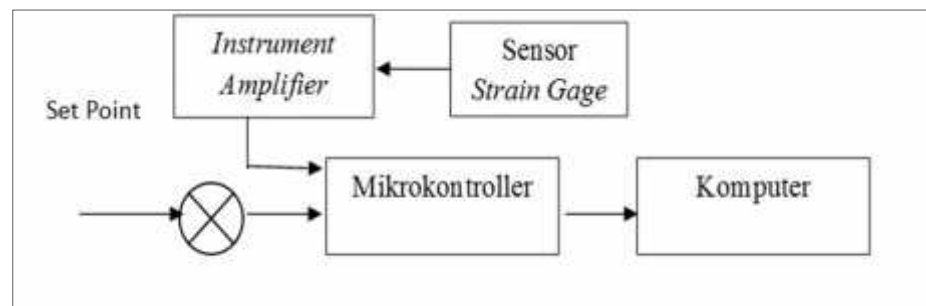
2. Mekanisme Kerja Sistem

Proses ini merupakan proses yang penting untuk memulai penelitian. Sistem yang dibangun menggunakan sensor strain gauge, instrument amplifier, dan mikrokontroler. Sensor strain gauge akan dipasangkan pada pahat dan di lem. Lem yang digunakan adalah lem khusus, yakni lem dengan jenis C 33 A, yang memang diperuntukkan khusus sebagai perekat sensor strain gauge. Setelah terikat sempurna, sensor diuji dengan diberi pembebanan. Dari pembebanan tersebut akan dihasilkan defleksi yang akan dibaca oleh sensor strain gauge. Namun sinyal keluaran dari strain gauge sangatlah kecil, oleh karena itu perlu dilakukan penguatan dengan menggunakan instrument amplifier yang

disingkat INA. sinyal keluaran dari INA inilah yang kemudian diolah oleh mikrokontroler arduino dan ditampilkan pada layar komputer.

Pengujian akan langsung dilakukan pada mesin bubut dengan benda kerja logam magnesium dengan panjang dan diameter tertentu. Sinyal keluaran akan dicatat dan selanjutnya akan dilakukan kalibrasi. Pengkalibrasian dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pengkalibrasian beban secara langsung dan pengkalibrasian dengan dial indikator. Pengkalibrasian yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah dengan mengkalibrasikan nilai keluaran dari strain gauge dengan beban tertentu dengan range berat yang konstan.

Skema sistem alat ukur gaya yang akan digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 28. Skema sistem alat ukur gaya.

3. Persiapan Bahan

Benda kerja berbentuk silinder dan dipotong dengan panjang 200 mm sebanyak 6 buah. Sistem kontrolnya cukup sederhana dengan menggunakan sensor strain gauge. Sinyal keluaran dari sensor strain gauge akan diolah di mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler arduino seri Uno R3. Mikrokontroler ini cukup

ekonomis dan mampu memproses dengan baik sinyal input sehingga dapat dihasilkan data berupa besaran gaya potong pada permesinan bubut.

Sensor strain gauge akan dipasang pada pahat karbida dan diletakkan pada posisi yang telah ditentukan. Setelah dirakit dan terpasang pada mesin bubut maka dilakukan proses pembubutan dengan benda kerja. Pada proses pembubutan akan terjadi defleksi pada pahat dan dideteksi besaran defleksi dengan sensor strain gauge. Untuk mengkalibrasi besaran defleksi yang terjadi, maka digunakan berat atau gaya yang digunakan sebagai acuan perhitungan gaya. Setelah didapat kalibrasi yang pas, maka alat uji dapat digunakan. Hasil dari pembacaan sensor kemudian diolah dengan mikrokontroler dan dapat diketahui hasil nilai keluaran pada layar laptop.

4. Pembuatan Alat

Pembuatan alat meliputi 3 tahap, yaitu:

a. Pembuatan Perangkat Keras

Tahap ini merupakan meliputi pembuatan perangkat keras yang tersusun dari pahat, sensor, instrument amplifier, dan mikrokontroler. Pembuatannya meliputi posisi peletakan sensor strain gauge pada pahat, instrument amplifier dan mikrokontroler. Setelah semua terpasang dengan baik, maka dilakukan pengujian awal dari nilai keluaran sensor.

b. Pembuatan Perangkat Lunak

Tahap ini mencakup program yang akan digunakan pada alat ini. Program dibuat sedemikian rupa untuk mengkonversikan nilai yang keluar dari strain gauge untuk diubah menjadi besaran gaya dan daya. Sehingga nantinya akan mudah dalam pembacaan secara langsung. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah menggunakan bahasa pemrograman C dengan target mikrokontroler yang akan digunakan adalah arduino uno. Bahasa pemrograman ini nantinya yang akan mengatur kinerja dari mikrokontroler dan sistem sesuai dengan perintah yang diinginkan.

Langkah-langkah dalam pembuatan program adalah sebagai berikut:

1. Membuat loop sistem kontrol (flowchart) dari program.
2. Membuat program untuk mikrokontroler dengan menggunakan bahasa pemrograman C.
3. Menguji program sementara dan mengecek apabila terjadi kesalahan.
4. Pengisian program ke mikrokontroler.

c. Pemasangan Sistem Kontrol

Pada tahap ini merupakan proses pemasangan sistem kontrol secara menyeluruh. Pahat yang telah terpasang dengan sensor *strain gauge* dipasangkan pada mesin bubut. Semua perangkat keras yang diperlukan dihubungkan dan di cek kembali. Mikrokontroler dihubungkan ke komputer dan dilakukan proses pemahatan dengan benda kerja magnesium berbentuk silinder dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Setelah semua berjalan dengan baik, maka komputer akan memproses

dan menampilkan data keluaran dari sensor. Proses pemasangan sistem kontrol ini dilakukan di Laboratorium Produksi Teknik Mesin Universitas Lampung.

d. Pengujian dan Pengkalibrasian Alat Pengukur Gaya pada Mesin Bubut

Setelah sistem terpasang dengan baik maka perlu dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban pada ujung pahat yang terpasang, lalu dibaca nilai keluarannya dengan komputer. Nantinya nilai keluaran inilah yang digunakan untuk memperoleh kalibrasi yang akurat. Setelah nilai keluaran ditampilkan pada layar, maka perlu diperhatikan nilai keluaran minimum dan maksimum dari mikrokontroler. Nilai keluaran tersebut akan dibandingkan dengan nilai gaya aktual yang ada pada ujung pahat. Pengkalibrasian dilakukan secara berulang, hingga didapatkan nilai gaya yang akurat dengan error perhitungan yang kecil.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Setelah melakukan rangkaian penelitian ini, dapat dipaparkan beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini. Berikut adalah kesimpulannya:

1. Perangkat ukur gaya potong dapat membaca dengan baik dan dapat mendeteksi perubahan gaya akibat perubahan parameter.
2. Nilai rata-rata gaya pada strain 1 maximum 260.99 N, minimum 77.51 N.
Strain 2 maximum 226.19 N, min 44.38 N.
3. Kecepatan putar spindel (n , rpm) mempengaruhi gaya potong, makin tinggi kecepatan putar spindel, maka akan memperkecil gaya potong.
4. *Feed rate* mempengaruhi gaya potong, makin besar *feed rate*, maka gaya potong akan semakin besar.
5. *Depth of cut* mempengaruhi gaya potong, makin dalam *depth of cut*, maka gaya potong akan semakin besar.

B. Saran

1. Pada penelitian kali ini pengukuran gaya menggunakan sensor strain gauge yang terpasang fix pada pahat, untuk kedepannya dapat dibuat dudukan pahat yang telah terpasang strain gauge dan dapat diganti pahatnya sesuai keinginan peneliti agar lebih mudah dalam penggunaannya.
2. Untuk kedepannya pada perangkat ukur gaya dibuat dengan lcd yang terpasang agar dapat membaca gaya secara langsung sehingga lebih praktis dalam penggunaan.
3. Perlu diadakannya penstabil listrik pada laboratorium, agar kecepatan putar mesin bubut stabil dan tidak berubah-ubah.

DAFTAR PUSTAKA

Agung Nugroho Adi. *Mekatronika*. Graha Ilmu. 2012.

Anwar dan Yohanes. 2016. *Rancang Bangun Dinamometer Berbasiskan Strain Gauge Dengan Batang Sensor Tipe Four Square Stalk untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut*. Tugas Akhir. Universitas Riau.

Burr Brown Corporation . INA 125 . *Instrumentation Amplifier With Precision Voltage Reference*.

Dwijana, I Gusti Komang. 2009. *Analisa Pengaruh Modifikasi Pahat Bubut Terhadap Gaya, Daya dan Temperatur Pemotongan pada Pembubutan Material Baja St. 42*. Tugas Akhir. Universitas Bukit Jimbaran Badung.

Dwijana, I Gusti Komang. 2015. *Analisa Temperatur Pemotongan Baja ST 42 Terhadap Kehalusan Permukaan*. Tugas Akhir. Universitas Udayana.

Gandung, Didik, dan Zainal. 2014. *Rancang Bangun Dynamometer untuk Pengukuran Gaya Potong Mesin Bubut*. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret.

Hamka, Johannes, dan Rafiuddin.2015. *Pengaruh Parameter Pemotongan (Feeding, Cutting Speed, Depth of Cut) Terhadap Konsumsi Energi pada Permesinan Bubut*. Tugas Akhir. Universitas Hasanuddin Makassar.

- Harun, Suryadiwansa. *Evaluasi dan Aplikasi Dinamometer Force Ring untuk Mengukur Gaya Pemotongan pada Pemesinan Bubut dengan Sistem Pahat Berputar*. Universitas Lampung.
- Henri dan Richard. 2007. *Analisis Umur dan Keausan Pahat Karbida untuk Membubut Baja Paduan (ASSAB 760) dengan Metoda Variable Speed Machining Test*. Tugas Akhir. Universitas Bung Hatta.
- Ivan, Zainal, dan Didik. 2013. *Pengaruh Sudut Potong Pahat Terhadap Gaya Pemotongan pada Proses Bubut Beberapa Material dengan Pahat HSS*. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret.
- Kurniawan, Fajar. 2008. *Study Tentang Cutting Force Mesin Bubut (Desain Dynamometer Sederhana)*. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Marsyahyo, Eko. 2003. *Mesin Perkakas Pemotongan Logam*. Toga Mas. Malang.
- Nurhadiyanto, Didik. 2014. *Analisis Pengaruh Kecepatan Pemakanan dan Kedalaman Potong Terhadap Temperatur Pahat Pada Mesin Bubut*. *Eksperimen*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Paridawati. 2015. *Pengaruh Kecepatan dan Sudut Potong Terhadap Kekasaran Benda Kerja pada Mesin Bubut*. *Eksperimen*. Universitas Islam 45 Bekasi.
- Raul, Widiyanti, Poppy. 2016. *Pengaruh Variasi Kecepatan Potong dan Kedalaman Potong pada Mesin Bubut Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Benda Kerja ST 41*. Tugas Akhir. Universitas Negeri Malang.

Rochim,T. 2007. *Klasifikasi Proses Gaya dan Daya Pemesinan*, Institut Teknologi Bandung.

Soegihardjo, Oegik. 2015. *Simulasi Komputer untuk Memprediksi Besarnya Daya Pemotongan pada Proses Cylindrical Turning Berdasarkan Parameter Underformed Chip Thickness*. Eksperimen. Universitas Kristen Petra.

Stella, Rudy,dan Romels. 2014. *Pengaruh Variasi Parameter Proses Pemesinan Terhadap Gaya Potong Pada Mesin Bubut Knuth DM-1000A*. Tugas Akhir. Universitas Sam Ratulangi.

Sumardi. 2015. *Pengaruh Pemotongan Mata Pahat Carbida dan HSS pada Mesin Bubut Terhadap Kekasaran Permukaan*. Tugas Akhir. Politeknik Negeri Lhokseumawe.

Virido dan Tjuk. 2015. *Analisis Pengaruh Cutting Speed, Feed Rate, dan Depth of Cut Terhadap Gaya Potong pada Proses Bubut dengan Simulasi Metode Elemen Hingga*. Tugas Akhir. Universitas Brawijaya Malang.

Yusuf, dan Sayuti. 2014. *Simulasi untuk Memprediksi Pengaruh Parameter Chip Thickness Terhadap Daya Pemotongan pada Proses Cylindrical Turning*. Tugas Akhir. Universitas Malikussaleh Lhokseumawe.

Arduino. 2017. *Arduino UNO and Genuino UNO*.
<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Diakses pada 10 Maret 2017.