



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**RANCANG BANGUN *RECIPROCATING SLIDING*
TRIBOMETER UNTUK ANALISIS KEAUSAN PADA
IMPLAN AUSTENISTIK *STAINLESS STEEL 316L***

Yosua Zulkarnaen
NRP 0211164000023

Dosen Pembimbing
Fahmi Mubarok., ST., MSc., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA - 2020



TUGAS AKHIR – TM184835

**RANCANG BANGUN *RECIPROCATING SLIDING*
TRIBOMETER UNTUK ANALISIS KEAUSAN PADA IMPLAN
AUSTENISTIK *STAINLESS STEEL 316L***

YOSUA ZULKARNAEN
NRP 0211164000023

Dosen Pembimbing:
Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT – TM184835

**DESIGN OF RECIPROCATING SLIDING TRIBOMETER
FOR WEAR ANALYSIS OF 316L AUSTENITIC STAINLESS
STEEL IMPLANT**

YOSUA ZULKARNAEN
NRP 0211164000023

Advising Lecturer:
Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph.D

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

**RANCANG BANGUN RECIPROCATING SLIDING
TRIBOMETER UNTUK ANALISIS KEAUSAN PADA
IMPLAN AUSTENITIK STAINLESS STEEL 316L
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Yosua Zulkarnaen
NRP. 0211164000023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Fahmi Mubarak, ST., MSc., PhD (Pembimbing)
NIP. 197801152003121002
2. Putu Suwarta, S.T., M.Sc., Ph.D (Penguji 1)
NIP. 198203032009121007
3. Dr.Eng. Sutikno, S.T., M.T (Penguji 2)
NIP. 197407032000031001
4. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 3)
NIP. 198005202005011003



SURABAYA
AGUSTUS, 2020

RANCANG BANGUN RECIPROCATING SLIDING TRIBOMETER UNTUK ANALISIS KEAUSAN PADA IMPLAN AUSTENITIK STAINLESS STEEL 316L

Nama Mahasiswa : Yosua Zulkarnaen
NRP : 0211164000023
Departemen : Teknik Mesin INDSYS-ITS
Dosen Pembimbing : Fahmi Mubarok, ST., MSc., PhD

ABSTRAK

Dewasa ini penggunaan material sudah mengalami kemajuan, khususnya pada bidang medis. Dalam bidang medis sering kita jumpai praktik penggunaan implan untuk berbagai kasus seperti kondisi patah pada tulang. Stainless steel 316L umum digunakan sebagai material implan karena sifat biokompatibilitas yang tinggi dan memiliki kekuatan yang sesuai dengan kebutuhan implan tulang. Standar internasional AISI F138 memberikan persyaratan dari segi kekuatan mekanik dan komposisi kimia. Sifat lain seperti ketahanan aus perlu juga dipertimbangkan agar material juga memiliki lifetime atau umur pakai yang lama dan tidak menghasilkan partikel aus yang dapat menyebabkan iritasi. Sayangnya alat uji wear resistance belum tersedia di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS. Oleh karena itu dalam tugas akhir kali ini dilakukan proses desain rancang bangun dan prototyping reciprocating sliding tribometer sehingga dapat dilakukan pengujian wear resistance di laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS.

Tribometer yang dibuat adalah tribometer berjenis reciprocating sliding tribometer dengan mekanisme pembebanan pin-on-plate. Desain dari tribometer ini dilakukan berdasarkan berdasarkan reverensi tribometer Resmat Tribocorrosion tool produksi Canada. Untuk menunjang kemampuan tribometer dalam pengujian Coefficient of Friction (CoF), tribometer ini dilengkapi dengan sensor berupa load cell sehingga data beban normal dan beban gesek dapat terus menerus dimonitor selama proses sliding berlangsung. Kelebihan lainnya adalah fitur dry & wet wear test

kit yang dapat menunjang pengujian pada spesimen dalam kondisi kering maupun dalam kondisi basah.

Setelah proses rancang bangun tribometer selesai, dilakukan pengujian pada gerak reciprocating sliding untuk menguji akurasi tribometer. Sebelum digunakan, compression load cell telah dipastikan memiliki nilai yang akurat dan presisi melalui uji error dan deviasi standar. Selanjutnya dilakukan uji pengaruh pembebanan pada spesimen terhadap kecepatan reciprocating sliding, apakah pembebanan tersebut mengakibatkan perlambatan yang mempengaruhi kecepatan reciprocating sliding. Setelah dilakukan uji berupa pengukuran kecepatan reciprocating sliding ketika diberikan beban masing-masing sebesar; 10N, 20N, dan 30N, didapatkan hasil akhir yaitu terjadi perlambatan rata-rata untuk setiap pembebanan yaitu sebesar 0.441%, 0.585%, dan 0.613% terhadap kecepatan reciprocating sliding tanpa pembebanan. Karena nilai perlambatan yang dihasilkan berada dibawah 1%, faktor perlambatan pembebanan ini dapat diabaikan karena besarnya dianggap tidak signifikan. Sehingga disimpulkan jika kecepatan reciprocating sliding stabil dan nilai beban yang diberikan pada compression load cell sudah sesuai maka secara teori hasil pengujian tribometer ini sudah benar. Namun masih perlu dilakukan percobaan tambahan untuk membuktikan apakah hasil pengujian tribometer ini sudah sesuai

Kata Kunci: Tribometer, stainless steel 316L, pin-on-plate

DESIGN OF RECIPROCATING SLIDING TRIBOMETER FOR WEAR ANALYSIS OF 316L AUSTENITIC STAINLESS STEEL IMPLANT

Name : Yosua Zulkarnaen
NRP : 0211164000023
Departement : Mechanical Engineering INDSYS-ITS
Supervisor : Fahmi Mubarok, ST., MSc., PhD

ABSTRACT

Nowadays, the application of materials has reached an advancement, especially in the medical field. We often find the application of implant for various medical cases, such as bone fracture. 316L stainless steel is a material that often used as an implant because it's biocompatibility and strength that support the application as an implant. The international AISI F138 standard has specified some requirements for implant material such as mechanical strength and the chemical composition. Another property such as wear resistance also very important to consider, because it will determine the lifetime of the implant and whether it will generate wear particles that can cause irritation or not. Unfortunately, there is no wear resistance test machine available in the Metallurgical Laboratory of Mechanical Engineering ITS. Therefore, this final project is aimed to make a design and prototype of a reciprocating sliding tribometer to improve the wear testing facility on Metallurgical Laboratory.

The tribometer that has been created is a reciprocating sliding tribometer type with a pin-on-plate loading mechanism. The design of the reciprocating sliding tribometer is based on The Resmat Tribocorrosion tool as the main reference. This tribometer is also equipped with load cells to measure the Coefficient of Friction (CoF). Every load and force applied to the load cell will be recorded. Another feature that improves this tribometer is wet and dry specimen test kit that can accommodate wear test in either dry or wet test environment.

After the design and prototyping process is finished, some series of tests are run. First is the accuracy and precision test of the load cell through the error and standard deviation calculation. After we make sure that the load cell is accurate and precise, now it is the time for the speed reduction test. From this test, it can be determined that whether the load applied to the specimen will affect the reciprocating sliding movement speed or not. At the end of the test, the results are; at 10N of normal load it reduced 0.441% of the reciprocating speed, at 20N of normal force it reduced 0.585% of the reciprocating speed, and at 30N of normal force it reduced 0.613% of the reciprocating speed. Since the average percent reduction of reciprocating speed due to loading is less than 1%, this factor is neglected because it is not significant. At the end of the test, when the reciprocating sliding movement is not affected by loading, and the compression load cell is already accurate and precise, it can be assumed that the result of this tribometer will be valid. However, sequences of test must be done to make sure that the result of this tribometer is true

Keywords: Tribometer, stainless steel 316L, pin-on-plate

KATA PENGANTAR

Pertama tama, penulis ucapkan pujian dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas setiap penyertaan dan kemurahan-Nya yang telah memungkinkan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh kelulusan pada jenjang studi S-1 di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Adapun keberhasilan penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini tak lepas dari campur tangan berbagai pihak baik dukungan secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

- Papa dan mama tercinta, yang telah mendukung penulis dalam segala hal mulai dari dukungan kasih sayang, materi, dan doa yang selalu menyertai sehingga penulis bisa menyelesaikan perkuliahan dengan tepat waktu
- Bapak **Fahmi Mubarak, S.T, M.Sc, Ph.D** selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terimakasih atas kesabarannya dalam membimbing penulis. Juga segala dukungan dalam bentuk saran dan masukan yang sangat membangun dan menjadikan penulis pribadi yang lebih baik
- Bapak **Putu Suwarta S.T, M.Sc., Ph.D.**, Bapak **Dr. Eng Sutikno S.T, M.T**, dan Bapak **Suwarno S.T, M.Sc, Ph.D**, sebagai dosen penguji tugas akhir yang telah banyak memberikan saran dan masukan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.
- Kepada seluruh keluarga besar di **CG EY96, 97, dan 98** yang telah memberikan berbagai dukungan selama 4 tahun penuh.

- Kepada seluruh keluarga dalam pelayanan di **Eaglekidz GMS** yang secara tidak langsung telah memberikan dukungannya kepada penulis
- Kepada yang terkasih **Florensia Stephanus**, terimakasih telah menjadi partner yang setia dan selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk menolong dan menjadi motivasi dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
- Kepada seluruh keluarga **M59** dan **PMK ITS** yang selalu membantu dan memberikan kesan tak terlupakan dalam menjalani perkuliahan ini.
- Teman-teman di **lab. Metalurgi** khususnya **Ghusti, Wildhan, Pieter**, dan **Mbak Manda** yang telah menjadi rekan seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir ini
- Seluruh civitas akademik yang ada di departemen Teknik Mesin ITS

Penulis menyadari bahwa tugas akhir rancang bangun tribometer ini masih belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap saran dan masukan dari berbagai pihak. Besar harapan penulis, bahwa tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi banyak orang.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tribologi.....	5
2.2. Istilah dalam Tribologi	5
2.2.1. <i>Friction</i> (Gesekan).....	5
2.2.2. <i>Wear</i> (Keausan).....	6
2.3. Tribometer.....	8
2.3.1 <i>Rotating Tribometer</i>	8
2.3.2. <i>Linear Reciprocating Tribometer</i>	10

2.4. <i>Stainless Steel</i> 316L sebagai material Implant	13
2.5. Referensi dalam Pemilihan Material pada Tribometer	13
2.5.1 <i>Stainless steel</i>	14
2.5.2 <i>PP (Polypropylene)</i>	15
2.5.3 Kuningan	16
2.5.4 Aluminium.....	17
2.6 Sensor	18
2.6.1. <i>Compression Button Load Cell</i>	18
2.6.2. <i>Inline tension-compression Load Cell</i>	20
2.7 <i>Specific Wear Rate</i>	21
2.8 Pengukuran <i>Wear Profile</i> dengan menggunakan Profilometer.....	22
2.9 <i>Coefficient of Friction (CoF)</i>	23
2.10 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	24
BAB III	27
METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2. Desain.....	29
3.2.1. Kepala Tribometer.....	29
3.2.2. Mekanisme Geser (<i>Sliding Mechanism</i>).....	30
3.2.3. Mekanisme Pembebanan (<i>Loading</i>)	31
3.2.4. Pengukuran gaya gesek	32
3.2.5. Wet holder dan dry holder	34
3.3. Cara kerja alat.....	36
3.4. Sensor dan Serial Komunikasi.....	38

3.4.1. <i>Miniature button load cell</i>	38
3.4.2. <i>Inline tension-compression load cell</i>	40
3.4.3. <i>Indicator & Controller</i>	42
BAB IV	45
DATA DAN ANALISA	45
4.1 Hasil Rancang Bangun Tribometer	45
4.1.1 Spesifikasi alat	45
4.1.2 Komponen pada alat	46
4.2 Pengukuran dan Uji Akurasi	50
4.2.1 Uji Akurasi dan Presisi <i>Load Cell</i>	50
4.2.2 Pengukuran Kecepatan Motor	56
4.2.3 Hasil perhitungan kecepatan motor dan Perbandingan	62
4.2.4 Uji Perlambatan Akibat <i>Load</i> dari Pin	65
4.3 Pembacaan data Menggunakan Arduino R3	70
BAB V	73
PANDUAN PENGGUNAAN DAN PERAWATAN	73
5.1 Prosedur penggunaan Tribometer	73
BAB VI	77
KESIMPULAN DAN SARAN	77
6.1 Kesimpulan	77
6.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN	83
BIODATA PENULIS	111

(halaman ini sengaja dikosongka

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram gaya-gaya yang bekerja pada gesekan [12]	5
Gambar 2.2 Two-body abrasive wear [5].	6
Gambar 2.3 Three-body abrasive wear [5]	7
Gambar 2.4 Adhesive wear [5]	7
Gambar 2.5 Rotating Tribometer dengan mekanisme pin-on-disc [14].	9
Gambar 2.6 Bagian-bagian pada Tribometer pin-on-disc [13].	9
Gambar 2.7 Linear reciprocating tribometer dengan mekanisme pin-on-plate [14].	11
Gambar 2.8 Tribometer pin-on-plate Resmat Corporation, Canada [17].	11
Gambar 2.9 Komponen utama Tribometer [17].	14
Gambar 2.10 Bagian dalam tribometer head [17].	14
Gambar 2.11 Bagian luar tribometer head	15
Gambar 2.12 Wet Specimen Holder	16
Gambar 2.13 Connecting Rod.	16
Gambar 2.14 Dry specimen holder	17
Gambar 2.15 Sensor pada tribometer resmat. Kiri: Compression button load cell, kanan: Inline Tension-Compression load cell.	18
Gambar 2.16 Skema pemberian beban pada Compression button load cell [18].	19
Gambar 2.17 Prinsip kerja Strain Gauge [16].	19
Gambar 2.18 Rangkaian weatstone bridge pada load cell.	20
Gambar 2.19 Skema pembebanan pada inline tension-compression load cell [18].	21
Gambar 2.20 Tampak atas profil permukaan lintasan gesek [10]	23
Gambar 2.21 Hasil pengujian menggunakan profilometer [10].	23
Gambar 2.22 Tribometer Karya Abful Goffar (2013)	25

Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3.2	Mekanisme pin dan indenter.....	29
Gambar 3.3	Mekanisme reciprocating.....	31
Gambar 3.4	Skema mekanisme Pembebanan	32
Gambar 3.5	Mekanisme pengukuran gaya gesek.....	33
Gambar 3.6	mekanisme dry specimen holder.....	34
Gambar 3.7	wet specimen holder.....	35
Gambar 3.8	dimensi load cell GML663.....	39
Gambar 3.9	Load Cell GML663.....	39
Gambar 3. 10	Sensor GML668D.....	41
Gambar 3.11	Dimensi sensor GML668D	41
Gambar 3.12	Modul Arduino R3	42
Gambar 3.13	LCD keypad 16x2	43
Gambar 3.14	ADC HX711	43
Gambar 3.15	Modul sd card reader&writer	44
Gambar 4.1	Hasil akhir rancang bangun Tribometer.....	45
Gambar 4. 2	Tampak depan Tribometer	46
Gambar 4.3	Tampak atas tribometer.....	47
Gambar 4.4	Tampak samping tribometer	48
Gambar 4.5	Kepala Tribometer	49
Gambar 4.6	Pin Indenter.....	50
Gambar 4.7	Proses penimbangan beban mati 0.5 kg dan 1.0 kg	51
Gambar 4.8	Hasil pengukuran ke-1 dengan beban 1kg pada indikator Arduino	52
Gambar 4.9	Grafik persebaran data hasil pengukuran.....	56
Gambar 4.10	Tachometer digital DEKKO 2234L.....	57
Gambar 4.11	Grafik root mean square RPM tanpa pembebanan	61
Gambar 4.12	Grafik kesalahan relatif tanpa pembebanan	61
Gambar 4.13	Grafik hasil perhitungan kecepatan putar motor..	63

Gambar 4.14 Grafik hasil perbandingan kecepatan motor perhitungan dan pengukuran	64
Gambar 4.15 Grafik persen perlambatan akibat pembebanan ...	69
Gambar 4.16 Rangkaian wiring komponen modul arduino.	71
Gambar 4.17 Data logger menggunakan aplikasi arduino	72
Gambar 5.1 Mengencangkan spesimen pada specimen holder..	73
Gambar 5. 2 Pemasangan specimen holder pada base.....	73
Gambar 5.3 Memposisikan pin tepat di atas spesimen	74
Gambar 5.4 Mengencangkan sekrup untuk menambah beban...	74
Gambar 5.5 Kabel power motor dan DC power supply.....	75
Gambar 5.6 Panel kecepatan motor dan saklar RUN/STOP.....	75
Gambar 6.1 Plat penopang inline tension-compression load cell	78

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komponen utama Tribometer pin-on-disc [13].	10
Tabel 2.2 Komponen pada Resmat <i>pin-on-plate</i> tribometer [17].	12
Tabel 2.3 Komposisi kimia pada baja austenik 316L dalam wt% [15]	13
Tabel 2.4 Kode wiring diagram pada load cell	20
Tabel 3.1 Spesifikasi load Cell GML663	40
Tabel 3.2 Spesifikasi load Cell GML668D	42
Tabel 4.1 Tabel Spesifikasi Alat	45
Tabel 4.2 Hasil pengukuran compression load cell GML663-30N	52
Tabel 4.3 Hasil perhitungan compression load cell GML663-30N	55
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tanpa pembebanan	59
Tabel 4.5 Tabel hasil	62
Tabel 4.6 Perbandingan antara kecepatan motor hasil pengukuran dan hasil perhitungan	64
Tabel 4.7 Hasil pengukuran dengan pembebanan 10N	65
Tabel 4.8 Hasil pengukuran dengan pembebanan 20N	66
Tabel 4.9 Hasil pengukuran dengan pembebanan 30N	67
Tabel 4.10 Perbandingan besarnya perlambatan akibat pembebanan	69
Tabel 4.11 Nilai rata-rata perlambatan dan rata-rata kesalahan relatif pada setiap pembebanan	69

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu sifat mekanik material yang perlu diketahui saat berinteraksi dengan material lain adalah ketahanan aus (*wear resistance*). Setiap benda yang mengalami kontak langsung dengan benda lain dan mengalami gesekan akan menyebabkan keausan pada material tersebut. Keausan dapat didefinisikan sebagai pengikisan material pada bagian permukaan yang disebabkan adanya gesekan antara material pengikis dan material yang terkikis [9]. Keausan yang terjadi secara terus-menerus akan menimbulkan berbagai kerugian dari sisi properti mekanik material. Pada kondisi tertentu dimana keausan sudah sangat parah, maka akan dapat memicu kegagalan (*failure*).

Dewasa ini aplikasi material sendiri sudah mengalami kemajuan yang sangat pesat seiring dengan perkembangan zaman. Sebagai contoh pada bidang medis dibutuhkan material dengan sifat-sifat khusus guna memenuhi standar persyaratan yang ada sudah atau disebut dengan *medical grade material*. Material ini harus memenuhi berbagai persyaratan antara lain tahan terhadap korosi, tidak bereaksi dengan tubuh, tidak beracun bagi tubuh, dan pada beberapa kasus penggunaan material implan dibutuhkan material yang tahan aus. *Stainless steel 316L* merupakan salah satu material yang umum digunakan di bidang kedokteran karena sifatnya yang tahan karat. Namun material masih perlu diuji dari segi *wear resistance*, oleh karena itu perlu dikaji ketahanan terhadap keausannya.

Sayangnya alat uji ketahanan aus belum dimiliki oleh laboratorium Metalurgi Teknik Mesin ITS, maka untuk mendukung tugas akhir ini agar dapat dilakukan pengujian

keausan, dilakukan proses rancang bangun dan pembuatan prototype mesin uji keausan yang lebih dikenal dengan nama tribometer. Rancang mesin tribometer tipe *pin-on-plate* dengan mekanisme gerakan *linear reciprocating* ini dilakukan melalui prosedur analisis dan pengamatan terhadap model yang sudah ada dan selanjutnya dilakukan penyempurnaan di beberapa bidang yaitu, penambahan sensor uji dan proses perekaman data dan pembuatan *wet testing* kit untuk pengujian keausan menggunakan cairan. Tribometer ini akan dilengkapi dengan sensor *button compression load cell*, *inline tension-compression load cell*, dan koneksi pada komputer untuk pengamatan dan perekaman data sehingga *Coefficient of Friction* (CoF) dari material tersebut dapat dihitung. Selanjutnya *specific wear rate* dari material dapat diketahui dengan mengukur *volume lost* maupun *weight loss* dari material yang diuji. Melalui alat *Reciprocating Tribometer* diharapkan dapat menjadi solusi untuk pengujian keausan material secara umum dan terkhusus untuk implant *grade Stainless steel 316L*.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang seperti yang sudah ditulis sebelumnya didapatkan beberapa dasar rumusan masalah yang perlu untuk dibahas yaitu:

1. Bagaimana merancang tribometer dengan tipe *pin-on-plate* dengan mekanisme gerakan *linear reciprocating*?
2. Bagaimana mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dari tribometer tersebut?
3. Bagaimana melakukan instalasi instrumen pengukur berupa sensor *button load cell* untuk mengatur pembebanan dan *inline tension-compression load cell* untuk CoF dan *specific wear*?
4. Bagaimana cara memberikan panduan kepada pengguna tribometer?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Material yang digunakan menyesuaikan dengan kondisi yang ada di lapangan.
2. Proses rancang bangun alat difokuskan untuk fungsi pakai alat.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir rancang bangun tribometer tipe *pin-on-plate* dengan mekanisme gerakan *linear reciprocating* ini adalah untuk menjawab rumusan masalah yang ada, yaitu:

1. Melakukan rancang bangun Tribometer dengan tipe *pin-on-plate* dengan mekanisme gerakan *linear reciprocating*.
2. Mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dari tribometer.
3. Melakukan instalasi instrumen pengukur berupa sensor *button load cell* dan sensor *inline tension-compression load cell* untuk mengukur CoF.
4. Membuat panduan dan SOP tribometer.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Tribometer dapat digunakan untuk mengukur tingkat keausan pada material secara umum dan terkhusus untuk implant *stainless steel 316L*.
2. Tribometer ini dapat melengkapi fasilitas pengujian di laboraturioum Metalurgi departemen Teknik Mesin ITS.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

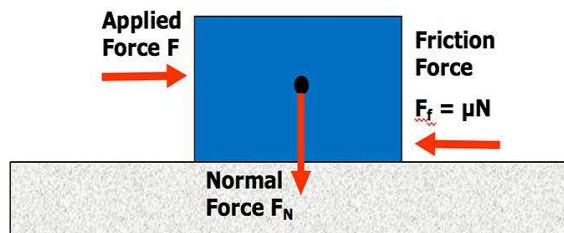
2.1. Tribologi

Tribologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *tribos* yang berarti menggesek [5]. Secara teknis tribologi adalah ilmu yang mempelajari permukaan benda yang berinteraksi dengan gerakan relatif [5]. Tribologi sendiri sangat erat kaitannya dengan gaya gesek, pelumasan (*lubrication*), dan keausan (*wear*).

2.2. Istilah dalam Tribologi

2.2.1. *Friction* (Gesekan)

Gesekan merupakan gaya arahnya yang saling berlawanan dengan arah gaya yang diberikan [8]. Gesekan sendiri dapat terjadi ketika terdapat 2 buah objek atau lebih yang saling bersentuhan atau mengalami kontak satu dengan yang lain. Gesekan tidak hanya terjadi pada benda padat tetapi juga terjadi pada fluida.



Gambar 2.1 Diagram gaya-gaya yang bekerja pada gesekan [12]

Gaya gesek sendiri merupakan hasil perkalian dari koefisien gesek dan gaya normal seperti tertulis pada persamaan berikut [8]:

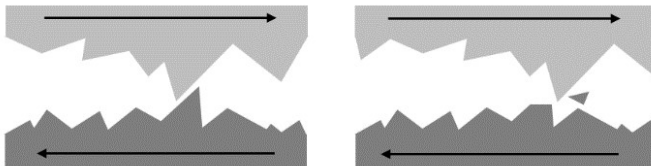
$$F_f = \mu_k \cdot F_N \quad (2.1)$$

Dimana F_f adalah gaya gesek dalam satuan newton (N), μ_k adalah koefisien gesek (CoF) yang tidak memiliki satuan, dan F_N adalah gaya normal yang bekerja pada objek (N). Gaya gesek ini akan sangat penting dan berguna dalam berbagai perhitungan dan menentukan nilai koefisien gesekan suatu material uji.

2.2.2. Wear (Keausan)

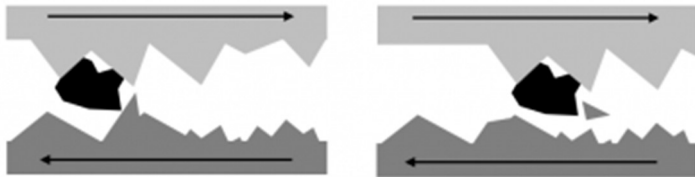
Wear atau disebut juga keausan adalah proses penghilangan material dari permukaan suatu objek dikarenakan adanya gesekan yang terjadi secara berulang-ulang [7]. Keausan sendiri dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, salah satunya adalah *abrasive wear*.

Abrasive wear sendiri adalah keausan yang terjadi ketika suatu permukaan benda yang tingkat kekerasannya lebih tinggi menggerus benda dengan permukaan yang kekerasannya lebih rendah sehingga mengakibatkan hilangnya material pada benda yang lebih lunak tersebut. *Abrasive wear* sendiri dibedakan menjadi dua yaitu *two-body abrasive wear* dan *three-body abrasive wear*



Gambar 2.2 *Two-body abrasive wear* [5].

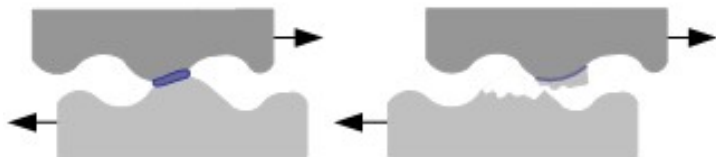
Pada *two-body abrasive wear* seperti yang dijelaskan pada gambar 2.2 hanya melibatkan dua buah permukaan benda untuk terjadi proses abrasi. Sedangkan pada *three-body abrasive wear* melibatkan dua permukaan benda dan juga sejumlah partikel yang terperangkap di antara kedua permukaan. Partikel tersebut bisa jadi partikel asing atau dapat juga berupa *debris*.



Gambar 2.3 *Three-body abrasive wear* [5]

Partikel-partikel yang terhilang dari permukaan material ini disebut juga dengan *debris* yang memiliki ukuran bervariasi mulai dari ukuran mikron hingga serpihan besar yang dapat dilihat mata.

Adhesive wear adalah salah satu jenis keausan yang terjadi akibat adanya gaya adesif yang terjadi ketika kedua buah permukaan benda mengalami kontak sehingga terjadi transfer material dari suatu permukaan ke permukaan lainnya. Pada permukaan salah satu benda terdapat material yang terhilang (*loss*) karena melekat pada permukaan benda lainnya



Gambar 2.4 *Adhesive wear* [5]

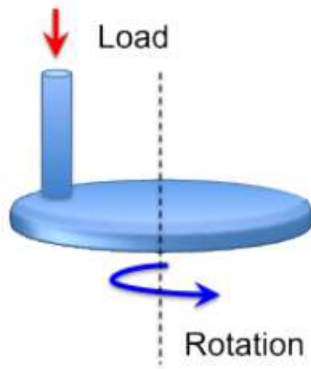
2.3. Tribometer

Tribometer merupakan suatu alat uji yang digunakan untuk mengukur keausan pada material yang ingin diuji [4]. Cara kerja dari tribometer sendiri adalah dengan menggesekkan indentor kepada material uji secara berulang-ulang hingga material mengalami keausan. Keausan sendiri dipengaruhi oleh besarnya pembebanan yang diberikan indentor kepada spesimen dan juga panjangnya lintasan gesek yang diberikan, sebagai contoh 200 meter sampai dengan 500 meter, atau dapat juga menggunakan banyaknya siklus (n) seperti 1000 siklus, 2000 siklus, dan seterusnya [13].

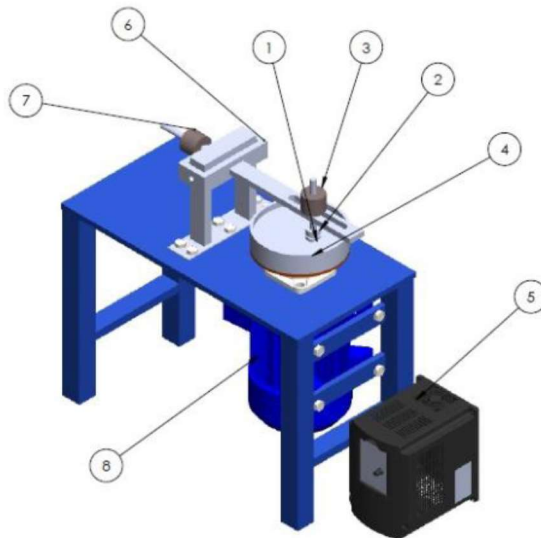
Terdapat beberapa jenis tribometer untuk melakukan uji keausan. Setiap tipe dibedakan berdasarkan mekanisme gesekannya. Namun terdapat 2 jenis tribometer yang paling umum digunakan berdasarkan mekanisme gerakannya.

2.3.1 *Rotating Tribometer*

Tribometer jenis ini menggunakan prinsip gerakan rotasi atau berputar. Cara kerja dari *rotating tribometer* ini adalah motor dihubungkan ke gearbox untuk mengatur kecepatan putaran. Selanjutnya gearbox dihubungkan dengan poros putar yang langsung terhubung pada motor. Gerakan rotasi dari poros putar akan menyebabkan terjadinya gesekan antara spesimen dengan pin indentor yang sudah diberikan beban. Mekanisme pembebanan yang digunakan pada tribometer jenis adalah mekanisme pembebanan *pin-on-plate*.



Gambar 2.5 *Rotating Tribometer* dengan mekanisme *pin-on-disc* [14].



Gambar 2.6 Bagian-bagian pada Tribometer *pin-on-disc* [13].

Tabel 2.1 Komponen utama Tribometer *pin-on-disc* [13].

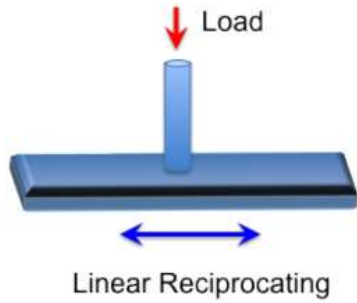
No	Name of Part	Function
1	Pin	Wear Test
2	Holder	Pin Holder
3	External load	Load Regulator
4	Disc Material	Wear Test
5	Inverter	Electric Motor Control
6	Load Arm	Connecting External Load and Balancer
7	Load Balancer	Balancing the Load
8	Electric Motor	Rotating Disc

Gambar 2.4 diatas merupakan tribometer tipe pin-on-disk milik Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang. Skema tribometer ini dijelaskan di gambar 2.4 dengan spesifikasi komponen pada tabel 2.1. Tribometer jenis pin-on-disc terdiri dari 8 komponen utama dimana material uji akan digerakan oleh motor dan pin indentor tetap dalam keadaan diam (*stationary*) sambil diberikan beban eksternal

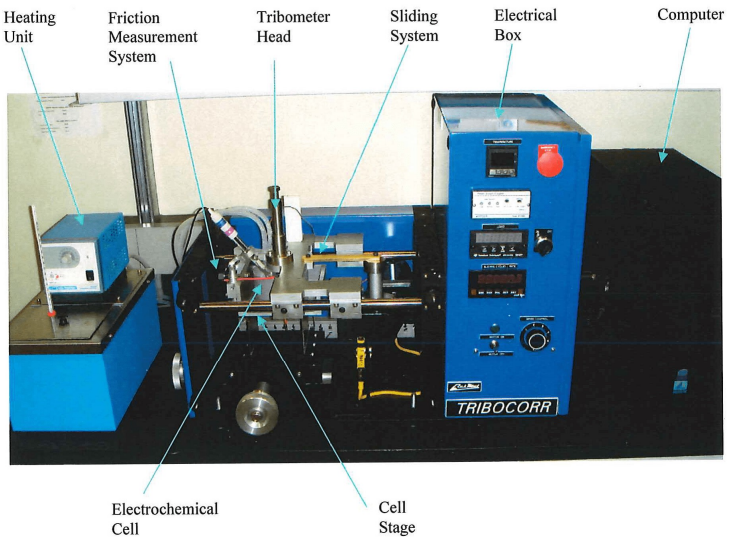
2.3.2. *Linear Reciprocating Tribometer*

Linear reciprocating tribometer adalah salah satu tribometer dengan mekanisme gerakan *reciprocating* atau gerakan maju-mundur secara berulang. Seperti *rotating tribometer*, sumber gerakan *reciprocating* berasal dari poros putar yang dihubungkan dengan *connecting rod* yang berfungsi untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linear. Untuk setiap satu rotasi pada poros putar akan dikonversikan menjadi

satu langkah (*stroke*) yang terdiri dari satu kali gerakan maju dan satu kali gerakan mundur.



Gambar 2.7 *Linear reciprocating tribometer* dengan mekanisme *pin-on-plate* [14].



Gambar 2.8 Tribometer *pin-on-plate* Resmat Corporation, Canada [17].

Salah satu contoh tribometer tipe *pin-on-plate* yang terdapat di pasaran adalah *Tribocorr Tool Resmat Corp.* Tribometer ini diproduksi di Canada dan menjadi salah satu referensi utama dalam proses rancang bangun ini. Tribometer ini memiliki 4 buah komponen utama dan 4 komponen tambahan untuk menunjang kelengkapan pengujian.

Tabel 2.2 Komponen pada Resmat *pin-on-plate* tribometer [17].

No	Name of Part	Function
1	Sliding System	Convert rotation to linear
2	Tribometer Head	Wear test Loading
3	Friction Measurement System	To measure CoF
4	Electrical Box	Electrical System
5	Computer	Data Recording
6	Electrochemical Cell	Wear Test
7	Cell Stage	Specimen Movement
8	Heating Unit	To Heat Electrolyte

Keempat komponen utama adalah *sliding system*, yang berfungsi mengubah gerak rotasi menjadi reciprocating, *Tribometer head* sebagai indenter, *Friction Measurement system* untuk mengukur CoF, dan electrical box. Sedangkan komponen tambahan yaitu komputer sebagai unit display dan perekaman data, *electrochemical cell* untuk pengujian menggunakan sel elektrokimia, *cell stage* berfungsi untuk menggerakkan meja kerja ke arah sumbu X dan Y. Namun tidak semua fitur dalam tribometer ini yang akan kita aplikasikan kedalam proses rancang bangun

2.4. *Stainless Steel* 316L sebagai material Implant

Stainless steel 316L merupakan salah satu jenis *austenitic Stainless Steel* yang biasa digunakan pada lingkungan dengan tingkat korosi yang tinggi terutama pada lingkungan dengan yang terpapar dengan sulfur dan juga suhu tinggi. *Stainless steel* 316L atau biasa disebut juga dengan AISI 316L sesuai dengan standar ASTM F138 memiliki komposisi kimia sebagai berikut.

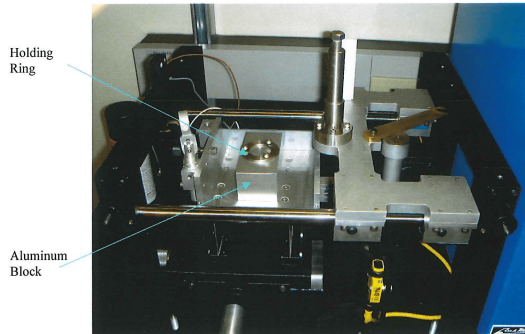
Tabel 2.3 Komposisi kimia pada baja austenik 316L dalam wt% [15]

Name	UNS Numb.	Sub Group	C	N	Cr	Ni	Mo	Other	PRE Numb.
Type 316L	S31603	A-1	0.03	0.1	17.0-19.0	12.0-14.0	2.0-3.0	-	23

Pada umumnya *stainless steel* 316L digunakan pada industri petrokimia, pabrik makanan, bahkan pada peralatan medis seperti implant pada tulang. AISI 316 dipilih dalam penggunaan implant karena sifatnya yang tahan terhadap korosi dan sudah teruji ketika dilakukan kontak langsung dengan cairan tubuh seperti darah. Harganya yang lebih terjangkau juga menjadi salah satu pertimbangan sebagai alternatif untuk penggunaan material implan berbahan dasar titanium yang relatif mahal.

2.5. Referensi dalam Pemilihan Material pada Tribometer

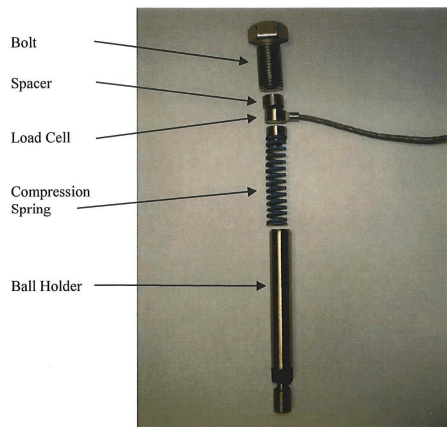
Pemilihan material dalam proses rancang bangun tribometer merupakan salah satu aspek yang penting. Dalam pemilihan material yang perlu diperhatikan adalah aspek fungsi pakai, *cost* dan juga bentuk geometri komponen.



Gambar 2.9 Komponen utama Tribometer [17].

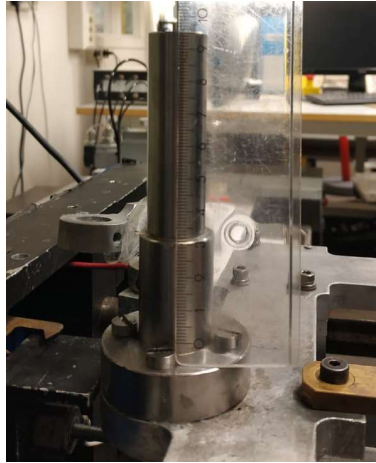
2.5.1 Stainless steel

Penggunaan material *stainless steel* dipilih dalam proses rancang bangun tribometer tipe pin on plate ini karena memiliki ketahanan terhadap korosi dan memiliki properti mekanik yang lebih tinggi dibanding dengan besi biasa.



Gambar 2.10 Bagian dalam *tribometer head* [17].

Dalam tribometer ini terdapat beberapa bagian yang harus dibuat dengan *stainless steel* antara lain Tribometer Head, baik bagian dalam dan juga bagian luar. Pemilihan bahan *stainless steel* ini bertujuan untuk menghindari terjadinya proses pembentukan karat dan juga meningkatkan umur komponen tribometer dengan perawatan seminimal mungkin.



Gambar 2.11 Bagian luar *tribometer head*

2.5.2 PP (*Polypropylene*)

Polypropylene merupakan material yang tergolong kedalam jenis material Polimer. PP tergolong kedalam kategori *thermoplastic* yang berarti dapat dilelehkan dan dibekukan berulang tanpa mengalami perubahan properti kimia dan mekanik [6]. Tujuan dari penggunaan material PP ini adalah digunakan sebagai wadah *wet wear test* karena tidak bereaksi dengan cairan kimia yang akan digunakan atau dengan kata lain tidak mengalami korosi ketika menjalankan *wet wear test*.

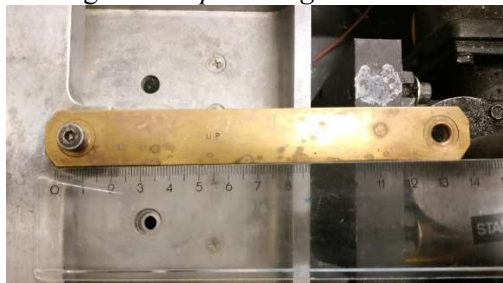


Gambar 2.12 *Wet Specimen Holder*

Komponen yang perlu dibuat menggunakan bahan PP adalah *wet specimen holder*. PP lebih cenderung untuk dipilih karena kebanyakan logam akan mengalami reaksi dengan cairan korosif pada saat proses *wet wear test*. Disamping itu proses *machining* yang diperlukan jauh lebih mudah.

2.5.3 Kuningan

Kuningan adalah logam yang terbuat dari perpaduan antara tembaga dan seng. Kuningan dipilih karena memiliki kemampuan untuk meredam getaran [11]. Getaran yang dimaksud adalah getaran minor yang dihasilkan oleh motor dan mekanisme gerak *reciprocating*.



Gambar 2.13 *Connecting Rod*

Kuningan digunakan sebagai material pada *connecting rod* yang memiliki fungsi utama sebagai lengan untuk mengubah gerakan rotasi menjadi *reciprocating*. Fungsi lainnya adalah sebagai penghubung antara motor listrik dengan *sliding system*.

2.5.4 Aluminum

Aluminum merupakan logam non-ferro. Pemilihan material aluminum bertujuan untuk mengurangi bobot alat secara keseluruhan agar jauh lebih ringan dibandingkan dengan menggunakan besi atau baja.



Gambar 2.14 *Dry specimen holder*

Pemilihan aluminum sebagai material *dry specimen holder* dilakukan bertujuan untuk mengurangi bobot alat tribometer. Selain itu dari segi ekonomis aluminum jauh lebih murah dibanding baja.

2.6 Sensor

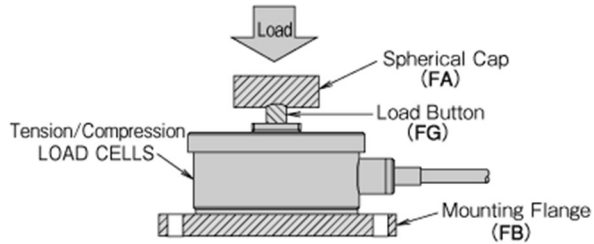
Pada dasarnya, sensor adalah alat bantu untuk mengukur perubahan yang terjadi pada suatu lingkungan [3] sebagai contoh perubahan temperatur, tekanan, dan sebagainya. Penggunaan sensor pada Tribometer bertujuan untuk membantu operator dalam memperoleh informasi yang diperlukan. Dalam kasus ini informasi yang ingin diperoleh adalah besarnya beban yang diberikan dan gaya yang dihasilkan pada saat terjadinya gesekan.



Gambar 2.15 Sensor pada tribometer resmat. Kiri: *Compression button load cell*, kanan: *Inline Tension-Compression load cell*.

2.6.1. *Compression Button Load Cell*

Compression Button Load Cell memiliki kegunaan sebagai pengukur gaya tekan atau kompresi. Gaya yang diukur merupakan gaya dengan arah tegak lurus terhadap sensor seperti pada skema berikut:



Gambar 2.16 Skema pemberian beban pada *Compression button load cell* [18].

Prinsip kerja sensor ini adalah dengan menggunakan *strain gauge* dimana gaya yang diberikan akan mengakibatkan perubahan regangan (l). Regangan yang berubah juga ikut mempengaruhi nilai resistansi pada sensor sehingga menghasilkan signal output dalam bentuk voltase atau ampere yang juga berubah-ubah mengikuti perubahan regangan hasil dari pembebanan

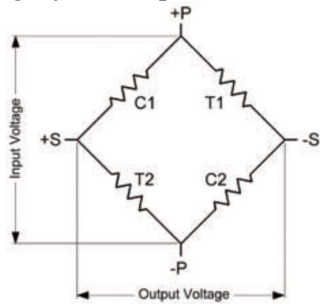


$$\text{Strain} = \frac{l}{L} = \frac{\text{deformation}}{\text{original size}}$$

Gambar 2.17 Prinsip kerja *Strain Gauge* [16].

Sensor ini menggunakan konfigurasi elektrikl menggunakan jembatan wheatstone 4 lengan. Rangkaian jembatan wheatstone berfungsi untuk mengatur besarnya sinyal output atau eksitasi yang dihasilkan oleh sensor. Lengan

rangkaian terdiri dari 2 buah terminal input dan 2 buah terminal output seperti yang dijelaskan pada tabel 2.4.



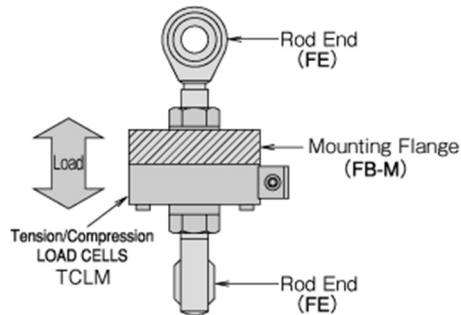
Gambar 2.18 Rangkaian *wheatstone bridge* pada *load cell*.

Tabel 2.4 Kode *wiring diagram* pada *load cell*

Pin	Description	Wire Color
A	+ Excitation (+P)	Red
B	+ Signal (+S)	Green
C	- Signal (-S)	White
D	- Excitation (-P)	Black

2.6.2. *Inline tension-compression Load Cell*

Dalam tribometer ini, sensor *inline tension-compression load cell* digunakan sebagai sensor untuk mengukur gaya gesek kinetis. Lewat gaya gesek kinetis yang didapat dari hasil pembacaan sensor, kita mampu untuk menghitung besarnya *Coefficient of Friction* (CoF). Prinsip kerja *inline tension-compression load cell* adalah dengan menggunakan *strain gauge*.



Gambar 2.19 Skema pembebanan pada *inline tension-compression load cell* [18]

Perbedaan antara *inline tension-compression load cell* dengan *Compression Button Load Cell* adalah dari arah pembebanan, dimana sensor ini dapat menerima beban berupa tension dan compression, tidak seperti button load cell yang hanya mampu menerima beban kompresi.

2.7 Specific Wear Rate

Specific wear rate merupakan laju keausan spesifik yang dimiliki oleh setiap material. Penting untuk mendapatkan nilai specific wear material agar kita dapat mengetahui kecepatan pemakanan material yang disebabkan oleh keausan. Dengan menemukan nilai specific wear rate material akan sangat membantu dalam pemilihan material sehingga kita dapat memprediksi *lifetime* suatu benda yang ingin diproduksi.

Perhitungan specific wear rate dilakukan sesuai dengan standar ASTM G99 & ASTM G133. Prinsip utama dari perhitungan ini adalah mencari volume wear. Untuk mencari volume wear kita terlebih dahulu harus mengetahui panjangnya lintasan total X dalam satuan meter yaitu:

$$X = 0.002 \times t \times f \times L \quad (2.2)$$

dimana t merupakan waktu dalam satuan sekon, f adalah frekuensi dalam Hz atau siklus/sekon, dan L adalah panjang langkah (mm). Setelah mendapatkan nilai X kita perlu mengetahui besarnya volume aus material (V) dalam satuan mm^3 . Jika yang mengalami keausan adalah bola indenter (V_P) maka persamaan yang digunakan adalah:

$$V_P = (\pi h/6)[3D^2/4 + h^2] \quad (2.3)$$

$$h = R - [R^2 - (D^2/4)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

dimana h adalah tinggi material yang terbuang (mm), D adalah diameter efektif (mm) dan R adalah besarnya jari-jari bola indenter (mm). Namun jika yang mengalami keausan adalah material uji (V_f), persamaan yang digunakan adalah:

$$V_f = A \times L \quad (2.5)$$

dengan A merupakan luas rata-rata potongan melintang lintasan aus dalam mm^2 dan L adalah panjang langkah (mm). Setelah didapatkan nilai volume aus dan pajangnya lintasan maka digunakan persamaan Archard untuk mendapatkan nilai koefisien gesek spesifik k :

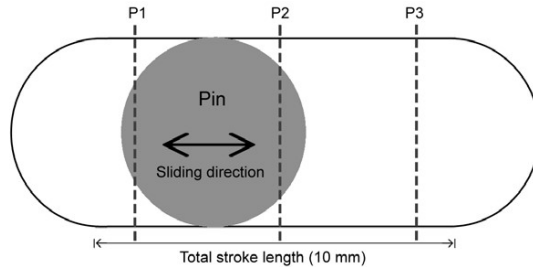
$$V = k \times F_N \times X \quad (2.6)$$

$$k = \frac{V}{F_N \times X} \quad (2.7)$$

2.8 Pengukuran *Wear Profile* dengan menggunakan Profilometer

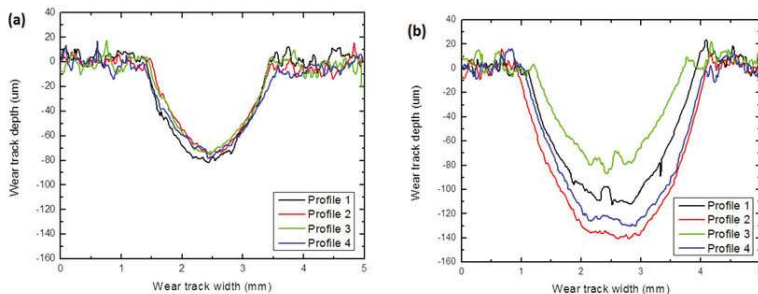
Untuk dapat menentukan nilai A yaitu luas rata-rata potongan melintang lintasan aus pada persamaan 2.6 kita perlu untuk menggunakan alat ukur mikroskopis karena bentuk potongan melintang yang dihasilkan sangat kecil. Salah satu alat ukur yang dapat digunakan adalah profilometer. Profilometer merupakan alat ukur untuk mengukur profil permukaan suatu benda. Dengan

menggunakan profilometer kita dapat mengetahui dimensi dari cerung yang dimiliki oleh material berupa lebar dan kedalaman.



Gambar 2.20 Tampak atas profil permukaan lintasan gesek [10]

Gambar 2.18 diatas menunjukkan lintasan keausan pada material. Selanjutnya akan dibagi menjadi 3 sampai 4 profil area nantinya setiap profil akan diperiksa menggunakan profilometer dan dihitung rata rata luas daerahnya



Gambar 2.21 Hasil pengujian menggunakan profilometer [10]

2.9 Coefficient of Friction (CoF)

Sebelumnya pada bagian 2.1.1 telah dibahas tentang apa itu gaya gesek dan pengertiannya. Dalam suatu persamaan gaya gesek terdapat 3 properti yaitu; gaya gesek, gaya normal dan koefisien gesek atau *coefficient of friction*. Adapun koefisien gesek adalah rasio besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan suatu

benda ketika dua buah permukaan mengalami kontak. Adapun dengan memindahkan gaya normal ke ruas kanan persamaan 2.1 kita dapat menentukan besarnya nilai CoF.

Dari persamaan 2.1 diatas maka dapat ditentukan besarnya *Coefficient of Friction* yaitu:

$$F_f = \mu_k \cdot F_N \quad (2.1)$$

$$\mu_k = \frac{F_f}{F_N} \quad (2.8)$$

2.10 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Topik rancang bangun kali ini ditujukan untuk melengkapi fasilitas pengujian *wear di* Lab. Metalurgi Teknik Mesin ITS. Oleh karena itu diperlukan bebarapa pembaharuan fitur-fitur dari alat tribometer yang sudah ada sebelumnya. Di ITS sendiri sudah pernah dibuat sebuah tribometer *sliding reciprocating* karya Abdul Goffar pada tahun 2013, namun tribometer tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan.

Pertama, pengukuran gaya normal oleh indentor hanya menggunakan pembacaan penggaris untuk mengukur besarnya deformasi (Δl) pegas, sehingga besarnya gaya normal yang diberikan berpotensi mengalami penyimpangan yang cukup besar. Oleh karena itu digunakan pembacaan secara digital menggunakan sensor dan mikrokontroler untuk meminimalisir penyimpangan yang terjadi.

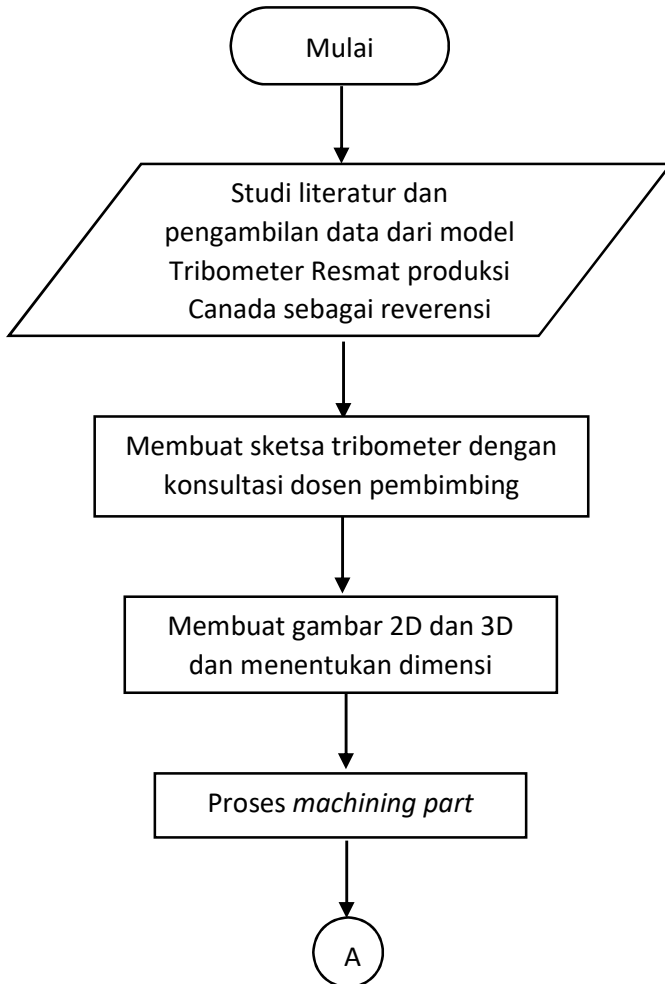
Kedua, tribometer terdahulu hanya dapat digunakan untuk pengukuran *wear* saja. Oleh karena itu dilakukan penambahan berupa pengukuran gaya gesek. Nantinya gaya gesek ini akan diolah sehingga kita dapat mengetahui besarnya nilai CoF material seiring dengan panjangnya lintasan gesek

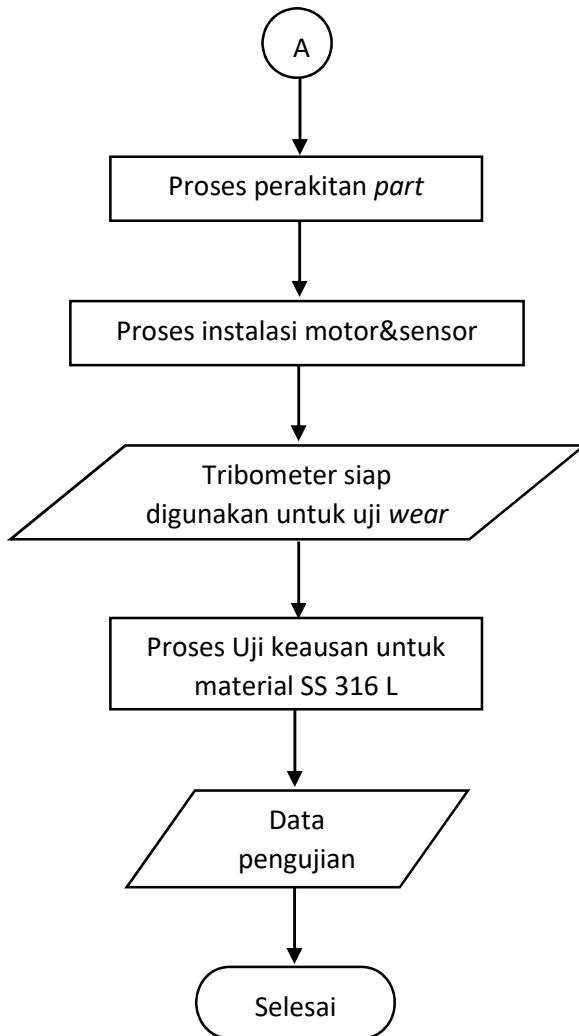
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



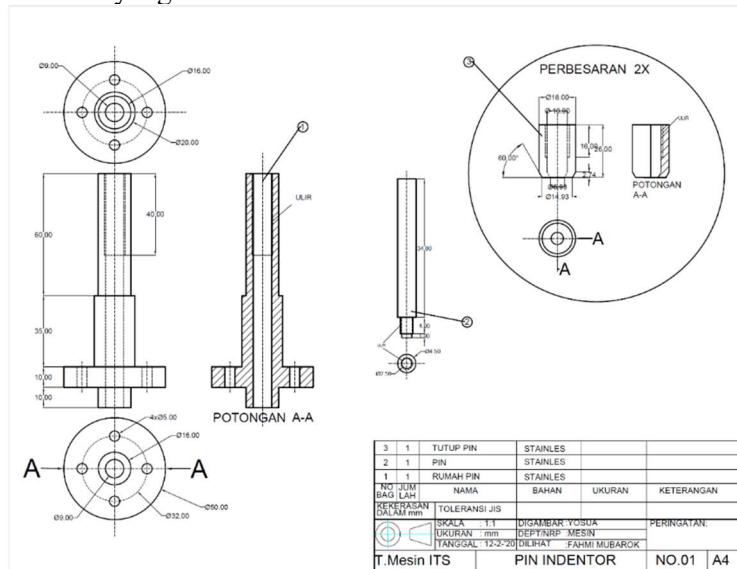


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Desain

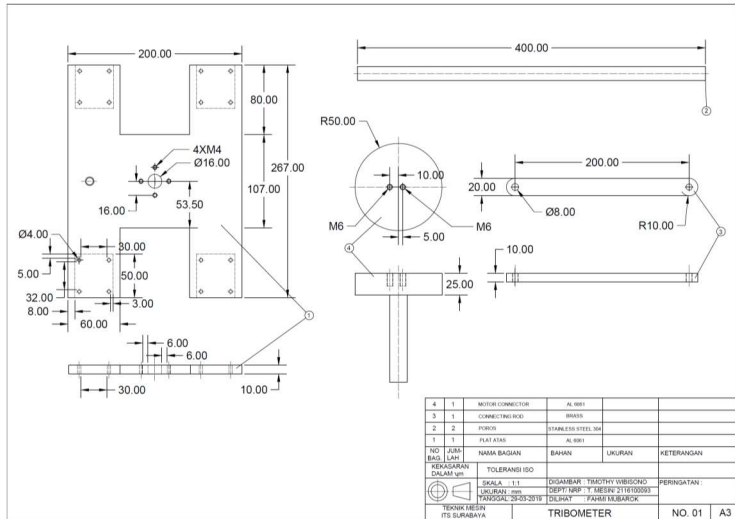
3.2.1. Kepala Tribometer

Fungsi utama dari pin adalah sebagai tempat meletakkan bola indenter. Desain dari pin ini sengaja tidak dikunci (*fixed*) sehingga jenis bola indenter dapat diganti sesuai dengan keinginan. Material bola indenter sendiri yaitu bisa menggunakan bola alumina atau stainless steel. Untuk pemilihan material pin sendiri menggunakan bahan stainless steel karena memiliki *corrosion resistance* dan properti mekanik yang baik.



Gambar 3.2 Mekanisme pin dan indenter

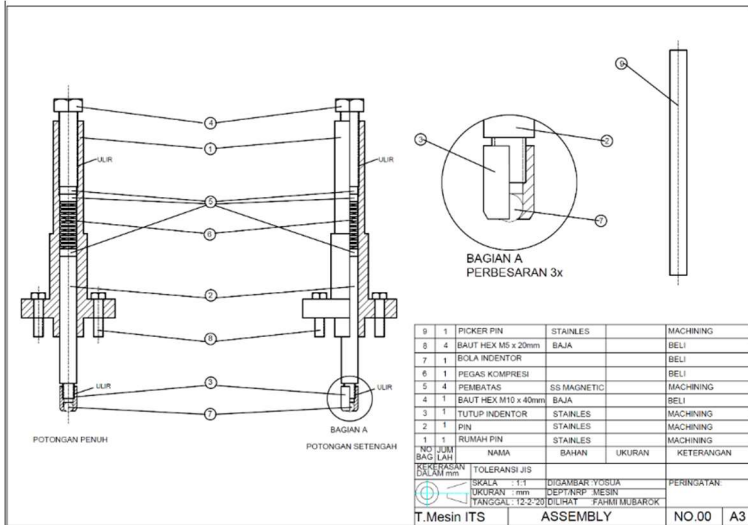
Pin juga dibuat membentuk silinder panjang yang bertujuan sebagai *guiding rod*, sehingga mata indenter dapat bergerak bebas naik turun di dalam rumah pin. Selain itu rumah



Gambar 3.3 Mekanisme *reciprocating*

3.2.3. Mekanisme Pembebanan (*Loading*)

Pembebanan dilakukan dengan menggunakan pegas kompresi. Pegas kompresi yang ditekan akan mengalami perubahan panjang ΔL dan menghasilkan gaya pegas F_k . Gaya pegas langsung diterima oleh *load cell* yang terletak dibawah pegas lalu melalui sinyal analog dikonversikan menggunakan *signal converter* sehingga menghasilkan output berupa data pada layar indikator.



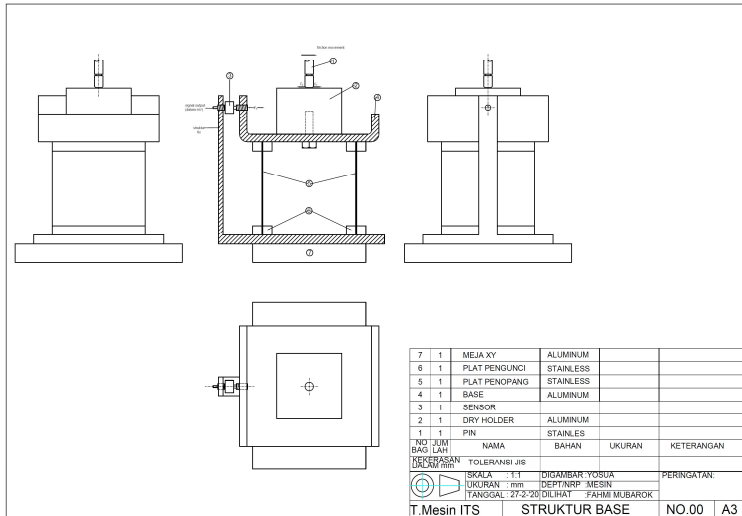
Gambar 3.4 Skema mekanisme Pembebanan

Melalui data yang ditampilkan pada layar indikator load cell, kita dapat mengetahui besarnya beban yang diberikan oleh pegas kepada spesimen. Untuk mengatur besar kecilnya gaya yang diberikan pegas kita dapat mengatur baut pada bagian atas indentor. Untuk menambah beban kita perlu untuk mengencangkan baut, sebaliknya untuk mengurangi beban kita hanya perlu untuk mengendurkan baut.

3.2.4. Pengukuran gaya gesek

Untuk dapat melakukan pengukuran gaya gesek, digunakan suatu sensor load cell yaitu *inline tension-compression load cell*. Gaya gesek yang ditimbulkan oleh gesekan antara bola indentor dengan spesimen akan menyebabkan struktur *holder* bergoyang kearah kiri dan kanan, mengikuti arah gerakan *reciprocating* tribometer. Hal ini memungkinkan karena struktur penopang sengaja dibuat

lentur yaitu dengan menggunakan 2 buah plat baja dengan ketebalan 1 mm.



Gambar 3.5 Mekanisme pengukuran gaya gesek

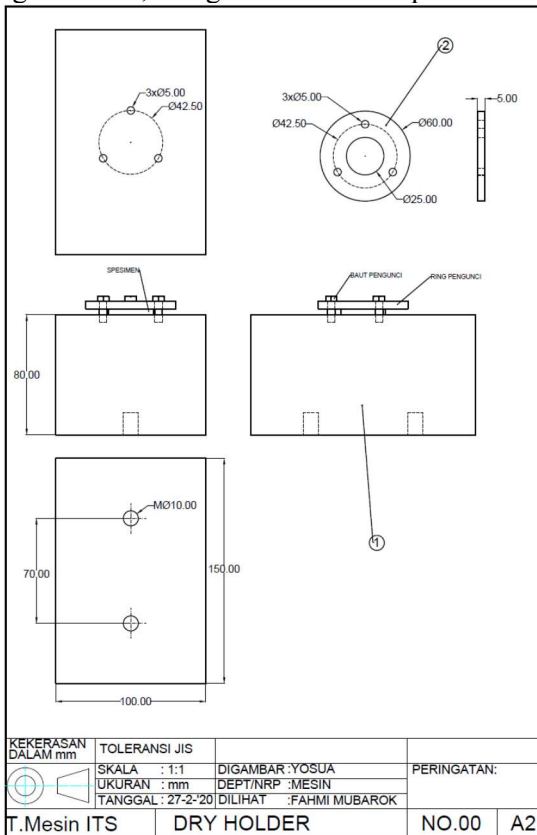
Getaran yang terjadi mengakibatkan adanya gaya kompresi dan tegangan pada sensor *tension-compression load cell*. Data berupa gaya yang tercatat akan dibaca pada indikator load cell dapat disebut dengan gaya gesek (F_f). Dengan menggunakan persamaan 2.1 mengenai gaya gesek,

$$F_f = \mu_k \cdot F_N \quad (2.1)$$

kita dapat menentukan besarnya koefisien gesek spesimen (μ_k) dengan data yang tersedia yaitu gaya gesek (F_f) yang dihasilkan oleh *tension-compression load cell* dan gaya normal (F_N) yang besarnya sama dengan gaya pegas dan diukur menggunakan *compression button load cell*

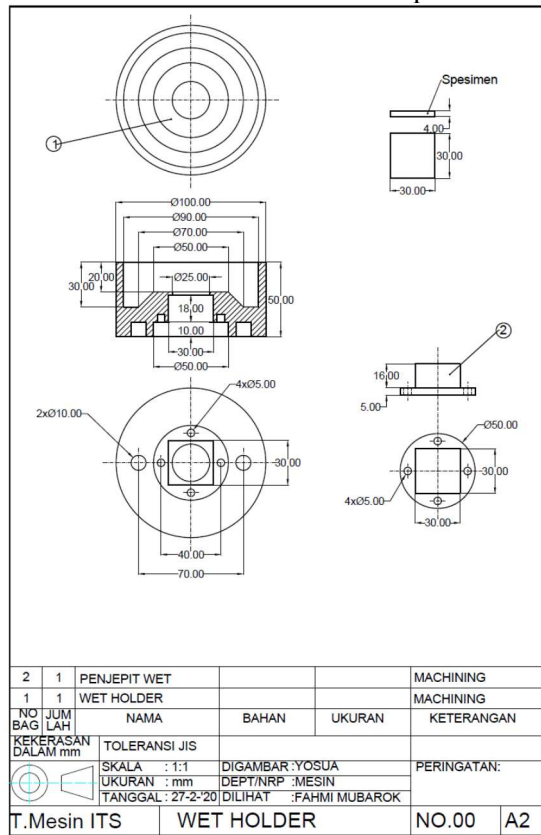
3.2.5. Wet holder dan dry holder

Untuk dapat menunjang kebutuhan pengujian yang lebih luas, kami melakukan modifikasi pada bagian *specimen holder*, sehingga memungkinkan kita untuk dapat melakukan pengujian keausan dalam kondisi kering dan juga basah atau dapat disebut dengan istilah *dry test & wet test*. Cara pengujian dari kedua jenis *holder* spesimen berbeda satu sama lain. Oleh karena itu bentuk dan bahan dari masing-masing spesimen holder juga berbeda, mengikuti kebutuhan penelitian



Gambar 3.6 mekanisme *dry specimen holder*

Pada *dry specimen holder*, material yang digunakan adalah blok aluminium jenis *Aluminum Alloy AA 7075* atau biasa disebut di pasaran dengan aluminium dural. Alasan dari pemilihan material ini adalah karena bobotnya yang ringan, dan memiliki properti mekanik yang lebih baik dari aluminium murni. Fungsi utama dari *dry specimen holder* ini berfungsi sebagai alas spesimen uji sekaligus penjepit, agar spesimen tidak bergerak saat proses pengujian *wear*. Oleh karena itu, penggunaan aluminium dirasa sudah cukup.



Gambar 3.7 *wet specimen holder*

Pada pengujian *wet test*, spesimen yang akan diuji *wear* dikondisikan dalam lingkungan yang basah. Lingkungan kerja yang basah ini dikarenakan adanya penggunaan cairan seperti pelumas, atau cairan yang bersifat korosif. Untuk memenuhi kriteria tersebut, dibutuhkan material yang ringan, tahan terhadap korosi dan memiliki struktur kokoh. Oleh karenanya *wet specimen holder* menggunakan bahan berupa PP atau disebut dengan *polypropylene*

3.3. Cara kerja alat

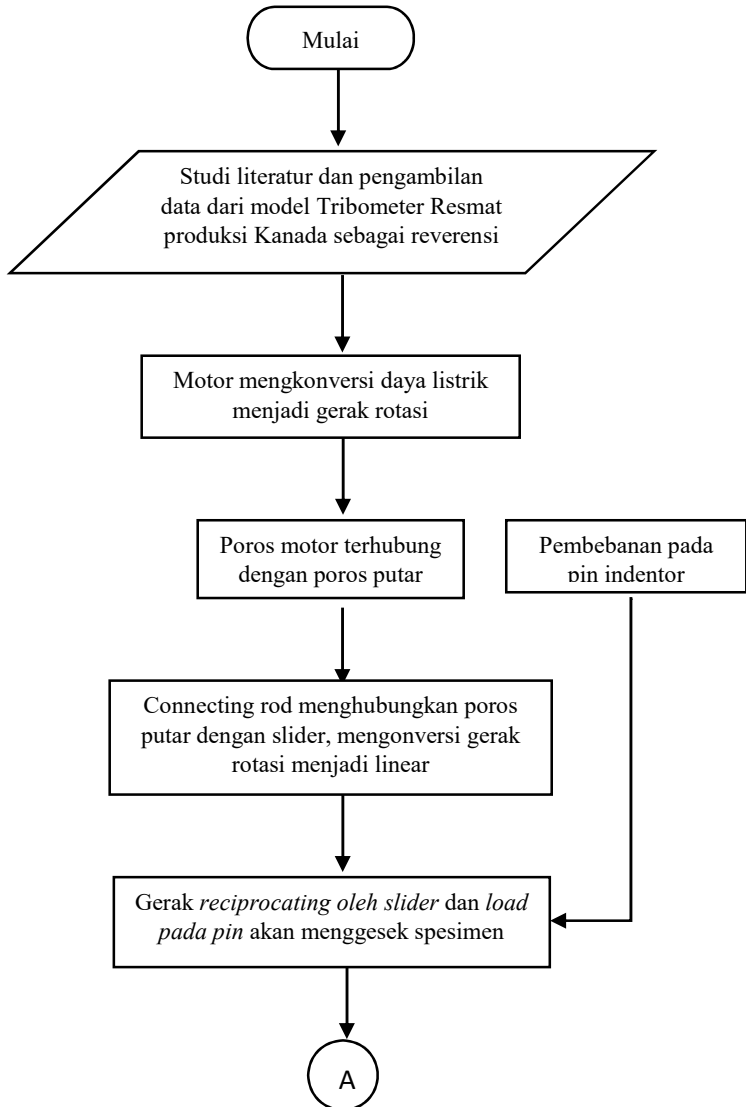
Untuk mengoperasikan alat ini, pertama-tama kita harus mengetahui cara kerja dari alat ini, yaitu sebagai berikut:

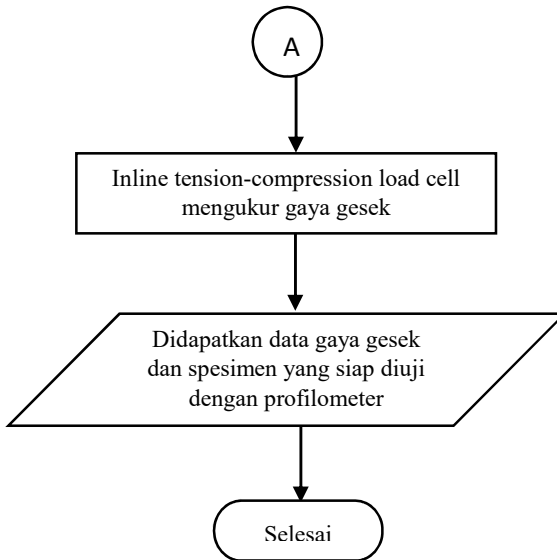
Pertama, motor yang dihubungkan dengan sumber tegangan akan mengkonversi daya listrik menjadi gerak rotasi. Selanjutnya poros motor akan dihubungkan dengan poros putar. Gerak rotasi yang dihasilkan oleh poros putar akan dikonversi menjadi gerak reciprocating oleh *connecting rod* yang terbuat dari kuningan. *Connecting rod* menggerakkan keseluruhan *slider* maju mundur sehingga pin dan indenter juga ikut bergerak maju mundur, Untuk dapat lebih memahami, perlu untuk melihat gambar 3.3

Selanjutnya pada proses pembebanan pin indenter, digunakan pegas kompresi untuk menentukan besarnya gaya yang diberikan seperti yang telah dijelaskan pada bagian 3.2.1 tentang desain pin dan 3.2.3 tentang mekanisme pembebanan. Untuk dapat mengetahui dengan jelas beban yang ingin diberikan, maka digunakan instrumen tambahan yaitu *load cell* untuk mengukur gaya kompresi pegas.

Setelah beban ditetapkan, maka spesimen yang akan diuji akan digesek menggunakan pin indenter dengan arah maju mundur secara berulang. Gerakan maju mundur ini akan menghasilkan getaran pada bagian *base* (seperti yang dijelaskan pada bagian 3.2.4) sehingga akan ditangkap oleh *inline tension-compression load cell* sebagai sinyal. Sinyal

kemudian diolah sehingga didapatkan output berupa nilai koefisien gesek spesimen uji.



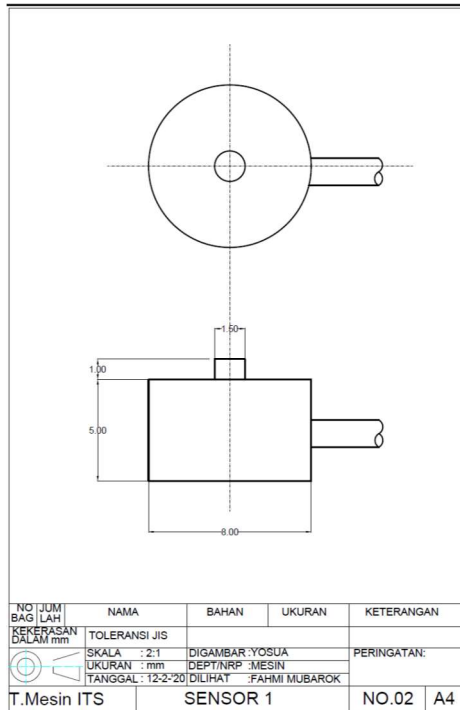


3.4. Sensor dan Serial Komunikasi

Untuk memperoleh data pengukuran yang lebih teliti dan akurat, diperlukan tambahan berupa instrumen pengukur, dalam hal ini akan digunakan perangkat sensor berjenis *load cell* yang akan terkoneksi dengan komputer. Dengan komputer, kita dapat melihat data pengukuran secara live dan melakukan *data recording* atau perekaman data selama simulasi berlangsung

3.4.1. *Miniature button load cell*

GML663 *Miniature Button Type Round load Cell* merupakan sensor load cell yang diproduksi oleh Galoce, China dengan prinsip kerja strain gauge. Berikut adalah data berupa dimensi dan spesifikasi sensor GML663.



Gambar 3.8 dimensi *load cell* GML663



Gambar 3.9 *Load Cell* GML663

Tabel 3.1 Spesifikasi load Cell GML663

Rated Capacity	30 & 50N
Comprehensive error	$\leq \pm 1\%$
Rated output	$1.0 \pm 10\% \text{mV/V}$
Zero balance	$\pm 2.0 \text{F.S}$
Non-linearity	1%
Creep	$\pm 0.5\% \text{F.S}/30\text{min}$
Input Resistance	$385 \pm 5\Omega$
Output resistance	$385 \pm 5\Omega$
Excitation voltage	5~10V
safe Overload	150%F.S
Ultimate overload	200%F.S
Defend grade	IP66

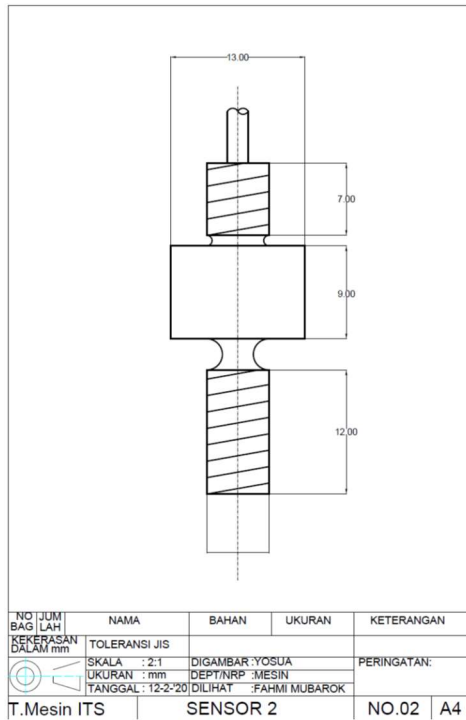
Load cell ini akan di letakkan di bagian dalam kepala tribometer dan akan diapit oleh dua buah *spacer*. Letak sensor dapat dilihat pada gambar 3.2

3.4.2. *Inline tension-compression load cell*

GML668D *Miniature tension-compression in-line load cell* yang di produksi oleh Galoce, China juga merupakan sensor load cell dengan prinsip kerja strain gauge. Sensor diletakkan di antara struktur fix dan juga *base holder*. Informasi lainnya mengenai dimensi dan spesifikasi dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut:



Gambar 3.10 Sensor GML668D



Gambar 3.11 Dimensi sensor GML668D

Tabel 3.2 Spesifikasi load Cell GML668D

Rated Capacity	50N
Comprehensive error	$\leq \pm 0.5\%$
Rated output	$2.0 \pm 20\% \text{mV/V}$
Zero balance	$\pm 0.05 \text{F.S}$
Non-linearity	0.50%
Creep	$\pm 0.5\% \text{F.S}/30\text{min}$
Input Resistance	$800 \pm 10\Omega$
Output resistance	$800 \pm 10\Omega$
Excitation voltage	5~10V
safe Overload	150%F.S
Ultimate overload	200%F.S
Defend grade	IP66

3.4.3. Indicator & Controller

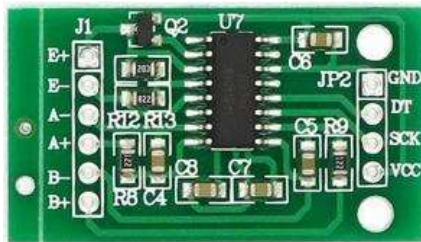
Untuk dapat melakukan pembacaan data pada sensor baik secara analog maupun digital, digunakan modul mikrokontroler berjenis Arduino Uno R3. Modul ini nantinya akan dikoneksikan dengan LCD keypad 16x02 sebagai *interface* dan disambungkan dengan *load cell*.

**Gambar 3.12** Modul Arduino R3



Gambar 3.13 LCD keypad 16x2

Awalnya, *load cell* dihubungkan dengan *Analog to digital Converter* (ADC) HX711. Tujuannya adalah mengkonversi signal analog menjadi digital agar dapat dikenali dan dibaca oleh modul arduino, signal analog dalam satuan mV/V dikonversi menjadi signal digital dalam sistem biner yaitu menggunakan notasi 1 dan 0 sebagai bahasa pemrograman.



Gambar 3.14 ADC HX711

Selanjutnya besarnya perubahan signal digital akan dikuantifikasi dalam n-bit dan dibaca oleh modul arduino dalam satuan ADC.

Dengan menggunakan kode pemrograman, selanjutnya data ADC akan dikonversikan melalui program yang sudah dibuat sehingga dapat dibaca dalam satuan Newton ataupun Kilogram. Data kemudian direkam dalam data logger, kemudian disimpan dalam format txt. ke dalam sd card melalui modul *Arduino sd card data reader and writer*.



Gambar 3.15 Modul sd card reader&writer

Data yang telah direkam dalam file txt. yang terdapat di dalam sd card kemudian siap untuk dipindahkan ke komputer untuk selanjutnya dapat di plot menjadi grafik dan diolah menjadi CoF. Adapun data yang direkam menggunakan modul arduino adalah besarnya gaya normal yang diberikan oleh pin dan juga besarnya nilai gaya gesek yang dihasilkan oleh gesekan antara pin dan spesimen.

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Hasil Rancang Bangun Tribometer

Adapun hasil dari tugas akhir ini adalah terciptanya satu unit *reciprcating sliding tribometer* dengan spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4.1 Hasil akhir rancang bangun Tribometer

4.1.1 Spesifikasi alat

Adapun spesifikasi tribometer yang telah dirancang bangun adalah sebagai berikut:

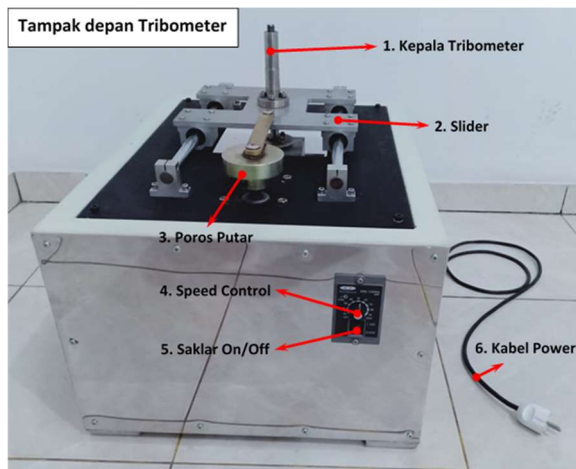
Tabel 4.1 Tabel Spesifikasi Alat

Dimensi Tribometer (p x l x t)	70cm x 56cm x 42cm
Jenis Tribometer	Linear Reciprocating
Tipe motor	Peei Moger M-51K90U-CFV
Tegangan motor	220V
Output motor	90W
Gear Ratio	1:10

Max rpm output	180 rpm
Max. Allow Torque	27 kgfcm
Pengujian	Dry & wet test
Panjang langkah	5mm & 10mm
Dimensi Spesimen (p x l x t)	30mm x 30mm x 4mm
Gaya normal maksimum	50N
Port Komunikasi	Modbus R485

4.1.2 Komponen pada alat

Berikut merupakan pengenalan bagian komponen tribometer yang bertujuan agar pengguna dapat memahami nama-nama dan kegunaan komponen secara umum.

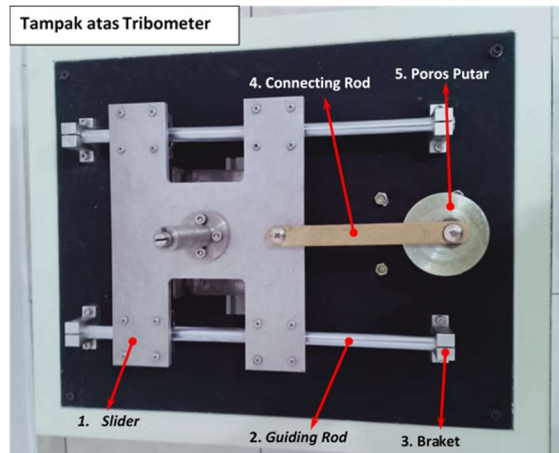


Gambar 4. 2 Tampak depan Tribometer

Keterangan:

1. **Kepala Tribometer:** Berfungsi untuk memberi beban pada spesimen

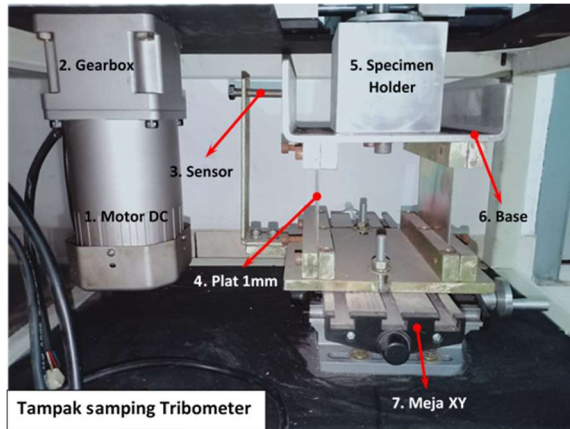
2. **Slider:** menggerakkan kepala tribometer secara linear
3. **Poros Putar:** meneruskan putaran dari motor menuju *connecting rod*
4. **Speed Control:** mengatur kecepatan motor mulai dari 10 sampai 100
5. **Saklar:** untuk menghidupkan dan meatikan motor
6. **Kabel Power**



Gambar 4.3 Tampak atas tribometer

Keterangan:

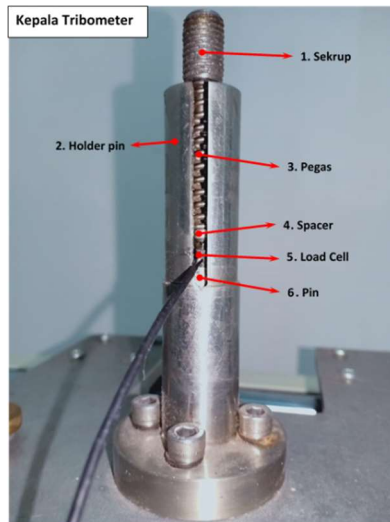
1. **Slider:** menggerakkan kepala tribometer secara linear
2. **Guiding rod:** mengatur gerakan *slider*
3. **Braket:** sebagai tumpuan *guiding rod*
4. **Connecting rod:** menghubungkan poros putar dengan *slider*
5. **Poros Putar:** meneruskan putaran dari motor menuju *connecting rod*



Gambar 4.4 Tampak samping tribometer

Keterangan:

1. **Motor DC**
2. **Gearbox:** menyesuaikan RPM
3. **Load Cell:** tipe GML668D untuk mengukur gaya gesek
4. **Plat baja 1mm:** untuk menopang struktur base
5. **Specimen Holder:** untuk meletakkan dan mengunci spesimen uji
6. **Base:** tempat meletakkan *specimen holder*
7. **Meja XY:** menggeser spesimen



Gambar 4.5 Kepala Tribometer

Keterangan:

1. **Sekrup:** menekan pegas
2. **Holder Pin:** sebagai struktur penopang
3. **Pegas:** memberikan gaya normal pada load cell
4. **Spacer:** pembatas antara pegas dan load cell
5. **Load Cell:** tipe GML 663 30N untuk mengukur gaya normal
6. **Pin**



Gambar 4.6 Pin Indentor

Keterangan:

1. **Badan Pin**
2. **Tutup Pin:** untuk mengunci bola indentor
3. **Bola Indentor:** untuk menggesek spesimen

4.2 Pengukuran dan Uji Akurasi

Proses pengukuran dan uji akurasi sangat penting dilakukan pada tribometer karena akan menentukan ketepatan dan keakuratan hasil pengujian *wear test*. Adapun pengukuran dan uji akurasi yang dilakukan pada tribometer ini adalah:

4.2.1 Uji Akurasi dan Presisi *Load Cell*

Sebelum dapat digunakan, perlu dilakukan uji akurasi pada *load cell* terlebih dahulu guna memastikan apakah data yang tertera pada pembacaan *load cell* sudah sesuai dengan nilai rill yang sebenarnya. Sebagai contoh jika diberikan gaya tekan pada *load cell* sebesar 10 N, maka indikator pada *load cell* juga harus menunjukkan angka 10 N atau mendekati. Oleh

karena itu digunakan metode pengujian berupa pemberian beban mati (*dead weight*) pada *load cell* dan membandingkan apakah beban yang diberikan sudah sesuai dengan yang ditunjukkan pada indikator & kontroler Arduino UNO R3

Langkah awal yang dilakukan adalah mengukur masa pembeban yang hendak diberikan menggunakan timbangan digital. Seperti terlihat pada gambar 4.7 dimana beban mati yang akan diberikan diukur terlebih dahulu



Gambar 4.7 Proses penimbangan beban mati 0.5 kg dan 1.0 kg

Dari hasil pengukuran, diketahui bahwa beban mati yang akan diberikan memiliki masa sebesar 500 gram dan 1000 gram. Selanjutnya sensor akan kita berikan beban sebesar 0.5kg, 1kg, dan 1,5kg. Untuk setiap referensi beban diambil data sebanyak lima kali ($n=5$)



Gambar 4.8 Hasil pengukuran ke-1 dengan beban 1kg pada indikator Arduino

Setelah dilakukan pengambilan data total sebanyak 15 kali, didapatkan hasil pengukuran pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran *compression load cell* GML663-30N

Beban (Kg)	No.	Hasil Pengukuran (kg)
0.5	1	0.49
	2	0.487
	3	0.507
	4	0.511
	5	0.503
1	1	1.05
	2	1.002
	3	0.997
	4	1.021
	5	0.997
1.5	1	1.516
	2	1.489
	3	1.521
	4	1.517
	5	1.496

Setelah melakukan pengukuran, selanjutnya perlu dilakukan perhitungan untuk dapat menentukan apakah sensor *compression load cell* memiliki akurasi dan presisi yang baik. Untuk itu dilakukan perhitungan sebagai berikut

Perhitungan Rata-rata:

Sebagai contoh perhitungan digunakan data pada variabel beban 0.5 kg yaitu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0.490 + 0.487 + 0.507 + 0.511 + 0.503}{5}$$

$$\bar{x} = 0.4996$$

Perhitungan % Error

$$\%error = \frac{\text{nilai referensi} - \text{nilai pengukuran}}{\text{nilai referensi}} \times 100$$

$$\%error = \frac{0.5 - 0.49}{0.5} \times 100$$

$$\%error = 2\%$$

Deviasi:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + (x_4 - \bar{x})^2 + (x_5 - \bar{x})^2}{n}}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{(0.49 - 0.4996)^2 + (0.487 - 0.4996)^2 + (0.507 - 0.4996)^2 + (0.511 - 0.4996)^2 + (0.503 - 0.4996)^2}{5}}$$

$$s = \pm 0.009$$

Standar Deviasi Relatif (%):

$$\text{std. deviasi relatif (\%)} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

$$\text{std. deviasi relatif (\%)} = \frac{0.009}{0.4996} \times 100$$

$$\text{std. deviasi relatif (\%)} = 1.893$$

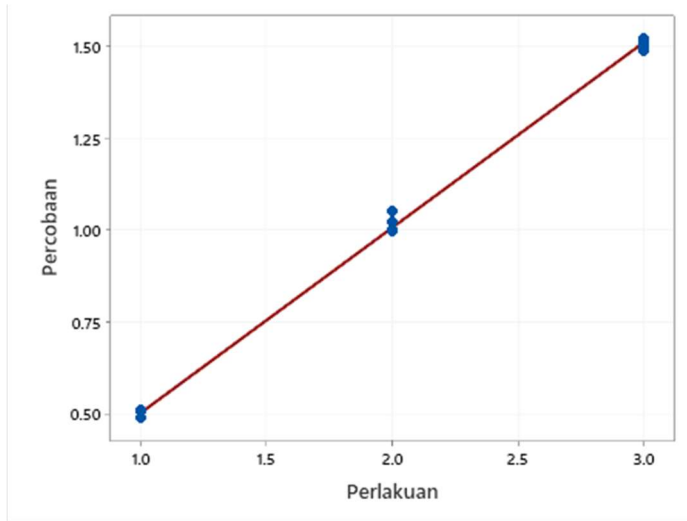
Tabel 4.3 Hasil perhitungan compression load cell GML663-30N

Beban (Kg)	No.	Hasil Pengukuran (kg)	Rata-rata (kg)	Error	Error(%)	Error rata-rata (%)	Deviasi	Std. Deviasi Relatif (%)
0.5	1	0.49	0.4996	0.01	2	1.76	0.009	1.893
	2	0.487		0.013	2.6			
	3	0.507		0.007	1.4			
	4	0.511		0.011	2.2			
	5	0.503		0.003	0.6			
1	1	1.05	1.0134	0.05	5	1.58	0.020	2.005
	2	1.002		0.002	0.2			
	3	0.997		0.003	0.3			
	4	1.021		0.021	2.1			
	5	0.997		0.003	0.3			
1.5	1	1.516	1.5078	0.016	1.067	0.92	0.013	0.849
	2	1.489		0.011	0.733			
	3	1.521		0.021	1.4			
	4	1.517		0.017	1.133			
	5	1.496		0.004	0.267			

Dari hasil perhitungan akhirnya didapatkan data seperti tertulis pada tabel 4.3. Dari tabel 4.3 diatas, dapat dilihat bahwa untuk pengukuran dengan menggunakan beban bermassa 0.5kg didapatkan error sebesar 1.76%, untuk beban 1 kg sebesar 1.58%, dan untuk beban 1.5 kg sebesar 0.92%. Dari hasil perhitungan error ini, dapat disimpulkan bahwa error yang dimiliki sensor cukup kecil yaitu dibawah 5% sehingga dapat dikatakan bahwa sensor uji tekan GML 663-30N memiliki nilai yang akurat. Adapun error yang terjadi disebabkan karena adanya kesalahan sistematis yaitu diameter load cell yang lebih kecil dibandingkan dengan kepala tribometer, sehingga load cell sering bergerak saat diberikan beban.

Selanjutnya dari sisi nilai deviasi relatif didapatkan hasil perhitungan yaitu, untuk beban 0.5 kg sebesar 1.893%, untuk beban 1 kg sebesar 2.005%, dan untuk beban sebesar 1.5 kg sebesar 0.849%. Dari hasil perhitungan standar deviasi ini dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih tergolong kecil yaitu dibawah 5% sehingga dapat dikatakan

bahwa sensor GML 663-30N masih presisi. Adapun deviasi yang terjadi disebabkan karena kesalahan sistematis yaitu, pembebanan yang kurang stabil, sehingga beban masih dapat bergeser saat diletakkan diatas *load cell*.



Gambar 4.9 Grafik persebaran data hasil pengukuran

Grafik 4.9 menunjukkan pola persebaran data hasil pengukuran. Dari hasil pengukuran tiga titik, terlihat bahwa garis yang ditarik membentuk garis linear. Hal ini berarti sensor masih memiliki nilai linearitas yang baik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kalibrasi yang dilakukan oleh pihak manufaktur sudah tepat, dan hasilnya dapat dipercaya.

4.2.2 Pengukuran Kecepatan Motor

Pengukuran dilakukan untuk menentukan secara tepat jumlah putaran motor per menit (rpm). Dengan mengetahui rpm kita dapat menentukan kecepatan linear plat. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *digital tachometer* tipe DEKKO 2234L dengan spesifikasi:

Display	: 5 digits LCD
Test Range	: 2.5 - 999.9 rpm
Accuracy	: 0.05% + 1 digit
Detecting distance	: 50 to 250 mm



Gambar 4.10 Tachometer digital DEKKO 2234L

Pengukuran dilakukan pada variabel kecepatan 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, & 100 dalam persen (%) pada *variable speed controler*. Data berupa rpm kemudian dikonversi menjadi kecepatan linear atau *reciprocating sliding* dengan dikalikan jarak $2r$ sesuai ilustrasi pada gambar 3.3 yaitu r : 5mm atau r : 10mm. Data diukur masing masing sebanyak 5 kali ($n = 5$) kemudian dilakukan perhitungan *root mean square*, penyimpangan rata-rata dan juga kesalahan relative sebagai berikut:

Perhitungan RMS:

Sebagai contoh perhitungan digunakan data pada variabel kecepatan 10 yaitu:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum(x_i)^2}{n}}$$

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2)}{n}}$$

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{(9.5^2 + 9.3^2 + 9.5^2 + 9.6^2 + 9.8^2)}{5}}$$

$$x_{RMS} = 9.541$$

Perhitungan Penyipangan Rata-rata:

$$\bar{x} = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_t)^2}{n}}$$

$$\bar{x} = \pm \sqrt{\frac{(x_1 - x_t)^2 + (x_2 - x_t)^2 + (x_3 - x_t)^2 + (x_4 - x_t)^2 + (x_5 - x_t)^2}{n}}$$

$$\bar{x} = \pm \sqrt{\frac{(9.5 - 9.54)^2 + (9.3 - 9.54)^2 + (9.5 - 9.54)^2 + (9.6 - 9.54)^2 + (9.8 - 9.54)^2}{5}}$$

$$\bar{x} = \pm 0.162$$

Kesalahan Relatif:

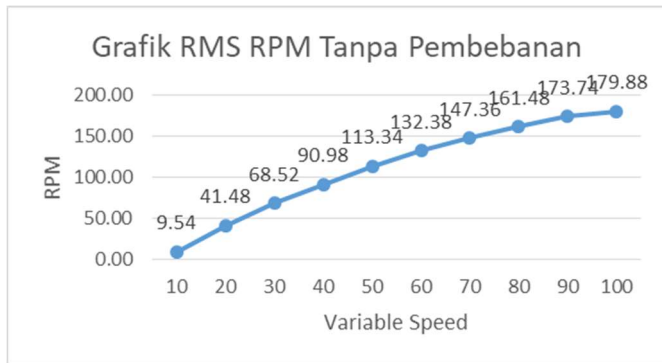
$$\delta = \left| \frac{\bar{x}}{x_{RMS}} \right| \times 100\%$$

$$\delta = \left| \frac{0.162}{9.541} \right| \times 100\%$$

$$\delta = 1.703\%$$

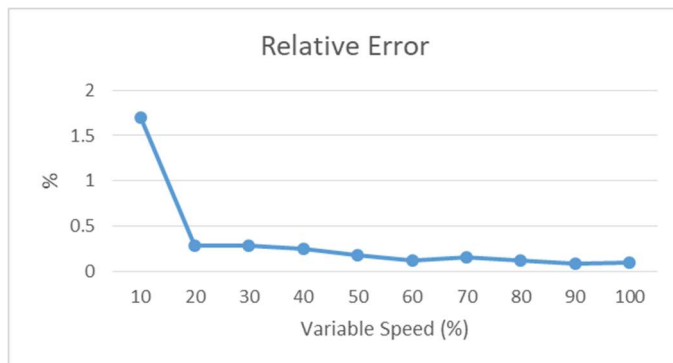
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tanpa pembebanan

Variabel Speed Control	No.	Kecepatan Putar (rpm)	Root Mean Square (rpm)	Penyimpangan rata-rata (rpm)	Relative Error (%)
10	1	9.5	9.541	0.162	1.703
	2	9.3			
	3	9.5			
	4	9.6			
	5	9.8			
20	1	41.5	41.480	0.117	0.281
	2	41.3			
	3	41.6			
	4	41.6			
	5	41.4			
30	1	68.5	68.520	0.194	0.283
	2	68.2			
	3	68.5			
	4	68.8			
	5	68.6			
40	1	90.9	90.980	0.223	0.245
	2	91.2			
	3	91			
	4	91.2			
	5	90.6			
50	1	113.4	113.340	0.196	0.173
	2	113			
	3	113.4			
	4	113.6			
	5	113.3			
60	1	132.2	132.380	0.160	0.121
	2	132.5			
	3	132.6			
	4	132.2			
	5	132.4			
70	1	147.2	147.360	0.233	0.158
	2	147.2			
	3	147.8			
	4	147.2			
	5	147.4			
80	1	161.8	161.480	0.183	0.114
	2	161.3			
	3	161.3			
	4	161.5			
	5	161.5			
90	1	173.6	173.740	0.150	0.086
	2	173.6			
	3	173.8			
	4	173.7			
	5	174			
100	1	179.6	179.880	0.172	0.096
	2	180			
	3	179.9			
	4	179.8			
	5	180.1			



Gambar 4.11 Grafik *root mean square* RPM tanpa pembebanan

Gambar 4.2 di atas menunjukkan grafik nilai rata-rata (RMS) dari rpm yang tidak diberikan pembebanan. Dapat dilihat bahwa pada pengaturan kecepatan motor 10% nilai yang didapatkan adalah 9.54 rpm kemudian mengalami lonjakan cukup tinggi pada kecepatan motor 20 yaitu menjadi 41.48 rpm dan pada kecepatan selanjutnya peningkatan yang terjadi cukup stabil dengan nilai maksimum 179.88 rpm pada kecepatan motor 100.



Gambar 4.12 Grafik kesalahan relatif tanpa pembebanan

Berdasarkan gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa nilai kesalahan relatif yang didapatkan dari perhitungan masing-masing data sebanyak 5 kali pengulangan ($n = 5$) memiliki nilai yang sangat kecil yaitu dibawah 1% namun pada kecepatan motor 10 terdapat kesalahan relatif yang lebih besar dibanding dengan nilai lainnya yaitu 1.703%. Kesalahan relatif ini disebabkan oleh kemampuan motor menjaga kestabilan putaran pada kecepatan awal yang sangat rendah. Dikarenakan pada variabel kecepatan 10 motor memiliki beban yang lebih berat untuk berputar di awal. Seiring dengan meningkatnya rpm motor maka nilainya akan semakin stabil dan nilai kesalahan relatif semakin lebih kecil.

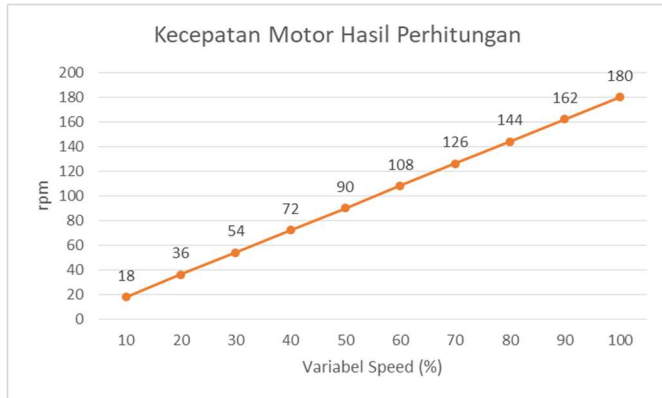
4.2.3 Hasil perhitungan kecepatan motor dan Perbandingan

Selain itu perlu bagi kita untuk melakukan perhitungan terhadap kecepatan motor menggunakan *variable speed* yang sudah ada yakni 10 sampai dengan 100% Jika diketahui bahwa kecepatan maksimum motor adalah 180 rpm maka diperoleh data hasil perhitungan sebagai berikut

Tabel 4.5 Tabel hasil

Variabel Speed Control (%)	Hasil Perhitungan (rpm)
10	18
20	36
30	54
40	72
50	90
60	108
70	126
80	144
90	162
100	180

Adapun kecepatan motor dari hasil perhitungan memiliki nilai yang linear seperti terlihat pada grafik 4.12 berikut.



Gambar 4.13 Grafik hasil perhitungan kecepatan putar motor

Dari grafik 4.12 di atas terlihat bahwa nilai rpm motor sebanding dengan besarnya kecepatan variabel speed motor, dimana setiap sepuluh persen kenaikan pada *variable speed control* akan disertai juga dengan kenaikan putaran mesin sebesar 18 rpm

Kemudian hasil dari pengukuran pada bagian 4.2.2. dan hasil perhitungan dibandingkan dan dirangkum dalam tabel 4.6 dibawah

Tabel 4.6 Perbandingan antara kecepatan motor hasil pengukuran dan hasil perhitungan

Variabel Speed Control (%)	Hasil Pengukuran (rpm)	Hasil Perhitungan (rpm)
10	9.54	18
20	41.48	36
30	68.52	54
40	90.98	72
50	113.34	90
60	132.38	108
70	147.36	126
80	161.48	144
90	173.74	162
100	179.88	180



Gambar 4.14 Grafik hasil perbandingan kecepatan motor perhitungan dan pengukuran

Dari grafik 4.13 di atas dapat dilihat perbandingan antara kecepatan motor hasil pengukuran dan juga kecepatan putar motor dari hasil perhitungan. Setelah dibandingkan, tampak bahwa hasil pengukuran memiliki nilai yang berbeda dengan

hasil perhitungan. Grafik data hasil perhitungan menunjukkan nilai yang membentuk garis linear, sedangkan grafik hasil pengukuran cenderung membentuk kurva

4.2.4 Uji Perlambatan Akibat *Load* dari Pin

Perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh pembebanan yang diberikan oleh pin terhadap kecepatan putar dari putaran motor. Dengan adanya pengujian ini maka kita dapat mengetahui apakah pembebanan berpengaruh signifikan pada perlambatan motor.

Oleh karena itu dilakukan pengukuran rpm menggunakan tachometer digital seperti metode 4.2.2 diatas dengan penambahan pembebanan sebesar 10N, 20N, dan 30N dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil pengukuran dengan pembebanan 10N

Variabel Speed Control	No.	Kecepatan Putar (rpm)	Root Mean Square (rpm)	Penyimpangan rata-rata (rpm)	Relative Error (%)
10	1	9.1	9.101	0.141	1.554
	2	9.3			
	3	8.9			
	4	9			
	5	9.2			
20	1	41.2	41.280	0.098	0.237
	2	41.4			
	3	41.2			
	4	41.2			
	5	41.4			
30	1	68	68.240	0.150	0.219
	2	68.2			
	3	68.2			
	4	68.4			
	5	68.4			
40	1	91	91.000	0.141	0.155
	2	91.2			
	3	90.8			
	4	90.9			
	5	91.1			
50	1	113.3	113.260	0.150	0.132
	2	113			
	3	113.4			
	4	113.4			
	5	113.2			

60	1	132	132.160	0.233	0.176
	2	132			
	3	132.6			
	4	132			
	5	132.2			
70	1	147.3	147.280	0.160	0.109
	2	147.3			
	3	147			
	4	147.3			
	5	147.5			
80	1	161.6	161.500	0.167	0.104
	2	161.6			
	3	161.7			
	4	161.3			
	5	161.3			
90	1	173.4	173.620	0.133	0.076
	2	173.6			
	3	173.6			
	4	173.7			
	5	173.8			
100	1	179.7	179.840	0.080	0.044
	2	179.8			
	3	179.9			
	4	179.9			
	5	179.9			

Tabel 4.8 Hasil pengukuran dengan pembebanan 20N

Variabel Speed Control	No.	Kecapatan Putar (rpm)	Root Mean Square (rpm)	Penyimpangan rata-rata (rpm)	Relative Error (%)
10	1	9.1	9.101	0.141	1.554
	2	9.3			
	3	8.9			
	4	9			
	5	9.2			
20	1	41.2	41.280	0.098	0.237
	2	41.4			
	3	41.2			
	4	41.2			
	5	41.4			
30	1	68	68.240	0.150	0.219
	2	68.2			
	3	68.2			
	4	68.4			
	5	68.4			
40	1	91	91.000	0.141	0.155
	2	91.2			
	3	90.8			
	4	90.9			
	5	91.1			
50	1	113.3	113.260	0.150	0.132
	2	113			
	3	113.4			
	4	113.4			
	5	113.2			

50	1	113.3	113.260	0.150	0.132
	2	113			
	3	113.4			
	4	113.4			
	5	113.2			
60	1	132	132.160	0.233	0.176
	2	132			
	3	132.6			
	4	132			
	5	132.2			
70	1	147.3	147.280	0.160	0.109
	2	147.3			
	3	147			
	4	147.3			
	5	147.5			
80	1	161.6	161.500	0.167	0.104
	2	161.6			
	3	161.7			
	4	161.3			
	5	161.3			
90	1	173.4	173.620	0.133	0.076
	2	173.6			
	3	173.6			
	4	173.7			
	5	173.8			
100	1	179.7	179.840	0.080	0.044
	2	179.8			
	3	179.9			
	4	179.9			
	5	179.9			

Tabel 4.9 Hasil pengukuran dengan pembebanan 30N

Variabel Speed Control	No.	Kecepatan Putar (rpm)	Root Mean Square (rpm)	Penyimpangan rata-rata (rpm)	Relative Error (%)
10	1	8.9	9.081	0.098	1.079
	2	9.1			
	3	9.2			
	4	9.1			
	5	9.1			
20	1	41.4	41.280	0.075	0.181
	2	41.3			
	3	41.2			
	4	41.3			
	5	41.2			
30	1	68.3	68.220	0.075	0.110
	2	68.2			
	3	68.2			
	4	68.1			
	5	68.3			

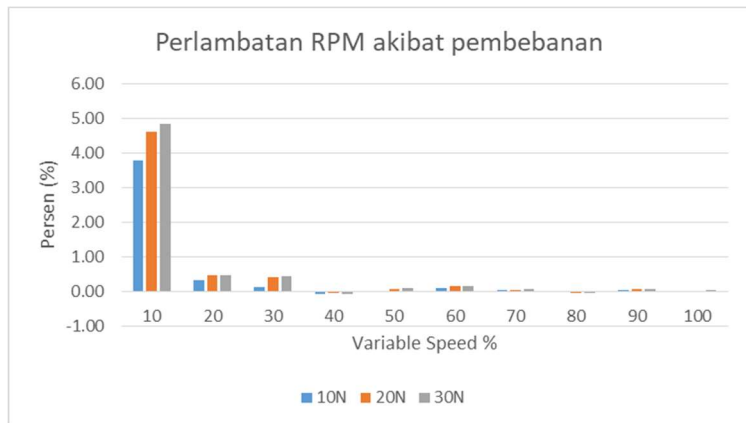
40	1	90.8	91.040	0.162	0.178
	2	91.2			
	3	91.2			
	4	90.9			
	5	91.1			
50	1	113.3	113.220	0.117	0.103
	2	113.3			
	3	113			
	4	113.2			
	5	113.3			
60	1	131.8	132.160	0.233	0.176
	2	132.2			
	3	132			
	4	132.4			
	5	132.4			
70	1	147	147.240	0.136	0.092
	2	147.3			
	3	147.2			
	4	147.4			
	5	147.3			
80	1	161.2	161.540	0.185	0.115
	2	161.6			
	3	161.7			
	4	161.7			
	5	161.5			
90	1	173.4	173.600	0.167	0.096
	2	173.4			
	3	173.7			
	4	173.7			
	5	173.8			
100	1	180	179.800	0.126	0.070
	2	179.8			
	3	179.8			
	4	179.8			
	5	179.6			

Tabel 4.10 Perbandingan besarnya perlambatan akibat pembebanan

Variabel Speed Control	Tanpa pembebanan	Beban 10N		Beban 20N		Beban 30N	
		RMS (rpm)	Persen pengurangan (%)	RMS (rpm)	Persen pengurangan (%)	RMS (rpm)	Persen pengurangan (%)
10	9.54	9.18	3.78	9.10	4.61	9.08	4.83
20	41.48	41.34	0.34	41.28	0.48	41.28	0.48
30	68.52	68.42	0.15	68.24	0.41	68.22	0.44
40	90.98	91.04	-0.07	91.00	-0.02	91.04	-0.07
50	113.34	113.34	0.00	113.26	0.07	113.22	0.11
60	132.38	132.24	0.11	132.16	0.17	132.16	0.17
70	147.36	147.28	0.05	147.28	0.05	147.24	0.08
80	161.48	161.46	0.01	161.50	-0.01	161.54	-0.04
90	173.74	173.68	0.03	173.62	0.07	173.60	0.08
100	179.88	179.88	0.00	179.84	0.02	179.80	0.04

Tabel 4.11 Nilai rata-rata perlambatan dan rata-rata kesalahan relatif pada setiap pembebanan

	Tanpa pembebanan	10N	20N	30N
Rata-rata perlambatan (%)	0	0.440935	0.585382	0.612632
Rata-rata Kesalahan relatif (%)	0.325923449	0.20765	0.280779	0.220164



Gambar 4.15 Grafik persen perlambatan akibat pembebanan

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan nilai RMS, penyimpangan rata-rata dan kesalahan relatif sesuai dengan yang tertera pada tabel 4.2 untuk

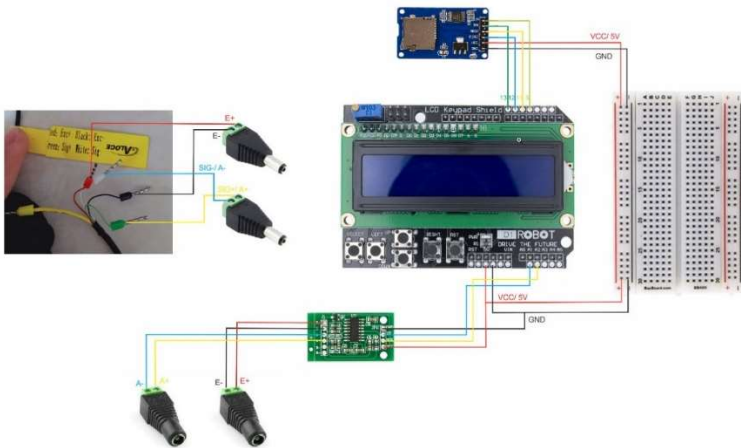
pembebanan 10N, tabel 4.3 untuk pembebanan 20N, dan tabel 4.4 untuk pembebanan 30N.

Kemudian data-data tersebut dibandingkan dengan besarnya RMS pada saat tidak diberikan beban, sehingga dapat diperoleh perbandingan pada tabel 4.5. Grafik pada gambar 4.4 menjelaskan bahwa terdapat perlambatan pada setiap variabel kecepatan namun nilainya sangat kecil dan sebagian besar berada dibawah 0.5% sehingga dapat disimpulkan bahwa pembebanan sampai dengan 30N tidak memiliki dampak perlambatan yang signifikan terhadap kecepatan rpm motor.

Namun terdapat nilai perlambatan yang cukup besar pada variabel kecepatan 10% dimana nilai perlambatan yang terjadi adalah 3.78% untuk beban 10N, 4.61% untuk beban 20N, dan 4.83% pada beban 30N. Hal ini disebabkan kurang baiknya kemampuan motor menjaga kestabilan putaran pada kecepatan awal yang sangat rendah. Dikarenakan pada variabel kecepatan 10, motor memiliki beban yang lebih berat untuk berputar di awal. Seiring dengan meningkatnya RPM motor maka nilainya akan semakin stabil dan nilai perlambatan dan yang dihasilkan oleh pembebanan semakin lebih kecil. Hal ini tidak terlalu berpengaruh pada hasil penelitian karena variabel kecepatan 10% pada motor tidak digunakan.

4.3 Pembacaan data Menggunakan Arduino R3

Untuk dapat melakukan pembacaan dari *load cell* pada display dan komputer dilakukan otomasi berupa penggunaan mikrokontroler Arduino R3. Sebelum memulai, setiap komponen dirangkai menjadi satu seperti dengan konfigurasi sebagai berikut:



Gambar 4.16 Rangkaian wiring komponen modul arduino.

Setelah semua modul dirangkai seperti gambar 4.16 kemudian program [loadcell.ino](#) (lampiran) di upload ke dalam modul Arduino R3. Program `loadcell.ino` memungkinkan pengguna untuk dapat melakukan perekaman data secara otomatis. Data ini akan direkam setiap detik dalam format data logger dan kemudian akan disimpan dalam bentuk file txt. ke dalam sd card. Setelah selesai merekam data, sd card dipindahkan secara manual dengan menggunakan adapter. Adapun format data yang direkam seperti pada gambar 4.17 dibawah ini:

The screenshot shows a window titled 'ARDUINO' with tabs for 'SIGNAL ADC', 'MASS', and 'FORCE'. The main area displays a list of data points, each starting with a timestamp and followed by 'Raw:' and three numerical values. The data points are as follows:

Timestamp	Raw	Value 1	Value 2	Value 3
23:25:38.502	Raw: 8378239,	-0.1190kg,	-1.1672N	
23:25:39.757	Raw: 8383857,	-0.0920kg,	-0.9018N	
23:25:40.539	Raw: 8395457,	-0.0361kg,	-0.3537N	
23:25:41.565	Raw: 8400466,	-0.0119kg,	-0.1170N	
23:25:42.914	Raw: 8430993,	0.1352kg,	1.3254N	
23:25:43.610	Raw: 8395493,	-0.0359kg,	-0.3520N	
23:25:44.656	Raw: 8372926,	-0.1446kg,	-1.4183N	
23:25:45.668	Raw: 8369616,	-0.1606kg,	-1.5746N	
23:25:46.680	Raw: 8370800,	-0.1549kg,	-1.5187N	
23:25:47.753	Raw: 8373833,	-0.1403kg,	-1.3754N	
23:25:49.606	Raw: 8374847,	-0.1354kg,	-1.3275N	
23:25:49.776	Raw: 8380931,	-0.1061kg,	-1.0400N	
23:25:52.874	Raw: 8376073,	-0.1295kg,	-1.2696N	
23:25:52.874	Raw: 8383211,	-0.0951kg,	-0.9323N	
23:25:52.905	Raw: 8386618,	-0.0787kg,	-0.7713N	
23:25:55.013	Raw: 8372499,	-0.1467kg,	-1.4384N	
23:25:55.130	Raw: 8389674,	-0.0639kg,	-0.6269N	
23:25:56.148	Raw: 8313966,	-0.4287kg,	-4.2041N	
23:25:57.097	Raw: 8356975,	-0.2215kg,	-2.1719N	
23:25:57.948	Raw: 8354408,	-0.2338kg,	-2.2932N	
23:25:59.001	Raw: 8367423,	-0.1711kg,	-1.6783N	
23:26:00.027	Raw: 8387304,	-0.0753kg,	-0.7389N	
23:26:01.326	Raw: 8387246,	-0.0756kg,	-0.7416N	
23:26:02.071	Raw: 8387192,	-0.0759kg,	-0.7442N	
23:26:03.085	Raw: 8386942,	-0.0771kg,	-0.7560N	
23:26:04.102	Raw: 8386869,	-0.0774kg,	-0.7594N	
23:26:05.456	Raw: 8387381,	-0.0750kg,	-0.7353N	
23:26:06.147	Raw: 8387612,	-0.0739kg,	-0.7243N	
23:26:07.169	Raw: 8387020,	-0.0767kg,	-0.7523N	
23:26:08.215	Raw: 8387642,	-0.0737kg,	-0.7229N	
23:26:09.232	Raw: 8387117,	-0.0762kg,	-0.7477N	
23:26:10.245	Raw: 8387531,	-0.0743kg,	-0.7282N	
23:26:11.288	Raw: 8387388,	-0.0749kg,	-0.7349N	
23:26:12.299	Raw: 8387599,	-0.0739kg,	-0.7250N	
23:26:13.342	Raw: 8387425,	-0.0748kg,	-	

The bottom of the window features a toolbar with the following options: Autoscroll, Show timestamp, a 'Newline' dropdown menu, a '9600 baud' dropdown menu, and a 'Clear output' button.

Gambar 4.17 Data logger menggunakan aplikasi arduino

Gambar 4.17 diatas menunjukkan format data logger dimulai dari paling kiri yaitu *timestamp* yang berfungsi sebagai penunjuk waktu setiap kali modul Arduino mengirimkan sinyal untuk direkam, interval dari *timestamp* sendiri dapat diatur. Selanjutnya yaitu data raw ADC yang merupakan data mentah dari sensor yang diterima oleh logger, data dari ADC ini yang akan dikonversi menjadi satuan ukur sebenarnya yaitu kilogram maupun dalam newton

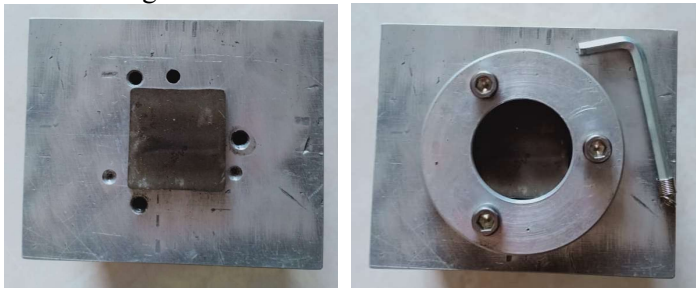
BAB V

PANDUAN PENGGUNAAN DAN PERAWATAN

5.1 Prosedur penggunaan Tribometer

Prosedur Start Up

1. Langkah persiapan sebelum memulai pengujian adalah:
 - a. Pastikan mesin dalam keadaan mati dan tidak terhubung dengan listrik
 - b. Pasang spesimen pada *specimen holder* kemudian kencangkan



Gambar 5.1 Mengencangkan spesimen pada *specimen holder*

- c. Letakkan *specimen holder* diatas *base*, kemudian kencangkan



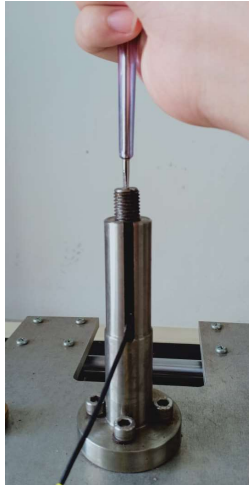
Gambar 5.2 Pemasangan *specimen holder* pada *base*

- d. Posisikan indenter tepat diatas spesimen



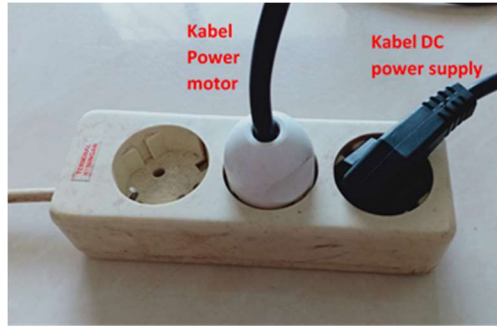
Gambar 5.3 Memposisikan pin tepat di atas spesimen

- e. Atur beban pada *load cell* sesuai dengan beban yang diinginkan dengan cara mengencangkan sekrup searah jarum jam



Gambar 5.4 Mengencangkan sekrup untuk menambah beban

- f. Hitung lamanya waktu percobaan (t) dengan menggunakan persamaan 2.3
 - g. Pastikan tidak ada bagian yang longgar sebelum pengujian dimulai
2. Langkah berikutnya dilakukan untuk memulai pengujian
- a. Hubungkan kabel power tribometer ke sumber tegangan 220V



Gambar 5.5 Kabel power motor dan DC *power supply*

- b. Hidupkan motor dengan cara menekan saklar On/Off



Gambar 5.6 Panel kecepatan motor dan saklar RUN/STOP

- c. Atur kecepatan sesuai dengan yang diinginkan yaitu kecepatan 10 s/d 100 %
 - d. Mesin dibiarkan beroperasi sesuai dengan waktu yang telah ditentukan pada prosedur 1.f
 - e. Jika terjadi masalah segera tekan saklar STOP, motor akan berhenti bekerja seketika.
3. Berikut merupakan hal-hal yang harus diperhatikan pada saat tribometer sedang beroperasi
- a. Jangan melakukan proses pembersihan kotoran saat tribometer sedang beroperasi
 - b. Jangan mengubah-ubah *load* pada pin saat tribometer sedang beroperasi
 - c. Jangan melakukan pergantian spesimen pada saat tribometer sedang bekerja
 - d. Hindari kontak langsung dengan area *slider* dan *guiding rod* saat tribometer tengah beroperasi.
 - e. Waspada potensi bahaya sengatan listrik (*shock hazard*)
4. Jika pengujian telah selesai berikut langkah-langkah yang perlu dilakukan
- a. Atur kecepatan motor kembali ke-nol
 - b. Matikan motor dengan menekan saklar Off
 - c. Cabut kabel power tribometer
 - d. Lepaskan spesimen uji dari *specimen holder*.
 - e. Spesimen telah siap untuk diuji dengan profilometer.

5.2 Perawatan

Untuk menjaga agar umur pemakaian tribometer ini bisa lebih awet, ada beberapa hal yang dapat dilakukan antara lain:

1. Membersihkan tribometer dari kotoran secara berkala.
2. Melakukan pelumasan pada komponen *sliding* dan *rotating*.
3. Pastikan tidak menggunakan beban melebihi batas maksimum.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari proses rancang bangun Tribometer linear reciprocating ini adalah

1. Proses rancang bangun ini menghasilkan sebuah mesin Tribometer tipe linear reciprocating dengan spesifikasi sebagai berikut seperti tertulis pada tabel 5.1
2. Dari hasil pengukuran rpm dan uji pembebanan didapatkan nilai perlambatan akibat beban 10N sebesar 0.441%, beban 20N sebesar 0.585%, dan beban 30N sebesar 0.613%. Ketiga nilai rata-rata sangatlah kecil yaitu dibawah 1% sehingga dapat disimpulkan bahwa perlambatan yang terjadi sangatlah kecil dan tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran
3. Proses instalasi dan kalibrasi *compression load cell* untuk mengukur pembebanan telah dilakukan sehingga memungkinkan untuk dapat mengukur besarnya pembebanan oleh pegas dengan akurat. Namun besarnya nilai CoF belum dapat ditentukan karena terdapat kerusakan pada sensor *tension-compression load cell* untuk mengukur gaya gesek.
4. Telah dibuat panduan SOP untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikan dan melakukan perawatan pada tribometer

6.2 Saran

Untuk dapat melakukan perbaikan atau peningkatan performa alat tribometer, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Perlu melakukan penggantian sensor *tension-compression* untuk dapat menyelesaikan pengukuran gaya gesek pada perhitungan CoF karena mengalami kerusakan

2. Plat penopang *tension-compression load cell* perlu dibuat lebih tebal untuk menghindari defleksi yang dapat mempengaruhi nilai gaya gesek yang dibaca oleh *load cell*



Gambar 6.1 Plat penopang *inline tension-compression load cell*

3. Masih diperlukan pengujian tambahan untuk membandingkan hasil pengukuran oleh tribometer yang telah dibuat dengan hasil pengukuran menggunakan tribometer yang sudah tersedia di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

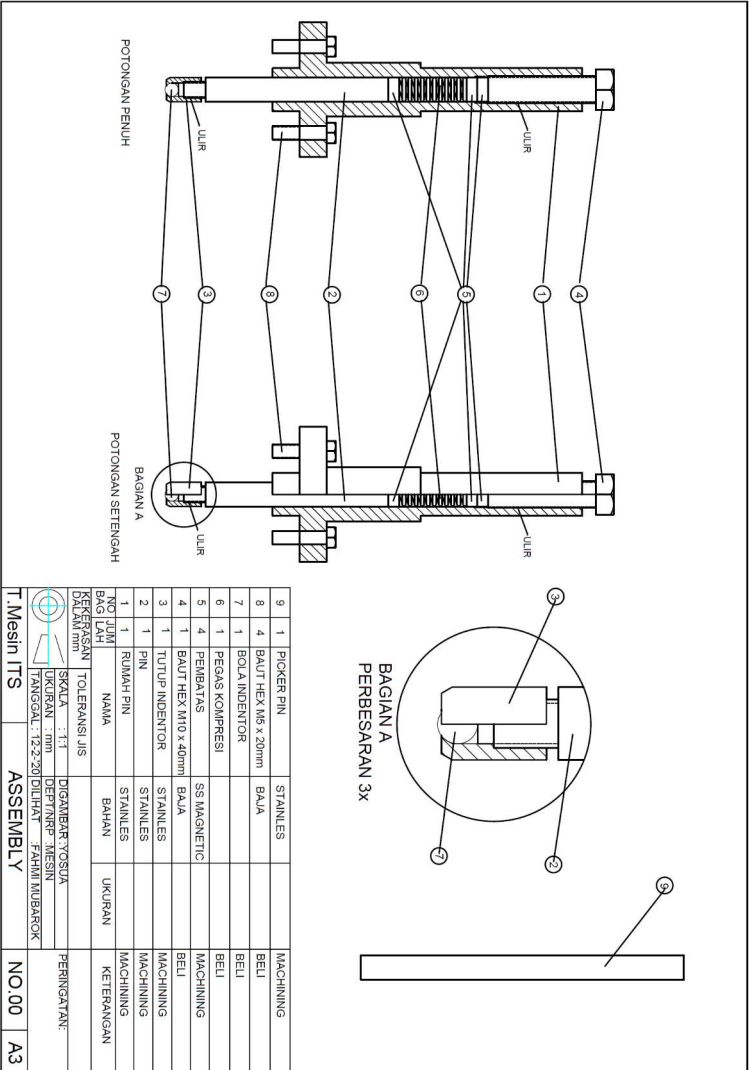
- [1]. ASTM International, 2010 ‘Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus’, *ASTM Standard G99-05*.
- [2]. ASTM International, 2010. ‘Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear’, *ASTM Standard G133-05*
- [3]. Bennett, S. 1993. *A History of Control Engineering 1930–1955*. Peter Peregrinus Ltd. on behalf of the Institution of Electrical Engineers, London
- [4]. Bin Yusoff, Zamri & Jamaludin, Shamsul Baharin. 2011. ‘Tribology and Development of Wear Theory: Review and Discussion’
- [5]. Bhushan. 2013, *Principles and Application of Tribology, 2nd edition*, John Wiley and Sons, Inc, New York
- [6]. Callister, William D. 2007. *Material Science and Engineering an Introduction*, John Wiley and Sons, Inc, New York
- [7]. Czichos. 1986. *Introduction to Friction and Wear*, Bundesanstalt fur Materialprufung (BAM), Dahlem (F.R.G.), Berlin
- [8]. Halliday & Resnick. 2013. *Fundamentals of Physics Extended*, 10th edition, John Wiley and Sons, Inc, New York
- [9]. Khonsari & Booser. 2017. *Applied Tribology: Bearing design and Lubrication*, 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc, USA

- [10]. Leroux, Pierre & Li, Duanjie & Morrone, Davide. 2018. 'Performance characterization of an innovative dual-load controlled tribometer'. *Procedia Structural Integrity*. 9. 22-28. 10.1016/j.prostr.2018.06.006.
- [11]. Mevada, Himanshu & Patel, Dipal. 2016. 'Experimental Determination of Structural Damping of Different Materials', *Procedia Engineering*. 144. 110-115. 10.1016/j.proeng.2016.05.013.
- [12]. Motioncontroltips.com, *Why is Static Friction greater than kinetic friction?*, dilihat pada Januari 2020, <<https://www.motioncontroltips.com/why-is-static-friction-greater-than-kinetic-friction/>>
- [13]. Muchammad et al. 2018. 'Wear analysis of spherical graphite cast iron using pin-on disc tribotester'. *J. Phys. Sci.*, 29(Supp. 2), 15–26
- [14]. Neves, Marcus & Arruda, Marco Antonio & Freitas, J.C.s & Batista, Edson & Prado, Thiago & Naka, Marco. 2012. 'Construction of a tribometer for tests with biolubricants'. 1-7. 10.1109/INDUSCON.2012.6452601.
- [15]. NiDi, 2008, 'A design Guidelines for the Selection and Use of Stainless Steel' 2008, *A Designer's Handbook Series No.9014*
- [16]. PCB Group Inc. 2014. *Load Cell Handbook: A technical Overview and Selection Guide*. USA: PCB Load & Torque Divison, dilihat pada Maret 2020, <https://www.pcb.com/contentstore/MktgContent/LinkedDocuments/Load_Torque/LTLoadCellHandbook_LowRes.pdf>

- [17]. Resmat Corporation. 2008. *Tribocorr Tool: User's Manual*. Resmat Corporation, Canada
- [18]. Tokyo Measuring Instrument lab. *Product > Transducers > Load Cell Accessories*. Tokyo, Japan: TMI Lab. Co. Ltd., dilihat pada Maret 2020
<https://www.tml.jp/e/product/transducers/loadcell_option.html>

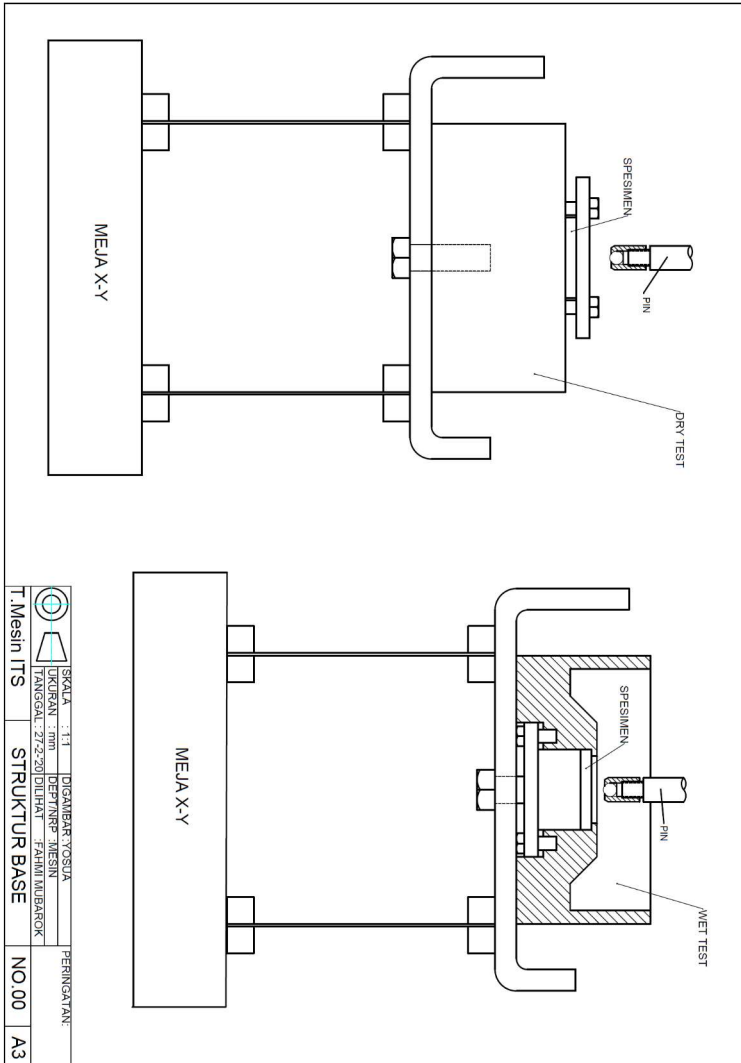
(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

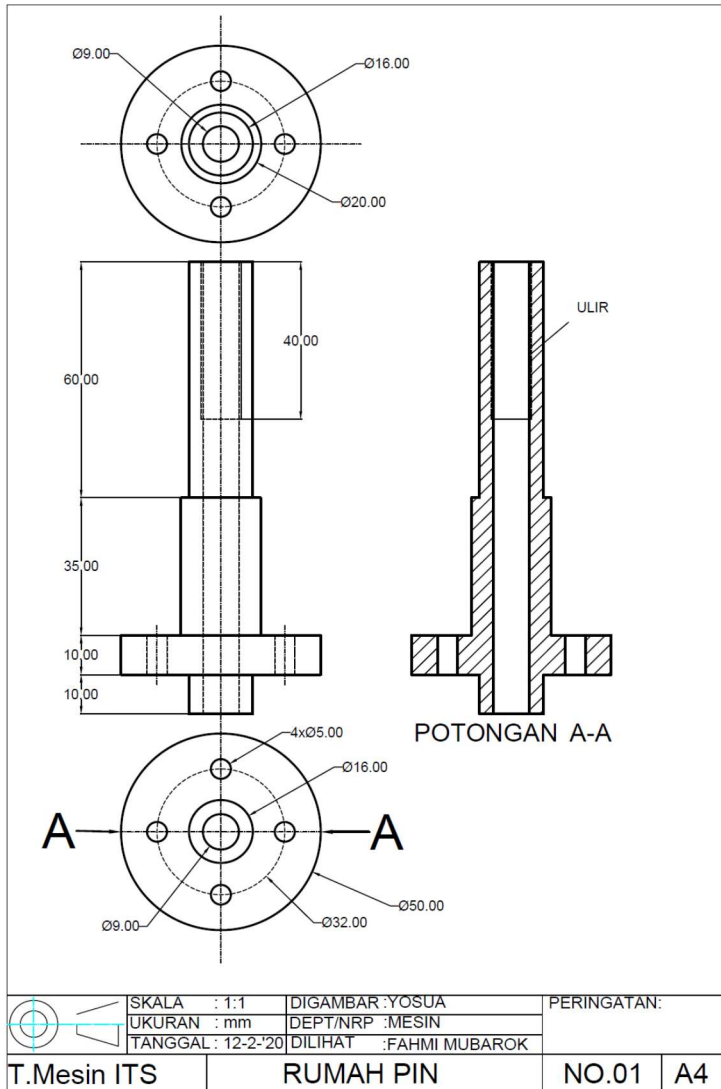


9	1	PICKER PIN	STAINLESS		MACHINING
8	4	BAUT HEX M5 x 20mm	BAHA		BEU
7	1	BOLA INDENTOR			BEU
6	1	PEGAS KOMPRESI	SS MAGNETIC		MACHINING
5	4	PEMBATAS	BAHA		BEU
4	1	BAUT HEX M10 x 40mm	STAINLESS		MACHINING
3	1	TUTUP INDENTOR	STAINLESS		MACHINING
2	1	PIN	STAINLESS		MACHINING
1	1	RUMAH PIN	STAINLESS		MACHINING
		BAGI UJI	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN
		NAMA			
		TOLERANSI JIS			
		KEKERASAN			
		DALAM mm			
		SKALA : 1:1		DIGAMBAR YOSUA	PERINGATAN:
		REVISI		REVISI	
		NO. 1		REVISI	
		TANGGAL: 12.2.2010		REVISI	
		LOKASI: DULHANA		REVISI	
		T. Mesin ITS		REVISI	
		ASSEMBLY		REVISI	
		NO.00		REVISI	
		A3		REVISI	

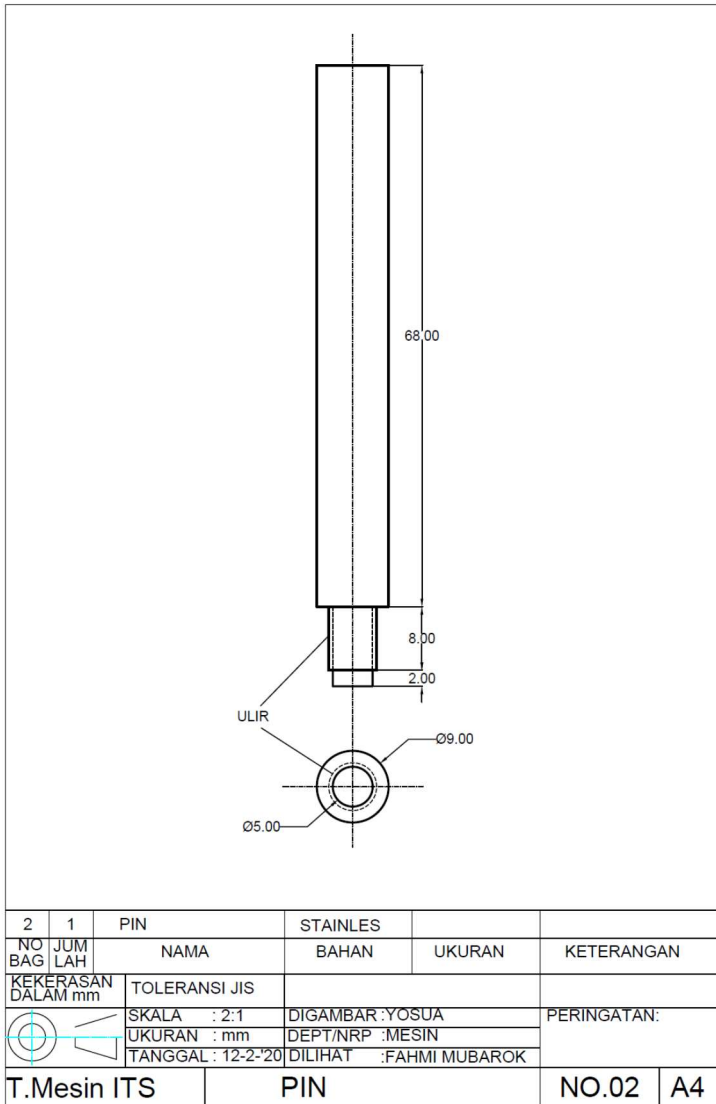
Gambar 1 Desain 2D kepala tribometer



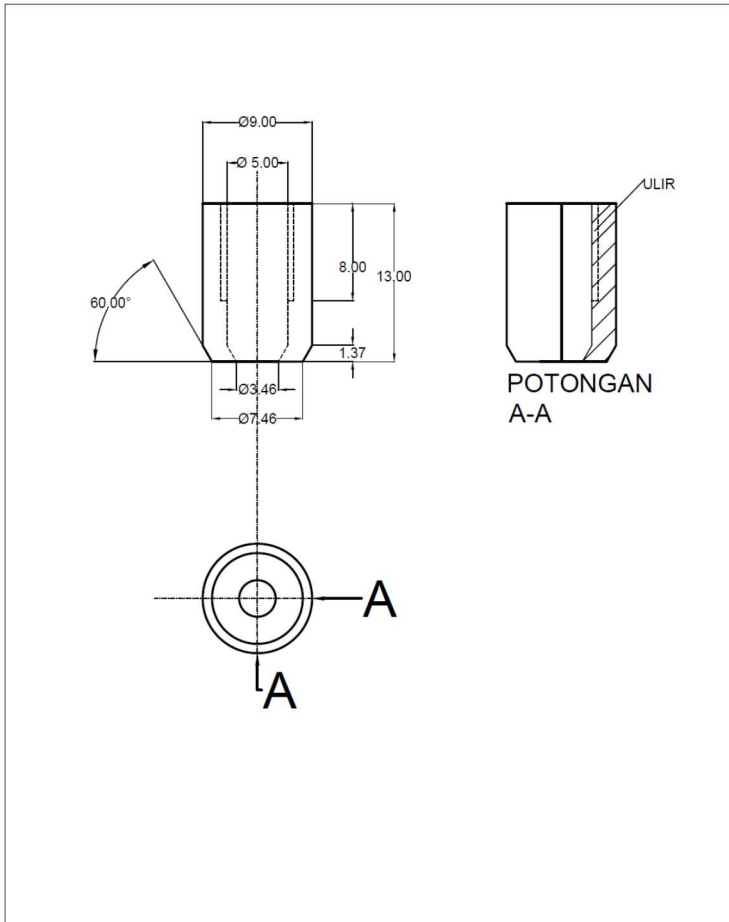
Gambar 2 Gambar 2D struktur base dan penopang



Gambar 3 Desain 2D rumah pin

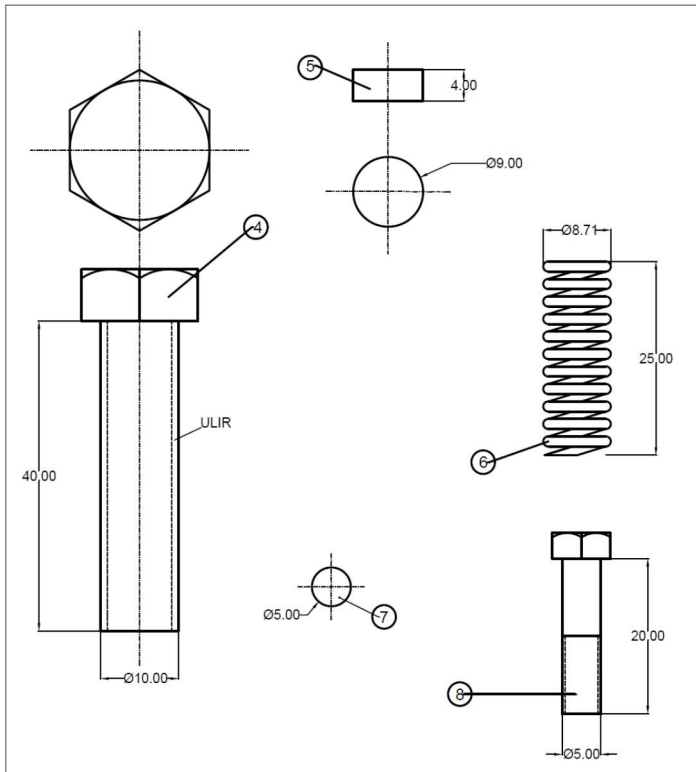


Gambar 4 Desain 2D badan pin



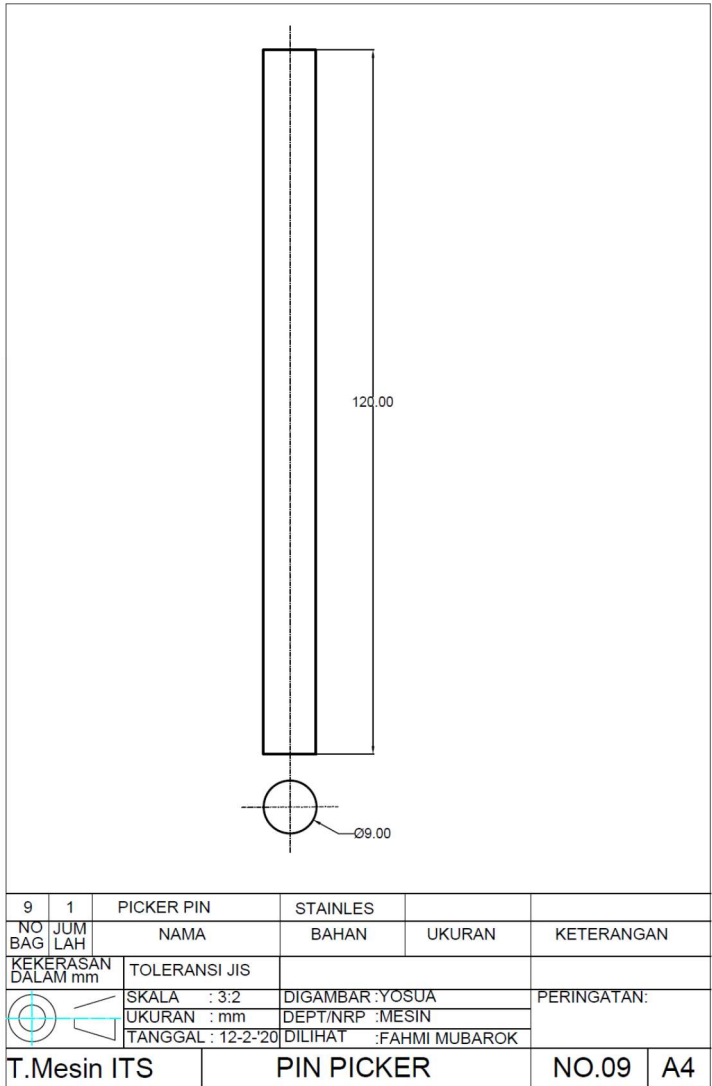
3	1	TUTUP INDENTOR	STAINLES		
NO BAG	JUM LAH	NAMA	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN
KEKERASAN DALAM mm	TOLERANSI JIS				PERINGATAN:
	SKALA : 3:1	DIGAMBAR : YOSUA			
	UKURAN : mm	DEPT/NRP : MESIN			
	TANGGAL : 12-2-20	DILIHAT : FAHMI MUBAROK			
T.Mesin ITS		TUTUP INDENTOR		NO.03	A4

Gambar 5 Tutup Indentor 2D

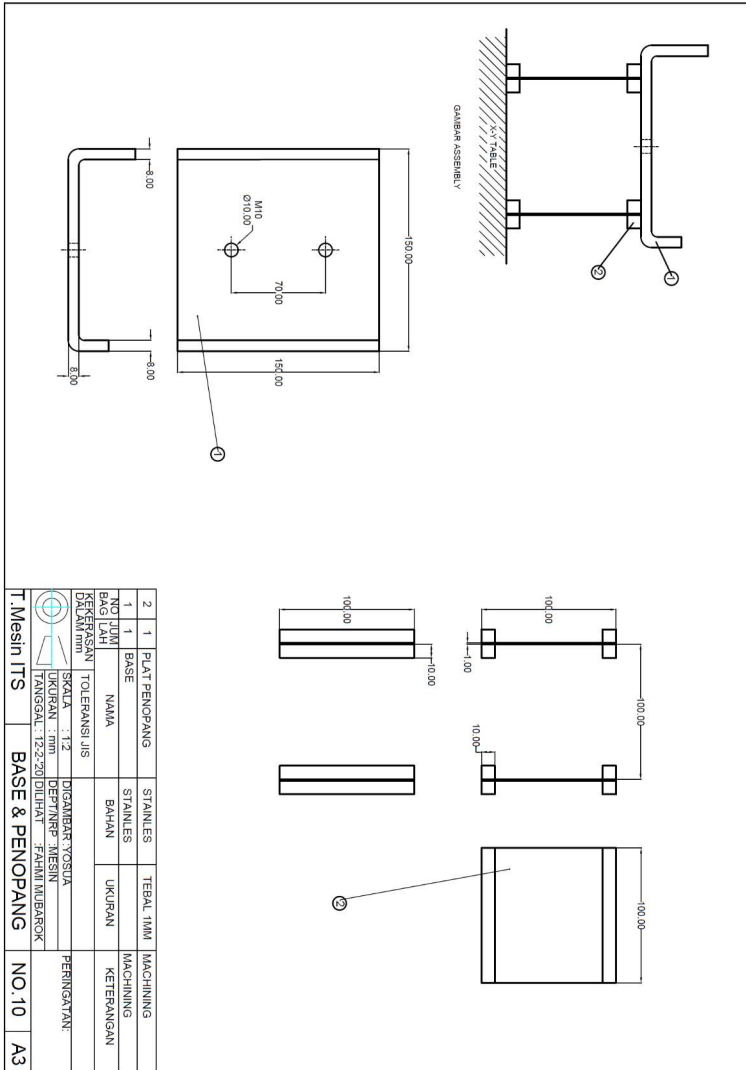


8	4	Baut HEX M5 x 20 mm			
7	1	Bola Indentor			
6	1	Pegas Kompresi			
5	4	Pembatas			
4	1	Baut HEX M10 x 40 mm			
NO BAG	JUM LAH	NAMA	BAHAN	UKURAN	KETERANGAN
KEKERASAN	DALAM mm	TOLERANSI JIS			PERINGATAN:
		SKALA : 2:1	DIGAMBAR : YOSUA		
		UKURAN : mm	DEPT/NRP : MESIN		
		TANGGAL : 12-2-'20	DILIHAT : FAHMI MUBAROK		
T.Mesin ITS		LAIN-LAIN (PART 4 - 8)		NO.04	A4

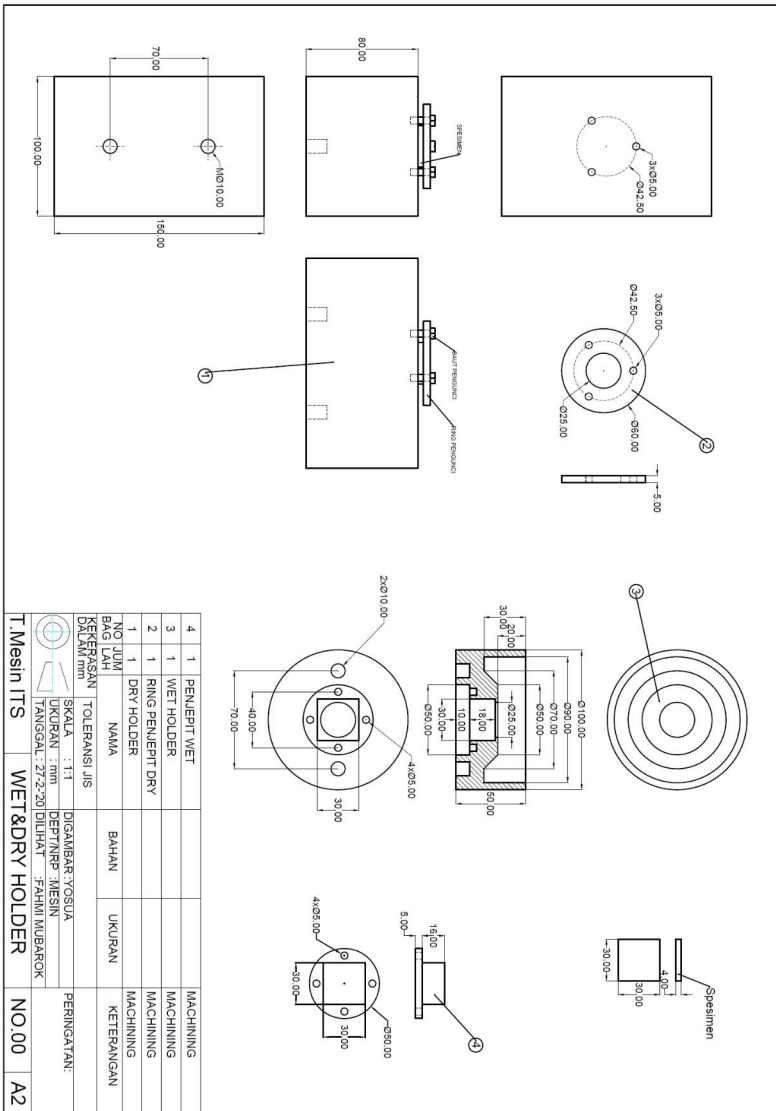
Gambar 6 Part tambahan 2D



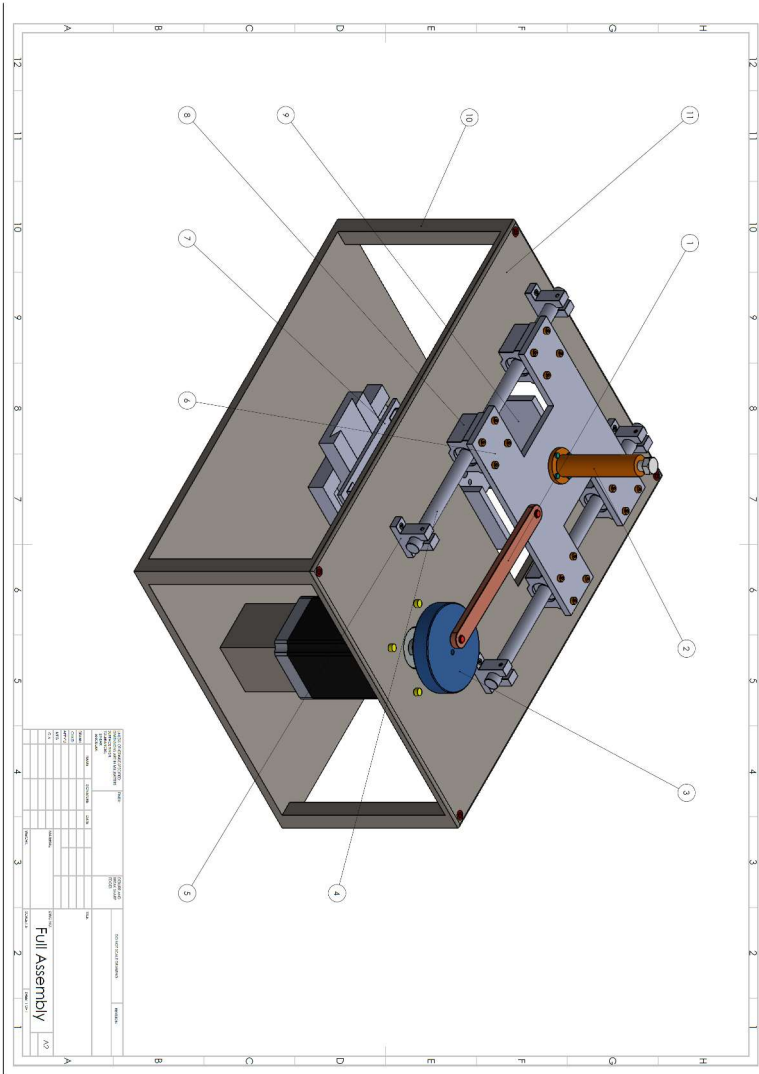
Gambar 7 Pin Picker 2D



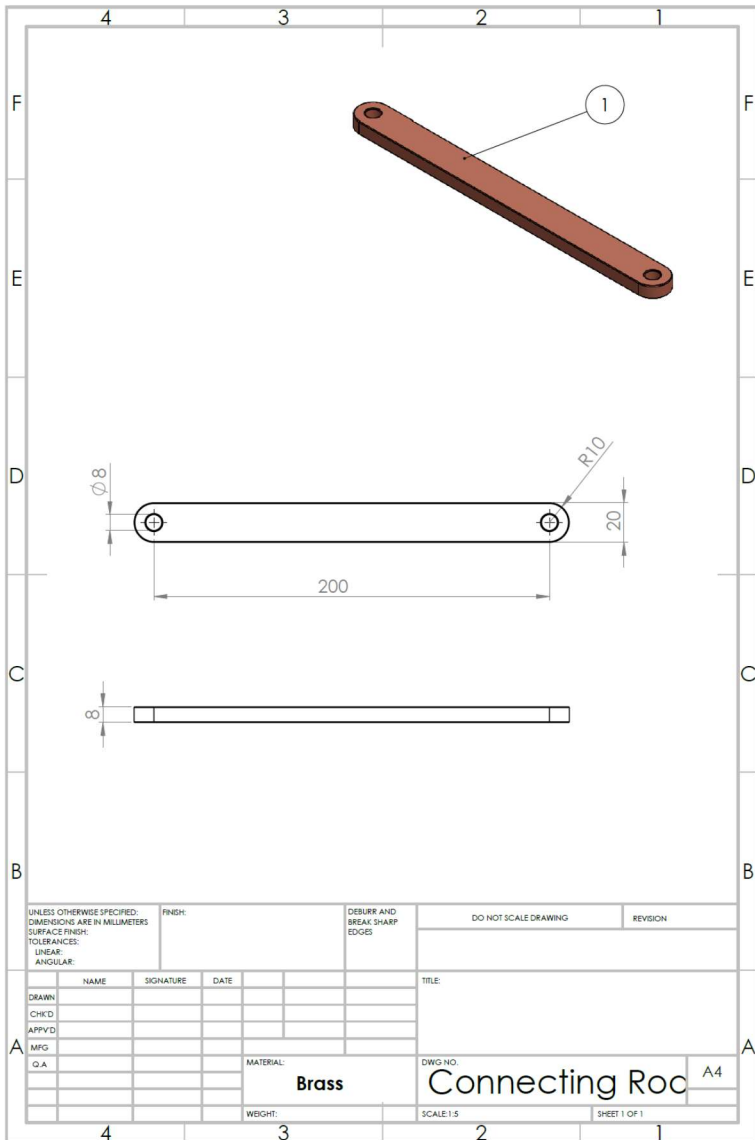
Gambar 8 Struktur base 2D



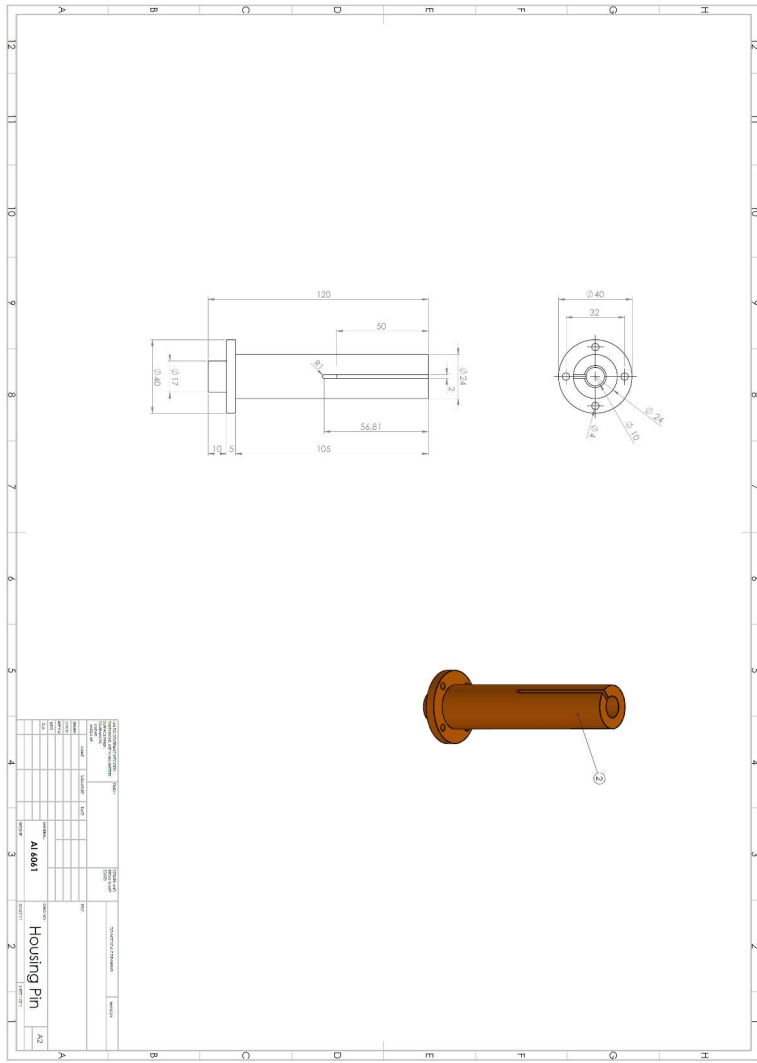
Gambar 9 Specimen Holder 2D



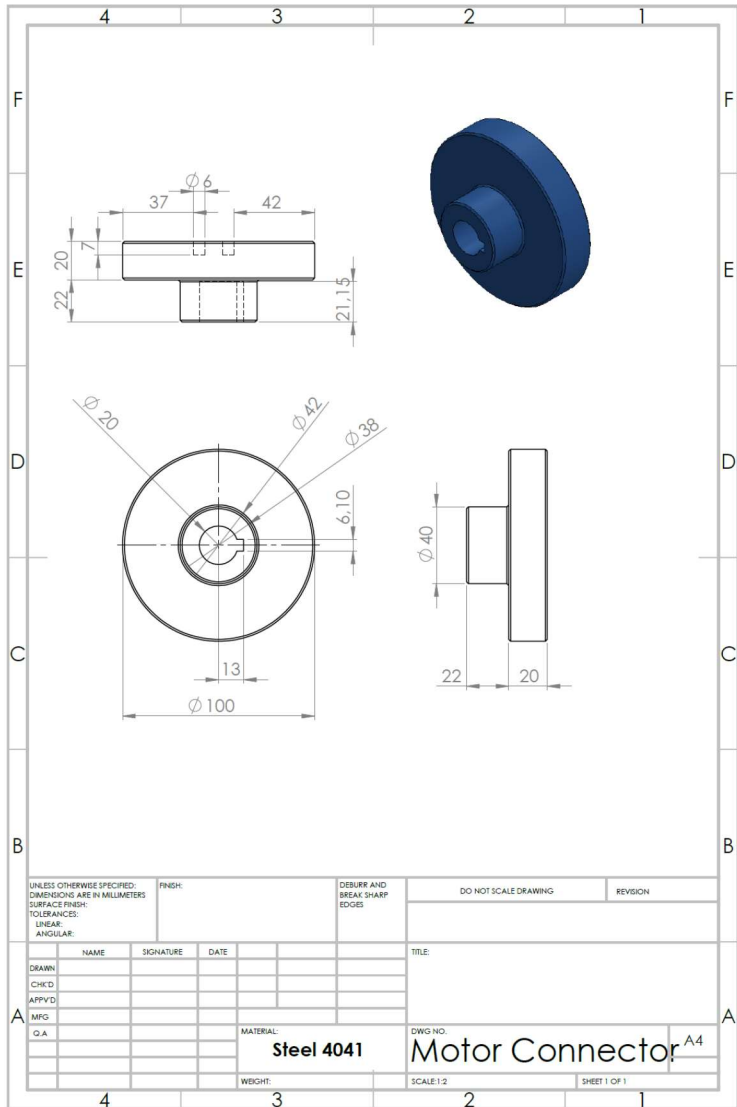
Gambar 10 Assembly 3D



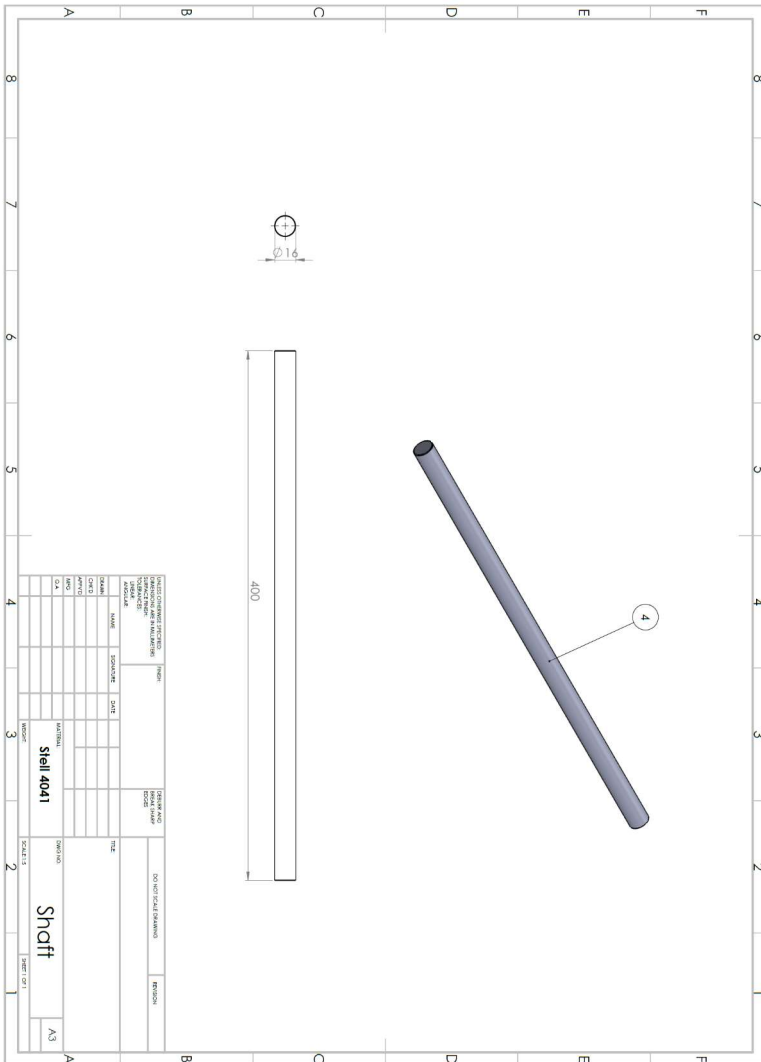
Gambar 11 Connencting Rod 2D&3D



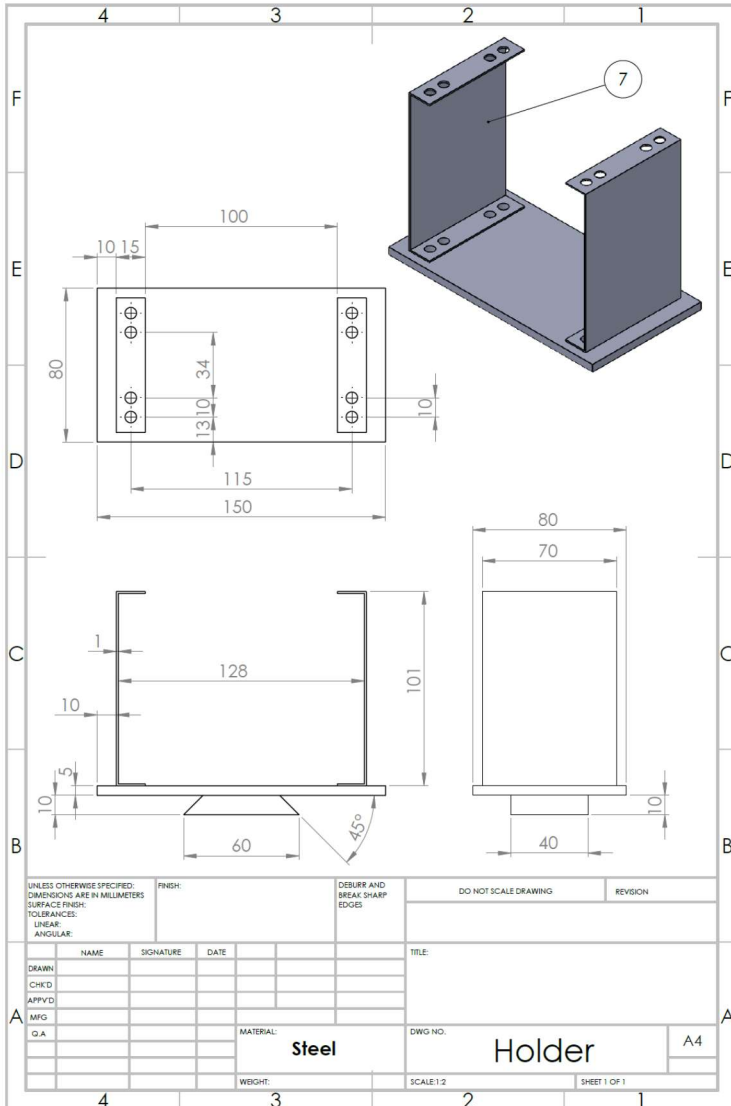
Gambar 12 Kepala Tribometer 2D&3D



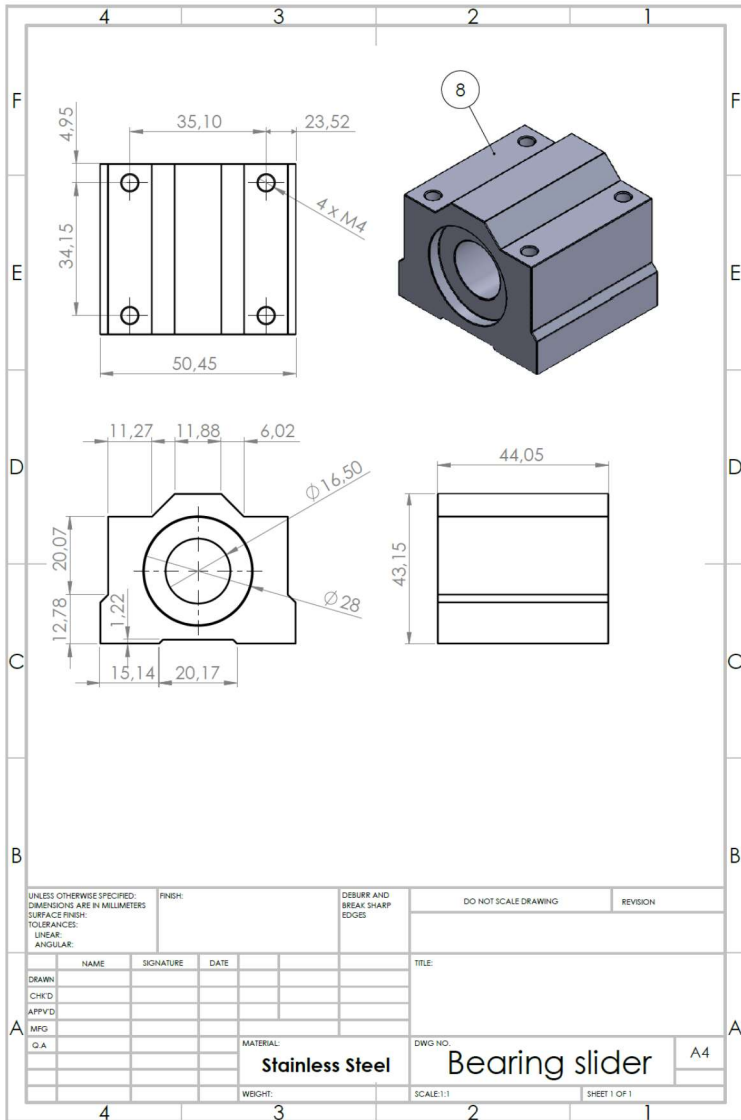
Gambar 13 Konektor motor 2D&3D



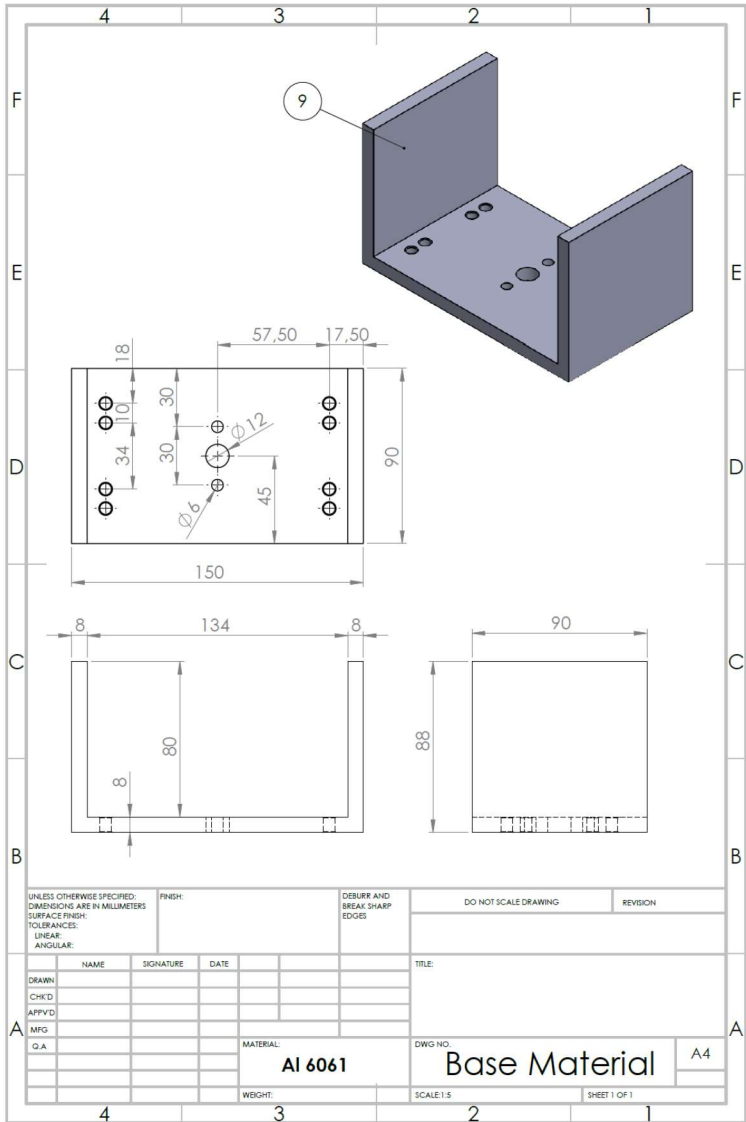
Gambar 14 Shaft 2D&3D



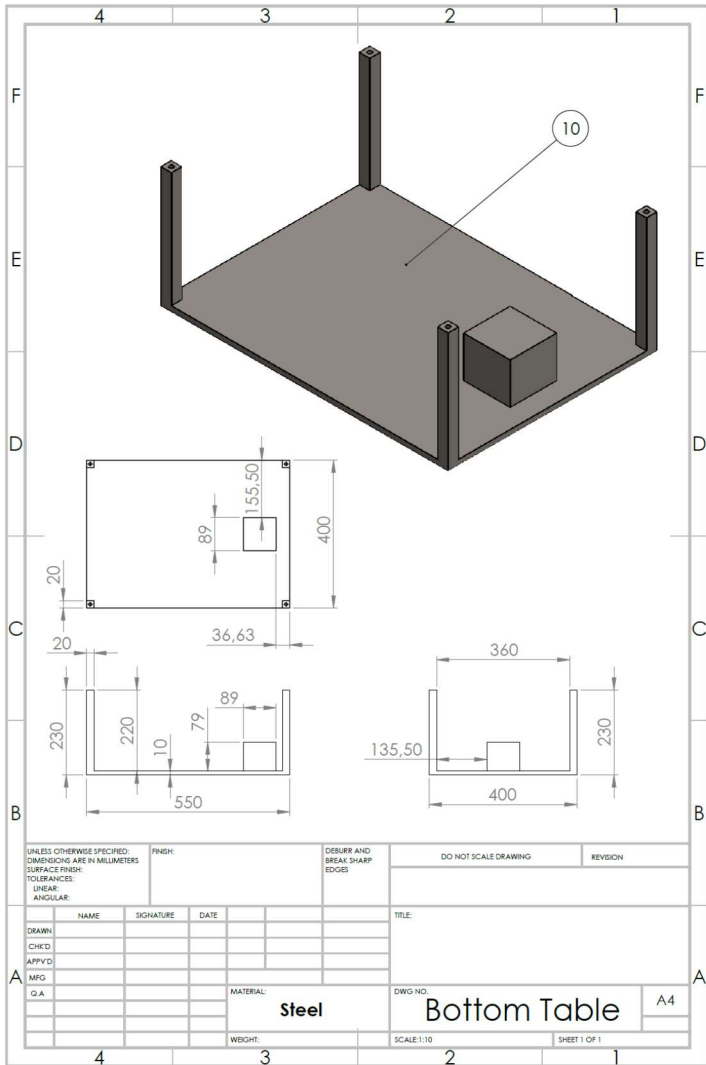
Gambar 16 Base holder 2D&3D



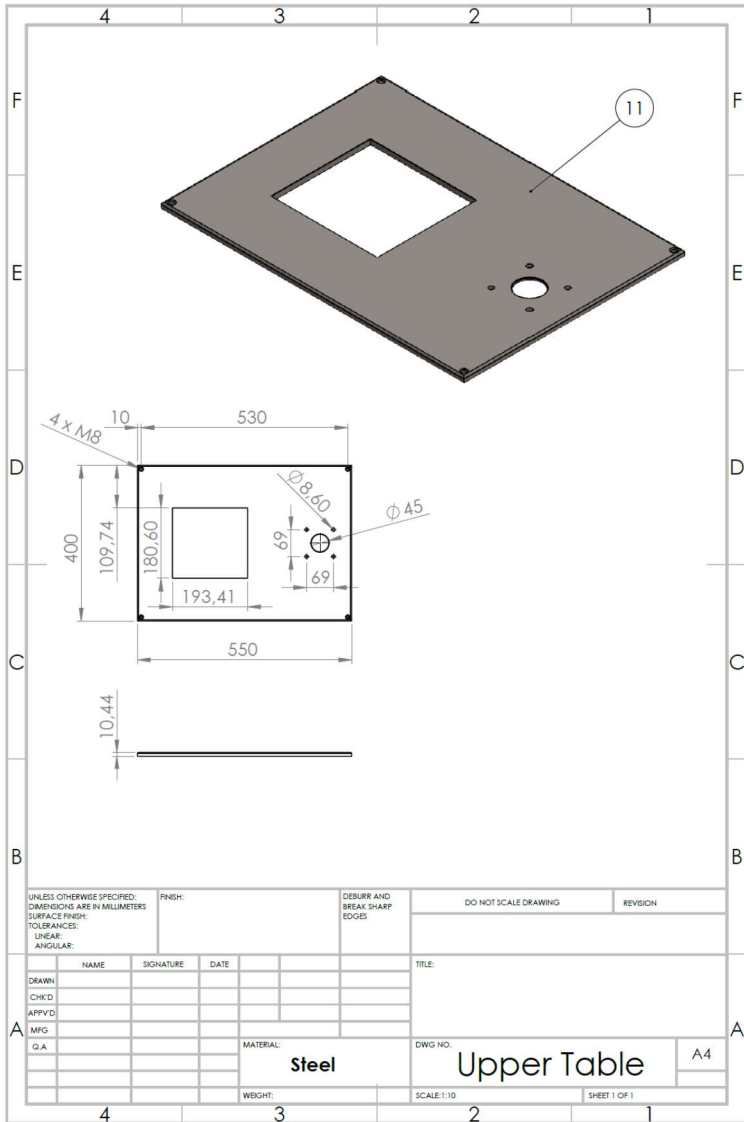
Gambar 18 Bearing Slider 2D&3D



Gambar 19 Base material holder



Gambar 20 Meja bagian bawah



Gambar 21 Meja bagian atas

Program Loadcell.ino

```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <SimpleTimer.h>
#include <SPI.h>
#include "SdFat.h"
#include "Q1HX711.h"
#include "Q2HX711.h"
#include "EEPROM.h"

#define SDCARD_CS 3
#define addr_Q1y1 0
#define addr_Q1x1 10
#define addr_Q1x0 20
#define addr_Q2y1 30
#define addr_Q2x1 40
#define addr_Q2x0 50

const byte hx711_DAT1 = A1;
const byte hx711_CLK1 = A2;
const byte hx711_DAT2 = A3;
const byte hx711_CLK2 = A4;

float Q1y1 = 1.0; // beban saat kalibrasi
long Q1x1 = 0;
long Q1x0 = 0;
float Q2y1 = 1.0;
long Q2x1 = 0;
long Q2x0 = 0;
//long knownADC = 15000;

float avg_size = 10.0; // amount of averages
for each mass measurement
float Q1_mass = 0;
float Q2_mass = 0;

Q1HX711 hx711_Q1(hx711_DAT1,
hx711_CLK1); // prep hx711 IC1
Q2HX711 hx711_Q2(hx711_DAT2,
hx711_CLK2); // prep hx711 IC2

#define none 0
#define left 1
#define right 2
#define down 3
#define up 4

#define select 5

#define ON 1
#define OFF 0

//LCD pin to Arduino
const int pin_RS = 8;
const int pin_EN = 9;
const int pin_d4 = 4;
const int pin_d5 = 5;
const int pin_d6 = 6;
const int pin_d7 = 7;
const int pin_BL = 10;

LiquidCrystal lcd(pin_RS, pin_EN, pin_d4,
pin_d5, pin_d6, pin_d7);
int state_SD = 0;
int menu = 0;
unsigned long currentMillis = 0 ,
previousMillis = 0;

SimpleTimer multitask;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(SDCARD_CS, OUTPUT);
  lcd.begin(16, 2);

  Q1x0 = EEPROMReadlong(addr_Q1x0);
  Q1x1 = EEPROMReadlong(addr_Q1x1);
  Q1y1 = EEPROMReadlong(addr_Q1y1);

  Q2x0 = EEPROMReadlong(addr_Q2x0);
  Q2x1 = EEPROMReadlong(addr_Q2x1);
  Q2y1 = Q1y1;

  multitask.setInterval(5, main_program);
  //multitask.setInterval(2000, clear_lcd);
  //multitask.setInterval(5, test_button);
}

void loop()
{
  multitask.run();
}

```



```

void clear_lcd()
{
  lcd.clear();
}

void main_program()
{
  if (press_button() == right) {
    menu += 1;
    if (menu >= 3) {
      menu = 3;
    }
    delay(100);
    lcd.clear();
  }
  if (press_button() == left && menu > 0 &&
  menu <= 3) {
    menu -= 1; //kurangi satu = kembali
    kemenu sebelumnya
    delay(200);
    lcd.clear();
  }

  switch (menu) {
    case 0:
      read_sensor();
      break;
    case 1:
      Q1_calibration(204998, 1); //kalibarsi
      loadcell#1, adc 204998 = 1kg
      break;
    case 2:
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Calibration LC2");
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("Press Down");
      //Q2_calibration();
      break;
    case 3:
      raw_adc();
      break;
  }
}

void raw_adc()
{
  long reading1 = 0;
  long reading2 = 0;

  for (int jj = 0; jj < int(avg_size); jj++) {
    reading1 += hx711_Q1.read();
    reading2 += hx711_Q2.read();
  }
  reading1 /= long(avg_size); //nilai rata-rata
  10x
  reading2 /= long(avg_size);

  Serial.print("ADC1: ");
  Serial.print(reading1);
  Serial.print("\t ADC2: ");
  Serial.println(reading2);

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("ADC1:");
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(reading1);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("ADC2:");
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(reading1);
}

void Q1_calibration(long knownADC, float
mass)
{
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Calibration LC1");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Press Down");

  if (press_button() == down)
  {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Remove any Load");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Press Select");

    while (press_button() != select) {}
    //selama tombol select tidak ditekan
  }
}

```

```

    hx711_Q1.read();
    delay(2000); // allow load cell and hx711
to settle

    int counter = 0;
    Q1x0 = 0;
    // tare procedure = kalibrasi ketika
loadcell tidak ada beban
    for (int ii = 0; ii < int(avg_size); ii++) {
        // delay(10);
        Q1x0 += hx711_Q1.read();
        counter++;
    }
    Q1x0 /= long(avg_size);
    Serial.print("X0: ");
    Serial.println(Q1x0);
    Serial.print("II: ");
    Serial.println(counter);
    Serial.println("Add Calibrated Mass");

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Place Known Load");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Mass (1kg)");

    // calibration procedure = kalibrasi ketika
loadcell diberi beban yang diketahui (mass
should be added equal to y1)
    int ii = 1;
    Q1x1 = 0;
    while (true) {
        long baca_adc = hx711_Q1.read();
        if (baca_adc < Q1x0 + (knownADC / 2)) {
//jika tidak ada perubahan adc diatas masa
yang diketahui
            Serial.print("Read ADC:");
            Serial.println(baca_adc);
            delay(2000);
        } else {
            ii++;
            delay(2000);
            for (int jj = 0; jj < int(avg_size); jj++) {
                Q1x1 += hx711_Q1.read();
            }
            Q1x1 /= long(avg_size);

            Serial.print("X1: ");
            Serial.println(Q1x1);
            break;
        }
    }
    Serial.println("Calibration Complete");

    lcd.clear();
    EEPROMWritelong(addr_Q1x0, Q1x0);
//adc ketika tidak ada beban
    EEPROMWritelong(addr_Q1x1, Q1x1);
//adc dari beban massa yang diketahui
    Q1y1 = mass;
    EEPROMWritelong(addr_Q1y1, Q1y1);
//beban masa yang diketahui dalam kg
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("New Data Saved");
    delay(3000);
    lcd.clear();
}
}

void read_sensor()
{
    Q1_mass = read_Load1();
    // Q2_mass = read_Load2();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Load 1:");
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print(Q1_mass);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Load 2:");
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.print(Q2_mass);
    //record();
}

float read_Load1()
{
    // averaging reading
    long reading = 0;
    for (int jj = 0; jj < int(avg_size); jj++) {
        reading += hx711_Q1.read();
    }
    reading /= long(avg_size);
}

```

```

// calculating mass based on calibration
and linear fit
float ratio_1 = (float) (reading - Q1x0);
float ratio_2 = (float) (Q1x1 - Q1x0);
float ratio = ratio_1 / ratio_2;
float mass = Q1y1 * ratio; //kg
float newtons = mass * 9.80665; //convert
to newtons
Serial.print("Raw: ");
Serial.print(reading);
Serial.print(", ");
Serial.print(mass, 4);
Serial.print("kg, ");
Serial.print(newtons, 4);
Serial.println("N");
return mass;
}

float read_Load2()
{
// averaging reading
long reading = 0;
for (int jj = 0; jj < int(avg_size); jj++) {
reading += hx711_Q2.read();
}
reading /= long(avg_size);
// calculating mass based on calibration
and linear fit
float ratio_1 = (float) (reading - Q2x0);
float ratio_2 = (float) (Q2x1 - Q2x0);
float ratio = ratio_1 / ratio_2;
float mass = Q2y1 * ratio; //kg
float newtons = mass * 9.80665; //convert
to newtons
Serial.print("Raw: ");
Serial.print(reading);
Serial.print(", ");
Serial.print(mass, 4);
Serial.print("kg, ");
Serial.print(newtons, 4);
Serial.println("N");
return newtons;
}

void record()
{
File myFile;
SdFat SD;
delay(2);

if (SD.begin(SDCARD_CS))
{
myFile = SD.open("record.txt",
FILE_WRITE);
if (myFile)
{
myFile.print(Q1_mass); //in newton
myFile.print(",");
myFile.println(Q2_mass); //in newton
myFile.close();
state_SD = 1;
Serial.println("Data Recorded");
}
else
{
state_SD = 0;
Serial.println("error opening file");
}
}

void read_sdcard()
{
File myFile;
SdFat SD;
delay(2);
SD.begin(SDCARD_CS);
myFile = SD.open("record.txt");
if (myFile)
{
Serial.println("Read:");
while (myFile.available())
{
Serial.write(myFile.read());
}
myFile.close();
}
else {
Serial.println("error opening file txt");
}
}
}

```

```

int press_button()
{
  int x;
  x = analogRead (0);
  // lcd.setCursor(0, 0);
  // lcd.print(x);

  if (x < 60) {
    delay(50);
    return right;
  }
  else if (x < 200) {
    delay(50);
    return up;
  }
  else if (x < 400) {
    delay(50);
    return down;
  }
  else if (x < 600) {
    delay(50);
    return left;
  }
  else if (x < 800) {
    delay(50);
    return select;
  }
  else
  {
    delay(50);
    return none;
  }
}

void test_button()
{
  int tombol = press_button();
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print (tombol);
  if (tombol == right) {
    delay(100);
    clear_lcd();
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print ("Right");
  }

  else if (tombol == up) {
    delay(100);
    clear_lcd();
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print ("Up");
  }
  else if (tombol == down) {
    delay(100);
    clear_lcd();
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print ("Down");
  }
  else if (tombol == left) {
    delay(100);
    clear_lcd();
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print ("Left");
  }
  else if (tombol == select) {
    delay(100);
    clear_lcd();
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print ("Select");
  }
}

void EEPROMWritelong(int address, long
value)
{
  //Decomposition from a long to 4 bytes by
  using bitshift.
  //One = Most significant -> Four = Least
  significant byte
  byte four = (value & 0xFF);
  byte three = ((value >> 8) & 0xFF);
  byte two = ((value >> 16) & 0xFF);
  byte one = ((value >> 24) & 0xFF);

  //Write the 4 bytes into the eeprom
  memory.
  EEPROM.write(address, four);
  EEPROM.write(address + 1, three);
  EEPROM.write(address + 2, two);
  EEPROM.write(address + 3, one);
}

```

```
//This function will return a 4 byte (32bit)
long from the eeprom
//at the specified address to address + 3.
long EEPROMReadlong(long address)
{
    //Read the 4 bytes from the eeprom
    memory.
    long four = EEPROM.read(address);
    long three = EEPROM.read(address + 1);
    long two = EEPROM.read(address + 2);
    long one = EEPROM.read(address + 3);

    //Return the recomposed long by using
    bitshift.
    return ((four << 0) & 0xFF) + ((three << 8) &
    0xFFFF) + ((two << 16) & 0xFFFFF) + ((one
    << 24) & 0xFFFFFFF);
}
```

(halaman ini sengaja dikosongkan)



Yosua Zulkarnaen lahir di Balikpapan, 26 Juli 1998, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Santa Miriam Balikpapan, SDK Santa Theresia Balikpapan, SMPN 1 Balikpapan, dan SMAN 1 Balikpapan. Setelah lulus dari SMAN 1 Balikpapan, penulis melanjutkan pendidikan perguruan tinggi pada tahun 2016 di Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti organisasi di tingkat Institut. Penulis mendapat amanah menjadi panitia staff PKMBK PMK pada periode 2017-2018. Kemudian dilanjutkan menjadi Koordinator divisi DPK PKMBK PMK pada periode 2018-2019 dan pada tahun 2019-2020 dipercayakan untuk menjadi staff ahli Pemuridan PMK 2019-2020. Selain aktif dalam berorganisasi, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik di Departemen Teknik Mesin, ITS. Penulis sempat menjadi grader mata kuliah menggambar mesin pada tahun 2017 dan juga pernah menjadi asisten praktikum Metalurgi 1&2 pada tahun 2019.

Untuk informasi, saran, dan kepentingan sehubungan dengan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui Surat Elektronik: yosua_zulkarnaen@yahoo.com