



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 141585

STUDI EKSPERIMENTAL KEDALAMAN AUS DAN KOEFSIEN GESEK AKIBAT *STICK-SLIP* PADA *RECIPROCATING WEAR*

RAHMAT RAJA BARITA SIREGAR
NRP 2110 100 163

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI EKSPERIMENTAL KEDALAMAN AUS DAN
KOEFSIEN GESEK AKIBAT *STICK-SLIP* PADA
*RECIPROCATING WEAR***

**RAHMAT RAJA BARITA SIREGAR
NRP 2110 100 163**

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY OF WEARNESS AND
COEFFICIENT OF FRICTIONS DUE TO STICK-SLIP ON
RECIPROCATING WEAR**

**RAHMAT RAJA BARITA SIREGAR
NRP 2110 100 163**

Adviser Lecturer
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Engineering Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL KEDALAMAN AUS DAN
KOEFSIEN GESEK AKIBAT *STICK-SLIP* PADA
*RECIPROCATING WEAR***

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

RAHMAT RAJA BARITA SIREGAR
NRP. 2110 100 163

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E
NIP. 196511031990021001 (Pembimbing)
2. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, PhD.
NIP. 197909262005011001 (Penguji I)
3. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA
NIP. 196508101991021001 (Penguji II)
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT
NIP. 196807061999031004 (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2017

STUDI EKSPERIMENTAL KEDALAMAN AUS DAN KOEFISIEN GESEK AKIBAT *STICK-SLIP* PADA *RECIPROCATING WEAR*

Nama Mahasiswa : Rahmat Raja Barita Siregar
NRP : 2110100163
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

ABSTRAK

Pada setiap material yang melakukan kontak dengan material lain akan menimbulkan gaya gesek, gaya gesek sendiri dapat dikategorikan menjadi dua yaitu gaya gesek statis dan kinetis. Dalam dunia industri sering ditemukan suku cadang yang mengalami gaya gesek statis dan kinetis. Perubahan gaya gesek dari statis ke kinetis disebut *stick-slip friction*. Pada daerah terjadinya *stick-slip friction*, dampak gaya gesek yang terjadi mempunyai nilai yang paling besar, sehingga fenomena *stick-slip friction* ini cukup berpengaruh terhadap umur pakai dari suatu material. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Simatupang, R. 2016 menganalisa nilai koefisien gesek pada *stick-slip friction*, menggunakan material pin baja ST-37 yang cukup sulit dicari dipasaran. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji hubungan variasi pembebanan terhadap keausan material dan nilai koefisien gesek saat terjadi fenomena *stick-slip friction* dengan menggunakan material pin baja ST-41 yang secara umum lebih mudah ditemukan di pasaran agar dapat bermanfaat secara lebih luas.

Dalam penelitian ini, tahapan prosedur yang dimulai dengan ditentukannya variable beban dan parameter yang konstan yaitu dengan pembebanan sebesar 20 N, 30 N 40 N dan dengan parameter lintasan *sliding* sejauh 1440 m , *sliding speed* 0,1 m/s, material yang digesek adalah *acrylic* dengan pin baja ST-41 setengah bola. Setelah itu dilakukan seting peralatan dan kalibrasi

alat uji meliputi kalibrasi kecepatan dan pembebanan. Pengujian dilakukan pada masing-masing pembebanan dengan kondisi kamera merekam proses gesekan antara pelat dengan pin. Pelat hasil pengujian diukur menggunakan *dial indicator* untuk mendapatkan profil lintasan aus. Video rekaman pengujian di ekstrak menggunakan *software* Kinovea untuk mendapatkan data perubahan waktu dan tekanan pada setiap titik sepanjang lintasan sehingga dapat dihitung nilai koefisien gesek pada setiap titik. Kemudian keausan area *stick-slip* dengan *sliding* dibandingkan dan efek *stick-slip* terhadap perubahan pembebanan dianalisa.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu, semakin besar pembebanan maka semakin besar keausan yang ditimbulkan oleh gesekan *stick-slip*. Nilai koefisien gesek pada area *stick-slip* cenderung menurun seiring dengan meningkatnya besar pembebanan, Selain itu didapatkan bahwa perbandingan antara koefisien gesek pada daerah *stick-slip* dengan *sliding* semakin berkurang seiring dengan meningkatnya pembebanan.

Kata Kunci : coefficient of friction, stick-slip friction, tribometer

EXPERIMENTAL STUDY OF WEARNESS AND COEFFICIENT OF FRICTIONS DUE TO STICK-SLIP ON RECIPROCATING WEAR

Student Name : Rahmat Raja Barita Siregar
NRP : 2110100163
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Adviser Lecture : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

ABSTRACT

In any material that makes contact with other materials will give rise to frictional forces, the frictional forces themselves can be categorized into two: static and kinetic frictional forces. In the industrial world are often found spare parts that experience static and kinetic friction. The change in frictional force from static to kinetic is called stick-slip friction. In the occurrence of stick-slip friction, the impact of friction forces that occur has the greatest value, so the phenomenon stick-slip friction is quite influential on the life of a material. In a previous study conducted by Simatupang, R. 2016 analyzes coefficient of friction on stick-slip friction, using ST-37 steel pin material which is quite difficult to find in the market. Therefore, the purpose of this research is to study the relation of loading variation to material wear and coefficient of friction in the occurrence of stick-slip friction phenomenon using ST-41 steel pin material which is generally more easily found in the market in order to benefit more widely.

In this study, the stages of the procedure starting with the determination of variable load and constant parameters that is with loading of 20 N, 30 N 40 N and with sliding track parameters as far as 1440 m, sliding speed 0.1 m / s, the material is swiped acrylic With a ST-41 half-ball steel pin. After that, equipment settings and calibration of test equipment include calibration of speed and loading. The test is performed on each loading with the condition of the camera recording friction process between plate with pin.

The test result plate is measured using a dial indicator to obtain a wear profile profile. The test video tape is extracted using Kinovea software to obtain time and pressure change data at each point along the path so that the coefficient of friction at each point can be calculated. Then the stick-slip area wear with sliding compared and stick-slip effect on the change of loading is analyzed.

The results obtained from this research is, the greater the loading the greater the wear caused by stick-slip friction. The coefficient of friction in the stick-slip area tends to decrease along with the increase of loading, and it is found that the comparison between friction coefficient in the stick-slip region with sliding decreases with increasing of loading.

Keywords : coefficient of friction, stick-slip friction, tribometer

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir dengan judul “**STUDI EKSPERIMENTAL KEDALAMAN AUS DAN KOEFISIEN GESEK AKIBAT *STICK-SLIP* PADA *RECIPROCATING WEAR***” ini dapat terselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini adalah salah satu mata kuliah wajib pada tahap Sarjana di Jurusan Teknik Mesin. Adanya Tugas Akhir ini tentunya juga akan membekali para mahasiswa yang lain dengan kemampuan deskripsi, analisis, dan sintesis yang berguna dalam penyusunan Tugas Akhir selanjutnya. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasihnya kepada :

1. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E. selaku Dosen Pembimbing Tugas yang selalu memberi bimbingan serta arahan bagi penulis dalam menyelesaikan Akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT.; Bapak Agus Sigit Pramono, Ir., DEA., Dr.; dan Bapak Achmad Syaifudin, ST. selaku dosen penguji yang memberi banyak arahan dan masukan serta kritikan yang sangat membangun.
4. Kedua Orang Tua saya, Retno Widiyanti dan Abdullah Qadar Siregar yang selalu memberikan dukungan baik melalui materil, doa dan semangat, serta sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
5. Saudara Gandung Gistiano Suhartono sebagai rekan kerja dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Teman teman Lab. Mekanika Benda Padat terlebih khusus kepada Santusi, Gandung, Maylaking, Jundi, Satpam, Nabil, Gopels, Citro, Ubed, Tj, Pirmen, Ittang, Aufar, Tito, Sutris, Anas beserta teman-teman yang lain.
7. Rekan-rekan semuanya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan serta dorongannya.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini tentunya tidak luput dari kekurangan dan kelemahan. Untuk itu segala kritikan, saran, sumbangan pikiran apapun untuk perbaikan tugas ini sangat diharapkan dari pembaca. Akhir kata, semoga tugas ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Teori Stick-slip	5
2.2 Koefisien gesek permukaan <i>stick-slip</i>	8
2.3 Stick-slip Friction dan Keausan pada Articular Joints	10
2.4 Keausan (<i>Wear</i>)	11
2.5 Menghitung Keausan	11
2.6 Karakteristik Akrilik.....	12
2.7 Karakteristik <i>Steel</i>	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Langkah-langkah Penelitian	15

3.2	Langkah Kerja Penelitian	18
3.3	Spesifikasi peralatan tribometer	26
3.4	Bagian Utama Dari Tribometer <i>Pin-On-Plate</i>	28
3.5	Spesifikasi Spesimen Uji	28
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Pengujian koefisien gesek	31
4.2	Perhitungan koefisien gesek	31
4.3	Analisa koefisien gesek	33
4.4	Pengujian kedalaman aus.....	35
4.5	Analisa efek <i>stick-slip</i> terhadap perubahan pembebanan	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		xiii
LAMPIRAN.....		xv
BIODATA PENULIS		xxxvii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Pola stick-slip pada beberapa pembebanan.....	5
Gambar 2. 2. Pola stick-slip pada beberapa pembebanan.....	6
Gambar 2. 3. Kurva stick-slip dengan kecepatan yang berbeda....	7
Gambar 2. 4. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 1kg.....	8
Gambar 2. 5. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 3kg.....	9
Gambar 2. 6. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 5kg.....	9
Gambar 2. 7. Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee, Xavier Banquy, dan Jacob N. Israelachvili.....	10
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.....	16
Gambar 3. 2. Dimensi pin.....	18
Gambar 3. 3. Dimensi pelat.....	19
Gambar 3. 4. Tribometer tipe pin on plate.....	19
Gambar 3. 5. Konstruksi tribometer pin-on plate reciprocating..	21
Gambar 3. 6. Free Body Diagram suatu benda.....	22
Gambar 3. 7. Pressure Gauge.....	23
Gambar 3. 8. Slowmotion video menggunakan Kinovea.....	24
Gambar 3. 9. Ekstrak video menjadi gambar per titik.....	24
Gambar 3. 10. Electronic kitchen scale SF-400.....	27
Gambar 3. 11. Kamera.....	27
Gambar 3. 12. Bagian Utama Tribometer Pin-On-Plate.....	28
Gambar 4. 1. hubungan koefisien gesek vs jarak	34
Gambar 4. 2. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 20 N.....	36
Gambar 4. 3. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 30 N.....	37
Gambar 4. 4. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 40 N.....	37
Gambar 4. 5. hubungan koefisien gesek pada daerah stick-slip..	40
Gambar 4. 6. hubungan koefisien gesek pada daerah stick-slip dengan sliding.....	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan Beban 1kg, 3kg dan 5kg.....	9
Tabel 3. 1. Matriks rancangan hasil penelitian	25
Tabel 3. 2. Kedalaman Titik	26
Tabel 4. 10. tabel kedalaman maksimum dan minimum.....	38
Tabel 4.1 1. Tabel efek keausan	39

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tribology adalah salah satu ilmu terapan di bidang teknik mesin yang mempelajari gesekan, keausan dan pelumasan, memberikan kontribusi dalam upaya meminimalkan keausan akibat kontak antara dua permukaan, sehingga dapat diterapkan di industri untuk menganalisa kasus kegagalan atau kerusakan pada komponen mesin

Salah satu fenomena yang terjadi dalam bidang pemesinan adalah fenomena kontak antar komponen. Kontak yang terjadi antar komponen bisa berupa *static contact*, *rolling contact*, atau *sliding contact*. Kontak mekanik (*contact mechanics*) merupakan hal yang penting, karena dapat mempelajari bagaimana struktur topografi permukaan (*asperity*) mengalami deformasi.

Gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang bergesekan dan arahnya berlawanan disebut dengan gaya gesek. Gaya gesek atau *friction* yang terjadi pada benda padat terdiri dari dua jenis, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Jika benda yang mengalami kontak tidak mengalami pergerakan, maka gesekannya disebut dengan gesekan statis. Jika gaya yang dikerjakan cukup untuk menggerakkan benda, maka gerakannya disebut dengan gaya kinetis. Namun, gesekan dapat saja mempunyai gabungan antara statis dan kinetis sehingga dampak yang terjadi pada keausan menjadi sangat besar. Gesekan tersebut adalah *stick-slip friction*. *Stick-slip friction* juga terjadi ketika gerakan suatu benda mencapai kecepatan nol atau diam seketika kemudian bergerak kembali. Fenomena tersebut dapat kita jumpai pada ring piston dengan silinder ruang bakar, pintu geser dengan permukaan tanah, rel tinta printer, dan rel mesin cnc. Oleh karena itu penulis melakukan riset ini agar hasilnya dapat diterapkan sebagai acuan ketika mendisain komponen yang mengalami gesekan *stick-slip*

Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui koefisien gesek dan fenomena *stick-slip* dari sebuah kontak material yang

akan digunakan pada *tribometer reciprocating pin on plate*. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan alat *tribometer* sejauh 1440 m dengan beban 20 N, 30 N, 40 N yang direkam dengan kamera, lalu memplot profil lintasan aus dengan bantuan *dial indicator* dengan cara mengambil kedalaman aus sepanjang lintasan dengan jarak tiap titik pengukuran sebesar 1 mm, kemudian membandingkan keausan daerah *stick-slip* dengan *sliding* menggunakan rasio kedalaman, kemudian menganalisa efeknya. Kemudian mencari nilai koefisien gesek dengan mengekstrak video rekaman alat *tribometer*. Melalui penelitian ini kita dapat mengetahui nilai koefisien gesek dan fenomena yang terjadi pada daerah *stick-slip*.

Pada penelitian ini digunakan material uji *steel* dengan *acrylic*. Hal ini dilakukan karena material ini mudah didapat, banyak digunakan di dunia industri, rumah tangga dan alat kesehatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dampak variasi pembebanan terhadap keausan *stick-slip* dibandingkan dengan keausan *sliding* pada kontak secara *reciprocating*?
2. Bagaimana dampak variasi pembebanan terhadap besar koefisien gesek pada daerah *stick-slip*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dampak variasi pembebanan terhadap keausan *stick-slip* dibandingkan dengan keausan *sliding* pada kontak secara *reciprocating*
2. Mengetahui dampak variasi pembebanan terhadap besar koefisien gesek pada daerah *stick-slip*

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pada saat pengujian kondisi temperatur pada suhu ruangan.
2. Tidak ada material debris yang ikut menambah keausan.
3. Efek panas akibat gesekan diabaikan
4. Material yang diuji adalah *steel* (ST-41)
5. Tidak ada pelumasan
6. Material yang digesekkan adalah *steel* dengan *acrylic*.
7. Besar pembebanan yang digunakan adalah 20 N, 30 N, 40 N
8. Kecepatan diasumsikan konstan

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

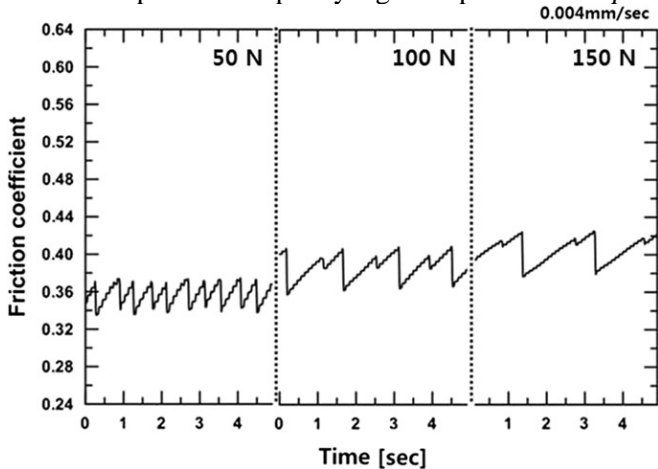
1. Mahasiswa dapat lebih memahami ilmu *tribology*.
2. Dapat memahami fenomena yang terjadi pada daerah *stick-slip*.
3. Dapat memahami pengaruh variasi beban terhadap kedalaman aus pada daerah *stick-slip*
4. Dapat memahami pengaruh variasi beban terhadap kedalaman aus pada daerah *sliding*
5. Mengetahui rasio kedalaman aus antara daerah *stick-slip* dengan *sliding*
6. Dapat menjadi acuan pada penelitian keausan *stick-slip* lebih lanjut
7. Dapat mengetahui nilai koefisien gesek pada *stick-slip friction* yang terjadi secara reciprocating
8. Mengetahui dampak variasi beban terhadap nilai koefisien gesek

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II KAJIAN PUSTAKA

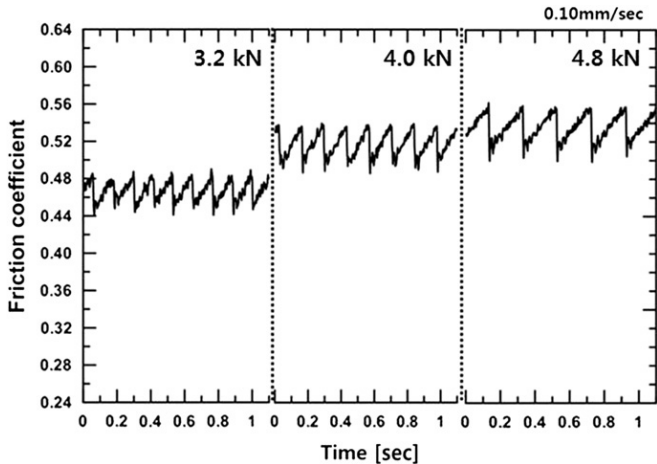
2.1 Teori Stick-slip

Yoon, S.W., dkk. 2012 melaporkan dalam jurnal “*Effect of Surface Contact Conditions on the Stick-Slip Behavior of Brake Friction Material*” bahwa *stick-slip* selama sliding dapat dianalisa pada saat kondisi pembebanan dan juga pada bagian luar permukaan. Hal ini dapat dilihat karena amplitudo dan frekuensi *stick-slip* cenderung menentukan kerusakan secara perlahan. Pada gambar 2.1 menunjukkan grafik osilasi selama terjadinya sliding, hal tersebut memperlihatkan pola yang khas pada *stick-slip*.



Gambar 2. 1. Pola *stick-slip* pada beberapa pembebanan.

Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa intensitas dari *stick-slip* meningkat terhadap fungsi dari beban sedangkan frekuensinya menurun.

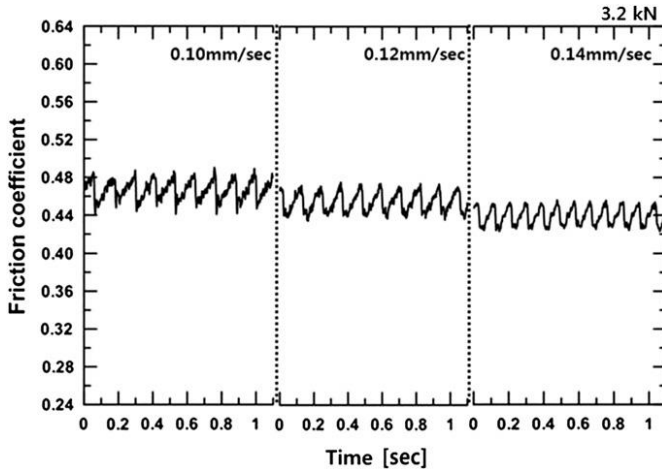


Gambar 2. 2. Pola *stick-slip* pada beberapa pembebanan

Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa kurva *stick-slip* memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan beban. Hal dapat dilihat dari jumlah periode kurva *stick-slip* yang terjadi pada masing-masing pembebanan, pada saat beban 3.2 kN kurva *stick-slip* yang diperoleh lebih banyak bila dibandingkan oleh pembebanan 4.8 kN. Pada pembebanan 4.8 kN dapat dilihat jumlah kurva *stick-slip* lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah kurva *stick-slip* berbanding terbalik dengan fungsi pembebanan. Maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_k = \left[\frac{k.v}{L} \right] \quad (2.1)$$

Dimana μ_k = koefisien gesek kinetic
 v = kecepatan sliding
 k = kekakuan
 L = Beban



Gambar 2. 3. Kurva stick-slip dengan kecepatan yang berbeda

Pada gambar 2.3 menunjukkan bahwa kemiringan kurva *stick-slip* menjadi lebih curam saat kecepatan meningkat. Dari kurva *stick-slip* juga menjelaskan bahwa periode dan intensitas *stick-slip* menjadi lebih kecil dengan meningkatnya kecepatan gesek.

Stick-slip diketahui sebagai penyebab kerusakan secara perlahan. Fenomena *stick-slip* dapat dilihat dari osilasi gesekan pada berbagai beban yang diberikan, tingkat kecepatan dan kondisi permukaan. Sehingga dari fenomena *stick-slip* ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Bidang kontak yang diterima oleh suatu benda meningkat berbanding lurus dengan beban yang diberikan
- Tingkat keausan ditentukan oleh luasan daerah yang terkena gesekan
- Intensitas kurva *stick-slip* akan meningkat saat terjadinya peningkatan beban, tetapi kurva *stick-slip* akan menurun saat kecepatan meningkat
- Besarnya $\Delta\mu$ pada kurva *stick-slip* dipengaruhi oleh pembebanan yang diberikan.

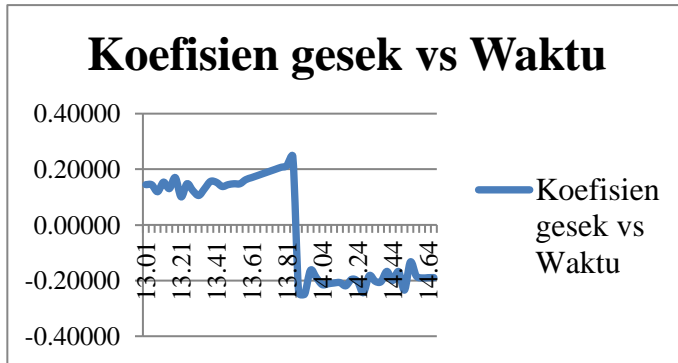
2.2 Koefisien gesek permukaan *stick-slip*

Simatupang,R. 2016 melakukan kajian mengenai tribologi dalam tugas akhirnya dengan judul “Studi eksperimen analisa koefisien gesek pada saat terjadi fenomena *stick-slip friction* pada *reciprocating contact*”. Pada penelitiannya dilakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji koefisien gesek pada permukaan *stick-slip* antara akrilik dengan *steel* pada kondisi *reciprocating contact friction*.

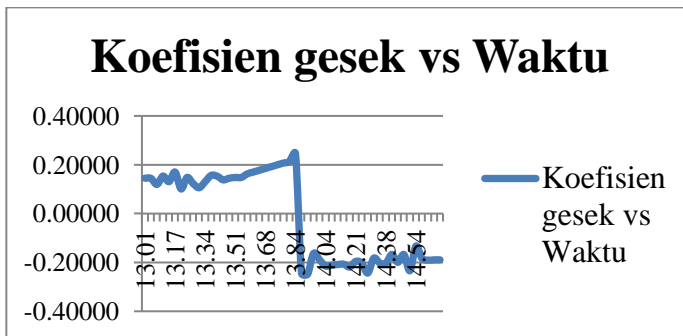
Model pengujian yang dilakukan Ruben dimana pin *steel* melakukan kontak dengan pelat akrilik yang bergerak secara *reciprocating* dengan pembebanan ke arah bawah. Secara garis besar pada penelitian ini dilakukan pengujian tanpa pelumasan (*dry slding*). Masing-masing spesimen uji diberikan jarak tempuh gesekan yang sama, yaitu sejauh $s = 10$ cm dengan 3 variasi pembebanan (1 kg, 2 kg, dan 5 kg), dan dengan *sliding speed* 130 mm/s. Berikut ini adalah hasil dari pengujian keausan yang dilakukan Ruben.



Gambar 2. 4. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 1kg



Gambar 2. 5. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 3kg



Gambar 2. 6. Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu pada beban 5kg

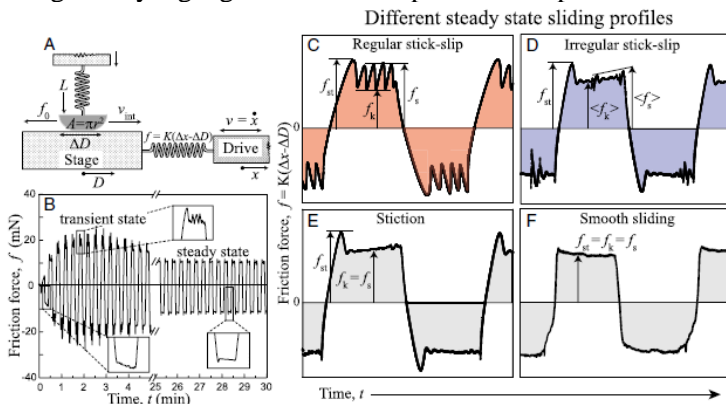
Tabel 2. 1. Perbandingan Beban 1kg, 3kg dan 5kg

	Waktu	Gaya	Koefisien Gaya Gesek
Beban 1kg	0,5	4N - 7 N	0,16 - 0,23
Beban 3kg	0,57	6 N - 7 N	0,16 - 0,24
Beban 5kg	1,07	10 - 12 N	0,2 - 0,27

2.3 Stick-slip Friction dan Keausan pada Articular Joints

Dong Woog Lee, Xavier Banquy, dan Jacob N. Israelachvili pada tahun 2012 di Universitas California, melakukan penelitian mengenai *stick-slip friction* dan keausan yang terjadi pada sendi articular. Fenomena *stick-slip friction* diobservasi pada tulang rawan articular dengan variasi pembebanan dan *sliding conditions*. Observasi tersebut dilakukan menggunakan alat ukur yaitu, *Surface Forces Apparatus*. Pada alat tersebut ditunjukkan bahwa *stick-slip friction* dapat menyebabkan perubahan morfologis secara permanen, yaitu perubahan pada kekasaran permukaan yang mengindikasikan keausan atau kerusakan.

Hasil dari percobaan dengan variasi pembebanan dan kecepatan direpresentasikan pada *friction maps* yang terdapat pada Gambar 2.10. Pada *friction maps* tersebut, dibedakan antara *smooth sliding* dan *stick-slip sliding*. Dari hasil yang terlihat mengindikasikan bahwa pada umumnya kerusakan terjadi pada saat fenomena *stick-slip* berlaku. Hal tersebut dibuktikan dengan peningkatan yang signifikan terhadap kekasaran permukaan.



Gambar 2. 7. Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee, Xavier Banquy, dan Jacob N. Israelachvili

Terdapat 3 kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini, yaitu keausan tidak berhubungan langsung terhadap koefisien gesek, akan tetapi lebih berhubungan langsung terhadap *stick-slip sliding* meskipun diterapkan pada amplitudo yang kecil. Kemudian molekular komponen sendi yang berbeda dapat secara bersinergi mencegah keausan.

2.4 Keausan (*Wear*)

Keausan (*Wear*) adalah kerusakan pada permukaan atau hilangnya material dari satu atau kedua permukaan benda padat pada saat terjadi gesekan, perputaran atau efek dari gerakan relatif antara satu sama lain. Pada umumnya, keausan terjadi antara permukaan yang berinteraksi pada *asperities*. *Asperities* merupakan istilah yang dikenalkan oleh Coulomb yang mempunyai makna berupa ketidakteraturan mikroskopis pada permukaan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap aksi mekanis (gesekan). Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari benda yang aus akan berkurang karena perubahan dimensi dari benda tersebut.

2.5 Menghitung Keausan

Dalam mendeterminasikan keausan, teknik pengukuran yang berbeda dapat digunakan. Hal tersebut disebabkan oleh volume keausan, V , yang dapat diasumsikan merupakan fungsi dari *sliding distance*, L , kekerasan dari material yang lebih lunak, H , pembebanan yang diberikan, W , dan *sliding velocity*, \tilde{V} (persamaan 2.11).

$$V = f(L, W, H, \tilde{V}) \quad (2.2)$$

Berdasarkan standar German DIN 50321, “*Wear-quantities*”, keausan dapat dideteksi dengan mengukur secara langung kuantitas keausan, yaitu dengan mengukur:

- a. Perubahan geometri pada spesimen:
- b. Perubahan pada dimensi secara linier
- c. Perubahan pada *cross-sections*
- d. Perubahan pada volume
- e. Perubahan massa pada spesimen
- f. Jumlah dari *worn material-loss*

Atau dengan mengukur kuantitas keusan secara relatif, yaitu *wear rates* sebagai berikut:

- g. *The wear-time-ratio (wear velocity)*
- h. *The wear-distance-ratio*

Atau dengan mengukur *wear coefficient* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K' = \frac{\text{wear volume}}{\text{load} \cdot \text{distance}} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}} \right) \quad (2.3)$$

Atau dengan mengukur *dimensionless Archard's wear coefficient* yang didefinisikan sebagai berikut:

$$K = \frac{\text{wear volume} \cdot \text{hardness}}{\text{load} \cdot \text{distance}} \quad (2.4)$$

2.6 Karakteristik Akrilik

Akrilik adalah jenis plastik yang transparan, fleksibel, dan menunjukkan ketahanan yang besar terhadap kerusakan. Acrylic merupakan bahan yang sangat baik untuk digunakan dalam tempat kaca untuk jendela, pintu, partisi, dll. Memiliki berat yang ringan, setengah dari berat kaca dengan dimensi yang sama, dan hampir tidak terpengaruh oleh alam. transparansi akrilik, gloss dan bentuk dimensi yang hampir tidak terpengaruh oleh waktu, semprotan garam atau atmosfer korosif. Bahan ini dapat menerima paparan cahaya dari lampu neon tanpa menggelap atau memburam. Namun akan dapat memburam apabila terkena paparan sinar UV dengan intensitas tinggi diatas 265 nm. Tahan pada suhu -40 F sampai 180

F. Mudah di fabrikasi, karena dapat digergaji, dibor, diampelas dan dipoles. Aplikasi dari akrilik adalah jendela, *display*, nampan, model mesin.

2.7 Karakteristik Steel

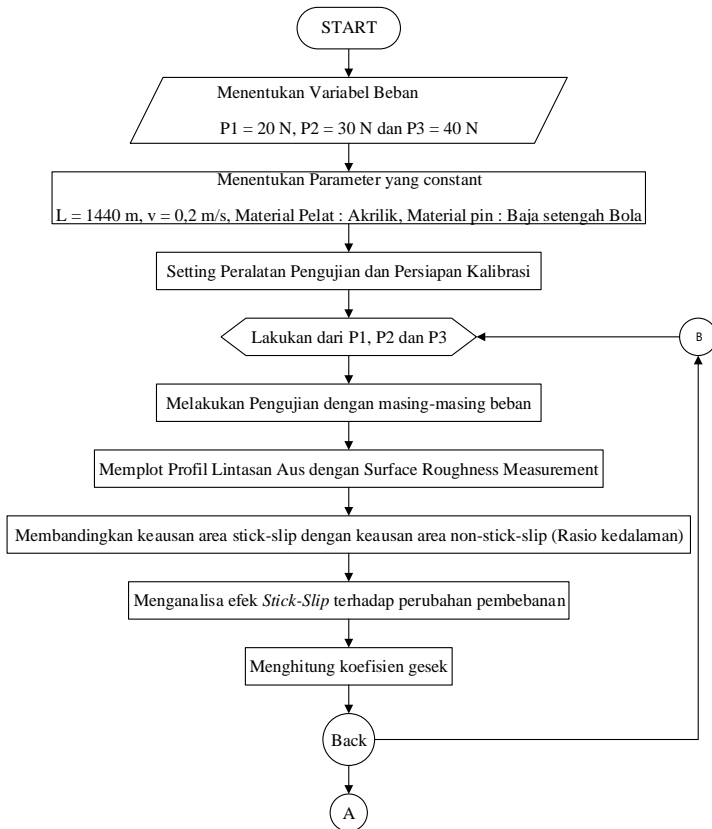
Merupakan baja *alloy* tinggi yang mengandung paling sedikitnya 12% *Chromium* (Cr). Semakin tinggi kandungan *Chromium* (Cr), makin tinggi ketahanan korosinya (*Corrosion Resistance*). Pada saat ini telah tersedia beraneka ragam jenis material *Steel* dengan sifat yang berbeda, misalnya keuletan pada temperature tinggi. Sifat yang terpenting tentu saja adalah ketahanan korosi (*corrosion resistance*) pada berbagai keadaan lingkungan yang berbeda. Sifat *Steel* menjadi beraneka ragam dengan adanya komposisi kimia yang menentukan mikrostrukturnya.

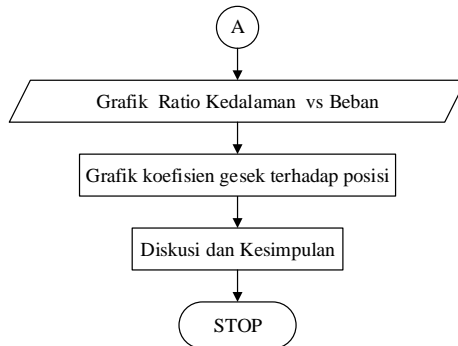
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Langkah-langkah Penelitian

Pada penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian adalah pengujian secara eksperimen, yaitu pengambilan secara langsung dari specimen yang telah di uji menggunakan *Surface Roughness Measurement*, pembuatan grafik dan pengamatan struktur fisik. Secara umum metodologi penelitian dapat dijabarkan pada diagram alir sebagai berikut:





Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan dalam melakukan penelitian. Setiap tahapan tersebut, bisa dijelaskan seperti dibawah ini

1. Menentukan variable beban

Langkah awal didalam penelitian ini adalah menentukan variable beban yang akan digunakan pada pengujian yaitu 20 N, 30 N, dan 40 N

2. Menentukan parameter yang constant

parameter konstan pada penelitian ini yaitu $L = 1440$ m, *sliding speed* 0,1 m/s, material pelat yang digunakan adalah akrilik, dan material pin yang digunakan adalah baja setengah bola

3. Setting peralatan pengujian dan persiapan kalibrasi

Alat uji tribometer adalah alat yang berfungsi untuk mengetahui laju keausan dari suatu material yang melakukan kontak. Data yang diinginkan dari penelitian ini adalah data yang akurat, sehingga akan dilakukan kalibrasi ulang dari setiap komponen yang ada pada alat tribometer. Persiapan yang dilakukan meliputi pengaturan kecepatan dan kalibrasi dengan bantuan kamera video dan software kinovea, kemudian pengaturan pembebanan dan kalibrasi dengan bantuan timbangan digital.

4. Melakukan pengujian dengan masing-masing beban
Pengambilan data akan dilakukan sesuai dengan flowchart penelitian pada gambar 3.1. Secara garis besar penelitian akan dilakukan selama tiga kali, yaitu penelitian dengan pembebanan 20 N, 30 N, 40 N.
5. Memplot profil lintasan aus dengan dial indicator
setelah pelat diuji pada alat tribometer, maka pelat akan dilakukan pengujian pada alat dial indicator untuk mendapatkan profil lintasan aus pada daerah yang telah diuji dengan alat tribometer
6. Membandingkan keausan area stick-slip dengan keausan area sliding (Rasio kedalaman)
data profil lintasan yang didapat setelah melakukan pengujian dengan *dial indicator* diambil 2 titik kedalaman yaitu pada titik *stick-slip* dan pada titik *sliding*. Kemudian data kedalaman tersebut di bandingkan
7. Menganalisa efek *Stick-Slip* terhadap perubahan pembebanan
efek *stick-slip* yang dianalisa pada hal ini adalah dimensi dan posisi keausan *stick-slip*
8. Menghitung koefisien gesek yang terjadi pada lintasan
9. Ulangi dari langkah 4 untuk p2 dan p3
10. Grafik ratio kedalaman vs beban
Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik hubungan rasio kedalaman dengan besar beban dan dilakukan analisa dan pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.
11. Grafik koefisien gesek terhadap posisi

Koefisien gesek yang telah dihitung pada langkah 8 disajikan dalam bentuk grafik terhadap posisi

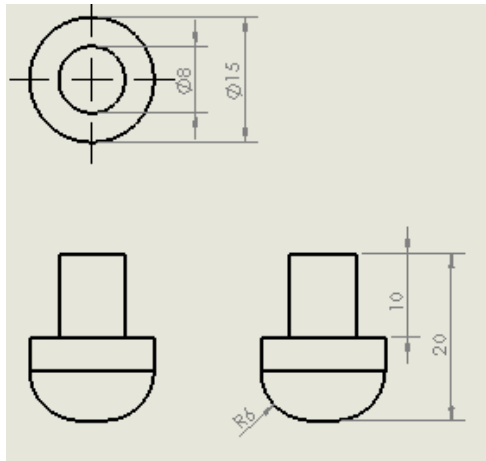
12. Diskusi dan kesimpulan

Menyimpulkan keseluruhan penelitian dari data yang didapat berdasarkan teori yang ada.

3.2 Langkah Kerja Penelitian

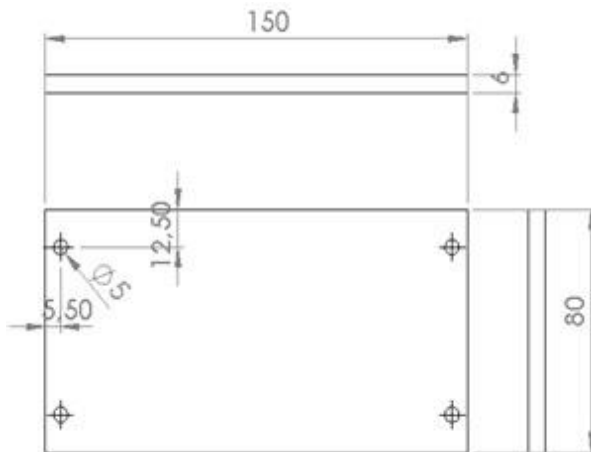
Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah kerja sebagai studi eksperimental, yaitu:

1. Melakukan studi pustaka sebagai dasar-dasar teori yang akan digunakan didalam melakukan penelitian Tugas Akhir ini
2. Mempersiapkan spesimen sebagai bahan uji dari penelitian. Spesimen terdiri dari dua jenis material, yaitu Akrilik sebagai pelat dan stainless steel sebagai pin. Untuk lebih memperjelas persiapan spesimen akan dijelaskan sebagai berikut:
 - a) Pin spesimen, dengan bentuk setengah bola pejal dengan material stainless steel. Dimensi pin dilihat pada gambar 3.2. Satuan dari dimensi ini adalah mm.



Gambar 3. 2. Dimensi pin

- b) Membuat pelat dengan bahan akrilik dengan dimensi pelat bisa dilihat pada Gambar 3.3. Satuan dari dimensi ini adalah mm



Gambar 3. 3. Dimensi pelat

3. Mempersiapkan alat uji tribometer tipe *pin on plate*. Dimana pada tahap ini dilakukan kalibrasi dari kecepatan sliding, besar pembebanan. Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada Gambar 3.4. dibawah ini.



Gambar 3. 4. Tribometer tipe pin on plate

Untuk lebih memperjelas persiapan alat uji tribometer akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Kalibrasi kecepatan

Dalam *software Kinovea* video yang di rekam selama sekali siklus reciprocating detik dalam pengujian dapat di diekstrak menjadi per frame-frame untuk menunjang perhitungan percepatan dan gaya dari pneumatic. Sebagai contoh video tribometer yang dijalankan sekali siklus reciprocating dapat di perlambat menjadi 240—frame/detik. Setelah itu didapatkan berapa jumlah frame yang dibutuhkan tribometer untuk satu kali siklus reciprocating. Dari data yang didapat dapat diolah untuk mendapatkan besar kecepatan yang terjadi.

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai kecepatan :

1. Meng-ekstrak video berdurasi satu lintasan reciprocating untuk mendapatkan waktu yang dibutuhkan antara ujung lintasan dengan menggunakan *tool stopwatch*.
2. Mencari Kecepatan satu siklus

$$\text{Kecepatan (V)} = \frac{(S)}{T}$$

Dimana: S = Jarak lintasan (133 mm)

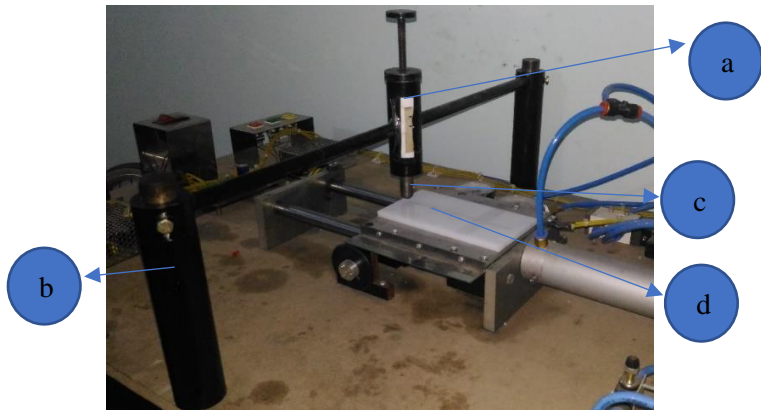
T = Waktu per siklus

Dari sini kecepatan diatur hingga sesuai dengan cara memutar katup udara pneumatik

2. Kalibrasi pembebanan dilakukan dengan cara ujung pin ditempelkan dengan timbangan kemudian beban diatur sesuai keinginan kemudian dikalikan dengan besar gaya gravitasi hingga didapatkan beban sebesar 20 N, 30 N, 40 N.

jika angka pada timbangan sudah menunjukkan angka yang sesuai maka pada beban di beri tanda

3. Melakukan pengecekan dan penyettingan tiap-tiap komponen yang ada. Bagian-bagian dari Tribometer yang digunakan bisa dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5. Konstruksi tribometer pin-on plate reciprocating

Keterangan Gambar :

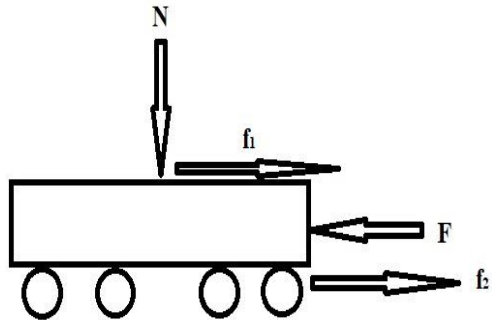
- a. *Load adjuster*, berfungsi untuk mengatur beban yang akan diberikan pada benda kerja.
 - b. Tiang *hold pin with flexible mounting* berfungsi sebagai holder bagi load control.
 - c. *Hold pin with lock* berfungsi sebagai holder untuk pin atau benda yang akan diuji.
 - d. Pelat yang akan bergerak secara translasi dan akan kontak dengan pin. Pelat ini terbuat dari *stainless steel*.
 - e. Kamera digital berfungsi untuk merekam proses pengujian
4. Pengujian 1 menggunakan pembebanan 20 N, dengan *sliding speed* 0,1m/s dengan panjang lintasan 133 mm

5. Pengujian 2 menggunakan pembebanan 30 N, dengan *sliding speed* 0,1m/s dengan panjang lintasan 133 mm
6. Pengujian 3 menggunakan pembebanan 40 N, dengan *sliding speed* 0,1m/s dengan panjang lintasan 133 mm
7. Menghitung koefisien gesek yang terjadi sepanjang lintasan

Secara matematis, Hukum Newton II dapat dituliskan :

$$\Sigma F = m \cdot a \quad 3.1$$

Keterangan (satuan) : ΣF = resultan gaya (Kg m/s²)
 m = Massa Benda (Kg)
 a = percepatan (m/s²)



Gambar 3. 6. Free Body Diagram suatu benda

$$\begin{aligned} \Sigma F &= m \cdot a \\ F - f_1 - f_2 &= m \cdot a \\ \mu &= (F - (m \cdot a)) / N \end{aligned} \quad 3.2$$

dimana : $F = \mu \cdot N$
 f_2 diasumsikan 0

Pada penelitian ini, alat uji yang di jalankan direkam oleh kamera fungsinya untuk merekam pressure gauge dan perpindahan pin terhadap specimen. Dengan rekaman tersebut nanti akan di gunakan untuk mengetahui perpindahan dan gaya per setiap waktu.

Dalam perhitungan :

- Pressure Gauge

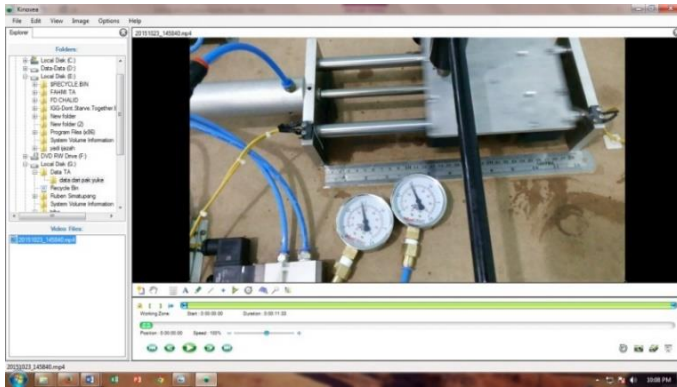


$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Gambar 3. 7. *Pressure Gauge*

Pengolahan Data Untuk Mengetahui Percepatan

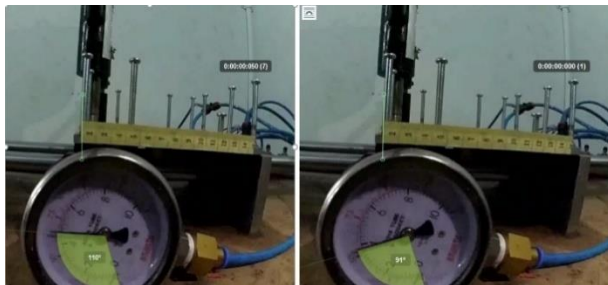
Dalam *software kinovea* video yang di rekam sepanjang satu lintasan dalam pengujian dapat di diekstrak menjadi gambar per titik untuk menunjang perhitungan percepatan dan gaya dari pneumatic. Sebagai contoh *video* sepanjang lintasan dapat di perlambat menjadi 240 frame/detik untuk menambah akurasi pengambilan data. Kemudian klik *start stopwatch* untuk memulai penghitungan waktu



Gambar 3. 8. *Slowmotion* video menggunakan *Kinovea*

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai percepatan per titik :

1. Menjalankan *mode slowmotion video* sepanjang satu lintasan kemudian memulai penghitungan *stopwatch*. Pada tiap titik dilakukan *capture video* untuk menyimpan data tekanan *pressure gauge* dan *stopwatch*, sehingga untuk lintasan sepanjang 133 mm terdapat 133 *capture data*.
- 2.



Gambar 3. 9. Ekstrak video menjadi gambar per titik

3. Mencari Kecepatan per Titik

Untuk mencari kecepatan setiap frame didapat dengan cara:

$$\text{Kecepatan (V)} = \frac{(S_1)}{T_1} \quad 3.3$$

Dimana: S_1 = Jarak titik 1 ke titik 2

T_1 = Waktu per titik (didapat dari *tool stopwatch*)

4. Mencari Percepatan (a) per frame

$$\text{Percepatan (a)} = \frac{(\Delta V)}{\Delta T} \quad 3.4$$

Dimana : ΔV = Perubahan kecepatan $V_2 - V_1$

ΔT = Selisih waktu dari titik 1 ke titik 2

Kemudian setelah dilakukan pengujian, Hasil dari pengamatan data tersebut dimasukkan ke dalam table 3.1 berikut ini :

Tabel 3. 1. Matriks rancangan hasil penelitian

Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge
0		
1		
...133		

8. Melakukan plot profil lintasan aus yang telah diuji, di laboratorium pperancangan dan pengembangan produk s1 teknik mesin ITS untuk mengetahui profil keausan dari material yang mengalami kontak dengan menggunakan *dial indicator*. Dilakukan pengukuran kedalaman dari setiap titik dengan jarak tiap titik 1 mm, kemudian dicatat pada tabel 3.2.

Tabel 3. 2. Kedalaman Titik

beban	kedalaman per titik									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...130
20 N										
30 N										
40 N										

9. Mengolah data hasil pengujian dengan membandingkan keausan area *stick-slip* dengan keausan area *sliding* (Rasio kedalaman) dan menganalisa efek *stick-slip* terhadap perubahan pembebanan lalu disajikan dalam bentuk grafik ratio kedalaman vs beban dan menganalisa grafik tersebut. Kemudian membuat pembahasan dari grafik serta struktur permukaan yang ada pada spesimen. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori-teori yang ada.

3.3 Spesifikasi peralatan tribometer

Spesifikasi alat tribometer *pin-on-plate* yang telah didesain pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Maximum Normal Load : 49.05 N
- Sliding distance : 10 m
- Stroke Length (actuator) : 13 cm
- Linier Speed : 1000 mm/s
- Diameter Specimen *Pin* : 15 mm
- Dimensi Specimen plat uji : 150 mm x 80 mm x 6 mm
- Bahan Pin : *Steel*
- Bahan Plat : *Acrylic*

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- a. alat ukur beban yang digunakan electronic kitchen scale merek sf original tipe sf-400.



Gambar 3. 10. *Electronic kitchen scale SF-400*

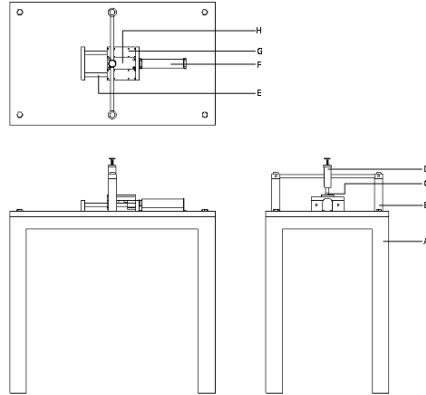
- Capacity : 7000g
 - Akurasi : 1g
- b. Alat ukur kecepatan sliding menggunakan kamera xiaomi yi dan software kinovea



Gambar 3. 11. *Kamera*

- Frame per second : 240fps

3.4 Bagian Utama Dari Tribometer *Pin-On-Plate*



Gambar 3. 12. Bagian Utama *Tribometer Pin-On-Plate*

Keterangan gambar:

- A = Meja
- B = *Metal main holder*
- C = *Spesimen pin*
- D = *Load adjuster*
- E = *Slider*
- F = *Actuator cylinder double acting*
- G = *Specimen Base*
- H = *Spesimen pelat*

3.5 Spesifikasi Spesimen Uji

1. *Acrylic*

- Nama Material : *Acrylic*
- *Density* : 1.15 - 1.19 g/cc
- *Konduktivitas Thermal* : 0.19 W/mK
- *Tensile Strength, Ultimate* : 4400-14500 psi
- *Coefficient of Friction* : 0,3- 0,4

- *Elongation* : 5 %
- *Modulus of Elasticity* : 400.000 psi
- *Melting Point* : 180-250 °C

2. *Steel ST41*

- *Nama Material* : *Steel ST41*
- *Density* : 7870 kg/m³
- *Tensile Strength, Ultimate* : 485000000 MPa
- *Coefficient of Friction* : 0,4- 0,5
- *Modulus of Elasticity* : 2 x 10¹¹ GPa

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas dan menganalisa hasil eksperimen antara *acrylic* dengan *Steel ST-41*. Pembahasan yang dilakukan yaitu meliputi, analisa kedalaman aus dan koefisien gesek pada daerah yang mengalami *Stick-slip Friction* dan *sliding friction*.

4.1 Pengujian koefisien gesek

Pengujian koefisien gesek dilakukan dengan cara menggesekan *steel ST41* dengan *acrylic* secara bolak balik dan tanpa pelumasan kemudian lintasan gesek direkam dengan kamera video kemudian perubahan waktu dan tekanan *pneumatic* di ekstrak menggunakan *software Kinovea*. Hasil dari ekstraksi video bisa dilihat pada Tabel 4.1- 4.3 berikut ini :

Tabel 4.1 Data ekstraksi perubahan waktu dan tekanan *pneumatic* dengan beban 20 N

Terdapat dilampiran

Tabel 4.2 Data ekstraksi perubahan waktu dan tekanan *pneumatic* dengan beban 30 N

Terdapat dilampiran

Tabel 4.3 Data ekstraksi perubahan waktu dan tekanan *pneumatic* dengan beban 40 N

Terdapat dilampiran

4.2 Perhitungan koefisien gesek

Data yang didapatkan pada pengujian dengan beban 20N:

Waktu	: T1 = 0,05 detik T2 = 0,075 detik T3 = 0,125 detik
Jarak	: X1 = 0,001 m X2 = 0,002 m X3 = 0,003 m
Pressure	: 397774.6154 N/m ²
Fpressure	: 61.20160232 N
Fnormal	: 20N

Ditanyakan : Koefisien Gesek?

Analisis :

$$\begin{aligned} \text{Perubahan Waktu } \Delta T_{2-1} &= 0,075 - 0,05 \\ &= 0,025 \text{ s} \\ \Delta T_{3-2} &= 0,125 - 0,075 \\ &= 0,05 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perubahan Jarak } \Delta S_{2-1} &= 0,002 - 0,001 \\ &= 0,001 \text{ m} \\ \Delta S_{3-2} &= 0,003 - 0,002 \\ &= 0,001 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan (V}_{2-1}\text{)} &= \frac{\Delta S(2-1)}{\Delta t(2-1)} \\ &= 0,001 \text{ m} / 0,025 \text{ s} \\ &= 0,04 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan (V}_{3-2}\text{)} &= \frac{\Delta S(3-2)}{\Delta t(3-2)} \\ &= 0,001 \text{ m} / 0,05 \text{ s} \\ &= 0,02 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Percepatan (a)} &= V_{3-2} - V_{2-1} / \Delta t_{3-2} \\ &= (0,02 - 0,04) / (0,025) \\ &= -0,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Lalu Persamaan Newton II :

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

$$F - f = m \cdot a \quad \text{dimana : } F = \mu \cdot N$$

$$\mu = (F - (m \cdot a)) / N$$

$$\mu = (61.20160232 \text{ N} - (1.3480075 \text{ Kg} \cdot 0,8 \text{ m/s}^2)) / 20 \text{ N}$$

$$\mu = 3.00616$$

hasil perhitungan koefisien gesek dapat dilihat pada table 4.4 – 4.6 berikut ini:

Tabel 4.4 Data perhitungan koefisien gesek dengan beban 20 N

Terdapat dilampiran

Tabel 4.5 Data perhitungan koefisien gesek dengan beban 30 N

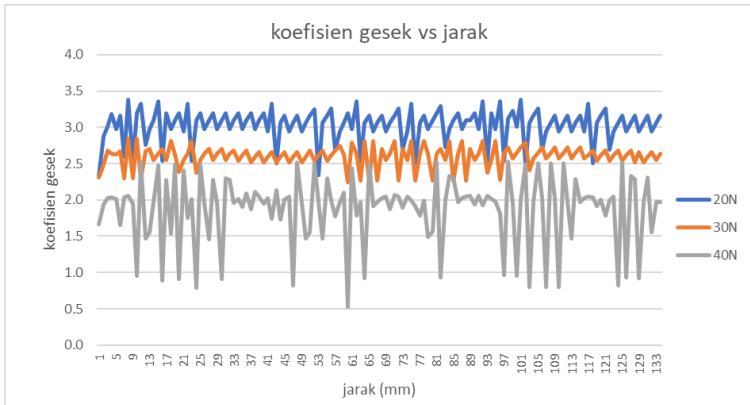
Terdapat dilampiran

Tabel 4.6 Data perhitungan koefisien gesek dengan beban 40 N

Terdapat dilampiran

4.3 Analisa koefisien gesek

Hasil perhitungan data kecepatan, percepatan, dan koefisien gesek yang sudah dilakukan kemudian akan dianalisa ke dalam bentuk grafik untuk dapat dilihat perbandingan antara tiap pembebanan dan yang berbeda-beda. Dari grafik tersebut dapat dilakukan analisa perbandingan antara teori dengan hasil eksperimen. Grafik fungsi μ terhadap jarak pada pembebanan 20N, 30N, 40N dengan grafik di tunjukan pada Gambar 4.8



Gambar 4. 1. hubungan koefisien gesek vs jarak

Grafik pada gambar 4.1 merupakan grafik yang membandingkan besar koefisien gesek pada setiap titik dengan pembebanan 20N, 30N, 40N. pada *trendline* warna biru menunjukkan hubungan antara besar koefisien gesek dengan posisi untuk pembebanan 20N, kemudian *trendline* berwarna oranye menunjukkan hubungan antara besar koefisien gesek dengan posisi untuk pembebanan 30N, lalu *trendline* warna abu-abu menunjukkan hubungan antara besar koefisien gesek dengan posisi untuk pembebanan 40N. Pada grafik tersebut ditampilkan besarnya koefisien gesek sebagai sumbu vertikal dan besar perubahan posisi dengan satuan mm sebagai sumbu horizontal. Pada grafik tersebut, dibandingkan harga koefisien gesek dari 133 titik yang berbeda.

Pada grafik koefisien gesek dengan pembebanan 20N terlihat bahwa koefisien gesek pada titik 0 sebesar 2.32566 mengalami kenaikan secara tajam hingga titik 4 sebesar 3,17884 kemudian pada titik 6 hingga titik 24 nilai koefisien gesek naik dan turun secara tidak beraturan lalu naik dan turun secara konstan hingga titik 41. Pada titik 42 hingga titik 107 kembali mengalami kenaikan dan penurunan nilai koefisien gesek secara tidak teratur lalu sempat teratur kembali hingga titik 116 sebelum kembali

menjadi tidak teratur hingga titik 123, dan pergerakan kenaikan dan penurunan koefisien gesek kembali terjadi hingga titik 133

Pada grafik koefisien gesek dengan pembebanan 30N terlihat bahwa pada titik 0 hingga titik 25 nilai koefisien gesek naik dan turun secara tidak beraturan kemudian perubahan nilai koefisien gesek cenderung teratur hingga titik 52. Pada titik 56 hingga 105 nilai koefisien gesek kembali naik dan turun secara tidak beraturan, setelah itu cenderung teratur hingga titik 133

Pada grafik koefisien gesek dengan pembebanan 40N terlihat bahwa dari titik 0 hingga titik 10 nilai koefisien gesek naik dan turun secara perlahan kemudian grafik mulai naik dan turun secara drastis hingga titik 33 dan kembali berubah secara perlahan hingga titik 45. Pada titik 46 hingga 66 grafik kembali mengalami kenaikan dan penurunan yang drastic kemudian cenderung turun secara perlahan hingga titik 79. Pada titik 80 sampai 87 grafik sempat naik dan turun secara tajam sebelum kembali turun secara perlahan hingga titik 96. Antara titik 96 dan 115 nilai koefisien gesek naik dan turun secara tajam sebelum kembali perlahan menurun hingga titik 123, kemudian naik dan turun secara tajam kembali hingga titik 133

4.4 Pengujian kedalaman aus

Pengujian kedalaman aus dilakukan dengan cara menggesekan *Steel ST41* dengan Acrylic secara bolak balik dan tanpa pelumasan kemudian lintasan gesek diukur dengan menggunakan *dial indicator*. Hasil dari pengujian kedalaman aus pada *Steel ST41* dan acrylic tanpa menggunakan pelumas (*Dry Sliding*) bisa dilihat pada Tabel 4.7-4.9 berikut ini :

Tabel 4.7 Data pengukuran kedalaman aus dengan beban 20 N

Terdapat dilampiran

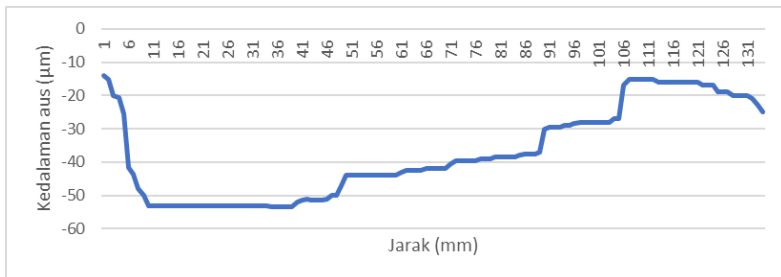
Tabel 4.8 Data pengukuran kedalaman aus dengan beban 30 N

Terdapat dilampiran

Tabel 4.9 Data pengukuran kedalaman aus dengan beban 40 N

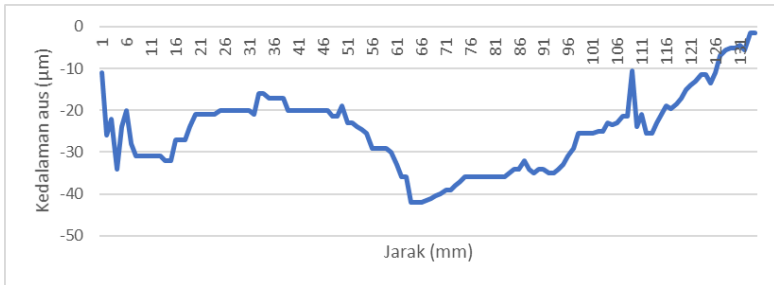
Terdapat dilampiran

Dari data terlampir diatas dapat disajikan dalam bentuk diagram kedalaman vs posisi seperti dapat dilihat pada diagram 4.1-4.3 berikut ini:



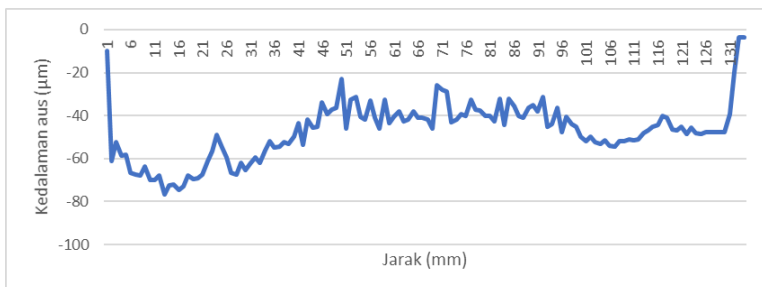
Gambar 4. 2. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 20 N

Pada gambar 4.2 kedalaman aus yang terjadi pada akibat pengujian dengan pembebanan 20 N cenderung fluktuatif. Pada titik 0-12 kedalaman aus cenderung menurun drastis dari -14 μm hingga -19 μm kemudian kedalaman aus cenderung stabil hingga titik 39 dan kedalaman aus kembali naik perlahan pada titik 39 – 47. Pada titik 47-59 terjadi kenaikan kedalaman yang cukup drastis dari -50 μm hingga -44 μm kemudian terus naik secara perlahan hingga titik 89 dengan kedalaman aus sebesar -30 μm lalu kembali naik dengan tajam hingga kedalaman -29,5 μm pada titik 90. Grafik naik secara perlahan pada titik 90 – 105 dengan kedalaman aus sebesar -29,5 μm hingga -17 μm, kemudian grafik kembali turun secara perlahan hingga titik 133 sebesar -25 μm.



Gambar 4. 3. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 30 N

Pada grafik 4.3 diatas terlihat kedalaman aus yang terjadi pada akibat pengujian dengan pembebanan 30 N cenderung fluktuatif. Pada titik 0 sebesar $-14 \mu\text{m}$ sampai 4 sebesar $-34 \mu\text{m}$ kedalaman aus menurun dengan tajam, diikuti dengan kenaikan yang tajam pada titik 4 sampai 6 sebesar $-20 \mu\text{m}$. Pada titik 6-9 kedalaman turun dengan tajam hingga $-31 \mu\text{m}$ kemudian naik secara perlahan hingga titik 34 sebesar $-16 \mu\text{m}$. pada titik 34-65 kedalaman menurun secara perlahan hingga $-42 \mu\text{m}$. titik 70-108 terjadi kenaikan secara perlahan hingga $-21,5 \mu\text{m}$ diikuti dengan kenaikan drastic hingga titik 109 sebesar $-10,5 \mu\text{m}$, dilanjutkan dengan penurunan secara drastis hingga titik 113 sebesar $-25,5 \mu\text{m}$. pada titik 113-133 grafik mengalami kenaikan secara perlahan hingga kedalaman $-1,5 \mu\text{m}$



Gambar 4. 4. hubungan kedalaman vs posisi pada pembebanan 40 N

Pada grafik 4.4 diatas terlihat kedalaman aus yang terjadi pada akibat pengujian dengan pembebanan 40 N cenderung fluktuatif. Pada titik 0 sebesar $-10\ \mu\text{m}$ mengalami penurunan secara drastis hingga titik 2 sebesar $-61\ \mu\text{m}$ kemudian turun secara perlahan hingga titik 13 sebesar $-76,5\ \mu\text{m}$ kemudian naik kembali secara perlahan hingga titik 24 sebesar $-49\ \mu\text{m}$ lalu turun secara tajam hingga titik 28 sebesar $-67,5\ \mu\text{m}$. pada titik 28 – 50 terjadi kenaikan grafik secara perlahan hingga kedalaman $-23\ \mu\text{m}$ lalu turun kembali secara perlahan hingga titik 69 sebesar $-46\ \mu\text{m}$, kemudian terjadi kenaikan secara tajam hingga titik 71 sebesar $-28\ \mu\text{m}$. pada titik 71 hingga 107 terjadi penurunan secara perlahan sebesar $-54,5\ \mu\text{m}$, kemudian naik secara perlahan hingga titik 118 sebesar $-41\ \mu\text{m}$. pada titik 118 hingga 130 terjadi penurunan secara perlahan sebesar $-47,5\ \mu\text{m}$, dilanjutkan dengan kenaikan secara drastis hingga titik 133 sebesar $-3,5\ \mu\text{m}$.

4.5 Analisa efek *stick-slip* terhadap perubahan pembebanan

Untuk menganalisa efek *stick-slip* terhadap perubahan pembebanan maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan titik *stick-slip* dan titik *sliding* dengan asumsi titik terdalam pada lintasan gesek disebabkan oleh gesekan *stick-slip* dan titik terendah pada lintasan gesek hanya disebabkan oleh gesekan *sliding*

Titik terdalam dan titik terendah pada masing-masing pembebanan dapat dilihat pada tabel 4.10. berikut ini:

Tabel 4. 10. tabel kedalaman maksimum dan minimum

	20N	30N	40N
titik terdalam (μm)	-53.5	-42	-76.5
titik terendah (μm)	-14	-1.5	-3.5

Untuk posisi titik terdalam dan titik terendah dapat dilihat pada tabel 4.1-4.3

1. Efek keausan akibat gesekan *stick-slip* terhadap gesekan *sliding* pada pembebanan yang berbeda

Efek keausan akibat gesekan *stick-slip* terhadap gesekan *sliding* didapatkan dari selisih kedalaman titik gesekan *stick-slip* terdalam dengan titik gesekan *sliding*, seperti dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah:

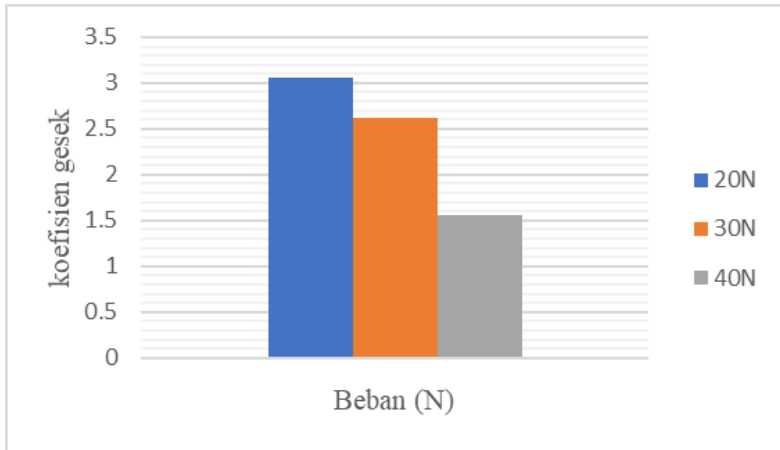
Tabel 4.1 1. Tabel efek keausan

	20N	30N	40N
titik gesekan <i>stick-slip</i> (μm)	-53.5	-42	-76.5
titik gesekan <i>sliding</i> (μm)	-14	-1.5	-3.5
selisih kedalaman	-39.5	-40.5	-73

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa selisih kedalaman titik gesekan *stick-slip* dan titik gesekan *sliding* pada pembebanan 20 N lebih kecil daripada pembebanan 30 N, 30 N lebih kecil daripada 40 N. sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar pembebanan maka besar keausan yang ditimbulkan oleh gesekan *stick-slip* semakin besar.

2. Koefisien gesek pada daerah *stick-slip* terhadap perubahan pembebanan

Nilai koefisien gesek pada daerah *stick-slip* didapatkan dari rata-rata nilai koefisien gesek pada titik gesekan *stick-slip*. Pengaruh perubahan beban pada nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* dapat dilihat pada grafik berikut:

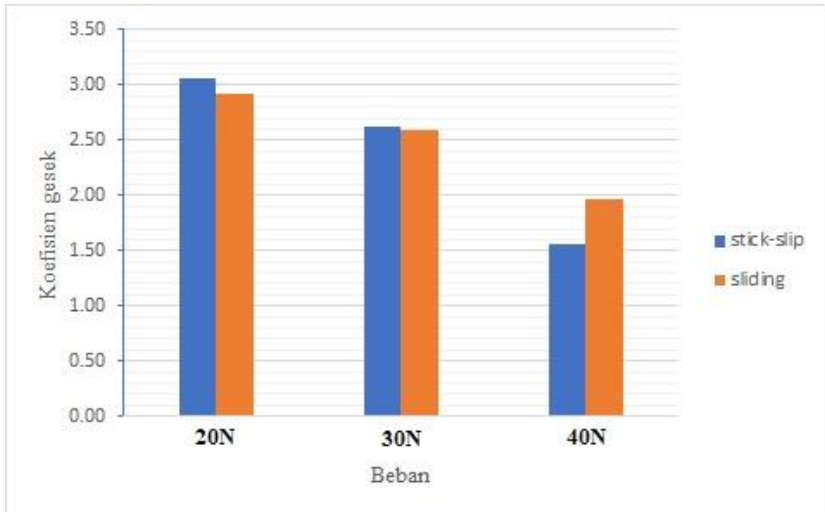


Gambar 4. 5. hubungan koefisien gesek pada daerah *stick-slip*

Pada gambar 4.5 diatas dapat dilihat bahwa nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* pada pembebanan 20 N lebih besar dari 30 N, dan nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* pada pembebanan 30 N lebih besar daripada pembebanan 40 N. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien gesek pada daerah *stick-slip* akan semakin berkurang seiring bertambahnya besar pembebanan. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian Yoon et al yang menjelaskan bahwa semakin besar pembebanan maka nilai koefisien gesek akan semakin besar, ketidak sesuaian ini mungkin disebabkan oleh perbedaan tipe alat tribometer, *sliding speed*, besar pembebanan yang diberikan, serta material yang digesekan.

3. Koefisien gesek pada daerah *stick-slip* dibandingkan dengan *sliding* terhadap perubahan pembebanan

Nilai koefisien gesek pada daerah *stick-slip* dan *sliding* didapatkan dari rata-rata nilai koefisien gesek pada titik gesekan *stick-slip* dan *sliding*. Pengaruh perubahan beban pada nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* dibandingkan dengan *sliding* dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 6. hubungan koefisien gesek pada daerah *stick-slip* dengan *sliding*

Pada gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* pada pembebanan 20 N sebesar 3,06 lebih besar dari daerah *sliding* sebesar 2,92 dengan selisih koefisien gesek sebesar 0.1418. sedangkan pada pembebanan 30 N nilai koefisien gesek *stick-slip* sebesar 2,62 dan *sliding* sebesar 2,59 dengan selisih koefisien gesek sebesar 0.0317 yang lebih kecil daripada pembebanan 20N. Pada pembebanan 40N nilai koefisien gesek daerah *stick-slip* dengan nilai 1,55 lebih kecil dibandingkan dengan koefisien gesek *sliding* sebesar 1,97 dengan selisih -0.4213. Sehingga dapat disimpulkan bahwa perbandingan nilai koefisien gesek pada daerah *stick-slip* dengan *sliding* akan semakin berkurang seiring bertambahnya besar pembebanan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Selisih kedalaman titik gesekan *stick-slip* dan titik gesekan *sliding* pada pembebanan 20 N sebesar 39,5 μm lebih kecil daripada pembebanan 30 N sebesar 40,5 μm , 30 N lebih kecil daripada 40 N sebesar 73 μm . Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar pembebanan maka semakin besar keausan yang ditimbulkan oleh gesekan *stick-slip*
2. Nilai koefisien gesek pada area *stick-slip* dengan pembebanan 20 N sebesar 3.064677686, 30 N sebesar 2.624380797 dan 40 N sebesar 1.552499331 cenderung menurun seiring dengan meningkatnya besar pembebanan

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer dengan gerakan *reciprocating* dengan mekanisme penggerak silinder pneumatic yang masih butuh banyak perbaikan. Sehingga masih bisa dikembangkan dengan pembuatan alat yang lebih baik.
2. Jarak tempuh yang digunakan untuk penelitian sebaiknya diperpanjang untuk meningkatkan ketelitian dari hasil uji eksperimen dan memperjelas hasil permukaan akibat gesekan *stick-slip*.
3. Kapasitas kompresor yang digunakan untuk menggerakkan silinder pneumatic sebaiknya menggunakan yang lebih besar agar tekanan pada cylinder pneumatic lebih stabil

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

1. Yoon, S.W., M.W. Shin, W.G. Lee, H. Jang. 2012. **Effect of Surface Contact Conditions on the Stick-Slip Behavior of Brake Friction Material**. Amsterdam : Elsevier Scientific.
2. Simatupang,R. 2016. **Studi eksperimen analisa koefisien gesek pada saat terjadi fenomena *stick-slip friction* pada *reciprocating contact***. Surabaya
3. Lee, Dong Woog. 2012. **Stick-slip Friction and Wear of Articular Joints**. California.
4. Bhushan, Bharat. 2013. **Introduction to Tribology**. New York : John Wiley & Sons, INC.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 4.1. ekstraksi perubahan waktu dan tekanan pneumatic 20N

Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge
0	0	91	34	0.433	116	68	0.758	115	102	1.091	115
1	0.05	110	35	0.441	116	69	0.766	115	103	1.1	115
2	0.075	115	36	0.45	116	70	0.775	115	104	1.116	115
3	0.125	118	37	0.458	116	71	0.791	115	105	1.125	115
4	0.141	118	38	0.466	116	72	0.8	115	106	1.133	115
5	0.158	118	39	0.475	116	73	0.808	115	107	1.141	115
6	0.166	118	40	0.483	115	74	0.825	115	108	1.15	115
7	0.183	117	41	0.5	115	75	0.833	115	109	1.158	115
8	0.191	116	42	0.508	115	76	0.841	115	110	1.166	115
9	0.2	116	43	0.516	115	77	0.85	115	111	1.175	115
10	0.216	117	44	0.525	115	78	0.858	116	112	1.183	115
11	0.225	117	45	0.533	115	79	0.866	116	113	1.191	115
12	0.233	116	46	0.541	115	80	0.875	116	114	1.2	115
13	0.241	116	47	0.55	115	81	0.891	116	115	1.208	115
14	0.258	116	48	0.558	115	82	0.9	116	116	1.225	115
15	0.266	116	49	0.566	115	83	0.908	116	117	1.233	115
16	0.275	116	50	0.575	115	84	0.916	116	118	1.241	115
17	0.283	116	51	0.6	115	85	0.925	116	119	1.25	115
18	0.291	116	52	0.608	115	86	0.933	116	120	1.266	115
19	0.3	116	53	0.616	115	87	0.941	116	121	1.275	115
20	0.308	115	54	0.625	115	88	0.949	116	122	1.283	115
21	0.325	115	55	0.641	115	89	0.958	116	123	1.291	115
22	0.333	116	56	0.65	115	90	0.966	116	124	1.3	115
23	0.341	116	57	0.658	115	91	0.983	116	125	1.308	115
24	0.35	116	58	0.666	115	92	0.991	116	126	1.316	115
25	0.358	116	59	0.675	116	93	1	116	127	1.325	115
26	0.366	116	60	0.683	116	94	1.008	116	128	1.333	115
27	0.375	116	61	0.7	116	95	1.025	116	129	1.341	115
28	0.383	116	62	0.708	116	96	1.033	116	130	1.35	115
29	0.391	116	63	0.716	115	97	1.041	117	131	1.358	115
30	0.4	116	64	0.725	115	98	1.05	117	132	1.366	115
31	0.408	116	65	0.733	115	99	1.058	117	133	1.375	115
32	0.416	116	66	0.741	115	100	1.075	117	134		
33	0.425	116	67	0.75	115	101	1.083	115	135		

Tabel 4.2. ekstraksi perubahan waktu dan tekanan pneumatic 30N

Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge
0	0	113	34	0.433	128	68	0.767	129	102	1.126	130
1	0.033	124	35	0.442	128	69	0.775	129	103	1.134	130
2	0.091	131	36	0.45	127	70	0.792	129	104	1.142	130
3	0.116	131	37	0.458	127	71	0.8	129	105	1.151	130
4	0.133	131	38	0.467	127	72	0.809	129	106	1.159	130
5	0.15	131	39	0.475	127	73	0.817	129	107	1.167	130
6	0.158	131	40	0.483	127	74	0.834	129	108	1.176	130
7	0.175	131	41	0.492	127	75	0.842	129	109	1.184	130
8	0.183	131	42	0.5	127	76	0.85	129	110	1.192	130
9	0.2	131	43	0.508	127	77	0.867	129	111	1.201	130
10	0.208	131	44	0.517	127	78	0.884	129	112	1.209	130
11	0.216	131	45	0.525	127	79	0.892	129	113	1.217	130
12	0.225	129	46	0.533	127	80	0.9	129	114	1.226	130
13	0.233	129	47	0.542	127	81	0.909	129	115	1.234	130
14	0.241	129	48	0.55	127	82	0.917	129	116	1.242	128
15	0.25	129	49	0.558	127	83	0.934	129	117	1.251	128
16	0.258	129	50	0.567	128	84	0.942	129	118	1.259	128
17	0.275	129	51	0.575	128	85	0.95	129	119	1.267	128
18	0.291	129	52	0.583	128	86	0.967	129	120	1.276	128
19	0.3	129	53	0.592	128	87	0.975	129	121	1.284	128
20	0.308	129	54	0.6	128	88	0.984	129	122	1.292	128
21	0.316	129	55	0.608	128	89	0.992	129	123	1.301	128
22	0.333	129	56	0.617	128	90	1	129	124	1.309	128
23	0.342	129	57	0.633	128	91	1.017	129	125	1.317	128
24	0.35	129	58	0.65	128	92	1.026	129	126	1.326	128
25	0.358	129	59	0.658	128	93	1.034	129	127	1.334	127
26	0.367	129	60	0.675	128	94	1.051	129	128	1.343	127
27	0.375	129	61	0.692	129	95	1.059	130	129	1.351	127
28	0.383	129	62	0.7	129	96	1.067	130	130	1.359	127
29	0.392	129	63	0.717	129	97	1.076	130	131	1.368	127
30	0.4	129	64	0.725	129	98	1.084	130	132	1.376	129
31	0.408	129	65	0.742	129	99	1.092	130	133	1.384	129
32	0.417	128	66	0.75	129	100	1.101	130	134		
33	0.425	128	67	0.759	129	101	1.117	130	135		

Tabel 4.3. ekstraksi perubahan waktu dan tekanan pneumatic 40N

Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge	Titik	Waktu (s)	Sudut Gauge
0	0	109	34	0.425	128	68	0.775	129	102	1.13	129
1	0.07	127	35	0.437	129	69	0.784	129	103	1.134	129
2	0.116	133	36	0.446	129	70	0.796	130	104	1.142	129
3	0.191	133	37	0.462	131	71	0.817	130	105	1.151	129
4	0.221	133	38	0.504	132	72	0.829	130	106	1.155	129
5	0.229	133	39	0.521	132	73	0.85	130	107	1.163	129
6	0.237	133	40	0.538	132	74	0.871	130	108	1.172	129
7	0.246	131	41	0.546	132	75	0.884	130	109	1.176	129
8	0.254	131	42	0.563	131	76	0.892	130	110	1.184	129
9	0.258	131	43	0.571	131	77	0.9	130	111	1.192	129
10	0.266	130	44	0.579	131	78	0.905	130	112	1.197	129
11	0.271	129	45	0.588	130	79	0.909	130	113	1.205	129
12	0.275	129	46	0.592	130	80	0.917	130	114	1.213	129
13	0.279	129	47	0.6	130	81	0.921	130	115	1.222	129
14	0.287	127	48	0.608	128	82	0.925	130	116	1.234	129
15	0.291	127	49	0.613	129	83	0.93	130	117	1.251	130
16	0.296	127	50	0.617	129	84	0.938	130	118	1.263	130
17	0.3	128	51	0.625	129	85	0.946	129	119	1.276	130
18	0.308	128	52	0.633	129	86	0.955	129	120	1.284	130
19	0.312	128	53	0.638	129	87	0.967	129	121	1.292	130
20	0.325	128	54	0.65	129	88	0.984	131	122	1.301	130
21	0.333	128	55	0.663	129	89	0.996	131	123	1.305	130
22	0.342	128	56	0.671	129	90	1.021	131	124	1.313	130
23	0.346	128	57	0.679	129	91	1.034	132	125	1.317	130
24	0.354	128	58	0.692	129	92	1.051	132	126	1.322	130
25	0.362	128	59	0.696	130	93	1.067	132	127	1.33	129
26	0.367	128	60	0.709	130	94	1.08	132	128	1.334	129
27	0.375	128	61	0.717	130	95	1.088	132	129	1.338	129
28	0.383	128	62	0.725	129	96	1.092	132	130	1.343	129
29	0.387	128	63	0.729	129	97	1.101	131	131	1.347	129
30	0.392	128	64	0.738	129	98	1.109	131	132	1.351	129
31	0.4	128	65	0.746	129	99	1.113	131	133	1.355	129
32	0.408	128	66	0.754	129	100	1.117	131	134		
33	0.417	128	67	0.763	129	101	1.126	129	135		

Tabel 4.4. perhitungan koefisien gesek 20N

titik	Time (s)	X (mm)	studut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (Kg) x a (m/s ²)	F gesek	Koefisien Gesek
0	0.000	0	76	43.8462	302508.7077	153.86	46.5132	0.0000	0.0000	20	1.348	0.0000	46.5132	2.3257
1	0.050	1	95	54.8077	377885.8846	153.86	58.1415	0.0200	0.4000	20	1.348	0.5392	57.6023	2.8801
2	0.075	2	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0400	0.8000	20	1.348	1.0784	60.1232	3.0062
3	0.125	3	103	59.4231	409707.8538	153.86	63.0377	0.0200	-0.4000	20	1.348	-0.5392	63.5769	3.1788
4	0.141	4	103	59.4231	409707.8538	153.86	63.0377	0.0625	2.6563	20	1.348	3.5806	59.4570	2.9729
5	0.158	5	103	59.4231	409707.8538	153.86	63.0377	0.0588	-0.2163	20	1.348	-0.2915	63.3292	3.1665
6	0.166	6	103	59.4231	409707.8538	153.86	63.0377	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	51.8869	2.5943
7	0.183	7	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.6731	3.3837
8	0.191	8	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
9	0.200	9	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
10	0.216	10	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	66.5211	3.3261
11	0.225	11	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	55.1447	2.7572
12	0.233	12	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
13	0.241	13	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
14	0.258	14	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.0611	3.3531
15	0.266	15	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
16	0.275	16	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
17	0.283	17	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
18	0.291	18	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
19	0.300	19	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
20	0.308	20	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
21	0.325	21	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	66.4490	3.3225
22	0.333	22	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
23	0.341	23	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
24	0.350	24	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
25	0.358	25	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737

titik	Time (s)	X (mm)	sudut	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a	F gesek	Koefisien Gesek
26	0.366	26	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
27	0.375	27	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
28	0.383	28	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
29	0.391	29	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
30	0.400	30	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
31	0.408	31	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
32	0.416	32	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
33	0.425	33	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
34	0.433	34	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
35	0.441	35	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
36	0.450	36	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
37	0.458	37	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
38	0.466	38	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
39	0.475	39	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
40	0.483	40	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
41	0.500	41	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	66.4490	3.3225
42	0.508	42	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.0508	2.5025
43	0.516	43	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
44	0.525	44	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
45	0.533	45	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
46	0.541	46	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
47	0.550	47	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
48	0.558	48	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
49	0.566	49	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
50	0.575	50	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
51	0.600	51	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0400	-2.8444	20	1.348	-3.8343	65.0359	3.2518
52	0.608	52	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	14.3226	46.8790	2.3440
53	0.616	53	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601

Time (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a	F gesek	Koefisien Gesek	
54	0.625	54	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
55	0.641	55	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	65.2971	3.2649
56	0.650	56	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	53.9207	2.6960
57	0.658	57	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
58	0.666	58	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0000	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
59	0.675	59	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
60	0.683	60	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
61	0.700	61	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.0611	3.3531
62	0.708	62	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
63	0.716	63	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
64	0.725	64	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
65	0.733	65	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
66	0.741	66	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
67	0.750	67	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
68	0.758	68	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
69	0.766	69	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
70	0.775	70	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
71	0.791	71	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	65.2971	3.2649
72	0.800	72	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	53.9207	2.6960
73	0.808	73	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
74	0.825	74	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	66.4490	3.3225
75	0.833	75	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.0508	2.5025
76	0.841	76	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
77	0.850	77	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
78	0.858	78	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
79	0.866	79	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
80	0.875	80	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
81	0.891	81	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	65.9091	3.2955

Time titik (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m ³ /s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	F gesek	Koefisien Gesek	
82	0.900	82	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	54.5327	2.7266
83	0.908	83	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
84	0.916	84	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
85	0.925	85	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
86	0.933	86	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
87	0.941	87	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
88	0.949	88	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.8136	3.0907
89	0.958	89	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
90	0.966	90	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
91	0.983	91	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.0611	3.3531
92	0.991	92	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
93	1.000	93	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.8939	3.1947
94	1.008	94	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	59.4733	2.9737
95	1.025	95	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.0611	3.3531
96	1.033	96	101	58.2692	401752.3615	153.86	61.8136	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.6628	2.5331
97	1.041	97	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	62.4256	3.1213
98	1.050	98	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	64.5059	3.2253
99	1.058	99	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	60.0853	3.0043
100	1.075	100	102	58.8462	405730.1077	153.86	62.4256	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	67.6731	3.3837
101	1.083	101	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.0508	2.5025
102	1.091	102	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
103	1.100	103	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
104	1.116	104	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	65.2971	3.2649
105	1.125	105	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	53.9207	2.6960
106	1.133	106	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	3.0601
107	1.141	107	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
108	1.150	108	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
109	1.158	109	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431

titik	Time (s)	X (mm)	studut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	F gesek	Koefisien Gesek
110	1.166	110	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
111	1.175	111	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	2.0803	63.2819	3.1641
112	1.183	112	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
113	1.191	113	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
114	1.200	114	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
115	1.208	115	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
116	1.225	116	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0588	-3.8927	20	1.348	-5.2474	66.4490	3.3225
117	1.233	117	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	8.2721	20	1.348	11.1508	50.0508	2.5025
118	1.241	118	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
119	1.250	119	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
120	1.266	120	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.0625	-3.0382	20	1.348	-4.0955	65.2971	3.2649
121	1.275	121	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	5.4012	20	1.348	7.2809	53.9207	2.6960
122	1.283	122	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
123	1.291	123	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
124	1.300	124	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
125	1.308	125	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
126	1.316	126	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
127	1.325	127	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
128	1.333	128	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
129	1.341	129	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
130	1.350	130	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641
131	1.358	131	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	1.7361	20	1.348	2.3403	58.8613	2.9431
132	1.366	132	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1250	0.0000	20	1.348	0.0000	61.2016	3.0601
133	1.375	133	100	57.6923	397774.6154	153.86	61.2016	0.1111	-1.5432	20	1.348	-2.0803	63.2819	3.1641

Tabel 4.5. perhitungan koefisien gesek 30N

titik	Time (s)	X (mm)	sudut ganjale	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (Kg)	M (Kg) x a (m/s ²)	gayat gesek	Koefisien Gesek
0	0	0	113	65.1923	449485.3154	153.86	69.1578	0.0000	0.0000	30	1.3480	0.0000	69.1578	2.3053
1	0.033	1	124	71.5385	4993240.5231	153.86	75.8900	0.0303	0.9183	30	1.3480	1.2378	74.6521	2.4884
2	0.091	2	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0172	-0.2252	30	1.3480	-0.3036	80.4777	2.6826
3	0.116	3	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0400	0.9103	30	1.3480	1.2272	78.9469	2.6316
4	0.133	4	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	1.1073	30	1.3480	1.4926	78.6815	2.6275
5	0.15	5	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	0.0000	30	1.3480	0.0000	80.1741	2.6725
6	0.158	6	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	69.0233	2.3008
7	0.175	7	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	85.4215	2.8474
8	0.183	8	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	69.0233	2.3008
9	0.2	9	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	85.4215	2.8474
10	0.208	10	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	69.0233	2.3008
11	0.216	11	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	80.1741	2.6725
12	0.225	12	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.0303	2.7010
13	0.233	13	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
14	0.241	14	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
15	0.25	15	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.0303	2.7010
16	0.258	16	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
17	0.275	17	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
18	0.291	18	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0625	0.2298	30	1.3480	0.3097	78.6403	2.6213
19	0.3	19	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	5.4012	30	1.3480	7.2809	71.6692	2.3890
20	0.308	20	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
21	0.316	21	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
22	0.333	22	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
23	0.342	23	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	5.8097	30	1.3480	7.8316	71.1188	2.3706
24	0.35	24	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
25	0.358	25	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317

Time (s)	X (mm)	sudut gejane	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg·s ²) x a	gaya gesek	Koefisien Gesek	
26	0.367	26	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.0303	2.7010
27	0.375	27	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
28	0.383	28	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
29	0.392	29	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.0303	2.7010
30	0.4	30	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
31	0.408	31	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
32	0.417	32	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
33	0.425	33	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.9978	2.5333
34	0.433	34	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
35	0.442	35	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
36	0.445	36	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
37	0.458	37	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
38	0.467	38	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
39	0.475	39	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
40	0.483	40	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
41	0.492	41	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
42	0.5	42	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
43	0.508	43	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
44	0.517	44	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
45	0.525	45	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
46	0.533	46	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
47	0.542	47	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
48	0.55	48	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
49	0.558	49	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
50	0.567	50	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
51	0.575	51	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.9978	2.5333
52	0.583	52	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
53	0.592	53	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806

Time (s)	X (mm)	sudut genre	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a	gaya gesek	Koefisien Gesek
54	0,6	54	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,1250	1,7361	30	1,3480	2,3403	75,9978	2,5333
55	0,608	55	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,1250	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,3381	2,6113
56	0,617	56	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,1111	-1,5432	30	1,3480	-2,0803	80,4183	2,6806
57	0,633	57	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,0625	-3,0382	30	1,3480	-4,0955	82,4336	2,7478
58	0,65	58	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,0588	-0,2163	30	1,3480	-0,2915	78,6296	2,6210
59	0,658	59	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,1873	2,2396
60	0,675	60	73.8462	5091,51,5077	153,86	78,3381	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	83,5855	2,7862
61	0,692	61	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,9501	2,6317
62	0,7	62	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
63	0,717	63	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	84,1975	2,8066
64	0,725	64	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
65	0,742	65	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	84,1975	2,8066
66	0,75	66	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
67	0,759	67	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1111	-1,5432	30	1,3480	-2,0803	81,0303	2,7010
68	0,767	68	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	1,7361	30	1,3480	2,3403	76,6098	2,5517
69	0,775	69	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,9501	2,6317
70	0,792	70	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	84,1975	2,8066
71	0,8	71	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
72	0,809	72	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1111	-1,5432	30	1,3480	-2,0803	81,0303	2,7010
73	0,817	73	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	1,7361	30	1,3480	2,3403	76,6098	2,5517
74	0,834	74	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	84,1975	2,8066
75	0,842	75	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
76	0,85	76	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,9501	2,6317
77	0,867	77	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	-3,8927	30	1,3480	-5,2474	84,1975	2,8066
78	0,884	78	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,0588	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,9501	2,6317
79	0,892	79	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	8,2721	30	1,3480	11,1508	67,7993	2,2600
80	0,9	80	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1250	0,0000	30	1,3480	0,0000	78,9501	2,6317
81	0,909	81	74.4231	5131,29,2538	153,86	78,9501	0,1111	-1,5432	30	1,3480	-2,0803	81,0303	2,7010

titik	Time (s)	X (mm)	sudut	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	gaya gesek	Koefisien Gesek
82	0.917	82	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
83	0.934	83	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
84	0.942	84	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	67.7993	2.2600
85	0.95	85	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
86	0.967	86	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
87	0.975	87	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	67.7993	2.2600
88	0.984	88	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.0503	2.7010
89	0.992	89	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
90	1	90	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317
91	1.017	91	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
92	1.026	92	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	5.8097	30	1.3480	7.8316	71.1185	2.3706
93	1.034	93	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
94	1.051	94	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0588	-3.8927	30	1.3480	-5.2474	84.1975	2.8066
95	1.059	95	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	8.2721	30	1.3480	11.1508	68.4113	2.2804
96	1.067	96	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
97	1.076	97	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
98	1.084	98	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741
99	1.092	99	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
100	1.101	100	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
101	1.117	101	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.0625	-3.0382	30	1.3480	-4.0955	83.6576	2.7886
102	1.126	102	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	5.4012	30	1.3480	7.2809	72.2812	2.4094
103	1.134	103	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741
104	1.142	104	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
105	1.151	105	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
106	1.159	106	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741
107	1.167	107	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
108	1.176	108	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
109	1.184	109	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741

titik	Time (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	gaya gesek	Koefisien Gesek
110	1.192	110	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
111	1.201	111	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
112	1.209	112	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741
113	1.217	113	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	79.5621	2.6521
114	1.226	114	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	81.6423	2.7214
115	1.234	115	130	75.0000	517107	153.86	79.5621	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	77.2218	2.5741
116	1.242	116	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
117	1.251	117	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
118	1.259	118	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.9978	2.5333
119	1.267	119	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
120	1.276	120	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
121	1.284	121	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.9978	2.5333
122	1.292	122	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
123	1.301	123	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
124	1.309	124	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.9978	2.5333
125	1.317	125	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.3381	2.6113
126	1.326	126	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	80.4183	2.6806
127	1.334	127	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
128	1.343	128	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
129	1.351	129	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	75.3857	2.5129
130	1.359	130	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	77.7260	2.5909
131	1.368	131	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1111	-1.5432	30	1.3480	-2.0803	79.8063	2.6602
132	1.376	132	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	30	1.3480	2.3403	76.6098	2.5537
133	1.384	133	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	30	1.3480	0.0000	78.9501	2.6317

Tabel 4.6. perhitungan koefisien gesek 40N

titik	Time (s)	X (mm)	studut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	gayat gesek	Koefisien Gesek
0	0	0	109	62.8846	433574.3308	153.86	66.7097	0.0000	0.0000	40	1.348	0.0000	66.7097	1.6677
1	0.07	1	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.0143	0.2041	40	1.348	0.2751	77.4509	1.9363
2	0.116	2	133	76.7308	529040.2385	153.86	81.3981	0.0217	0.1620	40	1.348	0.2184	81.1997	2.0295
3	0.191	3	133	76.7308	529040.2385	153.86	81.3981	0.0133	-0.1121	40	1.348	-0.1511	81.5492	2.0387
4	0.221	4	133	76.7308	529040.2385	153.86	81.3981	0.0333	0.6667	40	1.348	0.8967	80.4995	2.0125
5	0.229	5	133	76.7308	529040.2385	153.86	81.3981	0.1250	11.4583	40	1.348	15.4459	65.9522	1.6488
6	0.237	6	133	76.7308	529040.2385	153.86	81.3981	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	81.3981	2.0350
7	0.246	7	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	82.2544	2.0564
8	0.254	8	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	1.7361	40	1.348	2.3403	77.8338	1.9458
9	0.258	9	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	38.0489	0.9512
10	0.266	10	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.6247	2.5156
11	0.271	11	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	58.7300	1.4682
12	0.278	12	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	12.5000	40	1.348	16.8501	62.1000	1.5525
13	0.279	13	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
14	0.287	14	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	98.7887	2.4697
15	0.291	15	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	35.6008	0.8900
16	0.296	16	127	73.2692	505173.7615	153.86	77.7260	0.2000	-10.0000	40	1.348	-13.4801	91.2061	2.2802
17	0.3	17	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2500	12.5000	40	1.348	16.8501	61.4880	1.5372
18	0.308	18	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	99.4007	2.4850
19	0.312	19	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	36.2128	0.9053
20	0.325	20	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.0769	-13.3136	40	1.348	-17.9468	96.2849	2.4071
21	0.333	21	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	70.2370	1.7559
22	0.346	22	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	80.4183	2.0105
23	0.346	23	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	31.5522	0.7883
24	0.354	24	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	99.4007	2.4850
25	0.362	25	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.3381	1.9585

titik	Time (s)	X (mm)	sudut	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a	gaya gesek	Koefisien Gesek
26	0.367	26	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	58.1179	1.4529
27	0.375	27	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	-9.3750	40	1.348	-12.6376	90.9756	2.2744
28	0.383	28	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.3381	1.9585
29	0.387	29	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	36.2128	0.9053
30	0.392	30	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.2000	-10.0000	40	1.348	-13.4801	91.8181	2.2955
31	0.4	31	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	-9.3750	40	1.348	-12.6376	90.9756	2.2744
32	0.408	32	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.3381	1.9585
33	0.417	33	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	80.4183	2.0105
34	0.425	34	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	1.7361	40	1.348	2.3403	75.9978	1.8999
35	0.437	35	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0833	-3.4722	40	1.348	-4.6806	83.6306	2.0908
36	0.446	36	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	3.0864	40	1.348	4.1605	74.7896	1.8697
37	0.462	37	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0625	-3.0382	40	1.348	-4.0955	84.2696	2.1067
38	0.504	38	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0238	-0.9212	40	1.348	-1.2418	82.0279	2.0507
39	0.521	39	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0588	2.0596	40	1.348	2.7764	78.0097	1.9502
40	0.538	40	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0588	0.0000	40	1.348	0.0000	80.7861	2.0197
41	0.546	41	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.1250	8.2721	40	1.348	11.1508	69.6353	1.7409
42	0.563	42	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	-3.8927	40	1.348	-5.2474	85.4215	2.1355
43	0.571	43	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	8.2721	40	1.348	11.1508	69.0233	1.7256
44	0.579	44	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	80.1741	2.0044
45	0.588	45	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.6423	2.0411
46	0.592	46	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	32.7563	0.8189
47	0.6	47	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.6247	2.5156
48	0.608	48	128	73.8462	509151.5077	153.86	78.3381	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.3381	1.9585
49	0.613	49	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	58.7300	1.4682
50	0.617	50	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	12.5000	40	1.348	16.8501	62.1000	1.5525
51	0.625	51	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.0127	2.5003
52	0.633	52	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9788
53	0.638	53	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	58.7300	1.4682

titik	Time (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (Kg)	M (kg) x a	gayak gesek	Koefisien Gesek
54	0.65	54	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0833	-9.7222	40	1.348	-13.1056	92.0557	2.3014
55	0.663	55	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0769	-0.4931	40	1.348	-0.6647	79.6148	1.9904
56	0.671	56	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	70.8491	1.7712
57	0.679	57	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
58	0.692	58	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0769	-3.6982	40	1.348	-4.9852	83.9353	2.0974
59	0.696	59	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	43.2692	40	1.348	58.3272	81.2348	0.5309
60	0.709	60	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0769	-13.3136	40	1.348	-17.9468	97.5089	2.4377
61	0.717	61	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	71.4611	1.7865
62	0.725	62	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
63	0.729	63	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	36.8248	0.9206
64	0.738	64	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-15.4321	40	1.348	-20.8026	99.7527	2.4938
65	0.746	65	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	1.7361	40	1.348	2.3403	76.6098	1.9152
66	0.754	66	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
67	0.763	67	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.0303	2.0258
68	0.775	68	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0833	-2.3148	40	1.348	-3.1204	82.0705	2.0518
69	0.784	69	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	3.0864	40	1.348	4.1605	74.7896	1.8697
70	0.796	70	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0833	-2.3148	40	1.348	-3.1204	82.6825	2.0671
71	0.817	71	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0476	-1.7007	40	1.348	-2.2925	81.8546	2.0464
72	0.829	72	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0833	2.9762	40	1.348	4.0119	75.5502	1.8888
73	0.85	73	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0476	-1.7007	40	1.348	-2.2925	81.8546	2.0464
74	0.871	74	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0769	0.0000	40	1.348	0.0000	79.5621	1.9891
75	0.884	75	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0769	2.2542	40	1.348	3.0386	76.5235	1.9131
76	0.892	76	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	71.4611	1.7865
77	0.9	77	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	79.5621	1.9891
78	0.905	78	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	59.3420	1.4835
79	0.909	79	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	12.5000	40	1.348	16.8501	62.7120	1.5678
80	0.917	80	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.6247	2.5156
81	0.921	81	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	37.4368	0.9359

titik	Time (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (Kg)	M (kg) x a	gaya gesek	Koefisien Gesek
82	0.925	82	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	79.5621	1.9891
83	0.93	83	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2000	-10.0000	40	1.348	-13.4801	93.0422	2.3261
84	0.938	84	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	-9.3750	40	1.348	-12.6376	92.1997	2.3050
85	0.946	85	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1150	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
86	0.955	86	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.0303	2.0258
87	0.967	87	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0833	-2.3148	40	1.348	-3.1204	82.0705	2.0518
88	0.984	88	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0588	-1.4418	40	1.348	-1.9435	82.1176	2.0529
89	0.996	89	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0833	2.0425	40	1.348	2.7533	77.4208	1.9355
90	1.021	90	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.0400	-1.7333	40	1.348	-2.3365	82.5106	2.0628
91	1.034	91	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0769	2.8402	40	1.348	3.8287	76.9575	1.9239
92	1.051	92	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0588	-1.0647	40	1.348	-1.4352	82.2213	2.0555
93	1.067	93	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0625	0.2298	40	1.348	0.3097	80.4764	2.0119
94	1.08	94	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.0769	1.1095	40	1.348	1.4956	79.2905	1.9823
95	1.088	95	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	72.6851	1.8171
96	1.092	96	132	76.1538	525062.4923	153.86	80.7861	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	38.6609	0.9665
97	1.101	97	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1111	-15.4321	40	1.348	-20.8026	100.9767	2.5244
98	1.109	98	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.1250	1.7361	40	1.348	2.3403	77.8338	1.9458
99	1.113	99	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	38.0489	0.9512
100	1.117	100	131	75.5769	521084.7462	153.86	80.1741	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	80.1741	2.0044
101	1.126	101	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-15.4321	40	1.348	-20.8026	99.7527	2.4938
102	1.13	102	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	32.1443	0.8036
103	1.134	103	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
104	1.142	104	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.0127	2.5003
105	1.151	105	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.0303	2.0258
106	1.155	106	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	32.1443	0.8036
107	1.163	107	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1150	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.0127	2.5003
108	1.172	108	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.0303	2.0258
109	1.176	109	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	32.1443	0.8036

titik	Time (s)	X (mm)	sudut gauge	pressure (psi)	pressure (N/m ²)	Luas (mm ²)	F Pneumatic (N)	V (m/s)	a (m/s ²)	Fn (N)	Massa (kg)	M (kg) x a (m/s ²)	gaya gesek	Koefisien Gesek
110	1.184	110	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.0127	2.5003
111	1.192	111	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
112	1.197	112	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2000	15.0000	40	1.348	20.2201	58.7300	1.4682
113	1.205	113	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-9.3750	40	1.348	-12.6376	91.5876	2.2897
114	1.213	114	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
115	1.222	115	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.0303	2.0258
116	1.234	116	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.0833	-2.3148	40	1.348	-3.1204	82.0705	2.0518
117	1.251	117	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0588	-1.4418	40	1.348	-1.9435	81.5056	2.0376
118	1.263	118	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0833	2.0425	40	1.348	2.7533	76.8088	1.9202
119	1.276	119	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.0769	-0.4931	40	1.348	-0.6647	80.2268	2.0057
120	1.284	120	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	6.0096	40	1.348	8.1010	71.4611	1.7865
121	1.292	121	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	0.0000	40	1.348	0.0000	79.5621	1.9891
122	1.301	122	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1111	-1.5432	40	1.348	-2.0803	81.6423	2.0411
123	1.305	123	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	34.7222	40	1.348	46.8058	32.7563	0.8189
124	1.313	124	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.1250	-15.6250	40	1.348	-21.0626	100.6247	2.5156
125	1.317	125	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	37.4368	0.9359
126	1.322	126	130	75.0000	517107.0000	153.86	79.5621	0.2000	-10.0000	40	1.348	-13.4801	93.0422	2.3261
127	1.33	127	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.1250	-9.3750	40	1.348	-12.6376	91.5876	2.2897
128	1.334	128	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	31.2500	40	1.348	42.1252	36.8248	0.9206
129	1.338	129	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
130	1.343	130	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2000	-10.0000	40	1.348	-13.4801	92.4301	2.3108
131	1.347	131	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	12.5000	40	1.348	16.8501	62.1000	1.5525
132	1.351	132	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738
133	1.355	133	129	74.4231	513129.2538	153.86	78.9501	0.2500	0.0000	40	1.348	0.0000	78.9501	1.9738

Tabel 4.7. kedalaman aus 20N

titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)
0	-14	28	-53	56	-44	84	-38	112	-16
1	-15	29	-53	57	-44	85	-37.5	113	-16
2	-20	30	-53	58	-44	86	-37.5	114	-16
3	-20.5	31	-53	59	-44	87	-37.5	115	-16
4	-25.5	32	-53	60	-43	88	-37	116	-16
5	-41.5	33	-53	61	-42.5	89	-30	117	-16
6	-43.5	34	-53.5	62	-42.5	90	-29.5	118	-16
7	-48	35	-53.5	63	-42.5	91	-29.5	119	-16
8	-50	36	-53.5	64	-42.5	92	-29.5	120	-16
9	-53	37	-53.5	65	-42	93	-29	121	-17
10	-53	38	-53.5	66	-42	94	-29	122	-17
11	-53	39	-52	67	-42	95	-28.5	123	-17
12	-53	40	-51.5	68	-42	96	-28	124	-19
13	-53	41	-51	69	-42	97	-28	125	-19
14	-53	42	-51.5	70	-40.5	98	-28	126	-19
15	-53	43	-51.5	71	-39.5	99	-28	127	-20
16	-53	44	-51.5	72	-39.5	100	-28	128	-20
17	-53	45	-51	73	-39.5	101	-28	129	-20
18	-53	46	-50	74	-39.5	102	-28	130	-20
19	-53	47	-50	75	-39.5	103	-27	131	-21
20	-53	48	-47	76	-39	104	-27	132	-23
21	-53	49	-44	77	-39	105	-17	133	-25
22	-53	50	-44	78	-39	106	-15	134	
23	-53	51	-44	79	-38.5	107	-15	135	
24	-53	52	-44	80	-38.5	108	-15	136	
25	-53	53	-44	81	-38.5	109	-15	137	
26	-53	54	-44	82	-38.5	110	-15	138	
27	-53	55	-44	83	-38.5	111	-15	139	

Tabel 4.8. kedalaman aus 30N

titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)
0	-11	28	-20	56	-29	84	-34	112	-25.5
1	-26	29	-20	57	-29	85	-34	113	-23
2	-22	30	-20	58	-29	86	-32	114	-21
3	-34	31	-21	59	-30	87	-34	115	-19
4	-24	32	-16	60	-33	88	-35	116	-19.5
5	-20	33	-16	61	-36	89	-34	117	-18.5
6	-28	34	-17	62	-36	90	-34	118	-17
7	-31	35	-17	63	-42	91	-35	119	-15
8	-31	36	-17	64	-42	92	-35	120	-14
9	-31	37	-17	65	-42	93	-34	121	-13
10	-31	38	-20	66	-41.5	94	-33	122	-11.5
11	-31	39	-20	67	-41	95	-31	123	-11.5
12	-31	40	-20	68	-40.5	96	-29	124	-13.5
13	-32	41	-20	69	-40	97	-25.5	125	-11
14	-32	42	-20	70	-39	98	-25.5	126	-7
15	-27	43	-20	71	-39	99	-25.5	127	-5.5
16	-27	44	-20	72	-38	100	-25.5	128	-5
17	-27	45	-20	73	-37	101	-25	129	-5
18	-24	46	-20	74	-36	102	-25	130	-4.5
19	-21	47	-21.5	75	-36	103	-23	131	-5.5
20	-21	48	-21.5	76	-36	104	-23.5	132	-1.5
21	-21	49	-19	77	-36	105	-23	133	-1.5
22	-21	50	-23	78	-36	106	-21.5	134	
23	-21	51	-23	79	-36	107	-21.5	135	
24	-20	52	-24	80	-36	108	-10.5	136	
25	-20	53	-24.5	81	-36	109	-24	137	
26	-20	54	-25.5	82	-36	110	-21	138	
27	-20	55	-29	83	-35	111	-25.5	139	

Tabel 4.9.kedalaman aus 40N

titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)	titik	kedalaman (μm)
0	-10	28	-62	56	-41	84	-32	112	-48
1	-61	29	-65.5	57	-46	85	-35.5	113	-47
2	-52.5	30	-62	58	-32.5	86	-40	114	-45
3	-58.5	31	-59.5	59	-43.5	87	-41	115	-44.5
4	-58	32	-62	60	-40.5	88	-36.5	116	-40
5	-66.5	33	-56	61	-38	89	-35	117	-41
6	-67.5	34	-52	62	-42.5	90	-38	118	-46.5
7	-68	35	-55	63	-42	91	-31.5	119	-47
8	-63.5	36	-54.5	64	-38	92	-45	120	-45
9	-70	37	-52.5	65	-41	93	-44	121	-48.5
10	-70	38	-53	66	-41	94	-36.5	122	-45.5
11	-68	39	-50	67	-42	95	-47.5	123	-48
12	-76.5	40	-43.5	68	-46	96	-40.5	124	-48.5
13	-72.5	41	-53.5	69	-26	97	-44	125	-47.5
14	-72	42	-42	70	-28	98	-45	126	-47.5
15	-74.5	43	-45.5	71	-29	99	-50	127	-47.5
16	-73	44	-45	72	-43	100	-52	128	-47.5
17	-68	45	-34	73	-42	101	-50	129	-47.5
18	-69.5	46	-39.5	74	-39.5	102	-52.5	130	-39.5
19	-69	47	-37	75	-40	103	-53	131	-19.5
20	-67.5	48	-36.5	76	-32.5	104	-51.5	132	-3.5
21	-61	49	-23	77	-37	105	-54	133	-3.5
22	-56.5	50	-46	78	-37.5	106	-54.5		
23	-49	51	-32.5	79	-40	107	-52		
24	-55	52	-31.5	80	-40	108	-52		
25	-59.5	53	-40.5	81	-42.5	109	-51		
26	-66.5	54	-42	82	-32	110	-51.5		
27	-67.5	55	-33	83	-44.5	111	-51		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Rahmat Raja Barita Siregar dilahirkan di Jakarta, 17 April 1992, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. anak yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Retno Widiyanti dan Abdullah Qadar Siregar. Penulis selama hidupnya telah menempuh pendidikan formal di SD Barunawati Jakarta Utara, SMPN 30 Jakarta, dan SMAN 8 Jakarta. Setelah tamat pendidikan SMA tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS), Surabaya melalui jalur Program Unggulan Mandiri.

Di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan aktif sebagai pengurus di Mesin ITS Autosport dan kegiatan di luar kampus. Pernah menjabat sebagai Staff Racing Mesin ITS Autosport Periode 2011-2012, Bendahara Umum Mesin ITS Autosport Periode 2012-2013, *Chief of Marshall* kegiatan Indonesia Energy Marathon Challenge 2013. Hal yang memotivasi penulis untuk melakukan semua ini adalah karena penulis ingin mencari Ilmu dan Pengalaman baru yang belum pernah dialami. Dan Akhirnya saat ini penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana-nya ditahun 2017. Penulis sangat memegang teguh sebuah pepatah bijak dari negeri tirai bambu yang berbunyi “常将有日思无日，莫将无时想有时” *cháng jiāng yǒu rì sī wú rì, mò jiāng wú shí xiǎng yǒu shí*, pepatah tersebutlah yang mengantarkan penulis melewati segala rintangan dalam hidup hingga mendapatkan gelar sarjana, Penulis dapat dihubungi melalui e-mail di: RajaBaritaSiregar@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”