



TUGAS AKHIR - TM184835

PENGUKURAN DAN ANALISA NILAI KOEFISIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN EPOXY REINFORCED GRAFIT

WAHYU KURNIAWAN
NRP 02111645000026

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E
196511031990021001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - TM184835

**PENGUKURAN DAN ANALISA NILAI KOEFISIEN
GESEK PADA MATERIAL RESIN EPOXY
REINFORCED GRAFIT**

WAHYU KURNIAWAN
NRP 02111645000026

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E
196511031990021001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - TM184835

**MEASUREMENT AND ANALYSIS COEFFICIENT
OF FRICTION ON RESIN EPOXY REINFORCED
GRAPHITE MATERIAL**

WAHYU KURNIAWAN
NRP 02111645000026

Adviser Lecturer
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E
196511031990021001

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Industrial Engineering Faculty
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGUKURAN DAN ANALISA NILAI KOEFISIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN EPOXY REINFORCED GRAFIT

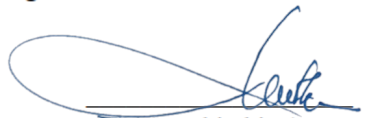
PROPOSAL TUGAS AKHIR

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

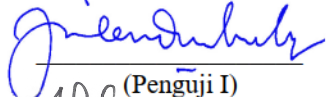
Oleh :
Wahyu Kurniawan
Nrp. 021116450000026

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.
NIP. 196511031990021001


(Pembimbing)

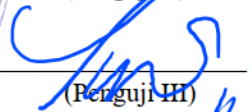
2. Ir. Julendra Bambang Ariateja, M.T.
NIP. 196807061999031004


(Penguji I)

3. Alief Wikarta, ST., MSc.Eng, Ph.D
NIP. 198202102006041002


(Penguji II)

4. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 197909262005011001


(Penguji III)

SURABAYA
AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGUKURAN DAN ANALISA NILAI KOEFISIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN EPOXY REINFORCED GRAFIT

Nama Mahasiswa : Wahyu Kurniawan
NRP : 02111645000026
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

Abstrak

Pada suatu material yang mengalami kontak dengan material lain akan menimbulkan gaya gesek, gaya gesek sendiri dikategorikan menjadi dua yaitu gaya gesek statis dan kinetis. Perubahan gaya gesek dari statis ke kinetis disebut stick-slip friction. Pada area terjadinya stick-slip friction, nilai dari gaya gesek yang terjadi mempunyai nilai yang paling besar, sehingga fenomena stick-slip friction ini cukup berpengaruh terhadap umur pakai dari suatu material. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengukuran koefisien gesek terhadap material resin epoxy yang diberikan penguat berupa grafit untuk mengetahui koefisien gesek.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari penambahan grafit dan variasi pembebanan terhadap nilai koefisien gesek dari material resin epoxy yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan alternatif material pengganti untuk keperluan-keperluan tertentu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan force sensor, motion sensor dan perangkat lunak pasco caopstone. Material yang digunakan berupa resin epoxy reinforced grafit dengan fraksi volume sebesar,7% serta material resin epoxy tanpa penambahan reinforced grafit. Lintasan atau alas yang digunakan berupa plat aluminium. Pengujian dilakukan dengan menarik force sensor yang terhubung dengan baki uji dengan tangan. Variasi beban yang digunakan sebesar 250gr,500gr,750gr,dan 1000gr.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa nilai koefisien gesek tidak meningkat secara berbanding

lurus dengan berat beban yang di berikan, nilai μ_s untuk resin dengan penambahan grafit untuk pembebanan 250gr, 500gr, 750gr, dan 1000gr adalah 0.454, 0.501, 0.385, dan 0.409. Penambahan bubuk grafit pada material resin epoxy dapat memperkecil jarak antara nilai μ_s dan μ_k pad grafik bila di bandingkan dengan grafik resin tanpa grafit, apabila membandingkan nilai μ_s untuk resin dangan dan tanpa penambahan grafit terlihat nilai μ_s resin dengan grafit sedikit lebih rendah. Untuk nilai μ_k hal tersebut berbeda dengan nilai μ_s pada resin dengan grafit pada saat pengujian, kurva yang relatif berhimpit dan beberapa d titik pembebana menunjukan μ_k lebih tinggi di banding μ_s .

Kata kunci : Resin epoxy, Gaya Gesek, Penambahan Grafit, Statis dan Kinetis.

MEASUREMENT AND ANALYSIS COEFFICIENT OF FRICTION ON RESIN EPOXY REINFORCED GRAPHITE MATERIAL

Student Name : Wahyu Kurniawan
NRP : 02111645000026
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Adviser Lecture : Ir. Yusuf kaelani, MSc.E

Abstract

Material that is in contact with another material it will cause friction force, the friction force itself is categorized into two, static and kinetic friction. The change in friction from static to kinetic is called stick-slip friction. In the area where the stick-slip friction occurs, the value of the friction force that occurs has the greatest value, so that the stick-slip friction phenomenon affects the service life of a material. In this final project, the measurement of the coefficient of friction on the epoxy resin material which is given reinforcement in the form of graphite will be carried out to determine the coefficient of friction.

This study aims to determine the effect of adding graphite and variations in loading on the friction coefficient value of the epoxy resin material which can later be used as an alternative reference for substitute materials for certain purposes. The test was carried out using a force sensor, motion sensor and Pasco Caopstone software. The materials used were epoxy resin reinforced graphite with a volume fraction of 7% and epoxy resin material without the addition of reinforced graphite. The track or base used is an aluminum plate. The test is done by pulling the force sensor connected to the test tray by hand. Variations in the load used are 250gr, 500gr, 750gr, and 1000gr.

Based on the research, it shows that the friction coefficient value does not increase directly proportional to the weight of the given load, the μ_s value for the resin with the addition of graphite

for the load of 250gr, 500gr, 750gr, and 1000gr is 0.454, 0.501, 0.385, and 0.409. The addition of graphite powder to the epoxy resin material can reduce the distance between the μ_s and μ_k values on the graph when compared with the graphite resin without graphite, when comparing the μ_s value for resin with and without the addition of graphite, it can be seen that the μ_s value of resin with graphite is slightly lower. For the μ_k value it is different from the μ_s value of the resin with graphite at the time of testing, the curve is relatively coincided and the several d loading points show the μ_k is higher than the μ_s .

Key words: Epoxy Resin, Friction Force, Graphite, Static and Kinetic.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, dihaturkan kehadiran Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena atas bimbingan dan ridhonya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih 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. Julendra Bambang Ariatedja, MT.; Alief Wikarta, ST., MSc.Eng. Ph.D; dan Bapak Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. Selaku dosen penguji yang memberi banyak arahan dan masukan serta kritikan yang sangat membangun
3. Bapak, Ibu, adik dan seluruh keluarga yang tidak ada hentinya mendoakan dan memberisemangat selama ini.
4. Dr.Eng Sutikno ST., MT. selaku dosen wali penulis, yang sudah membantu penulis dalam masa perkuliahan.
5. Segenap dosen dan staff karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, yang telah memberikan ilmunya.
6. Partner Umi Mahmudah, terima kasih selalu memberikan dukungan kepada penulis selama ini.
7. Teman-teman seperjuangan ITS ,yang selalu memberi semangat dan menghibur penulis dalam proses mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Teman teman angkatan LJ 2016

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, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	VII
ABSTRAK.....	XI
PENGANTAR.....	XIII
DAFTAR ISI.....	XV
DAFTAR GAMBAR	XIX
DAFTAR TABEL	XXI
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 Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teori dan Literatur Stick-Slip.....	5
2.2 Penelitian Dong Woog Lee tentang Stickslip friction and wear of articular joints.....	8
2.3 Koefisien gesek permukaan stick-slip.....	9
2.4 Gaya Gesek.....	11
2.2.1 Jenis-jenis gaya gesek	13

2.2.2	Keuntungan dan Kerugian Akibat Gaya Gesek.....	14
2.5	Komposit	15
2.6	Jenis-Jenis Komposit.....	16
2.6.1	Komposit Berdasarkan Jenis Matrik	16
2.6.2	Komposit berdasarkan jenis penguat.....	18
2.7	Komponen Bahan Komposit	18
2.8	Komposit berpenguat partikel	19
2.9	Resin Epoxy	19
2.10	Grafit	21
2.11	Motion Sensor (PASCO PS-2103A)	23
2.12	Force Sensor.....	24
2.13	Universal Interface	25
2.14	PASCO Capstone Software.....	26
BAB III METODOLOGI		29
3.1	Diagram Alir Peneletian.....	29
3.2	Langkah Penelitian	30
3.3	Pembuatan Benda Uji.....	32
3.4	Langkah Pengujian	33
3.5	Spesifikasi Peralatan Pengujian.....	36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Nilai Koefesien Gesek Statis Dan Kinetis.....	41

4.1.1	Data Pengukuran Nilai Koefesien Gesek Material Resin Epoxy Tanpa Grafit.....	42
4.1.2	Data Pengukuran Nilai Koefesien Gesek Material Resin Epoxy Dengan Penambahan Grafit.....	44
4.2	Nilai Koefesien Gesek Pada Resin Epoxy Dengan Dan Tanpa Penambahan Grafit.....	48
4.3	Pola Stick-Slip Pada Variasi Pembebanan.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		55
RIWAYAT PENULIS.....		56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

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. Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee .dkk..	8
Gambar 2.5 Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu.....	10
Gambar 2.6 Mekanisme gesekan.....	13
Gambar 2.7 Bahan penyusun komposit.....	16
Gambar 2.8 Diagram jenis komposit menurut matriks	16
Gambar 2.9 Pembagian Komposit berdasarkan jenis penguat. ...	18
Gambar 2.10 Bentuk-bentuk reinforcement agent	19
Gambar 2.11 Komposit berpenguat partikel	19
Gambar 2. 12 Resin dan hardener.	21
Gambar 2. 13 Bubuk Grafit.....	22
Gambar 2.14 Prinsip dasar sensor ultrasonic	23
Gambar 2.15 Ilustrasi pengukuran dengan motion sensor.	24
Gambar 2.16 Konfigurasi dari Strain gauge.....	25
Gambar 2.17 Ilustrasi penggunaan force sensor	25
Gambar 2.18 Sliding Friction Experiment	26
Gambar 2.19 Tampilan interface pasco capstone.....	26
Gambar 2.20 Contoh tampilan interface hasil percobaan.....	27
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2. Beban yang digunakan	30

Gambar 3.3. Benda Uji.....	31
Gambar 3.4. Ilustrasi Proses Pembuatan Benda Uji.....	32
Gambar 3.5 Ilustrasi Proses pemasanga benda uji pada baki	34
Gambar 3.6 Ilustrasi baki dengan tali.....	34
Gambar 3.7 Benang menghubungkan baki dan <i>force sensor</i>	35
Gambar 3.8 Ilustrasi konfigurasi alat	35
Gambar 3.10 Pasco PASPORT Motion Sensor (PS-2103A)	38
Gambar 3.11 Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor .	39
Gambar 4. 1 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada material resin epoxy	43
Gambar 4. 2 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit.	46
Gambar 4. 3 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis penambahan bubuk grafit percobaan 2.....	46
Gambar 4. 3 Grafik nilai koefisien gesek statis material resin epoxy tanpa penambahan dengan penambahan bubuk grafit	48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Beban 1kg, 3kg dan 5kg	10
Tabel 2.2 Material Properties Epoxy Resin.....	20
Tabel 2.3 Material Properties Grafit.....	22
Table 3.1 Contoh Table Pengujian	31
Tabel 3.2 Spesifikasi Universal Interface (UI-5001).....	37
Tabel 3.3 Spesifikasi PASPORT Motion Sensor (PS-2103A)....	39
Tabel 3.4 Spesifikasi PASPORT High Resolution Force Sensor	40
Tabel 4. 1 Data pengukuran nilai koefesien gesek pada material resin epoxy tanpa penambahan bubuk grafit.....	42
Tabel 4. 2 Data pengukuran nilai koefesien gesek pada material resin epoxy degan penambahan bubuk grafit.	44
Tabel 4. 3 Data pengukuran nilai koefesien gesek pada material resin epoxy degan penambahan bubuk grafit percobaan 2.....	45

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang pesat dewasa ini, dan telah menjadi bagian yang tidak bisa dipisahkan dari dunia industri. Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi diharapkan akan menghasilkan produk industri yang berkualitas tinggi. Perkembangan tersebut mendorong para perancang dan para ahli untuk mengetahui dan memahami tentang material serta pengaruh proses terhadap material. Pengetahuan dan pemahaman tentang material yang akan digunakan sangat penting, sehingga memudahkan dalam memilih material yang ekonomis dan berkualitas baik untuk suatu produk. Perkembangan tersebut juga secara tidak langsung menuntut tersedianya material untuk komponen-komponen permesinan yang memiliki karakteristik tertentu sesuai dengan penggunaannya. Salah satunya adalah tingkat keausan suatu material.

Keausan terjadi apabila dua buah benda yang saling menekan dan saling bergesekan. Keausan yang lebih besar terjadi pada bahan yang lebih lunak. Faktor-faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Semakin besar kecepatan relative benda yang bergesekan, maka material semakin mudah aus. Demikian pula semakin besar tekanan pada permukaan benda yang berkontak, material akan cepat aus, begitu pula sebaliknya. Keausan yang mengakibatkan berkurangnya material-material pada benda akan menyebabkan kerusakan pada benda tersebut.

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

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dwi Tarina Widianingrum mengenai laju keausan pada resin akrilik dengan penambahan penguat serat, telah disimpulkan bahwa resin akrilik dengan penambahan serat sebagai penguat akan menghasilkan nilai keausan yang lebih kecil daripada resin akrilik tanpa diberikan tambahan serat penguat. Bermula dari itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap pengukuran stick-slip resin epoxy yang diberikan penguat berupa grafit, untuk mengetahui laju nilai koefisien gesek dan fenomena *stick-slip* dari sebuah kontak material yang sehingga untuk kedepannya dapat digunakan sebagai alternatif material dalam bidang keteknikan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana dampak variasi pembebanan terhadap besar koefisien gesek material resin *reinforced graphite*.
2. Bagaimana pengaruh *reinforced graphite* pada nilai koefisien gesek pada resin epoxy.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dampak variasi pembebanan terhadap besar koefisien gesek material resin *reinforced graphite*.
2. Mengetahui pengaruh *reinforced graphite* pada nilai koefisien gesek pada resin epoxy.

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Kekerasan permukaan dianggap homogen.
2. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan.
3. Tidak ada kesalahan dalam pemasangan komponen.
4. Grafit dianggap tercampur secara merata pada resin *Epoxy*.
5. Besar pembebanan yang digunakan adalah 250 g, 500 g, 750g, 1000 g.
6. Kecepatan diasumsikan konstan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mahasiswa dapat lebih memahami ilmu *tribology*.
2. Dapat memahami fenomena yang terjadi pada daerah *stick-slip*.
3. Mengetahui dampak variasi beban terhadap nilai koefisien gesek.
4. Dapat mengetahui nilai koefisien gesek pada *stick-slip friction* daerah terjadinya fenomena *stick-slip*.
5. Dapat menjadi acuan pada penelitian keausan *stick-slip* lebih lanjut.

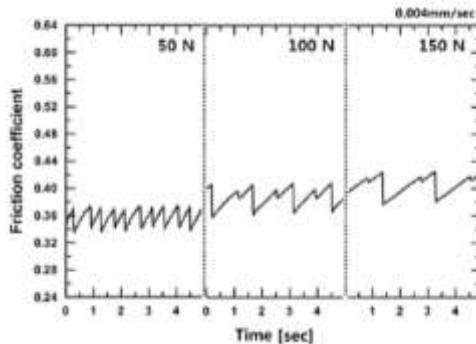
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori dan Literatur Stick-Slip

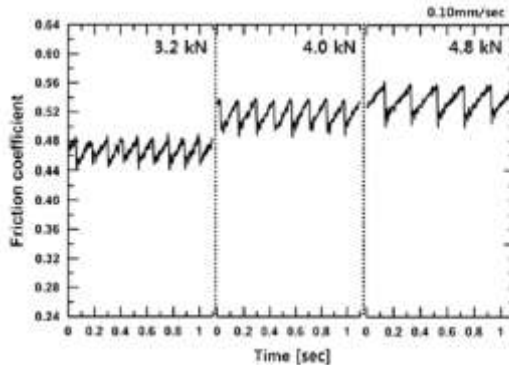
Pada setiap material yang melakukan kontak dengan material lain akan menimbulkan gaya gesek, gaya gesek sendiri dapat dikategorikan menjadi dua yaitu gaya gesek statis dan kinetis. Dalam dunia industri sering ditemukan komponen yang mengalami gaya gesek statis dan kinetis. Perubahan gaya gesek dari statis 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.

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. (S.W. Yoon, 2012).

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

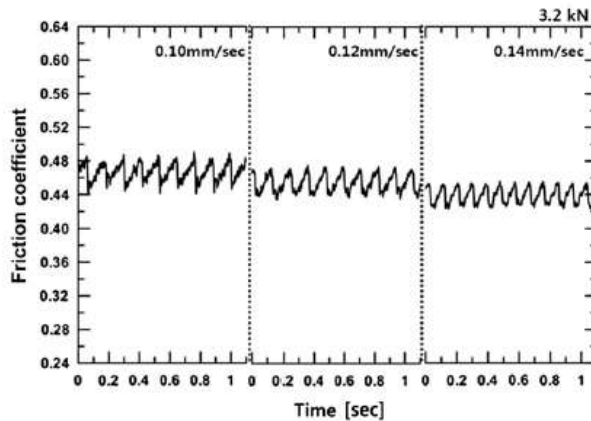


Gambar 2. 2. Pola stick-slip pada beberapa pembebanan (S.W. Yoon, 2012)

Kurva stick-slip memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan beban seperti yang terlihat pada gambar 2.2 . 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:

$$\mu k = \frac{k \cdot v}{l} \quad (2.1)$$

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



Gambar 2. 3. Kurva stick-slip dengan kecepatan yang berbeda.
(S.W. Yoon, 2012)

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

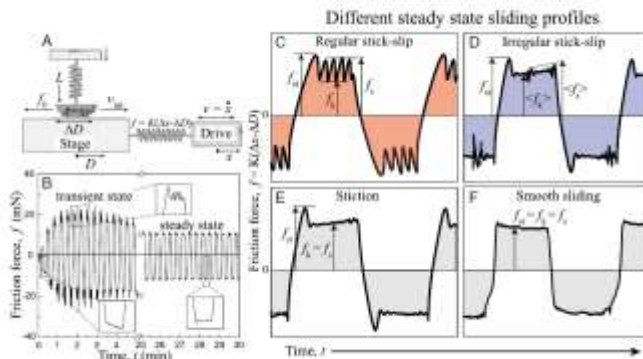
Stick-slip diketahui sebagai penyebab kerusakan secara perlahan. Fenomena stick-slip dapat dilihat dari osilasi gesekan pada berbagai beban yang diberikan, tingkat kecepatan dan kondisi permukaan. Sehingga dari fenomena stick-slip ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 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 Penelitian Dong Woog Lee tentang Stickslip friction and wear of articular joints

Dong Woog Lee dalam didalam jurnalnya yang berjudul *Stickslip friction and wear of articular joints*, memodelkan proses terjadinya stick slip pada saat kondisi sliding. Fenomena *stick-slip friction* diobservasi pada tulang rawan artikular 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 2.4. 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. 4. Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee .dkk (Dong Woog Leea, 2012)

Dalam gambar 2.4, gaya (f) yang dikenakan pada pegas mendorong drive ke stage dan kecepatan (v) drive berbeda dari gaya gesek interfacial (f_0) dan kecepatan sliding (v_{im}). Berawal dari kondisi diam, stage akan bergerak apabila gaya (f) mencapai gaya gesek (f_0). Jika gaya gesekan statis (disebut juga stiction,) lebih besar dari gaya gesek kinetic (f_k), maka kecepatan stage akan meningkat dengan pesat (v_{im}) lebih besar daripada kecepatan slider (v), dan pegasnya akan tertekan. Pada titik ini, kecepatan stage akan berkurang sampai akhirnya berhenti, dimana gaya gesek kembali pada nilai puncaknya (f_{st}). Siklus ini disebut dengan Stick-slip, dapat diulangi selama driver bergerak dalam kecepatan stabil / konstan.

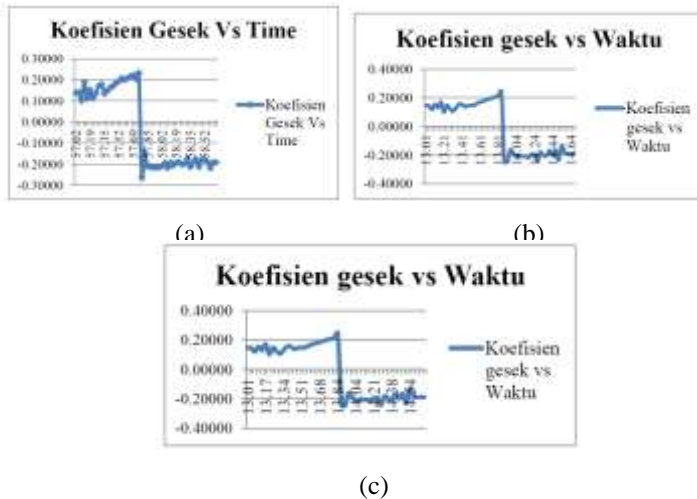
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan peralatan Surface Forces Apparatus untuk menentukan apakah efek dari stick-slip pada morfologi permukaan tulang rawan dalam berbagai macam kondisi loading dan sliding. Perbedaan load dan kecepatan area digambarkan oleh peta gesekan (friction maps) yang membedakan antara area yang halus dan area stick-slip sliding. Hasil dari penelitian ini adalah kerusakan umumnya terjadi pada saat stick-slip dan tidak berhubungan langsung dengan besarnya koefisien gesek. Paparan secara terus menerus ke permukaan tulang rawan hingga stick-slip sliding menghasilkan peningkatan yang signifikan dari kekasaran permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa ada kerusakan morfologi (bentuk) yang cukup parah pada permukaan tulang rawan.

2.3 Koefisien gesek permukaan stick-slip

Pada penelitian tugas akhir dengan judul “Studi eksperimen analisa koefisien gesek pada saat terjadi fenomena *stick-slip friction* pada *reciprocating contact*” (Simatupang, 2016) melakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji koefisien gesek pada permukaan stick-slip antara akrilik dengan steel pada kondisi *reciprocating contact friction*.

Pengujian dilakukan menggunakan pin steel yang bergerak secara *reciprocating* melakukan kontak dengan pelat

akrilik dengan pembebanan ke arah bawah. Pengujian dilakukan tanpa pelumasan (*dry sliding*). 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 2.5 Grafik Koefisien gesek (μ) fungsi waktu dengan variasi pembebanan (a) 1kg (b) 3Kg (c) 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

2.4 Gaya Gesek

Karena tribologi dan gesekan tidak bisa dipisahkan, penting untuk menelusuri sejarah manusia modern mencoba membedah fenomena gesekan. Leonardo da Vinci (1452-1519) yang mula-mula merumuskan cara mengurangi gesekan dalam bentuk yang riil dan terstruktur. da Vinci meninggalkan sketsa *ball bearing* kayu yang sangat mirip dengan *ball bearing* logam yang dipakai saat ini. Di dunia modern sekarang, hampir semua alat yang bergerak memakai bantalan.

Diilhami oleh da Vinci, hukum-hukum fisika mengenai gesekan dirumuskan oleh dua ilmuwan secara terpisah yaitu Amontons (1699) dan selanjutnya Coulomb (1751) dan disebut Hukum Gesekan Amontons-Coulomb. Hukum ini sederhana dan berisi empat butir postulat :

1. Gaya gesekan pada permukaan yang bersentuhan berbanding lurus dengan gaya tegak lurus pada permukaan tersebut.
2. Gaya gesekan tidak bergantung pada luas proyeksi permukaan yang bersentuhan.
3. Gaya gesekan tidak berhubungan dengan kecepatan sliding permukaan.
4. Gaya gesekan statis lebih besar daripada gaya gesekan dinamis.

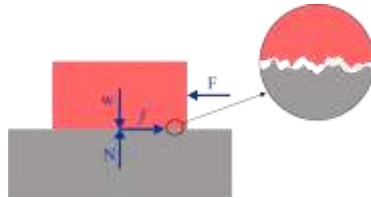
Postulat 1 dan 2, terbukti melalui penelitian (*empirically proved*) akurat untuk gesekan benda padat. Sementara itu, postulat 3 dan 4 dalam beberapa kasus tidak sesuai dengan hasil percobaan. Selama lebih dari dua ratus tahun hukum gesekan di atas (terutama hukum 1 dan 2) dipakai secara luas dan hampir semua disain alat mekanik modern menerapkan hukum ini. Yang unik, Hukum Amontons-Coulomb tidak memiliki pembuktian ilmiah yang akurat. Kehebatan hukum ini terletak pada hasilnya yang sesuai dengan eksperimen pada banyak kasus. Seolah-olah dua orang ilmuwan itu berkata, "Kami memang tidak tahu apa yang

sebenarnya terjadi. Tapi buktinya hukum ini sesuai dengan percobaan".

Pada kenyataannya, sampai sekarang tak seorangpun yang berhasil menguak misteri yang terjadi di lapisan molekul dua permukaan yang bergesekan. Misalnya pada fenomena anomali kekasaran permukaan (*surface roughness*) dan gaya gesekan. Secara sederhana kita akan mengambil kesimpulan bahwa semakin kecil kekasaran permukaan, artinya permukaan semakin licin, semakin kecil pula gaya gesekan yang timbul. Namun ternyata, bila kekasaran permukaan dikurangi terus sampai lebih kecil dari nilai kekasaran tertentu (kira-kira 0.5 micron,) gaya gesekan berbalik menjadi lebih besar. Fenomena ini gagal dijelaskan oleh hukum Amontons-Coulomb.

Gesekan merupakan persinggungan dua atau lebih suatu benda. Ketika mengamati dua benda yang bersinggungan tampak pergerakannya seperti di lawan oleh suatu gaya. Fenomena tersebut dinamakan gesekan (*friction*), dan gaya yang bekerja di dalamnya di sebut gaya gesek (*friction force*). Gesekan adalah bentuk dari hilangnya energi yang terjadi diantara dua permukaan yang saling kontak dan bergerak relatif, dan sering dinyatakan sebagai gaya yang melawan. Gesekan diuraikan dengan koefisien gesek (μ). Koefisien gesek adalah suatu fungsi area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi.

Gesekan juga dipengaruhi oleh beban dan kondisi permukaan. Topografi permukaan suatu material sebenarnya jika dilihat secara mikro adalah tidak rata. Koefisien gesek antara permukaan secara normal meningkat dengan meningkatnya temperatur dan menurunnya beban. Hilangnya energi pada gesekan dapat mendorong kearah meningkatnya temperatur atau deformasi kontak area. Pada hampir semua kasus koefisien gesek rendah akan mendorong ke arah menurunnya laju keausan. Adapun mekanisme gesekan antara dua permukaan dapat diilustrasikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6 Mekanisme gesekan

2.2.1 Jenis-jenis gaya gesek

Terdapat dua jenis gaya gesek antara dua benda yang padat saling bergerak lurus dan bergesekan, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis, yang dibedakan antara titik-titik sentuh antara kedua permukaan yang tetap atau saling berganti. Untuk benda yang menggelinding, terdapat juga jenis gaya gesek lain yang disebut gaya gesek menggelinding (rolling friction). Untuk benda yang berputar tegak lurus pada permukaan, terdapat juga gaya gesek spin (spin friction). Lalu gaya gesek antara benda padat dan fluida disebut sebagai gaya Coriolis-Stokes atau gaya viskos (viscous force). Pada laporan ini hanya membahas gaya gesek statis dan kinetis saja, karena gaya gesek yang berhubungan dengan pengujian ini adalah gaya gesek statis dan kinetis.

1. Gaya gesek statis

Gaya gesek statis (F_{gs}) adalah gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang dilakukan tepat sebelum benda tersebut bergerak. Gaya gesekan maksimum antara dua permukaan sebelum gerakan terjadi adalah hasil dari koefisien gesek statis dikalikan dengan gaya normal. Gaya gesek statis terjadi saat benda dalam keadaan diam atau tepatnya akan bergerak (Utomo, P., 2013).

. Setiap gaya yang lebih kecil dari gaya gesek maksimum yang berusaha untuk menggerakkan salah satu benda akan dilawan oleh gaya gesekan yang setara dengan besar gaya tersebut namun berlawanan arah. Setiap gaya yang lebih besar dari gaya gesek maksimum akan menyebabkan gerakan terjadi. Setelah gerakan terjadi, gaya gesekan statis tidak lagi dapat digunakan untuk

menggambarkan kinetika benda, sehingga digunakan gaya gesek kinetis.

$$F_s = \mu_s \cdot N \quad (2.2)$$

Dimana:

F_s = Gaya gesek statis maksimum (*Kgf* atau *N*).

μ_s = Koefisien gesekan statis (*Tanpa satuan*).

N = Gaya normal yang bekerja pada benda (*N*).

2. Gaya gesek kinetis

Gaya gesek kinetis atau dinamis (F_{gk}) adalah gesekan yang terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Gaya gesek kinetik terjadi saat benda dalam keadaan bergerak (Utomo, P., 2013).

$$F_k = \mu_k \cdot N \quad (2.3)$$

Dimana:

F_k = Gaya gesek kinetis maksimum (*Kgf* atau *N*).

μ_k = Koefisien gesekan kinetis (*Tanpa Satuan*)

2.2.2 Keuntungan dan Kerugian Akibat Gaya Gesek

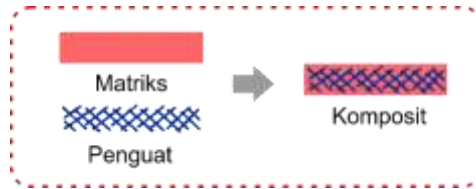
Setiap timbulnya gaya gesek pasti memberi dampak, mulai dari dampak yang merugikan hingga menguntungkan. Berikut ini beberapa dampak keuntungan dan kerugian akibat adanya gaya gesekan dalam kehidupan sehari – hari.

1. Gaya gesekan yang menguntungkan
 - Membantu benda agar dapat bergerak tanpa tergelincir, gesekan antara sepatu dengan lantai karena ketika sepatu menekan lantai ke arah belakang, ada gaya gesekan antara telapak sepatu dan permukaan lantai yang menimbulkan reaksi , di mana lantai mendorong telapak sepatu ke depan.

- Membuat benda bergerak menjadi diam atau membantu menghentikan benda yang bergerak. contoh : Gesekan pada piringan rem sepeda motor digunakan untuk proses pengereman.
 - Menahan benda agak tidak bergeser.
2. Gaya gesekan yang merugikan
- Gesekan antara bagian-bagian mesin mobil dapat menimbulkan panas, maka mesin harus diberi minyak pelumas atau oli.
 - Gesekan antara roda dan poros dapat menghambat putaran roda, maka perlu dipasang bola-bola peluru.
 - Gesekan udara menghambat laju mobil, maka bentuk mobil perlu didesain yang aerodinamis.

2.5 Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga menghasilkan material yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya. Komposit terdiri dari matrik dan *reinforcement agent*. Matrik berfungsi sebagai pengikat, dan *reinforcement agent* berfungsi sebagai penguat bahan komposit. Konsep dari komposit sebenarnya sudah lama di gunakan dalam kehidupan sehari-hari, yaitu dengan mengkombinasikan sifat bahan yang berbeda untuk dijadikan satu sehingga menghasilkan bahan baru yang memiliki sifat yang lebih baik dari material penyusunnya. Material komposit pada umumnya terbuat dari proses pencampuran yang tidak homogen.



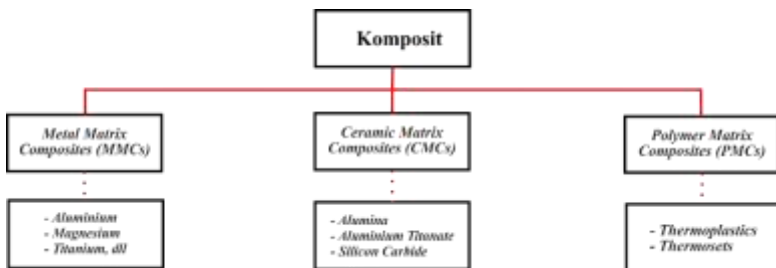
Gambar 2.7 Bahan penyusun komposit

Komposit berbeda dengan paduan, paduan (alloy) adalah kombinasi antara dua bahan atau lebih dimana bahan-bahan tersebut terjadi peleburan sedangkan komposit adalah kombinasi terencana dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat-sifat seperti yang diinginkan dengan cara kombinasi sistematis pada kandungan-kandungan yang berbeda tersebut. (Vlack, 1980).

2.6 Jenis-Jenis Komposit

2.6.1 Komposit Berdasarkan Jenis Matrik

Matrik dari komposit dapat berupa logam, keramik, atau polimer. Berdasarkan fase matriknya komposit di klasifikasikan sebagai berikut: *Metal Matrix Composites (MMCs)*, *Ceramic Matrix Composites (CMCs)*, *Polymer Matrix Composites (PMCs)*. (Groover, 2010).



Gambar 2.8 Diagram jenis komposit menurut matriks penyusunnya.

1. *Metal Matrix Composites (MMCs)*

Pada komposit ini, matrik yang digunakan berupa logam sedangkan bahan penguatnya biasanya berupa partikel keramik, fiber logam, karbon dan boron. Pembuatan matrik logam ini biasanya dikerjakan dalam temperature tinggi, karena untuk melelehkan bahan logam sebelum di cetak menjadi komposit.

Sedangkan untuk logam yang sering digunakan antara lain aluminium, magnesium, dan titanium dll. Komposit ini banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan yang ringan dan tahan panas tetapi mudah memuai.

2. *Ceramic Matrix Composites (CMCs)*

Keramik memiliki beberapa karakteristik menarik seperti kekuataun, kekerasan, dan kekuatan tekan yang cukup tinggi serta kerapatan yang rendah. Namun selain kelebihan terdapat kekurangan seperti ketangguahan (*toughness*) dan tegangan tarik yang rendah. Pembuatan komposit dengan matrik keramik memiliki tingkat kesulitan dan biaya relatif tinggi.

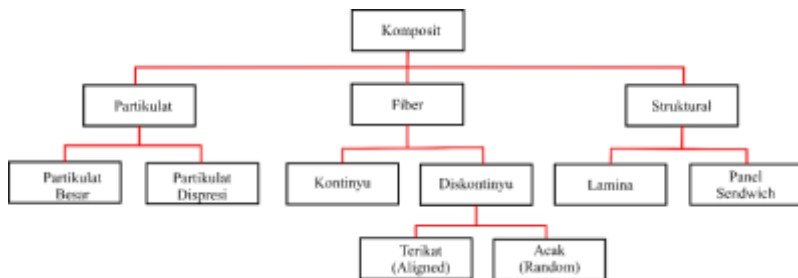
Metode yang biasanya digunakan adalah metode metalurgi serbuk dan sebagai matrik dapat digunakan Alumina (Al_2O_3), Karbida Silicon (SiC), Nitrid boron (BN), atau Karbida titanium (TiC).

3. *Polymer Matrix Composites (PMCs)*

Komposit jenis ini paling banyak digunakan, karena proses pembuatannya yang relative lebih mudah dan biaya yang rendah. Matrik polimer dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *thermoplastic* dan polimer *thermosetting*. Polimer *thermoplastic* adalah material yang mudah berubah sifat fisis dan mekaniknya bila dalam temperature yang tinggi. Namun tahan lenturan dan bersifat ulet. Contoh dari material ini *acrylics* dan *polyethylene*. Sedangkan polimer *thermosetting* merupakan material yang relative tahan terhadap tempertur tinggi. Tetapi getas dan mudah pecah atau retak. Beberapa contoh material ini adalah *epoxy*, *melamine*, dan *polyester*.

2.6.2 Komposit berdasarkan jenis penguat

Komposit juga klasifikasikan berdasarkan jenis penguatnya, secara umum komposit menurut jenis penguatnya di kelompokkan kedalam tiga jenis (Groover, 2010), yaitu : *particulate composite* (komposit partikulat), *fiber composite*, dan *structural composite*. *Particulate composite* (komposit partikulat) merupakan komposit yang menggunkan partikel serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriknya, terdiri dari partikel besar dan penguat dispersi atau *fiber composite* (komposit serat) adalah komposit yang terdiri dari kontinyu dan diskontinyu (terikat dan acak). Sedangkan *structural composite* adalah komposit yang terdiri dari *lamina* dan panel *sandwich* (Lestari, 2008) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.9 (Widyastuti, 2009) berikut :



Gambar 2.9 Pembagian Komposit berdasarkan jenis penguat.

2.7 Komponen Bahan Komposit

Komposit merupakan penggabungan dua macam material atau lebih, yaitu matrik dan *reinforcement agent* atau penguat. Penguat disisipkan ke matrik namun tidak larut didalamnya. Matrik sendiri pada komposit dapat berbentuk: logam, keramik ataupun polimer.

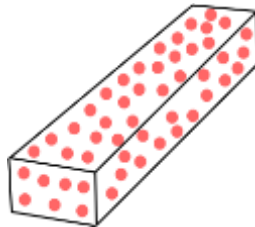
Sedangkan untuk penguatnya (*reinforcement agent*) dapat berupa serat, partikel, maupun serpihan (*flake*). Pada gambar 2.8 Dapat dilihat bentuk-bentuk dari *reinforcement*.



Gambar 2.10 Bentuk-bentuk reinforcement agent (a) serat, (b) partikel, (c) serpihan (flake). (Groover, 2010)

2.8 Komposit berpenguat partikel

Ukuran partikel yang di gunakan dalam pembuatan komposit sangat bervariasi, mulai dari skala mikro sampai skala makro. Mekanisme penguatan oleh partikel tergantung pada ukuran partikel itu sendiri. Keberadaan partikel di dalam matrik, akan menjadikan matrik menjadi lebih keras dan menghambat gerakan dislokasi yang akan timbul. Dalam kejadian ini, sebagian beban luar yang dibrikab bekerja pada matrik (Handoko, 2007).



Gambar 2.11 Komposit berpenguat partikel

2.9 Resin Epoxy

Epoxy adalah polimer yang terbentuk dari monomer-monomer yang tak sejenis (kopolimer), terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda yaitu: resin dan pengeras. Resin ini dapat diperoleh dari proses polimerisasi epoksida. Epoxy resin paling umum yang dihasilkan dari reaksi antara epiklorohidrin dan bisphenol-A.

. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya *triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan akan bersilang, dan dengan demikian didapatkan sifat kaku dan kuat.

Karakter asli dari epoxy resin keras dan getas. Tetapi dalam penggunaan, sering ditambahkan bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekanik yang dikehendaki. Penambahan bahan campuran lain bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, kekenyalan, serta keuletan.

Bahan epoxy mengeras secara bertahap, berbeda dengan bahan poliester yang relatif mengeras dengan cepat, terutama jika katalis yang digunakan dalam jumlah yang banyak. Reaksi kimia dalam kedua kasus adalah eksotermik. Jumlah besar dari campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri dan lebih mempercepat reaksi. Karakter property dari epoxy resin dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Material Properties Epoxy Resin (www.matweb.com, n.d.)

Physical Properties	
Density	0,490-1,80 g/cc
Viscosity	200-180000 cP 46-1500 cP @Temp 65-100 C
Water Absorption	0.10 - 3.9 %
Mechanical Properties	
Hardness, Rockwell M	85-121

Hardness, Shore D	6,0-90
Tensile Strength	7,58-96,5 MPa
Elongation at Break	0,70-140 %
Thermal Properties	
Maximum Service Temperature, Air	300 C



Gambar 2. 12 Resin dan hardener.

2.10 Grafit

Grafit adalah salah satu bentuk alotrop dari karbon. Grafit berasal dari pelapukan sisa-sisa kehidupan, prosesnya disebut dengan metamorfogenik. Grafit memiliki struktur layer yang terdiri dari cincin-cincin karbon yang berjumlah enam buah atom dan tersusun dalam lembaran-lembaran horizontal dengan jarak yang luas. Oleh karena itu, grafit terkristalisasi dalam sistem heksagonal, berbeda dengan elemen-elemen kristal lain yang serupa yang pada umumnya terkristalisasi dalam sistem *octahedral* atau *tetrahedral*.

Grafit berwarna kelabu akibat delokalisasi elektron antar-permukannya, grafit dapat berfungsi sebagai konduktor listrik. Grafit juga sangat lunak (dengan kekerasan 1-2 pada skala Mohs) dan dapat digunakan sebagai minyak pelumas untuk membuat peralatan mekanis bekerja lebih lancar. Grafit sekarang umum digunakan sebagai "timbal" pada pensil.

Tabel 2.3 Material Properties Grafit (www.matweb.com, n.d.)

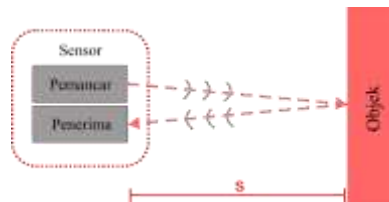
Physical Properties	
Density	2,25 g/cc
Specific Surface Area	1,0 m ² /g
Mechanical Properties	
Hardness, Mohs	1,0-2,0
Tensile Modulus	4,85 GPa
Thermal Properties	
Maximum Service Temperature, Inert	<=3650 °C
Thermal Conductivity	24,0 W/mK



Gambar 2. 13 Bubuk Grafit

2.11 Motion Sensor (PASCO PS-2103A)

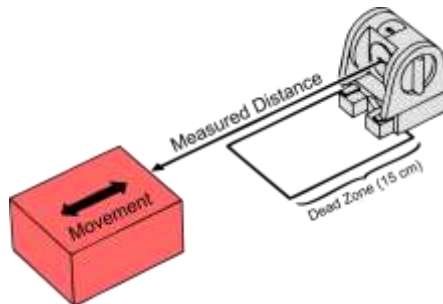
Sensor gerak (*motion sensor*) digunakan untuk mengukur dan merekam posisi kecepatan dan percepatan suatu objek yang bergerak dari satu titik ke titik lainnya. Sensor gerak melakukan pengukuran menggunakan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik dipancarkan dari *gold transducer* yang ada pada bagian depan sensor hingga mencapai objek target dan kemudian dipantulkan kembali ke sensor. Gelombang ultrasonik bergerak sangat cepat di udara dengan kecepatan suara, sehingga sensor secara tidak langsung dapat mengukur jarak atau posisi antara dirinya dan objek target. Sensor kemudian menggunakan pengukuran posisi selanjutnya untuk menentukan kecepatan objek serta akselerasi dari objek.



Gambar 2.14 Prinsip dasar sensor ultrasonik

Karena *motion sensor* menggunakan ultrasonik, maka tingkat sensitifitas terhadap objek penghalang yang mungkin dapat menghalangi atau berada di dekat objek target saat membuat pengukuran cukup tinggi. Pada saat melakukan pengukuran pastikan membersihkan jalur ukur dari semua benda/objek yang berpotensi mengganggu pengukuran.

Pada saat pengukuran perhatikan jarak minimum dan maksimum yang dapat di jangkau oleh sensor. Pada *motion sensor* (PASCO PS-2103A) memiliki jangkauan minimum (*dead zone*) 15 cm dan jangkauan maksimum 8 m. Saat membuat pengukuran, transduser di bagian depan sensor gerak harus diarahkan langsung di objek target.



Gambar 2.15 Ilustrasi pengukuran dengan motion sensor.

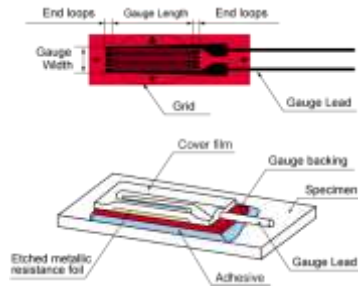
2.12 Force Sensor

Force sensor sebuah sensor atau alat yang digunakan untuk mengukur gaya atau tekanan suatu benda. Sensor gaya yang banyak digunakan ialah strain gauge. Strain gauge adalah alat atau sensor yang berfungsi untuk mengukur suatu tekanan atau berat suatu benda. Alat atau sensor yang satu ini pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Edward E. Simmons sekitar tahun 1983.

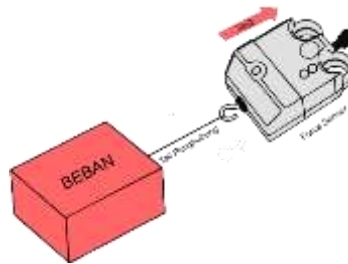
Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain). Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya adalah jika tekanan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

Gaya yang diberikan pada suatu benda logam (material ferrit / konduktif), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut. Dengan menempelkan jenis material tersebut pada suatu benda uji

(specimen) menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya.



Gambar 2.16 Konfigurasi dari Strain gauge (www.tml.jp)



Gambar 2.17 Ilustrasi penggunaan force sensor

2.13 Universal Interface

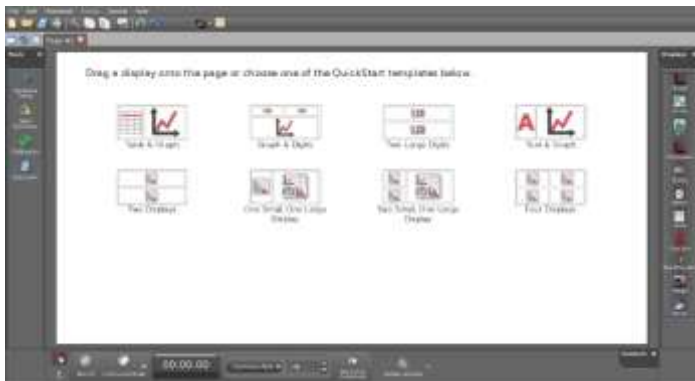
Universal interface merupakan alat yang digunakan untuk mengintegrasikan instrumentasi elektronik seperti sensor-sensor pengukuran dengan perangkat lunak guna memudahkan pembacaan dan analisa data. Pada gambar 2.18 contoh penggunaan *universal interface* yang terhubung dengan *force sensor* dan *motion sensor* dalam percobaan pengukuran *sliding friction*.



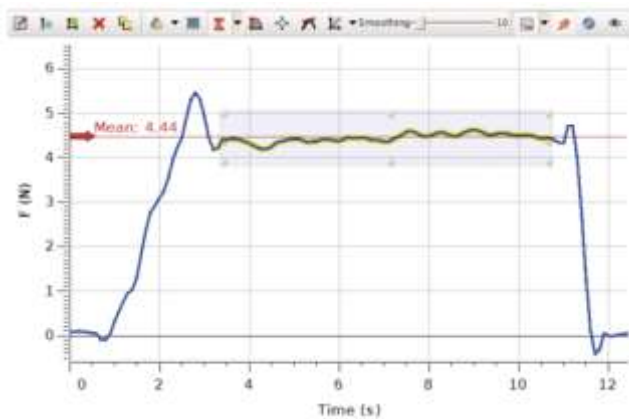
Gambar 2.18 Sliding Friction Experiment (www.pasco.com)

2.14 PASCO Capstone Software

Merupakan software *interface* dalam memudahkan pengambilan serta pengolahan data dalam suatu eksperimen yang di lakukan. Pengolahan data dilakukan oleh pembacaan sensor yang ada pada perangkat keras tertentu kemudian di sajikan dalam bentuk angka, tabel ataupun grafik yang akan berguna dalam suatu eksperimen.



Gambar 2.19 Tampilan interface pasco capstone

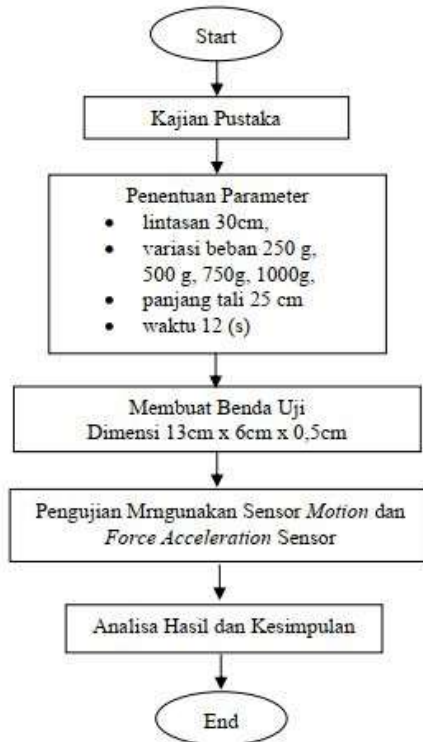


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat diagram alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian dilakukan secara eksperimental atau analitis, yaitu pengambilan data secara langsung dan dilakukan perhitungan serta analisa. Secara umum metodologi penelitian dapat dijabarkan pada diagram alir berikut ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.

3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian pengujian pada benda uji yang telah dibuat yaitu Resin *Epoxy* dengan variasi penambahan Grafit adalah sebagai berikut :

1. Kajian Pustaka

Langkah awal dalam melakukan penelitian ini adalah kajian pustaka dengan mencari referensi yang berupa tugas akhir, jurnal, thesis, handbook, serta artikel untuk menemukan teori-teori yang berhubungan dengan pengujian koefisien gesek dan keausan pada spesimen Resin *Epoxy*.

2. Penentuan Parameter

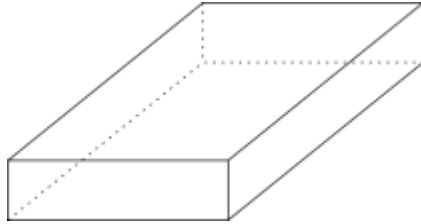
Setelah melakukan kajian pustaka, langkah selanjutnya adalah dengan menentukan parameter-parameter yang akan digunakan dalam pengujian. Parameter yang dapat ditentukan meliputi, panjang lintasan sepanjang 60 cm, variasi beban.



Gambar 3.2. Beban yang digunakan

3. Membuat Benda uji

Benda uji yang digunakan dalam pengujian ini adalah Resin *Epoxy* dengan adanya penambahan grafit.



Gambar 3.3. Benda Uji

4. Pengujian

Pada tahap ini, spesimen yang telah dibuat akan di uji dengan *motion sensor*, *high resolution force sensor* dan *discover friction accessory* (baki) dengan panjang lintasan sepanjang 60cm, variasi beban 250gr,500gr,750gr dan 1000gr, serta Panjang benang 25 cm (loop dari 50cm).

5. Analisa Hasil dan Kesimpulan

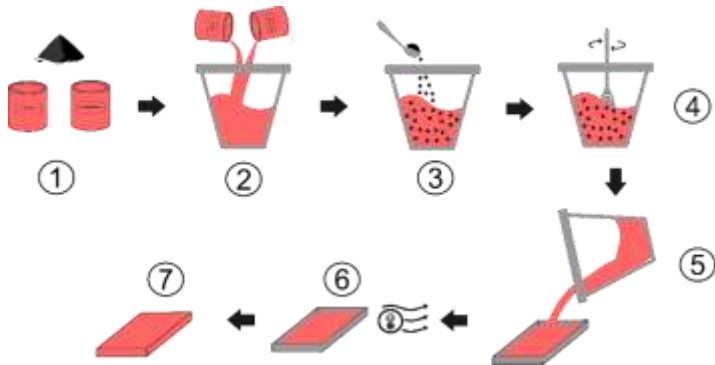
Dari pengujian yang telah dilakukan akan diperoleh beberapa data yang nantinya akan dianalisa, kemudian dibandingkan antar spesimen untuk selanjutnya didapatkan suatu kesimpulan dari keseluruhan penelitian.

Table 3.1 Contoh Table Pengujian

Trial	Mass (gram)	Normal Force (N)	Static Frictional Force (N)	Kinetic Frictional Force (N)
1				
2				
3				
4				
...				

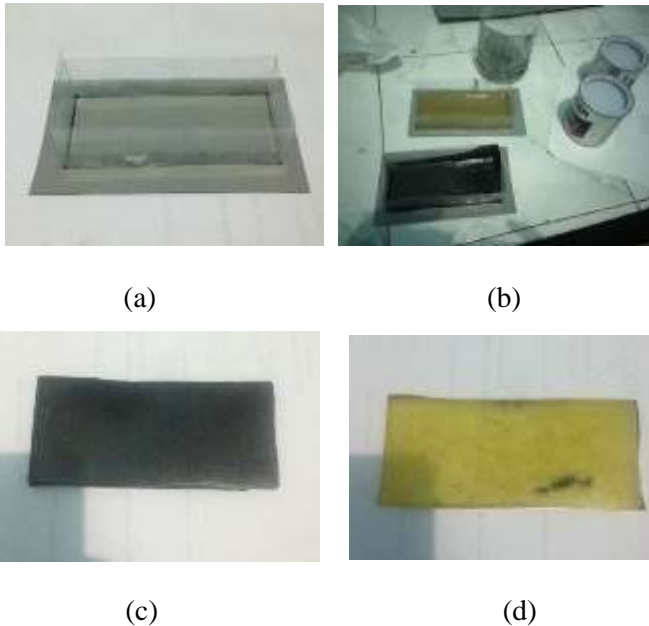
3.3 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan benda uji Resin *Epoxy* dengan penambahan Grafit adalah sebagai berikut :



Gambar 3.4. Ilustrasi Proses Pembuatan Benda Uji

1. Persiapkan bahan resin, hardener dan bubuk grafit.
2. Tuangkan kan resin dan hardener 20gr/20gr.
3. Masukkan bubuk grafit (7%) kedalam campuran resin.
4. Aduk campuran hinga grafit tercampur rata dengan resin.
5. Tuangkan campuran resin dengan grafit kedalam cetakan.
6. Dinginkan dalam suhu ruangan dan tunggu hingga resin mengeras.
7. Buka resin yang telah mengerah dari cetakan.



Gambar 4.5 (a) Cetakan (b) Proses Pencetakan
(c) Resin dengan Grafit (d) Resin tanpa Grafit

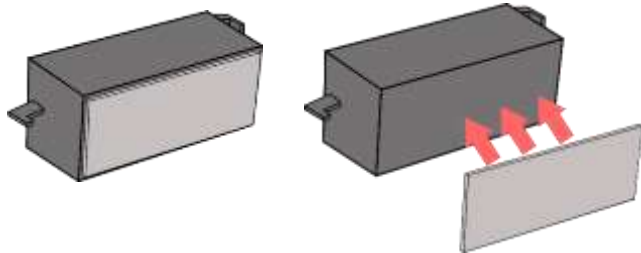
3.4 Langkah Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi eksperimental yang memiliki langkah kerja sebagai berikut :

A. SET-UP

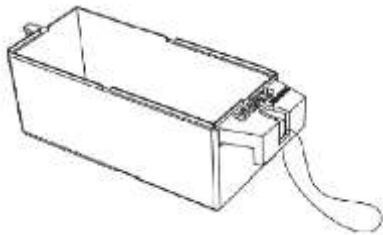
1. Sambungkan *force sensor* dan *motion sensor* ke input konektor *pasco passport interface*.
2. Set *sample rate* untuk kedua sensor (*force sensor* dan *motion sensor*) ke 50 Hz dalam software *PASCO Capstone*.

3. Buat grafik kecepatan vs waktu pada software dan tambahkan area plot kedua dan pilih Force untuk sumbu vertikal kedua.
4. Rekatkan benda uji dengan baki (*discover friction accessory*) dengan perekat atau *double tape*.



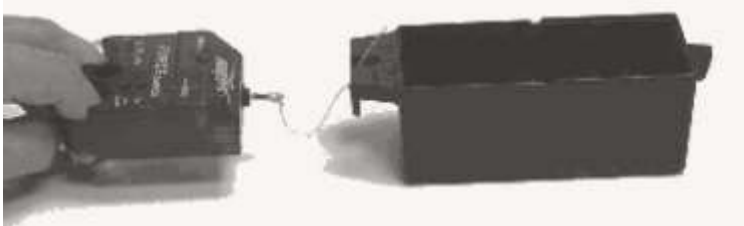
Gambar 3.5 Ilustrasi Proses pemasangan benda uji pada baki

5. Potong benang sekitar 50cm ikat kedua ujung hingga membentuk lingkaran, ikatkan benang pada baki (*discover friction accessory*).



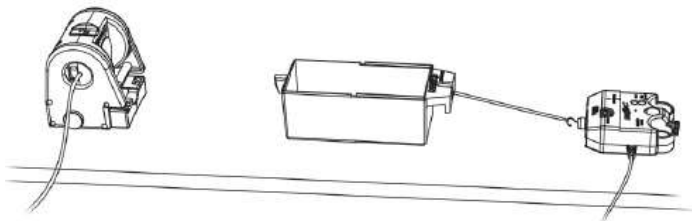
Gambar 3.6 Ilustrasi baki dengan tali

6. Ikat/kaitkan ujung benang yang lain ke pengait yang ada pada *force sensor*.



Gambar 3.7 Benang menghubungkan baki dan *force sensor*.

7. Set *switch on* pada *motion sensor* untuk *short range setting*. Set angle 0 derajat
8. Tempatkan baki (*discover friction accessory*) 15 cm di depan *motion sensor* .(minimum deadzone)
9. Posisikan *motion sensor*, baki, dan *force sensor* sat ugaris lurus.



Gambar 3.8 Ilustrasi konfigurasi alat

B. PROSEDUR PERCOBAAN

10. Tekan tombol "*zero*" pada *force sensor* tanpa adanya tegangan (*tension*) pada benang.
11. Berikan pembebanan pada baki di mulai dari yang teringan 250 g hingga 1000 g bergantian setiap sesalai satu pengambilan data.

12. Tempatkan Baki di atas meja lab / permukaan yang telah disiapkan. Pastikan untuk menggunakan bagian meja yang sama setiap kali melakukan pengambilan data, karena variasi pada permukaan dapat mempengaruhi hasil.
13. Klik tombol recording pada software untuk memulai perekaman data. Tarik force sensor perlahan-lahan secara horizontal hingga baki mulai bergerak, lanjutkan menarik secara lambat dan konstan sasua lintatas yang telah di tuntukan.
14. Perhatikan grafik velocity vs time pada monitor saat melakukan penarikan untuk menghindari osilasi yang berlebihan saat menarik *force sensor*.
15. Baca data yang terlihat dalam grafik dan masukan kedalam table.
16. Lakukan pengulangan proseur percobaan untuk variasi pembebanan yang berbeda.

3.5 Spesifikasi Peralatan Pengujian

3.3.1 Peralatan Uji Koefisien Gesek

- a. *550 Universal Interface* (UI-5001)



Gambar 3.9 *550 Universal Interface* (UI-5001)

Tabel 3.2 Spesifikasi Universal Interface (UI-5001)

2 High-Speed Analog Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Measurement Range: ± 10 V differential input • Input Impedance: $1\text{ M}\Omega$ • Input Protection: ± 250 V continuous • Selectable Voltage gain: X1, X10, X100 • Bi-directional • Resolution: 1.22 mV, 14-bit ADC
2 Digital Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Digital sensors such as Photogates and Time-of-Flight plug directly into the 550 Interface • Compatible with all ScienceWorkshop digital sensors • Sensor Connect Detection • 0-5 V TTL • Bi-directional
2 PASPORT Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible with all of PASCO's complete line of more than 70 PASPORT sensors • Sample rates depend on sensors

Signal Generator	<ul style="list-style-type: none">• Waveforms: sine, triangle, square wave, positive and negative ramps, DC• Frequency range: 0.001 to 100,000 Hz with 0.001 Hz resolution• Amplitude Range: ± 8 V• Resolution: 3.9 mV, 12-bit DAC• Max Output Current: 400 mA at 8 V, over-current detection• Selectable Voltage Limit• Selectable DC Offset• Frequency Sweep Function• Measure output current, voltage
------------------	---

b. Pasco PASPORT *Motion Sensor* (PS-2103A)



Gambar 3.10 Pasco PASPORT Motion Sensor (PS-2103A)

Tabel 3.3 Spesifikasi PASPORT Motion Sensor (PS-2103A)

Minimum Range	0.15 meters
Maximum Range	8 meters
Resolution	1 mm
Maximum Sampling Rate	250 Hz
Transducer Rotation	360°
Narrow Near/Far Switch Settings	For distances up to 2 meters to reject false target signals or ignore air track noise.
Standard Near/Far Switch Settings	For longer distances up to 8 meters.
Cable Length	1.8 meter
Mounting Options	Non-skid rubber feet for table mount

- c. Pasco PASPORT *High Resolution Force Sensor* (PS-2189)



Gambar 3.11 Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor
(PS-2189)

Tabel 3.4 Spesifikasi PASPORT High Resolution Force Sensor
(PS-2189)

Range	± 50 N
Measurement Resolution	0.002 N
Zero (Tare) Function	Push-button
Max Sample Rate	1000 Hz (550 interfaces)
Force Overload Protection	Up to 75 N

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas dan dianalisa hasil eksperiment pengukuran nilai koefisien gesek pada kondisi statis maupun kinetis serta pengaruh penambahan grafit dengan fraksi massa tertentu (7% grafit dari massa resin) terhadap besar nilai koefisien gesek pada material resin epoxy.

4.1 Nilai Koefisien Gesek Statis Dan Kinetis

Gaya gesek statis adalah gaya yang bekerja pada dua permukaan benda padat, arah dari gaya gesek statis selalu berlawanan dengan arah gaya luar yang diberikan pada benda padat tersebut. Gaya gesek statis bekerja pada benda yang diam, maksud dari gaya gesek statis bekerja pada benda yang diam adalah gaya yang diberikan pada benda padat ketika benda padat tersebut mulai bergerak. Jika gaya tarik atau dorong yang bekerja pada suatu benda padat tersebut lebih kecil dari gaya gesekan statis maksimum, maka benda masih dalam keadaan diam dan gaya gesekan yang bekerja pada benda mempunyai besar yang sama dengan nilai gaya tarik atau dorong pada benda padat tersebut. Benda padat akan bergerak ketika gaya yang diberikan pada benda padat tersebut melebihi dari gaya gesekan statis maksimum. Adapun rumus dari gaya gesek statis adalah:

$$F_s = \mu_s W \quad (4.1)$$

$$\mu_s = \frac{F}{W} \quad (4.2)$$

$$\mu_s = \frac{F}{m \cdot g} \quad (4.3)$$

Dari rumus gaya gesek statis dapat dilihat yang mempengaruhi besar kecilnya gaya gesek statis adalah massa dari benda uji dan nilai dari koefisien gesek statis benda uji tersebut. Selain itu yang mempengaruhi besar kecilnya nilai gaya gesek statis adalah gaya yang diberikan pada benda uji saat pengujian.

Gaya gesek kinetis adalah gaya yang bekerja pada dua permukaan benda padat, dimana arah gaya gesek kinetis tersebut selalu berlawanan dengan arah gaya luar yang diberikan

pada benda padat tersebut. Gaya gesek kinetis bekerja pada saat benda tersebut bergerak. Untuk rumus dari gaya gesek kinetis sama seperti rumus dari gaya gesek statis yang membedakan adalah menggunakan nilai koefisien gesek. Untuk gaya gesek statis menggunakan μ_s dan untuk gaya gesek kinetis menggunakan μ_k . Adapun rumus dari gaya gesek kinetis adalah :

$$F_k = \mu_k W \quad (4.4)$$

$$\mu_k = \frac{F}{W} \quad (4.5)$$

$$\mu_k = \frac{F}{m \cdot g} \quad (4.6)$$

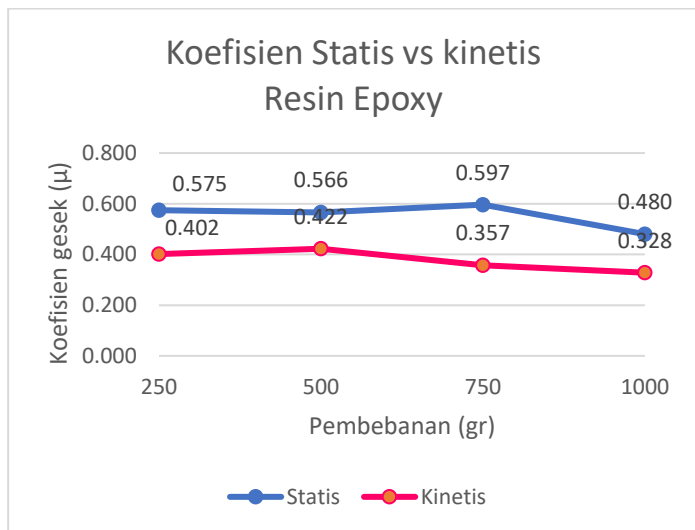
4.1.1 Data Pengukuran Nilai Koefisien Gesek Material Resin Epoxy Tanpa Grafit

Hasil dari pengukuran nilai koefisien gesek pada material resin epoxy tanpa penambahan bubuk grafit dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4. 1 Data pengukuran nilai koefisien gesek pada material resin epoxy tanpa penambahan bubuk grafit.

Resin					
Kurva Sebelum Gerak (Statis)					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_s
250	0.398	0.461	2.241	1.278	0.575
500	0.648	1.354	3.593	2.187	0.566
750	0.898	1.285	5.25	3.307	0.597
1000	1.148	1.607	5.403	3.713	0.480
Kurva Ketika Bergerak (Kinetis)					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_k
250	0.398	0.679	1.567	1.088	0.402
500	0.648	1.471	2.683	2.26	0.422
750	0.898	1.359	3.142	2.579	0.357
1000	1.148	2.34	3.692	3.19	0.328

Dari data yang ada, dapat dianalisa berupa nilai koefisien gesek statis maupun kinetis pada material resin epoxy tanpa penambahan bubuk grafit dengan beberapa variasi pembebanan yang berbeda. Pada table 4.1 dapat dilihat setiap terjadi peningkatan pada berat beban maka akan secara langsung mempengaruhi dan gaya atau nilai F yang dihasilkan. Besarnya nilai koefisien gesek dari material resin epoxy dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada material resin epoxy

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa pada material resin epoxy dilakukan percobaan pada benda uji yang sama dengan 4 variasi pembebanan yang berbeda, yaitu dengan pembebanan 250gr, 500gr, 750gr dan 1000gr. Nilai tersebut belum termasuk berat baki dan benda uji sendiri yang keduanya memiliki berat 148gr. Nilai μ didapatkan dari perhitungan F_{max} dibagi dengan berat total yang telah dikalikan dengan nilai gravitasi, berat total

sendiri yang dimaksud adalah berat beban ditambah dengan berat dari benda uji serta baki pengujian.

Pada grafik di atas terlihat nilai koefisien statis relatif memiliki nilai yang lebih tinggi di banding nilai koefisien kinetis. Pada pembebanan 250gr nilai μ_s sebesar 0,402 dan untuk μ_k sebesar 0,575. Pada pembebanan 500gr nilai μ_s sebesar 0,422 dan μ_k 0,566. Pada beban 750 ditunjukkan nilai μ_s 0.357 dan μ_k 0,597, Adapun pada pembebanan 1000gr μ_s 0,328 dan μ_k 0,480.

4.1.2 Data Pengukuran Nilai Koefisien Gesek Material Resin Epoxy Dengan Penambahan Grafit

Hasil dari pengukuran nilai koefisien gesek pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit dilihat pada tabel 4.2.

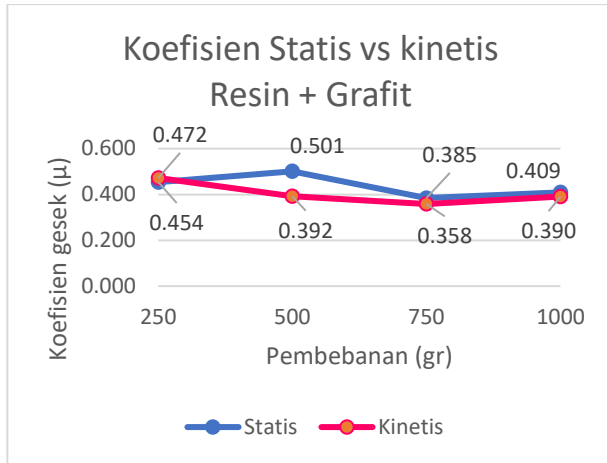
Tabel 4. 2 Data pengukuran nilai koefisien gesek pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit.

Resin + Grafit					
Kurva Sebelum Gerak (Statis)					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_s
250	0.398	0.006	1.771	0.317	0.454
500	0.648	0.065	3.181	1.639	0.501
750	0.898	1.956	3.384	2.702	0.385
1000	1.148	1.435	4.599	2.727	0.409
Kurva Ketika Bergerak (Kinetis)					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_k
250	0.398	1.193	1.841	1.458	0.472
500	0.648	2.104	2.491	2.896	0.392
750	0.898	1.943	3.153	2.601	0.358
1000	1.148	2.2	4.391	3.043	0.390

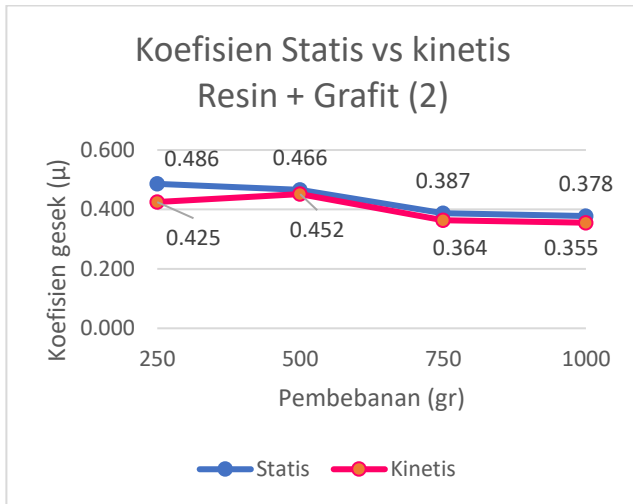
Tabel 4. 3 Data pengukuran nilai koefisien gesek pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit percobaan 2.

Resin + Grafit Percobaan 2					
Statis					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_s
250	0.398	0.024	1.896	1.073	0.486
500	0.648	1.133	2.961	2.164	0.466
750	0.898	1.537	3.408	2.563	0.387
1000	1.148	1.03	4.25	2.838	0.378
Kinetis					
Berat Beban (gr)	Berat Total (Kg)	FMin (N)	Fmax (N)	Mean (N)	μ_k
250	0.398	0.892	1.656	1.202	0.425
500	0.648	1.651	2.868	2.118	0.452
750	0.898	1.986	3.201	2.472	0.364
1000	1.148	2.614	3.998	3.2	0.355

Dari data pada tabel 4.2, dapat dianalisa berupa nilai koefisien gesek statis maupun kinetis pada material resin epoxy penambahan bubuk grafit 7% dari masa resin dengan beberapa variasi pembebanan 250gr,500gr,750gr dan 1000gr. Dari data tersebut nilai μ_s dan μ_k memiliki selisih yang lebih kecil dibandingkan dengan grafik pada gambar 4.1 untuk perbandingan μ_s dan μ_k pada resin epoxy tanpa penambahan bubuk grafit seperti terlihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit.



Gambar 4. 3 Grafik nilai koefisien gesek statis dan kinetis pada material resin epoxy dengan penambahan bubuk grafit percobaan 2.

Pada grafik 4.2, terlihat tren grafik yang cenderung menyempit, meskipun garis yang mewakili μ_k atau koefisien kinetis lebih rendah di beberapa pembebanan. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh penambahan grafit terhadap nilai koefisien gesek dan transisi nilai μ menjadi lebih sempit dari μ_s ke μ_k , atau sering dikenal dengan fenomena stikc-slip.

Pada pembebanan 250gr nilai μ_s sebesar 0,454 sedangkan μ_k lebih besar 0,018 dari μ_s yaitu 0,472, hal tersebut diduga karena kesalahan saat melakukan pengukuran, dimana penarikan force sensor dilakukan secara manual sehingga memungkinkan besar terjadi kesalahan. Untuk menkonfirmasi hal tersebut dilakukan percobaan ke 2 seperti pada gambar 4.3, hasil yang didapat trandline nilai koefisien kinetis lebih rendah jika dibanding koefisien statis.

Pada pembebanan 500gr dari gambar 4.2 nilai dari μ_s sebesar 0,501 sedangkan nilai dari μ_k sebesar 0,392. Pada pembebanan 750gr nilai dari μ_s ada pada angka 0,385 dan μ_k relatif lebih rendah pada angka 0,358. Untuk pembebanan pada 1000gr perbedaan terlihat kecil yaitu nilai μ_s 0,409 dan μ_k 0,390.

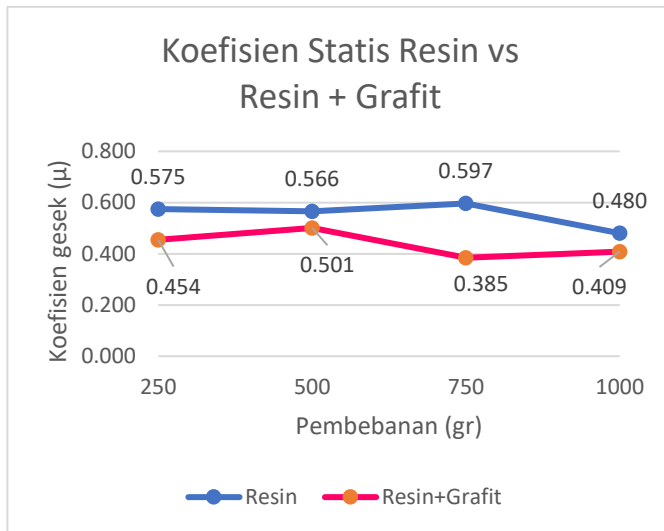
Pada jurnal yang berjudul “Analisis Koefisien Gesek Statis dan Kinetis Benda di Bidang Miring Menggunakan Video Tracker”, Astro dkk., (2017) mengungkapkan nilai koefisien gesek statis (μ_s) yang diperoleh pada eksperimen yang dilakukan untuk material kayu sebesar 0,56; aluminium 0,47; dan kaca 0,38. Sedangkan koefisien gesek kinetis (μ_k) diperoleh kayu sebesar 0,35; aluminium 0,40; dan kaca 0,30. Koefisien gesek kinetis tidak dipengaruhi oleh sudut kemiringan bidang. Disimpulkan bahwa nilai koefisien gesek statis (μ_s) tidak sama dengan besar nilai koefisien gesek kinetis (μ_k), sebab besarnya nilai koefisien gesek statis (μ_s) tidak ditentukan oleh besarnya koefisien gesek statis (μ_k).

Membanding hasil pengukuran yang dilakukan pada resin epoxy dengan apa yang telah dilakukan Astro dan kawan-kawan nilai μ_s besarnya tidak sama dengan μ_k dan nilai μ_s relative lebih tinggi jika melihat dari kedua pengukuran tersebut. Kedua

penelitian tersebut menggunakan metode dan material yang berbeda, meski tidak dapat di bandingkan secara langsung namun secara garis besar membuktikan hasil yang serupa.

4.2 Nilai Koefisien Gesek Pada Resin Epoxy Dengan Dan Tanpa Penambahan Grafit

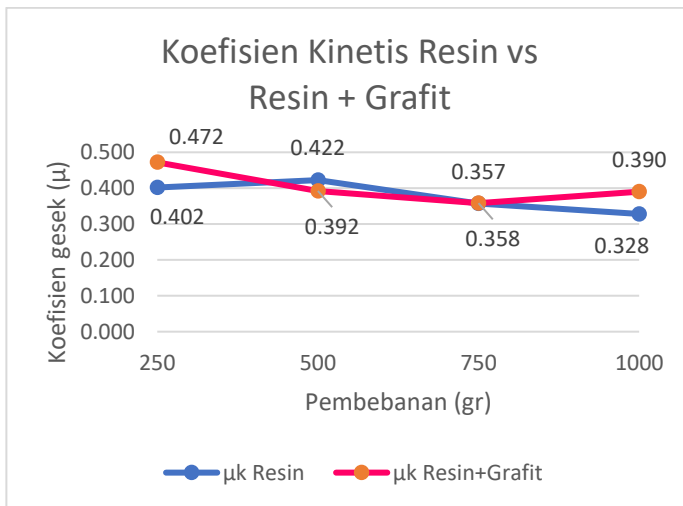
Pada table 4.1 dan table 4.2 terlihat ada sedikit perbedaan nilai koefisien gesek statis antara resin epoxy dengan penambahan grafit dan tanpa penambah seperti terlihat pada gambar 4.3 dibawah.



Gambar 4. 3 Grafik nilai koefisien gesek statis material resin epoxy tanpa penambahan dengan penambahan bubuk grafit

Pada grafik yang ditunjukkan gambar 4.3 resin dengan penambahan grafit memiliki nilai koefisien statis cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan resin tanpa penambahan grafit pada pembebanan 250gr nilai μ_s 0,454 pada resin dengan penambahan

grafit sedangkan resin tanpa grafit memiliki nilai μ_s sebesar 0,575. Pada pembebanan 500gr μ_s resin tanpa grafit 0,566 dan dengan penambahan grafit 0,501. Untuk beban 750gr dengan grafit sebesar 0,385 dan tanpa grafit 0,597. Pada 1000gr memiliki nilai sebesar 0,409 untuk resin penambahan grafit dan 0,480 tanpa grafit. Dalam hal ini pebahan grafit berpengaruh terhadap nilai μ_s dan resin tanpa grafit memiliki nilai μ_s cenderung lebih tinggi. Pembebana tidak berpengaruh secara eksponensial terhadap nilai koefisien gesek.



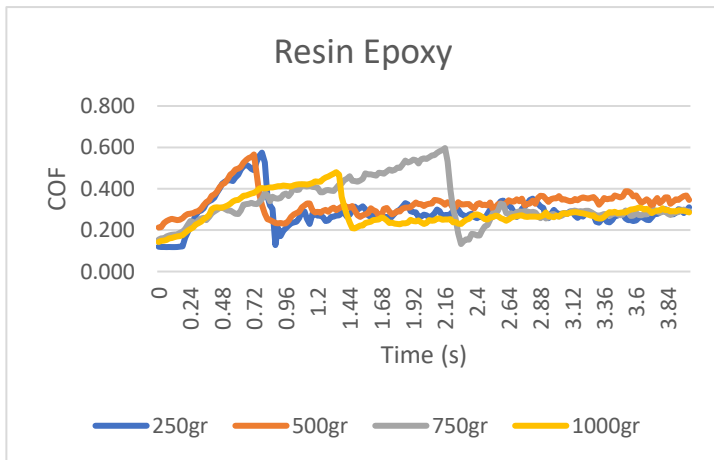
Gambar 4. 3 Grafik nilai koefisien gesek kinetis material resin epoxy tanpa penambahan dengan penambahan bubuk grafit

Pada gambar 4.3 Grafik nilai koefisien gesek kinetis material resin epoxy tanpa penambahan dengan penambahan bubuk grafit memiliki trend yang tidak teratur jika dibandingkan dengan grafik nilai koefisien gesek statis pada gambar 4.2. pada pembebanan 250gr μ_k resin dengan penambahan grafit sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan resin tanpa penambahan grafit yaitu 0,472 dan 0,402 untuk nilai μ_k resin tanpa grafit. Pada beban

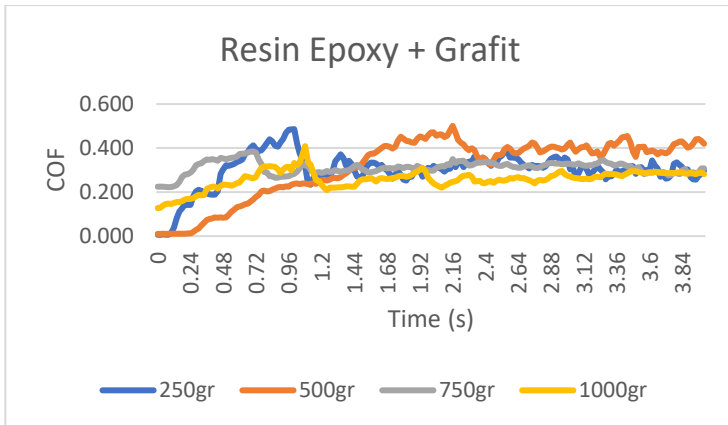
500gr μ k resin dengan penambahan grafit lebih rendah yaitu 0,392 sedangkan resin tanpa grafit memiliki nilai μ k sebesar 0,392, untuk beban 750gr relatif memiliki nilai yang sama. Pada pengukuran dengan beban 1000gr nilai μ k resin dengan tambahan grafit Kembali lebih tinggi di bandingkan dengan resin tanpa grafit yaitu 0,390 dan 0,328 untuk nilai μ k resin tanpa penambahan grafit.

4.3 Pola Stick-Slip Pada Variasi Pembebanan.

Penelitian yang dilakukan (S.W. Yoon, 2012) menjelaskan bahwa *stick-slip* selama sliding dapat dianalisa pada saat kondisi pembebanan dan juga pada bagian luar permukaan. Hal ini dapat dilihat karena amplitude dan frekuensi stick-slip cenderung menentukan kerusakan secara perlahan. Pola stick-slip resin epoxy pada beberapa pembebanan dapat dilihat pada gambar 4.4 dan 4.5



Gambar 4. 4. Pola stick-slip resin epoxy pada beberapa pembebanan



Gambar 4. 5. Pola stick-slip resin epoxy dan grafit pada beberapa pembebanan.

Pada gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan pola *stick-slip* yang terjadi pada beberapa pembebanan dengan time frame waktu 4 detik. Pada pola *stick-slip* pada resin epoxy tanpa penambahan grafit pola osilasi dari grafik relatif mirip pada saat benda uji sudah melewati titik nilai COF tertingginya (kondisi puncak statis), namun pada gambar 4.5 pada grafk resin epoxy dengan penambahan pada pembebanan 750gr dan 1000gr osilasi lebih halus dan merata atau amplitudo yang dihasilkan berbeda dengan pada pembebanan 250gr dan 500gr.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Gaya (F) yang dihasilkan F_{min} atau F_{max} meningkat seiring dengan meningkatnya beban yang diberikan namun nilai koefisien gesek tidak secara langsung berbanding lurus ketika variasi beban di berikan. Nilai μ_s untuk resin dengan penambahan grafit untuk pembebanan 250gr, 500gr, 750gr, dan 1000gr adalah 0.454, 0.501, 0.385, dan 0.409, sedangkan untuk nilai μ_k 0.472, 0.392, 0.358, dan 0.390.
2. Penambahan bubuk grafit pada material resin epoxy dapat memperkecil jarak antara nilai μ_s dan μ_k pada grafik bila di bandingkan dengan grafik resin tanpa grafit.
3. Pada grafik resin epoxy dengan penambahan pada pembebanan 750gr dan 1000gr osisiasi lebih halus dan merata yang dihasilkan berbeda dengan pada pembebanan 250gr dan 500gr.

5.2 Saran

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

1. Pada penelitian ini dilakukan alat yang digunakan masih terbilang sesuatu yang baru, sehingga masih minim prosedur penguannya. Penulis berharap kedepan sedikit ada yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat memberi kontribusi untuk dapat dibuat langkah prosedural yang lebih baik untuk penguasaan alat dalam pengujian koefisien gesek sehingga dapat memudahkan pembelajaran dan penelitian selanjutnya.

2. Pada saat melakukan pengukuran untuk mempertahankan kecepatan dan konsistensi dari penarikan *force sensor* menjadi sebuah tantangan dimana dapat berpengaruh pada hasil yang terbaca, penulis berfikir akan lebih baik jika ada mekanisme seperti katrol yang membantu dalam menarik sensor agar konsistensi dari kecepatan penarikan lebih terjaga.
3. Penelitian ini menggunakan variasi beban 250gr,500gr,500gr dan 1000gr, dari hasil pengukuran perbedaan nilai kecil. Saran menggunakan beban dengan variasi yang lebih berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Astro, R. B., Amirudin, D., Mufida, D. H., Humairo, S., & Viridi, S. 2017. **Analisis Koefisien Gesek Statis dan Kinetis Benda di Bidang Miring Menggunakan Video Tracker**. Bandung
- Dong Woog Leea, X.B. 2012. **Stick-slip friction and wear of articular joints**. *PNAS PLUS*. California
- Groover, M.P. 2010. **Fundamentals of Modern Manufacturing 4th ed**. USA: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Handoko, I. A. 2007. **Komposit berpenguat serbuk tempurung kelapa sawit dengan resin arindo butek 3210 sebagai alternatif pengganti kanvas rem-Skripsi thesis**. Yogyakarta: Sanata Dharma University.
- Lestari, F.P. 2008. **Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat AL₂O₃ Terhadap Karakteristik Komposit Lamina Hibrid Al/SiC-AL₂O₃ Produk Metalurgi Serbuk**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- S.W. Yoon, M.W., Shin, W.G., dan Lee, H.J. 2012. **Effect of surface contact conditions on the stick–slip behavior**. Amsterdam : ElsevierScientific
- Simatupang, R. 2016. **Studi Eksperimen Analisa Koefisien Gesek Pada Saat Terjadi Fenomena Stick-Slip Friction Pada Reciprocating Contact**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Vlack, L.H. 1980. **Materials Science for Engineering** . USA: Addison wesley .
- Widyastuti. 2009. **Rekayasa Proses Laminasi Komposit laminat Hibrid Al/SiC-Al/AL₂O₃ Pada Fasa Padat**. Jakarta: Universitas Indonesia.
- www.matweb.com.
- www.pasco.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RIWAYAT PENULIS



Wahyu Kurniawan dilahirkan di Bungo Tanjung, Kab.Merangin Mei 1994, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari bapak Lasdi dan ibu Sarjini. Penulis selama Penulis selama hidupnya telah menempuh pendidikan formal di SDN 257 Bungo Tanjung III, SMPN 17 Merangin, dan SMK Muhammadiyah 3 Klaten Utara jurusan Teknik Kendaraan Ringan. Setelah tamat pendidikan SMK tahun

2012, penulis melanjutkan pendidikan tingkat Diploma III di Universitas Diponegoro Semarang jurusan Teknik Mesin. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan studi ke jenjang sarjana melalui program lintas jalur di institut teknologi sepuluh nopember jurusan Teknik Mesin. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail di: wkurniawan1605@gmail.com