



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**PENGARUH SERBUK SERABUT KELAPA (SiO_2)
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN
KOEFSIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN
EPOXY DAN SERBUK SERABUT KELAPA**

Fauzy Nur Shodiq
02111440000170

Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

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



TUGAS AKHIR - TM184835

**PENGARUH SERBUK SERABUT KELAPA (SiO_2)
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN KOEFISIEN
GESEK PADA MATERIAL RESIN *EPOXY* DAN SERBUK
SERABUT KELAPA**

Fauzy Nur Shodiq
0211144000170

Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

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



FINAL PROJECT - TM184835

***THE EFFECT OF SILICA POWDER (SiO_2) TO SURFACE
HARDNESS AND COEFFICIENT OF FRICTION ON EPOXY
RESIN AND COCONUT POWDER MATERIAL***

Fauzy Nur Shodiq
02111440000170

Supervisor :
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

*DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh
Nopember Surabaya 2020*

**PENGARUH SERBUK SERABUT KELAPA (SiO_2)
TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN
KOEFSIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN *EPOXY*
DAN SERBUK SERABUT KELAPA**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Fauzy Nur Shodiq
NRP. 02111440000170

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
2. Achmad Syaifudin, ST, M.Eng, Ph.D. (Penguji I)
NIP. 197909262005011001
3. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji II)
NIP. 196807061999031004
4. Alief Wikarta, ST, M.Sc, Eng, Ph.D. (Penguji III)
NIP. 198202102006041702

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

“Halaman sengaja dikosongkan”

PENGARUH SERBUK SILIKA (SiO_2) TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN DAN KOEFISIEN GESEK PADA MATERIAL RESIN EPOXY DAN SERBUK SERABUT KELAPA

Nama mahasiswa : Fauzy Nur Shodiq
NRP : 02111440000170
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc

ABSTRAK

Perkembangan industri di dunia otomotif saat ini sangatlah berkembang pesat. Banyak perusahaan yang berlomba-lomba untuk menciptakan produk yang unggul dan ramah lingkungan. Dari penelitian sebelumnya tentang analisa tingkat keausan komposit polymer yang diperkuat serbuk serabut kelapa, menunjukkan hasil nilai laju keausan menurun pada komposisi tertentu setelah itu meningkat dengan adanya penambahan volume serbuk serabut kelapa. Kekurangan dari kampas rem non- asbestos adalah kampas rem tersebut tidak tahan pada temperatur tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk silika (SiO_2) terhadap koefisien gesek dan kekerasan permukaan dari material serbuk serabut kelapa dan resin epoxy yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan alternatif material pengganti kampas rem yang sudah ada dipasaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan durometer shore D untuk pengujian kekerasan permukaan dan PASCO untuk pengujian koefisien gesek, untuk spesimen uji menggunakan penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan perbandingan volume yang berbeda serta material serbuk serabut kelapa tanpa penambahan serbuk silika (SiO_2). Untuk analisa yaitu mengamati dan menganalisa koefisien gesek dan kekerasan permukaan. Penelitian kampas rem jenis non- asbestos dengan komposisi serbuk serabut kelapa, serbuk silika (SiO_2) dan resin epoxy

diharapkan bisa sebagai kampas rem alternatif sebagai pengganti kampas rem yang sudah ada.

Setelah dilakukan pengujian kekerasan permukaan dan koefisien gesek. Penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu mempengaruhi terhadap sifat material serbuk serabut kelapa dan resin epoxy. Setelah dilakukan pengujian kekerasan permukaan, nilai kekerasan terbesar pada konsentrasi 15% serbuk silika (SiO_2) yaitu 58,56 HD dan kekerasan terkecil pada konsentrasi 0% serbuk silika yaitu 33,89 HD. Untuk nilai koefisien gesek, nilai terbesar koefisien gesek pada konsentrasi 0% serbuk silika (SiO_2) yaitu 0,48 untuk koefisien gesek kinetis. Nilai koefisien gesek terkecil pada konsentrasi 10% serbuk silika (SiO_2) yaitu 0,41 untuk koefisien gesek kinetis. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan silika pada serbuk serabut kelapa dan resin epoxy dapat menambah kekerasan permukaan dan mengurangi koefisien gesek.

Kata kunci :kekerasan, koefisien gesek, serbuk serat kelapa, epoxy, serbuk silika (SiO_2)

***THE EFFECT OF SILICA POWDER (SiO₂) TO
HARDNESS SURFACE AND COEFICIENT OF
FRICTION ON EPOXY RESIN AND COCONUT
POWDER MATERIAL***

Nama mahasiswa : Fauzy Nur Shodiq
NRP : 02111440000170
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc

ABSTRACT

The development of the industry in the automotive world today is growing rapidly. Many companies are competing to create products that are superior and environmentally friendly. From previous studies on the analysis of the wear rate of polymer composites reinforced by coconut fiber powder, the results showed that the wear rate decreased in certain compositions after that it increased with the addition of the volume of coconut fiber powder. The disadvantage of non-asbestos brake linings is that they cannot withstand high temperatures.

This study to determine the effect of the adding of silica powder (SiO₂) to the, Koefisien gesek and surface kekerasan permukaan of the coconut powder material and resin epoxy material can later be used as alternative reference material to replace the existing brake lining in the market. The test was using a pin on disk tribometer with variations in the material of coconut fiber powder and epoxy resin on the pin in the form of the addition of silica powder (SiO₂) with different volume ratios and the material of coconut fiber powder without the addition of silica powder (SiO₂). For this research to observe and analyze the Koefisien gesek and contact surface kekerasan permukaan. Research on non-asbestos type brake linings with the composition of coconut fiber powder, silica powder (SiO₂) and epoxy resin is

expected to be an alternative brake pad as a substitute for existing brake pads

After testing the surface hardness and friction coefficient. The addition of silica powder (SiO_2) with a certain concentration affects the material properties of coconut fiber powder and epoxy resin. After testing surface hardness, the highest hardness value was at a concentration of 15% silica powder (SiO_2), namely 58.56 HD and the lowest hardness was at a concentration of 0% silica powder, namely 33.89 HD. For the coefficient of friction, the largest value of the coefficient of friction is at a concentration of 0% silica powder (SiO_2), namely 0.48 for the kinetic coefficient of friction. The smallest friction coefficient value at a concentration of 10% silica powder (SiO_2) is 0.41 for the kinetic coefficient of friction. From these studies it can be concluded that the addition of silica to coconut fiber powder and epoxy resin can increase surface hardness and reduce the coefficient of friction.

Keywords : kekerasan permukaan, Koefisien gesek, coconut fiber powder, epoxy, silica powder (SiO_2)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dan kepada Rasulullah Muhammad shalallahu 'alaihi wa salam yang telah memberikan syafaat kepada seluruh umatnya. Melalui kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung baik secara moral dan material dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Banu Sodikun dan Ibu Kurotin, serta adik Sulton Nur Hakim dan adik Achmad Chavid Nur Dien yang telah memberikan dukungan dalam segala bentuk dan doa yang tidak ada henti-hentinya agar segala urusan penulis dimudahkan dan dilancarkan oleh Allah SWT.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta motivasi.
3. Bapak Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D., Bapak Julendra Bambang Ariatedja, M.T dan Bapak Alief Wikarta, ST., MSc.Eng. Ph.D. selaku dosen penguji dalam sidang Tugas Akhir penulis yang telah memberikan masukan dan saran untuk Tugas Akhir ini.
4. Intan Brama Putri yang senantiasa memberikan semangat serta doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dan juga selalu memberikan masukan kepada penulis.
5. Teman seperjuangan di HMM, konseptor pelatihan Jurusan serta angkatan M57 yang telah memberikan banyak pelajaran dan pengalaman kepada penulis selama di menempuh pendidikan di Teknik Mesin FTIRS-ITS.
6. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Mesin FTIRS-ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan oleh penulis satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Mesin khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Selain itu juga semoga dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan Tugas Akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pengaruh Alumina (Al_2O_3) Terhadap Kekerasan Permukaan dan <i>Specific Wear Rate</i> Pada Serbuk Serabut Kelapa dan Resin <i>Epoxy</i>	10
2.3 Teori Gesekan.....	15
2.4 Keausan	23
2.5 Pengujian Kekerasan Permukaan	25
2.6 Komposit	27
2.6 Resin <i>Epoxy</i>	29
2.7 Silika (SiO_2)	31
2.8 Alumina (Al_2O_3).....	31
2.9 Serbuk Serabut Kelapa	32
2.10 Rem Cakram Sepeda Motor	33
2.10 Kampas Rem	34
2.10.1 Klasifikasi Kampas Rem.....	34
2.11 Alat Pengujian	36

BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Diagram Alir Peneletian	39
3.2 Langkah Penelitian	40
3.3 Langkah Kerja Pengujian	44
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Pengujian Kekerasan Permukaan	49
4.2 Pengujian Koefisien gesek (COF)	52
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hasil Penelitian Laju Keausan Spesimen Kampas Rem	6
Gambar 2. 2 Uji kekerasan silika (SiO_2) dengan resin <i>epoxy</i>	7
Gambar 2. 3 Grafik Uji <i>Thermal Conductivity</i>	8
Gambar 2. 4 Mekanisme Gesekan.....	16
Gambar 2. 5 <i>Motion Sensor (PASCO PS-2103A)</i>	19
Gambar 2. 6 Spesifikasi <i>Motion Sensor (PASCO PS-2103A)</i>	20
Gambar 2. 7 <i>Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189)</i>	21
Gambar 2. 8 Spesifikasi <i>Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189)</i>	21
Gambar 2. 9 <i>Universal Interface (UI-5001)</i>	22
Gambar 2. 10 Spesifikasi <i>Universal Interface (UI-5001)</i>	22
Gambar 2. 11 <i>PASCO Capstone Software</i>	23
Gambar 2. 12 Tiga macam tipe kurva keausan	24
Gambar 2. 13 <i>Specific wear rate</i> pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasa	25
Gambar 2. 14 Durometer <i>shore D</i>	26
Gambar 2. 15 Komposit Berpenguat Pertikel.....	28
Gambar 2. 16 Komposit Berpenguat Serat.....	29
Gambar 2. 17 Komposit Berpenguat Struktur.....	29
Gambar 2. 18 Rem Cakram (Sutantra, 2001).....	33
Gambar 2. 19 Berbagai macam alat uji keausan (a) <i>Pin-on disk</i> (b) <i>Pin-on-flat</i> (c) <i>Pin-on-cylinder</i> (d) <i>Thrust washer</i> (e) <i>Pin-into-bushing</i> (f) <i>Rectangular flats on rotating cylinder</i> (g) <i>Crossed cylinder</i> (h) <i>Four ball</i>	37
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.....	39

Gambar 3. 2 Desain Spesimen Uji Pengujian Kekerasan Permukaan	42
Gambar 3. 3 Desain Spesimen Uji Pengujian Koefisien Gesek ..	42
Gambar 3. 4 Pengujian Kekerasan Permukaan.....	43
Gambar 3. 5 Pengujian Koefisien Gesek.....	44
Gambar 3. 6 Pengujian Kekerasan Permukaan.....	46
Gambar 3. 7 Titik Pengujian Kekerasan Permukaan.....	47
Gambar 3. 8 Pengujian Koefisien Gesek.....	48
Gambar 4. 1 Grafik kekerasan permukaan material uji	49
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Rata- rata Setiap Variasi Benda Uji ...	50
Gambar 4. 3 Grafik Gaya Gesek Statis.....	52
Gambar 4. 4 Grafik Koefisien Gesek Statis	54
Gambar 4. 5 Grafik Gaya Gesek Kinetis	56
Gambar 4. 6 Grafik Koefisien gesek <i>Kinetis</i>	57
Gambar 4. 7 Grafik Kekerasan Permukaan vs Koefisien Gesek Kinetis	59

DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Material Properties Resin Epoxy.....	35
Table 2. 2 Properties of Silika	36
Table 2. 3 Properties of Alumina	37
Table 2. 4 Properties Serabut Kelapa	32

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa terbesar di dunia. Menurut Menteri Pertanian Andi Amran Sulaiman, produksi kelapa di Indonesia mencapai 18.000.000 ton pada tahun 2018. Tanaman kelapa di Indonesia menyebar hampir di seluruh wilayah nusantara. Data statistik perkebunan nasional pada tahun 2018 menunjukkan bahwa potensi tanaman kelapa terbesar di wilayah Sumatera sebesar 1.054.668 Ha, untuk wilayah Jawa luasnya sebesar 781.466 Ha, untuk wilayah Kalimantan sebesar 204.052 Ha, dan untuk wilayah Sulawesi sebesar 781.811 Ha. Untuk pemanfaatan dari kelapa sendiri mulai dari batang pohon sampai daunnya bisa digunakan untuk peralatan kebutuhan manusia. Dengan teknologi dan ilmu pengetahuan yang berkembang cukup pesat, di era sekarang ini banyak inovasi pemanfaatan limbah dari tumbuhan yang sudah tidak dipakai untuk campuran pembuatan suatu komponen salah satunya adalah komponen dari kendaraan.

Saat ini perkembangan teknologi dalam bidang otomotif sangatlah pesat. Produsen- produsen kendaraan selalu memberikan inovasi pada produk kendaraannya dengan mengutamakan performa mesinnya dengan meningkatkan tenaga yang dihasilkan dengan tujuan untuk mengikat konsumennya. Oleh karena itu untuk menjaga keselamatan pengemudi dibutuhkan suatu sistem pengereman yang efektif dan juga sebagai *safety* dalam berkendara. Sistem pengereman yang baik harus dapat menunjang daya dan kecepatan pada kendaraan tersebut dimana bagian terpenting dari sistem pengereman adalah kampas rem, yaitu media yang bekerja untuk memperlambat atau mengurangi laju kendaraan. Pada tahun 1902 *Louis Renault* menemukan rem jenis drum yang bekerja dengan sistem gesek untuk kendaraan. Peralatan utama rem gesek ini terdiri dari drum dan penggesek. Drum dipasang pada sumbu roda, sedang penggesek pada bagian

bodi kendaraan dan didudukkan pada mekanisme yang dapat menekan drum. Ketika kendaraan bergerak, maka drum berputar sesuai putaran roda. Pengereman dilakukan dengan cara menekan penggesek pada permukaan drum sehingga terjadi pengurangan energi kinetik (kecepatan) yang diubah menjadi energi panas pada bidang yang bergesekan. Hingga saat ini, rem utama kendaraan yang dikembangkan masih menggunakan sistem gesek sebagaimana ditemukan pertama kali. Pengembangan dilakukan pada mekanisme untuk meningkatkan gaya dan mode penekanan serta sifat material permukaan gesek yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Pada umumnya bahan material gesek yang digunakan adalah jenis *asbestos* atau logam dengan bahan induk besi atau tembaga.

Dengan fenomena Indonesia adalah negara penghasil kelapa terbesar didunia, dan dapat dipastikan bahwa limbah dari sabut kelapa juga melimpah. Dan seiring dengan perkembangan zaman, dimana saat ini banyak peneliti yang ingin memanfaatkan limbah dari tumbuhan yang sudah tidak digunakan untuk campuran suatu komponen salah satunya adalah komponen kendaraan. Komponen kendaraan yang dikembangkan dari campuran serbuk serabut kelapa adalah yaitu kampas rem. Jenis kampas rem dengan campuran bahan organik dinamakan kampas rem *non- asbestos*.

Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan Muhamad Riduan dan Suhardiman dengan judul analisis tingkat keausan komposit polimer yang diperkuat campuran resin *epoxy* dan serbuk kelapa telah disimpulkan bahwa nilai *wear rate* dari campuran serbuk serabut kelapa dengan resin *epoxy* meningkat seiring dengan besarnya jumlah penambahan fraksi volume serbuk serabut kelapa.

Untuk mengetahui kampas rem yang terbuat dari campuran serbuk serabut kelapa, serbuk silika (SiO_2) dan resin *epoxy* bekerja dengan baik apa tidak, kita harus mengetahui laju keausan, kekerasan dan koefisien gesek dari kampas rem tersebut.

Dasar ilmu yang memperajari tentang keausan adalah tribologi. Tribologi ialah ilmu yang mempelajari gesekan keausan. Dengan tribologi pemborosan energi dapat dihemat. Seiring dengan peradaban manusia yang makin meningkat maka perkembangan ilmu ini juga meningkat. (Safa'at, 2008)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh serbuk silika (SiO_2) terhadap perubahan nilai kekerasan permukaan pada spesimen kanvas rem *non- asbestos* yang terbuat dari serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*?
2. Bagaimana pengaruh serbuk silika (SiO_2) terhadap perubahan nilai koefisien gesek (COF) pada kanvas rem *non- asbestos* yang terbuat dari serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan.
2. Beban yang digunakan konstan.
3. Serat dianggap tercampur secara merata.
4. Sudut pengujian kekerasan permukaan sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh serbuk silika (SiO_2) terhadap perubahan nilai kekerasan permukaan pada spesimen kanvas rem *non- asbestos* yang terbuat dari serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*.
2. Untuk mengetahui pengaruh serbuk silika (SiO_2) terhadap perubahan nilai koefisien gesek (COF) pada kanvas rem *non- asbestos* yang terbuat dari serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan serbuk silika (SiO_2) terhadap perubahan kekerasan dan koefisien gesek pada material kampas rem jenis *non-asbestos* yang terbuat dari serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* yang kedepannya dapat digunakan sebagai alternatif pengganti kampas rem yang sudah ada dipasaran dan sebagai referensi untuk pengembangan dari kampas rem jenis *non-asbestos*.

BAB II

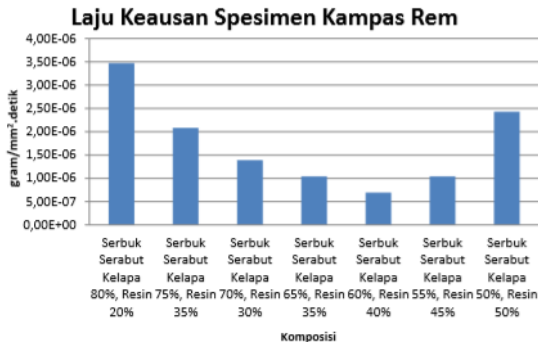
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 Analisa Tingkat Keausan Komposit Polimer yang Diperkuat serbuk Serabut Kelapa

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhamad Riduan, Suhardiman (2019) penelitian tersebut membahas tentang keausan dalam tugas akhirnya yang berjudul “Analisa Tingkat Keausan Komposit Polimer yang Diperkuat serbuk Serabut Kelapa”. Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui laju keausan dari suatu material dengan bahan dasar serbuk serabut kelapa dan untuk penguatnya adalah resin *epoxy*. Untuk variasi yang digunakan peneliti untuk penelitiannya yaitu serbuk serabut kelapa 80% dan resin *epoxy* 20%, serbuk serabut kelapa 75% dan resin *epoxy* 25%, serbuk serabut kelapa 70% dan resin *epoxy* 30%, serbuk serabut kelapa 65% dan resin *epoxy* 35%, serbuk serabut kelapa 60% dan resin *epoxy* 40%, serbuk serabut kelapa 55% dan resin *epoxy* 45%, serbuk serabut kelapa 50% dan resin *epoxy* 50%. Pada penelitiannya, peneliti melakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji laju keausan dari material tersebut. Untuk pengeringan dari spesimen, peneliti mengeringkan spesimen menggunakan suhu kamar dan tidak menggunakan tekanan pada cetakan karena resin yang digunakan memiliki viskositas yang rendah.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muhamad Riduan, Suhardiman untuk menguji laju keausan menggunakan alat uji tribometer. Dimana untuk spesimennya memiliki panjang 40 mm dan lebarnya 20 mm. Untuk luas permukaannya adalah 800 mm². Untuk beban tekan yang diberikan adalah 5kg. Dan untuk waktu pengausan adalah 360 detik. Untuk jumlah spesimennya setiap variasi adalah 2 buah. Hasil dari penelitian laju keausan sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Hasil Penelitian Laju Keausan Spesimen Kampas Rem

Kesimpulan dari grafik laju keausan spesimen kampas rem ditunjukkan bahwa nilai keausan terendah terdapat pada komposisi serbuk serabut kelapa 60% dan resin *epoxy* 40%, untuk nilai keausan tertinggi terdapat pada spesimen dengan komposisi serbuk serabut kelapa 80% dan resin *epoxy* 20%. Nilai laju keausan untuk spesimen dengan komposisi 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy* adalah $6,94 \times 10^{-7}$ gram/mm².detik dan untuk spesimen dengan komposisi 80% serbuk serabut kelapa dan 20% resin *epoxy* adalah $3,47 \times 10^{-6}$ gram/mm².detik. Untuk spesimen yang bagus untuk rem ketika spesimen tersebut memiliki nilai keausan yang tinggi, jadi untuk spesimen yang bagus untuk kampas rem adalah spesimen dengan komposisi 80% serbuk serabut kelapa dan 20% resin *epoxy* dengan nilai laju keausannya adalah $3,47 \times 10^{-6}$ gram/mm².

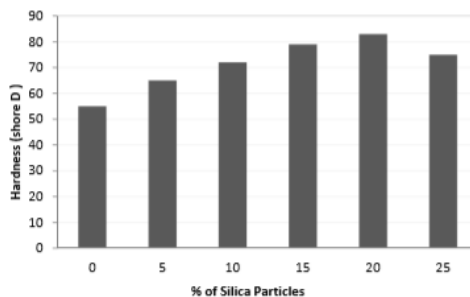
2.1.2 The Effect of Silica Particles on the Enhancement of Mechanical Properties and Thermal Conductivity of the Epoxy Composites

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Hamid M. Mahan, Dr Salwa A. Abed dan Thaeer G. Shaalan (2018) penelitian tersebut membahas tentang pengaruh penambahan silika (SiO₂) terhadap sifat material dan juga *thermal conductivity* “*The Effect of Silica*

Particles on the Enhancement of Mechanical Properties and Thermal Conductivity of the Epoxy Composites". Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh silika (SiO_2) pada resin *epoxy* terhadap sifat material dan *thermal conductivity* pada material tersebut. Untuk variasi yang digunakan adalah 0% silika (SiO_2) dan 100% resin *epoxy*, 5% silika (SiO_2) dan 95% resin *epoxy*, 10% silika (SiO_2) dan 90% resin *epoxy*, 15% silika (SiO_2) dan 85% resin *epoxy*, 20% silika (SiO_2) dan 80% resin *epoxy*, 25% silika (SiO_2) dan 75% resin *epoxy*

2.1.2.1 Pengujian Kekerasan Permukaan

Dari penelitian yang dilakukan oleh Hamid M. Mahan, Dr Salwa A. Abed dan Thaer G. Shaalan (2018) didapatkan hasil sebagai berikut :

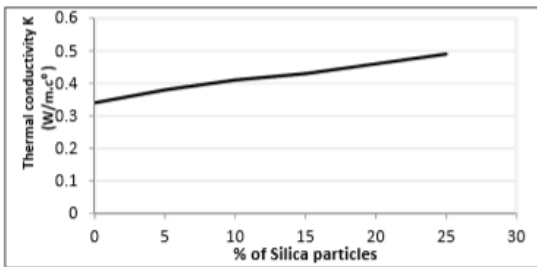


Gambar 2. 2 Uji kekerasan silika (SiO_2) dengan resin *epoxy*

Pada pengujian kekerasan pada penelitian ini, peneliti menggunakan metode pengujian kekerasan durometer tipe D. Untuk hasil dari pengujian dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada gambar 2.2 dapat dilihat bahwa penambahan serbuk silika (SiO_2) pada setiap spesimen adalah 5%. Dari gambar diatas dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan serbuk silika (SiO_2) pada resin *epoxy* dapat meningkatkan kekerasan dari resin *epoxy* tersebut. Dimana nilai dari penambahan 0% serbuk silika (SiO_2) adalah 55 HD, nilai dari penambahan 10% serbuk silika (SiO_2) adalah 74

HD, nilai dari penambahan 15% serbuk silika (SiO_2) adalah 79
 HD, nilai dari penambahan 20% serbuk silika (SiO_2) adalah 82
 HD, nilai dari penambahan 25% serbuk silika (SiO_2) adalah 75
 HB. Penurunan kekerasan pada komposisi 25% serbuk silika (SiO_2) dan 75% resin *epoxy* disebabkan oleh kurangnya ketahanan permukaan antara pengisi (*filler*) dengan polimer.

2.1.2.2 Thermal Conductivity



Gambar 2. 3 Grafik Uji Thermal Conductivity

Tujuan dari pengujian thermal conductivity adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk silika (SiO_2) pada resin *epoxy* terhadap laju penghantar panas (*thermal conductivity*) pada material tersebut. Jika dilihat dari grafik diatas menjelaskan bahwa penambahan silika (SiO_2) pada resin *epoxy* memepengaruhi laju penghantar panas (*thermal conductivity*). Semakin besar penambahan silika (SiO_2) pada resin *epoxy* maka nilai dari laju penghantar panas (*thermal conductivity*) juga semakin meningkat. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar volume silika (SiO_2) berbanding lurus dengan nilai laju penghantar panas (*thermal conductivity*) dan berbanding terbalik dengan isolasi panas (*thermal insulated*). Jika dihubungkan dengan kamps rem, maka semakin besar nilai laju penghantar panas (*thermal conductivity*) maka kamps rem tersebut

2.1.3 Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With Silica (quartz) and Alumina Particles

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Dr. Ibtihal-Al-Namie, Dr.Ahmed Aladdin Ibrahim dan Manal Fleyah Hassan (2011) penelitian tersebut membahas tentang pengaruh penambahan silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3) terhadap sifat material pada resin *epoxy*. Penelitian yang berjudul “*Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With Silica (quartz) and Alumina Particles*”. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada resin *epoxy* terhadap sifat material. Pada penelitian ini peneliti menguji pengaruh penambahan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) terhadap kekerasan permukaan pada resin *epoxy*. Berikut hasil penelitian yang dilakukan oleh Dr. Ibtihal-Al-Namie, Dr.Ahmed Aladdin Ibrahim dan Manal Fleyah Hassan.

2.1.3.1 Pengujian Kekerasan Permukaan

Table 2. 1 Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3)

Materials		Particle Weight Fraction %	Hardness BHN (Kg/mm^2)
Matrix	Reinforcement Particle		
Epoxy	0	0	17.8269
Epoxy	Silica	20	23.1954
Epoxy	Silica	30	28.1129
Epoxy	Silica	40	34.6573
Epoxy	Alumina	20	25.4873
Epoxy	Alumina	30	31.1405
Epoxy	Alumina	40	38.778

Pada pengujian kekerasan pada penelitian ini, peneliti melakukan pengujian pengaruh silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) terhadap kekerasan pada resin *epoxy*. Untuk hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 2.1. Pada tabel 2.1 dapat dilihat bahwa

penambahan serbuk silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada resin *epoxy* dapat meningkatkan kekerasan permukaan pada resin *epoxy*. Hasil dari pengujian kekerasan tersebut didapatkan untuk penambahan silika (SiO_2) terhadap resin *epoxy* untuk penambahan 0% silika (SiO_2) nilai kekerasannya adalah 17,8268 BHN, untuk penambahan 20% silika (SiO_2) nilai kekerasannya adalah 23,1954 BHN, untuk penambahan 30% silika (SiO_2) nilai kekerasannya adalah 28,1129 BHN, untuk penambahan 40% silika (SiO_2) nilai kekerasannya adalah 34,6573 BHN. Untuk hasil dari pengujian kekerasan tersebut didapatkan untuk penambahan alumina (Al_2O_3) terhadap resin *epoxy* untuk penambahan 20% alumina (Al_2O_3) nilai kekerasannya adalah 25,4873 BHN, untuk penambahan 30% alumina (Al_2O_3) nilai kekerasannya adalah 31,1405 BHN, untuk penambahan 40% alumina (Al_2O_3) nilai kekerasannya adalah 38,778 BHN. Peningkatan kekerasan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) berbanding lurus dengan penambahan konsentrasi pada resin *epoxy*, penambahan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) pada resin *epoxy* dapat meningkatkan kekerasan permukaan karena nilai kekerasan dari silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) lebih tinggi dibandingkan resin *epoxy*. Hal ini dapat menyebabkan resin *epoxy* lebih keras ketika ditambahkan silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3).

2.2 Pengaruh Alumina (Al_2O_3) Terhadap Kekerasan Permukaan dan *Specific Wear Rate* Pada Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Sebelum menentukan serbuk silika (SiO_2) sebagai penguat pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*, terlebih dahulu peneliti menggunakan alumina (Al_2O_3) sebagai penguat pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Tujuan penambahan alumina (Al_2O_3) pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* adalah pada kekerasan permukaan pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* meningkat dan nilai dari *specific wear rate* menurun. Salah satu kriteria dari kampas rem adalah nilai koefisien gesek tinggi, kekerasannya tinggi, *specific wear rate* rendah dan tahan pada temperatur tinggi. Dari referensi penelitian yang dilakukan

oleh Dr. Ibtihal-Al-Namie, Dr. Ahmed Aladdin Ibrahim dan Manal Fleyah Hassan (2011) dengan penelitian berjudul “*Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With Silica (quartz) and Alumina Particles*” peneliti menggunakan alumina (Al_2O_3) sebagai penguat pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Untuk variasi yang digunakan adalah spesimen uji I adalah 0% alumina (Al_2O_3), 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen uji II adalah 5% alumina (Al_2O_3), 57% serbuk serabut kelapa dan 38% resin *epoxy*, spesimen uji III adalah 10% alumina (Al_2O_3), 54% serbuk serabut kelapa dan 36% resin *epoxy*, spesimen uji IV adalah 15% alumina (Al_2O_3), 51% serbuk serabut kelapa dan 34% resin *epoxy*. Pengujian kekerasan permukaan menggunakan durometer *shore D* dan pengujian keausan menggunakan teribometer dengan metode pengujian *pin on disk*. Didapat hasil pengujian kekerasan permukaan dan hasil pengujian keausan sebagai berikut.

2.2.1. Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan Pengaruh Alumina (Al_2O_3) Terhadap Serbuk Serabut Kelapa dan Resin Epoxy

Dibawah ini adalah hasil dari pengujian kekerasan permukaan pada alumina (Al_2O_3), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan variasi spesimen uji adalah spesimen uji I adalah 0% alumina (Al_2O_3), 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen uji II adalah 5% alumina (Al_2O_3), 57% serbuk serabut kelapa dan 38% resin *epoxy*, spesimen uji III adalah 10% alumina (Al_2O_3), 54% serbuk serabut kelapa dan 36% resin *epoxy*, spesimen uji IV adalah 15% alumina (Al_2O_3), 51% serbuk serabut kelapa dan 34% resin *epoxy* dengan pengujian kekerasan permukaan menggunakan durometer *shore D*.

Table 2. 2 Pengujian Kekerasan Pengaruh Alumina (Al_2O_3) pada Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Spesimen		Hardness Test				Rata-rata setiap variasi
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	
0% Alumina, 60% Serbuk Kelapa, 40% Resin	A	36	38	40	38	38,333
	B	38	37	41	38,667	
	C	35	40	40	38,333	
5% Alumina, 57% Serbuk Kelapa, 38% Resin	D	57	57	55	56,333	57,222
	E	58	56	59	57,667	
	F	59	56	58	57,667	
10% Alumina, 54% Serbuk Kelapa, 36% Resin	G	59	61	59	59,667	59,556
	H	57	57	60	58,000	
	I	60	61	62	61	
15% Alumina, 51% Serbuk Kelapa, 34% Resin	J	59	59	63	60,333333	60,444
	K	65	62	61	62,667	
	L	59	59	57	58,333333	

Pada tabel 2.2 diatas dapat dilihat bahwa pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan penambahan serbuk alumina (Al_2O_3). Pada material dengan penambahan 0% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai kekerasan permukaan sebesar 38 HD, pada material uji kedua sebesar 38,667 HD, dan pada material uji ketiga yaitu sebesar 38,333 HD. Selanjutnya untuk material dengan penambahan 5% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama nilai kekerasan permukaannya sebesar 56,333 HD, pada material uji kedua sebesar 57,667 HD, dan untuk material uji ketiga sebesar 57,667 HD. Untuk material dengan penambahan 10% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai kekerasan permukaannya sebesar 59,667 HD, pada material uji kedua sebesar 58 HD, dan untuk material uji ketiga sebesar 61 HD. Pada material dengan penambahan 15% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama nilai kekerasan permukaan yaitu sebesar 60,333 HD, pada material uji kedua sebesar 62,667 HD, dan untuk material uji ketiga sebesar 58,333 HD. Dari pengujian kekerasan tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk alumina (Al_2O_3) pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dapat meningkatkan kekerasan permukaan.

2.2.2. Hasil Pengujian Keausan Pengaruh Alumina (Al_2O_3) Terhadap Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Dibawah ini adalah hasil dari pengujian keausan pada alumina (Al_2O_3), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan variasi spesimen uji adalah spesimen uji I adalah 0% alumina (Al_2O_3), 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen uji II adalah 5% alumina (Al_2O_3), 57% serbuk serabut kelapa dan 38% resin *epoxy*, spesimen uji III adalah 10% alumina (Al_2O_3), 54% serbuk serabut kelapa dan 36% resin *epoxy*, spesimen uji IV adalah 15% alumina (Al_2O_3), 51% serbuk serabut kelapa dan 34% resin *epoxy* dengan pengujian keausan menggunakan tribometer dengan metode pengujian *pin on disk*. Pembebanan untuk pengujian keausan adalah 2 kg, putaran *disk* sebesar 46 rpm dan pengujian keausan selama 87 menit.

Table 2. 3 Pengujian Keausan Pengaruh Alumina (Al_2O_3) pada Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Spesimen		Massa Awal (gram)	Massa Akhir (gram)
0% Alumina, 60% Serbuk Kelapa, 40% Resin	A	3,2585	3,2616
	B	3,5432	3,545
	C	3,3227	3,3268
5% Alumina, 57% Serbuk Kelapa, 38% Resin	D	3,8467	3,8521
	E	3,944	3,9481
	F	3,935	3,94
10% Alumina, 54% Serbuk Kelapa, 36% Resin	G	3,8384	3,8444
	H	4,1379	4,1405
	I	4,0877	4,0911
15% Alumina, 51% Serbuk Kelapa, 34% Resin	J	3,9652	3,9688
	K	3,8964	3,8997
	L	4,2275	4,2309

Pada tabel 2.3 diatas dapat dilihat bahwa pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan penambahan serbuk alumina (Al_2O_3). Pada material dengan penambahan 0% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,2585 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,2616 gram, pada material uji kedua didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,5432 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan

adalah 3,5450 gram, pada material uji ketiga didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,3227 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,3268 gram. Selanjutnya untuk material dengan penambahan 5% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,8467 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,8521 gram, pada material uji kedua didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,9440 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,9481 gram, pada material uji ketiga didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,9350 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,9400 gram. Untuk material dengan penambahan 10% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,8384 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,8444 gram, pada material uji kedua didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 4,1379 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 4,1405 gram, pada material uji ketiga didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 4,0877 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,0911 gram. Pada material dengan penambahan 15% serbuk alumina (Al_2O_3), pada material uji pertama didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,9652 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,9688 gram, pada material uji kedua didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 3,8964 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 3,8997 gram, pada material uji ketiga didapatkan nilai massa awal sebelum pengujian keausan adalah 4,227 gram dan massa akhir setelah pengujian keausan adalah 4,2309 gram. Setelah dilihat dari data hasil pengujian keausan yang seharusnya setelah pengujian keausan massa dari spesimen uji mengalami penurunan massa akan tetapi dari pengujian yang dilakukan peneliti massa akhir lebih besar dibandingkan massa awal yang mengakibatkan data tersebut tidak bisa dianalisa nilai *specific wear rate*. Pertambahan massa

setelah pengujian keausan disebabkan karena spesimen uji tidak tahan terhadap panas saat pengujian keausan berlangsung yang mengakibatkan massa yang terkikis selama pengujian keausan menempel kembali pada spesimen uji.

2.3 Teori Gesekan

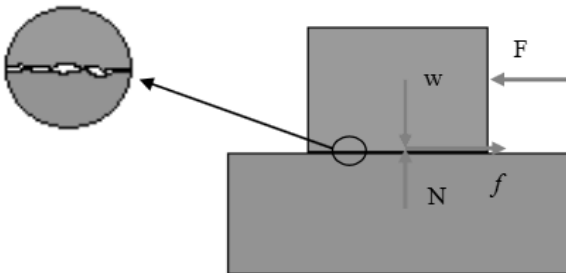
2.3.1 Definisi Gaya Gesek

Hukum gesek pertama ditemukan oleh Leonardo da Vinci pada pertengahan abad ke-15 atau dua ratus tahun sebelum Sir Isaac Newton menetapkan hukum gerak dan konsep kekuatan. Hukum gesek pertama menyatakan bahwa gaya gesek sebanding dengan beban normal yang ditetapkan. Berdasarkan pengamatan Leonardo, hukum kedua dapat dinyatakan sebagai gaya gesekan tidak tergantung pada bidang kontakannya. Untuk pengamatannya, Leonardo tidak mencari penyebab dari gesekan itu sendiri.

Dua abad kemudian, Guillaume Amontons menemukan kembali hukum gesekan yang sekarang disebut hukum Amontons. Dari penemuan Guillaume Amontons selain menemukan hukum gesekan, dia juga mengusulkan beberapa mekanisme gesekan. Guillaume Amontons menyatakan bahwa gesekan muncul karena kekasaran permukaan, sehingga “teori kekasaran” gesekan lahir. Selain itu, Guillaume Amontons berspekulasi bahwa gesekan muncul tidak hanya karena kebutuhan untuk menaikkan satu permukaan kasar diatas yang lain, tetapi juga oleh tekukan dari kekasaran (yang sekarang disebut kekasaran). Jadi pada dasarnya Guillaume Amontons mengusulkan beberapa mekanisme gesekan meliputi kekasaran, deformasi dan kelelahan (*fracture*).

Tiga puluh tahun setelah kontribusi Amontons, John Theophilus Desaguliers mengusulkan pendapatnya yang sangat berbeda tentang mekanisme gesekan. John Theophilus Desaguliers menghubungkan gesekan permukaan halus dengan adhesi. Maka lahirlah “teori adhesi” gesekan. Tetapi John Theophilus Desaguliers tidak bisa menjelaskan hukum Amontons dengan mekanisme adhesi.

Mungkin teori gesekan kuantitatif pertama adalah Charles Augustin Coulomb. Teorinya membahas tentang gesekan permukaan kasar oleh mekanisme benda tegar untuk mendapatkan persamaan sederhana untuk koefisien gesekan (μ). Untuk permukaan yang memiliki sudut (kemiringan), koefisien gesekan $\mu = \tan \theta$. Sayangnya mekanisme benda tegar sendiri tidak banyak membantu dalam menghitung gaya gesekan, karena kontak benda tegar dan gerak tidak disipatif. Namun, Charles Augustin Coulomb tidak dapat menganalisa masalahnya karena pada masanya mekanika benda-benda yang mampu deformasi (plastik) tidak cukup berkembang. Bagaimanapun Charles Augustin Coulomb mampu menemukan hukum gesek yang ketiga yaitu gaya gesekan tidak tergantung pada kecepatan relatif dari benda yang bersinggungan.



Gambar 2. 4 Mekanisme Gesekan

Dari beberapa penemuan tentang hukum gesek, hukum gesek Amontons-Coulomb dapat diringkas sebagai berikut :

1. Gaya gesek berbanding lurus dengan gaya normal yang diberikan
2. Gaya gesek tidak tergantung pada bidang kontak antara dua permukaan
3. Gaya gesek tidak bergantung pada kecepatan geser

Da Vinci mendefinisikan koefisien gesekan sebagai rasio dari gaya gesekan dibagi dengan gaya normal, yang dirumuskan:

$$F = \mu \cdot N \quad (2.1)$$

Dimana F adalah gaya gesekan, μ adalah koefisien gesekan, dan N adalah gaya normal. Hukum inilah yang menjadi dasar hukum gesekan hingga sekarang.

2.3.2 Keuntungan dan Kerugian Gaya Gesek

Setiap adanya gesekan antar benda benda padat pasti menimbulkan dampak untuk sekitarnya, mulai dari dampak yang menguntungkan maupun dampak yang merugikan untuk sekitarnya. Dibawah ini adalah beberapa dampak yang diakibatkan dua benda padat yang mengalami gesekan :

- Keuntungan dari gaya gesek :
 - Membantu benda agar tidak tergelincir
 - Membuat benda yang bergerak menjadi diam atau membantu menghentikan benda yang bergerak
 - Menahan benda agar tidak mengalami pergeseran
- Kerugian dari gaya gesek
 - Menimbulkan panas antar permukaan benda padat yang mengalami gesekan
 - Gesekan antara roda dan poros yang menghambat putaran roda
 - Gesekan udara yang menghambat laju kendaraan
 - Menimbulkan suara *bissing*

2.3.3 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_s) 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_k) 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)

2.3.4 Alat Pengujian Koefisien Gesek

2.2.4.1 *Motion Sensor (PASCO PS-2103A)*

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



Gambar 2. 5 *Motion Sensor (PASCO 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

Gambar 2. 6 Spesifikasi *Motion Sensor (PASCO PS-2103A)*

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.

2.2.4.2 *Force Sensor*

Force sensor adalah sebuah sensor atau alat ukur 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.



Gambar 2. 7 Pasco 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; 5000 Hz for the 550 and 850 Interfaces
Force Overload Protection	Up to 75 N

Gambar 2. 8 Spesifikasi Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189)

Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan dan 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), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut. Dengan menempelkan jenis material tersebut pada suatu benda uji menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik,

maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya.

2.2.4.3 Universal Interface

Universal interface merupakan alat yang digunakan untuk mengintegrasikan instrumentasi elektronik seperti sensor-sensor pengukuran dengan perangkat lunak untuk memudahkan pembacaan dan analisa data. Pada gambar 2.9 contoh penggunaan *universal interface* yang terhubung dengan force sensor dan motion sensor dalam percobaan pengukuran sliding friction.



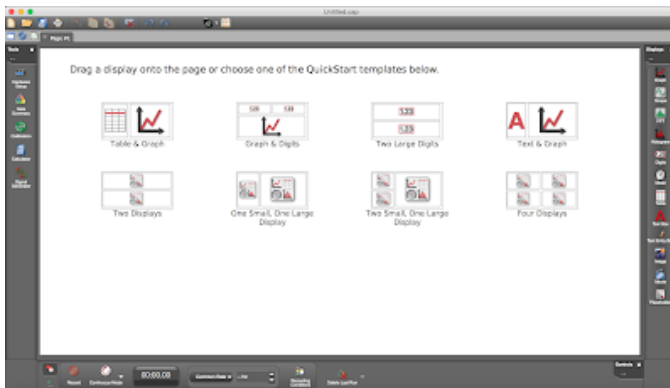
Gambar 2. 9 *Universal Interface (UI-5001)*

2 High-Speed Analog Inputs	<ul style="list-style-type: none"> ■ Measurement Range: ± 10 V differential input ■ Input Impedance: 1 MΩ ■ 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 850 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

Gambar 2. 10 Spesifikasi *Universal Interface (UI-5001)*

2.2.4.4 PASCO Capstone Software

Merupakan *software interface* dalam memudahkan pengambilan serta pengolahan data dalam suatu eksperimen yang dilakukan. 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.

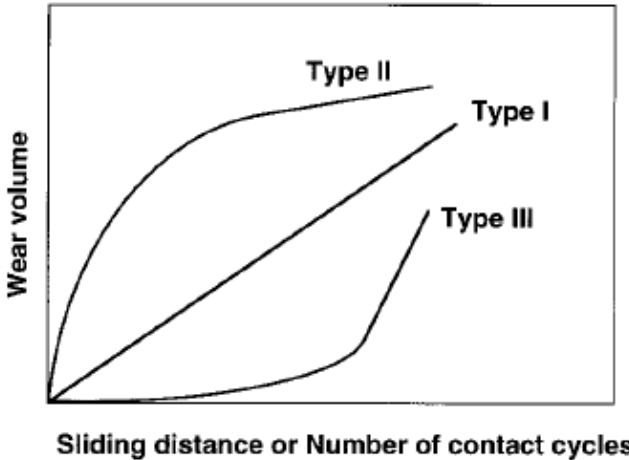


Gambar 2. 11 PASCO Capstone Software

2.4 Keausan

Definisi keausan adalah suatu kerusakan pada permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan suatu hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Semua material dapat mengalami keausan yang disebabkan oleh mekanisme keausan yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan oleh mekanisme yang beragam adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk

partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Tiga macam tipe keausan bisa dilihat pada gambar 2.12



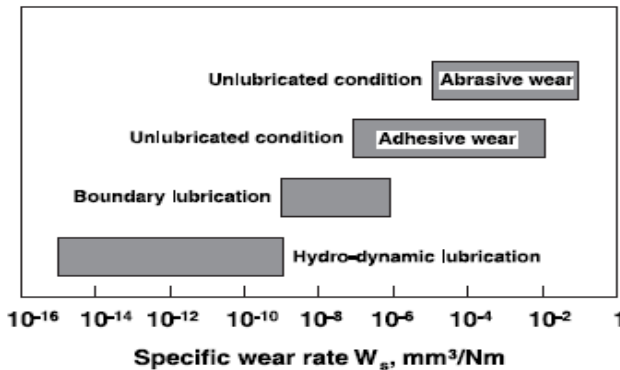
Gambar 2. 12 Tiga macam tipe kurva keausan (*Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980*)

Pada gambar 2.12 dijelaskan bahwa kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus. Tipe I menunjukkan bahwa nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan bahwa suatu peralihan yang mulanya laju keausannya tinggi lalu keausannya konstan pada laju yang rendah. Tipe keausan II ini sering kita jumpai saat mengamati jenis material logam. Tipe III menunjukkan bahwa laju keausan rendah menuju laju keausan yang begitu tinggi seperti kelelahan patah (*fatigue fracture*) yang biasanya terjadi pada material jenis keramik.

Pada umumnya keausan dapat dilihat dari jumlah kehilangan volume dari suatu permukaan. Derajat keausan dapat dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*.

Perbedaan dari *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient* terletak pada persatuannya. Untuk *wear rate* dapat didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak. *Specific wear rate* dapat didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan dari material yang aus.

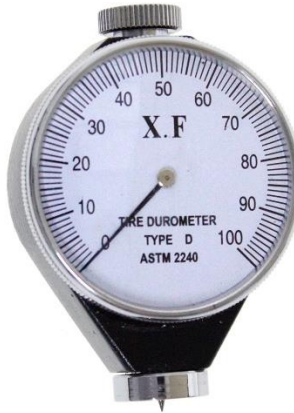
Pada gambar 2.13 ditunjukkan *specific wear rate* berbagai material logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range 10^{-15} hingga 10^{-1} mm³/Nm.



Gambar 2. 13 *Specific wear rate* pada material logam dengan berbagai kondisi pelumasan (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980)

2.5 Pengujian Kekerasan Permukaan

Pengujian kekerasan permukaan adalah suatu pengujian untuk mengetahui kekuatan atau ketahanan suatu material. Kekerasan permukaan adalah salah satu sifat mekanik dari suatu material. Durometer adalah salah satu alat untuk pengukuran kekerasan dari suatu material. Kekerasan dapat didefinisikan sebagai ketahanan suatu benda untuk identasi.



Gambar 2. 14 Durometer *shore* D

Skala durometer didefinisikan oleh Albert F. Shore, yang mengembangkan perangkat pengukuran untuk mengukur kekerasan *Shore* pada tahun 1920. Istilah durometer ini sering digunakan untuk merujuk pada pengukuran serta instrument itu sendiri. Durometer adalah instrumen yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji. Durometer biasanya digunakan untuk mengukur kekerasan dalam polimer, elastomer, dan karet. Ada beberapa skala dari durometer yang digunakan untuk bahan dengan sifat yang berbeda. Dua skala yang paling umum, dengan menggunakan sistem pengukuran yang sedikit berbeda, adalah timbangan tipe A dan tipe D ASTM D2240. Skala A adalah untuk plastik lembut, sedangkan skala D adalah untuk yang lebih keras. Namun, ASTM pengujian D2240-00 panggilan standar untuk total 12 sisik, tergantung pada tujuan penggunaan; tipe A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, dan R. Setiap hasil skala nilai antara 0 dan 100, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material tersebut lebih keras.

2.6 Komposit

Menurut Nayiroh (2016) material komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih material dimana sifat dari masing- masing material tersebut berbeda satu sama lainnya baik sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir material tersebut (material komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka material komposit harus memiliki ikatan yang kuat.

Material komposit adalah material yang terbentuk dari dua material penyusun atau lebih yang tetap terpisah dan berbeda dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal. *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” yang artinya adalah menyusun atau menggabung. Jadi dapat diartikan bahwa komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur menjadi suatu material baru. Pada umumnya material komposit adalah suatu material yang memiliki susunan paling tidak terdapat dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat- sifat bahan yang berbeda terhadap sifat- sifat unsur bahan penyusunnya.

Adapun jenis komposit berdasarkan jenis matriksnya terdiri :

1. *Polimer Matrix Composite* (PMC) yang merupakan komposit dengan jenis matriks polimer.
Contoh : *Thermoplastik, Thermoseting*
2. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan komposit berbahan matriks logam.
Contoh : Alumunium/, Magnesium, dan Titanium
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yaitu komposit dengan bahan matriks keramik.
Contoh : *Alumina, Alumunium Titanate, Silicon Carbide*

Komposit berbahan matriks logam (MMC) biasanya diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. CMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Sedangkan

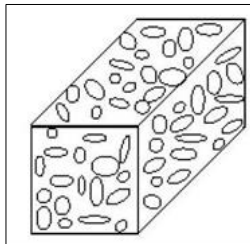
komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik.

Polimer Matrix Composite (PMC) dibagi menjadi 2 jenis yaitu *thermoset* dan *thermoplastic*. Polimer *thermoset* adalah bahan yang akan menjadi keras ketika di panaskan di atas temperatur kritisnya dan tidak dapat diperlunak dengan cara di panaskan kembali. Polimer *thermoset* tidak dapat di daur ulang. Contoh matriks polimer *thermoset* adalah *epoxy* dan *polyester*. Polimer *thermoplastic* adalah polimer yang dapat dilunakkan dengan cara dipanaskan diatas temperatur kritisnya. Polimer *thermoplastic* dapat didaur ulang. Contoh polimer *thermoplastic* adalah *polystyrene* dan *nylons*.

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1. Komposit Berpenguat Partikel

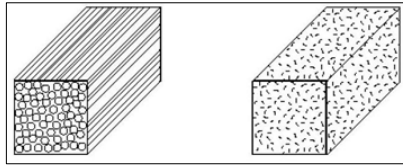
Merupakan komposit yang penguatnya berupa fase partikel. Contoh: Beton, yang merupakan bahan baku bangunan dimana matriksnya adalah semen sedangkan penguatnya adalah pasir.



Gambar 2. 15 Komposit Berpenguat Partikel

2. Komposit Berpenguat Serat

Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat. Contoh: *fiber glass* dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer.

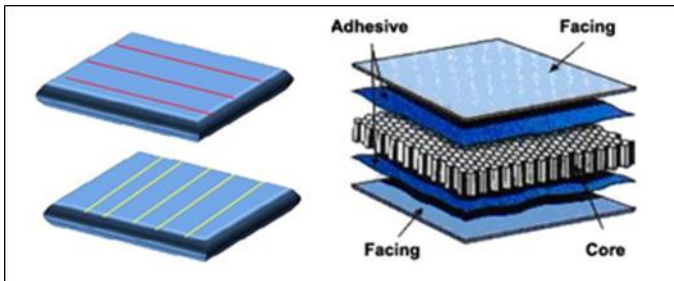


Gambar 2. 16 Komposit Berpenguat Serat

3. Komposisi Berpenguat Struktur

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan maupun struktural.

Contoh: *polywood*



Gambar 2. 17 Komposit Berpenguat Struktur

2.6 Resin Epoxy

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda atau yang biasa disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok *epoxyda* di kedua ujung. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina, selanjutnya akan bereaksi dengan kelompok *epoxyda* untuk membentuk ikatan kovalen. Proses polimerisasi pada resin *epoxy* disebut "curing", dan dapat dikontrol melalui temperature.

Sebagaimana jenis plastik lain, kebanyakan plastik adalah isolator listrik dan konduktor panas yang buruk. Kecuali bila ditambahkan campuran, misalnya serbuk logam/karbon lain.

Dalam bentuk asli, *epoxy* resin memiliki sifat keras dan getas. Tetapi dalam penggunaannya, hampir selalu mengandung bahan campuran lain untuk menyesuaikan sifat mekaniknya. Sifat mekanik dari *epoxy* resin sudah banyak di modifikasi dalam penggunaannya baik dari sisi kekuatan, kekenyalan, keuletan, sampai kearah sobekan.

Bahan *epoxy* cenderung mengeras secara bertahap, berbeda dengan bahan poliester yang cenderung mengeras dengan cepat, terutama jika banyak katalis yang digunakan. reaksi kimia dalam kedua kasus adalah eksotermik. Jumlah besar dari campuran akan menghasilkan panas mereka sendiri dan lebih mempercepat reaksi.

Resin jenis ini memiliki keunggulan yang jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri.

Tabel 2. 1 Material Properties Resin *Epoxy* (www.matweb.com)

Physical Properties	
Density	0,490-1,80 g/cc
Viscosity	200-180000 cP 46-1500 cP @Temperature 65-100 C
Mechanical Properties	
Kekerasan permukaan, Rockwell M	85-121
Kekerasan permukaan, 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

2.7 Silika (SiO₂)

Silika atau silikon dioksida adalah senyawa kimia dari silikon dan oksigen dengan rumus kimia SiO₂. Silika diketahui merupakan insulator listrik yang baik sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi karena memiliki kapasitas panas yang besar. Sifat lain dari silika yang sangat mendukung aplikasinya adalah nilai dari titik leburnya adalah 1600- 1725°C. Selain itu silika juga memiliki desitas 2,634 g/cm³.

Tabel 2. 2 Properties of Silika (www.matwab.com)

Physical Properties	
Density	2,634 g/cm ³
Mechanical Properties	
Kekerasan permukaan, Mohs	7,0
Kekerasan permukaan, Vickers	11
Thermal Properties	
Melting point	1600-1725 °C

2.8 Alumina (Al₂O₃)

Alumina atau aluminium oksida adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen dengan rumus kimia Al₂O₃. Alumina diketahui merupakan insulator listrik yang baik sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi karena

memiliki kapasitas panas yang besar. Sifat lain dari alumina yang sangat mendukung aplikasinya adalah nilai thermal conductivity 30W/mK pada temperatur 800°C. Selain itu alumina juga memiliki desitas 3,96 g/cm³.

Tabel 2. 3 Properties of Alumina (*www.matwab.com*)

Physical Properties	
Density	3,96 g/cm ³
Mechanical Properties	
Kekerasan permukaan, Mohs	9,0
Tensile Strength	300 MPa
Thermal Properties	
Thermal Conductivity	30,0 W/mK, @800°C

2.9 Serbuk Serabut Kelapa

Serabut kelapa terdiri dari tiga bagian yaitu kulit luar, serat dan serbuk. Salah satu unsur utama penyusun bahan komposit adalah penguat (*reinforced*) yaitu serbuk. Pemanfaatan serbuk serabut kelapa selain untuk kampas rem adalah untuk komponen sepeda motor lain yang membutuhkan kekasaran pada permukaan material yaitu *clutch*.

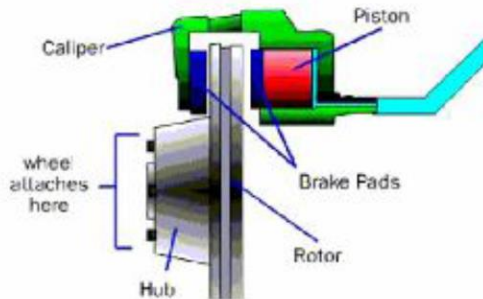
Table 2. 4 Properties Serabut Kelapa

Physical Properties	
Density	0,87 g/cm ³

Mechanical Properties	
Tensile Strength	137 Mpa
Thermal Properties	
Thermal Conductivity	0,0499W/mK

2.10 Rem Cakram Sepeda Motor

Sistem rem dalam teknik otomotif adalah suatu sistem yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan kendaraan, menghentikan kendaraan yang sedang berjalan dan menjaga agar kendaraan tetap berhenti. Rem cakram terdiri atas sebuah cakram dari besi tuang yang dijepit oleh lapisan rem dari kedua sisinya pada waktu pengereman. Untuk menjepit piringan ini diperlukan tenaga yang cukup kuat. Guna memenuhi kebutuhan ini, rem cakram dilengkapi dengan sistem *hidraulic* [Sutantra, 2001].



Gambar 2. 18 Rem Cakram (Sutantra, 2001)

Agar dapat menghasilkan tenaga yang cukup kuat, sistem *hidraulic* terdiri dari master silinder, torak, reservoir untuk tempat minyak rem, kampas rem, dan komponen penunjang lainnya.

Pada sepeda motor yang berjalan, ketika handle rem ditarik, hubungan yang terdapat pada handle rem akan menekan torak yang terdapat pada master silinder. Torak ini akan mendorong minyak rem ke arah saluran minyak, yang selanjutnya

masuk kedalam ruangan silinder dalam pada caliper, pada bagian torak sebelah luar dipasang kampas atau brake pad, kampas ini akan menjepit piringan baja dengan memanfaatkan tekanan torak ke arah luar yang diakibatkan oleh tekanan minyak tadi.

2.10 Kampas Rem

2.10.1 Klasifikasi Kampas Rem

Kampas rem merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengereman sepeda motor. Berikut merupakan jenis kampas rem menurut klasifikasi international:

1. OEM (*Original Equipment Manufactured*)

OEM adalah jenis kampas rem yang sudah terpasang pada saat membeli motor baru, dimana untuk produsen Honda, Suzuki, dan Kawasaki dikeluarkan oleh pabrikan rem Nissin, sedangkan untuk Yamaha dikeluarkan oleh Akebono.

2. OES (*Original Equipment Sparepart*)

OES adalah jenis kampas rem yang digunakan sebagai pengganti kampas rem OEM dimana kampas rem ini dibuat oleh pabrikan OEM sehingga mempunyai kode formula yang sama, proses yang sama, kualitas yang sama dan bahan yang sama dengan kampas rem OEM.

3. AM (*After Market*)

Jenis ini adalah kampas rem yang beredar di pasaran, dengan kualitas yang beragam.

2.10.2 Karakter Kampas Rem

Selain memiliki beberapa jenis kampas rem menurut klasifikasi international, kampas rem sepeda motor juga memiliki karakter yang berbeda- beda menurut material penyusun kampas rem tersebut. Jenis kampas rem menurut karakternya memiliki 3 jenis kampas rem yaitu kampas rem organik, kampas rem logam dan kampas rem keramik. Berikut keuntungan dan kerugian kampas rem menurut karakteristiknya :

- **Kampas Rem Organik**

- Karakter kampas rem organik (*non asbestos*)

1. Nilai dari koefisien gesek 0,33-0,4

2. Daya pencengkaman baik pada temperatur dibawah 200°C
 3. Berdebu
 4. Tingkat keausannya tinggi
 5. Kebisingan dan kekasarannya baik
- Kelebihan kampas rem organik (*non asbestos*)
 1. Mudah mencengkram piringan rem
 2. Tidak memerlukan pemanasan untuk menghasilkan daya pengereman
 3. Digunakan untuk kendaraan perkotaan
 - Kekurangan kampas rem organik (*non asbestos*)
 1. Bekerja pada *range* suhu tertentu
 2. Lebih cepat aus
 3. Kehilangan daya gesekan saat *overheat*
 - Kampas Rem semi Logam (*semi-metallic*)
 - Karakter kampas rem semi Logam (*semi-metallic*)
 1. Nilai dari koefisien gesek 0,28-0,38
 2. Kekerasan lebih baik daripada kampa rem organik
 3. Keausan buruk pada temperatur rendah kurang dari 100°C
 4. Keausan baik pada temperatur lebih dari 200°C
 5. Keausan buruk pada kecepatan tinggi
 - Kelebihan kampas rem semi Logam (*semi-metallic*)
 1. Memiliki daya pengereman yang lebih besar dibandingkan kampas rem organik
 2. Tahan terhadap temperatur tinggi
 3. Memiliki daya cengkram yang baik di temperatur rendah
 - Kekurangan kampas rem semi Logam (*semi-metallic*)
 1. *Bissing* daripada kampas rem organik
 2. Memiliki debu yang lebih pekat
 3. Lebih keras, berpotensi mengurangi ketebalan piringan rem

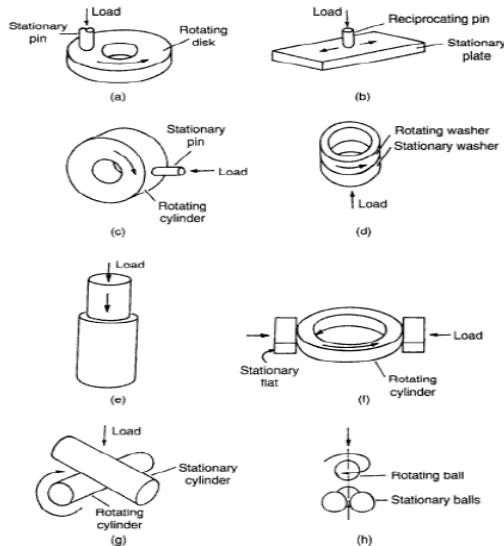
- Kampas Rem Keramik
 - Karakter kampas rem keramik
 1. Tidak *bissing*
 2. Tingkat keausan rendah dibandingkan kampas rem organik
 3. Tahan terhadap temperatur tinggi
 - Kelebihan kampas rem keramik
 1. Memiliki debu yang lebih sedikit
 2. Tidak *bissing* seperti kampas rem logam
 3. Memiliki *life time* yang lebih panjang dibandingkan kampas rem *semi* logam dan kampas rem organik
 - Kekurangan kampas rem keramik
 1. Harga lebih mahal
 2. Memiliki daya cengkram kurang baik di temperatur rendah

Dari penjelasan karakter dari setiap jenis kampas rem yaitu kampas rem organik (*non asbestos*), kampas rem logam dan kampas rem keramik. Peneliti melakukan penelitian ini dengan mengkombinasikan antara kampas rem jenis organik (*non asbestos*) dan kampas rem keramik dengan tujuan agar mendapatkan karakteristik baru dari kampas rem tersebut dan menjadi kampas rem alternatif.

2.11 Alat Pengujian

Alat uji untuk menguji keausan atau yang sering dikenal dengan tribometer merupakan alat atau perangkat yang digunakan untuk mengukur gesekan dan keausan antara dua permukaan material. Ada beberapa metode untuk mengukur keausan menggunakan tribometer, akan tetapi yang paling sering digunakan untuk mengukur keausan adalah permukaan datar atau bulat yang bergerak berulang-ulang diseluruh permukaan material lain seperti gambar 2.24. Sebuah material ditempatkan tepat pada bagian yang

bergerak selama pengujian. Pengukuran terakhir menunjukkan keausan pada material.



Gambar 2. 19 Berbagai macam alat uji keausan (a) *Pin-on disk* (b) *Pin-on-flat* (c) *Pin-on-cylinder* (d) *Thrust washer* (e) *Pin-into-bushing* (f) *Rectangular flats on rotating cylinder* (g) *Crossed cylinder* (h) *Four ball* (Tegar, 2010)

Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai macam-macam alat uji keausan seperti yang disebutkan pada gambar 2.19.

1. *Pin-on-Disk*

Pada tribometer *pin-on-disk*, pin ditahan diam dan disk berotasi. Pin dapat berupa bola yang tidak berotasi, ujung pin berupa setengah bola, atau ujung berbentuk flat atau datar seperti pada gambar (2.19a). Pengujian dengan alat ini paling sering diaplikasikan untuk pengembangan materi pada aplikasi tribologi.

2. *Pin-on-Flat Reciprocating*

Pada pengujian dengan menggunakan alat ini, plat bergerak bolak-balik dan pin ditahan diam, atau sebaliknya plat yang diam

dan pin bergerak bolak balik, seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.19b). Pin dapat berupa bola, ujung setengah bola, atau silinder dengan ujung flat atau datar.

3. *Pin-on-Cylinder (Edge Loaded)*

Pengujian dengan alat ini sama dengan pengujian pada *pin-on-disk*, tetapi beban pada pin bergesekan dengan permukaan yang melingkar pada disk seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.19c). Pin dapat berupa silinder dengan ujung datar atau setengah bola.

4. *Thrush Washer (Face Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, permukaan datar silinder atau ring (*washer*) berotasi di atas permukaan datar ring yang diam dan beban diberikan pada permukaan datar ring yang diam seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.19d). Ring dapat berupa silinder pejal atau silinder berlubang di bagian tengah. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk menguji material yang tegangannya rendah, seperti jurnal bearing.

5. *Pin-into-Bushing (Edge Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, gaya axial diberikan untuk menekan tabung seperti pada gambar (2.19e)

6. *Rectangular Flats on Rotating Cylinder (Edge Loaded)*

Pada pengujian dengan alat ini, dua balok mengapit silinder yang berputar, dimana satu balok diam dan balok yang lainnya diberi beban seperti yang ditunjukkan pada gambar (2.19f)

7. *Crossed Cylinder*

Pengujian dengan alat ini terdiri dari dua silinder yang tengahnya berlubang atau dua silinder pejal, salah satu diam dan silinder yang lain berotasi dengan sudut 90 seperti ditunjukkan pada gambar (2.19g)

8. *Four Ball*

Pengujian dengan alat ini terdiri dari empat bola yang berbentuk tetrahedral. Bola yang paling atas berotasi dan menggesek tiga bola yang ada di bawahnya yang ditahan diam pada posisinya, seperti

yang ditunjukkan gambar (2.19h)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Peneletian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan secara eksperimental atau analisis, yaitu pengambilan data dilakukan secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek dan nilai kekerasan permukaan. Adapun diagram alur penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian pengujian Koefisien gesek dan kekerasan permukaan pada kampas rem jenis *non- asbestos* yang terbuat dari resin *epoxy* dan serbuk serabut kelapa yang akan ditambahkan dengan silika rumus kimia SiO_2 .

3.2.1 Kajian Pustaka

Langkah awal dalam penelitian ini adalah melakukan kajian pustaka. Dimana dalam kajian pustaka ini, dilakukan pencarian ide bersumber dari referensi berupa tugas akhir, jurnal, *thesis*, dan *handbook* untuk menemukan teori-teori yang berhubungan dengan pengujian pengujian Koefisien gesek dan kekerasan permukaan pada kampas rem *non- asbestos* yang terbuat dari resin *epoxy* dan serbuk serabut kelapa yang akan ditambahkan dengan silika (SiO_2). Untuk menguji pengujian kekerasan permukaan akan menggunakan alat Durometer *shore D*.

3.2.2 Penentuan Parameter

Langkah selanjutnya setelah kajian pustaka adalah penentuan parameter pengujian Koefisien gesek dan kekerasan permukaan. Dimana dalam penentuan parameter pengujian Koefisien gesek setiap material uji menggunakan pengambilan data selama 12 detik penarikan benda uji. Untuk parameter pengujian kekerasan permukaan yang digunakan adalah titik yang diuji dari semua benda uji adalah sama. Terdapat beberapa variasi spesimen yang digunakan. Spesimen I adalah 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen II adalah 57% serbuk serabut kelapa, 5% silika (SiO_2) dan 38% resin *epoxy*, spesimen III adalah 54% serbuk serabut kelapa, 10% silika (SiO_2) dan 36% resin *epoxy*, spesimen IV adalah 51% serbuk serabut kelapa, 15% silika (SiO_2) dan 34% resin *epoxy*.

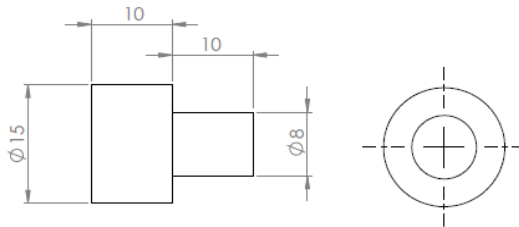
3.2.3 Membuat Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan dalam pengujian keausan ini adalah kanvas rem jenis *non- asbestos* yang terbuat dari resin *epoxy* dan serbuk serabut kelapa yang akan ditambahkan dengan silika (SiO_2). Terdapat beberapa variasi spesimen yang digunakan. Spesimen I adalah 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen II adalah 57% serbuk serabut kelapa, 5% silika (SiO_2) dan 38% resin *epoxy*, spesimen III adalah 54% serbuk serabut kelapa, 10% silika (SiO_2) dan 36% resin *epoxy*, spesimen IV adalah 51% serbuk serabut kelapa, 15% silika (SiO_2) dan 34% resin *epoxy*. Langkah pertama sebelum pembuatan material uji adalah menyiapkan alat pembuat spesimen. Berikut daftar alat yang digunakan untuk membuat spesime :

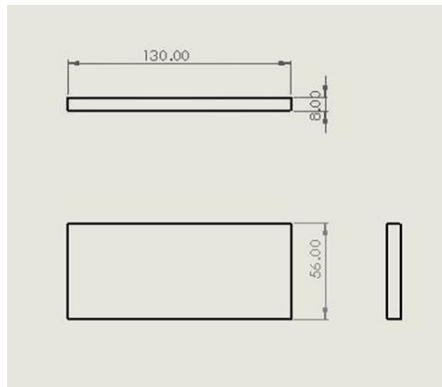
1. Ayakan dengan besar lubang ayakan 1,5 mm
2. Gelas ukur 50ml
3. Cetakan dengan ukuran tinggi 40 mm dan diameter 15 mm
4. Alat *press*
5. Bulatan baja dengan diameter 13 mm dengan tebal 1,5 mm
6. Solatip hitam dan bening

Untuk proses pembuatan spesimen uji, serabut kelapa, silika (SiO_2) dan resin *epoxy* diukur menggunakan fraksi *volume* menggunakan pengukuran gelas ukur sesuai dengan komposisi setiap spesimen uji, setelah itu dicampur menjadi satu adonan, setelah itu dituang didalam cetakan dimana untuk bagian atas dan bawah cetakan diberi tutup solatip lalu antara alat *press* dengan solatip diberi bulatan baja dibagian atas dan bawah dan diberi tekanan sebesar 0,528 N. Untuk memastikan setiap adonan yang ditaruh didalam cetakan semua spesimen sama, kami membuat parameter ketika sebelum dilakukannya penekanan pada cetakan adonan, kami pastikan terlebih dahulu adonan yang masuk kedalam cetakan sebanyak 10ml diukur dengan gelas ukur. Setelah spesimen uji mengeras, spesimen uji dikeluarkan dari cetakan. Setelah spesimen uji dilakukan proses pemotongan sesuai dengan

ukuran yang sudah ditetapkan agar bisa dipasang pada alat tribometer. Dibawah ini adalah desain spesimen uji sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Desain Spesimen Uji Pengujian Kekerasan Permukaan



Gambar 3. 3 Desain Spesimen Uji Pengujian Koefisien Gesek

3.2.4 Pengujian Kekerasan Permukaan

Setelah spesimen selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan untuk mendapatkan nilai kekerasan permukaan. Spesimen yang akan diuji terdapat 4 variasi spesimen. . Spesimen I adalah 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin

epoxy, spesimen II adalah 57% serbuk serabut kelapa, 5% silika (SiO_2) dan 38% resin *epoxy*, spesimen III adalah 54% serbuk serabut kelapa, 10% silika (SiO_2) dan 36% resin *epoxy*, spesimen IV adalah 51% serbuk serabut kelapa, 15% silika (SiO_2) dan 34% resin *epoxy*. Pengukuran kekerasan dari spesimen dilakukan dengan menggunakan alat Durometer *Shore D*. Berikut gambar dari durometer *shore D* :



Gambar 3. 4 Pengujian Kekerasan Permukaan

Untuk melakukan pengujian dengan Durometer *shore D*, terlebih dahulu harus menahan spesimen uji agar tidak bergerak ketika dilakukan pengujian dengan tujuan agar waktu dilakukan pengujian nilai dari kekerasan tersebut bisa stabil. Setelah itu kalibrasi alat durometer *shore D* dan tekan alat durometer *shore D* pada permukaan yang yang ingin dilakukan pengujian lalu tunggu sampai nilainya stabil.

3.2.5 Pengujian Koefisien Gesek

Setelah spesimen selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian koefisien gesek untuk mendapatkan nilai dari koefisien gesek statis dan koefisien gesek kinetis. Spesimen yang akan diuji terdapat 4 variasi specimen. . Spesimen I adalah 60% serbuk serabut kelapa dan 40% resin *epoxy*, spesimen II adalah 57% serbuk serabut kelapa, 5% silika (SiO_2) dan 38% resin *epoxy*, spesimen III adalah 54% serbuk serabut kelapa, 10% silika (SiO_2) dan 36% resin *epoxy*, spesimen IV adalah 51% serbuk serabut kelapa, 15% silika (SiO_2) dan 34% resin *epoxy*. Pengujian

koefisien gesek dilakukan dengan alat dari PASCO dimana untuk alat yang digunakan adalah *motion sensor*, *force sensor*, *universal interface* dan *capstone software*. Dimana adalah *motion sensor*, *force sensor* dihubungkan dengan *universal interface*. Lalu *universal interface* dihubungkan ke komputer yang sudah di instal *capstone software*. Lalu dari pengujian tersebut akan muncul hasil pada *capstone software* tersebut.



Gambar 3. 5 Pengujian Koefisien Gesek

3.2.6 Analisa Hasil dan Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan di mana alat uji yang digunakan adalah alat pengujian koefisien gesek dan durometer *shore D*, dari kedua alat pengujian tersebut akan diperoleh beberapa data yang akan dianalisa koefisien gesek dan kekerasan permukaan dari pesimen uji tersebut. Kemudian akan dibandingkan dengan spesimen uji referensi kampak rem yang sudah ada di pasaran.

3.3 Langkah Kerja Pengujian

Untuk pengujian pada penelitian ini, dilakukan 2 pengujian yaitu pengujian kekerasan permukaan dan pengujian koefisien gesek. Berikut langkah-langkah melakukan pengujian kekerasan permukaan dan langkah- langkah melakukan pengujian koefisien gesek :

3.3.1 Pengujian Kekerasan Permukaan

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

1. Meratakan permukaan spesimen uji .
2. Persiapan alat uji kekerasan permukaan dan Koefisien gesek dan kalibrasi
3. Pengujian spesimen dengan menggunakan Durometer *shore D*, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen uji.
4. Mencatat hasil pengujian.

3.3.2 Pengujian Koefisien Gesek

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

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.
5. Potong benang sekitar 50cm ikat kedua ujung hingga membentuk lingkaran, ikatkan benang pada baki (*discover friction accessory*).
6. Ikat/kaitkan ujung benang yang lain ke pengait yang ada pada *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, *force sensor* satu garis lurus dan letakkan baki diatas lintasan yang sudah ditentukan.

10. Tekan tombol "zero" pada *force sensor* tanpa adanya tegangan (*tension*) pada benang.
11. Berikan pembebanan pada baki 1000 g.
12. Tempatkan Baki di atas lintasan yang sudah ditentukan.
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 sesuai lintasan 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 pengujian yang berbeda.

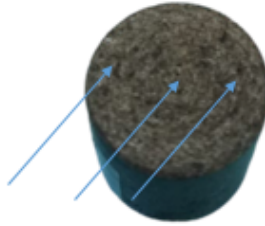
3.4 Pengambilan Data

3.4.1 Pengujian Kekerasan Permukaan Pada Serbuk Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Dibawah ini adalah gambar pengambilan data dan titik yang diuji pada pengujian kekerasan permukaan untuk mengetahui nilai dari kekerasan permukaan dari material serbuk silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*.



Gambar 3. 6 Pengujian Kekerasan Permukaan



Gambar 3. 7 Titik Pengujian Kekerasan Permukaan

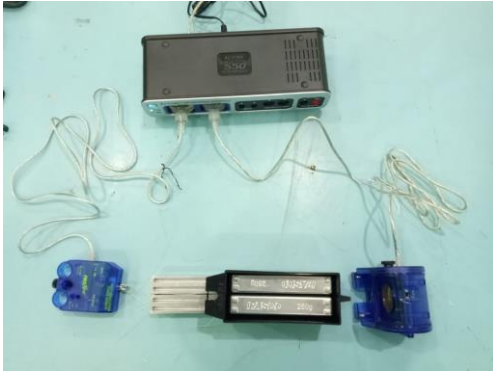
Hasil dari pengujian kekerasan permukaan dengan fraksi *volume* menggunakan alat pengujian durometer *shore D* pada Serbuk Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1 Data pengujian kekerasan permukaan pada silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*

Spesimen	Hardness (HD)				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Rata-rata	Rata-rata setiap variasi
0%Si, 60% Serbuk Kelapa, 40% Resin	A	35	35	35	34,333
	B	32	33	35	
	C	33	34	33	
	D	43	43	45	
5%Si, 57% Serbuk Kelapa, 38% Resin	E	39	37	40	41,667
	F	42	37	40	
	G	56	56	52	
10%Si, 54% Serbuk Kelapa, 36% Resin	H	54	52	52	54,000
	I	54	56	58	
	J	54	55	59	
15%Si, 51% Serbuk Kelapa, 34% Resin	K	61	59	59	59,667
	L	59	60	61	

3.4.2 Pengujian Koefisien Gesek Pada Serbuk Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Dibawah ini adalah gambar pengambilan data pada pengujian koefisien gesek untuk mengetahui nilai dari koefisien gesek statis dan koefisien gesek kinetis dari material serbuk silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*.



Gambar 3. 8 Pengujian Koefisien Gesek

Hasil dari pengujian koefisien gesek dengan fraksi *volume* pada Serbuk Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Tabel Hasil Pengujian koefisien gesek

Spesimen	Massa (kg)	Fs(N)	Fk(N)	μ_s	μ_k
0%Si, 60% Serbuk Kelapa, 40% Resin	1,14	9,085	5,410	0,813	0,484
5%Si, 57% Serbuk Kelapa, 38% Resin	1,15	8,612	4,767	0,764	0,423
10%Si, 54% Serbuk Kelapa, 36% Resin	1,15	8,516	4,698	0,756	0,417
15%Si, 51% Serbuk Kelapa, 34% Resin	1,15	7,484	4,761	0,664	0,422

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kekerasan Permukaan

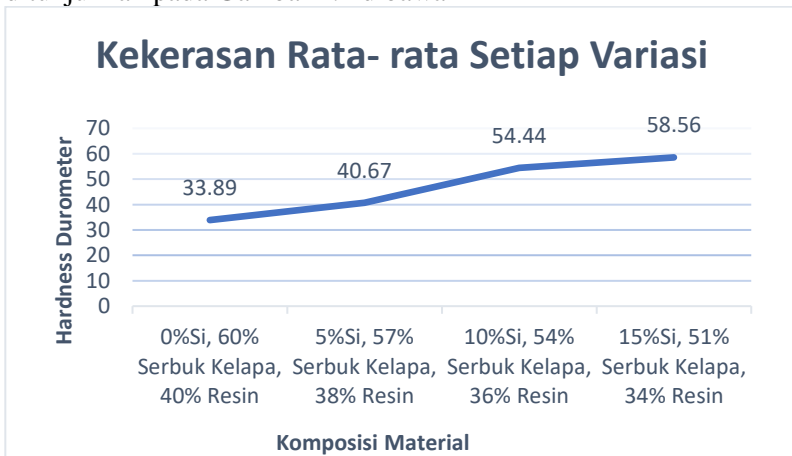
4.1.1 Analisa Kekerasan Permukaan pada Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Dari data hasil pengujian kekerasan permukaan pada serbuk silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* pada tabel 4.1 dapat dianalisa nilai dari kekerasan permukaan yang menunjukkan bahwa nilai ketahanan permukaan material terhadap deformasi pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan silika (SiO_2) tertentu.



Gambar 4. 1 Grafik kekerasan permukaan material uji

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan penambahan serbuk silika (SiO_2) . Pada material dengan penambahan 0% serbuk silika (SiO_2), pada material uji pertama didapatkan nilai kekerasan permukaan sebesar 35 HD, pada material uji kedua sebesar 33,33 HD, dan pada material uji ketiga yaitu sebesar 33,33 HD. Selanjutnya untuk material dengan penambahan 5% serbuk silika (SiO_2), pada material uji pertama nilai kekerasan permukaannya sebesar 43,67 HD, pada material uji kedua sebesar 38,67 HD, dan untuk material uji ketiga sebesar 39,67 HD. Untuk material dengan penambahan 10% serbuk silika (SiO_2), pada material uji pertama didapatkan nilai kekerasan permukaannya sebesar 54,67 HD, pada material uji kedua sebesar 52,67 HD, dan untuk material uji ketiga sebesar 56 HD. Pada material dengan penambahan 15% serbuk silika (SiO_2), pada material uji pertama nilai kekerasan permukaan yaitu sebesar 56 HD, pada material uji kedua sebesar 59,67 HD. Nilai kekerasan permukaan dari material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* akan cenderung naik seiring dengan semakin banyaknya penambahan konsentrasi serbuk silika (SiO_2) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dibawah ini



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Rata- rata Setiap Variasi Benda Uji

Pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa tren grafik diatas yang cenderung semakin naik seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi serbuk silika (SiO_2) yang ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan permukaan benda uji akan semakin naik dengan semakin banyaknya konsentrasi serbuk silika (SiO_2) yang ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Nilai kekerasan permukaan terkecil terdapat pada resin *epoxy* dengan penambahan 0% serbuk silika (SiO_2) yaitu 33,89 HD, sedangkan untuk nilai kekerasan permukaan terbesar terdapat pada resin *epoxy* dengan penambahan 15% serbuk silika (SiO_2) yaitu 58,56 HD. Secara teoritis dapat dijelaskan bahwa nilai kekerasan permukaan suatu material komposit akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi penguatnya. Hal tersebut dikarenakan jika jumlah konsentasi penguat pada material komposit semakin banyak, maka penguat pada material komposit tersebut akan menghambat atau menghalangi adanya pergerakan dislokasi pada material komposit yang akan dibuat, yang akan berdampak pada peningkatan nilai kekuatan dan kekerasan dari komposit tersebut. Selain itu yang menyebabkan penambahan silika (SiO_2) dapat meningkatkan kekerasan permukaan resin *epoxy* dan serbuk serabut kelapa adalah densitas dari silika (SiO_2) lebih besar dibandingkan resin *epoxy* dan serbuk serabut kelapa. Dari densitas silika (SiO_2) yang mempengaruhi kekerasan permukaan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* meningkat ketika konsentrasi silika (SiO_2) pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Semakin besar nilai dari densitas pada suatu material, maka material tersebut akan lebih berat dan akan lebih keras. Hal ini yang menyebabkan serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* ketika ditambahkan silika (SiO_2) kekerasan permukaannya bertambah. Semakin bertambahnya nilai kekerasan permukaan pada material komposit akan mempengaruhi nilai laju keusan dan nilai koefisien gesek. Dimana apabila nilai kekerasan permukaan semakin besar, maka nilai laju keausan suatu material akan menjadi

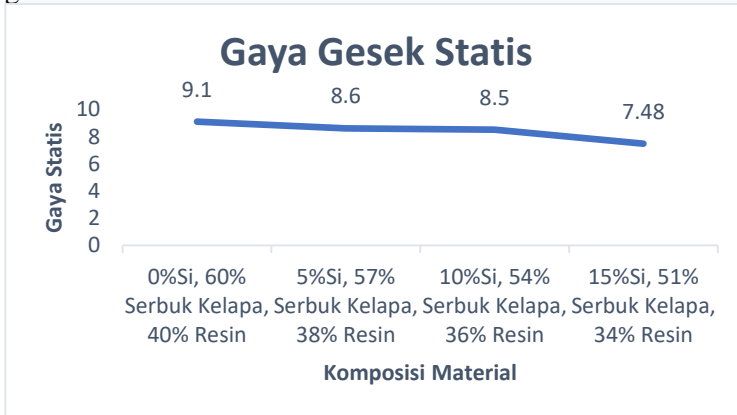
semakin kecil atau menurun dan nilai Koefisien gesek suatu material akan menjadi semakin kecil atau menurun.

4.2 Pengujian Koefisien gesek (COF)

4.2.1 Analisa Koefisien Gesek pada Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

4.2.1.1 Analisa Koefisien Gesek Statis pada Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy*

Dari data hasil pengujian koefisien gesek pada serbuk silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek statis yang mengalami penurunan pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu. Besarnya nilai gaya gesek statis dari material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu dapat dilihat pada gambar 4.3



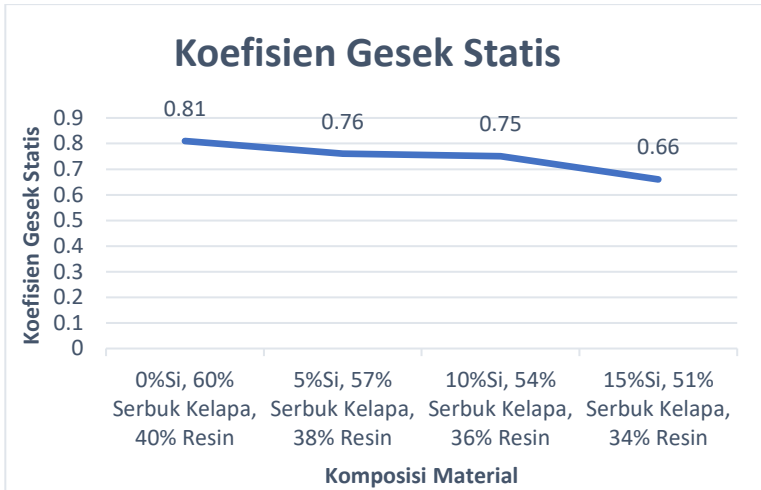
Gambar 4. 3 Grafik Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah adalah gaya yang bekerja pada dua permukaan benda padat, dimana arah gaya gesek statis tersebut 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

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

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 dan lintasan yang digunakan pada pengujian Koefisien gesek. Dari tren grafik gaya gesek statis pada grafik 4.3 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek statis menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi serbuk silika (SiO_2) yang ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Pada material dengan konsentrasi silika (SiO_2) sebanyak 0% memiliki nilai gaya gesek statis 9,1 Newton, pada material dengan konsentrasi serbuk silika (SiO_2) sebanyak 5% memiliki nilai gaya gesek statis 8,6 Newton, pada material dengan konsentrasi serbuk silika (SiO_2) sebanyak 10% memiliki nilai gaya gesek statis 8,5 Newton, dan pada material dengan konsentrasi silika (SiO_2) sebanyak 15% memiliki nilai gaya gesek statis 7,48 Newton. Nilai gaya gesek statis terbesar terdapat pada penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi 0%, nilai gaya gesek statis terkecil terdapat pada penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi 15%. Besar kecilnya nilai gaya gesek statis tersebut akan mempengaruhi dari koefisien gesek statis yang dapat dilihat pada grafik 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 Grafik Koefisien Gesek Statis

Dari penjelasan gaya gesek statis diatas dapat kita lihat hubungan antara gaya gesek statis dengan koefisien gesek statis adalah berbanding lurus dimana nilai gaya gesek statis semakin kecil maka nilai dari koefisien gesek statis juga semakin kecil. berikut perhitungan dari Koefisien gesek statis pada konsentrasi serbuk silika (SiO_2) 0%. Pada konsentrasi 0% serbuk silika (SiO_2) memiliki berat benda uji adalah 1,14 kg dan nilai dari gravitasi adalah $9,8 \text{ m/s}^2$. Berikut perhitungan nilai Koefisien gesek statis :

$$F_s = \mu_s W$$

$$\mu_s = \frac{F_s}{W}$$

$$\mu_s = \frac{F_s}{m \cdot g}$$

$$\mu_s = \frac{9,1 \text{ (N)}}{1,14 \text{ (kg)} \times 9,8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)}$$

Yang mempengaruhi menurunnya nilai Koefisien gesek statis seiring dengan bertambahnya konsentrasi serbuk silika

(SiO₂) dengan kadar tertentu selain gaya gesek statis dan massa dari benda uji tersebut adalah bentuk dari permukaan benda uji yang bergesek pada permukaan landasan pengujian. Dilihat dari bentuk serbuk silika (SiO₂) yang memiliki bentuk yang menyerupai pasir yaitu memiliki bentuk yang keras. Dengan begitu ketika serbuk silika (SiO₂) ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* akan menjadikan material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* akan lebih keras tetapi tingkat kekuatan material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* untuk menahan laju gerakan dari lawan gesekan material tersebut berkurang. Untuk mengetahui nilai dari Koefisien gesek statis setiap penambahan komposisi silika (SiO₂) pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* bisa dilihat pada grafik 4.4.

4.2.1.2 Analisa Koefisien Gesek Kinetis pada Silika (SiO₂), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin Epoxy

Dari data hasil pengujian koefisien gesek pada serbuk silika (SiO₂), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek kinetis yang mengalami penurunan pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk silika (SiO₂) dengan konsentrasi tertentu. Besarnya nilai gaya gesek kinetis dari material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk silika (SiO₂) dengan konsentrasi tertentu dapat dilihat pada gambar 4.5.



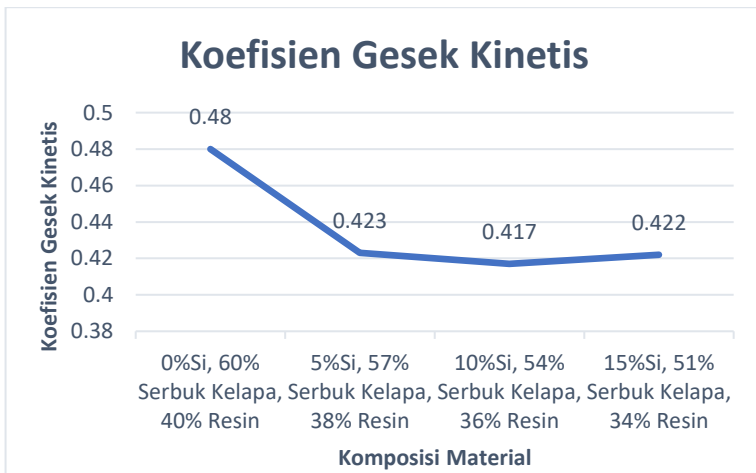
Gambar 4. 5 Grafik Gaya Gesek Kinetis

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 atau berjalan. Ketika gaya gesek statis adalah gaya gesek yang bekerja pada saat benda diam kalau gaya gesek kinetis adalah ketika benda padat sudah bergerak sampai benda padat tersebut berhenti yang bekerja untuk menghentikan laju dari benda padat yang meluncur tersebut adalah gaya gesek kinetis. Ketika benda padat yang diberi gaya tarik atau dorong tidak ada gaya gesek kinetis yang bekerja maka benda padatt tersebut tidak akan berhenti. 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

$$F_k = \mu_k W \quad (4.2)$$

Yang mempengaruhi dari rumus gaya gesek kinetis sama seperti gaya gesek statis yaitu massa dari benda uji dan nilai

dari koefisien gesek kinetis benda uji tersebut. Dari tren grafik gaya gesek kinetis pada grafik 4.5 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek kinetis menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi serbuk silika (SiO_2) yang ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy*. Pada material dengan konsentrasi silika (SiO_2) sebanyak 0% memiliki nilai gaya gesek kinetis 5,41 Newton, pada material dengan konsentrasi serbuk silika (SiO_2) sebanyak 5% memiliki nilai gaya gesek kinetis 4,77 Newton, pada material dengan konsentrasi serbuk silika (SiO_2) sebanyak 10% memiliki nilai gaya gesek kinetis 4,70 Newton, dan pada material dengan konsentrasi silika (SiO_2) sebanyak 15% memiliki nilai gaya gesek kinetis 4,76 Newton. Nilai gaya gesek kinetis terbesar terdapat pada penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi 0%, nilai gaya gesek statis terkecil terdapat pada penambahan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi 15%. Besar kecilnya nilai gaya gesek kinetis tersebut akan mempengaruhi dari koefisien gesek kinetis yang dapat dilihat pada grafik 4.6 dibawah ini.



Gambar 4. 6 Grafik Koefisien gesek *Kinetis*

Dari penjelasan gaya gesek kinetis diatas dapat kita lihat hubungan antara gaya gesek kinetis dengan Koefisien gesek *kinetis* adalah berbanding lurus dimana nilai gaya gesek kinetis semakin kecil maka nilai dari koefisien gesek kinetis juga semakin kecil. berikut perhitungan dari koefisien gesek kinetis pada konsentrasi serbuk silika (SiO_2) 0%. Pada konsentrasi 0% serbuk silika (SiO_2) memiliki berat benda uji adalah 1,14 kg dan nilai dari gravitasi adalah $9,8 \text{ m/s}^2$. Berikut perhitungan nilai Koefisien gesek statis :

$$F_k = \mu_k W$$

$$\mu_k = \frac{F_s}{W}$$

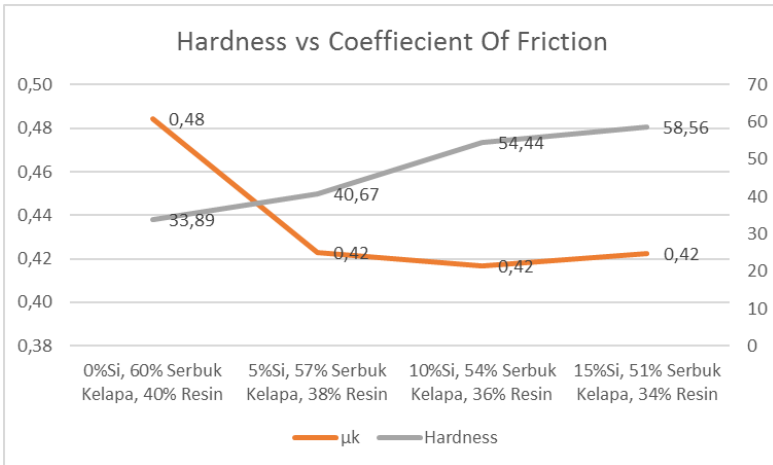
$$\mu_k = \frac{F_s}{m \cdot g}$$

$$\mu_k = \frac{5,41 (N)}{1,14 (kg) \cdot 9,8 \left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

$$\mu_k = 0,48$$

Yang mempengaruhi menurunnya nilai Koefisien gesek kinetis seiring dengan bertambahnya konsentrasi serbuk silika (SiO_2) dengan kadar tertentu selain gaya gesek kinetis dan massa dari benda uji tersebut adalah bentuk dari permukaan benda uji yang bergesek pada permukaan landasan pengujian. Dilihat dari bentuk serbuk silika (SiO_2) yang memiliki bentuk yang menyerupai pasir yaitu memiliki bentuk yang keras. Dengan begitu ketika serbuk silika (SiO_2) ditambahkan pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* akan menjadikan material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* akan lebih keras tetapi tingkat kekuatan material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* untuk menahan laju gerakan dari lawan gesekan material tersebut berkurang. Untuk mengetahui nilai dari Koefisien gesek kinetis setiap penambahan komposisi silika (SiO_2) pada serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* bisa dilihat pada grafik 4.6.

4.2.2 Analisa Koefisien Gesek pada Silika (SiO_2), Serbuk Serabut Kelapa dan Resin *Epoxy* Terhadap Kekerasan



Gambar 4. 7 Grafik Kekerasan Permukaan vs Koefisien Gesek Kinetis

Pada gambar 4.7 diatas adalah grafik hubungan antara kekerasan permukaan dan koefisien gesek kinetis dari material serbuk serabut kelapa dan resin ditambahkan dengan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu. Pada grafik diatas 4.7 dapat kita lihat bahwa hubungan antara kekerasan permukaan material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* yang sudah ditambahkan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar nilai kekerasan permukaan dari material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* yang sudah ditambahkan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu maka nilai koefisien gesek kinetis pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* yang sudah ditambahkan serbuk silika (SiO_2) dengan konsentrasi tertentu semakin menurun. Hal ini disebabkan karena kontruksi dari serbuk silika (SiO_2) yang berbentuk menyerupai pasir yang keras yang menyebabkan nilai dari koefisien gesek menurun. Akan tetapi kelebihan dari penambahan

serbuk silika (SiO_2) pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* adalah material yang sudah ditambahkan serbuk silika (SiO_2) pada material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Hal ini disebabkan karena *melting point* dari serbuk silika (SiO_2) adalah 1600-1725 °C. Dari grafik 4.7 komposisi terbaik jika dilihat dari nilai kekerasan dan koefisien gesek terletak diantara 0% silika (SiO_2), 40% resin *epoxy*, 60% serbuk serabut kelapa dan 5% silika (SiO_2), 38% resin *epoxy*, 57% serbuk serabut kelapa. Jika dilihat dari pengujian yang dilakukan oleh Shofia (2017), dimana peneliti melakukan pengujian kekerasan dan nilai koefisien gesek pada kampas rem yang ada dipasaran koefisien gesek pada kampas rem yang ada dipasaran yang telah diuji oleh Shofia (2017) digunakan pada motor bebek dengan kapasitas silinder 125cc- 4 tak SOHC, nilai dari kekerasan kampas rem referensi tersebut adalah 50,4 HRB dan nilai dari koefisien gesek kinetis adalah 0,4. Dari data kampas rem referensi tersebut bisa dibandingkan dengan kampas rem yang sedang diteliti bahwa ketika diambil nilai optimum seperti pada grafik 4.7 dimana nilai optimum terdapat pada komposisi antara 0% silika (SiO_2) dan 5% silika (SiO_2) dengan nilai kekerasan permukaan 40,4 HD dan nilai koefisien gesek kinetis adalah 0,44. Dari perbandingan kedua kampas rem tersebut, komposisi komposisi kampas rem material serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* ditambahkan dengan silika (SiO_2) dengan konsentrasi antara 0% silika (SiO_2) dan 5% silika (SiO_2) memiliki peningkatan nilai dari koefisien gesek kinetis dan masih belum bisa mendekati nilai dari kekerasan kampas referensi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian kekerasan, nilai kekerasan optimum dari material serbuk silika (SiO_2), serbuk serabut kelapa dan resin *epoxy* adalah 40,4 HD, masih belum dapat mendekati hasil kekerasan kampas rem referensi yang mempunyai nilai kekerasan sebesar 50.4 HRB.
2. Nilai koefisien gesek kinetis terbesar yang didapatkan adalah komposisi antara 0% silika (SiO_2) dan 5% silika (SiO_2) dengan nilai koefisien gesek kinetis 0,44 dengan nilai sedangkan koefisien gesek kinetis kampas rem pembanding adalah 0.4. komposisi antara 0% silika (SiO_2) dan 5% silika (SiO_2) mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk menghambat pergerakan cakram motor

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa rekomendasi atau saran untuk penelitian berikutnya :

1. Dibutuhkannya pengujian keausan untuk mengetahui laju keausan dari material uji tersebut

“Halaman sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F. 2019. Non Linieritas Keausan Abrasif dan Keausan Adesif yang Terjadi Bersamaan. Surabaya : *Department of Mechanical Engineering* Institut Teknologi Surabaya.22-24
- Bonfanti, A. 2016. *Low Impact Friction Materials for Brake Pads. Italy : Departement of Industrial Engeering University Of Trento.*6-7
- Hamid, M. M., Abed, S. A., Shaalan, T. G. 2018. *The Effect of Silica Particles on the Enhancement of Mechanical Properties and Thermal Conductivity of the Epoxy Composites. Baghdad: Mechanical Department. Baghdad Technical Institute.*752-754
- Dewi, S.2017. Komposit Serat Kelapa- *Epoxy* Sebagai Material Alternatif Kampas Rem Sepeda Motor. Surabaya: Departement of Mechanical Engeering Institut Teknologi Surabaya.14-15
- Namie, I. A., Ibrahim, A. A., Hassan, M. F. 2011. *Study the Mechanical Properties of Epoxy Resin Reinforced With Silica (quartz) and Alumina Particles. Baghdad :Departement of Mechanical and Material Engineering University of Technology.*501
- Riduan, M., Suhardiman. 2019. Analisa Tingkat Keausan Komposit *Polymer* yang Diperkuat Serbuk Serabut Kelapa. Bengkalis : Politeknik Negeri Bengkalis.266-268

Saka, N. *On the Laws and Theoris of Sliding Friction*.2015.Cambridge :Department of Mechanical Engineering.2-4

PASCO.COM. (n.d.). Retrieved from
<https://www.pasco.com/products/>

BIODATA PENULIS



Fauzy Nur Shodiq lahir di Kediri, 9 Juni 1996. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Banu Sodikun dan Kurotin. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Negeri 1 Kepuh pada tahun 2002-2008. Penulis melanjutkan pendidikan di MTs Negeri 1 Kediri pada tahun 2008- 2011. Kemudian melanjutkan di SMA Negeri 2 Pare pada tahun 2011-2014. Penulis melanjutkan pendidikan jenjang sarjana di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014. Di Jurusan Teknik Mesin ini Penulis mengambil Bidang Studi Desain dan melakukan tugas akhir di Laboratorium Mekanika Benda Padat. Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan, aktif dikepanitiaan yang diselenggarakan oleh Jurusan dan aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HMM). Selain itu Penulis juga pernah Kerja Praktek di perusahaan PT. Dirgantara Indonesia. Penulis juga pernah magang di PT. Pembangkit Jawa Bali dan magang di PT. Perikanan Nusantara. Penulis terbuka menerima masukan dan saran terkait Tugas Akhir ini. Pembaca dapat menghubungi Penulis melalui *email* fauzynur13@gmail.com