



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMENT DAN ANALISA PENGARUH
MAGNESIUM OKSIDA TERHADAP WEAR RATE
DAN COFFICIENT OF FRICTION PADA
KOMPOSIT RESIN EPOXY DAN SERBUK ABU
SEKAM PADI**

**PUTU JESTYA ANGGRAWAN YUNANTARA PUTRA
NRP. 0211144000028**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.**

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



TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMENT DAN ANALISA PENGARUH
MAGNESIUM OKSIDA TERHADAP WEAR RATE DAN
COFFICIENT OF FRICTION PADA KOMPOSIT RESIN
EPOXY DAN SERBUK ABU SEKAM PADI**

**PUTU JESTYA ANGGRAWAN YUNANTARA PUTRA
NRP. 0211144000028**

**Dosen Pembimbing:
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.**

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



FINAL PROJECT - TM184835

**EXPERIMENT STUDY AND ANALYSIS OF THE EFFECT
OF MAGNESIUM OXIDE ON WEAR RATE AND
COEFFICIENT OF FRICTION RESIN COMPOSITE AND
RICE HUSK POWDER**

PUTU JESTYA ANGGRAWAN YUNANTARA PUTRA
0211144000028

Supervisor:
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

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

HALAMAN PENGESAHAN
STUDI EKSPERIMENT DAN ANALISA PENGARUH
MAGNESIUM OKSIDA
TERHADAP WEAR RATE DAN COFFICIENT OF FRICTION
PADA MATERIAL RESIN EPOXY DAN SERBUK ABU
SEKAM PADI

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

Putu Jestya Anggrawan Yunantara Putra
NRP. 02111440000028

Disetujui oleh :

1. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
2. Ir. Julendra B. Aristedja, MT. (Penguji I)
NIP. 196807061980031004
3. Dr.Ir. Agus Sigit Prarotono, DEA. (Penguji II)
NIP. 196508101591021001
4. Achmad Syaifudjo, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji III)
NIP. 197909262005011001

SURABAYA
FEBRUARI, 2021

**STUDI EKSPERIMENT DAN ANALISA PENGARUH
MAGNESIUM OKSIDA TERHADAP WEAR RATE DAN
COFFICIENT OF FRICTION PADA KOMPOSIT RESIN
EPOXY DAN SERBUK ABU SEKAM PADI**

Nama mahasiswa : Putu Jestya Anggrawan Yunantara
Putra
NRP : 02111440000028
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

ABSTRAK

Salah satu komponen yang penting pada kendaraan bermotor adalah rem. Ada dua jenis struktur bantalan rem, yaitu asbes dan non-asbes. Asbestos membahayakan bagi kesehatan manusia apabila debunya dihirup serta kurang pakem dalam keadaan panas sehingga industri otomotif mulai mencari penggantinya. Dalam membuat kampas rem, bahan yang digunakan sebaiknya selalu tersedia terus menerus dan tidak akan punah. Salah satunya adalah memanfaatkan limbah sekam padi. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki banyak kandungan silika yang berarti memiliki kekerasan, sifat tahan aus, ketahanan termal dan kekakuan yang tinggi. Salah satu bahan yang dapat digunakan dalam pembuatan kampas rem adalah magnesium oksida. Semakin bertambahnya persentase magnesium oksida (MgO) maka semakin meningkat pula koefisien gesek yang dihasilkan. Sehingga diharapkan penambahan magnesium oksida dapat mengatasi kelemahan komposit tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan magnesium oksida (MgO) terhadap wear rate dan coefficient of friction dari komposit serbuk abu sekam padi dan resin epoxy yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan alternatif komposit pengganti kampas rem yang sudah ada dipasaran. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tribometer

pin on disk dengan variasi komposit serbuk abu sekam padi dan resin epoxy pada pin berupa penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan perbandingan volume yang berbeda serta dibandingkan dengan kampas rem di pasaran. Kecepatan putar yang digunakan adalah sebesar 90 rpm dengan pembebanan 2 kg dan panjang lintasan 1000 m. Pengujian dilakukan masing-masing 3 kali untuk setiap variasi serbuk magnesium oksida (MgO) dengan pembebanan, kecepatan, dan jarak lintasan yang konstan. Proses selanjutnya yaitu mengamati dan menganalisa wear rate dan coefficient of friction.

Penelitian kampas rem jenis non- asbestos dengan komposisi serbuk abu sekam padi, magnesium oksida dan resin epoxy diharapkan bisa sebagai kampas rem alternatif sebagai pengganti kampas rem jenis asbestos karena kampas rem asbestos memiliki kekurangan tidak ramah lingkungan dan kampas rem tidak dapat bekerja dengan suhu diatas 200° C. Maka dari itu dibutuhkannya kampas rem alternatif yang bisa digunakan sebagai pengganti kampas rem asbestos.

Kata kunci : laju keausan, koefisien gesek, serbuk abu sekam padi, epoxy, magnesium oksida (MgO)

**EXPERIMENT STUDY AND ANALYSIS OF THE EFFECT
OF MAGNESIUM OXIDE ON WEAR RATE AND
COEFFICIENT OF FRICTION RESIN COMPOSITE AND
RICE HUSK POWDER**

Nama mahasiswa : Putu Jestya Anggrawan Yunantara Putra
NRP : 0211144000028
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E

ABSTRACT

One of the important components in a motorized vehicle is the brake. There are two types of brake pad structures, namely asbestos and non-asbestos. Asbestos is dangerous to human health if the dust is inhaled and it is not gripping when it is hot, so the automotive industry has started looking for a replacement. In making brake pads, the komposits used should always be available continuously and will not be extinct. One of them is utilizing rice husk waste. Previous studies have shown that rice husk ash has a lot of silica content which means it has high hardness, wear resistance, thermal resistance and stiffness. One of the materials that can be used in the manufacture of brake pads is magnesium oxide. The higher the percentage of magnesium oxide (MgO), the higher the resulting coefficient of friction. So it is hoped that the addition of magnesium oxide can overcome the weaknesses of these composites.

This study aims to determine the effect of adding magnesium oxide (MgO) on the wear rate and coefficient of friction of rice husk ash powder and epoxy resin which later can be used as an alternative reference for brake pad replacement komposits that are already on the market. The test was carried out using a pin on disk tribometer with various komposits of rice husk ash powder and epoxy resin on the pin in the form of the addition of magnesium oxide (MgO) powder with a different volume ratio and compared

to brake pads on the market. The rotational speed used is 90 rpm with a load of 2 kg and a track length of 1000 m. The test is carried out 3 times each for each variation of magnesium oxide (MgO) powder with constant loading, speed and travel distance. The next process is observing and analyzing the wear rate and the coefficient of friction.

Research on non-asbestos type brake pads with a composition of rice husk ash powder, magnesium oxide and epoxy resin is expected to be an alternative brake lining as a substitute for asbestos brake pads because asbestos brake pads have disadvantages that are not environmentally friendly and brake pads can not work when the temperature is above 200° C. Therefore, an alternative brake lining is needed that can be used as a substitute for asbestos brake pads.

Keywords : wear rate, coefficient of friction, rice husk powder, epoxy, magnesium oxide (MgO)

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihadapan Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya, tugas akhir yang berjudul “Studi Eksperimen dan Analisa Pengaruh Magnesium Oksida Terhadap *Wear Rate* dan *Coefficient of Friction* pada Komposit Resin Epoxy dan Serbuk Abu Sekam Padi” dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang direncanakan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan M.Eng.Sc. Kepala Departemen Teknik Mesin FTIRS – ITS
2. Aida Annisa Amin Daman, ST. MT. selaku Pembimbing Akademik yang telah mencurahkan waktunya untuk mengarahkan serta memotivasi penulis untuk dapat menuntaskan perkuliahan dengan baik.
3. Ir. Yusuf Kaelani M.Sc.E selaku Dosen Pembimbing yang telah mencurahkan sebagian waktunya dalam membantu serta memotivasi penulis untuk dapat menuntaskan tugas akhir berupa skripsi ini dengan baik sehingga dapat selesai tepat waktu.
4. Keluarga tercinta Ir. Wayan Agus Yunantara, Wiwik Hermawati ST.,MT., Made Wulan Ranjani Y.P, Nym. Heryawan Marttama Y.P, dan Putu Laksmi Dewi Rahmayanti S.E.,M.M yang telah memberikan doa, bimbingan, motivasi dan dukungan sampai skripsi ini diselesaikan.
5. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat berhasil sebagaimana mestinya tanpa dukungan dari berbagai pihak. Meskipun demikian, penulis tetap bertanggung jawab terhadap semua isi skripsi. Penulis berharap agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak yang berkepentingan.

Denpasar, 9 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terdahulu.....	7
2.2 Teori Gesekan.....	18
2.3 Keausan.....	20
2.4 Resin Epoxy.....	26
2.5 Serbuk Abu Sekam Padi.....	27
2.6 Magnesium Oksida (MgO).....	29
2.7 Kampas Rem	29
2.8 Alat Uji Keausan Komposit.....	31
2.9 Alat Uji <i>Coefficient of Friction</i>	34
2.10 Kampas Rem.....	38
BAB III METODOLOGI.....	41

3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
3.2 Langkah Penelitian.....	42
3.3 Langkah Kerja Pengujian.....	49
3.4 Spesifikasi Peralatan Pengujian.....	51
3.5 Data Hasil Pengujian Keausan	52
3.6 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	54
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	61
4.1 Pengujian Laju Keausan.....	61
4.2 Pengujian Koefisien Gesek (COF).....	73
BAB V PENUTUP.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Laju Keausan dengan Jarak Geser pada Beban 10N dan Kecepatan Geser 1,5708 m/s.....	8
Gambar 2.2 Grafik Pengujian Laju Keausan.....	14
Gambar 2.3 Grafik Pengujian Jarak Pengereman ...	14
Gambar 2.4 Pengujian Waktu Pengereman	15
Gambar 2.5 Hasil Penelitian Laju Keausan Kampas Rem	17
Gambar 2.6 Hasil Penelitian Koefisien Gesek Kampas Rem	18
Gambar 2.7 Mekanisme Gesekan.....	19
Gambar 2.8 Tiga macam tipe kurva keausan	21
Gambar 2.9 Specific wear rate pada komposit logam dengan berbagai kondisi pelumasan.....	22
Gambar 2.10 Mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan.....	23
Gambar 2.11 Mekanisme keausan adesif.....	24
Gambar 2.12 Mekanisme keausan abrasive.....	24
Gambar 2.13 Mekanisme keausan Lelah.....	25
Gambar 2.14 Mekanisme keausan korosif.....	25
Gambar 2. 15 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>	32
Gambar 2.16 Sensor Gerak (PASCO PS-2103A)....	34
Gambar 2.17 Spesifikasi Sensor Gerak (PASCO PS-2103A).....	35
Gambar 2.18 Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189).....	36

Gambar 2.19 Spesifikasi Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189).....	36
Gambar 2.20 Universal Interface (UI-5001).....	37
Gambar 2.21 Spesifikasi Universal Interface (UI-5001).....	37
Gambar 2.22 PASCO Capstone Software.....	38
Gambar 2.23 Kampas Rem.....	40
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 3. 2 Desain Pin.....	45
Gambar 3. 3 Desain Disk.....	46
Gambar 3.4 Tribometer Pin on Disk.....	46
Gambar 3.5 Pengujian Koefisien Gesek.....	49
Gambar 3.6 Tribometer Pin on Disk.....	52
Gambar 3.7 Pengujian Keausan.....	53
Gambar 3.8 Pengujian Koefisien Gesek.....	54
Gambar 3.9 Hasil Pengujian Gaya Gesek Spesimen 60% Abu Sekam Padi dan 40% Resin Epoxy.....	55
Gambar 3.10 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 50% Abu Sekam Padi, 10% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy.....	56
Gambar 3.11 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 30% Abu Sekam Padi, 30% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy.....	57
Gambar 3.12 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 10% Abu Sekam Padi, 50% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy.....	58
Gambar 4.1 Grafik Specific Wear Rate pada Keempat Spesimen dengan Masing-Masing Tiga Kali Percobaan.....	63
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Magnesium Oksida terhadap laju keausan pada komposit abu sekam padi dan resin epoksi.....	65
Gambar 4.3 Foto Perbesaran 60× Spesimen 60% Abu Sekam Padi dan 40% Resin Epoxy.....	68

Gambar 4.4 Foto Perbesaran 60× Spesimen 50% Abu Sekam Padi, 10% MgO, dan 40% Resin Epoxy.....	68
Gambar 4.5 Foto Perbesaran 60× Spesimen 30% Abu Sekam Padi, 30% MgO, dan 40% Resin Epoxy.....	69
Gambar 4.6 Foto Perbesaran 60× Spesimen 10% Abu Sekam Padi, 50% MgO, dan 40% Resin Epoxy.....	69
Gambar 4.7 Grafik Gaya Gesek Statis dan Koefisien Gesek Statis.....	74
Gambar 4.8 Grafik Gaya Gesek Kinetis dan Koefisien Gesek Kinetis.....	77
Gambar 4.9 Lapisan Amorphous Silica.....	80
Gambar 4.10 Grafik <i>Specific Wear Rate</i> vs Koefisien Gesek Kinetis.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penurunan berat(Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (Ws) dan tingkat keausan volumetrik (Wv) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 850°C untuk Kecepatan geser = 0.63m / s, Jarak geser = 189.90m.....	10
Tabel 2.2 Penurunan berat (Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (Ws) dan Tingkat keausan volumetrik (Wv) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 900°C untuk Kecepatan geser = 0.63m / s, Jarak geser = 189.90m.....	11
Tabel 2.3 Penurunan berat badan (Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (Ws) dan tingkat keausan volumetrik (Wv) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 950°C untuk Kecepatan geser = 0.63m / s, Jarak geser = 189.90m.....	12
Tabel 2.4 Komposit Properties Epoxy Resin	27
Tabel 2.5 Komposit Properties Abu Sekam Padi	28
Tabel 2.6 Komposit Properties Magnesium Oksida.....	29
Tabel 3.1 Data pengujian spesimen dengan komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi.....	53
Tabel 3.2 Data pengujian spesimen dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	53
Tabel 3.3 Data pengujian spesimen dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	53
Tabel 3.4 Data pengujian spesimen dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	54
Tabel 3.5 Tabel Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	59

Tabel 4.1 Perhitungan wear rate pada 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi.....	61
Tabel 4.2 Perhitungan wear rate pada 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	61
Tabel 4.3 Perhitungan wear rate pada 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	62
Tabel 4.4 Perhitungan wear rate pada 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.....	62
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan.....	66
Tabel 4. 6 Tabel Hasil Perhitungan <i>Wear Coefficient</i>	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gesekan terjadi apabila suatu benda bergerak dan bersentuhan antara satu sama lain. Gesekan juga dapat disebut dengan friksi, friksi merupakan gaya yang menahan gerakan sliding atau rolling suatu benda dengan benda yang lain. Penyebab terjadinya suatu gesekan antara dua benda dikarenakan adanya gaya tarik (adhesi) daerah kontak dari permukaan yang secara mikroskopik tidak beraturan, serta jika ditampilkan dan diperbesar permukaannya menyerupai bukit dan lembah. Jika gesekan tersebut terjadi secara berkelanjutan maka akan menimbulkan keausan dan partikel suatu benda akan hilang.

Dua buah benda yang menekan dan bergesekan antara satu sama lain akan menyebabkan terjadinya keausan. Bahan yang lunak akan memiliki kemungkinan terjadinya keausan yang lebih besar. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi keausan yaitu kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan dan kekerasan bahan. Jika kecepatan relatif suatu benda yang bergesekan semakin besar, maka komposit akan semakin mudah aus. Apabila tekanan pada permukaan benda yang saling kontak semakin besar, maka kompositnya juga akan semakin cepat aus, begitu pula sebaliknya. Keausan yang terjadi pada suatu benda sehingga komposit pada benda tersebut menjadi berkurang maka akan mengakibatkan benda tersebut menjadi rusak.

Salah satu komponen yang penting pada kendaraan bermotor adalah rem. Hal ini dikarenakan sistem pengereman pada kendaraan bermotor memiliki hubungan langsung dengan pengemudi. Sistem pengereman pada kendaraan harus memiliki kemampuan yang baik dan bekerja secara optimal, sehingga pengemudi dapat mengendalikan laju kendaraannya saat mengemudi. Kampas rem merupakan salah satu komponen pada rem yang memiliki fungsi untuk mengurangi kecepatan dengan cara menahan gesekan dengan tromol atau piringan cakram dan

menghentikan putaran roda pada saat kendaraan melaju di jalan. Pembuatan kampas rem biasanya dengan komposit komposit yaitu dengan cara menggabungkan dua komposit atau lebih pada skala makroskopis dengan tujuan membentuk komposit baru dengan sifat sesuai perpaduan komposit penyusunnya.

Ada dua jenis struktur bantalan rem, yaitu asbes dan non-asbes. Asbestos membahayakan bagi kesehatan manusia apabila debunya dihirup serta kurang pakem dalam keadaan panas sehingga industri otomotif mulai mencari penggantinya dengan bahan sintetis. Harga kampas rem yang terbuat dari bahan ini cukup mahal sehingga perlu adanya penggantian dengan bahan yang lebih ekonomis yaitu komposit yang terbuat dari limbah.

Dalam membuat kampas rem, bahan yang digunakan sebaiknya selalu tersedia terus menerus dan tidak akan punah. Salah satunya adalah memanfaatkan limbah sekam padi. Dengan meningkatnya produksi padi di Indonesia, tentu akan diikuti dengan melimpahnya limbah penggilingan padi. Pada tahun 2016 saja dihasilkan sekitar 15,8 juta ton limbah sekam padi yang hingga saat ini belum optimal pemanfaatannya. Agar bahan limbah sekam padi ini dapat dipakai sebagai komposit teknik maka limbah sekam padi perlu dikembangkan sebagai bahan komposit yang penggunaannya sesuai sifat fisis dan mekanisnya. Sesuai penggunaannya sekam padi sering dipakai bahan hambat panas yang baik. Sekam padi dapat dikembangkan menjadi komposit komposit baru salah satunya sebagai bahan pembuat kampas rem, diharapkan dengan menggunakan sekam padi tersebut kampas rem menjadi lebih tahan panas dibandingkan kampas rem dengan asbestos. Menurut penelitian dari Wahyudi dan Amelia (2002) menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki banyak kandungan silika. Sekam padi memiliki kandungan 86,7% - 97,3% silika (Putro dan Prasetyoko, 2007). Silika memiliki kekerasan, sifat tahan aus, ketahanan termal dan kekakuan yang tinggi (Adam *et al.*, 2006). Penelitian yang dilakukan Prasetya (2016) menyebutkan bahwa silika dari abu sekam padi dapat digunakan sebagai bahan pengganti asbes dalam pembuatan kampas rem cakram kendaraan

bermotor. Penelitian yang dilakukan oleh Acharya dan Smantrai (2012) menunjukkan bahwa penambahan serat sekam padi pada *epoxy* sangat efektif dalam meningkatkan ketahanan ausnya. Penelitian yang dilakukan oleh Azadi *et al.* (2011) menyebutkan kehadiran abu sekam padi pada resin *epoxy* dapat meningkatkan ketahanan aus. Penelitian yang dilakukan oleh Shukla (2011) juga menyebutkan bahwa penggabungan abu sekam padi dengan resin *epoxy* dapat secara signifikan mengurangi keausan, namun koefisien gesek komposit menurun dengan penambahan abu sekam padi. Oleh karena itu dibutuhkan komposit lain yang dapat dicampurkan dalam komposit *epoxy* dan abu sekam padi untuk mengatasi kelemahan tersebut dan juga diperlukan uji gesek untuk mengetahui *coefficient of friction* komposit tersebut.

Salah satu bahan yang dapat digunakan dalam pembuatan kampas rem adalah magnesium oksida. Magnesium oksida merupakan padatan mineral putih higroskopis yang terdapat di alam. Selain itu magnesium oksida dikenal sebagai bahan tahan api yaitu padatan yang secara fisik serta kimiawi stabil pada suhu tinggi. Sehingga magnesium oksida memiliki dua sifat yang berguna yaitu konduktivitas thermal yang tinggi serta konduktivitas listrik yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Ardiyanto (2017) menyebutkan bahwa penambahan magnesium oksida pada komposit phenolic resin dan getah kulit mete dapat meningkatkan kekerasan dan menurunkan keausan pada pengujian kering. Menurut penelitian Arifin (2013) dilakukan penelitian laju keausan, jarak dan waktu pengereman didapatkan hasil variasi specimen yang menggunakan MgO menunjukkan hasil nilai laju keausan yang lebih rendah dibandingkan dengan specimen yang tidak menggunakan MgO, serta pada pengujian jarak pengereman dan waktu pengereman menunjukkan variasi yang menggunakan magnesium oksida memberikan hasil yang lebih singkat dibandingkan specimen yang tidak menggunakan MgO, dari jarak dan waktu pengereman yang singkat menunjukkan bahwa MgO dapat meningkatkan nilai dari *coefficient of friction*. Penelitian yang dilakukan oleh Saputro *et al.* (2015) mendapatkan hasil

semakin bertambahnya persentase magnesium oksida (MgO) maka semakin meningkat pula koefisien gesek yang dihasilkan. Sehingga diharapkan penambahan magnesium oksida dapat mengatasi kelemahan komposit tersebut.

Sampai saat ini, belum ada kajian yang membahas tentang laju keausan dan *coefficient of friction* pada komposit epoxy dan abu sekam padi yang dipengaruhi oleh magnesium oksida yang diaplikasikan ke kampas rem. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian terhadap laju keausan serta *coefficient of friction* pada komposit resin epoxy dan abu sekam padi yang ditambahkan magnesium oksida, untuk mengetahui perubahan nilai *coefficient of friction* dan pengaruhnya terhadap *wear rate* dari komposit resin epoxy. Dari penelitian ini nantinya akan didapatkan nilai laju keausan dan *coefficient of friction* dari komposit resin epoxy dan abu sekam padi dengan penambahan magnesium oksida.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh magnesium oksida (MgO) terhadap nilai laju keausan (*wear rate*) pada kampas rem yang terbuat dari serbuk abu sekam padi dan resin epoxy?
2. Bagaimana pengaruh Magnesium oksida (MgO) terhadap perubahan nilai *coefficient of friction* kampas rem yang terbuat dari abu sekam padi dan resin epoxy?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh magnesium oksida (MgO) terhadap nilai laju keausan (*wear rate*) pada kampas rem yang terbuat dari serbuk abu sekam padi dan resin epoxy.
2. Untuk mengetahui pengaruh Magnesium oksida (MgO) terhadap perubahan nilai *coefficient of friction* kampas rem yang terbuat dari abu sekam padi dan resin epoxy.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan.
2. Tidak adanya kesalahan pada pemasangan komponen alat uji.
3. Beban yang digunakan konstan.
4. Komposit dianggap tercampur merata pada resin epoxy.
5. Tekanan operasional konstan.
6. Kenaikan temperatur hanya disebabkan gesekan pada pin dan disk.
7. Tidak ada pelumasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengetahui laju keausan pada kampas rem yang terbuat dari serbuk abu sekam padi dan resin epoxy serta pengaruh dari ditambahkannya magnesium oksida terhadap *wear rate* dan *coefficient of friction* pada kampas rem yang terbuat dari serbuk abu sekam padi dan resin epoxy yang kedepannya dapat digunakan sebagai pengganti kampas rem berjenis asbestos dan sebagai referensi pengembangan kampas rem jenis non-asbestos.

“Halaman sengaja dikosongkan”

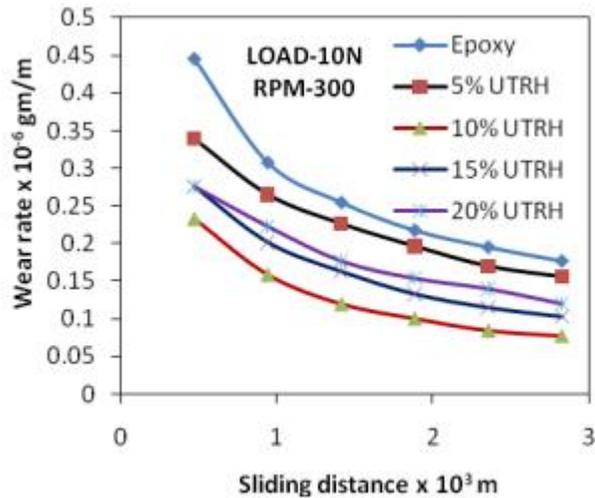
BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 The Friction and Wear Behavior of Modified Rice Husk Filled Epoxy Composite

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Acharya dan Samantrai (2012) yang membahas tentang laju keausan dan koefisien gesek dalam penelitiannya yang berjudul “The Friction and Wear Behavior of Modified Rice Husk Filled Epoxy Composite”. Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui nilai, laju keausan dan koefisien gesek dari suatu komposit yang menggunakan matrix resin epoxy yang diperkuat oleh abu sekam padi. Variasi komposisi spesimen yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu menggunakan fraksi volume dengan komposisi abu sekam padi sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pada penelitian tersebut untuk menguji laju keausan peneliti menggunakan tribometer pin on disk dengan variasi pembebanan 5N, 7,5N, 10N, dan 15N, variasi kecepatan sliding 0,837 m/s, 1,256 m/s, 1,675 m/s, radius lintasan 50mm, temperatur yang digunakan adalah 25°C. Hasil dari penelitian laju keausan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Grafik Laju Keausan dengan Jarak Geser pada Beban 10N dan Kecepatan Geser 1,5708 m / s.

Variasi laju keausan dengan jarak luncur untuk beban normal tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.1. Berdasarkan gambar ditunjukkan bahwa laju keausan abrasif menurun dengan penambahan serat sekam padi pada semua kondisi pengujian. Disimpulkan di sini bahwa penambahan serat sekam padi pada epoksi sangat efektif dalam meningkatkan ketahanan ausnya. Tingkat keausan untuk komposisi abu sekam padi sebesar 10% ternyata menyebabkan tingkat keausan yang minimum. Komposit dengan kandungan abu sekam padi sebesar 15% dan 20%, menyebabkan terjadinya peningkatan laju keausan. Peningkatan tingkat keausan untuk fraksi volume abu sekam padi yang lebih tinggi mungkin telah terjadi karena aglomerasi serat dalam komposit, yang menyebabkan adhesi antarmuka yang buruk antara serat dan matriks.

2.1.2 Investigation in to Tribo Potential of Rice Husk (RH) Char Reinforced Epoxy Composite

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Shukla (2011) yang membahas tentang laju keausan dan dalam penelitiannya yang berjudul “Investigation in to Tribo Potential of Rice Husk (RH) Char Reinforced Epoxy Composite”. Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui nilai laju keausannya dari suatu komposit yang menggunakan matrix resin epoxy yang diperkuat oleh abu sekam padi. Variasi komposisi spesimen yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu menggunakan fraksi volume dengan komposisi abu sekam padi sebesar 10%, 20%, 30%, dan 40% , abu sekam padi yang digunakan divariasikan berdasarkan suhu pembakaran yaitu 850°C, 900°C, 950°C. Pada penelitian tersebut untuk menguji laju keausan peneliti menggunakan tribometer pin on disk. Hasil dari pengujian laju keausan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Penurunan berat(Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (W_s) dan tingkat keausan volumetrik (W_v) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 850°c untuk Kecepatan geser = 0.63m / s , Jarak geser = 189.90m

Fiber content (vol %)	Load (N)	(Δw) (gm)	$W \times 10^{-5}$ (N/m)	$W_s \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{N.m}$)	$W_v \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{Sec.}$)
10	5	0.35	0.3641	0.061	0.192
	10	0.87	0.943	0.076	0.478
	15	1.34	1.4	0.078	0.736
	20	1.7	1.76	0.074	0.934
20	5	0.18	0.187	0.031	0.099
	10	0.63	0.655	0.055	0.346
	15	0.92	0.981	0.0537	0.506
	20	1.32	1.37	0.0578	0.726
30	5	0.29	0.301	0.049	0.156
	10	0.42	0.436	0.036	0.227
	15	0.86	0.894	0.049	0.464
	20	1.12	1.16	0.04	0.605
40	5	0.21	0.218	0.036	0.115
	10	0.39	0.405	0.03	0.213
	15	0.85	0.884	0.049	0.466
	20	1.04	1.08	0.045	0.57

Tabel 2.2 Penurunan berat (Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (W_s) dan Tingkat keausan volumetrik (W_v) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 900°C untuk Kecepatan geser = 0.63m/s , Jarak geser = 189.90m

Fiber content (vol %)	Load (N)	(Δw) (gm)	$W \times 10^{-5}$ (N/m)	$W_s \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{N.m}$)	$W_v \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{Sec.}$)
10	5	0.42	0.4369	0.073	0.23
	10	1.2	1.248	0.104	0.66
	15	1.73	1.799	0.1008	0.95
	20	2.18	2.267	0.095	1.198
20	5	0.24	0.2496	0.042	0.132
	10	0.54	0.5617	0.047	0.3
	15	1.01	1.05	0.059	0.556
	20	1.26	1.31	0.055	0.693
30	5	0.28	0.2913	0.048	0.151
	10	0.58	0.6033	0.05	0.313
	15	0.96	0.9986	0.055	0.52
	20	1.73	1.799	0.057	0.724
40	5	0.19	0.1976	0.033	0.104
	10	0.32	0.3329	0.028	0.175
	15	0.64	0.6658	0.037	0.351
	20	1.14	1.186	0.049	0.625

Tabel 2.3 Penurunan berat badan (Δw), Tingkat keausan (W), Tingkat keausan spesifik (W_s) dan tingkat keausan volumetrik (W_v) dari sampel komposit yang diuji dibuat pada 950°C untuk Kecepatan geser = 0.63m/s , Jarak geser = 189.90m

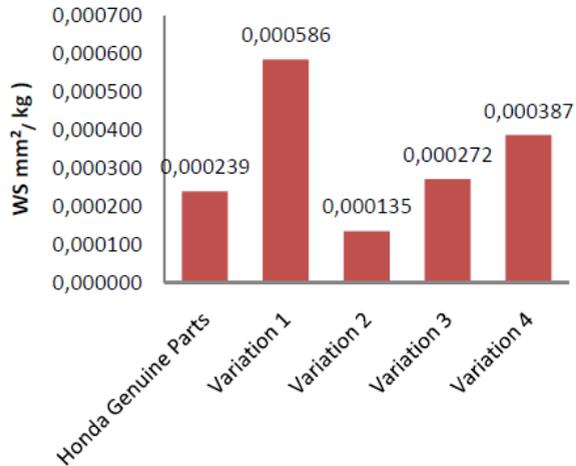
Fiber content (vol %)	Load (N)	(Δw) (gm)	$W \times 10^{-5}$ (N/m)	$W_s \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{N.m}$)	$W_v \times 10^{-9}$ ($\text{m}^3/\text{Sec.}$)
10	5	0.21	0.2184	0.036	0.115
	10	0.4	0.4161	0.034	0.219
	15	0.34	0.3537	0.019	0.186
	20	0.31	0.3225	0.0135	0.17
20	5	0.23	0.2392	0.04	0.126
	10	0.53	0.5513	0.046	0.292
	15	0.72	0.749	0.042	0.396
	20	0.98	1.0194	0.043	0.539
30	5	0.2	0.208	0.034	0.108
	10	0.32	0.3329	0.027	0.173
	15	0.54	0.5617	0.03	0.292
	20	0.83	0.8634	0.0357	0.448
40	5	0.19	0.1976	0.033	0.104
	10	0.26	0.2705	0.022	0.143
	15	0.38	0.3953	0.022	0.022

Berdasarkan hasil percobaan keausan pada komposit epoxy dengan abu sekam padi yang diuji dengan beban yang berbeda, kecepatan geser dan jarak geser, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggabungan abu sekam padi dengan resin epoxy dapat secara signifikan mengurangi keausan. Sifat ketahanan aus yang optimal diperoleh dengan kadar abu sekam padi sebesar 30%. Koefisien gesek komposit menurun dengan penambahan abu sekam padi. Tingkat keausan minimum didapat dengan fraksi volume sebesar 30% pada suhu karburasi 950°C dengan beban 15N

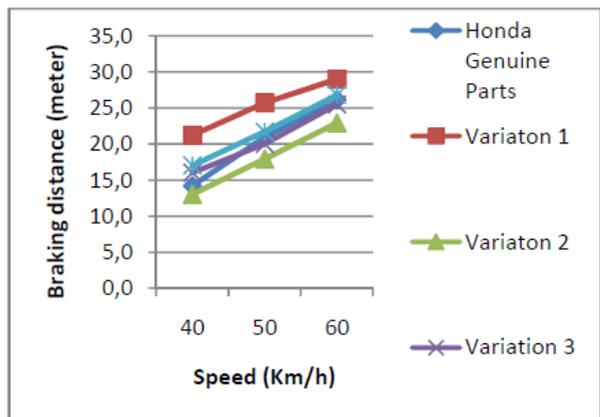
2.1.3 Analysis and Manufacturing Composite for Brake Shoes of Motorcycle Honda Supra X 125 Using Fly Ash Coal and Magnesium Oxide with Epoxy Matrix

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arifin (2013) yang membahas tentang uji nilai kekerasan, uji laju keausan, uji mikroskopik, uji jarak dan waktu pengereman. Dalam penelitiannya yang berjudul “Analysis and Manufacturing Composite for Brake Shoes of Motorcycle Honda Supra X 125 Using Fly Ash Coal and Magnesium Oxide with Epoxy Matrix”. Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, nilai laju keausan, hasil foto mikroskopis, dan nilai dari jarak dan waktu pengereman dari suatu komposit yang terbuat dari fly ash coal (abu sisa pembakaran batu bara), magnesium oksida, dan matrix resin epoxy. Variasi komposisi specimen yang digunakan dalam penelitian tersebut menggunakan fraksi volume dengan komposisi spesimen I yaitu 30% resin epoxy dan 70% fly ash coal, komposisi spesimen II yaitu 10% magnesium oksida, 40% resin epoxy, dan 50% fly ash coal, komposisi spesimen III yaitu 30% magnesium oksida, 40% resin epoxy, dan 30% fly ash coal, komposisi spesimen IV yaitu 50% magnesium oksida, 40% resin epoxy, dan 10% fly ash coal. Pada

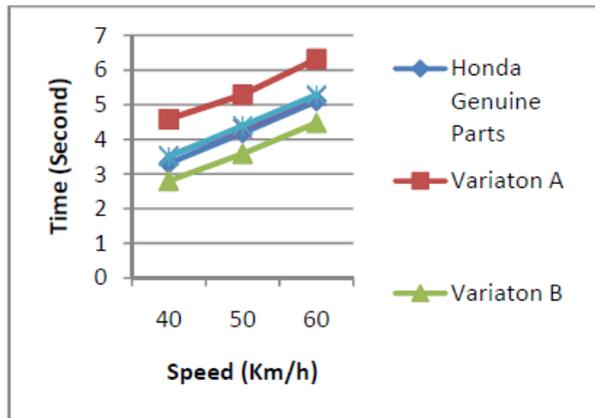
penelitian ini kampas rem dibuat dengan beban tekan sebesar 3 ton selama 30 menit, dan melalui proses sintering dengan temperature 120°C selama 30 menit. Adapun hasil pengujian laju keausan dan pengujian jarak dan waktu pengereman:



Gambar 2.2 Grafik Pengujian Laju Keausan



Gambar 2.3 Grafik Pengujian Jarak Pengereman



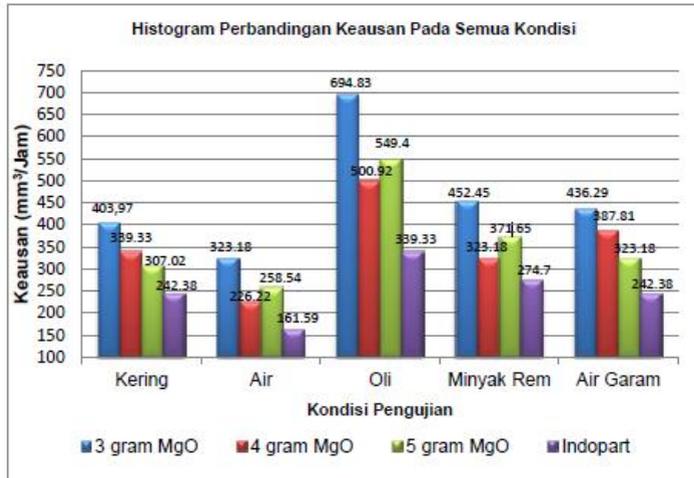
Gambar 2.4 Pengujian Waktu Pengereman

Berdasarkan penelitian, fly ash coal, magnesium oksida dan resin epoxy sebagai bahan alternative pengganti kampas rem. Komposit varasi 2 dengan komposisi 10% magnesium oksida, 40% resin epoxy, dan 50% fly ash coal memiliki nilai laju keausan, jarak pengereman, dan waktu pengereman yang baik dibandingkan dengan variasi komposit lainnya dan lebih baik dari kampas rem referensi. Komposit ini memiliki nilai laju keausan $0,000135 \text{ mm}^2/\text{kg}$. Nilai jarak pengereman 13,0 meter pada kecepatan 40 km/jam, 18,9 meter pada kecepatan 50 km/jam, dan 22,1 meter pada kecepatan 60 km/jam. Dan waktu pengereman yang dihasilkan komposit ini yaitu 2,80 detik pada kecepatan 40 km/jam, 3,58 detik pada kecepatan 50 km/jam, dan 4,47 detik pada kecepatan 60 km/jam.

2.1.4 Pengaruh Variasi Magnesium Oxide Dengan Matrik Phenolic Resin dan Filler Serbuk Getah Kulit Mete (CNSL) Terhadap Tingkat Keausan, Kekerasan, dan Koefisien Gesek Pada Pembuatan Break Pad

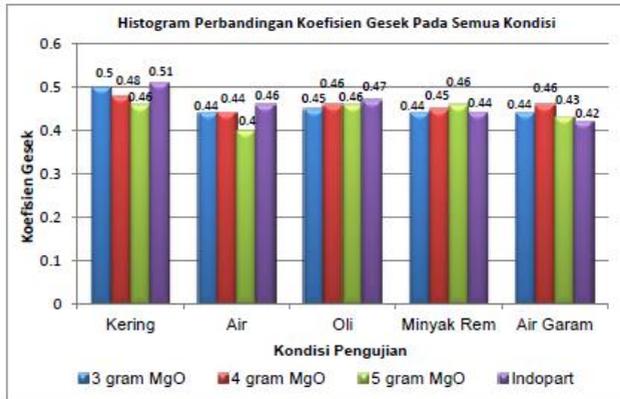
Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dani Ardiyanto (2017) yang membahas tentang keausan,

kekerasan, dan koefisien gesek dalam tugas akhirnya yang berjudul “Pengaruh Variasi Magnesium Oxide dengan Matrix Phenolic Resin dan Filler Serbuk Getah Kulit Mete (CNSL) terhadap Tingkat Keausan, Kekerasan, dan Koefisien Gesek pada Pembuatan Brake Pad”. Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, laju keausan, dan koefisien gesek dari suatu material dengan bahan dasar getah kulit mete dan matrix phenolic resin yang dipengaruhi oleh variasi magnesium oksida. Untuk variasi yang digunakan peneliti untuk penelitiannya yaitu variasi berat sebesar 3 gram, 4 gram, dan 5 gram magnesium oksida dan variasi kondisi yaitu pada kondisi kering, air, oli, minyak rem, dan air garam. Pada penelitiannya, peneliti melakukan pengujian secara eksperimental untuk menguji laju keausan, kekerasan, dan koefisien gesek dari material tersebut. Untuk pengeringan dari spesimen, peneliti mengeringkan specimen pada oven dengan menggunakan suhu 160°C dan menggunakan tekanan sebesar 16 Ton dengan suhu 120°C . Pada penelitian yang dilakukan oleh Dani Ardiyanto (2017) untuk menguji kekerasan menggunakan alat uji Durometer Shore D dan untuk menguji laju keausan peneliti menggunakan alat uji gesek. Dimana specimen diuji gesek menggunakan beban sebesar 20 kg, dan waktu untuk pengausan dilakukan selama 3 jam. Untuk jumlah spesimen setiap variasi kondisi adalah 4 buah. Hasil dari penelitian laju keausan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Hasil Penelitian Laju Keausan Kampas Rem
Kesimpulan dari grafik laju keausan kampas rem ditunjukkan bahwa kampas rem variasi *magnesium oxide* (*MgO*) pada kondisi pengujian kering dan air garam nilai keausan rata-rata yang mendekati kampas rem indopart adalah kampas rem variasi 5 gram serbuk *MgO* sedangkan pada kondisi pengujian air, oli dan minyak rem nilai keausan rata-rata yang mendekati kampas rem indopart adalah kampas rem variasi 4 gram serbuk *MgO*. Tetapi pada semua kondisi pengujian kampas rem variasi *magnesium oxide* masih kalah dibandingkan kampas rem indopart.

Hasil dari penelitian koefisien gesek sebagai berikut:



Gambar 2.6 Hasil Penelitian Koefisien Gesek Kampas Rem

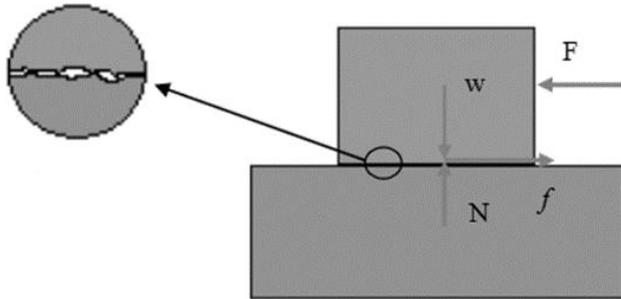
Dari hasil penelitian koefisien gesek, kampas rem indopart lebih baik daripada kampas rem variasi MgO pada pengujian kondisi kering, air dan oli. Pada kondisi pengujian minyak rem, nilai koefisien gesek kampas rem variasi 4 gram dan 5 gram lebih baik daripada kampas rem indopart. Sedangkan pada kondisi pengujian air garam, nilai koefisien gesek kampas rem variasi MgO lebih besar daripada kampas rem indopart.

2.2 Teori Gesekan

Ketika dua benda saling bersinggungan satu dengan yang lainnya, apabila diamati pergerakannya seperti dilawan oleh suatu gaya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7

Fenomena ini dapat disebut fenomena gesekan (*friction*), sedangkan gaya yang bekerja di dalamnya disebut gaya gesek (*friction force*). Gesekan atau *friction* adalah bentuk dari hilangnya energi yang terjadi diantara dua permukaan yang saling kontak dan bergerak relatif, dan sering dinyatakan sebagai gaya yang melawan. Gesekan diuraikan dengan

koefisien gesek (μ). Koefisien gesek adalah suatu fungsi area kontak antara dua permukaan, sifat dan kekuatan yang saling mempengaruhi.



Gambar 2.7 Mekanisme Gesekan

Orang pertama yang melakukan studi kuantitatif pada masalah gesekan adalah Leonardo Da Vinci (1452-1519). Eksperimen yang dilakukan adalah meletakkan balok pada bidang datar dan memberikan beban yang digantungkan untuk membuat balok bergerak sliding. Dengan menggunakan metode tersebut, Da Vinci hanya mampu mengukur gesekan statis dan kemungkinan besar dia tidak menyadari perbedaan antara gesekan statis dan kinetik. Selanjutnya Da Vinci menemukan dua hukum gesekan, yaitu:

1. Gesekan yang ditimbulkan oleh beban yang sama akan memiliki nilai resistansi yang sama pada awal balok bergerak walaupun balok memiliki panjang dan lebar yang berbeda.
2. Gaya gesekan akan menjadi dua kali lipat apabila massa juga dibuat dua kali lipat.

Da Vinci mendefinisikan koefisien gesekan sebagai rasio dari gaya gesek (*friction force*) dibagi dengan gaya normal, yang dirumuskan:

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

Dimana F adalah gaya gesek (*friction force*), μ adalah koefisien gesekan, dan N adalah gaya normal. Hukum inilah yang menjadi dasar hukum gesekan hingga sekarang.

2.3 Keausan

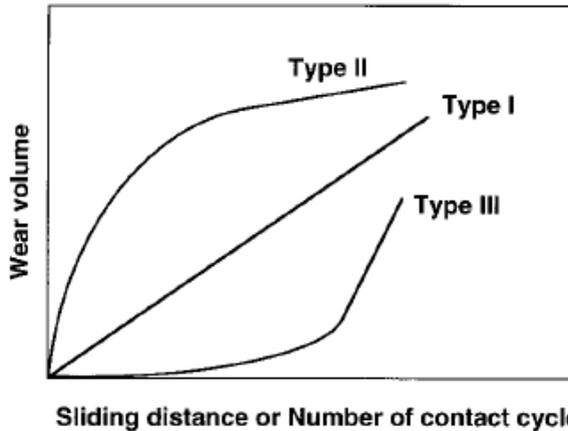
2.3.1 Pengertian Keausan

Keausan adalah kehilangan komposit secara progresif atau pemindahan sejumlah komposit dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relative antara permukaan tersebut dengan permukaan lainnya. Keausan yang terjadi pada suatu komposit disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi bahan, lingkungan, kondisi operasi dan geometri permukaan benda yang terjadi keausan. Suatu komponen struktur dan mesin agar dapat berfungsi dengan baik sangat bergantung pada sifat-sifat yang dimiliki komposit. Komposit yang dapat digunakan saat ini sangat beraneka ragam seperti logam, polimer, keramik, gelas, komposit, dan lain sebagainya. Sifat yang dimiliki oleh komposit terkadang membatasi kinerjanya, namun jarang sekali kinerja suatu komposit hanya ditentukan oleh satu sifat, akan tetapi lebih kepada kombinasi dari beberapa sifat. Salah satu contohnya adalah ketahanan aus (*wear resistance*) yang merupakan fungsi dari beberapa sifat komposit (kekerasan dan kekuatan), friksi serta pelumasan.

Akibat negatif yang ditimbulkan oleh mekanisme keausan yang beragam adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin akan berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel yang selanjutnya memberikan informasi penting tentang keausan.

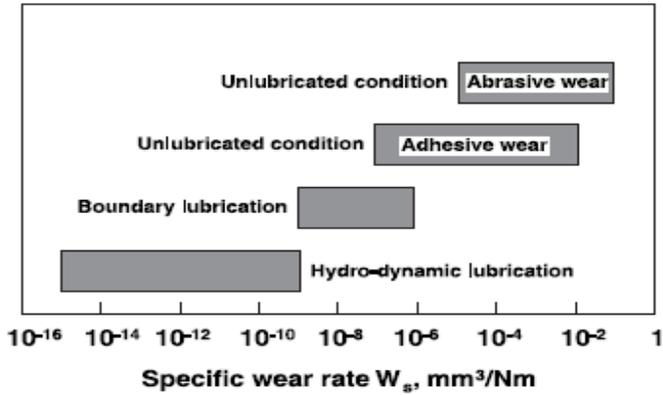
Tiga macam tipe keausan dapat dilihat pada gambar 2.4. Kurva volume keausan sebagai fungsi jarak *sliding* atau banyak kontak permukaan dalam suatu siklus. Tipe I menunjukkan nilai keausan yang konstan dari keseluruhan proses, tipe II menunjukkan suatu peralihan yang mulanya laju keausannya tinggi

lalu keausannya konstan pada laju yang rendah. Tipe keausan ini sering diamati pada jenis komposit logam. Tipe III menunjukkan laju keausan rendah menuju laju keausan yang begitu tinggi seperti *fatigue fracture* yang biasanya terjadi pada komposit jenis keramik.



Gambar 2.8 Tiga macam tipe kurva keausan (Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980)

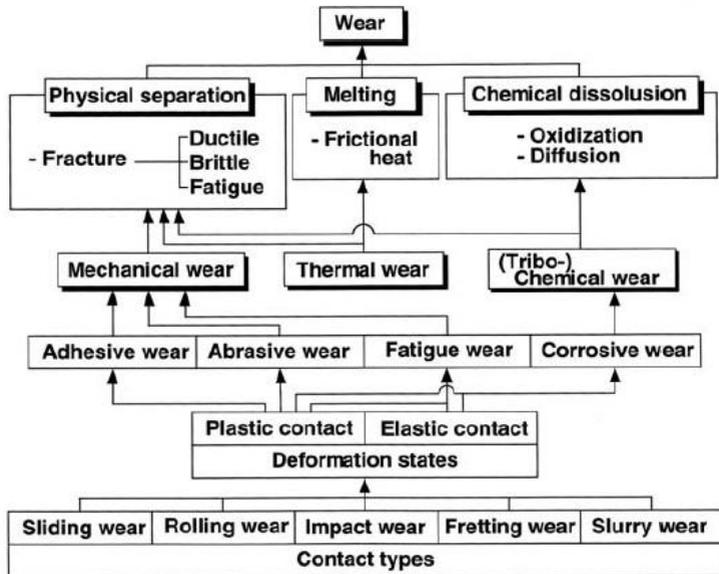
Pada umumnya keausan dievaluasi dengan jumlah kehilangan dan keadaan permukaan yang aus. Derajat keausan dinyatakan dengan *wear rate*, *specific wear rate*, atau *wear coefficient*. *Wear rate* didefinisikan sebagai volume keausan persatuan jarak dan persatuan beban. *Wear coefficient* adalah hasil dari *specific wear rate* dengan kekerasan dari komposit yang aus. Pada gambar 2.10 ditunjukkan *specific wear rate* berbagai komposit logam dengan berbagai kondisi pelumasan yang menunjukkan distribusi antara range 10^{-15} hingga 10^{-1} mm³/Nm.



Gambar 2.9 Specific wear rate pada komposit logam dengan berbagai kondisi pelumasan (*Data from Archard, 1953; Bhansali, 1980; Hirst, 1957; Hokkirigawa, 1997; Holm, 1946; Lancaster, 1987; Rabinowicz, 1980*)

2.3.2 Mekanisme Keausan

Keausan pada suatu komposit dapat terjadi melalui empat macam mekanisme yaitu keausan adesif, keausan abrasif, keausan lelah, dan keausan korosif seperti yang digambarkan pada gambar 2.6 berikut ini.



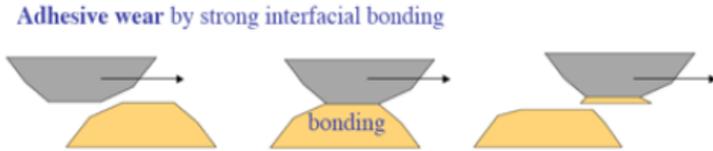
Gambar 2.10 Mekanisme keausan yang timbul karena efek kontak permukaan (Prayogi, 2010)

1. Keausan *Adhesif* (*Adhesive Wear*)

Keausan *adhesive* adalah salah satu jenis keausan yang disebabkan oleh terikat atau melekat atau berpindah partikel dari suatu permukaan komposit yang lemah ke komposit yang lebih keras serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan / pengoyakan salah satu komposit. Proses bermula ketika benda dengan kekerasan yang lebih tinggi menyentuh permukaan yang lemah kemudian terjadi pengikatan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pengikatan ini terjadi secara spontan dan dapat terjadi dalam suhu yang rendah atau moderat.

Keausan adesif terjadi karena adanya beberapa faktor antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada komposit, yaitu ikatan ion, ikatan

kovalen, ikatan logam, ataupun ikatan van der Waals dari komposit yang bergesekan.



Gambar 2.11 Mekanisme keausan adesif (H. Czichos, 1978)

2. Keausan Abrasif (Abrasive Wear)

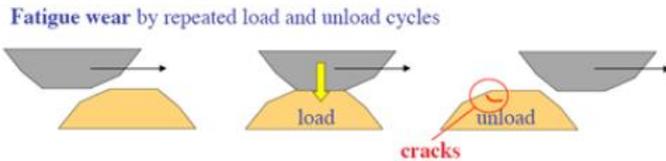
Keausan jenis ini terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari komposit tertentu meluncur pada permukaan komposit lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan komposit yang lebih lunak seperti diperlihatkan pada Gambar 2.8. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut.



Gambar 2.12 Mekanisme keausan abrasif (H. Czichos, 1978)

3. Keausan Lelah (Fatigue Wear)

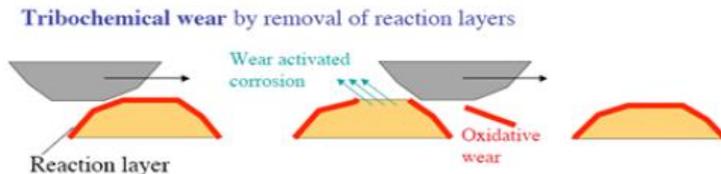
Keausan lelah/fatig pada permukaan pada hakikatnya bisa terjadi baik secara *abrasif* atau *adesif*. Tetapi keausan jenis ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan komposit. Hal ini akan berakibat pada meningkatnya tegangan gesek.



Gambar 2.13 Mekanisme keausan Lelah (H. Czichos, 1978)

4. Keausan Korosif (Corrosive Wear)

Keausan kimiawi merupakan kombinasi antara proses mekanis dan proses termal yang terjadi pada permukaan benda serta lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, proses oksidasi yang sering terjadi pada sistem kontak luncur (*sliding contact*) antar logam. Proses ini lama kelamaan akan menyebabkan perambatan retak dan juga terjadi abrasi. Peningkatan suhu dan perubahan sifat mekanis pada *asperiti* adalah akibat dari keausan kimiawi.



Gambar 2.14 Mekanisme keausan korosif (H. Czichos, 1978)

2.3.3 Perhitungan Keausan

Parameter tribologi yang dapat diperoleh dari eksperimen dengan menggunakan alat uji keausan komposit (tribometer) berupa volume aus yang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan Archard sebagai berikut:

$$\frac{V}{L} = \frac{kW}{H} \quad 2.2$$

Dimana :

L : Panjang lintasan (meter)

V : Volume komposit yang terkikis (mm³)

H : Nilai kekerasan komposit

W : Berat pembebanan (N)
K : *wear rate* (mm^3/m)

2.4 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 epoksida di kedua ujung. Pengeras terdiri dari monomer polyamine, misalnya Triethylenetetramine (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina, selanjutnya akan bereaksi dengan kelompok epoksida untuk membentuk ikatan kovalen. Setiap kelompok NH dapat bereaksi dengan kelompok epoksida, sehingga polimer yang dihasilkan sangat silang, dan dengan demikian akan menjadi kaku dan kuat. 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 2.4 Komposit Properties Epoxy Resin (*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	
Hardness, Rockwell M	85-121
Hardness, Shore D	6,0-90
Tensile Strength	7,58-96,5 MPa
Elongation at Break	0,70-140 %
Thermal Properties	
Maximum Service Temperature, Air	300°C

2.5 Serbuk Abu Sekam Padi

Salah satu unsur utama penyusun bahan komposit adalah penguat (reinforced) yaitu serbuk, dimana dalam penelitian ini menggunakan serbuk abu sekam padi. Sekam padi merupakan produk samping dari industri penggilingan padi. Dari hasil penelitian sebelumnya telah dilaporkan bahwa sekitar 20 % dari berat padi adalah sekam padi, dan bervariasi dari 13 sampai 29 % dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar (Putro dan Prasetyoko, 2007). Nilai paling umum kandungan silika (SiO₂) dalam abu sekam padi

adalah 94 – 96 % dan apabila nilainya mendekati atau dibawah 90 % kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi oleh zat lain yang kandungan silikanya rendah (Houston, 1972; Prasad dan Pandey, 2012). Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Berdasarkan Tabel 2.2 ditunjukkan bahwa kandungan silika SiO_2 yaitu sebesar 96.20%. Abu sekam padi juga memiliki densitas sebesar 2.2 g/cm^3 .

Tabel 2.5 Komposit Properties Abu Sekam Padi (Fuad *et al.*, 1995)

Properties	Abu Sekam Padi
Chemical Composition (%)	
CaO	0.36
MgO	0.16
Fe_2O_3	0.041
K_2O	0.69
Na_2O	0.034
MgO	0.025
P_2O_5	0.57
SiO_2	96.20
Loss on Ignitin (LOI)	1.62
Physical Properties	
Particle size (μm)	6.6
Surface area (m^2g^{-1})	1.4
Density (g/cm^3)	2.2

Silika (SiO_2) dalam abu sekam padi memiliki kekerasan, sifat tahan aus, ketahanan termal dan kekakuan yang tinggi (Adam *et al.*, 2006., Arayapraneet *et al.*, 2005). Penggunaan silika untuk kampas rem cakram kendaraan bermotor dapat memiliki kekerasan hampir sama dengan intan dan diharapkan dapat menggantikan asbes.

2.6 Magnesium Oksida (MgO)

Magnesium oksida, atau magnesia, adalah mineral padat higroskopis putih yang terjadi secara alami sebagai periklas (*periclase*). Komposit ini memiliki konduktivitas stabil pada suhu tinggi, tahan korosi pada suhu tinggi serta tersedia secara melimpah di alam (Diana dan Pratapa, 2015). MgO memiliki dua sifat yang berguna yaitu sebagai konduktivitas termal yang tinggi serta konduktivitas listrik yang rendah. Selain itu magnesium oksida juga memiliki densitas 3,580 g/cm³.

Tabel 2.6 Komposit Properties Magnesium Oksida (www.matweb.com)

Physical Properties	
Density	3,580 g/cm ³
Mechanical Properties	
Hardness.Mohs	5,5
Thermal Properties	
Melting Point	2826 °C
Boiling Point	3600 °C

Adapun magnesium oksida memiliki sifat tahan terhadap panas dimana titik lebur komposit tersebut adalah 3600°C. Magnesium oksida juga memiliki kelebihan yaitu sifat tahan aus dan kekerasan yang tinggi, selain itu juga dapat mempengaruhi nilai koefisien gesek jika ditambahkan dengan komposisi yang optimal (Ardiyanto, 2017).

2.7 Kampas Rem

2.7.1 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.

2.7.2 Karakter Kampas Rem

Jenis kampas rem yang paling umum digunakan di semua kelas kendaraan modern adalah 'komposit resin-bonded' (Kennedy et al., (2019)). Selain memiliki beberapa jenis kampas rem menurut klasifikasi internasional, kampas rem sepeda motor juga memiliki karakter yang berbeda-beda menurut material penyusun kampas rem tersebut. Terdapat dua jenis kampas rem, yaitu:

1. Non Asbestos

Kampas rem non asbestos. Biasanya terbuat dari serat *Kevlar/aramid, rockwool, fiberglass, steel fiber, carbon, potasiumtitanate, graphite, cellulose, vemiculate, BaSO4, resin, dan Nitrile butadine rubber*. Material jenis ini yang masih digunakan oleh semua product original baik dari Jepang maupun Eropa. Kampas rem jenis ini memiliki kelebihan yaitu tidak menimbulkan licin dan cenderung stabil (tidak blong/fadding) pada saat kampas dan rotor mengalami kontak dan dapat bertahan pada suhu sampai 3600C. Jenis non asbestos menggunakan lebih dari 12 jenis material sehingga umur pakai kampas rem jenis ini relatif lama dan gesekan yang timbul pada saat terjadi kontak tidak berpengaruh pada kampas dan rotor meskipun pada temperature tinggi.

2. Asbestos

Kampas rem dari bahan asbestos hanya memiliki 1 jenis fiber yaitu asbes yang merupakan komponen yang menimbulkan karsinogenik. Akibat dari perbedaan ini makanya kampas rem yang mengandung asbestos memiliki kelemahan dalam kondisi basah, hal ini berarti bahwa rem asbestos akan blong (fading) pada temperature 2500C karena asbestos hanya terdiri dari 1 jenis fiber, ketika kondisi basah bahan tersebut akan mengalami efek licin seperti menggesekkan jari di atas kaca basah (Licin atau tidak pakem). Bahan baku kampas rem asbestos: asbestos 40 s/d 60 %, resin 12 s/d 15%, BaSO₄ 14 s/d 15%, sisanya karet ban bekas, tembaga sisa kerajinan, frict dust dan metal.

Dari penjelasan karakter dari setiap jenis kampas rem yaitu kampas rem non asbestos dan kampas rem asbestos. Peneliti menggunakan kampas rem pembandingan yaitu kampas rem AHM yang merupakan jenis kampas rem non-asbestos (Pradopo, 2015).

2.8 Alat Uji Keausan Komposit

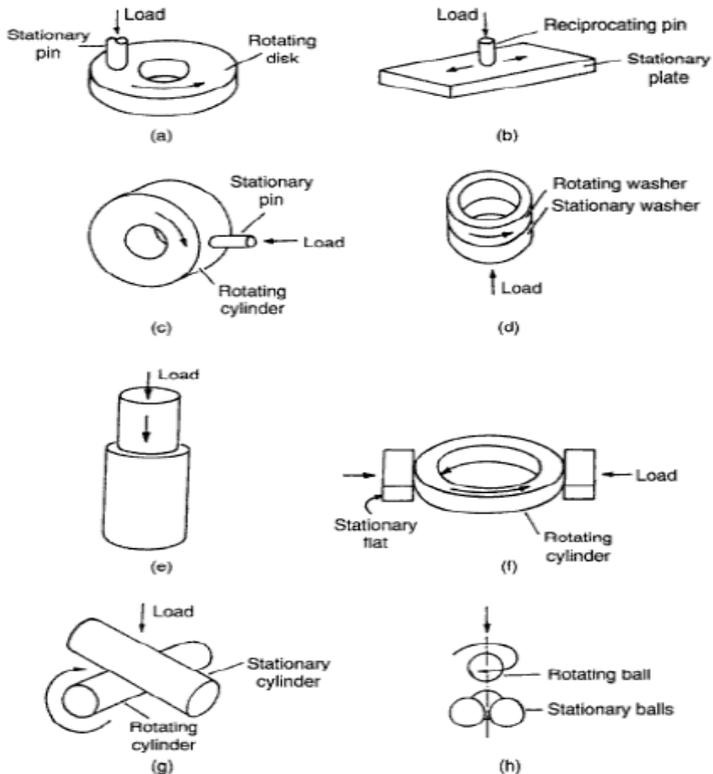
Alat uji keausan atau yang sering dikenal dengan tribometer merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur gesekan dan keausan antara dua permukaan komposit. Ada beberapa desain pada tribometer, tapi yang paling sering digunakan adalah permukaan datar atau bulat yang bergerak berulang-ulang diseluruh permukaan komposit lain seperti Gambar 2.14 Sebuah komposit ditempatkan tepat pada bagian yang bergerak selama pengujian. Pengukuran terakhir menunjukkan keausan pada komposit.

Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai macam-macam alat uji keausan seperti yang disebutkan pada gambar 2.14.

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 (2.14a). Pengujian dengan alat ini paling

sering diaplikasikan untuk pengembangan materi pada aplikasi tribologi.



Gambar 2. 15 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)*

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 (2.14b). 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 (2.14c). 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 (2.14d). Ring dapat berupa silinder pejal atau silinder berlubang di bagian tengah. Pengujian ini biasanya dilakukan untuk menguji komposit 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 (2.14e).

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 (2.14f).

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 (2.14g).

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 (2.14h).

2.9 Alat Uji *Coefficient of Friction*

2.9.1 Sensor Gerak (PASCO PS-2103A)

Sensor gerak adalah alat yang dipergunakan untuk mengukur dan merekam kecepatan dan percepatan suatu objek yang bergerak dari satu titik ke titik lainnya. Pengukuran dengan sensor gerak memanfaatkan gelombang ultrasonik. Gold transducer terletak pada bagian depan sensor gerak yang berfungsi sebagai pemancar gelombang ultrasonik hingga mencapai objek target yang diinginkan dan kemudian dipantulkan kembali ke sensor. Gelombang ultrasonik bergerak sangat cepat di udara sama seperti 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 mentukan 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 menggagu pengukuran selain itu juga antara sensor dan benda yang diuji harus sejajar.



Gambar 2.16 Sensor Gerak (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 2.17 Spesifikasi Sensor Gerak (PASCO PS-2103A)

Perhatikan jarak minimum dan maksimum yang dapat dijangkau oleh sensor pada saat melakukan pengukuran. Pada sensor gerak (PASCO PS-2103A) memiliki jangkauan minimum 15 cm dan jangkauan maksimum 8 m. Saat melakukan pengukuran, transduser yang terletak di bagian depan sensor gerak harus diarahkan langsung di objek target.

2.9.2 Sensor Gaya (PS-2189)

Sebuah sensor atau alat ukur yang digunakan untuk mengukur gaya atau tekanan suatu benda merupakan sensor gaya. Strain gauge merupakan sensor gaya yang banyak digunakan. Strain gauge 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 2.18 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 2.19 Spesifikasi Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189)

Komponen elektronika yang digunakan untuk mengukur tekanan dan deformasi atau strain adalah *Strain Gauge*. 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 (komposit ferrit), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut.

Dengan menempelkan jenis komposit tersebut pada suatu benda uji menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka komposit tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya.

2.9.3 *Universal Interface (UI-5001)*

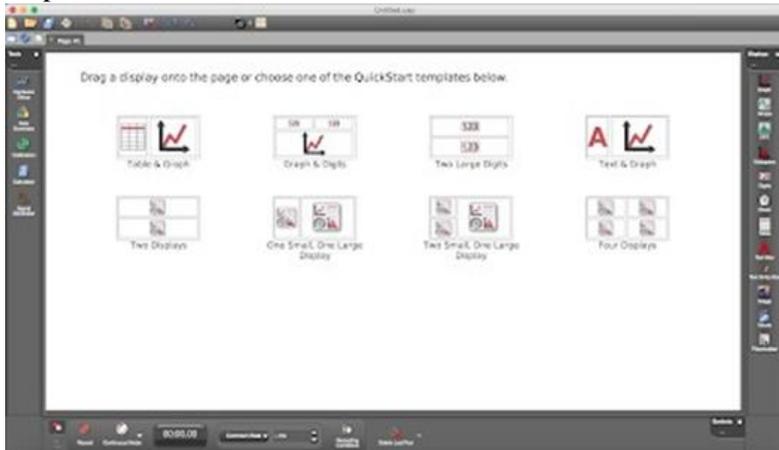
Alat yang digunakan untuk mengintegrasikan instrumentasi elektronik seperti sensor-sensor pengukuran dengan perangkat lunak untuk memudahkan pembacaan dan analisa data adalah *Universal interface*. Pada gambar 2.19 contoh penggunaan universal interface yang terhubung dengan force sensor dan motion sensor dalam percobaan pengukuran sliding friction.

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 550 Interface • Compatible with all ScienceWorkshop digital sensors • Sensor Connect Detection • 0-5 V TTL • Bi-directional
2 PASPORT Inputs	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible with all of PASCO's complete line of more than 70 PASPORT sensors • Sample rates depend on sensors
Signal Generator	<ul style="list-style-type: none"> • Waveforms: sine, triangle, square wave, positive and negative ramps, DC • Frequency range: 0.001 to 100,000 Hz with 0.001 Hz resolution • Amplitude Range: ± 8 V • Resolution: 3.9 mV, 12-bit DAC • Max Output Current: 400 mA at 8 V, over-current detection • Selectable Voltage Limit • Selectable DC Offset • Frequency Sweep Function • Measure output current, voltage

Gambar 2.20 Universal Interface (UI-5001)
Gambar 2.21 Spesifikasi Universal Interface (UI-5001)

2.9.4 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 disajikan dalam bentuk angka, tabel ataupun grafik yang akan berguna dalam suatu eksperimen.



Gambar 2.22 PASCO Capstone Software

2.10 Kampas Rem

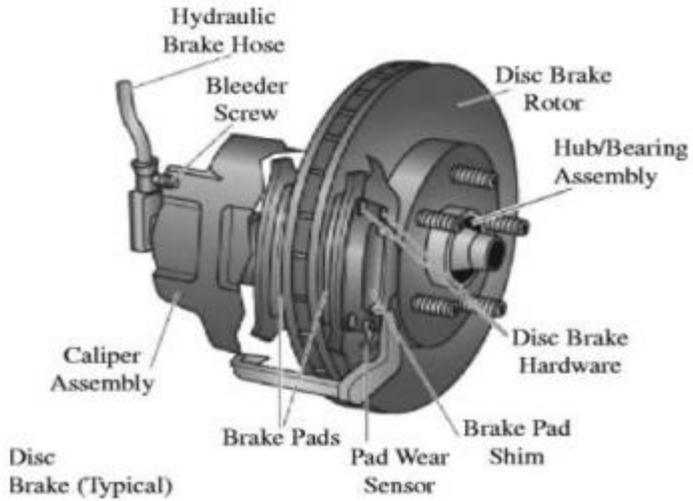
Kampas rem merupakan salah satu komponen kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Prinsip kerja sistem rem adalah mengubah tenaga kinetik menjadi panas dengan cara menggesekkan dua buah benda yang berbeda berputar sehingga putarannya akan melambat. Komponen rem yang bergesekan harus tahan terhadap gesekan (tidak mudah aus), tahan panas dan tidak mudah berubah bentuk pada suhu tinggi. Terdapat dua tipe sistem rem yang digunakan pada sepeda motor, yaitu: rem tromol (*drum brake*) dan rem cakram (*disc brake*). Cara pengoperasian sistem remnya juga terbagi dua, yaitu: secara mekanik dan secara hidrolik dengan

menggunakan fluida atau cairan. Cara pengoperasian sistem rem tipe tromol umumnya secara mekanik, sedangkan tipe cakram secara hidrolik.

Rem cakram dioperasikan secara mekanis dengan memakai kabel baja secara hidrolik dengan memakai tekanan cairan. Pada rem cakram, putaran roda dikurangi atau dihentikan dengan cara penjepitan cakram (*disc*) oleh dua bilah sepatu rem (*brake pads*). Rem cakram mempunyai sebuah plat disc (plat piringan) yang terbuat dari stainless steel yang akan berputar bersamaan dengan roda. Pada saat rem digunakan plat disc tercekam dengan gaya bantalan piston yang bekerja secara hidrolik. Menurut mekanisme penggerakannya, rem cakram dibedakan menjadi dua tipe, yaitu rem cakram mekanis dan rem cakram hidrolis. Pada umumnya yang digunakan adalah rem cakram hidrolis.

Pada rem cakram tipe hidrolis sebagai pemindah gerak handle menjadi gerak pad, maka digunakanlah minyak rem. Ketika handle rem ditarik, piston di dalam silinder master akan terdorong dan menekan minyak rem keluar silinder. Melalui selang rem tekanan ini diteruskan oleh minyak rem untuk mendorong piston yang berada di dalam silinder caliper. Akibatnya piston pada caliper ini mendorong pad untuk mencengkram cakram, sehingga terjadilah aksi pengereman. Saat tangki rem ditekan, piston mengatasi kembalinya spring dan bergerak lebih jauh. Tutup piston pada ujung piston menutup port kembali dan piston bergerak lebih jauh. Tekanan cairan dalam master silinder meningkat dan cairan akan memaksa caliper lewat hose dari rem (brake hose). Saat tangan

pada handle rem dilepaskan, piston tertekan kembali ke reservoir lewat port kembali (Dwiyati dkk, 2017)

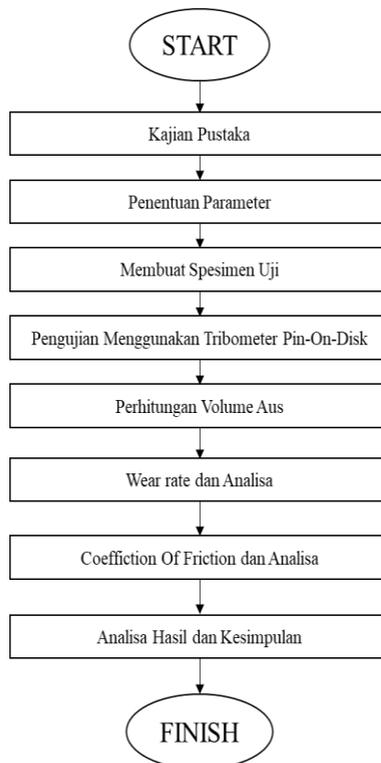


Gambar 2.23 Kampas Rem (Dwiyati dkk, 2017)

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan secara eksperimental atau analisis, yaitu pengambilan data dilakukan secara langsung dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai wear rate, coefficient of friction, hardness, dan hasil struktur permukaan spesimen uji. Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian pengujian laju keausan (*wear rate*) dan *coefficient of friction* pada spesimen kampas rem jenis *non- asbestos* yang terbuat dari resin epoksi dan abu sekam padi yang akan ditambahkan dengan magnesium oksida (MgO).

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 keausan pada spesimen kampas rem *non- asbestos* yang terbuat dari resin epoksi dan abu sekam padi yang akan ditambahkan dengan magnesium oksida (MgO). Untuk menguji laju keausan akan menggunakan alat tribometer menggunakan metode *pin-on-disk*.

3.2.2 Penentuan Parameter

Langkah selanjutnya setelah kajian pustaka adalah penentuan parameter pengujian keausan. Dimana dalam penentuan parameter pengujian keausan, untuk parameter alat yang digunakan adalah kecepatan putar *disk* yaitu 90 rpm. Panjang lintasan adalah 1000 m dan beban yang diberikan pada spesimen adalah 2 kg. Terdapat beberapa variasi spesimen yang dibuat berdasarkan fraksi volume, masing-masing specimen sebesar 10ml. Spesimen I adalah 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi, spesimen II adalah 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi, spesimen III adalah 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi, spesimen IV adalah 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi. Lamanya waktu pengujian dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$t = \frac{s}{\pi \cdot d \cdot Rpm} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

t : waktu pengujian (menit)

s : panjang lintasan pin (meter)

d : diameter lintasan pin (meter)

didapatkan waktu pengujian selama :

$$t = \frac{1000}{\pi \cdot 0,08 \cdot 90}$$

$$t = 44,2 \text{ menit}$$

Kecepatan linear rata-rata didapatkan dengan persamaan berikut.

$$v = \frac{s}{t} \dots \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :

v : kecepatan rata-rata (m/s)

s : panjang lintasan pin (meter)

t : waktu pengujian (second)

sehingga kecepatan rata-rata didapatkan sebesar :

$$v = \frac{1000}{44,2 \cdot 60s}$$

$$v = 0,377 \text{ m/s}$$

3.2.3 Membuat Spesimen Uji

Spesimen uji yang digunakan dalam pengujian keausan ini adalah kampas rem jenis *non- asbestos* yang terbuat dari resin epoksi dan abu sekam padi yang akan ditambahkan dengan magnesium oksida (MgO). Terdapat beberapa variasi spesimen yang digunakan. Spesimen I adalah 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi, spesimen II adalah 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi, spesimen III adalah 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan

40% resin epoksi, spesimen IV adalah 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi. Langkah pertama sebelum pembuatan spesimen adalah mengiapkan alat pembuat spesimen. Berikut daftar alat yang digunakan untuk membuat spesimen:

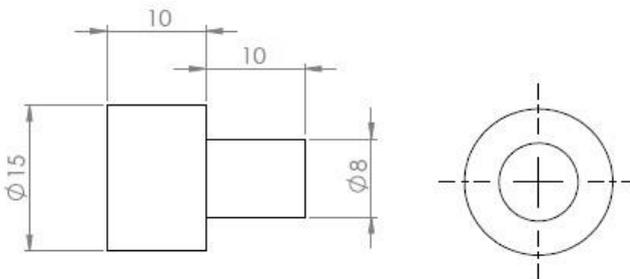
1. Ayakan tepung (40 mesh)
2. Gelas ukur 50ml
3. Cetakan dengan ukuran tinggi 20 mm dan diameter 15 mm (untuk spesimen I ,II ,III ,IV)
4. Alat *press* (*clamp* kayu)
5. Timbangan digital
6. Solatip hitam

Adapun proses pembuatan spesimen uji yaitu, sebagai berikut:

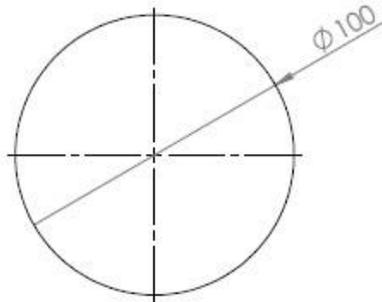
1. Ayak serbuk abu sekam padi dan magnesium oksida menggunakan ayakan tepung (40 mesh) agar ukuran dari butiran abu sekam padi dan magnesium oksida terjaga.
2. Abu sekam padi, magnesium oksida (MgO) dan resin epoxy diukur menggunakan gelas ukur sesuai dengan komposisi setiap spesimen, setelah itu dicampur didalam satu wadah dan pengadukan dilakukan secara perlahan selama 6 menit. Hal tersebut bertujuan agar tidak timbulnya void ketika pengadukan dan agar tercampur secara merata (Clareyna dan Mawarani, 2013),
3. Sebelum dilakukannya penekanan pada cetakan, dilakukan pembuatan parameter yaitu dengan memastikan bahwa adonan yang masuk kedalam cetakan sebanyak 10ml diukur dengan gelas ukur untuk memastikan setiap adonan yang ditaruh didalam cetakan semua spesimen sama.
4. Adonan yang telah tercampur merata dituang didalam cetakan dimana untuk bagian atas dan bawah cetakan

- diberi tutup dan di solatip lalu di tekan menggunakan alat *press* dan diberi tekanan dengan 3x putaran.
5. Setelah spesimen uji dicetak, kemudian didiamkan selama 24 jam sesuai dengan waktu kering resin epoxy yang dilakukan pada suhu kamar.
 6. Apabila spesimen sudah mengeras, spesimen uji dikeluarkan dari cetakan.

Dalam pengujian keausan ini, spesimen sebagai pin dan untuk komposit *disk* yang digunakan adalah baja. Untuk disk rem cakram untuk sepeda motor yang ada dipasaran biasanya menggunakan baja karena sifat baja sendiri adalah tahan terhadap temperatur tinggi akan tetapi untuk pengujian *prototype* kampas rem ini dirasa *disk* yang digunakan adalah besi yang sudah dikeraskan sudah cukup karena besi yang sudah dikeraskan tahan terhadap panas dan gesekan. Dibawah ini adalah desain spesimen uji sebagai berikut



Gambar 3. 2 Desain Pin



Gambar 3. 3 Desain Disk

3.2.4 Pengujian dengan Tribometer *Pin-on-disk*

Pada tahap pengujian menggunakan tribometer dengan metode *pin-on-disk*, spesimen yang telah dibuat akan diuji dengan menggunakan tribometer dengan metode *pin-on-disk* dengan kecepatan 90 rpm, beban 2 kg, serta panjang lintasan 1000 m sehingga akan didapatkan laju keausan dari spesimen tersebut.



Gambar 3.4 Tribometer Pin on Disk

3.2.5 Perhitungan Volume Aus

Setelah tahap pengujian keausan dengan metode *pin-on-disk*, langkah selanjutnya adalah perhitungan volume aus. Di mana pada tahap ini, dilakukan penimbangan massa awal spesimen sebelum diuji dan massa akhir spesimen setelah diuji. Selisih dari massa awal dan massa akhir spesimen tersebut merupakan massa spesimen yang terkikis. Untuk menghitung volume aus pada spesimen digunakan rumus massa jenis (ρ) dengan diketahui massa spesimen yang terkikis digunakan persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$V = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan :

V : volume komposit yang terkikis (mm)

m : massa komposit yang terkikis (gram)

ρ : massa jenis komposit (gram/cm³)

3.2.6 Perhitungan *Specific Wear Rate*

Setelah tahap pengujian keausan dengan metode *pin-on-disk* dan perhitungan volume aus, langkah selanjutnya adalah menghitung besar *specific wear rate*. Di mana pada tahap ini, dilakukan perhitungan besar *specific wear rate* dengan beberapa persamaan yang kemudian akan dilakukan analisa tentang *wear rate* tersebut. Untuk variabel yang harus diketahui adalah volume komposit yang terkikis (mm³), pembebanan (newton) dan panjang lintasan (meter). Persamaan yang digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut.

- Perhitungan *Specific Wear Rate*

$$\Delta V = k \cdot \frac{F}{H} \dots \dots \dots (3.4)$$

$$\Delta V = \left(\frac{k}{H}\right) F \cdot L \dots \dots \dots (3.5)$$

$$\Delta V = k' \cdot F \cdot L \dots \dots \dots (3.6)$$

$$k' = \frac{\Delta V}{F \cdot L} \dots \dots \dots (3.7)$$

Keterangan :

V : Volume loss (cm³)

L : Panjang lintasan (m)

H : Kekerasan komposit

F : Pembebanan (N)

k : Wear coefficient (cm³/m³)

k' : Specific wear rate (cm³/Nm)

3.2.7 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 abu sekam padi dan 40% resin epoksi, spesimen II adalah 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi, spesimen III adalah 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi, spesimen IV adalah 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi. 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

3.2.7 Analisa Hasil dan Kesimpulan

Dari pengujian yang telah dilakukan di mana alat uji yang digunakan adalah tribometer dengan metode pengujian *pin-on-disk*, akan diperoleh beberapa data yang akan dianalisa laju keausan (*wear rate*) dan kondisi permukaan, dan kemudian akan dibandingkan antar spesimen yang telah diuji menggunakan variasi yang berbeda untuk mendapatkan suatu kesimpulan dari keseluruhan penelitian.

3.3 Langkah Kerja Pengujian

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

3.3.1 Pengujian Laju Keausan

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

1. Penimbangan massa awal spesimen, penentuan putaran, panjang lintasan, dan pembebanan.

2. Persiapan alat uji tribometer *pin-on-disk* dan kalibrasi: *speed control* dan *load*.
3. Pengujian spesimen dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk*, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap spesimen uji.
4. Menimbang massa akhir spesimen.
5. 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 Spesifikasi Peralatan Pengujian

Spesifikasi *pin-on-disk* yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

Disc rotation speed : 50-300 rpm

Maximum normal load : 150 N

Pin size : 8-15 mm / diagonal

Disc size :100mm diameter x 10mm tebal
dan 40mm diameter x 15mm tebal

Wear track diameter : 20-80 mm

Spesifikasi alat ukur yang digunakan sebagai berikut,

1. Mengukur kecepatan putar menggunakan sensor yang terdapat pada alat uji tribometer pin on disc.
2. Mengukur besar load menggunakan timbangan berat badan.
3. Menimbang spesimen pin menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,1 mg.

Spesifikasi Ac motor pada alat uji tribometer,

1. Ac motor
Type : JY1B-2
Daya : 220V /3,54 A
Power : ½ Hp



Gambar 3.6 Tribometer Pin on Disc

3.5 Data Hasil Pengujian Keausan

Data yang diperoleh setelah dilakukan pengujian keausan dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk* adalah sebagai berikut.



Gambar 3.7 Pengujian Keausan

Tabel 3.1 Data pengujian spesimen dengan komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi.

Percobaan	m_0 (gram)	m_1 (gram)	Δm (gram)	V_0 (mm ³)	V_1 (mm ³)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)
I	2,871	2,867	0,004	2269,799	2266,637	3,162	1,265
II	2,842	2,836	0,006	2269,799	2265,007	4,792	1,252
III	2,846	2,835	0,011	2269,799	2261,026	8,773	1,254

Tabel 3.2 Data pengujian spesimen dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	m_0 (gram)	m_1 (gram)	Δm (gram)	V_0 (mm ³)	V_1 (mm ³)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)
I	3,028	3,026	0,002	2269,799	2268,300	1,499	1,334
II	3,12	3,118	0,002	2269,799	2268,344	1,455	1,375
III	3,064	3,06	0,004	2269,799	2266,836	2,963	1,350

Tabel 3.3 Data pengujian spesimen dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	m_0 (gram)	m_1 (gram)	Δm (gram)	V_0 (mm ³)	V_1 (mm ³)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)
I	3,589	3,586	0,003	2269,799	2267,902	1,897	1,581
II	3,63	3,627	0,003	2269,799	2267,923	1,876	1,599
III	3,652	3,645	0,007	2269,799	2265,448	4,351	1,609

Tabel 3.4 Data pengujian spesimen dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	m_0 (gram)	m_1 (gram)	Δm (gram)	V_0 (mm ³)	V_1 (mm ³)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)
I	3,886	3,882	0,004	2269,799	2267,463	2,336	1,712
II	4,183	4,179	0,004	2269,799	2267,629	2,170	1,843
III	3,914	3,907	0,007	2269,799	2265,740	4,059	1,724

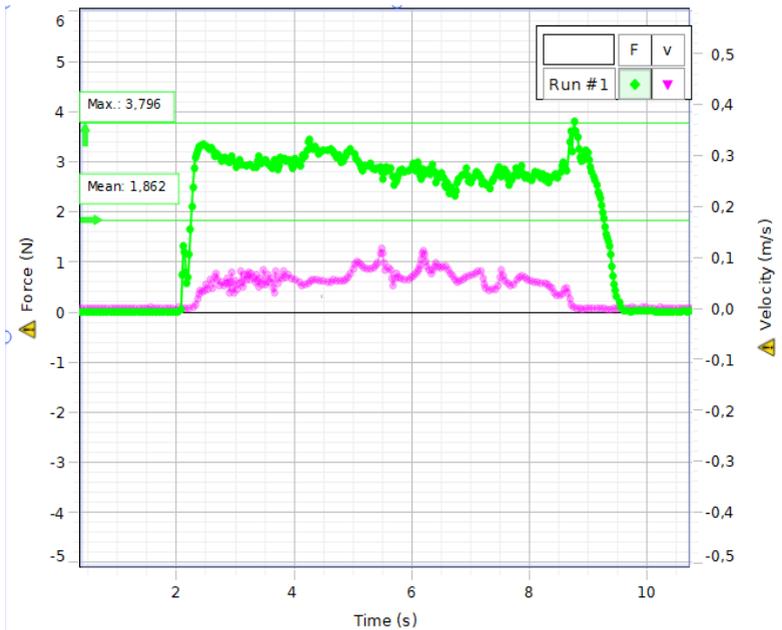
3.6 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Dibawah ini adalah gambar pengambilan data pada pengujian koefisien gesek untuk mengetahui nilai dari koefisien gesek statis dan koefisien gesek kinetis dari komposit serbuk Magnesium oksida, serbuk abu sekam padi dan resin epoxy.

Hasil dari pengujian koefisien gesek dengan fraksi volume pada Serbuk Magnesium oksida, serbuk Abu sekam padi dan Resin epoxy dapat dilihat pada table dibawah ini.

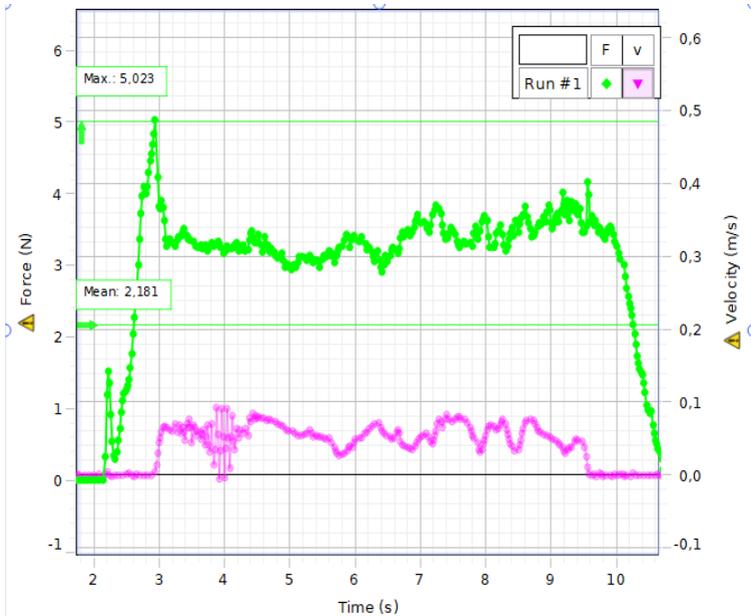


Gambar 3.8 Pengujian Koefisien Gesek



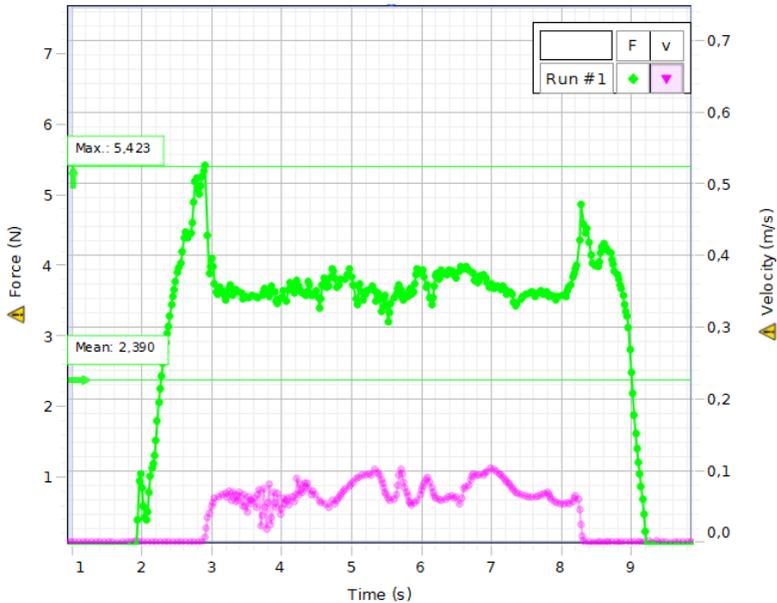
Gambar 3.9 Hasil Pengujian Gaya Gesek Spesimen 60% Abu Sekam Padi dan 40% Resin Epoxy

Gambar 3.9 menunjukkan hasil pengujian gaya gesek pada spesimen 60% abu sekam padi dan 40% resin epoxy. Dapat dilihat bahwa nilai gaya gesek maksimal sebesar 3,796 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek statisnya. Berdasarkan gambar 3.9 juga dapat dilihat nilai dari besarnya gaya gesek rata-rata sebesar 1,862 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek kinetisnya.



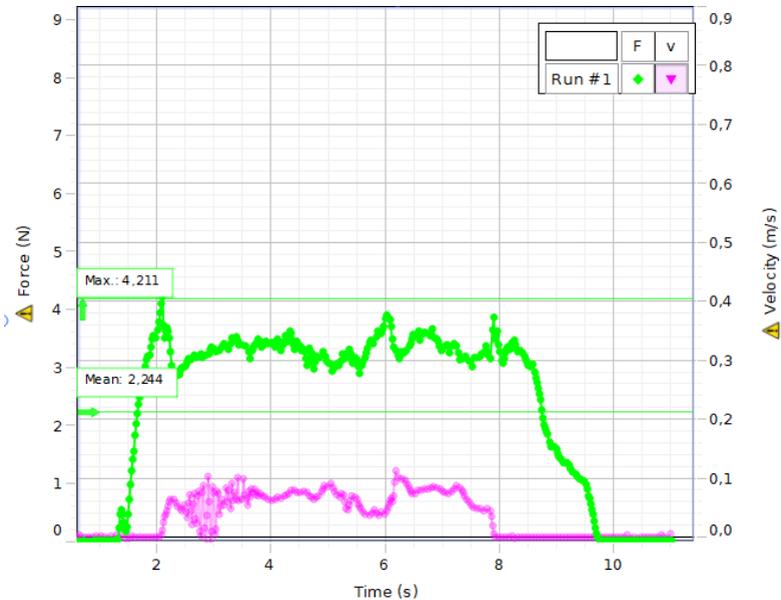
Gambar 3.10 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 50% Abu Sekam Padi, 10% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy

Gambar 3.10 menunjukkan hasil pengujian gaya gesek pada spesimen 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida dan 40% resin epoxy. Dapat dilihat bahwa nilai gaya gesek maksimal sebesar 5,023 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek statisnya. Berdasarkan gambar 3.10 juga dapat dilihat nilai dari besarnya gaya gesek rata-rata sebesar 2,181 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek kinetisnya.



Gambar 3.11 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 30% Abu Sekam Padi, 30% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy

Gambar 3.11 menunjukkan hasil pengujian gaya gesek pada spesimen 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida dan 40% resin epoxy. Dapat dilihat bahwa nilai gaya gesek maksimal sebesar 5,423 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek statisnya. Berdasarkan gambar 3.11 juga dapat dilihat nilai dari besarnya gaya gesek rata-rata sebesar 2,390 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek kinetisnya.



Gambar 3.12 Hasil Pengujian Koefisien Gesek Spesimen 10% Abu Sekam Padi, 50% Magnesium Oksida dan 40% Resin Epoxy

Gambar 3.12 menunjukkan hasil pengujian gaya gesek pada spesimen 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida dan 40% resin epoxy. Dapat dilihat bahwa nilai gaya gesek maksimal sebesar 4,211 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek statisnya. Berdasarkan gambar 3.12 juga dapat dilihat nilai dari besarnya gaya gesek rata-rata sebesar 2,244 N, yang mana nilai tersebut merepresentasikan nilai dari gaya gesek kinetisnya.

Tabel 3.5 Tabel Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Spesimen	G	Massa (kg)	F _s (N)	F _k (N)	μ _s	μ _k
60% serbuk abu sekam padi, 40% resin epoksi.	9,81	1,0641	4,0664	1,828	0,3895459	0,17511556
50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.	9,81	1,0723	4,6872	2,2298	0,4455825	0,21197303
30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.	9,81	1,0846	4,8936	2,2672	0,459928	0,21308419
10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.	9,81	1,1037	4,1974	2,156	0,3876683	0,19912634

“Halaman sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Laju Keausan

4.1.1 Analisa Laju Keausan

Data dari hasil dari pengujian laju keausan pada komposit Serbuk Magnesium Oksida (MgO), Serbuk Abu Sekam padi dan Resin *Epoxy* bisa dilihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.1 Perhitungan wear rate pada 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi.

Percobaan	Δm (gram)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)	s (m)	F (N)	K (mm ³ /Nmm)
I	0,004	3,162	1,265	1000	19,62	0,00016118150
II	0,006	4,792	1,252	1000	19,62	0,00024423932
III	0,011	8,773	1,254	1000	19,62	0,00044714274
Rata-rata wear rate pada 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi						0,000284188

Tabel 4.2 Perhitungan wear rate pada 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	Δm (gram)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)	s (m)	F (N)	K (mm ³ /Nmm)
I	0,002	1,499	1,334	1000	19,62	0,00007641217
II	0,002	1,455	1,375	1000	19,62	0,00007415899
III	0,004	2,963	1,350	1000	19,62	0,00015102875
Rata-rata wear rate pada 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi						0,000100533

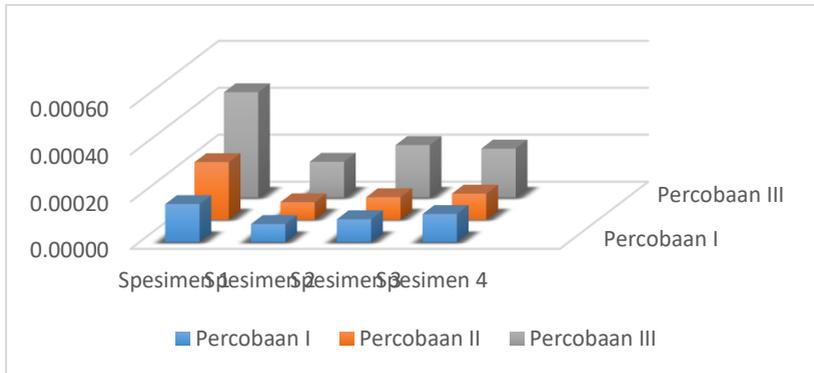
Tabel 4.3 Perhitungan wear rate pada 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	Δm (gram)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)	s (m)	F (N)	K (mm ³ /Nmm)
I	0,003	1,897	1,581	1000	19,62	0,00009670216
II	0,003	1,876	1,599	1000	19,62	0,00009560994
III	0,007	4,351	1,609	1000	19,62	0,00022174594
Rata-rata wear rate pada 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.						0,000138019

Tabel 4.4 Perhitungan wear rate pada 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.

Percobaan	Δm (gram)	ΔV (mm ³)	ρ (gram/cm ³)	s (m)	F (N)	K (mm ³ /Nmm)
I	0,004	2,336	1,712	1000	19,62	0,00011908186
II	0,004	2,170	1,843	1000	19,62	0,00011062684
III	0,007	4,059	1,724	1000	19,62	0,00020690244
Rata-rata wear rate pada 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi.						0,000145537

Dari data yang ada, dapat dianalisa berapa nilai *specific wear rate* yang menunjukkan besarnya volume aus atau bagian yang terkikis setiap satu satuan gaya dan jarak. Besarnya *specific wear rate* untuk komposit Serbuk Magnesium Oksida (MgO), Serbuk Abu Sekam padi dan Resin *Epoxy* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



	Percobaan I	Percobaan II	Percobaan III
Spesimen 1	0.00016118	0.00024424	0.00044714
Spesimen 2	0.00007641	0.00007416	0.00015103
Spesimen 3	0.00009670	0.00009561	0.00022175
Spesimen 4	0.00011908	0.00011063	0.00020690

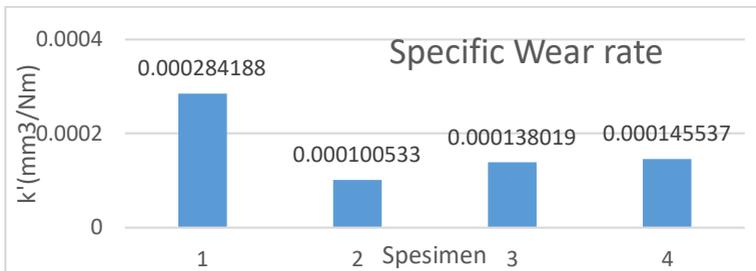
Gambar 4.1 Grafik Specific Wear Rate pada Keempat Spesimen dengan Masing-Masing Tiga Kali Percobaan

Dari gambar 4.1 di atas dapat dilihat bahwa pada komposit serbuk magnesium oksida, serbuk abu sekam padi, dan resin epoksi dilakukan 3 kali percobaan untuk keempat spesimen dengan komposisi yang berbeda pada setiap spesimen. Spesimen dengan komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi pada percobaan I didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00016118 mm³/Nm. Spesimen dengan komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi pada percobaan II didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00024424 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi pada percobaan II didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00044714 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan I didapatkan nilai

specific wear rate sebesar 0,00007641 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan II didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00007416 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan III didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00015103 mm³/Nmm.

Spesimen dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan I didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00009670 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan II didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00009561 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan III didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00022175 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan I didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00011908 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan II didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00011063 mm³/Nmm. Spesimen dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida (MgO) dan 40% resin epoksi pada percobaan III didapatkan nilai *specific wear rate* sebesar 0,00020690 mm³/Nmm.

Secara matematis, dapat dijelaskan bahwa besarnya nilai dari *specific wear rate* berbanding lurus dengan volume spesimen yang terkikis dan berbanding terbalik dengan beban yang diberikan serta panjang lintasan yang diberikan. Jadi, nilai dari *specific wear rate* akan naik apabila volume komposit yang terkikis semakin besar.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Magnesium Oksida terhadap laju keausan pada komposit abu sekam padi dan resin epoksi.

Pada grafik di atas, terlihat bahwa *specific wear rate* pada spesimen 1 lebih tinggi jika dibandingkan dengan pengujian spesimen 2, dimana spesimen 1 komposisinya yaitu 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi sedangkan spesimen 2 komposisinya yaitu 50% serbuk abu sekam padi, 10% magnesium oksida, dan 40% resin epoksi. Kemudian pada grafik diatas dapat dilihat bahwa tren *specific wear rate* pada spesimen 2, 3, dan 4 mengalami peningkatan *specific wear rate*. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai *specific wear rate* akan menurun ketika ditambahkan magnesium oksida dengan komposisi tertentu. Volume komposit yang terauskan pada masing-masing spesimen tidak terlalu signifikan perubahannya. Pada spesimen 1 yang memiliki komposisi 60% serbuk abu sekam padi dan 40% resin epoksi, volume yang terauskan nilainya paling tinggi dibandingkan spesimen lainnya yang telah ditambahkan magnesium oksida. Dapat dilihat dalam grafik tersebut bahwa pada spesimen 2 yaitu memiliki komposisi 50% serbuk abu sekam padi, 10% magnesium oksida, dan 40% resin epoksi merupakan komposisi yang memiliki tingkat *specific wear rate* terendah. Penurunan volume aus yang terjadi disebabkan karena penambahan magnesium oksida dengan komposisi 10% akan menambah kekerasan spesimennya secara optimal sehingga menurunkan volume aus. Sedangkan pada spesimen 3 dan 4, dimana komposisi magnesiumnya ditambah menjadi 30% dan

50% volume yang terauskannya lebih tinggi dibandingkan spesimen 2. Sehingga Gambar 4.2 menunjukkan bahwa penambahan magnesium oksida dengan komposisi 10% memiliki *specific wear rate* yang paling rendah dibandingkan dengan komposisi 30% dan 50%. Nilai *specific wear rate* terendah yaitu pada spesimen 2 sebesar 0,000100533 jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh arifin (2013) yang menyebutkan bahwa nilai dari laju keausan dari kampas rem Honda Genuine Parts sebesar 0,000239 hal ini menunjukkan bahwa komposit yang diuji lebih baik nilai laju keausannya dibandingkan dengan kampas rem Honda Genuine Parts. Peningkatan volume aus yang terjadi disebabkan karena sifat magnesium oksida sangat berpengaruh pada tingkat kekerasan. Spesimen dengan komposisi magnesium oksida sebesar 30% dan 50% kekerasannya akan cenderung menurun dibandingkan dengan komposisi 10%. Hal ini menyebabkan ketika komposisi magnesium oksida meningkat melewati titik optimalnya akan meningkatkan keausannya. Hasil ini juga didukung oleh pengujian kekerasan yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi	No. Spesimen	Pengujian pada 3 titik			Rata-Rata Kekerasan	Kekerasan (HD)	Kekerasan (Mpa)
60% Abu Sekam Padi Dan 40% Resin Epoxy	1	70	73	71	71,3	68,86	8,604657
	2	67	66	68	67		
	3	68	69	68	68,3		
50% Abu Sekam Padi 10% MgO 40% Resin Epoxy	1	74	73	74	73,6	74,73	9,880187
	2	77	76	75	76		
	3	75	75	74	74,6		
30% Abu Sekam Padi 30% MgO 40% Resin Epoxy	1	70	71	81	70,6	70,73	8,997658
	2	70	71	70	70,3		
	3	72	71	72	71,3		
10% Abu Sekam Padi 50% MgO 40% Resin Epoxy	1	68	70	68	68,6	70,06	8,852868
	2	72	71	72	71,6		
	3	69	72	69	70		

Pada Tabel 4.5 diatas dapat dilihat bahwa pada komposit yang diuji dilakukan 3 kali percobaan untuk tiap. Pada komposit

dengan komposisi 60% abu sekam padi dan 40% resin epoxy, pada spesimen pertama didapatkan nilai kekerasan permukaan sebesar 71,3 HD, pada spesimen kedua sebesar 67 HD, dan pada spesimen ketiga yaitu sebesar 68,3 HD, dengan rata-rata kekerasan sebesar 68,86 HD. Selanjutnya untuk komposit dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy, pada spesimen pertama nilai kekerasan permukaannya sebesar 73,6 HD, pada spesimen kedua sebesar 76 HD, dan untuk spesimen ketiga sebesar 74,6 HD, dengan rata-rata kekerasan sebesar 74,73 HD. Untuk komposit dengan komposisi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy, pada spesimen pertama didapatkan nilai kekerasan permukaannya sebesar 70,6 HD, pada spesimen kedua sebesar 70,3 HD, dan untuk spesimen ketiga sebesar 71,3 HD, dengan rata-rata kekerasan sebesar 70,73 HD. Pada komposit dengan komposisi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy, pada spesimen pertama nilai kekerasan permukaan yaitu sebesar 68,6 HD, pada spesimen kedua sebesar 71,6 HD, dan untuk spesimen ketiga sebesar 70 HD, dengan rata-rata kekerasan sebesar 70,06 HD. Nilai kekerasan permukaan terkecil terdapat pada komposit dengan komposisi 60% abu sekam padi dan 40% resin epoxy, sedangkan untuk nilai kekerasan permukaan terbesar terdapat pada komposit dengan komposisi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy.



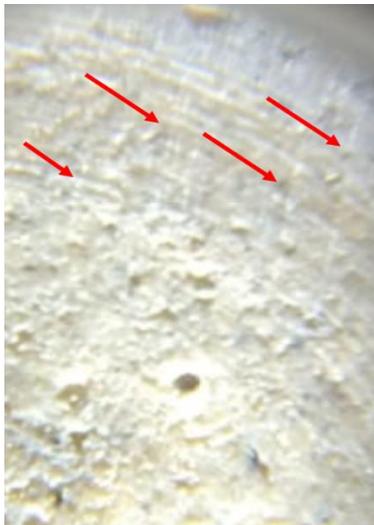
Gambar 4.3 Foto Perbesaran 60× Spesimen 60% Abu Sekam Padi dan 40% Resin Epoxy



Gambar 4.4 Foto Perbesaran 60× Spesimen 50% Abu Sekam Padi, 10% MgO, dan 40% Resin Epoxy



Gambar 4.5 Foto Perbesaran 60× Spesimen 30% Abu Sekam Padi, 30% MgO, dan 40% Resin Epoxy



Gambar 4.6 Foto Perbesaran 60× Spesimen 10% Abu Sekam Padi, 50% MgO, dan 40% Resin Epoxy

Pada foto mikro diatas terlihat kontur permukaan pada masing-masing spesimen yang terkikis setelah dilakukan pengujian. Pada gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 terlihat foto mikro setelah dilakukan pengujian dengan kondisi *dry sliding* bahwa keausan yang terjadi diakibatkan oleh mekanisme keausan abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus. Dapat terlihat pada gambar 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6 terjadi mekanisme keausan abrasif yang ditunjukkan dengan adanya guratan lurus yang mengindikasikan bahwa komposit terkikis atau terabrasi.

Pada laju keausan komposit resin epoxy berpenguat serbuk abu sekam padi dan magnesium oksida, terlihat bahwa komposit penguat sangat berpengaruh dalam menurunkan nilai *specific wear rate*. Keausan yang terjadi akibat gesekan terlebih dahulu mengikis permukaan matriks. Semakin bertambahnya fraksi volume serat pada spesimen menyebabkan semakin banyaknya serat yang terdapat pada permukaan kontak yang bergesekan sehingga konsekuensinya adalah menurunnya laju keausan secara keseluruhan, tetapi saat fraksi volume magnesium oksida ditambahkan melebihi presentase optimalnya akan mempengaruhi nilai dari tingkat kekerasannya sehingga akan meningkatkan nilai dari *specific wear rate*.

Pada pengujian ini dilakukan dengan pemberian beban sebesar 2 kg dan kecepatan putar disk adalah 90 rpm. Dari hasil pengujian didapat laju keausan yang semakin menurun pada spesimen 1 hingga spesimen 2 kemudian mengalami peningkatan pada spesimen 3 dan spesimen 4 tetapi nilai peningkatannya tidak melebihi spesimen 1. Grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada beban yang rendah komposit yang terbuang sedikit. Volume aus ini disebabkan karena adanya mekanisme ironing, yaitu kerusakan yang tidak begitu parah dan terjadi pada beban dan kecepatan rendah. Secara fisik tidak tampak deformasi permanen tetapi hanya efek permukaan yang halus karena deformasi permukaan asperity-nya.

Pada spesimen berpenguat magnesium oksida, laju keausan cenderung menurun dibandingkan dengan spesimen yang

tidak menggunakan magnesium oksida. Hal ini juga didukung oleh teori delaminasi, dimana pada umumnya asperity yang keras pada permukaan yang terdapat magnesium oksida sehingga yang aus terlebih dahulu adalah matrik yang dalam hal ini adalah resin epoxy dan kemudian dilanjutkan oleh serbuk abu sekam padi dan magnesium oksida, maka keausan juga bisa ditekan.

4.1.2 Analisa *Wear Coefficient*

Setelah dilakukan pengujian kekerasan permukaan, didapatkan nilai kekerasan permukaan dari setiap variasi spesimen uji. Selanjutnya akan dianalisa tentang pengaruh perubahan nilai kekerasan permukaan terhadap nilai *wear coefficient* pada variasi komposisi komposit resin epoxy, abu sekam padi, dan magnesium oksida. Perhitungan nilai *wear coefficient* dilakukan menggunakan rumus Persamaan Archard seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Hasil perhitungan dari *wear coefficient* pada komposit resin epoxy, abu sekam padi dengan variasi penambahan magnesium oksida disajikan pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Perhitungan *Wear Coefficient*

Variasi	No Spesimen	Kekerasan (MPa)	ΔV (mm ³)	s (m)	F (N)	k (wear coefficient)
60% Abu Sekam Padi Dan 40% Resin Epoxy	1	71,3	3,162	1000	19,62	0,01149086
	2	67	4,792	1000	19,62	0,01636412
	3	68,3	8,773	1000	19,62	0,03054006
50% Abu Sekam Padi 10% MgO 40% Resin Epoxy	1	73,6	1,499	1000	19,62	0,00562316
	2	76	1,455	1000	19,62	0,00563609
	3	74,6	2,963	1000	19,62	0,01126604
30% Abu Sekam Padi 30% MgO 40% Resin Epoxy	1	70,6	1,897	1000	19,62	0,00682611
	2	70,3	1,876	1000	19,62	0,00672186
	3	71,3	4,351	1000	19,62	0,01581174
10% Abu Sekam Padi 50% MgO 40% Resin Epoxy	1	68,6	2,336	1000	19,62	0,00816767
	2	71,6	2,17	1000	19,62	0,00791906
	3	70	4,059	1000	19,62	0,01448165

Pada Tabel 4.6 diatas, untuk komposit dengan variasi 60% abu sekam padi dan 40% resin epoxy didapatkan nilai wear coefficient pada spesimen pertama sebesar 0,01149086, pada spesimen kedua sebesar 0,01636412, dan pada spesimen ketiga sebesar 0,03054006. Selanjutnya pada variasi 50% abu sekam padi, 10% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy didapatkan nilai wear coefficient pada spesimen pertama 0,00562316, pada spesimen kedua sebesar 0,00563609, dan pada spesimen ketiga sebesar 0,01126604. Pada spesimen dengan variasi 30% abu sekam padi, 30% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy

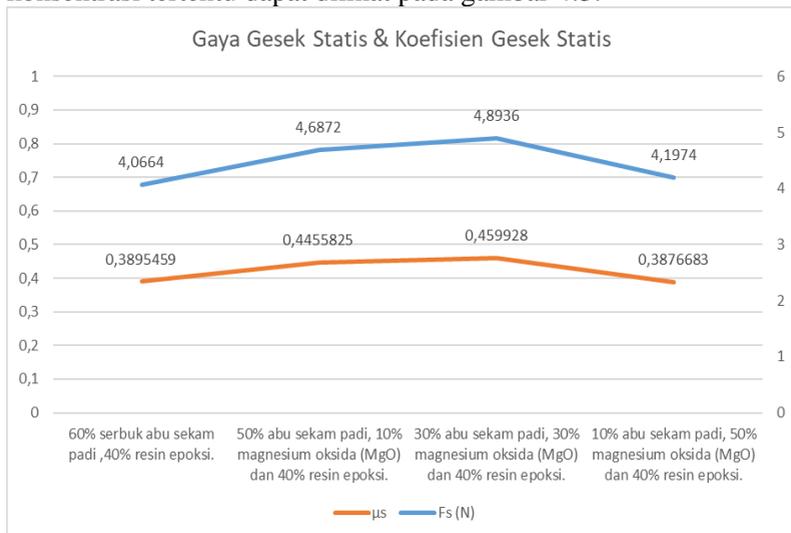
didapatkan nilai wear coefficient pada spesimen pertama sebesar 0,00682611, pada spesimen kedua nilainya sebesar 0,00672186, dan pada spesimen ketiga sebesar 0,01581174. Berikutnya pada spesimen dengan variasi 10% abu sekam padi, 50% magnesium oksida, dan 40% resin epoxy didapatkan nilai wear coefficient pada spesimen pertama sebesar 0,00816767, pada spesimen kedua nilainya sebesar 0,00791906, dan pada spesimen ketiga sebesar 0,01448165.

4.2 Pengujian Koefisien Gesek (COF)

4.2.1 Analisa Koefisien Gesek

4.2.1.1 Analisa Koefisien Gesek Statis

Dari data hasil pengujian koefisien gesek pada serbuk magnesium oksida (MgO), serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* pada tabel 3.5 dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek statis yang mengalami peningkatan pada komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu. Besarnya nilai gaya gesek statis dari komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.7 Grafik Gaya Gesek Statis dan Koefisien Gesek Statis

Gaya gesek statis 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

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

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 4.7 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek statis menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) yang ditambahkan pada serbuk abu sekam padi dan resin epoxy dan terjadi penurunan pada tingkat konsentrasi Magnesium oksida sebesar 50%. Pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 0% memiliki nilai gaya gesek statis 4,0664 Newton, pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 10% memiliki nilai gaya gesek statis 84,6872 Newton, pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida

(MgO) sebanyak 30% memiliki nilai gaya gesek statis 4,8936 Newton, dan pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 50% memiliki nilai gaya gesek statis 4,1974 Newton. Nilai gaya gesek statis terbesar terdapat pada penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi 30%, nilai gaya gesek statis terkecil terdapat pada penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi 0%. Besar kecilnya nilai gaya gesek statis tersebut akan mempengaruhi dari koefisien gesek statis yang dapat dilihat pada grafik 4.3 dibawah ini.

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 magnesium oksida (MgO) 0%. Pada konsentrasi 0% serbuk magnesium oksida (MgO) memiliki berat benda uji adalah 1,0641 kg dan nilai dari gravitasi adalah 9,81 m/s². Berikut perhitungan nilai Koefisien gesek statis :

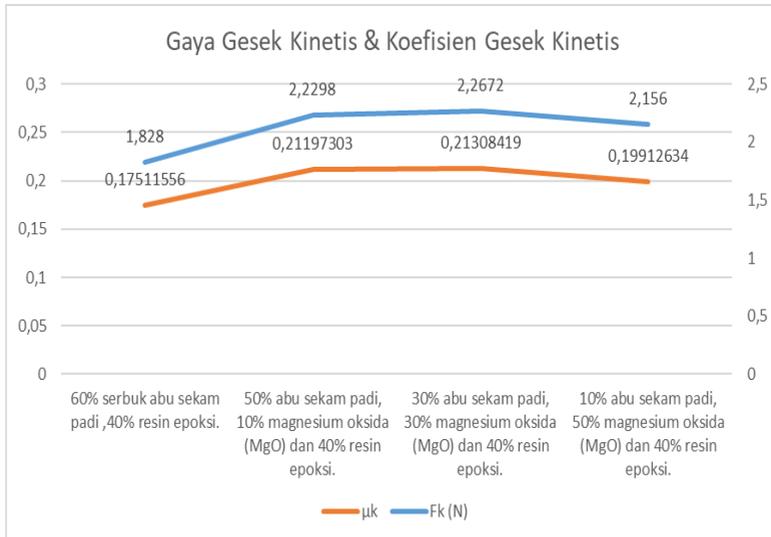
$$\begin{aligned}
 Fs &= \mu s \cdot W \\
 \mu s &= \frac{Fs}{W} \\
 \mu s &= \frac{4,0664(N)}{m \cdot g} \\
 \mu s &= \frac{4,0664(N)}{1,0641(kg) \times 9,81\left(\frac{m}{s^2}\right)}
 \end{aligned}$$

Hasil uji koefisien gesek statis menunjukkan bahwa spesimen 1 yaitu komposit tanpa adanya penambahan magnesium oksida memiliki nilai koefisien gesek statis sebesar 0.389545908. Berdasarkan penambahan serbuk magnesium oksida pada spesimen 2 dan 3 koefisien gesek statisnya lebih tinggi dibandingkan spesimen 1 yang tanpa adanya penambahan magnesium oksida. Pada spesimen 3 nilai koefisien gesek statisnya paling tinggi yang berarti komposisi dari serbuk abu sekam padi, magnesium oksida, dan resin epoksi paling optimal.

Dengan begitu ketika serbuk magnesium oksida (MgO) ditambahkan pada serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* akan menjadikan komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* akan lebih keras sehingga tingkat kekuatan komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* untuk menahan laju gerakan dari lawan gesekan komposit tersebut bertambah. Pada spesimen 4 nilai koefisien geseknya lebih rendah dari spesimen lainnya. Yang mempengaruhi menurunnya nilai koefisien gesek statis dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebesar 50% 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 magnesium oksida (MgO) yang memiliki bentuk menyerupai pasir halus. Penurunan tersebut disebabkan oleh penambahan magnesium oksida dapat menurunkan kekerasan jika sudah melewati titik optimalnya, namun juga karena bentuk dari serbuk magnesium oksida yang menyerupai pasir halus membuat komposit serbuk abu sekam padi dan resin epoksi dengan komposisi magnesium oksida sebesar 50% mengurangi kemampuan menahan laju gerakan dari lawan gesekan. Untuk mengetahui nilai dari koefisien gesek statis setiap penambahan komposisi serbuk magnesium oksida (MgO) pada serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* bisa dilihat pada grafik 4.7.

4.2.1.2 Analisa Koefisien Gesek Kinetis

Dari data hasil pengujian koefisien gesek pada serbuk magnesium oksida (MgO), serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* pada tabel 3.5 dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek kinetis yang mengalami peningkatan pada komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu. Besarnya nilai gaya gesek kinetis dari komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* dengan adanya penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.8 Grafik Gaya Gesek Kinetis dan Koefisien 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 padat 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

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

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 4.4 diatas dapat dilihat bahwa nilai dari gaya gesek kinetis menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrsi serbuk magnesium oksida (MgO) yang ditambahkan pada serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy*. Pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 0% memiliki nilai gaya gesek kinetis 1,828 Newton, pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 10% memiliki nilai gaya gesek kinetis 2,2298 Newton, pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 30% memiliki nilai gaya gesek kinetis 2,2672 Newton, dan pada komposit dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebanyak 50% memiliki nilai gaya gesek kinetis 2,156 Newton. Nilai gaya gesek kinetis terbesar terdapat pada penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi 30%, nilai gaya gesek statis terkecil terdapat pada penambahan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi 0%. Besar kecilnya nilai gaya gesek kinetis tersebut akan mempengaruhi dari koefisien gesek kinetis yang dapat dilihat pada grafik 4.6 dibawah ini.

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 magnesium oksida (MgO) 0%. Pada konsentrasi 0% serbuk magnesium oksida (MgO) memiliki berat benda uji adalah 1,0641 kg dan nilai dari gravitasi adalah 9,81 m/s². Berikut perhitungan nilai Koefisien gesek kinetis :

$$F_k = \mu_k \cdot W$$

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

$$\mu k = \frac{Fk}{m \cdot g}$$

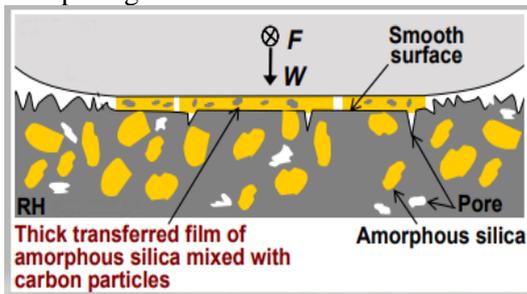
$$\mu k = \frac{1,828(N)}{1,0641(kg) \times 9,81\left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

Hasil uji koefisien gesek kinetis menunjukkan bahwa spesimen 1 yaitu komposit tanpa adanya penambahan magnesium oksida memiliki nilai koefisien gesek kinetis sebesar 0.175115561. Berdasarkan penambahan serbuk magnesium oksida pada spesimen 2, 3, dan 4 koefisien gesek kinetisnya lebih tinggi dibandingkan spesimen 1. Pada spesimen 3 nilai koefisien gesek kinetisnya paling tinggi yang berarti komposisi dari serbuk abu sekam padi, magnesium oksida, dan resin epoksi paling optimal yaitu sebesar 0,213084189. Dengan begitu ketika serbuk magnesium oksida (MgO) ditambahkan pada serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* akan menjadikan komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* akan lebih keras sehingga tingkat kekuatan komposit serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* untuk menahan laju gerakan dari lawan gesekan komposit tersebut bertambah. Pada spesimen 4 nilai koefisien gesek kinetisnya lebih rendah dari spesimen lainnya. Yang mempengaruhi menurunnya nilai koefisien gesek kinetis dengan konsentrasi serbuk magnesium oksida (MgO) sebesar 50% selain gaya gesek kinetis yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan spesimen dengan kandungan magnesium oksida sebesar 30% disebabkan juga oleh massa yang bertambah dibandingkan dengan spesimen dengan kandungan magnesium oksida sebesar 30%, jika dimasukkan kedalam persamaan akan menghasilkan gaya gesek kinetis yang rendah dibagikan dengan nilai massa yang tinggi sehingga menghasilkan nilai dari koefisien gesek kinetisnya rendah.

Selain itu juga dari bentuk permukaan benda uji yang bergesek pada permukaan landasan pengujian. Dilihat dari bentuk serbuk magnesium oksida (MgO) yang memiliki bentuk menyerupai pasir halus, karena bentuk dari serbuk magnesium oksida yang menyerupai pasir halus membuat komposit serbuk abu sekam padi dan resin epoksi dengan komposisi magnesium

oksida sebesar 50% mengurangi kemampuan menahan laju gerakan dari lawan gesekan. Untuk mengetahui nilai dari koefisien gesek kinetis setiap penambahan komposisi serbuk magnesium oksida (MgO) pada serbuk abu sekam padi dan resin *epoxy* bisa dilihat pada grafik 4.8.

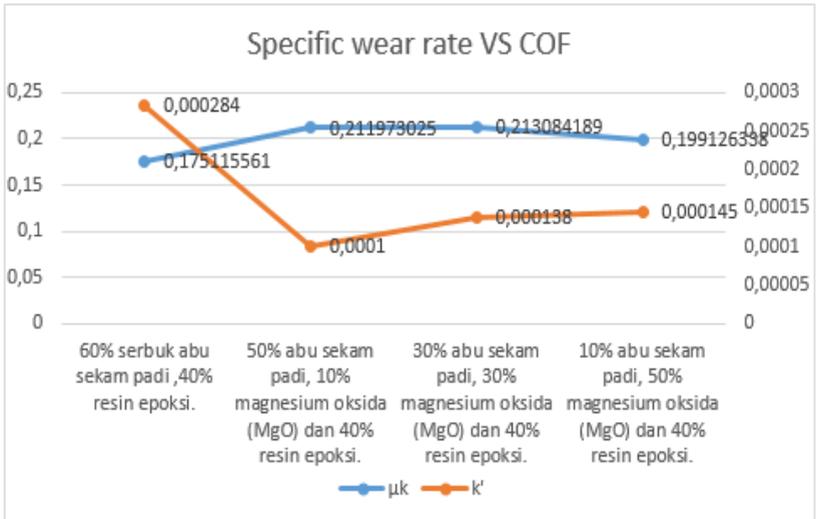
Nilai optimal koefisien gesek kinetis yang didapatkan dari penelitian ini ditunjukkan pada spesimen 3 sebesar 0,213084189, namun nilai ini jika dibandingkan dengan nilai koefisien gesek kinetis kampas rem yang ada di pasaran dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Isbullah dan Haryadi (2013) yang melakukan pengujian nilai koefisien gesek pada kampas rem merk AHM (Astra Honda Motor) menunjukkan hasil nilai koefisien gesek rata-rata sebesar 0,422 sehingga menunjukkan hasil pengujian koefisien gesek kinetis penelitian ini dibandingkan dengan koefisien gesek kinetis kampas rem yang ada di pasaran lebih kecil. Hal ini disebabkan oleh komposit yang diuji pada penelitian ini terdapat serbuk abu sekam padi. Dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Dugarjav et al. (2010) menyebutkan bahwa komposit dengan adanya kandungan serbuk abu sekam padi ketika diuji koefisien geseknya menghasilkan nilai koefisien gesek yang sangat rendah yaitu sekitar 0,06 sampai 0,11, hal ini diakibatkan oleh adanya reaksi pada silika yang terkandung dalam serbuk abu sekam padi dan uap air yang terkandung didalam udara sehingga menghasilkan lapisan baru yang di sebut amorphous silica, yang dapat dilihat pada gambar.



Gambar 4.9 Lapisan Amorphous Silica

4.2.2 Analisa Koefisien Gesek terhadap *Specific Wear Rate*

Pada gambar 4.7 adalah grafik hubungan antara *specific wear rate* dan koefisien gesek kinetis dari komposit serbuk abu sekam padi dan resin epoksi ditambahkan dengan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu. Pada grafik 4.7 dapat kita lihat bahwa hubungan antara *specific wear rate* komposit serbuk serbuk abu sekam padi dan resin epoksi ditambahkan dengan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu. Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai *specific wear rate* dari serbuk abu sekam padi dan resin epoksi jika ditambahkan dengan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu akan menurunkan *specific wear rate*. Namun, apabila konsentrasi magnesium oksida (MgO) ditambahkan melewati titik optimalnya maka *specific wear rate* akan meningkat tetapi nilainya tidak melebihi spesimen yang tanpa ditambahkan dengan magnesium oksida. Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien gesek kinetis dari serbuk abu sekam padi dan resin epoksi jika ditambahkan dengan serbuk magnesium oksida (MgO) dengan konsentrasi tertentu akan meningkatkan nilai koefisien gesek kinetisnya. Namun, apabila konsentrasi magnesium oksida (MgO) ditambahkan melewati titik optimalnya maka nilai koefisien gesek kinetis akan menurun tetapi nilainya tidak lebih rendah dibandingkan spesimen yang tanpa ditambahkan dengan magnesium oksida. Hal ini disebabkan karena kontruksi dari serbuk magnesium oksida (MgO) yang mendominasi pada spesimen 4 dengan komposisi sebesar 50% magnesium oksida, yang mana magnesium oksida berbentuk menyerupai butiran halus yang menyebabkan nilai dari koefisien gesek menurun.



Gambar 4.10 Grafik *Specific Wear Rate* vs Koefisien Gesek Kinetis

Dari gambar 4.7 komposisi terbaik jika dilihat dari nilai *specific wear rate* dan koefisien gesek terletak diantara 10% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 50% serbuk abu sekam padi dan 30% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 30% serbuk abu sekam padi. Berdasarkan grafik 4.7 dimana nilai optimum terdapat pada komposisi 10% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 50% serbuk abu sekam padi dengan nilai *specific wear rate* sebesar 0,0001 mm³/Nm dan nilai koefisien gesek kinetis adalah 0,211973025.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Berdasarkan pengujian keausan, nilai *specific wear rate* yang optimum dari komposit serbuk magnesium oksida (MgO), serbuk abu sekam padi dan resin epoxy adalah 0,0001 mm³/Nm yaitu pada spesimen 2 dengan komposisi 10% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 50% serbuk abu sekam padi. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh arifin (2013) yang menyebutkan bahwa nilai dari laju keausan dari kampas rem Honda Genuine Parts sebesar 0,000239 hal ini menunjukkan bahwa komposit yang diuji lebih baik nilai laju keausannya dibandingkan dengan kampas rem Honda Genuine Parts.
2. Nilai koefisien gesek kinetis terbesar yang didapatkan adalah spesimen 3 dengan komposisi 30% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 30% serbuk abu sekam padi dengan nilai koefisien gesek kinetis 0,211973025. Nilai ini jika dibandingkan dengan nilai koefisien gesek kinetis kampas rem yang ada di pasaran dikutip dari penelitian yang dilakukan oleh Isbullah dan Haryadi (2013) yang melakukan pengujian nilai koefisien gesek pada kampas rem merk AHM (Astra Honda Motor) menunjukkan hasil nilai koefisien gesek rata-rata sebesar 0,422 sehingga menunjukkan hasil pengujian koefisien gesek kinetis penelitian ini dibandingkan dengan koefisien gesek kinetis kampas rem yang ada di pasaran lebih kecil.
3. Nilai optimum berdasarkan perbandingan nilai *specific wear rate* dan koefisien gesek kinetis terdapat pada spesimen 2 dengan komposisi 10% magnesium oksida (MgO), 40% resin epoxy, 50% serbuk abu sekam padi

dengan nilai *specific wear rate* sebesar 0,0001 mm³/Nm dan nilai koefisien gesek kinetis adalah 0,211973025.

5.2 Saran

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

1. Dibutuhkannya pengujian kekerasan permukaan agar mengetahui nilai kekerasan dari komposit uji tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, S. K., & Samantrai, S. P. (2012). The Friction and Wear behavior of modified rice husk filled epoxy composite. ACUN6 –Composites and Nanocomposites in Civil, Offshore and Mining Infrastructure, 1-6
- Adam, F, Balakrishnan, B dan Lee, W.P. 2006. Rice Husk Ash Silica as a Support Komposit for Ruthenium Based Heterogenous Catalyst. *J Phy Sci*, 17(2) : 1–13.
- Arayapranece, W., Na-Ranong, N., & Rempel, G. L. (2005). Application of rice husk ash as fillers in the natural rubber industry. *Journal of applied polymer science*, 98(1), 34-41.
- Ardiyanto, D., & Waluyo, B. (2017). Pengaruh Variasi Magnesium Oxide Dengan Matrik Phenolic Resin Dan Filler Serbuk Getah Kulit Mete (CNSL) Terhadap Tingkat Keausan, Kekerasan Dan Koefisien Gesek Pada Pembuatan Brake Pad (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Arifin, B. I. (2013). *Analysis And Manufacturing Composite For Brake Shoes Of Motorcycle Honda Supra X 125 Using Fly Ash Coal And Magnesium Oxide With Epoxy Matrix* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Czichos, H. (1978). Tribology. A Systems Approach to Friction, Lubrication and Wear. *Elsevier Scientific Publishing Co.*, 414.
- Diana, D. R., & Pratapa, S. (2015). Analisis Kristalinitas Serbuk Magnesium Oksida Hasil Sintesis Metode Logam-Terlarut Asam. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), B1-B4.
- Dugarjav, T., Yamaguchi, T., Shibata, K., & Hokkirigawa, K. (2010). Friction and wear properties of rice husk ceramics under dry condition. *Journal of mechanical science and technology*, 24(1), 85-88.

- Dwiyati, S. T., Kholil, A., & Widyarma, F. (2017). Pengaruh penambahan karbon pada karakteristik kampas rem komposit serbuk kayu. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, 4(2), 108-114.
- Fuad, M. A., Ismail, Z., Mansor, M. S., Ishak, Z. M., & Omar, A. M. (1995). Mechanical properties of rice husk ash/polypropylene composites. *Polymer journal*, 27(10), 1002-1015.
- Houston, D. F. (1972). Rice: Chemistry and Technology (No. HOU 633.18 (BR 125.9)). American Association of Cereal Chemists.
- Isbullah, W., Haryadi, G. D., & DR, E. (2013). *Prediksi Kegagalan Sistem Rem Cakram pada Sepeda Motor (Studi Kasus Honda Supra X 125)* (Doctoral dissertation, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University).
- Kennedy, R., Surojo, E., & Raharjo, W. W. (2019). Studi Karakteristik Kampas Rem Kendaraan Penumpang Type OES (Original Equipment Sparepart) dan AM (After Market) pada Dry dan Wet Sliding. *Mekanika*, 18(1).
- Mulahela, S. K. A., Catur, A. D., & Pandiatmi, P. (2015). Analisis keausan dan waktu pengereman kampas cakram asbestos dan non asbestos dengan variasi beban pengereman dan berat pengendara pada sepeda motor honda supra x 125 cc. *Dinamika Teknik Mesin*, 5(2).
- Pradopo, D., 2015. Bedakan Material Kampas Rem, Asbestos dan Non Asbestos Mana Lebih Baik?, <<https://otomotifnet.gridoto.com/read/231118782/bedakan-material-kampas-rem-asbestos-dan-non-asbestos-mana-lebih-baik>>
- Prasad, R., & Pandey, M. (2012). Rice husk ash as a renewable source for the production of value added silica gel and its application: an overview. *Bulletin of chemical reaction engineering and catalysis*, 7(1), 1-25.

- Prasetya, H. A. (2016, December). PENGARUH SILIKA DARI ABU SEKAM PADI SEBAGAI BAHAN SUSBTITUSI ASBES UNTUK PEMBUATAN KAMPAS REM MENGGUNAKAN BAHAN KARET ALAM. In *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik* (Vol. 5, No. 1).
- Prayogi, T. (2010). Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer. Surabaya. xv LAMPIRAN xvi Tabel, 4, 1999-2005.
- Putro, A. L., & Prasetyoko, D. (2007). Abu sekam padi sebagai sumber silika pada sintesis zeolit ZSM-5 tanpa menggunakan templat organik. *Akta kimindo*, 3(1), 33-36.
- Saputro, A. E. (2016). KAJI EKSPERIMENTAL PERFORMANSI Pengereman Kampas Rem Serat Bambu sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Mobil. *Jurnal Nosel*, 4(4).
- Shukla, S. P. (2011). *Investigation in to tribo potential of rice husk (RH) char reinforced epoxy composite* (Doctoral dissertation).
- Sutikno, Pramujati, B., Safitri, S. D., & Razitania, A. (2018, July). Characteristics of natural fiber reinforced composite for brake pads komposit. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1983, No. 1, p. 050009). AIP Publishing LLC.
- Wahyudi, D., & Amelia, S. (2002). Optimasi Kekerasan Kampas rem dengan Metode Desain Eksperimen. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra*.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Denpasar Provinsi Bali, pada 7 Mei 1996. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan suami istri, Ir. Wayan Agus Yunantara dan Wiwik Hermawati ST.,MT. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kuncup Bunga pada tahun 2002. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SD Saraswati 2 Denpasar hingga lulus tahun 2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Cipta Dharma Denpasar hingga lulus tahun 2011. Dan berlanjut pada SMAN 4 Denpasar. Setelah lulus dari SMAN 4 Denpasar penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata-1 dan diterima di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dan terdaftar dengan NRP 02111440000028. Di Departemen Teknik Mesin penulis menjadi anggota di Laboratorium Mekanika Benda Padat. Penulis sempat aktif dibebberapa kegiatan akademis maupun non-akademis. Dalam bidang non akademis penulis pernah menjadi staff Hubungan Internal TPKH-ITS dan menjadi Kepala Departemen Internal TPKH-ITS. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa S1 Teknik mesin FTI-ITS khususnya serta untuk kebermanfaat orang banyak kedepannya.

