

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISA PENGARUH SELULOSA ASETAT TERHADAP
*COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL
STABILITY DAN WEAR RATE* PADA KOMPOSIT
SERBUK KAYU, SEKAM PADI DAN TEMPURUNG
KELAPA UNTUK KAMPAS REM**

RONI SETIAWAN
0211154000076

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc
NIP. 196511031990021001

Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISA PENGARUH SELULOSA ASETAT TERHADAP
*COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL
STABILITY* DAN *WEAR RATE* PADA KOMPOSIT
SERBUK KAYU, SEKAM PADI DAN TEMPURUNG
KELAPA UNTUK KAMPAS REM**

RONI SETIAWAN
0211154000076

Dosen Pembimbing
Ir. Yusuf Kaelani, MSc
NIP. 196511031990021001

Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - TM184835

***ANALYSIS OF THE EFFECT OF CELLULOSE ACETATE
TO COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS,
THERMAL STABILITY AND WEAR RATE ON
COMPOSITES OF WOOD POWDER, RICE HUSK AND
COCONUT SHELL FOR BRAKE LINING***

RONI SETIAWAN
0211154000076

Advisor
Ir. Yusuf Kaelani, MSc
NIP. 196511031990021001

Undergraduate Study Program of S-1 Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH SELULOSA ASETAT TERHADAP *COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL STABILITY* DAN *WEAR RATE* PADA KOMPOSIT SERBUK KAYU, SEKAM PADI DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK KAMPAS REM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **RONI SETIAWAN**
NRP. 0211154000076

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. (Pembimbing)
NIP. 196511031990021001
2. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. (Penguji I)
NIP. 196807061999031004
3. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji II)
NIP. 197909262005011001
4. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA. (Penguji III)
NIP. 196508101991021001

SURABAYA
Juli, 2022

APROVAL SHEET

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CELLULOSE ACETATE TO COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL STABILITY AND WEAR RATE ON COMPOSITES OF WOOD POWDER, RICE HUSK AND COCONUT SHELL FOR BRAKE LINING

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtain a Bachelor of Engineering degree at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering S-1
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **RONI SETIAWAN**
NRP. 0211154000076

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. (Advisor)
NIP. 196511031990021001
2. Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T. (Examiner I)
NIP. 196807061999031004
3. Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Examiner II)
NIP. 197909262005011001
4. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA. (Examiner III)
NIP. 196508101991021001

SURABAYA
July, 2022

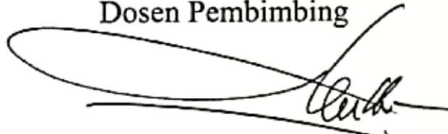
PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Roni Setiawan / 0211154000076
Departemen : Teknik Mesin FT-IRS
Dosen Pembimbing / NIP : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. / 196511031990021001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul
**“Analisa Pengaruh Selulosa Asetat terhadap *Coefficient of Friction*, *Hardness*,
Thermal Stability dan *Wear Rate* pada Komposit Serbuk Kayu, Sekam Padi dan
Tempurung Kelapa untuk Kampas Rem”**
adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.)
NIP. 196511031990021001

Surabaya, ~~27~~ 27 Juli 2022

Mahasiswa,



(Roni Setiawan)
NRP. 0211154000076

STATEMENT OF ORIGINALITY

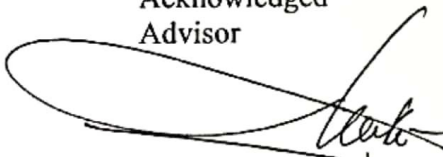
The undersigned below:

Name of student / NRP : Roni Setiawan / 02111540000076
Department : Mechanical Engineering FT-IRS
Advisor / NIP : Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc. / 196511031990021001

hereby declare that the Final Project with the title of
“Analysis of The Effect of Cellulose Acetate to Coefficient of Friction, Hardness, Thermal Stability and Wear Rate on Composites of Wood Powder, Rice Husk and Coconut Shell for Brake Lining”
is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledged
Advisor



(Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.)
NIP. 196511031990021001

Surabaya, 27. July 2022

Student



(Roni Setiawan)
NRP. 02111540000076

ANALISA PENGARUH SELULOSA ASETAT TERHADAP *COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL STABILITY* DAN *WEAR RATE* PADA KOMPOSIT SERBUK KAYU, SEKAM PADI DAN TEMPURUNG KELAPA UNTUK KAMPAS REM

Nama Mahasiswa / NRP : Roni Setiawan / 0211154000076
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pada bidang otomotif sangat berkembang pesat. Performa kendaraan ditunjang dengan sistem pengereman sebagai unsur keamanan dalam berkendara. Pada penelitian sebelumnya tentang analisa laju keausan kampas rem yang terbuat dari komposit sekam padi dan tempurung kelapa, menunjukkan hasil nilai laju keausan yang rendah pada komposisi tertentu. Terdapat kelemahan pada kampas rem tersebut, yaitu ketahanan yang rendah pada temperatur tinggi, Selain itu, masih terdapat beberapa karakteristik dari kampas rem yang belum dilakukan pengujian, yaitu seperti nilai *hardness* dan nilai *wear coefficient*.

Selulosa asetat merupakan serat buatan yang banyak digunakan karena memiliki ketahanan tinggi terhadap panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *hardness*, koefisien gesek, laju keausan dan stabilitas termal pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan serabut kelapa. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat durometer untuk pengujian *hardness*, PASCO untuk pengujian koefisien gesek, tribometer untuk pengujian keausan dan *infrared thermometer* untuk pengujian stabilitas termal. Presentase massa selulosa asetat yang ditambahkan pada spesimen A sebesar 5%, yaitu 1 gram dengan 7 gram resin *epoxy*, pada spesimen B sebesar 10%, yaitu 2 gram dengan 6 gram resin *epoxy*, dan pada spesimen C sebesar 20%, yaitu 4 gram dengan 4 gram resin *epoxy*. Massa bahan penyusun komposit kampas rem adalah 4 gram serbuk kayu, 4 gram sekam padi, 4 gram tempurung kelapa.

Setelah pengujian dilakukan, nilai *hardness* tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 68.5 HS. Nilai *hardness* meningkat seiring dengan presentase penambahan masa selulosa asetat pada spesimen uji. Pada pengujian koefisien gesek, nilai koefisien gesek statis dan kinetis terbesar terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635 dan 0.5564. Nilai koefisien gesek statis dan kinetis meningkat seiring dengan presentase penambahan masa selulosa asetat. Pada pengujian laju keausan, nilai *wear rate* dan *wear coefficient* terendah terdapat pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, yaitu 0.001026 mm³/Nm dan 0.001314. Nilai *wear rate* dan *wear coefficient* meningkat seiring dengan penambahan presentase selulosa asetat. Untuk pengujian stabilitas termal, peningkatan temperatur terendah terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 3.4 °C selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Stabilitas termal akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan selulosa asetat akan meningkatkan nilai *hardness*, nilai koefisien gesek, nilai *wear rate* dan stabilitas termal dari komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa.

Kata kunci: selulosa asetat, koefisien gesek, *hardness*, laju keausan, stabilitas termal

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CELLULOSE ACETATE TO COEFFICIENT OF FRICTION, HARDNESS, THERMAL STABILITY AND WEAR RATE ON COMPOSITES OF WOOD POWDER, RICE HUSK AND COCONUT SHELL FOR BRAKE LINING

Student Name / NRP : Roni Setiawan / 0211154000076
Department : Mechanical Engineering FTIRS – ITS
Advisor : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.

ABSTRACT

The development of technology in the automotive sector is growing rapidly. Vehicle performance is supported by a braking system as an element of safety in driving. In a previous study on the analysis of the wear rate of brake linings made from a composite of rice husks and coconut shells, the results showed that the wear rate values were low for certain compositions. There are weaknesses in the brake lining, namely low resistance at high temperatures. In addition, there are still some characteristics of the brake lining that have not been tested, such as hardness values and wear coefficient values.

Cellulose acetate is an artificial fiber that is widely used because it has high resistance to heat. This study aims to determine the effect of the addition of cellulose acetate on the value of hardness, coefficient of friction, wear rate and thermal stability in the composite of wood powder brake lining, rice husk and coconut fiber. Tests were carried out using a durometer for hardness testing, PASCO for testing the coefficient of friction, a tribometer for testing for wear and an infrared thermometer for testing thermal stability. The mass percentage of cellulose acetate added to specimen A was 5%, i.e. 1 gram with 7 grams of epoxy resin, 10% for specimen B, 2 grams with 6 grams of epoxy resin, and 20% for specimen C, which was 4 grams with 4 grams of epoxy resin. The mass of the components of the brake lining composite is 4 grams of sawdust, 4 grams of rice husks, 4 grams of coconut shell.

After the test was carried out, the highest hardness value was found in specimen C with 20% cellulose acetate, which was 68.5 HS. The hardness value increased along with the percentage addition of cellulose acetate mass to the test specimen. In the friction coefficient test, the largest static and kinetic friction coefficient values were found in specimen C with 20% cellulose acetate, namely 0.6635 and 0.5564. The value of the coefficient of static and kinetic friction increases with the percentage addition of cellulose acetate mass. In the wear rate test, the lowest wear rate and wear coefficient were found in specimen A with 5% cellulose acetate, namely 0.001026 mm³/Nm and 0.001314. The value of wear rate and wear coefficient increases with the addition of the percentage of cellulose acetate. For thermal stability testing, the lowest temperature increase was found in specimen C with 20% cellulose acetate, which was 3.4 oC for 57 minutes of wear testing. Thermal stability will increase along with the percentage addition of cellulose acetate. Based on the research that has been done, it can be concluded that the addition of cellulose acetate will increase the hardness value, friction coefficient value, wear rate value and thermal stability of the non-asbestos brake pad composite of rice husk, wood powder and coconut shell.

Keywords: cellulose acetate, coefficient of friction, hardness, wear rate, thermal stability

KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala nikmat-Nya yang telah diberikan dan sholawat serta salam selalu penulis curahkan kepada junjungan Rasulullah Muhammad shalallahu 'alaihi wassalam atas syafaat yang diberikan untuk seluruh umatnya, sehingga penulis dapat memiliki kesehatan, waktu dan kesempatan dalam menyelesaikan serta menyusun tugas akhir. Melalui kesempatan ini, penulis ingin memberikan ucapan terimakasih yang teramat sangat banyak kepada pihak-pihak yang telah memberi bantuan dan dukungan baik secara moral maupun material dalam proses penyelesaian dan penyusunan tugas akhir, diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Agus Dwi Sudarso dan Ibu Umi Kulsum, serta kakak Yogi Eka Prasetyo dan istri Rokhmawati dan adik Aulia Rismawati dan Rini Putri Wulandari yang telah memberikan dukungan dalam berbagai hal dan bentuk serta doa yang tiada henti dipanjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala agar dipermudahkan dan dilancarkan segala urusan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan ilmu, dukungan, bantuan, nasihat, arahan dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T., Bapak Achmad Syaifudin, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA. selaku dosen penguji dalam sidang Tugas Akhir yang senantiasa bersedia memberikan saran, koreksi dan motivasi kepada penulis.
4. Gabriela Yohana dan keluarga yang telah memberikan dukungan, semangat serta doa kepada penulis.
5. Teman seperjuangan M58 yang telah memberikan banyak cerita, pelajaran dan pengalaman dalam segala hal selama menempuh pendidikan di Teknik Mesin FT-IRS ITS yang akan menjadi bumbu kehidupan penulis.
6. Orang-orang terdekat penulis, seperti tetangga dan saudara yang senantiasa ikut mendukung penulis dalam berbagai hal.
7. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Mesin FT-IRS ITS yang telah memberi bantuan dan kerjasamanya kepada penulis.
8. Yangkung Agus Winarno dan Yangti yang telah bersedia memberikan asuhan dan tempat bernaung kepada penulis pada saat penyelesaian tugas akhir ini.
9. Semua pihak yang tentunya tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis, terima kasih atas segala bentuk bantuannya.

Penulis sadar bahwa penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini tidaklah sempurna. Penulis sadar bahwa penulis tidak dapat menyelesaikannya sendiri tanpa bantuan dan dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Semoga dari Tugas Akhir ini penulis diharapkan dapat memberikan setidaknya sedikit kontribusi untuk menambah wawasan serta pengetahuan kepada pembaca dari kalangan manapun. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi bahan diskusi satu sama lain oleh masyarakat dalam lingkup manapun.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.1.1 Analisa Keausan Kampas Rem <i>Non Asbes</i> Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa	4
2.1.2 Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat <i>Pulp Non Asbestos</i>	4
2.1.3 Pengaruh Serat Pisang <i>Lignoselulosa</i> Pada Stabilitas Termal Bahan Kampas Rem	6
2.2 Teori Gesekan.....	7
2.2.1 Definisi Gaya Gesek.....	7
2.2.2 Jenis-Jenis Gaya Gesek	8
2.3 Teori Keausan.....	8
2.3.1 <i>Adhesive Wear</i>	8
2.3.2 <i>Abrasive Wear</i>	9
2.4 Kampas rem	10
2.5 Jenis Jenis Kampas rem.....	12
2.5.1 Klasifikasi Kampas Rem	12
2.5.2 Karakter Kampas Rem	13
2.6 Komposit	15
2.7 Resin <i>Epoxy</i>	17
2.8 Polimer Selulosa.....	18
2.8.1 Jenis-jenis Selulosa	18
2.8.3 Sifat-sifat selulosa	21
2.8.4 Selulosa Asetat.....	21

2.9 Serbuk kayu.....	22
2.10 Sekam Padi	23
2.11 Tempurung Kelapa	23
2.12 Alat Pengujian	24
2.12.1 Alat Uji PASCO	24
2.12.2 Tribometer	28
2.12.3 <i>Digital Shore Durometer</i>	29
2.12.4 Uji Ketahanan Panas	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Langkah Penelitian	31
3.2.1 Kajian Pustaka	32
3.2.2 Penentuan Parameter	32
3.2.3 Pembuatan Spesimen Uji.....	32
3.2.4 Pengujian Koefisien Gesek (<i>Coefficient of friction</i>).....	36
3.2.5 Pengujian Laju Keausan (<i>Wear Rate</i>).....	37
3.2.6 Pengujian Kekerasan Permukaan (<i>Hardness</i>)	38
3.2.7 Pengujian <i>Thermal Stability</i>	39
3.3 Langkah Kerja Pengujian.....	40
3.3.1 Pengujian Koefisien Gesek	40
3.3.2 Pengujian Laju keausan	40
3.3.3 Pengujian Kekerasan Permukaan	41
3.3.4 Pengujian Ketahanan Panas.....	41
3.4 Desain Eksperimen	41
3.5 Pengambilan Data	42
3.5.1 Pengambilan Data Kekerasan Permukaan	42
3.5.2 Pengambilan Data Koefisien Gesek.....	42
3.5.3 Pengambilan Data <i>Wear Rate</i>	44
3.5.4 Pengambilan Data <i>Thermal Stability</i>	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Pengujian Kekerasan Permukaan (<i>Hardness</i>)	46
4.1.1 Analisa Kekerasan Permukaan pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa.....	46
4.2 Pengujian Koefisien Gesek (<i>Coefficient of Friction</i>)	48

4.2.1 Analisa Koefisien Gesek Statis pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa.....	49
4.2.2 Analisa Koefisien Gesek Kinetis pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa.....	51
4.3 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Kampas Rem Standar dan Kampas Rem Hasil Penelitian Terdahulu	54
4.3.1 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Komposit Kampas Rem 0% Selulosa Asetat	54
4.3.2 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Kampas Rem <i>Asbestos</i>	55
4.4 Pengujian Laju Keausan (<i>Wear Rate</i>)	57
4.4.1 Analisa Laju Keausan pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa.....	58
4.5 Analisa Perbandingan Nilai <i>Wear Rate</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Kampas Rem Standar dan Kampas Rem Hasil Penelitian Terdahulu.....	61
4.5.1 Analisa Perbandingan Nilai <i>Wear Rate</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Komposit Kampas Rem 0% Selulosa Asetat	62
4.5.2 Analisa Perbandingan Nilai <i>Wear Rate</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> Hasil Pengujian dengan Kampas Rem <i>Asbestos</i>	63
4.6 Analisa Stabilitas Termal pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
BIODATA PENULIS	69
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tabel dan Grafik Data Hasil Percobaan.....	4
Gambar 2.2. Kampas Rem Cakram Serat Pulp Mesin Rekayasa.....	5
Gambar 2.3 Spesimen Uji Kampas Rem yang Terbuat dari Ligno-Selulosa	6
Gambar 2.4 Grafik Hasil Data Pengujian Kampas Rem yang Terbuat dari Ligno-Selulosa Serat Pisang	6
Gambar 2.5 <i>Free Body Diagram</i> Gaya Gesek pada Benda	7
Gambar 2.6 <i>Adhesive Wear</i>	9
Gambar 2.7 <i>Abrasive wear</i>	10
Gambar 2.8 Kampas Rem Jenis Tromol.....	11
Gambar 2.9 Ilustrasi Sistem Pengereman pada Cakram	11
Gambar 2.10 Kampas Rem Cakram pada Sepeda Motor.....	11
Gambar 2.11 Komposit Berpenguat Partikel	16
Gambar 2.12 Komposit Berpenguat Serat.....	16
Gambar 2.13 Komposit Berpenguat Struktur	16
Gambar 2.14 <i>Resin Epoxy</i>	17
Gambar 2.15 Rumus Molekul Selulosa	18
Gambar 2.16 Struktur Ikatan Kimia Selulosa α	18
Gambar 2.17 Struktur Ikatan Kimia Selulosa β	19
Gambar 2.18 Struktur Kimia Selulosa.....	20
Gambar 2.19 Model Fibril Struktur Supramolekul Selulosa	20
Gambar 2.20 Selulosa Asetat dari Busa Filter Rokok	21
Gambar 2.21 Serbuk Kayu Jati	22
Gambar 2.22 Sekam Padi Bakar	23
Gambar 2.23 Serbuk Tempurung Kelapa.....	24
Gambar 2.24 <i>Motion Sensor (PASCO PS-2103A)</i>	25
Gambar 2.25 Spesifikasi <i>Motion Sensor (PASCO PS-2103A)</i>	25
Gambar 2.26 <i>Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor (PS-2189)</i>	26
Gambar 2.27 Spesifikasi <i>Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor</i>	26
Gambar 2.28 <i>Universal Interface (UI-5001)</i>	27
Gambar 2.29 Spesifikasi <i>Universal Interface (UI-5001)</i>	27
Gambar 2.30 <i>PASCO Capstone Software</i>	28
Gambar 2.31 Tribometer <i>Pin on Disc</i>	29
Gambar 2.32 Durometer <i>Shore D</i>	29
Gambar 2.33 Termometer Inframerah	30
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 Serabut Selulosa Asetat dari Busa Filter Rokok	33
Gambar 3.3 Sekam Padi, Serbuk Kayu, Serbuk Tempurung Kelapa dan Resin <i>Epoxy</i>	33
Gambar 3.4 Timbangan Digital	34
Gambar 3.5 Proses Pengeringan Spesimen Uji dalam Cetakan	35
Gambar 3.6 Spesimen Uji A, B dan C.....	35
Gambar 3.7 Spesimen Uji Kampas Rem	36
Gambar 3.8 Lintasan Gesek Pengujian Koefisien Gesek.....	37
Gambar 3.9 Instalasi Alat Uji Koefisien Gesek	37
Gambar 3.10 Material Pembebanan pada Spesimen Uji Koefisien Gesek	37
Gambar 3.11 Alat Uji Laju Keausan Tribometer	38
Gambar 3.12 Alat uji kekerasan permukaan.....	38

Gambar 3.13 Pengukuran Temperatur Spesimen Uji Laju Keausan	39
Gambar 3.14 Pengukuran Temperatur Menggunakan <i>Infrared Thermometer</i>	39
Gambar 3.15 Grafik <i>Force</i> Pengujian Koefisien Gesek Spesimen A	43
Gambar 3.16 Grafik <i>Force</i> Pengujian Koefisien Gesek Spesimen B.....	43
Gambar 3.17 Grafik <i>Force</i> Pengujian Koefisien Gesek Spesimen C.....	43
Gambar 3.18 Pengujian <i>Wear Rate</i> dengan Alat Uji Tribometer	44
Gambar 3.19 Disc Tribometer ASTM A36.....	44
Gambar 4.1 Grafik Pengujian <i>Hardness</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	46
Gambar 4.2 Grafik Pengujian <i>Hardness</i> Rata-rata Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	47
Gambar 4.3 Grafik Gaya Gesek Statis (F_s) Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	49
Gambar 4.4 Grafik Koefisien Gesek Statis (μ_s) Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	50
Gambar 4.5 Grafik Gaya Gesek Kinetis (F_k) Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	51
Gambar 4.6 Grafik Koefisien Gesek Kinetis (μ_k) Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> .	53
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> 0%, 5%, 10% dan 20% Selulosa Asetat	55
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> dan Kampas Rem <i>Asbestos</i>	56
Gambar 4.9 Grafik Keausan Material ΔV (mm^3) Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> ..	58
Gambar 4.10 Grafik <i>Wear Rate</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	59
Gambar 4.11 Grafik <i>Wear Coefficient</i> Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i>	60
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> 0%, 5%, 10% dan 20% Selulosa Asetat	62
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan <i>Wear Rate</i> Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> dan Kampas Rem <i>Asbestos</i>	63
Gambar 4.14 Grafik Pengujian Stabilitas Termal Komposit Kampas Rem <i>Non-Asbestos</i> .	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Uji Produk Kampas Rem	5
Tabel 2. 2 Material Properties Resin <i>Epoxy</i> (<i>www.matweb.com</i>)	17
Tabel 3.1 Komponen Penyusun Komposit.....	32
Tabel 3.2 Variabel dalam Penelitian	41
Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan (<i>Hardness</i>).....	42
Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek	43
Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian <i>Wear Rate</i>	45
Tabel 3.6 Data Hasil Pengukuran Temperatur	45
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan (<i>Hardness</i>).....	46
Tabel 4.2 Data Nilai <i>Force</i> Rata-rata pada Pengujian Koefisien Gesek	48
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek	48
Tabel 4.4 Tabel Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek Kinetis.....	54
Tabel 4.5 Data Perhitungan ΔV pada Pengujian Laju Keausan	57
Tabel 4.6 Perhitungan Data <i>Wear Rate</i>	57
Tabel 4.7 Data Perhitungan <i>Wear Coefficient</i>	57
Tabel 4.8 Tabel Data Hasil Pengujian <i>Wear Rate</i>	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini perkembangan dunia teknologi di bidang otomotif telah meningkat secara pesat dengan tujuan untuk menciptakan performa yang baik. Tak terkecuali dibutuhkannya sistem pengereman yang baik pula untuk menunjang performa mesin serta sebagai unsur keamanan dalam berkendara. Di Indonesia, kegagalan sistem pengereman menjadi penyebab terbesar terjadinya kecelakaan lalu lintas. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya data kecelakaan lalu lintas di Indonesia sepanjang tahun 1992-2017 yang telah disusun oleh Badan Pusat Statistik pada tahun 2018. Pada data tersebut, terdapat dua faktor utama yang menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas. Telah tercatat, kecelakaan lalu lintas yang terjadi sepanjang tahun 1992-2017 di Indonesia 35% disebabkan karena faktor manusia yang lalai saat berkendara dan 31% disebabkan karena faktor kendaraan yang mengalami kegagalan pada sistem pengereman. (Badan Pusat Statistik, 2018)

Sistem pengereman yang baik harus disertai dengan bahan dari kampas rem yang tepat. Dalam sistem pengereman, kampas rem merupakan salah satu komponen penting yang berperan sebagai media untuk memperlambat atau mengurangi kecepatan laju kendaraan. Terdapat berbagai jenis kampas rem yang digunakan pada kendaraan, yaitu kampas rem *semi-metalic*, kampas rem tipe *non-asbes* organik, kampas rem tipe *non-asbes* organik ber-*metal* rendah, dan kampas rem keramik. Masing-masing dari jenis kampas rem tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan. Seperti kampas rem yang terbuat dari bahan organik memiliki harga yang relatif lebih rendah dari kampas rem berbahan dasar lainnya, namun memiliki ketahanan terhadap panas yang lebih rendah daripada kampas rem berbahan dasar *metalic* ataupun keramik. Tentunya penggunaan material kampas rem berbahan organik saat ini lebih direkomendasikan, selain karena bahan yang melimpah mudah didapat, residu yang dihasilkan dari proses pengereman menggunakan bahan organik tidak menimbulkan bahaya bagi pernafasan manusia dan lingkungan di sekitarnya. (Syawaluddin, 2008)

Kampas rem sendiri secara umum terdiri dari beberapa komponen diantaranya, bahan pengisi (*filler*), serat alami atau buatan (*friction additive*) dan bahan pengikat. Bahan pengisi atau *filler* digunakan untuk mengurangi berat dari komponen kampas rem, mengurangi biaya produksi, serta untuk menambah fleksibilitas desain komposit. Bahan serat digunakan untuk meningkatkan koefisien gesek dan kekuatan mekanik dari komponen kampas rem. Bahan penguat atau serat terdiri dari serat buatan dan serat alami. Serat buatan yang biasanya digunakan untuk bahan kampas rem misalnya nilon, Cu-Zn, Al, karbon, *rockwool* dan serat gelas. Serat alami yang sering digunakan sebagai penguat yaitu serat yang sifatnya alami misalnya bambu, rami, tempurung kelapa, tongkol jagung dan bahan serat alami lainnya. Serat alami digunakan sebagai bahan dari pembuatan kampas rem *non-asbestos*. Bahan pengikat terdiri dari berbagai jenis resin diantaranya *phenolic*, *epoxy*, *polyester*, *silicone* dan *rubber*. Bahan pengikat berfungsi untuk mengikat berbagai zat penyusun didalam friksi kampas rem. (Suhardiman, 2008)

Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suhardiman dan Mukmin Syaputra dalam jurnalnya yang berjudul "Analisa Keausan Kampas Rem *Non Asbes* Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa". Eksperimen yang dilakukan pada jurnal tersebut, dihasilkan kampas rem yang memiliki tingkat koefisien gesek yang tinggi dan nilai keausan yang rendah. Namun kampas rem tersebut memiliki ketahanan terhadap panas yang relatif rendah untuk standar kampas rem pada umumnya.

Kelemahan utama dari kampas rem *non-asbestos* adalah ketahanan terhadap panas yang rendah. Untuk menanggulangi hal tersebut perlu ditambahkan bahan material yang mampu membuat kampas rem tahan terhadap panas sehingga akan menjadi kampas rem dengan ketahanan panas yang tinggi.(Suhardiman, 2008)

Serat sintetis yang memiliki ketahanan yang tinggi terhadap panas salah satunya adalah polimer selulosa. Polimer selulosa telah banyak digunakan dalam bidang industri, sebagai bahan baku plastik dan membran. Pada jurnal yang dibuat oleh Haroen Wawan Kartiwa dengan judul “Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat *Pulp Non Asbestos*” menjelaskan bahwa penggunaan selulosa sebagai polimer yang terbuat dari *pulp* tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap panas pada friksi kampas rem. Oleh karena itu, dengan menambahkan polimer selulosa sebagai bahan serat sintetis pada kampas rem dapat meningkatkan daya tahan terhadap panas.(Haroen, 2017)

Berdasarkan dari data BPS pada tahun 2018 serta penelitian sebelumnya terkait kampas rem, didapatkan acuan atau pedoman sebagai latar belakang penyusunan penelitian ini. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisa terkait pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap komposit kampas rem. Komposit kampas rem yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari serbuk kayu sebagai *filler*, tempurung kelapa dan sekam padi sebagai serat alami, dan serat buatan selulosa asetat sebagai penguat. Kampas rem tersebut akan dianalisa dengan beberapa pengujian untuk menentukan nilai *hardness*, koefisien gesek, laju keausan dan stabilitas termal. Standar spesimen uji pada penelitian ini akan berpedoman pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sebagai referensi penentuan dimensi dan komposisi. Metode pengujian pada penelitian ini akan dilakukan sesuai standar pengujian yang telah ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *hardness* pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa?
2. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *static coefficient of friction* dan *kinetic coefficient of friction* pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa?
3. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *wear rate* pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa?
4. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap *thermal stability* pada komposit kampas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan.
2. Beban yang digunakan konstan.
3. Bahan penyusun komposit dianggap tercampur secara merata.
4. Sudut pengujian kekerasan permukaan sama.
5. Kesalahan operasional dianggap *minimum*.
6. Alat ukur pengujian telah terkalibrasi dengan baik.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *hardness* pada komposit kanvas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa.
2. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *static coefficient of friction* dan *kinetic coefficient of friction* pada komposit kanvas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa.
3. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *wear rate* pada komposit kanvas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa.
4. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa asetat terhadap nilai *thermal stability* pada komposit kanvas rem serbuk kayu, sekam padi dan tempurung kelapa.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat mengetahui pengaruh polimer selulosa asetat terhadap sifat mekanik dari komposit kanvas rem *non-asbestos*. Diharapkan kedepannya, penelitian ini dapat digunakan sebagai tinjauan serta acuan untuk didapatkannya kanvas rem yang memiliki standarisasi yang paling baik dan memiliki performa yang maksimal.

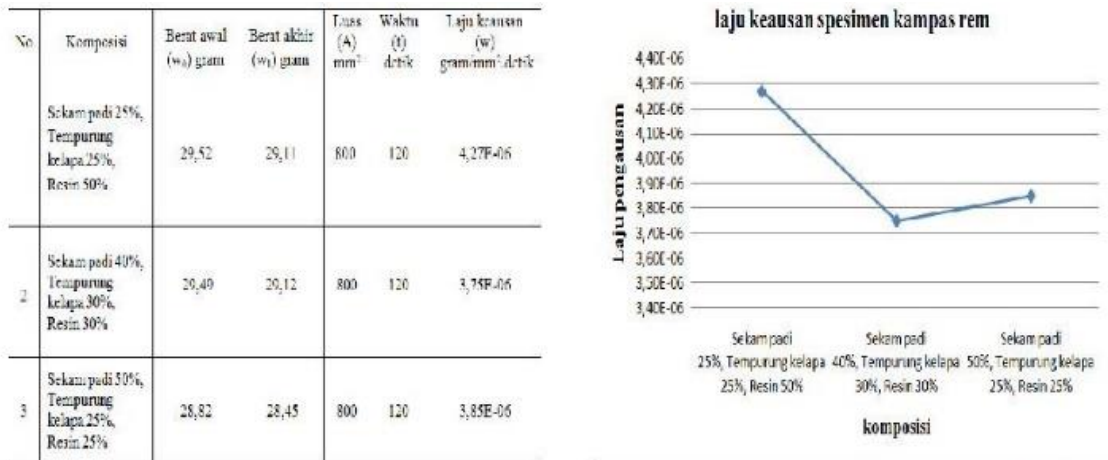
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian dan percobaan ini dilakukan dengan meninjau penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan sebelumnya.

2.1.1 Analisa Keausan Kampas Rem *Non Asbes* Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suhardiman dan Mukmin Syaputra dalam jurnalnya, eksperimen yang dilakukan menghasilkan data sebagai berikut:



Gambar 2.1 Tabel dan Grafik Data Hasil Percobaan

Dari data hasil percobaan yang dilakukan, nilai keausan tertinggi didapatkan dengan komposisi komposisi sekam padi 50%, tempurung kelapa 25%, resin 25%, dengan nilai $4,27 \times 10^{-6}$ gram/mm².detik, Sedangkan untuk komposisi sekam padi 40%, tempurung kelapa 30%, resin 30% memiliki nilai keausan terendah, yaitu $3,75 \times 10^{-6}$ gram/mm².detik.. Pada komposisi yang tepat dapat dihasilkan juga tingkat koefisien gesek yang tinggi dan nilai keausan yang rendah. Pada komposisi material kampas rem tidak ada bahan penyusun yang bersifat sebagai *filler*, sehingga komposit kampas rem mudah hancur pada kondisi tertentu. Selain itu, komposisi material kampas rem tersebut memiliki ketahanan terhadap panas yang rendah sebagaimana kampas rem *non asbestos* pada umumnya. (Suhardiman, 2008)

2.1.2 Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat *Pulp Non Asbestos*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Haroen Wawan Kartiwa, dengan penggunaan selulosa pada kampas rem sebagai serat *non asbestos* yang terbuat dari *pulp* tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan terhadap panas pada friksi kampas rem. Dengan karakteristik selulosa yang memiliki ketahanan terhadap panas yang tinggi sebagai serat *non-asbestos*, penambahan material ini kedalam komposit kampas rem akan meningkatkan performanya.



Gambar 2.2. Kampas Rem Cakram Serat Pulp Mesin ReKayasa

Pengujian fisik hasil pencetakan kampas rem dari mesin pencetak ini dilakukan terhadap tingkat kekerasan, daya gesek, kekuatan gesek dan koefisien gesek dan suhu pengereman dilaboratorium uji otomotif B4T dan analisa SEM di PPTM. Gambar diatas adalah kampas rem cakram hadil mesin pencetak dengan bahan material selulosa asetat yang terbuat dari serat pulp tandan kosong. Hasil dari pengujian material kampas rem ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Hasil Uji Produk Kampas Rem

Pengujian Tahap	Suhu Pengereman (°C)	Daya Gesek (N)	Kekuatan Gesek (N)	Koefisien Gesek
1	67	587	256	0.49
5	68	518	291	0.47
10	92	564	274	0.49
15	91	549	289	0.53
20	92	540	293	0.53

Kampas rem yang diuji memiliki kisaran tingkat kekerasan permukaan sebesar 7,0 – 8,0 HR. Pengujian dilakukan pada tahap pertama memiliki suhu pengereman 67 °C, memiliki daya gesek 587 N dengan kekuatan gesek 256 N pada tingkat kekerasan 0,49. Kemudian dilanjutkan pada tahapan pengereman secara bertahap sampai pengereman ke 20 dan diperoleh suhu pengereman mencapai 92 °C, memiliki daya gesek 540 N dengan kekuatan gesek 293 N. Berdasarkan data yang diperoleh menunjukkan bahwa kampas rem yang dihasilkan dapat memenuhi kriteria kampas rem standar. Kesimpulan dari hasil pengujian produk kampas rem yang dihasilkan dari alat ini dapat memenuhi standar kampas rem kendaraan roda dua dan roda empat dengan nilai daya gesek 293-319 N, koefisien gesek 0,47-0,53, suhu pengereman 70-110°C dengan tingkat kekerasan 7,0-8,0 HR.

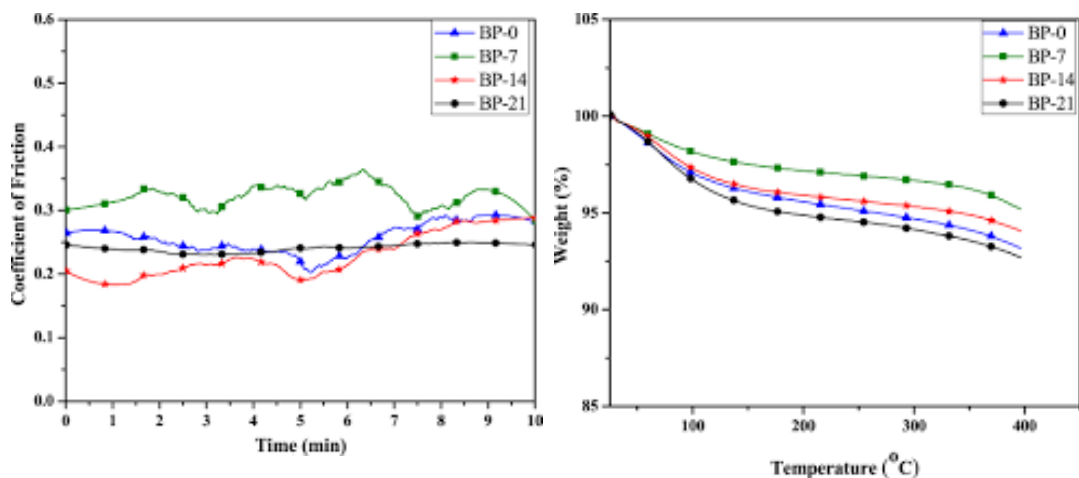
2.1.3 Pengaruh Serat Pisang *Lignoselulosa* Pada Stabilitas Termal Bahan Kampas Rem

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Masrat Bashir, Adnan Qayoum dan Sheikh Shahid Saleem, prinsip dasar sistem pengereman adalah memberikan tahanan gesek pada mesin yang bergerak. Selama aplikasi rem, panas gesekan dihasilkan, yang dapat menyebabkan banyak efek buruk pada rakitan rem seperti rem pudar dan aus. Pengikat adalah salah satu elemen penting di antara semua elemen bantalan rem karena menjaga integritas structural bantalan. Pada suhu tinggi, pengikat terurai karena ketahanan termal yang buruk. Jenis bahan pengikat dan kuantitasnya dalam pembuatan kampas rem sangat penting dalam mengatasi terjadinya penguraian.



Gambar 2.3 Spesimen Uji Kampas Rem yang Terbuat dari Ligno-Selulosa

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sampel bantalan rem resin *phenolic* yang diperkuat dengan serat pisang *ligno selulosa*, yang dapat menahan rem blong dan memiliki stabilitas termal yang tinggi. Empat sampel bantalan rem berbeda BP-0, BP-7, BP-14 dan BP-21, dengan jumlah relatif berbeda dari resin *phenolic* dan serat pisang diformulasikan dan diuji pada pin pada tribometer cakram. Uji gesekan dilakukan pada suhu tinggi dan pembebanan tinggi. Stabilitas termal sampel diperiksa dengan teknik TGA dan DSC.



Gambar 2.4 Grafik Hasil Data Pengujian Kampas Rem yang Terbuat dari Ligno-Selulosa Serat Pisang

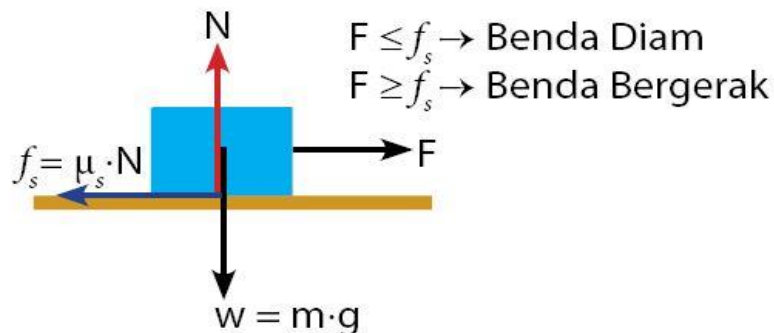
Pada grafik hasil pengujian kanvas rem yang terbuat dari ligno-selulosa serat pisang didapatkan nilai dari koefisien gesek yang tinggi pada spesimen BP-7 dengan kadar 7% serat pisang dan 28% resin *phenoli*. Hasil dari uji stabilitas termal yang dilakukan menunjukkan bahwa komposisi spesimen BP-7 yang terdiri dari 7% serat pisang dan 28% resin *phenolic* memiliki peningkatan substansial dalam gesekan, pudar dan peningkatan stabilitas termal untuk sampel pengujian dibawah suhu tinggi dan pemuatan tinggi. (Bashir, 2019)

2.2 Teori Gesekan

Berikut adalah tinjauan pustaka dari teori gesekan yang akan dijadikan sebagai acuan materi pada penelitian ini:

2.2.1 Definisi Gaya Gesek

Gaya gesek selalu bekerja pada permukaan benda padat yang saling bersentuhan, sekalipun benda tersebut sangat licin. Permukaan benda yang sangat licin pun sebenarnya sangat kasar dalam skala mikroskopis. Ketika sebuah benda bergerak, tonjolan-tonjolan mikroskopis ini mengganggu gerak tersebut. Pada tingkat atom, sebuah tonjolan pada permukaan menyebabkan atom-atom sangat dekat dengan permukaan lainnya, sehingga gaya-gaya listrik di antara atom dapat membentuk ikatan kimia, sebagai penyatu di antara dua permukaan benda yang bergerak. Ketika sebuah benda bergerak, misalnya gerakan anda mendorong sebuah buku pada permukaan meja, gerakan buku tersebut mengalami hambatan dan akhirnya berhenti. Hal ini disebabkan karena terjadi pembentukan dan pelepasan ikatan tersebut (Giancoli, 2001).



Gambar 2.5 Free Body Diagram Gaya Gesek pada Benda

Jika permukaan suatu benda bergesekan dengan permukaan benda lain, masing-masing benda tersebut mengerjakan gaya gesek antara satu dengan yang lain. Gaya gesek pada benda yang bergerak selalu berlawanan arah dengan arah gerakan benda tersebut. Selain menghambat gerak benda, gesekan dapat menimbulkan aus dan kerusakan. Hal ini dapat kita amati pada mesin kendaraan. Misalnya kita memberikan minyak pelumas pada mesin sepeda motor, sebenarnya kita ingin mengurangi gaya gesekan yang terjadi di dalam mesin. Jika tidak diberi minyak pelumas maka mesin kendaraan kita cepat rusak. Contoh ini merupakan salah satu kerugian yang disebabkan oleh gaya gesek (Giancoli, 2001).

Terdapat dua jenis gaya gesek yakni gaya gesek statis (f_s) dan gaya gesek kinetis (f_k). Gaya gesek statis bekerja gerakan benda belum bergerak sedangkan gaya gesek kinetis bekerja gerakan benda sedang bergerak. Jika anda mendorong sebuah meja

tetapi meja belum bergerak maka gaya gesek yang bekerja pada meja yang sedang diam adalah gaya gesek statis. Sebaliknya gerakan meja sedang bergerak, gaya gesek yang bekerja pada meja adalah gaya gesek kinetis. Apabila meja yang sedang bergerak tidak tetap didorong, meja akan berhenti setelah bergerak beberapa saat. Meja berhenti akibat adanya gaya gesek kinetis yang menghambat gerakan meja (Tipler, 2001).

Gaya gesek adalah gaya yang bekerja pada dua permukaan yang saling bersentuhan dan arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.

2.2.2 Jenis-Jenis Gaya Gesek

Secara umum gaya gesek dibagi menjadi dua, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

1. Gaya gesek statis (f_s)

Gaya gesek statis adalah gaya gesek yang bekerja pada benda ketika benda diam. Gaya gesek statik maksimum adalah gaya terkecil yang dibutuhkan agar benda mulai bergerak. Gaya gesek statik maksimum:

- a. Tidak tergantung luas daerah kontak
- b. Sebanding dengan gaya normal. Gaya normal muncul akibat deformasi elastik benda-benda yang bersinggungan. $f_s \leq \mu_s \cdot N$

$$f_s = \mu_s \times N \quad (1)$$

2. Gaya gesek kinetis (f_k)

Gaya gesek kinetis adalah gaya gesek yang bekerja pada benda ketika benda bergerak. Besar gaya gesek kinetis lebih kecil daripada gaya gesek statis maksimum. $f_k \leq f_s$ maksimum

$$f_k = \mu_k \times N \quad (2)$$

2.3 Teori Keausan

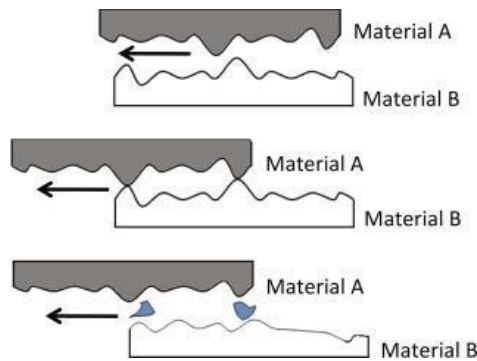
Dalam jurnal penelitian oleh Yanto Nurdiansyah, gesekan dan keausan memiliki satu fitur umum, yaitu kompleksitas. Dalam prakteknya keausan dapat dibagi menjadi empat kelas umum yang luas yaitu, *adhesive wear*, *surface fatigue wear*, *abrasive wear*, dan *chemical wear*. Keausan biasanya dikaitkan dengan hilangnya material dari benda yang berkontak dalam gerakan relative. Hal itu dikendalikan oleh sifat-sifat material, kondisi lingkungan dan operasi serta geometri benda-benda yang bersentuhan. Sebagai faktor tambahan yang mempengaruhi keausan beberapa bahan, terutama polimer organik tertentu, gerak *relative kinematic* dalam zona kontak juga harus disebutkan. Dua kelompok mekanisme keausan dapat diidentifikasi sebagai berikut. Yang pertama terdiri dari yang didominasi oleh perilaku mekanik bahan dan yang kedua terdiri dari yang didefinisikan oleh sifat kimiawi bahan. Hampir setiap situasi dimungkinkan untuk mengidentifikasi mekanisme keausan utama, biasanya ditentukan oleh sifat mekanik dan stabilitas kimia material, suhu dalam zona kontak dan kondisi operasi. (Nurdiansyah, 2011)

2.3.1 Adhesive Wear

Adhesive wear selalu dikaitkan dengan pembentukan adhesive junctions di permukaan. Untuk sambungan perekat yang akan dibentuk, permukaan yang berinteraksi harus dalam kontak yang sangat rekat. Kekuatan ini sangat bergantung

pada sifat *psychochemical* dari permukaan kontak. Berikut merupakan beberapa langkah formasi untuk *adhesive wear particles* yang dapat diidentifikasi. (Rafsanjani, 2021)

- i. Deformasi dari *asperities* yang berkontak
- ii. Pelepasan dari lapisan permukaan
- iii. Pembentukan dari *adhesive junction*
- iv. Kerusakan dari *junction* dan transfer material
- v. Modifikasi dari fragmen yang ditransfer
- vi. Penghilangan dari fragmen yang ditransfer dan pembentukan dari *loose wear particles*



Gambar 2.6 Adhesive Wear

Volume keausan dari material yang hilang akibat *adhesive wear* dapat dituliskan dengan rumus dari Archad.

$$Va = k \frac{W}{H} L \quad (3)$$

Dimana:

V = *volume* laju keausan

k = *wear coefficient*

L = *sliding distance*

H = *hardness of the softer material in contact*

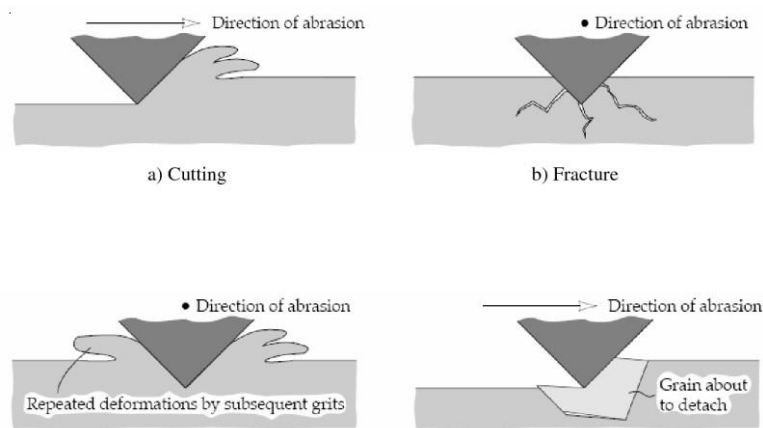
W = *load*

Adhesive wear terpengaruh dari beberapa karakteristik parameter dari benda yang berkontak

- i. *Electronic structure*
- ii. *Crystal structure*
- iii. *Crystal orientation*
- iv. *Cohesive strength*

2.3.2 Abrasive Wear

Abrasive wear adalah keausan yang sangat umum terjadi, keausan *abrasive* terjadi ketika dua permukaan berinteraksi langsung secara fisik dan satu dari mereka jauh lebih keras dibandingkan dengan yang lainnya. Dibawah pengaruh dari beban normal, kekasaran permukaan yang lebih keras menembus permukaan benda yang lebih lunak sehingga menimbulkan deformasi plastis. Ketika gaya tangensial diberikan, material hilang dari permukaan benda yang lebih lunak dengan mengombinasikan antara *micro ploughing* dan *micro cutting*. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.7 *Abrasive wear*

Jumlah material yang hilang dari *abrasive wear* dapat dituliskan sebagai.

$$V_{abr} = \frac{2 \tan \theta}{\pi H} WL \quad (4)$$

Dari kasus *abrasive wear* ada beberapa hubungan antara material *properties* dan *wear resistance*

- i. Ada proporsionalitas langsung antara *relative wear resistance* dan the *Vickers hardness*, dalam hal ini logam murni dalam keadaan *annealed*
- ii. *Relative wear resistance* dari material *metal* tidak bergantung pada kekerasan yang diperoleh dari *cold work hardening* dengan deformasi plastis
- iii. *Heat treatment* dari baja biasanya meningkatkan resistansi mereka dari *abrasive wear*
- iv. Ada hubungan linier antara wear resistance dan *hardness* dari material *non metal* yang keras

2.4 Kampas rem

Pemanfaatan gaya gesek dalam kehidupan sehari-hari sangat beragam, salah satunya adalah penerapan gaya gesek dalam sistem pengereman pada kendaraan. Gaya gesek dalam sistem pengereman kendaraan terjadi pada kampas rem. Kampas rem merupakan bagian dari suatu sistem pengereman yang berfungsi untuk mengurangi laju kendaraan. Terdapat berbagai jenis kampas rem yang digunakan pada kendaraan yang dibedakan berdasarkan material penyusunnya. Sistem kerja dari kampas rem sendiri adalah dengan memanfaatkan gaya gesek dari material komposit yang berkontak langsung dengan cakram atau tromol pada roda kendaraan.

Saat ini tentunya mayoritas kendaraan menggunakan sistem pengereman dengan cakram untuk roda depan dan sistem pengereman tromol untuk roda belakang. Dalam hal ini kampas rem dibuat dari bahan yang lebih lunak dan lebih cepat aus dibandingkan dengan bidang kontakannya seperti halnya ban. Hal tersebut terjadi karena biaya penggantian kampas rem lebih rendah dibandingkan dengan bidang kontakannya seperti halnya ban. Selain biayanya yang lebih rendah, penggantian kampas rem kendaraan juga lebih mudah dilakukan daripada mengganti bidang kontakannya seperti cakram atau velg.

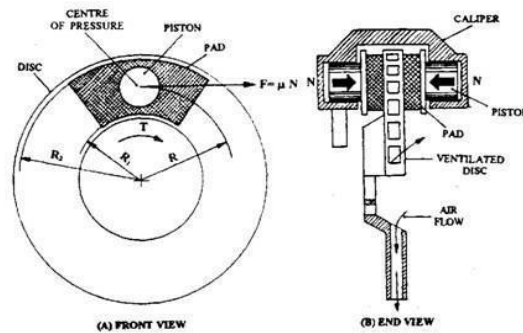
Berikut merupakan konsep dari mekanisme pengereman dan beberapa gambar kampas rem kendaraan bermotor.



Gambar 2.8 Kampas Rem Jenis Tromol



Gambar 2.9 Ilustrasi Sistem Pengereman pada Cakram



Gambar 2.10 Kampas Rem Cakram pada Sepeda Motor

Pada awalnya, sistem pengereman berupa sistem yang sangat simpel dari sebuah blok kayu yang bergesekan dengan roda. Metode ini sangat efektif untuk roda berbingkai baja dengan penarik kuda dan juga mesin bertenaga uap. Sistem pengereman ini dapat menghentikan laju kendaraan 10-20 mph. Tetapi ketika Michelin bersaudara mengenalkan ban karet pada akhir tahun 1890-an, roda berbingkai baja mulai ditinggalkan, begitu juga dengan sistem pengereman dengan blok kayu.

Kemudian di tahun 1902 *mechanical drum brake* atau biasa kita kenal dengan sistem pengereman tromol dikenalkan oleh Louis Renault, seorang yang berkebangsaan Perancis dan salah satu pelopor di industri kendaraan bermotor. Konsep pengereman dengan sistem tromol atau drum brake awalnya dikenalkan oleh Gottlieb Daimler pada tahun 1899. Sebuah *cable-wrapped drum* diletakkan pada *chassis* kendaraan untuk menghentikan momentum dari pergerakan roda kendaraan. Pada tahun 1901, Wilhelm Maybach mendesain Mercedes pertama dengan mekanisme pengereman tromol yang simpel. Tetapi Louis Renault lah yang memiliki penghargaan tentang penemuan sistem pengereman tromol.

Pada tahun 1918, Malcolm Loughead (yang kemudian mengganti namanya dengan Lockheed di tahun 1926) membeberkan konsep dari sistem pengereman *hidrolic* pada keempat roda kendaraan. Menggunakan pipa dan silinder, Lockheed menggunakan *fluida* untuk mentransfer gaya ke kampas rem ketika pedal di tekan. Sistem pengereman *hidrolic* pertama ditetapkan ke empat roda dari mobil Model A Duesenberg pada tahun 1921. Tetapi muncul masalah kebocoran *fluida*, kemudian para teknisi dari Maxwell Motor Corporation memproduksi *rubber cup seals* untuk mengatasi masalah tersebut.

Disc brake telah ditemukan satu decade sebelum menjadi populer. Pada tahun 1898, Elmer Ambrose Sperry mendesain sebuah mobil listrik dengan *disc brake* pada roda depan yang dibangun oleh Cleveland Machine Screw Co. *Disc brake* bekerja layaknya sistem pengereman sepeda, ketika kaliper dengan *brake pad* menjepit *disc* atau rotor. Tetapi William Lanchester, seorang teknisi dari Inggris yang mematenkan ide ini pada tahun 1902. Pada tahun 1960-an, banyak perusahaan manufaktur di seluruh dunia mulai mengganti *drum brake* dengan *disc brake*. Beberapa perusahaan yang pertama mengaplikasikannya di negara mereka adalah Italy's Lancia di tahun 1960, Germany's Mercedes-Benz di tahun 1961, France's Renault di 1962, Japan's Nissan di tahun 1965 dan Sweden's Volvo di tahun 1966. (Rafsanjani, 2021)

2.5 Jenis Jenis Kampas rem

Seiring dengan berkembangnya teknologi dalam bidang otomotif, khususnya pada perkembangan sistem pengereman. Terdapat beberapa tipe dari kampas rem menurut material penyusunnya. (Rafsanjani, 2021)

2.5.1 Klasifikasi Kampas Rem

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

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.

2.5.2 Karakter Kampas Rem

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. Jenis kampas rem menurut karakternya yaitu kampas rem organik, kampas rem logam dan kampas rem keramik. (Rafsanjani, 2021)

Berikut keuntungan dan kerugian kampas rem menurut karakteristiknya:

1. Organik (*Non-Asbestos*)

Kampas rem jenis ini secara umum terbuat dari material organik seperti *fiber*, kaca, karet dan kevlar. Kampas rem jenis ini cukup senyap, tetapi dapat aus dengan cepat dan menghasilkan banyak sekali debu.

Pada kampas rem non asbestos, sebagai pengganti komposisi asbestos adalah bahan *friction additive* untuk mengisi komposisi utama kampas rem dan *filler* untuk mengisi ruang kosong. Lalu penggunaan Resin, serpihan logam, karet sintesis dan keramik sebagai bantalan tahan aus. Kampas rem *non asbestos* akan *fading* pada temperatur yang cukup tinggi yaitu 300°C, hal ini dikarenakan tidak adanya kandungan *asbestos* yang tidak tahan terhadap temperatur diatas 200°C. Karena kampas ini mempunyai komposisi *friction additive* yang lebih banyak, maka ketika terkena air masih memiliki koefisien gesekan yang tinggi.

- Karakter kampas rem organik (*non asbestos*)

1. Nilai dari koefisien gesek 0,33-0,4
2. Daya pencengkaman baik pada temperatur dibawah 200°C
3. Berdebu
4. Tingkat keausannya tinggi
5. Kebisingan dan kekasarannya baik

- Kelebihan kampas rem organik (*non asbestos*)

1. Mudah mencengkram piringan rem
2. Tidak memerlukan pemanasan untuk menghasilkan daya pengereman
3. Digunakan untuk kendaraan perkotaan

- Kekurangan kampas rem organik (*non asbestos*)

1. Bekerja pada *range* suhu tertentu
2. Lebih cepat aus
3. Kehilangan daya gesekan saat *overheat*

2. *Semi Metallic*

Kampas rem jenis ini terbuat dari 30%-65% *metal* dan sangat bertahan lama. Tetapi kampas rem jenis ini tidak bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah. Selain itu kampas rem jenis ini juga relatif lebih murah serta mudah untuk rotor daripada kampas rem keramik.

- Karakter kampas rem semi Logam (*semi-metalic*)

1. Nilai dari koefisien gesek 0,28-0,38
2. Kekerasan lebih baik daripada kampa rem organik
3. Keausan buruk pada temperatur rendah kurang dari 100°C
4. Keausan baik pada temperatur lebih dari 200°C
5. Keausan buruk pada kecepatan tinggi

- Kelebihan kampas rem semi Logam (*semi-metalic*)

1. Memiliki daya pengereman yang lebih besar dibandingkan kampas rem organik
2. Tahan terhadap temperatur tinggi
3. Memiliki daya cengkram yang baik di temperatur rendah

- Kekurangan kampas rem semi Logam (*semi-metalic*)

1. *Bissing* daripada kampas rem organik
2. Memiliki debu yang lebih pekat
3. Lebih keras, berpotensi mengurangi ketebalan piringan rem

3. Ceramic (*asbestos*)

Pada umumnya 60% material dari komposisi kampas rem ini adalah *asbestos* sebagai serat utama pembuatan kampas rem, *resin*, *friction aditive*, *filler*, serpihan logam, karet sintesis dan keramik sebagai bantalan tahan aus. Kampas rem *asbestos* akan *fading* pada temperatur 200°C, ini disebabkan karena faktor kandungan resin yang tinggi pada *asbestos* sehingga pada temperatur tinggi kampas rem cenderung licin (*glazing*) dan mengeras, juga ketika terkena air.

Kampas rem jenis ini secara umum relatif lebih mahal daripada kampas rem jenis lainnya, tetapi lebih bersih dan lebih senyap daripada material yang lain. Kampas rem keramik dapat bertahan lebih lama daripada kampas rem jenis *semi metalic*.

- Karakter kampas rem keramik (*asbestos*)

1. Tidak *bissing*
2. Tingkat keausan rendah dibandingkan kampas rem organik
3. Tahan terhadap temperatur tinggi

- Kelebihan kampas rem keramik (*asbestos*)

1. Memiliki debu yang lebih sedikit
2. Tidak *bissing* seperti kampas rem logam
3. Memiliki *life time* yang lebih panjang dibandingkan kampas rem semi logam dan kampas rem organik

- Kekurangan kampas rem keramik (*asbestos*)

1. Harga lebih mahal
2. Memiliki daya cengkram kurang baik di temperatur rendah

Telah kita ketahui dari penjelasan sebelumnya bahwa tiap material penyusun kampas rem memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. Dari ketiga jenis umum kampas rem organik, *semi metalic* dan keramik bahwa penggunaan

dari setiap jenis kampas rem dapat disesuaikan dengan kebutuhan kendaraan masing-masing dengan mempertimbangkan keunggulan dan kekurangan masing-masing. (Rafsanjani, 2021)

2.6 Komposit

Menurut materi yang disusun oleh Nurun Nayiroh pada tahun 2013, material komposit adalah suatu jenis material baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih material dimana sifat dari masing-masing material tersebut berbeda satu sama lainnya baik sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir material tersebut (material komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka material komposit harus memiliki ikatan yang kuat.

Material komposit adalah material yang terbentuk dari dua material penyusun atau lebih yang tetap terpisah dan memiliki perbedaan dalam level makroskopik selagi membentuk komponen tunggal. *Composite* berasal dari kata kerja “*to compose*” yang artinya adalah menyusun atau menggabung. Jadi dapat diartikan bahwa komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur menjadi suatu material baru. Pada umumnya material komposit adalah suatu material yang memiliki susunan paling tidak terdapat dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. (Nurun, 2013)

Adapun jenis komposit berdasarkan jenis matriksnya terdiri:

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

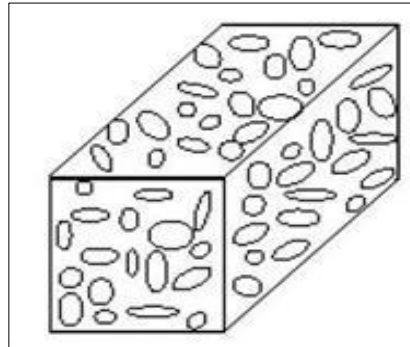
Komposit berbahan matriks logam (MMC) biasanya diaplikasikan pada bidang kedirgantaraan dan komponen otomotif. CMC digunakan untuk keperluan perlindungan panas pada pesawat luar angkasa dan komponen pada roket. Sedangkan komposit berbahan polimer (PMC) sering digunakan pada alat-alat rumah tangga hingga peralatan elektronik.

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

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 4 jenis yaitu:

1. Komposit Berpenguat Partikel

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



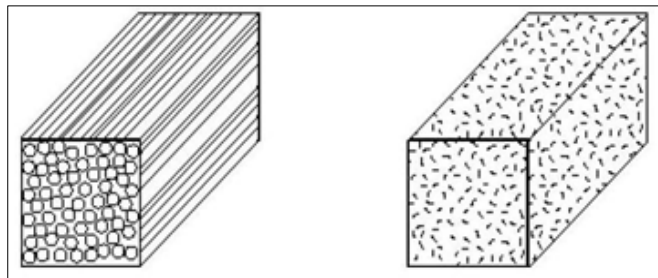
Gambar 2.11 Komposit Berpenguat Partikel

2. Komposit Berpenguat Serat

Merupakan komposit yang fase penguatnya berupa serat.

Contoh: *fiber glass* dalam matriks polimer dan serat alam dalam matriks polimer.

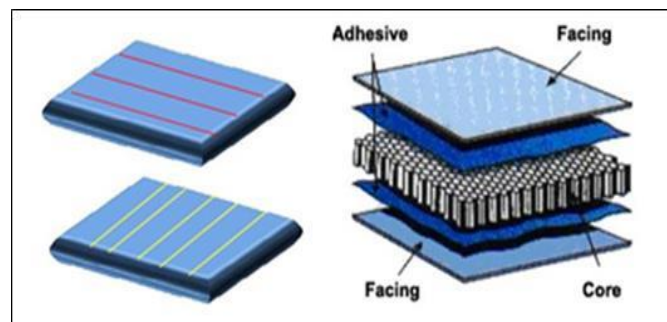
Gambar 2.12 Komposit Berpenguat Serat



3. Komposisi Berpenguat Struktur

Merupakan komposit yang penguatnya berupa lapisan maupun struktural.

Contoh: *polywood*



Gambar 2.13 Komposit Berpenguat Struktur

2.7 Resin Epoxy

Epoxy adalah suatu kopolimer, terbentuk dari dua bahan kimia yang berbeda atau yang biasa disebut sebagai "resin" dan "pengeras". Resin ini terdiri dari monomer atau polimer rantai pendek dengan kelompok *epoxyda* di kedua ujung. Pengeras terdiri dari *monomer polyamine*, misalnya *Triethylenetetramine* (Teta). Ketika senyawa ini dicampur bersama, kelompok amina, selanjutnya akan bereaksi dengan kelompok *epoxyda* untuk membentuk ikatan kovalen. Proses polimerisasi pada resin *epoxy* disebut "*curing*", dan dapat dikontrol melalui temperatur. 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. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.14 Resin Epoxy

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 lebih unggul dalam beberapa aspek jika dibandingkan dengan resin jenis lain yang banyak digunakan dalam aplikasi komposit dalam dunia industri. Oleh karena itu, penggunaan resin *epoxy* pada penelitian ini adalah sebagai bahan pengikat dari komposit kanvas rem yang akan digunakan sebagai spesimen uji.

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

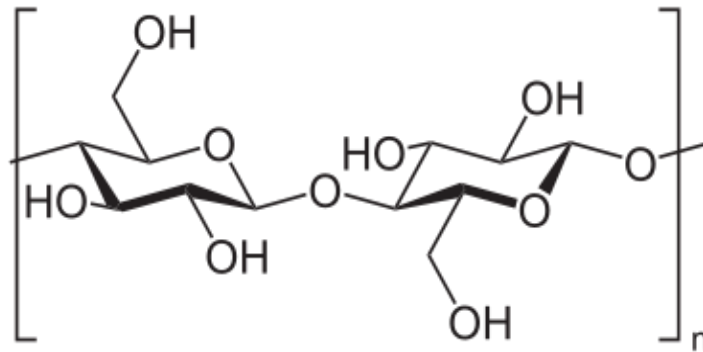
Physical Properties	
Density	0,490-1,80 g/cc
Viscosity	200-180000 cP
	46-1500 cP @Temperature 65100 C
Mechanical Properties	
Kekerasan permukaan, Rockwell M	85-121
Kekerasan permukaan, Shore D	6,0-90
Tensile Strength	7,58-96,5 MPa
Elongation at Break	0,70-140 %
Thermal Properties	
Maximum Service Temperature Air	300 C

2.8 Polimer Selulosa

Selulosa merupakan polimer yang paling berlimpah di alam, material terbarukan, dapat didegradasi, biokompatibel, murah dan tidak beracun. Selulosa dapat dihasilkan dari tumbuhan dan beberapa jenis bakteri. Pada tumbuhan, selulosa merupakan penyusun dari dinding sel dan merupakan komponen utama kayu yang terikat dalam hemiselulosa, lignin dan pektin.

Polimer selulosa memiliki rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$, n adalah jumlah pengulangan unit gula atau derajat polimerisasi yang harganya bervariasi berdasarkan sumber selulosa dan perlakuan yang diterimanya. Kebanyakan serat untuk pembuat *pulp* mempunyai derajat polimerisasi 600-1.500. Selulosa terdapat pada sebagian besar dalam dinding sel dan bagian-bagian berkayu dari tumbuh-tumbuhan, Pembuatan *pulp* diharapkan serat-serat mempunyai kadar selulosa yang tinggi.

Molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen, baik dalam satu rantai polimer selulosa maupun antar rantai polimer yang berdampingan. Ikatan hidrogen ini menyebabkan selulosa bisa terdapat dalam ukuran besar dan memiliki sifat kekuatan tarik yang tinggi. (Surest, 2010)

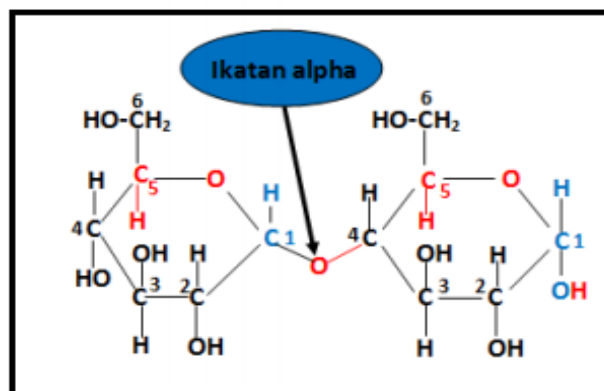


Gambar 2.15 Rumus Molekul Selulosa

2.8.1 Jenis-jenis Selulosa

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nuringtyas pada tahun 2010, terdapat tiga jenis selulosa berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH), yaitu sebagai berikut:

1. Selulosa α (*Alpha Cellulose*)

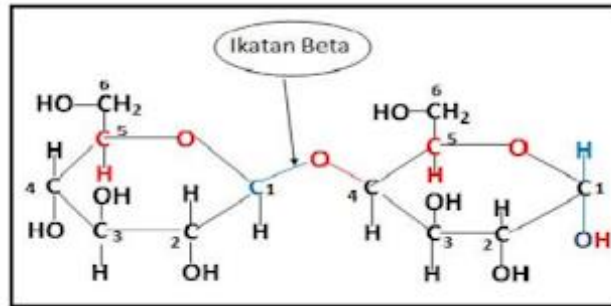


Gambar 2.16 Struktur Ikatan Kimia Selulosa α

Selulosa α adalah jenis selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi 600 - 1500.

Selulosa α dipakai sebagai penduga dan atau penentu tingkat kemurnian selulosa. Selulosa α merupakan kualitas selulosa yang paling tinggi (murni). Selulosa $\alpha > 92\%$ memenuhi syarat untuk digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan propelan dan atau bahan peledak, sedangkan selulosa kualitas di-bawahnya digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas dan industri sandang atau kain. Semakin tinggi kadar dari alfa selulosa, maka akan semakin baik mutu dari bahannya. (Nuringtyas, 2010)

2. Selulosa β (Betha Cellulose)



Gambar 2.17 Struktur Ikatan Kimia Selulosa β

Selulosa β adalah jenis selulosa yang berantai pendek. Selulosa ini akan larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi antara 15 sampai dengan 90, dapat mengendap apabila dinetralkan. (Nuringtyas, 2010)

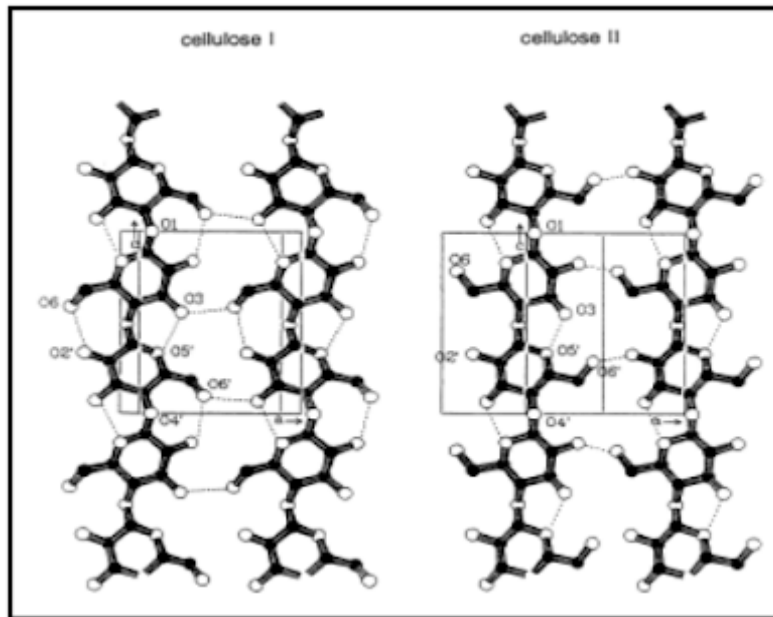
3. Selulosa γ (Gamma cellulose)

Selulosa γ adalah Selulosa yang sama dengan selulosa β , akan tetapi derajat polimerisasinya kurang dari 15. Selulosa jenis ini mudah larut dalam NaOH yang mempunyai kadar 17,5% pada suhu 20°C dan tidak akan terbentuk endapan setelah larutan tersebut dinetralkan. (Nuringtyas, 2010)

Alpha-selulosa sangat menentukan sifat tahanan kertas, semakin banyak kadar selulosa α menunjukkan semakin tahan lama kertas tersebut dan memiliki sifat hidrofilik yang lebih besar pada selulosa β dan selulosa γ daripada selulosa α . (Solechudin, 2002)

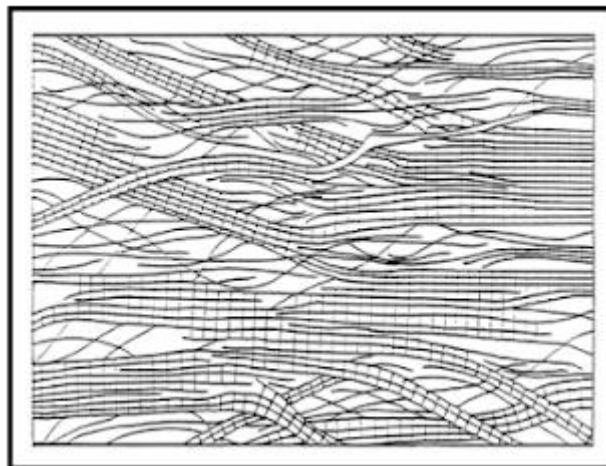
2.8.2 Struktur Selulosa

Selulosa memiliki struktur yang unik karena kecenderungannya membentuk ikatan hidrogen yang kuat. Ikatan hidrogen intramolekular terbentuk antara:



Gambar 2.18 Struktur Kimia Selulosa

1. Gugus hidroksil C3 pada unit glukosa dan atom O cincin piranosa yang terdapat pada unit glukosa terdekat.
2. Gugus hidroksil pada C2 dan atom O pada C6 unit glukosa tetangganya. Ikatan hidrogen antarmolekul terbentuk antara gugus hidroksil C6 dan atom O pada C3 di sepanjang sumbu b.



Gambar 2.19 Model Fibril Struktur Supramolekul Selulosa

Dengan adanya ikatan hidrogen serta gaya van der Waals yang terbentuk, maka struktur selulosa dapat tersusun secara teratur dan membentuk daerah kristalin. Di samping itu, juga terbentuk rangkaian struktur yang tidak tersusun secara teratur yang akan membentuk daerah non-kristalin atau *amorf*. Semakin tinggi *packing density*-

nya maka selulosa akan berbentuk kristal, sedangkan semakin rendah *packing density* maka selulosa akan berbentuk *amorf*.

Derajat kristalinitas selulosa dipengaruhi oleh sumber dan perlakuan yang diberikan. Rantai-rantai selulosa akan bergabung menjadi satu kesatuan membentuk mikrofibril, bagian kristalin akan bergabung dengan bagian nonkristalin. Mikrofibril-mikrofibril akan bergabung membentuk fibril, selanjutnya gabungan fibril akan membentuk serat. (Riadi, 2018)

2.8.3 Sifat-sifat selulosa

Sifat-sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan sifat kimia. Selulosa dengan rantai panjang mempunyai sifat fisik yang lebih kuat, lebih tahan lama terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Sifat fisika dari selulosa yang penting adalah panjang, lebar dan tebal molekulnya. (Fengel, 1995)

Sifat fisik lain dari selulosa adalah :

1. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
2. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali.
3. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis, keras dan rapuh. Bila selulosa cukup banyak mengandung air maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air disini sebagai pelunak.
4. Selulosa dalam kristal mempunyai kekuatan lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk *amorf*.

2.8.4 Selulosa Asetat

Selulosa asetat adalah merupakan serat buatan yang mana telah banyak digunakan dalam bidang industry karena memiliki ketahanan panas yang baik pada temperatur tinggi. Pada penelitian ini, jenis selulosa yang digunakan adalah selulosa asetat yang didapatkan dari limbah busa filter rokok. Selulosa asetat pada busa filter rokok didapatkan dengan cara menguraikan perekat yang ada pada busa filter rokok tersebut. Massa dari 1 busa filter rokok adalah 1 gram, dan dalam 1 busa filter rokok mengandung 95% selulosa asetat. (Hendianto, 2020)



Gambar 2.20 Selulosa Asetat dari Busa Filter Rokok

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yosi Mutiara Pertiwi pada tahun 2020, menyebutkan bahwa Menurut U.S Department of Agriculture (USDA), hampir 90% dari semua rokok yang diproduksi menggunakan selulosa asetat sebagai filter pada puntung rokoknya. (Pertiwi, 2020)

Seperti yang disebutkan pada jurnal penelitian oleh Haroen Wawan Kartiwa pada tahun 2017, bahwa penambahan polimer selulosa asetat sebagai bahan penguat dari kanvas rem, akan meningkatkan ketahanan panas dari kanvas rem tersebut. (Haroen, 2017)

2.9 Serbuk kayu

Pada industri di bidang *furniture* atau mebel tentunya tak jauh dari bahan dasar berupa kayu. Melalui proses penghalusan kayu terdapat sisa-sisa halus hasil dari proses tersebut. Untuk itu pada penelitian digunakan serbuk kayu sebagai bahan pengisi (*filler*) kanvas rem. Selain untuk memanfaatkan bahan sisa yang tidak digunakan, melakukan riset lebih lanjut untuk eksperimen ini bisa membuat kanvas rem berbahan reinforce serbuk kayu bisa menjadi kanvas rem alternative untuk kendaraan. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.21 Serbuk Kayu Jati

Serbuk sisa penggergajian kayu mengandung selulosa yang cukup banyak berkisar 40% hingga 50 %, jumlah selulosa tersebut sangat berpotensi untuk dijadikan bahan material komposit yang berkualitas, seperti serat selulosa dan serat rayon. Selain itu serbuk limbah penggergajian kayu juga mudah didapat dan banyak tersedia di tempat penggergajian kayu. Iklim tropis di wilayah Indonesia juga sangat mendukung untuk pertumbuhan berbagai macam pepohonan yang menghasilkan kayu. Produksi kayu dari penggergajian di Indonesia mampu menghasilkan 2,06 juta m³, sedangkan produksi kayu lapis mencapai 4,61 juta m³. Dengan asumsi limbah yang dihasilkan mencapai 61% maka diperkirakan limbah kayu yang dihasilkan mencapai lebih dari 5 juta m³ (Badan Pusat Statistik, 1999). Bahan-bahan limbah industri alam tersebut sangat potensial untuk direkayasa menjadi produk-produk teknologi yang lebih ramah lingkungan. Dari beberapa penelitian sebelumnya, pemanfaatan serbuk sisa penggergajian kayu belum pernah digunakan sebagai bahan baku kanvas rem untuk kendaraan mobil ringan. (Jati, 2019)

2.10 Sekam Padi

Padi merupakan salah satu hasil utama pertanian, disamping mampu mencukupi kebutuhan pangan, produksi padi juga menghasilkan limbah berupa sekam padi. Pemanfaatan sekam padi tersebut masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu lingkungan. Negara Indonesia yang mayoritas penduduknya adalah petani kebanyakan penduduknya menjadikan beras sebagai makanan pokok (Reza, 2014).

Sekam padi yang sering dikatakan sebagai limbah pengolahan padi ini sering diartikan sebagai bahan buangan atau bahan sisa dari proses pengolahan hasil pertanian. Pemanfaatan sekam padi tersebut masih sangat sedikit, sehingga sekam tetap menjadi bahan limbah yang mengganggu. Sekam padi memiliki kandungan kimia didalamnya yang bisa dimanfaatkan. Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam padi mengandung beberapa unsur penting di dalamnya. (Reza, 2014)



Gambar 2.22 Sekam Padi Bakar

Sekam padi merupakan kulit padi yang dihasilkan dari mesin pengupas biji padi menjadi beras. Selama ini pemanfaatan kulit padi atau sekam masih kurang, hanya sebatas untuk pembuatan arang dan keperluan lainnya. Sekam padi memiliki fungsi mengikat logam berat dari limbah yang dihasilkan pabrik industri. Abu sekam padi yang telah mengikat limbah logam berat bisa dimanfaatkan lagi sebagai geopolimer. Manfaat dari geopolimer adalah sebagai campuran bahan bangunan yang tahan api. Teknologi geopolimer selain ramah lingkungan juga sederhana dan tepat guna. Komposisi kimia sekam padi terdiri dari Kadar air: 9,02%, Protein kasar: 3,03%, Lemak: 1,18%, Serat kasar: 35,68%, Abu: 17,17% dan Karbohidrat dasar: 33,71%. (Suhardiman, 2008)

2.11 Tempurung Kelapa

Tempurung kelapa adalah bagian dari buah kelapa yang berupa *endocarp*, bersifat keras, dan di selimuti oleh sabut kelapa biasanya tempurung kelapa di gunakan sebagai bahan kerajinan, bahan bakar, dan briket. Tempurung kelapa termasuk golongan kayu keras dengan kadar air sekitar 6-9 % (dihitung berdasar berat kering) yang tersusun dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. (Suhardiyono, 1988).

Tempurung kelapa memiliki komposisi kimia mirip dengan kayu, mengandung lignin, pentosa, dan selulosa. Tempurung kelapa dalam penggunaan biasanya digunakan sebagai bahan pokok pembuatan arang dan arang aktif. Hal tersebut dikarenakan tempurung kelapa merupakan bahan yang dapat menghasilkan nilai kalor sekitar 6.500 – 7.600 Kkal/g. Untuk proses pengujian nilai kalor pada tempurung kelapa yaitu dengan menggunakan alat *bomb calorimeter*, selain memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, tempurung kelapa juga cukup baik untuk bahan arang aktif (Triono, 2006).



Gambar 2.23 Serbuk Tempurung Kelapa

Tempurung merupakan lapisan keras yang terdiri dari lignin, selulosa, metoksil, dan berbagai mineral. Kandungan bahan-bahan tersebut beragam sesuai dengan jenis kelapanya. Struktur yang keras disebabkan oleh silikat (SiO_2) yang cukup tinggi kadarnya pada tempurung. Berat tempurung sekitar 15-19 % dari berat keseluruhan buah kelapa. Komponen penyusun kimia tempurung kelapa adalah: Selulosa: 26,60 % , Lignin: 29,40 % , Pentosan: 27,70 % , *Solvent* ekstraktif: 4,20 % , Uronat anhidrid: 3,50 % , Abu: 0,62 % , Nitrogen: 0,11 % dan Air: 8,01 % . (Suhardiman, 2017)

2.12 Alat Pengujian

Pada jurnal penelitian ini terdapat beberapa macam alat ukur yang digunakan dalam setiap proses pengujian, diantaranya *hardness* dengan alat uji *digital shore durometer*, pengujian *Coefficient of friction* dengan alat uji PASCO, pengujian *wear rate* dengan alat uji tribometer dan pengujian stabilitas termal dengan menggunakan *infrared thermometer*.

2.12.1 Alat Uji PASCO

Pada pengujian *Coefficient of friction*, terdapat beberapa alat uji yang digunakan untuk menentukan nilai dari koefisien gesek statis dan kinetis dari spesimen uji. Alat uji yang digunakan adalah PASCO *motion sensor*, PASCO *force sensor*, *universal interface* dan PASCO *capstone software*. Pemilihan penggunaan alat pengujian ini berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk melakukan uji koefisien gesek atau *Coefficient of friction*. Beberapa alat dalam pengujian ini akan disusun sesuai dengan standar yang telah ditentukan agar dapat memberikan hasil pengukuran yang akurat.

Berikut merupakan alat yang digunakan dalam pengujian *Coefficient of friction*:

1. *Motion Sensor* (PASCO PS-2103A)

Sensor gerak (*motion sensor*) adalah alat untuk mengukur dan merekam kecepatan dan percepatan suatu objek yang bergerak dari satu titik ke titik lainnya. Sensor gerak (*motion sensor*) melakukan pengukuran menggunakan gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik dipancarkan dari *gold transducer* yang ada pada bagian depan sensor gerak (*motion sensor*) hingga mencapai objek target yang diinginkan dan kemudian dipantulkan kembali ke sensor. Gelombang ultrasonik bergerak sangat

cepat di udara sama seperti dengan kecepatan suara, sehingga sensor secara tidak langsung dapat mengukur jarak atau posisi antara sensor gerak (*motion sensor*) dan objek target. Sensor kemudian menggunakan pengukuran posisi selanjutnya untuk menentukan kecepatan objek serta akselerasi dari objek. Karena *motion sensor* menggunakan ultrasonik, maka tingkat sensitifitas terhadap objek penghalang yang mungkin dapat menghalangi atau berada di dekat objek target saat membuat pengukuran cukup tinggi. Pada saat melakukan pengukuran pastikan membersihkan jalur ukur dari semua benda/objek yang berpotensi menggagu pengukuran selain itu juga antara sensor dan benda yang diuji harus sejajar. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.24 *Motion Sensor* (PASCO PS-2103A)

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

Gambar 2.25 Spesifikasi *Motion Sensor* (PASCO PS-2103A)

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

2. Force Sensor

Force sensor adalah sebuah sensor atau alat ukur yang digunakan untuk mengukur gaya atau tekanan suatu benda. Sensor gaya yang banyak digunakan ialah *strain gauge*. *Strain gauge* adalah alat atau sensor yang berfungsi untuk mengukur suatu tekanan atau berat suatu benda. Alat atau sensor yang satu ini pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan bernama Edward E. Simmons sekitar tahun 1983. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.26 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 2.27 Spesifikasi Pasco PASPORT High Resolution Force Sensor

Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan dan deformasi atau strain. Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat *insulatif* (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka *coil* atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Gaya yang diberikan pada suatu benda logam (material *ferrite*), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut. Dengan menempelkan jenis material tersebut pada suatu benda uji menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya. (Rafsanjani, 2021)

3. Universal Interface

Universal interface merupakan alat yang digunakan untuk mengintegrasikan instrumentasi elektronik seperti sensor-sensor pengukuran dengan perangkat lunak untuk memudahkan pembacaan dan analisa data. Penggunaan *universal interface* pada penelitian ini adalah dengan cara menghubungkannya dengan *force sensor* dan *motion sensor* dalam percobaan pengukuran *sliding friction*. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.28 *Universal Interface (UI-5001)*

2 High-Speed Analog Inputs	<ul style="list-style-type: none">■ Measurement Range: ± 10 V differential input■ Input Impedance: 1 MΩ■ Input Protection: ± 250 V continuous■ Selectable Voltage gain: X1, X10, X100■ Bi-directional■ Resolution: 1.22 mV, 14-bit ADC
2 Digital Inputs	<ul style="list-style-type: none">■ Digital sensors such as Photogates and Time-of-Flight plug directly into the 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 2.29 Spesifikasi *Universal Interface (UI-5001)*

4. PASCO Capstone Software

PASCO Capstone Software merupakan *software interface* yang memudahkan pengambilan dan pengolahan data dalam melakukan suatu eksperimen pengujian. Pengolahan data dilakukan oleh pembacaan dari sensor yang ada pada perangkat keras tertentu. Kemudian, data hasil pengujian disajikan dalam bentuk angka, tabel ataupun grafik yang akan berguna dalam proses analisa. (Rafsanjani, 2021)



Gambar 2.30 PASCO Capstone Software

2.12.2 Tribometer

Untuk pengujian *wear rate* atau uji laju keausan sendiri menggunakan alat bernama tribometer yang tersedia di laboratorium. Pengujian menggunakan tribometer akan didapatkan nilai laju keausan dari spesimen uji. Tribometer adalah suatu alat yang digunakan untuk mengetahui keausan dan gesekan suatu material diantara dua permukaan yang berkontak. Tribometer memiliki bentuk desain yang berbeda-beda, tetapi yang umum digunakan adalah permukaan benda datar atau bulat yang bergerak berulang-ulang di seluruh muka permukaan material lain. Pada penelitian terakhir menunjukkan keausan pada bahan dan biasanya digunakan untuk mengetahui kekuatan dan panjang umur suatu benda yang berkontak. Tribometer adalah bagian dari pembuatan rekayasa dan manufaktur. Dalam dunia industri dan manufaktur, tribometer digunakan untuk berbagai produk terutama pada profil yang berkontak. Umumnya yang terkait dengan tribometer adalah pengujian pada bagian-bagian mesin yang berkontak. Pada pengujian kali ini, tipe tribometer yang digunakan adalah Tribometer *Pin on Disc*.



Gambar 2.31 Tribometer *Pin on Disc*

Tribometer *pin on disc* merupakan tribometer yang mekanisme kerjanya menggunakan pin dan komponen plat datar sebagai material yang berkontak. Komponen *disc* akan berputar dan pin diberikan beban agar pin menekan pada permukaan *disc*. Pada kebanyakan tribometer, pin diposisikan untuk tetap pada tempatnya tetapi pada tribometer yang lain juga ada yang menggerakkan pin ketika diberikan beban agar terjadi gesekan. Perancangan alat uji ini bertujuan untuk mengetahui gaya gesek antara pin dan disc. Dengan gaya gesek maka keausan dan gesekan akan dapat diketahui. Manfaat alat secara umum adalah untuk uji keausan atau bisa digunakan untuk uji performa suatu pelumas. Perawatan terhadap komponen pemesinan karena adanya keausan dapat lebih efisien sehingga performa sebuah mesin akan dapat berjalan dengan optimal. Hal ini akan mempengaruhi hasil pada nilai ekonomis, yaitu pengurangan biaya perawatan ataupun pertimbangan dalam penggunaan energi. (Prabowo, 2012).

2.12.3 *Digital Shore Durometer*

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



Gambar 2.32 Durometer *Shore D*

Skala durometer didefinisikan oleh Albert F. Shore, yang mengembangkan perangkat pengukuran untuk mengukur kekerasan *Shore* pada tahun 1920. Istilah durometer ini sering digunakan untuk merujuk pada pengukuran serta instrumen itu sendiri. Durometer adalah instrumen yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji. Durometer biasanya digunakan untuk mengukur kekerasan dalam polimer, elastomer, dan karet. Ada beberapa skala dari durometer yang digunakan untuk bahan dengan sifat yang berbeda. Dua skala yang paling umum, dengan menggunakan sistem pengukuran yang sedikit berbeda, adalah timbangan tipe A dan tipe D ASTM D2240. Skala A adalah untuk plastik lembut, sedangkan skala D adalah untuk yang lebih keras. Namun, ASTM pengujian D2240-00 panggilan standar untuk total 12 sisik, tergantung pada tujuan penggunaan; tipe A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, dan R. Setiap hasil skala nilai antara 0 dan 100, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material tersebut lebih keras. (Shodiq, 2020)

2.12.4 Uji Ketahanan Panas

Termometer inframerah adalah sebuah alat ukur temperatur yang menyimpulkan suhu dari sebagian radiasi termal (terkadang disebut radiasi benda-hitam) yang dipancarkan oleh objek yang diukur. Termometer ini juga kadang disebut termometer laser karena menggunakan laser untuk membantu mengarahkan termometer, serta termometer nonkontak atau termometer pistol untuk menggambarkan kemampuan perangkat ini untuk mengukur suhu dari jarak jauh. Dengan mengetahui jumlah energi inframerah yang dipancarkan oleh objek dan emisivitasnya, suhu suatu objek dapat diketahui dalam kisaran tertentu dari suhu aktualnya. Termometer inframerah merupakan bagian dari perangkat yang dikenal sebagai "termometer radiasi termal".



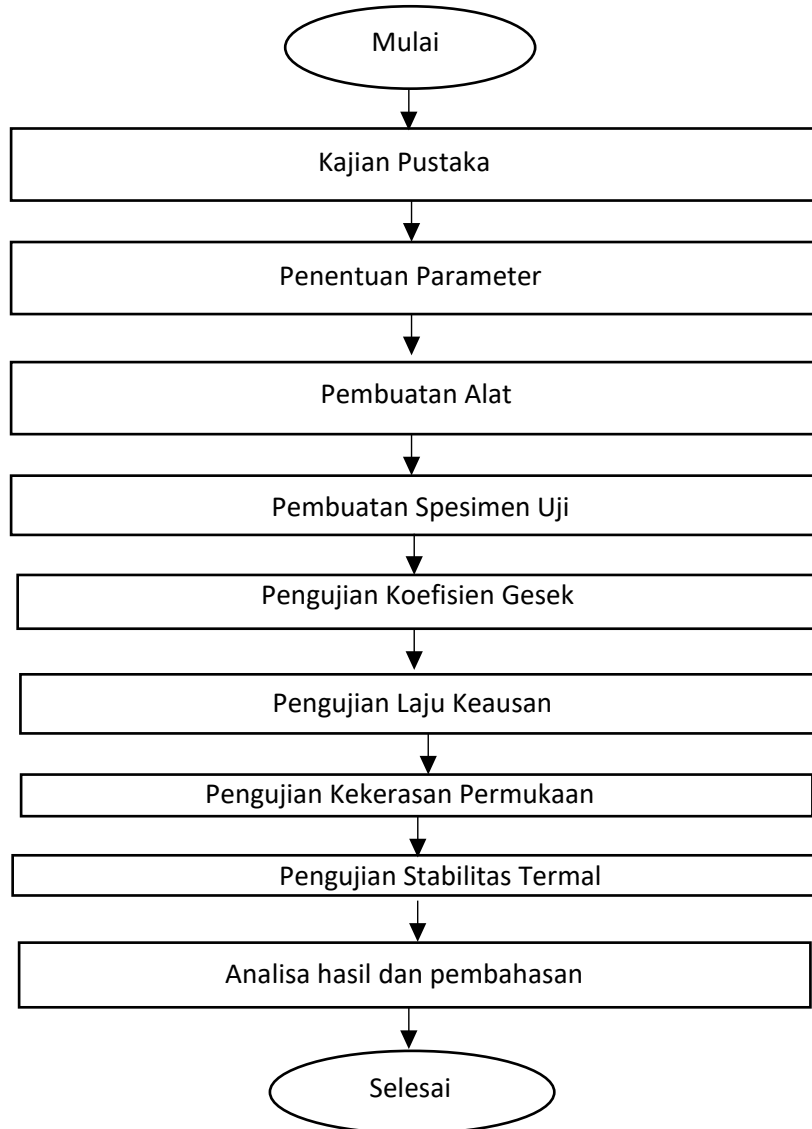
Gambar 2.33 Termometer Inframerah

Termometer inframerah sering kali digunakan ketika objek yang akan diukur bergerak; ketika objek dikelilingi oleh medan elektromagnetik, seperti pada pemanasan induksi; ketika objek terkandung dalam ruang hampa udara atau atmosfer terkontrol lainnya; atau ketika respons cepat diperlukan untuk mengukur suhu permukaan secara akurat, atau ketika suhu objek berada di atas batasan suhu yang disarankan untuk sensor kontak, atau ketika sentuhan fisik dapat merusak objek atau sensor atau dapat memengaruhi gradien suhu yang signifikan pada permukaan objek. (Sulthan, 2014)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan secara eksperimental atau analisis, dengan pengambilan data yang dilakukan secara langsung dan perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil dari ketahanan panas, nilai koefisien gesek dan nilai laju keausan dari masing-masing variasi spesimen. Berikut diagram alir penelitian yang akan dilakukan



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Langkah Penelitian

Berikut langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam pengujian untuk mengetahui pengaruh dari penambahan selulosa asetat terhadap nilai *hardness*, nilai koefisien gesek, nilai laju keausan dan stabilitas termal pada komposit kampak rem sebuk kayu, sekam padi, tempurung kelapa.

3.2.1 Kajian Pustaka

Tahap awal dalam penelitian ini adalah melakukan kajian pustaka, yaitu mencari referensi-referensi yang berasal dari berbagai macam sumber seperti tugas akhir, jurnal, *thesis* ataupun *handbook* untuk menemukan teori-teori yang akan mendukung dalam penyusunan serta pelaksanaan penelitian ini. Selain itu dalam kajian pustaka ini terdapat dasar-dasar teori yang akan digunakan sebagai acuan dasar dalam penelitian ini serta pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan.

3.2.2 Penentuan Parameter

Setelah melakukan kajian pustaka dari berbagai sumber serta telah memperoleh dasar-dasar teori yang diperlukan untuk dijadikan sebagai acuan, tahap berikutnya adalah penentuan parameter. Standar penentuan parameter yang digunakan dalam tiap pengujian adalah sama, yaitu berdasarkan ketetapan yang telah disusun oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada panduan SNI berjudul “Kampas Rem Kendaraan Bermotor (Klasifikasi, Dimensi dan Koefisien Gesek)” dengan nomor seri SNI 09-0143-1987. Panduan SNI yang dijadikan sebagai standar penentuan parameter akan dicantumkan pada lembar lampiran.

Terdapat beberapa variasi spesimen yang digunakan, yaitu dengan variasi presentase selulosa yang ditambahkan dalam komposisi bahan penyusun spesimen uji. Spesimen uji terbuat dari beberapa bahan, yaitu serbuk kayu, sekam padi, dan tempurung kelapa serta resin *epoxy* sebagai bahan pengikat dari material komposit kampas rem tersebut. Tiap spesimen uji dibuat dalam temperatur dan tekanan udara yang sama.

3.2.3 Pembuatan Spesimen Uji

Dalam proses pembuatan spesimen uji, dimensi dari spesimen uji adalah sama. Dimensi dari spesimen uji adalah 30 mm x 20 mm x 10 mm sesuai dengan standar SNI yang telah ditentukan dalam pengujian sifat mekanik pada kampas rem. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah massa penambahan selulosa asetat yang berbeda pada tiap spesimen uji. Massa penambahan selulosa asetat adalah sebesar 5%, yaitu 1 gram pada spesimen A dengan 7 gram resin *epoxy*, 10%, yaitu 2 gram pada spesimen B dengan 6 gram resin *epoxy* dan 20%, yaitu 4 gram pada spesimen C dengan 4 gram resin *epoxy*. Massa bahan penyusun komposit kampas rem adalah 4 gram serbuk kayu, 4 gram sekam padi, 4 gram tempurung kelapa.

Tabel 3.1 Komponen Penyusun Komposit

Komponen	I	II	III	Satuan
Serbuk Kayu	4			gram
Sekam Padi				
Tempurung Kelapa				
Selulosa Asetat	1	2	4	
Resin Epoxy	7	6	4	

1. Pembuatan Serabut Polimer Selulosa Asetat

Jenis selulosa yang digunakan dalam percobaan ini adalah selulosa asetat yang terkandung dalam busa filter rokok. Massa dari 1 busa filter rokok adalah 10 gram, dan dalam 1 busa filter rokok mengandung 95% selulosa asetat. Selulosa asetat didapatkan dengan cara memotong busa filter rokok yang sudah dibersihkan menjadi serabut berdimensi kecil sekitar 1 mm. Serabut busa filter rokok tersebut dilarutkan pada cairan bensin atau *thinner* untuk memisahkan zat perekat yang masih terkandung. Untuk proses pelarutan dan pencampurannya menggunakan alat blender yang kemudian akan disaring. Setelah dilakukan penyaringan, serabut busa filter rokok dikeringkan sehingga kandungan cairan didalamnya menguap. Hasil dari pengeringan tersebut, didapatkan selulosa asetat dalam bentuk serbuk yang nantinya akan ditambahkan ke dalam proses pembuatan spesimen uji sesuai dengan variasi penambahan yang telah ditentukan.



Gambar 3.2 Serabut Selulosa Asetat dari Busa Filter Rokok

2. Pembuatan Komposit Kampas Rem

Pembuatan tiap spesimen uji dilakukan dengan cara dan proses yang sama. Pertama-tama, bahan-bahan yang digunakan untuk membuat spesimen dipersiapkan, yaitu serbuk kayu, sekam padi, tempurung kelapa dan resin *epoxy*. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan spesimen uji juga dipersiapkan, yaitu timbangan digital, cetakan dan alat pengaduk. Untuk alat pengaduk bisa menggunakan besi atau kayu yang dimasukkan ke mata bor.



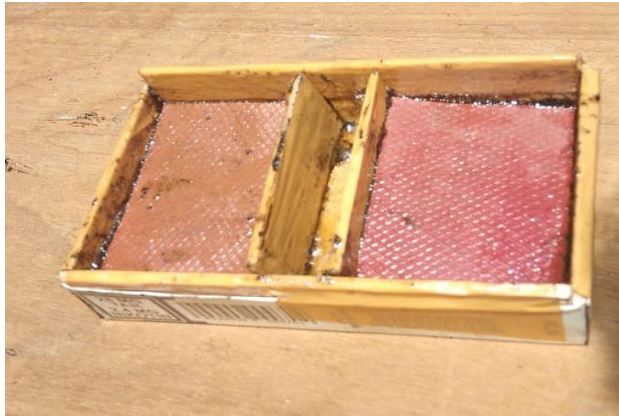
Gambar 3.3 Sekam Padi, Serbuk Kayu, Serbuk Tempurung Kelapa dan Resin *Epoxy*

Tiap komponen bahan yang digunakan diukur dan ditimbang menggunakan alat ukur timbangan digital dengan komposisi yang telah ditentukan, yaitu 4 gram serbuk kayu, 4 gram sekam padi, 4 gram tempurung kelapa untuk pembuatan satu spesimen uji. Serabut selulosa asetat yang sudah didapatkan dari proses sebelumnya ditambahkan pada masing-masing komposisi spesimen uji dengan ketentuan sebesar 1 gram pada spesimen A dengan 7 gram resin *epoxy*, 2 gram pada spesimen B dengan 6 gram resin *epoxy*, dan 4 gram pada spesimen C dengan 4 gram resin *epoxy*. Pengukuran massa dari serbuk selulosa asetat dan resin *epoxy* yang akan dicampurkan kedalam cetakan juga menggunakan timbangan digital.



Gambar 3.4 Timbangan Digital

Setelah bahan sudah diukur sesuai dengan massa yang telah ditentukan pada tiap komponennya, masing-masing bahan dituangkan ke dalam cetakan, aduk hingga merata dengan menggunakan bor listrik yang sudah dipasangkan besi pada mata bor. Resin *epoxy* yang sudah tercampur rata dengan adonan spesimen uji akan mudah mengering ketika sudah dituangkan kedalam cetakan. Proses pengeringan adonan spesimen dilakukan dibawah sinar matahari selama 6 jam. Selanjutnya, pembuatan spesimen uji dilakukan pada tiap cetakan yang berbeda dengan ukuran yang sama. Ukuran cetakan tiap spesimen uji yang digunakan sama agar dimensi spesimen uji yang dihasilkan juga sama. Ukuran dimensi dari spesimen uji adalah 30 mm x 20 mm x 10 mm.



Gambar 3.5 Proses Pengeringan Spesimen Uji dalam Cetakan

Untuk referensi acuan waktu pengadukan adalah 10 menit berdasarkan dari penelitian pada jurnal Alfian Zamil Meilani pada tahun 2016, yaitu variasi waktu pencampuran dan *temperature sintering* terhadap material komposit. Dari penelitian tersebut terdapat grafik perbandingan antara temperatur dengan densitas material. Didapatkan hasil dengan waktu pencampuran 10 menit memiliki grafik yang lebih landai atau stabil dibandingkan dengan variasi waktu pencampuran 20 dan 30 menit. (A.Z. Meliani, 2016)

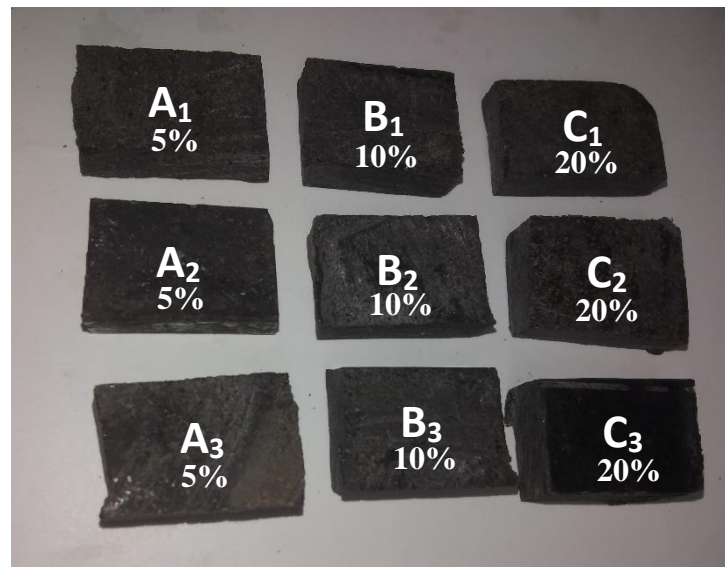


Gambar 3.6 Spesimen Uji A, B dan C

3. Alat-alat Pembuatan Spesimen Uji

Untuk alat yang digunakan antara lain sebagai berikut:

1. Bor dengan mata besi
2. Gelas ukur dengan ketelitian 10 ml
3. Timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g
4. Jangka sorong dengan ketelitian 0,02 mm
5. Cetakan 30 mm x 20 mm dengan ketinggian 10 mm dan ketebalan 5 mm
6. Plat besi dengan ketebalan 2 mm untuk landasan cetakan supaya permukaan rata
7. Alat suntik atau spuit dengan ketelitian 0,1 ml untuk perbandingan katalis dari resin *epoxy* yang digunakan



Gambar 3.7 Spesimen Uji Kampas Rem

3.2.4 Pengujian Koefisien Gesek (*Coefficient of friction*)

Setelah spesimen uji selesai dibuat, kemudian dilakukan pengujian koefisien gesek untuk mendapatkan nilai *coefficient of friction*. Pengujian koefisien gesek dilakukan dengan alat dari PASCO dimana alat yang digunakan adalah *motion sensor*, *force sensor*, *universal interface* dan *capstone software*. Instalasi dari pengujian koefisien gesek menggunakan alat PASCO adalah dengan menghubungkan *motion sensor* dan *force sensor* dengan *universal interface*. Kemudian *universal interface* dihubungkan ke komputer atau laptop yang sudah terinstall *capstone software*. Setelah alat uji sudah terpasang sesuai dengan instalasi yang telah ditentukan, spesimen uji diletakkan pada lintasan gesek dengan beban yang diberikan sebesar 1 kg. Material yang digunakan sebagai beban pada pengujian ini adalah material yang sudah tersedia pada alat pengujian PASCO. Spesimen uji yang telah diberikan pembebanan diikat dengan benang dan dihubungkan dengan *force sensor*. *Force sensor* yang sudah terhubung dengan spesimen uji melalui benang dihubungkan pada katrol yang kemudian akan digulung. *Motion sensor* diletakkan dibelakang dari spesimen uji untuk dapat melakukan pengukuran. Lalu dari pengujian tersebut akan muncul hasil pada *capstone software* tersebut. Pemasangan instalasi alat uji koefisien gesek dengan alat PASCO dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.8 Lintasan Gesek Pengujian Koefisien Gesek



Gambar 3.9 Instalasi Alat Uji Koefisien Gesek



Gambar 3.10 Material Pembebanan pada Spesimen Uji Koefisien Gesek

3.2.5 Pengujian Laju Keausan (*Wear Rate*)

Setelah spesimen uji selesai dibuat, maka dilakukan pengujian laju keausan menggunakan alat tribometer. Langkah pertama adalah menentukan parameter uji, yaitu jarak dan beban. Beban ditentukan secara konstan yaitu sebesar 2 kg untuk tiap variasi spesimen. Kemudian jarak ditentukan sebesar 1,800 meter, dari jarak dapat diketahui waktu pengujian laju keausan dari keliling *disc* yang ada pada

tribometer. Kemudian catat hasil yang terjadi pada spesimen setelah terkena gesekan dengan *disc* pada tribometer.



Gambar 3.11 Alat Uji Laju Keausan Tribometer

3.2.6 Pengujian Kekerasan Permukaan (*Hardness*)

Setelah spesimen selesai dibuat dengan masing-masing variasi kompresi, selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan permukaan untuk mendapatkan nilai kekerasan permukaan. Spesimen yang diuji adalah spesimen I, spesimen II dan spesimen III dengan frekuensi pengujian sebanyak 3 kali pada tiap spesimen. Tekanan atau beban yang diberikan masing-masing berkompresi 0 psi sampai dengan 80 psi dengan selisih 20 psi tiap spesimen. Pengukuran kekerasan permukaan menggunakan alat durometer shore D. Untuk alat uji kekerasan permukaan dapat dibeli dengan harga yang cukup terjangkau.



Gambar 3.12 Alat uji kekerasan permukaan

Untuk melakukan pengujian dengan durometer shore D, pastikan spesimen uji tidak bergerak ketika dilakukan pengujian dengan tujuan agar saat dilakukan pengukuran kekerasan permukaan bisa stabil atau bisa dikatakan valid. Setelah itu kalibrasi durometer shore D dan tekan alat durometer shore D pada titik yang telah ditentukan pada spesimen kemudian tunggu sampai nilai pada durometer stabil. Setelah pengujian selesai dilakukan pada titik pertama, pengujian dilakukan pada dua titik selanjutnya yang telah ditentukan pada spesimen uji.

3.2.7 Pengujian *Thermal Stability*

Pengujian ketahanan panas dilakukan pada saat yang sama ketika pengujian *wear rate* atau pengujian keausan dilakukan. Pengujian ini dilakukan pada titik yang sama pada spesimen uji akan tetapi dalam 3 waktu yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pada proses pengujian keausan gesek sedang berlangsung dengan variasi waktu pengukuran 19 menit, 37 menit dan 57 menit.



Gambar 3.13 Pengukuran Temperatur Spesimen Uji Laju Keausan



Gambar 3.14 Pengukuran Temperatur Menggunakan *Infrared Thermometer*

3.3 Langkah Kerja Pengujian

Untuk pengujian pada penelitian ini dilakukan 3 pengujian yaitu pengujian ketahanan panas, pengujian koefisien gesek dan pengujian laju keausan. Berikut langkah-langkah pengujiannya:

3.3.1 Pengujian Koefisien Gesek

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

1. Sambungkan *force sensor* dan *motion sensor* ke input konektor *PASCO passport interface*.
2. Setel *sample rate* untuk kedua sensor ke 50 Hz dalam *software PASCO capstone*.
3. Buat grafik *force* vs waktu pada *software*.
4. Rekatkan spesimen uji dengan baki (*discover friction accessory*) dengan perekat.
5. Potong benang sekitar 50 cm untuk mengikat kedua ujung hingga membentuk lingkaran, ikatkan benang pada baki.
6. Kaitkan ujung benang yang lain ke pengait yang ada pada *force sensor*.
7. Setel *switch on* pada *motion sensor* untuk *short range setting*. Setel *angle* 0 derajat.
8. Tempatkan baki 15 cm di depan *motion sensor*.
9. Posisikan *motion sensor*, baki, *force sensor* satu garis lurus dan letakkan baki di atas lintasan yang sudah ditentukan.
10. Tekan tombol “zero” pada *force sensor* tanpa adanya tegangan (*tension*) pada benang.
11. Berikan pembebanan pada baki sebesar 1000 gram.
12. Tempatkan baki di atas lintasan yang sudah ditentukan.
13. Klik tombol *recording* pada *software* untuk memulai perekaman data. Tarik *force sensor* perlahan secara *horizontal* hingga baki mulai bergerak, lanjutkan menarik secara perlahan dan konstan sesuai lintasan yang telah ditentukan.
14. Perhatikan grafik pada monitor saat melakukan penarikan *force sensor* untuk menghindari *osilasi* yang berlebihan.
15. Baca data yang terlihat pada grafik dan masukkan ke dalam tabel.
16. Lakukan pengulangan prosedur percobaan untuk variasi spesimen yang berbeda.

3.3.2 Pengujian Laju keausan

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

1. Persiapkan spesimen uji dengan masing-masing variasi.
2. Pastikan ukuran spesimen uji sesuai dengan tribometer yang digunakan supaya mendapatkan hasil yang optimal.
3. Pasang spesimen pada pin yang ada di tribometer.
4. Beri pembebanan konstan pada spesimen.
5. Atur putaran *disc* pada tribometer sesuai dengan yang ditentukan.
6. Atur waktu pengujian dengan jarak yang telah ditentukan menggunakan keliling dari *disc* tribometer yang digunakan.
7. Tunggu sampai waktu pengujian selesai dan catat hasil dari laju keausan spesimen.
8. Lakukan prosedur yang sama pada tiap variasi spesimen.

3.3.3 Pengujian Kekerasan Permukaan

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

1. Pastikan permukaan spesimen uji telah dibersihkan.
2. Posisikan spesimen uji dalam kondisi rata.
3. Persiapkan alat uji kekerasan permukaan dan kalibrasikan.
4. Lakukan pengujian sebanyak 3 kali untuk setiap variasi pembebanan yang diberikan untuk mengetahui hasil yang akurat dari tiap variasi spesimen.
5. Mencatat hasil pengujian.

3.3.4 Pengujian Ketahanan Panas

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

1. Pastikan spesimen uji diletakkan secara rata pada tribometer .
2. Persiapkan alat uji termometer inframerah dan kalibrasikan.
3. Lakukan pengukuran temperatur pada saat proses pengujian keausan telah berlangsung 19 menit, 38 menit dan 57 menit.
4. Lakukan sebanyak 3 kali untuk mengetahui hasil rata-rata dari tiap variasi spesimen.
5. Mencatat hasil pengujian.

3.4 Desain Eksperimen

Pada penelitian ini dilakukan 4 macam pengujian yakni pengujian *hardness* menggunakan *durometer shore D*, kemudian pengujian koefisien gesek (*coefficient of friction*) menggunakan PASCO dan Capstone Software, pengujian keausan (*wear rate*) menggunakan tribometer *pin on disc* dan pengujian stabilitas termal dengan menggunakan *infrared thermometer* yang dilakukan pada saat pengujian *coefficient of friction* dan *wear rate* sedang berlangsung. Dari ketiga pengujian tersebut telah ditetapkan beberapa variabel yang konstan untuk mengurangi tingkat error yang terjadi. Berikut merupakan variabel-variabel yang telah ditetapkan.

Tabel 3.2 Variabel dalam Penelitian

Faktor Kontrol	Spesimen A, B dan C	Satuan
Mixing time	10	menit
Speed Tribometer	100	rpm
Load COF	1	kg
Load Tribometer	2	kg
Disc Diameter	0.1	m
Disc Thickness	15	mm
Contact Surface Tribometer	0.08	m
Time Tribometer	57.18	menit
Sliding Distance Tribometer	1800	m
Sliding Distance COF	1	m

Standar material dari lintasan yang dilakukan pada pengujian koefisien gesek yaitu ASTM A36. Standar untuk material disc tribometer yang digunakan adalah ASTM A36. Pada pengujian *hardness*, pengujian dilakukan pada 3 titik yang berbeda pada spesimen dan variasi beban yang diberikan adalah sama.

3.5 Pengambilan Data

Untuk pengambilan data sendiri dilakukan dengan tiga alat yaitu yang pertama durometer shore D untuk data kekerasan permukaan. Yang kedua alat dari *PASCO* untuk data koefisien gesek dan yang ketiga tribometer untuk data *wear rate*. Pada analisa diambil contoh kampas rem yang ada di pasaran untuk menjadi pembanding atau acuan dalam eksperimen kali ini. Sehingga didapatkan grafik perbandingan antara kampas rem yang ada di pasaran dengan kampas rem komposit yang dibuat.

3.5.1 Pengambilan Data Kekerasan Permukaan

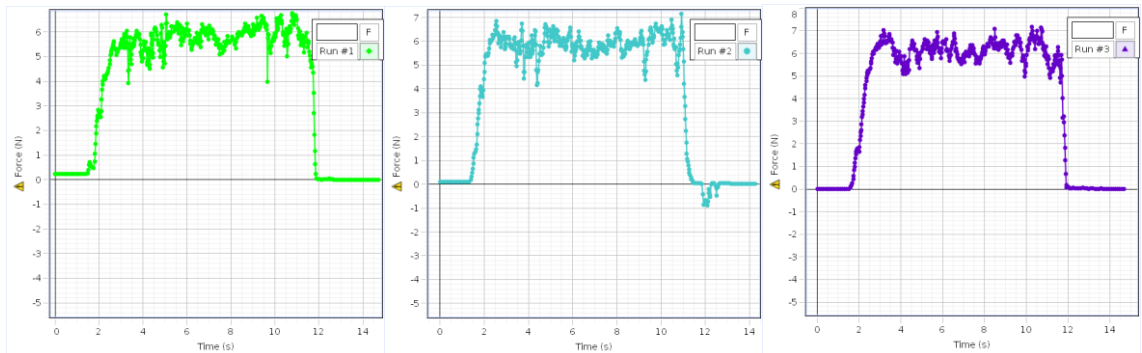
Pengambilan data untuk kekerasan permukaan menggunakan alat durometer shore D. Variasi tekanan didapatkan dari penelitian terdahulu tentang CAFM(s). Di tiap variasi tekanan terdapat 3 spesimen uji yang kemudian diambil rata-rata dari ketiga spesimen tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Tabel 3.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan (*Hardness*)

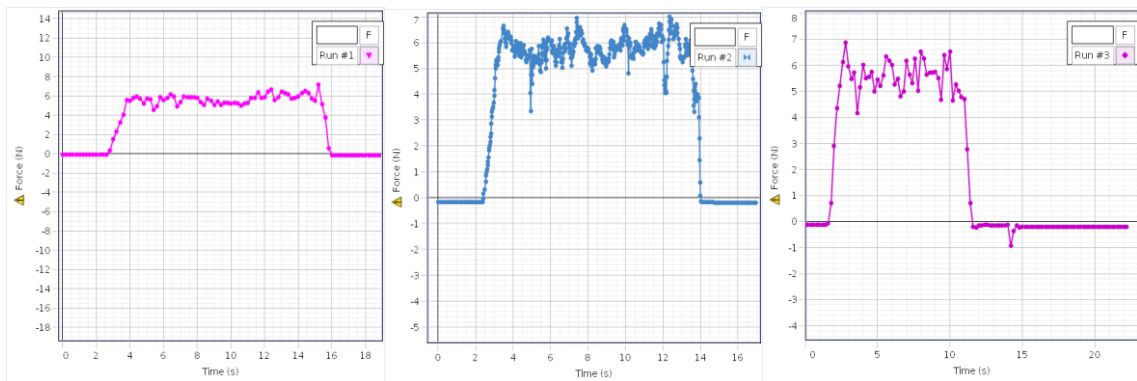
Spesimen	Pengujian	Titik 1	Titik 2	Titik 3	<i>H</i>
A: 5 % Selulosa Asetat	1	56	54	52	54
	2	57	56.5	52	55.1667
	3	56.5	55	53	54.8333
B: 10 % Selulosa Asetat	1	64.5	61	60.5	62
	2	63	61.5	62.5	62.3333
	3	64	63	62	63
C: 20 % Selulosa Asetat	1	71	68.5	67	68.8333
	2	68	69.5	67.5	68.3333
	3	70.5	68	66.5	68.3333

3.5.2 Pengambilan Data Koefisien Gesek

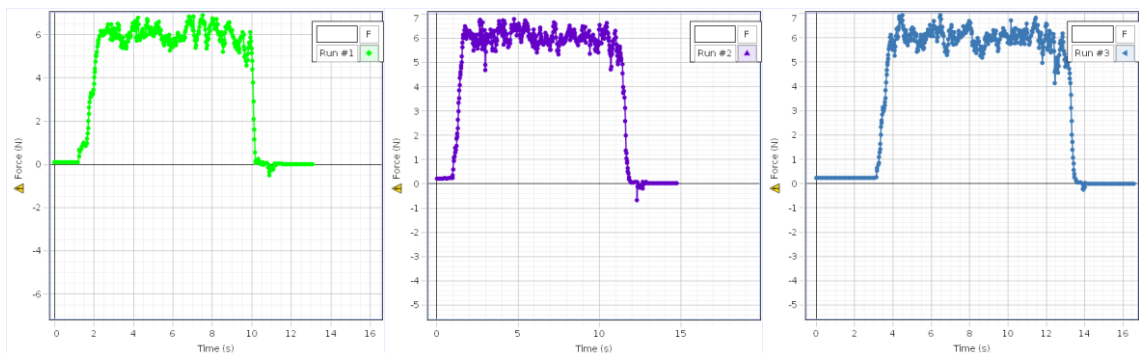
Pengambilan data koefisien gesek dilakukan dengan menggunakan alat dari *PASCO*. Terdapat 3 spesimen yang akan diuji dengan masing-masing penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pada tiap spesimen terdapat 3 kali pengujian yang dilakukan untuk diambil nilai rata-rata agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Berikut grafik *force* terhadap waktu yang didapatkan dari hasil pengujian koefisien gesek menggunakan alat uji *PASCO* dan *capstone software*:



Gambar 3.15 Grafik *Force* Pengujian Koefisien Gesek Spesimen A



Gambar 3.16 Grafik *Force* Pengujian Koefisien Gesek Spesimen B



Gambar 3.17 Grafik *Force* Pengujian Koefisien Gesek Spesimen C

Tabel 3.4 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Spesimen	Pengujian	Massa Spesimen (gram)	Massa Beban (kg)	Fs (N)	Fk (N)
A	1	7	1	5.541	5.3222
	2	7	1	6.608	5.4814
	3	7	1	6.888	5.2421
B	1	7	1	5.63	5.3411
	2	7	1	6.057	5.4476
	3	7	1	6.08	5.6647
C	1	7	1	6.483	5.3616
	2	7	1	6.52	5.6243
	3	7	1	6.12	5.5920

3.5.3 Pengambilan Data *Wear Rate*

Pengambilan data *wear rate* menggunakan alat tribometer. Di tiap variasi tekanan diberikan kecepatan yang sama yaitu 100 rpm. Jarak sliding sejauh 1800 m dengan beban tetap 20 N. Pengujian dilakukan selama 57,18 menit pada spesimen A, B dan C. Masing-masing spesimen uji dilakukan pengujian sebanyak 3 kali.



Gambar 3.18 Pengujian *Wear Rate* dengan Alat Uji Tribometer



Gambar 3.19 Disc Tribometer ASTM A36

Tabel 3.5 Data Hasil Pengujian *Wear Rate*

Spesimen	Pengujian	V_0 (mm ³)	V_t (mm ³)	W (N)	L (m)
A	1	6363.6357	6326.9928	20	1800
	2	6346.3260	6309.1405	20	1800
	3	6086.3965	6049.3596	20	1800
B	1	6527.3259	6451.8655	20	1800
	2	6372.1731	6287.8533	20	1800
	3	6407.5140	6335.9217	20	1800
C	1	6746.4734	6634.2400	20	1800
	2	6017.7115	5902.1304	20	1800
	3	6000.1119	5888.3086	20	1800

3.5.4 Pengambilan Data *Thermal Stability*

Pada pengujian stabilitas termal, pengukuran temperatur dilakukan pada saat pengujian koefisien gesek dan pengujian laju keausan sedang berlangsung. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan komposit kanvas rem terhadap suhu yang tinggi pada saat terjadi gesekan. Variasi pengukuran temperatur dilakukan pada variasi waktu 19 menit, 38 menit dan 57 menit serta dilakukan di titik yang berbeda-beda pada saat pengujian koefisien gesek dan laju keausan sedang berlangsung.

Tabel 3.6 Data Hasil Pengukuran Temperatur

Spesimen	Pengujian	T (°C) 19 menit	T (°C) 38 menit	T (°C) 57 menit
A	1	37.5	41.4	45.7
	2	38.2	42.1	46.2
	3	37.7	41.8	45.9
B	1	41.9	44.9	47.8
	2	42.1	45.2	48.3
	3	40.8	44.3	47.5
C	1	44.4	46.9	49.8
	2	44.2	46.7	49.3
	3	43.7	46.2	48.9

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Kekerasan Permukaan (*Hardness*)

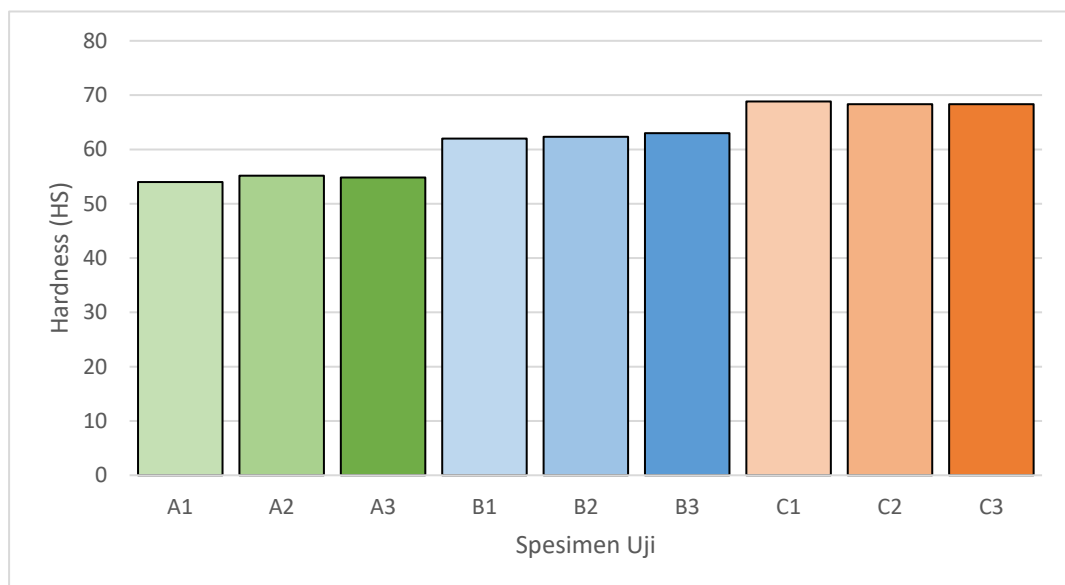
Pengujian *Hardness* pada komposit kanvas rem non-asbestos sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dilakukan untuk mendapatkan nilai dari kekerasan permukaan dari tiap spesimen yang diujikan. Selanjutnya nilai dari kekerasan permukaan yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan dalam memperoleh nilai dari *wear coefficient*.

4.1.1 Analisa Kekerasan Permukaan pada Komposit Kanvas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa

Pengujian kekerasan permukaan menggunakan alat durometer shore D pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Berikut data hasil pengujian kekerasan permukaan yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik:

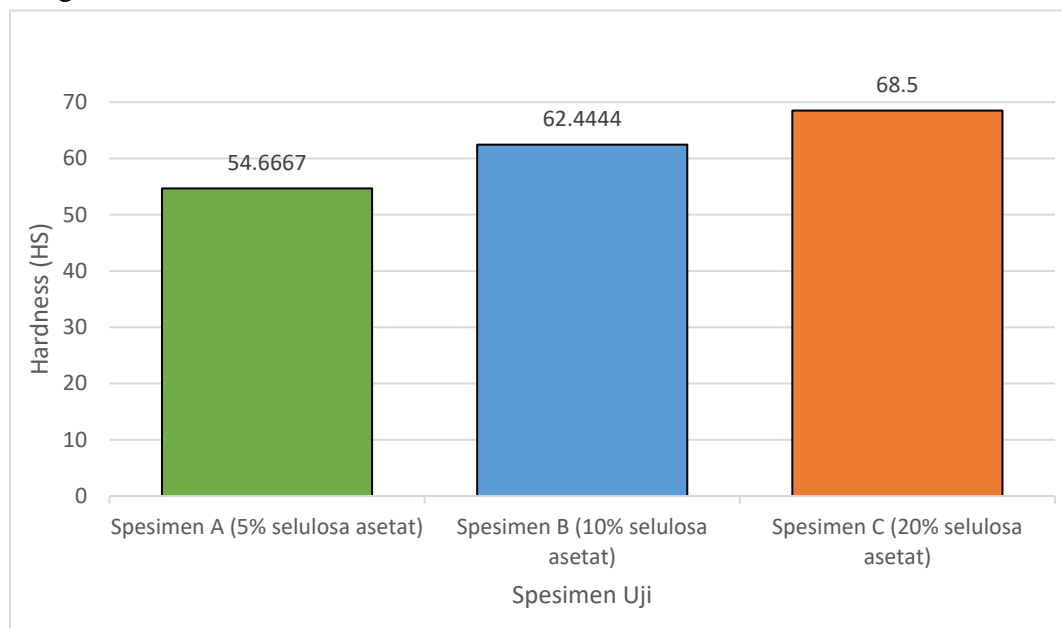
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan Permukaan (*Hardness*)

Spesimen	Pengujian	Titik 1	Titik 2	Titik 3	H	\bar{H}
A: 5 % Selulosa Asetat	1	56	54	52	54	54.6667
	2	57	56.5	52	55.1667	
	3	56.5	55	53	54.8333	
B: 10 % Selulosa Asetat	1	64.5	61	60.5	62	62.4444
	2	63	61.5	62.5	62.3333	
	3	64	63	62	63	
C: 20 % Selulosa Asetat	1	71	68.5	67	68.8333	68.5
	2	68	69.5	67.5	68.3333	
	3	70.5	68	66.5	68.3333	



Gambar 4.1 Grafik Pengujian *Hardness* Komposit Kanvas Rem Non-Asbestos

Pengujian kekerasan permukaan dilakukan pada spesimen uji A, B dan C. Terdapat penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pengujian dilakukan pada 3 spesimen A, 3 spesimen B dan 3 spesimen C dengan 3 titik yang berbeda pada tiap pengujianya. Sehingga didapatkan hasil pengujian kekerasan permukaan seperti pada grafik tersebut. Nilai kekerasan permukaan spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat adalah 54 HS pada spesimen A1, 55,1667 HS pada spesimen A2 dan 54,8333 pada spesimen A3. Kemudian nilai kekerasan permukaan spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat adalah 62 HS pada spesimen B1, 62.3333 HS pada spesimen B2 dan 63 HS pada spesimen B3. Selanjutnya, nilai kekerasan permukaan spesimen C dengan 20% penambahan selulosa asetat adalah 68.8333 HS pada spesimen C1, 68.3333 HS pada spesimen C2 dan 68.3333 HS pada spesimen C3. Jika diambil nilai rata-rata pada tiap spesimen pengujian, maka akan didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.2 Grafik Pengujian *Hardness* Rata-rata Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

Grafik diatas menunjukkan nilai kekerasan permukaan rata-rata pada tiap spesimen uji. Pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 54.6667 HS. Kemudian pada spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 62.4444 HS. Selanjutnya untuk spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat memiliki nilai kekerasan permukaan rata-rata sebesar 68.5 HS. Nilai kekerasan permukaan yang terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu, 68.5 HS. Sedangkan nilai kekerasan permukaan terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 54.6667 HS.

Pada pemaparan grafik hasil pengujian kekerasan permukaan menggunakan durometer shore D menunjukkan bahwa kadar presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kanvas rem sekam ungu padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa memberikan pengaruh terhadap nilai kekerasannya. Nilai kekerasan permukaan yang didapatkan pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan cenderung meningkat seiring dengan presentase

dari selulosa asetat yang ditambahkan. Hal tersebut terjadi karena selulosa asetat merupakan serat buatan yang mampu mengikat komponen dari komposit kanvas rem sehingga akan meningkatkan nilai kekuatan dan ketahanan permukaan material terhadap deformasi. Semakin tinggi nilai dari kekerasan permukaan material, maka akan mempengaruhi besar nilai koefisien gesek dan nilai laju keausannya.

4.2 Pengujian Koefisien Gesek (*Coefficient of Friction*)

Pengujian koefisien gesek dilakukan pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pada tabel 3.4 berisikan data nilai *force* pada tiap pengujian spesimen A, B dan C yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat uji PASCO dan *capstone software*. Selanjutnya dari data pada tabel 3.4 akan dihitung nilai *force* rata-rata dan koefisien gesek pada tiap spesimen A, B dan C yang akan ditampilkan pada tabel 4.2 dan tabel 4.3.

Tabel 4.2 Data Nilai *Force* Rata-rata pada Pengujian Koefisien Gesek

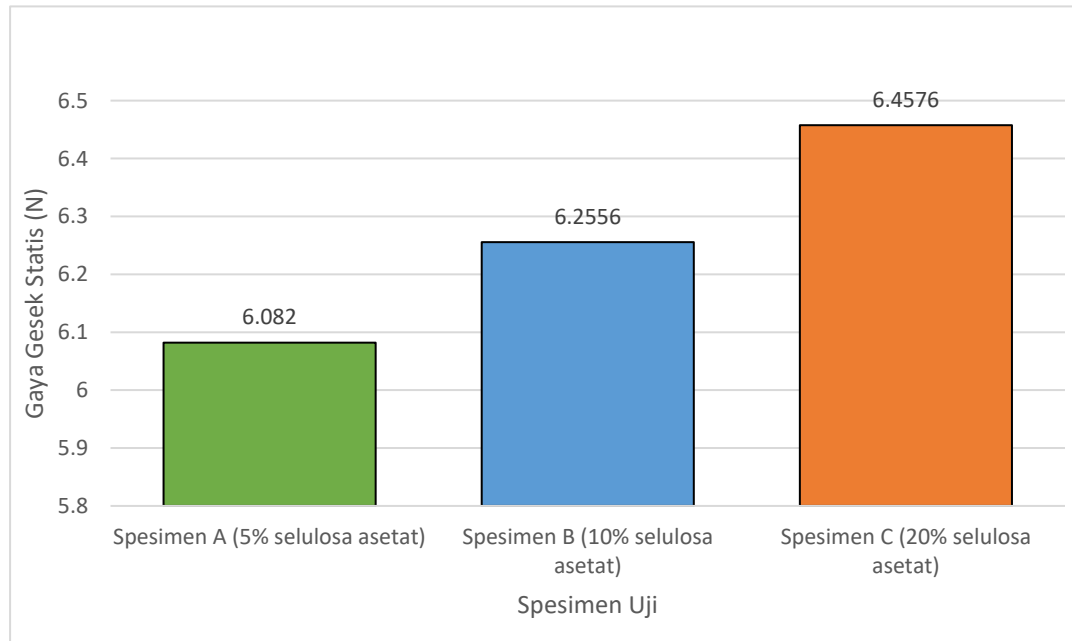
Spesimen	Pengujian	Massa Spesimen (kg)	Massa Beban (kg)	\bar{F}_s (N)	\bar{F}_k (N)
A	1	7	1	6.082	5.3486
	2	7	1		
	3	7	1		
B	1	7	1	6.2556	5.4845
	2	7	1		
	3	7	1		
C	1	7	1	6.4576	5.5260
	2	7	1		
	3	7	1		

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek

Spesimen	Pengujian	μ_s	$\bar{\mu}_s$	μ_k	$\bar{\mu}_k$
A	1	0.5693	0.6520	0.5359	0.5386
	2	0.6790		0.5519	
	3	0.7077		0.5278	
B	1	0.5785	0.6085	0.5378	0.5522
	2	0.6223		0.5485	
	3	0.6247		0.5704	
C	1	0.6661	0.6549	0.5399	0.5564
	2	0.6699		0.5663	
	3	0.6288		0.5631	

4.2.1 Analisa Koefisien Gesek Statis pada Komposit Kanvas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa

Pada pengujian koefisien gesek pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C didapatkan hasil data yang terdapat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3. Selanjutnya dari data tersebut akan dilakukan analisa terkait gaya gesek statis dan koefisien gesek statis dari tiap spesimen uji.



Gambar 4.3 Grafik Gaya Gesek Statis (F_s) Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

Pada pengujian koefisien gesek didapatkan nilai dari gaya statis yang bekerja pada material komposit sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa seperti pada grafik diatas. Gaya gesek statis adalah gaya yang bekerja pada permukaan benda padat yang arah gerakannya berlawanan sehingga terjadi kontak pada saat benda akan bergerak. Gaya gesek statis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_s = \mu_s \cdot N \quad (5)$$

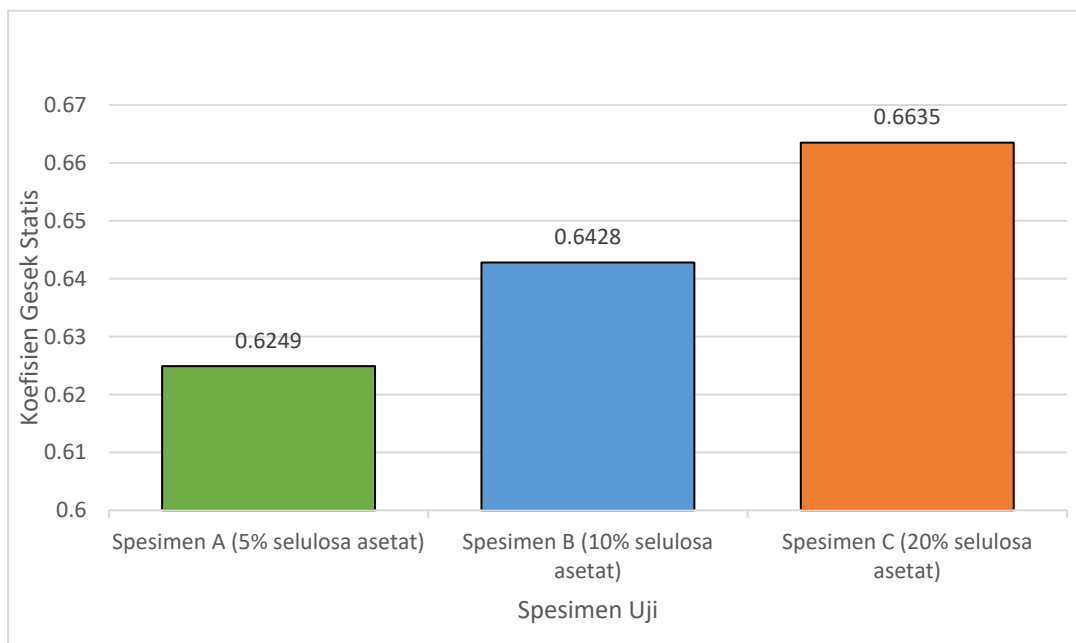
dimana, F_s : Gaya gesek statis
 μ_s : Koefisien gesek statis
 N : Gaya Normal

Pada rumus gaya gesek statis tersebut diketahui bahwa yang mempengaruhi besar nilai dari gaya gesek statis adalah koefisien gesek statis dan gaya normal yang terjadi pada benda. Pengujian dilakukan pada permukaan benda yang rata sehingga gaya normal akan sebanding dengan nilai *weight* (W) karena sudut kemiringan 0° .

Pada grafik diatas menunjukkan nilai gaya statis yang dihasilkan dari komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pada grafik menunjukkan bahwa nilai dari gaya statis yang bekerja adalah sebesar 6.082 N pada spesimen A, 6.2556 N pada spesimen B dan

6.4576 N pada spesimen C. Nilai dari gaya gesek statis terbesar terdapat pada spesimen C dengan 20% penambahan selulosa asetat, yaitu 6.4576 N. Sedangkan nilai dari gaya gesek statis terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 6.082 N.

Perbedaan jumlah massa dari tiap spesimen uji pada pengujian koefisien gesek diasumsikan tidak ada, sehingga massa dari tiap spesimen uji adalah sama, yaitu 7 gram. Maka dari itu, faktor yang mempengaruhi besar nilai dari gaya gesek statis adalah pada nilai koefisien gesek material spesimen uji. Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa Spesimen C dengan 20% selulosa asetat membutuhkan gaya yang paling besar untuk membuat spesimen bergerak dari kondisi diam. Sedangkan Spesimen B dengan 10% selulosa asetat membutuhkan gaya yang paling kecil diantara ketiga spesimen untuk bergerak dari kondisi diam. Hal ini membuktikan bahwa presentase selulosa asetat yang ditambahkan pada komposit kanvas rem berpengaruh terhadap besar nilai gaya statis yang dibutuhkan. Besar dan kecilnya nilai dari gaya gesek statis dipengaruhi oleh nilai koefisien gesek statis pada material. Berikut adalah grafik koefisien gesek statis yang didapatkan dari hasil pengujian koefisien gesek:



Gambar 4.4 Grafik Koefisien Gesek Statis (μ_s) Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

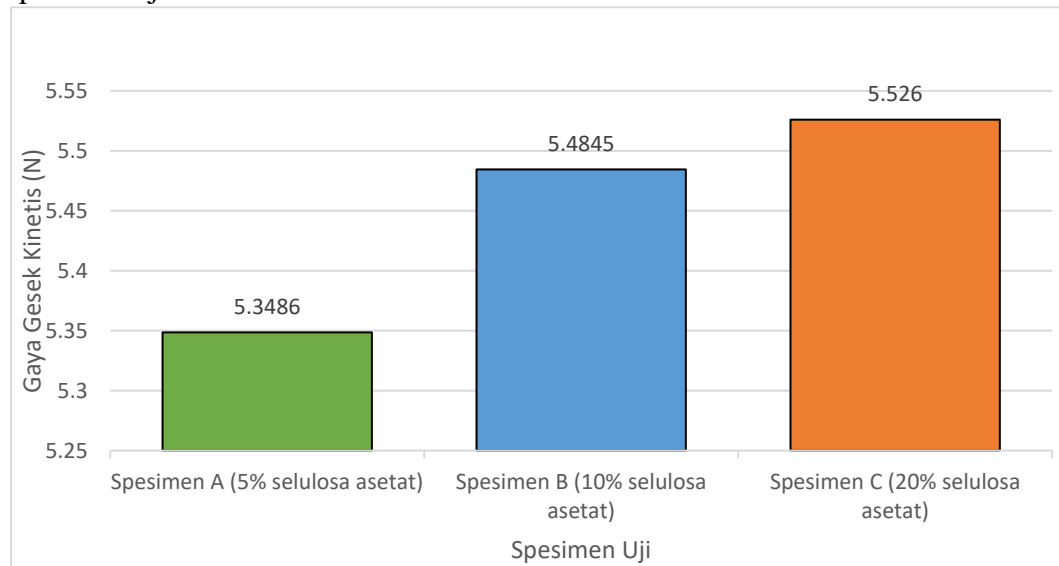
Pada pengujian koefisien gesek pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Nilai dari koefisien gesek statis yang didapatkan adalah sebesar 0.6249 pada spesimen A, 0.6428 pada spesimen B dan 0.6635 pada spesimen C. Nilai koefisien gesek statis terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635. Sedangkan nilai koefisien gesek statis yang terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0.6249 Perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek statis adalah seperti pada rumus berikut:

$$\begin{aligned}
F_s &= \mu_s \cdot N \\
6.4576 \text{ N} &= \mu_s \cdot W \\
6.4576 \text{ N} &= \mu_s \cdot (\text{massa beban} + \text{massa spesimen}) \cdot g \\
6.4576 \text{ N} &= \mu_s \cdot (1 \text{ kg} + 0,007 \text{ kg}) \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\mu_s &= 0.6635
\end{aligned}
\tag{6}$$

Berdasarkan contoh perhitungan diatas, nilai dari koefisien gesek statis dan nilai gaya gesek statis akan saling mempengaruhi. Hal itu terlepas dari pengaruh massa material karena perbedaan massa tiap spesimen uji dianggap tidak ada. Selain itu, dari grafik dapat dilihat bahwa spesimen A dengan 5% selulosa asetat memiliki nilai koefisien gesek statis yang lebih besar dibandingkan spesimen B dengan 10% selulosa asetat. Namun spesimen C dengan 20% selulosa asetat memiliki nilai koefisien gesek statis yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen A dengan 5% selulosa asetat. Jika presentase penambahan selulosa asetat pada spesimen mempengaruhi besar nilai dari koefisien gesek statisnya, maka seharusnya nilai koefisien gesek pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat tidak lebih kecil dari spesimen A dengan 5% selulosa asetat. Maka dari itu dengan kadar presentase selulosa asetat yang tinggi akan menghasilkan nilai koefisien gesek statis yang tinggi pada spesimen komposit kanvas rem *non-asbestos*.

4.2.2 Analisa Koefisien Gesek Kinetis pada Komposit Kanvas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa

Pada pengujian koefisien gesek pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C didapatkan hasil data yang terdapat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3. Selanjutnya dari data tersebut akan dilakukan analisa terkait gaya gesek kinetis dan koefisien gesek kinetis dari tiap spesimen uji.



Gambar 4.5 Grafik Gaya Gesek Kinetis (F_k) Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

Pada pengujian koefisien gesek didapatkan nilai dari gaya gesek kinetis yang bekerja pada material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Gaya gesek kinetis adalah gaya yang

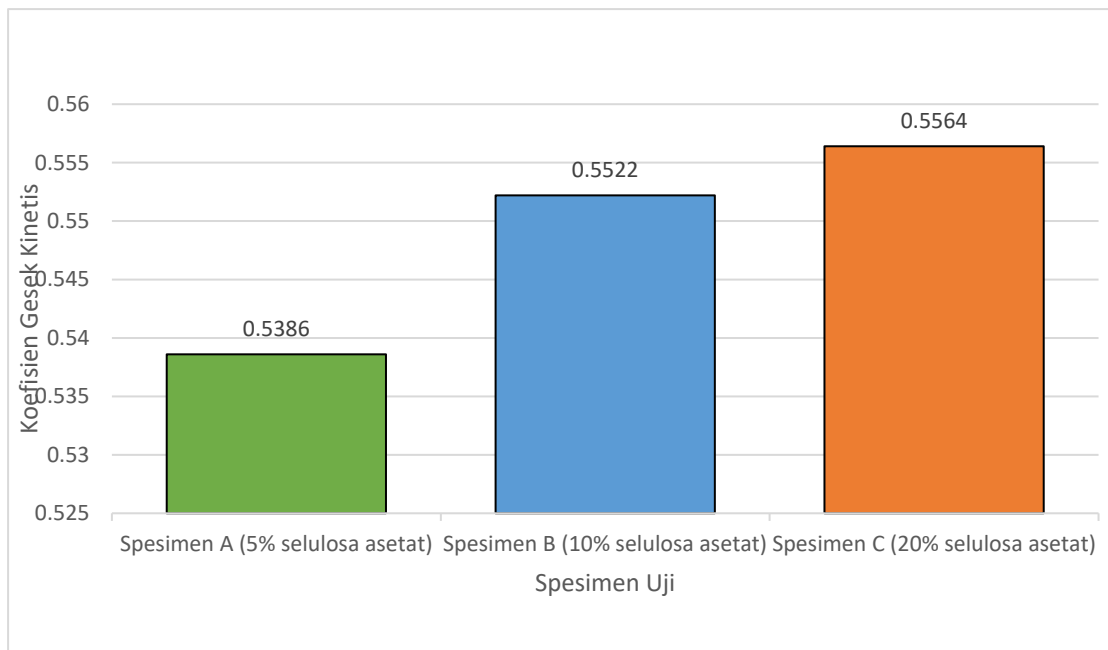
bekerja pada dua permukaan benda padat yang arah gerakannya berlawanan. Gaya gesek kinetis berbeda dengan gaya gesek statis yang bekerja pada saat benda diam tidak bergerak. Gaya gesek kinetis bekerja pada saat benda bergerak sampai benda tersebut berhenti bergerak. Berikut adalah perumusan dari gaya gesek kinetis:

$$F_k = \mu_k \cdot N \quad (7)$$

dimana, F_k : Gaya gesek kinetis
 μ_k : Koefisien gesek kinetis
 N : Gaya Normal

Pada rumus gaya gesek kinetis diatas, dapat diketahui bahwa besar nilai dari gaya gesek kinetis berpengaruh pada besar nilai koefisien gesek kinetis dan gaya normal yang bekerja pada benda. Nilai dari gaya normal yang bekerja pada benda akan sebanding dengan nilai *weight* benda dikarenakan pengujian dilakukan pada permukaan yang rata dengan sudut 0° . Nilai *weight* berpengaruh pada besar nilai massa beban dan besar nilai massa dari spesimen. Nilai massa beban yang digunakan pada pengujian koefisien gesek adalah 1 kg. Sedangkan nilai massa dari spesimen adalah 20 gram, dimana perbedaan massa pada tiap spesimen dianggap tidak ada. Sehingga perbedaan massa dari spesimen uji tidak mempengaruhi nilai dari gaya gesek maupun koefisien gesek.

Pada grafik diatas didapatkan nilai dari gaya gesek kinetis yang bekerja pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan massa selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Nilai dari gaya gesek kinetis yang bekerja adalah 5.3486 N pada spesimen A. Kemudian pada spesimen B, nilai gaya gesek kinetis yang bekerja adalah 5.4845 N. Selanjutnya, gaya gesek kinetis yang bekerja pada spesimen C adalah sebesar 5.5260 N. Gaya gesek kinetis terbesar terdapat pada spesimen C, yaitu 5.5260 N. Sedangkan gaya gesek kinetis terkecil terdapat pada spesimen A, yaitu 5.3486 N. Grafik gaya gesek kinetis yang bekerja pada komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa meningkat seiring dengan penambahan presentase massa selulosa asetat. Semakin tinggi presentase selulosa asetat yang ditambahkan kedalam komposisi komposit material kanvas rem, maka nilai dari gaya gesek kinetis juga akan meningkat. Besar nilai dari gaya gesek kinetis yang bekerja juga dipengaruhi oleh besar nilai koefisien gesek kinetis materialnya. Nilai dari koefisien gesek kinetis komposit kanvas rem dalam pengujian dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4.6 Grafik Koefisien Gesek Kinetis (μ_k) Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*

Grafik diatas adalah grafik koefisien gesek kinetis yang didapatkan dalam pengujian koefisien gesek pada material komposit kampas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa. Penambahan selulosa asetat pada tiap spesimen adalah 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pada grafik, nilai dari koefisien gesek kinetis yang didapatkan adalah sebesar 0.5386 pada spesimen A, 0.5522 pada spesimen B dan 0.5564 pada spesimen C. Nilai koefisien gesek kinetis terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564. Sedangkan nilai koefisien gesek statis yang terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0.5386. Perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien gesek statis adalah seperti pada rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 F_k &= \mu_k \cdot N \\
 5.5260 \text{ N} &= \mu_k \cdot W \\
 5.5260 \text{ N} &= \mu_k \cdot (\text{massa beban} + \text{massa spesimen}) \cdot g \\
 5.5260 \text{ N} &= \mu_k \cdot (1 \text{ kg} + 0,007 \text{ kg}) \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \mu_k &= 0.5564 \qquad (8)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan contoh perhitungan diatas, nilai dari koefisien gesek kinetis dan nilai gaya gesek kinetis akan saling mempengaruhi. Hal itu terlepas dari pengaruh massa material karena perbedaan massa tiap spesimen uji dianggap tidak ada. Selain itu, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai dari koefisien gesek kinetis material komposit kampas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat. Maka dari itu, semakin tinggi kadar presentase selulosa asetat yang ditambahkan pada komposit kampas rem akan meningkatkan koefisien gesek kinetisnya.

4.3 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Kampas Rem Standar dan Kampas Rem Hasil Penelitian Terdahulu

Kampas rem memiliki kualitas standar berdasarkan pada nilai dari koefisien gesek. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian koefisien gesek untuk mendapatkan nilai koefisien gesek kinetis dari komposit kampas rem *non-asbestos* yang terbuat dari sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Nilai koefisien gesek kinetis yang telah didapatkan selanjutnya akan dilakukan analisa perbandingan dengan komposit kampas rem 0% selulosa asetat, kampas rem *asbestos* dan kampas rem standar dari hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan.

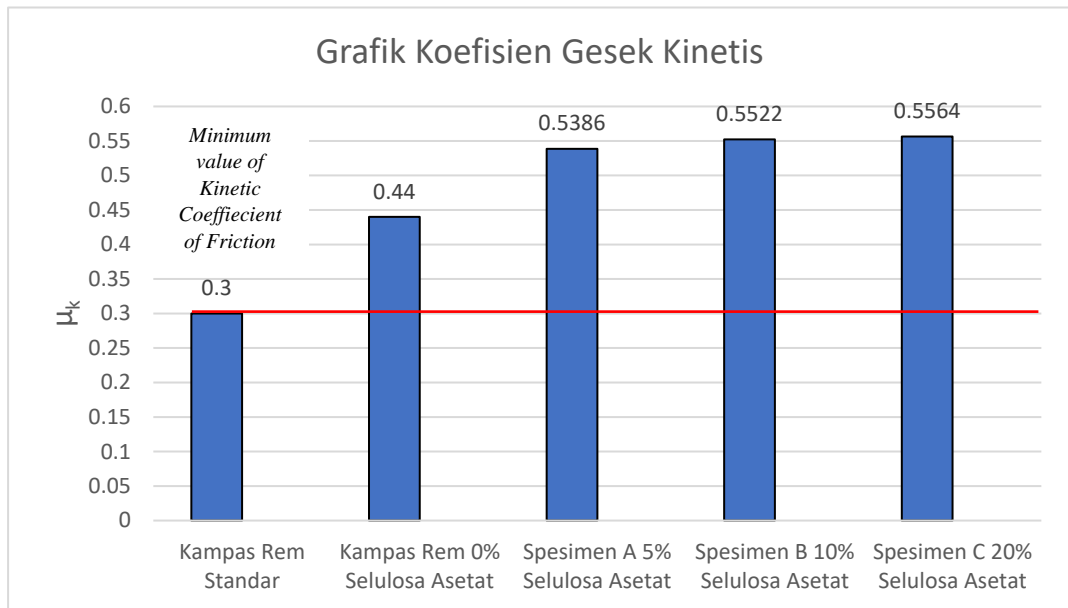
Tabel 4.4 Tabel Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek Kinetis

Tipe Kampas Rem	Koefisien Gesek Kinetis (μ_k)
kampas rem standar	0.3
komposit 0% selulosa asetat	0.44
kampas rem asbestos	0.4544

Data pada tabel diatas didapatkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Nilai koefisien gesek kinetis kampas rem standar didapatkan dari tabel panduan SNI (Standar Nasional Indonesia) oleh BSN (Badan Standar Nasional) dengan judul “Kampas Rem Kendaraan Bermotor, Klasifikasi, Dimensi dan Koefisien Gesek” yang diterbitkan pada tahun 2010 dan dapat dilihat pada lampiran. Untuk nilai koefisien gesek kinetis komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi dan serbuk tempurung kelapa dengan 0% selulosa asetat didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Suhardiman dan Mukmin Syahputra dengan judul “Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa” pada tahun 2008. Sedangkan untuk nilai koefisien gesek kinetis dan kampas rem *asbestos* didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Adi Akbar Rafsanjani dengan judul “Pengaruh *Density* terhadap *Hardness*, Koefisien Gesek, dan *Wear Rate* dari Campuran Komposit Serbuk Kayu dan Serbuk Keramik untuk Kampas Rem” pada tahun 2021.

4.3.1 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Komposit Kampas Rem 0% Selulosa Asetat

Pengujian koefisien gesek terhadap komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C untuk mendapatkan nilai koefisien gesek kinetis. Selanjutnya nilai koefisien gesek kinetis yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan nilai koefisien gesek kinetis pada komposit kampas rem *non-asbestos* dengan 0% selulosa asetat. Kemudian nilai koefisien gesek kinetis dari komposit kampas rem *non-asbestos* akan dibandingkan dengan kampas rem standar. Standar untuk kampas rem adalah kampas rem dengan nilai koefisien gesek kinetis diatas 0.3. Berikut grafik perbandingan nilai koefisien gesek kinetis:



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kanvas Rem Standar dengan Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos* 0%, 5%, 10% dan 20% Selulosa Asetat

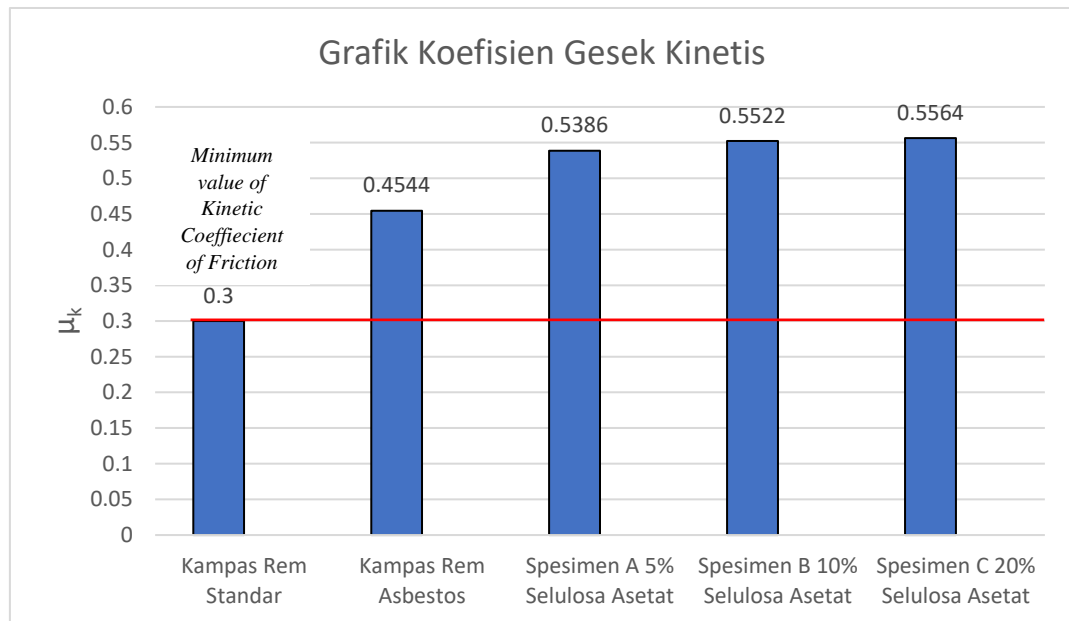
Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai koefisien gesek kinetis dari kanvas rem standar adalah 0.3 dan nilai koefisien gesek kinetis dari komposit kanvas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa adalah 0.44 pada kanvas rem dengan 0% selulosa asetat, 0.5386 pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, 0.5522 pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan 0.5564 pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada komposit kanvas rem spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564. Sedangkan nilai koefisien gesek kinetis terendah terdapat pada kanvas rem standar, yaitu 0.3.

Berdasarkan hasil pada grafik, dapat disimpulkan bahwa komposit kanvas rem *non-asbestos* dengan 0%, 5%, 10% dan 20% selulosa asetat telah memenuhi standar kanvas rem dengan nilai koefisien gesek kinetis lebih dari 0.3. Berdasarkan nilai koefisien gesek kinetis pada grafik dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan selulosa asetat pada komposit kanvas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan meningkatkan nilai koefisien gesek kinetisnya. Selain itu, nilai koefisien gesek kinetis pada komposit kanvas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan meningkat seiring dengan besarnya presentase selulosa asetat yang ditambahkan.

4.3.2 Analisa Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Kinetis Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Kanvas Rem *Asbestos*

Pengujian koefisien gesek telah dilakukan terhadap komposit kanvas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C untuk mendapatkan nilai koefisien gesek kinetis. Selanjutnya nilai koefisien gesek kinetis yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan nilai koefisien gesek kinetis pada kanvas rem *asbestos*. Berikut grafik perbandingan nilai

koefisien gesek kinetis komposit kampas rem *non-asbestos* dengan kampas rem *asbestos*:



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* dan Kampas Rem *Asbestos*

Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai koefisien gesek kinetis dari kampas rem standar adalah 0.3 dan nilai koefisien gesek kinetis dari kampas rem *asbestos* adalah 0.4543. Sedangkan nilai koefisien gesek kinetis komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa adalah 0.5386 pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, 0.5522 pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan 0.5564 pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada komposit kampas rem spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564. Sedangkan nilai koefisien gesek kinetis terendah terdapat pada kampas rem standar, yaitu 0.3.

Berdasarkan data pada grafik dapat disimpulkan bahwa komposit kampas rem *asbestos* dan *non-asbestos* telah memenuhi standar kampas rem dengan nilai koefisien gesek lebih dari 0.3. Berdasarkan nilai koefisien gesek kinetis pada grafik dapat disimpulkan bahwa komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa memiliki nilai koefisien gesek yang lebih tinggi daripada komposit kampas rem *asbestos*. Sehingga, komposit kampas rem *non-asbestos* pada penelitian ini lebih baik dalam segi nilai koefisien gesek kinetis dibandingkan dengan komposit kampas rem *asbestos* pada penelitian yang sebelumnya.

4.4 Pengujian Laju Keausan (*Wear Rate*)

Pada pengujian laju keausan didapatkan hasil pengujian seperti yang telah ditampilkan pada tabel 3.5. Selanjutnya dari data tersebut akan dilakukan analisa untuk menentukan nilai dari ΔV , *wear rate* dan *wear coefficient* dari tiap spesimen uji. Berikut tabel data hasil perhitungan pada pengujian laju keausan:

Tabel 4.5 Data Perhitungan ΔV pada Pengujian Laju Keausan

Spesimen	Pengujian	Massa (gram)	V_0 (mm ³)	V_t (mm ³)	ΔV (mm ³)
A	1	7	6363.6357	6326.9928	36.6428
	2	7	6346.3260	6309.1405	37.1855
	3	7	6086.3965	6049.3596	37.0368
B	1	7	6527.3259	6451.8655	75.4604
	2	7	6372.1731	6287.8533	84.3198
	3	7	6407.5140	6335.9217	71.5923
C	1	7	6746.4734	6634.2400	112.2333
	2	7	6017.7115	5902.1304	115.5810
	3	7	6000.1119	5888.3086	111.8033

Tabel 4.6 Perhitungan Data *Wear Rate*

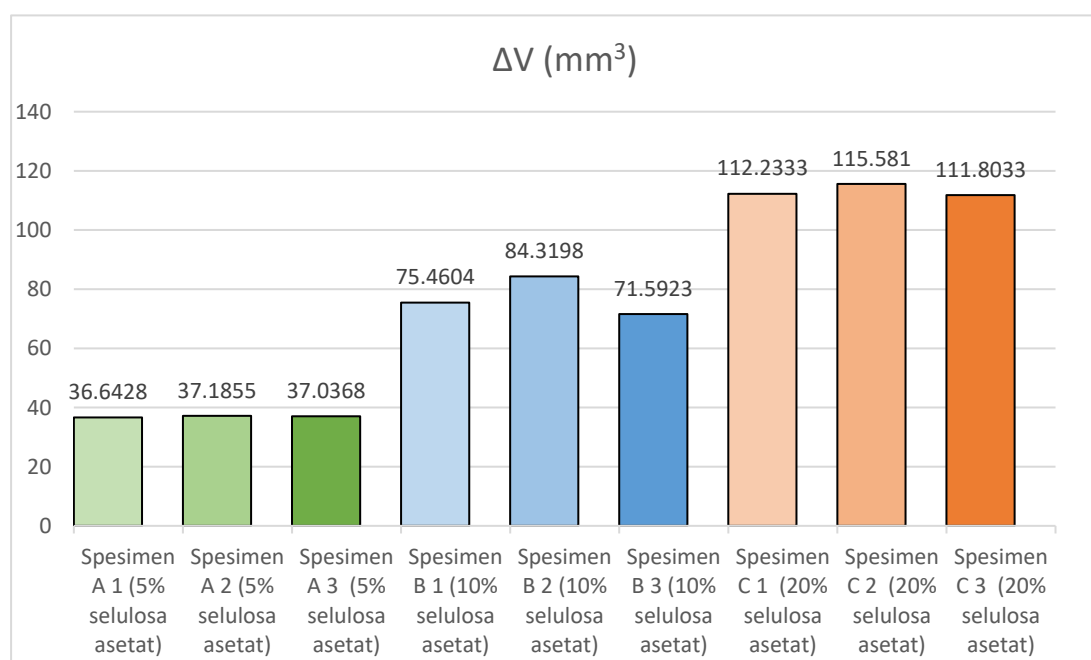
Spesimen	Pengujian	W (N)	L (m)	k (mm ³ /Nm)	\bar{k}
A	1	20	1800	0.001017	0.001026
	2	20	1800	0.001032	
	3	20	1800	0.001028	
B	1	20	1800	0.002096	0.002142
	2	20	1800	0.002342	
	3	20	1800	0.001988	
C	1	20	1800	0.003117	0.003144
	2	20	1800	0.003210	
	3	20	1800	0.003105	

Tabel 4.7 Data Perhitungan *Wear Coefficient*

HS	UTS (Mpa)	Massa Beban (kg)	L (m)	ΔV (mm ³)	K	K
54	1250	2	1800	36.6428	0.001272	0.001314
55.1667	1302.5001	2	1800	37.1855	0.001345	
54.8333	1287.4998	2	1800	37.0368	0.001324	
62	1530	2	1800	75.4604	0.003207	0.003323
62.3333	1546.6665	2	1800	84.3198	0.003622	
63	1580	2	1800	71.5923	0.003142	
68.8333	1869.9998	2	1800	112.2333	0.005829	0.005817
68.3333	1839.9998	2	1800	115.5810	0.005907	
68.3333	1839.9998	2	1800	111.8033	0.005714	

4.4.1 Analisa Laju Keausan pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa

Pengujian laju keausan pada komposit kampas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C dihasilkan data yang terdapat pada tabel 4.5, tabel 4.6 dan tabel 4.7. Berdasarkan data pada tabel tersebut didapatkan hasil grafik sebagai berikut:

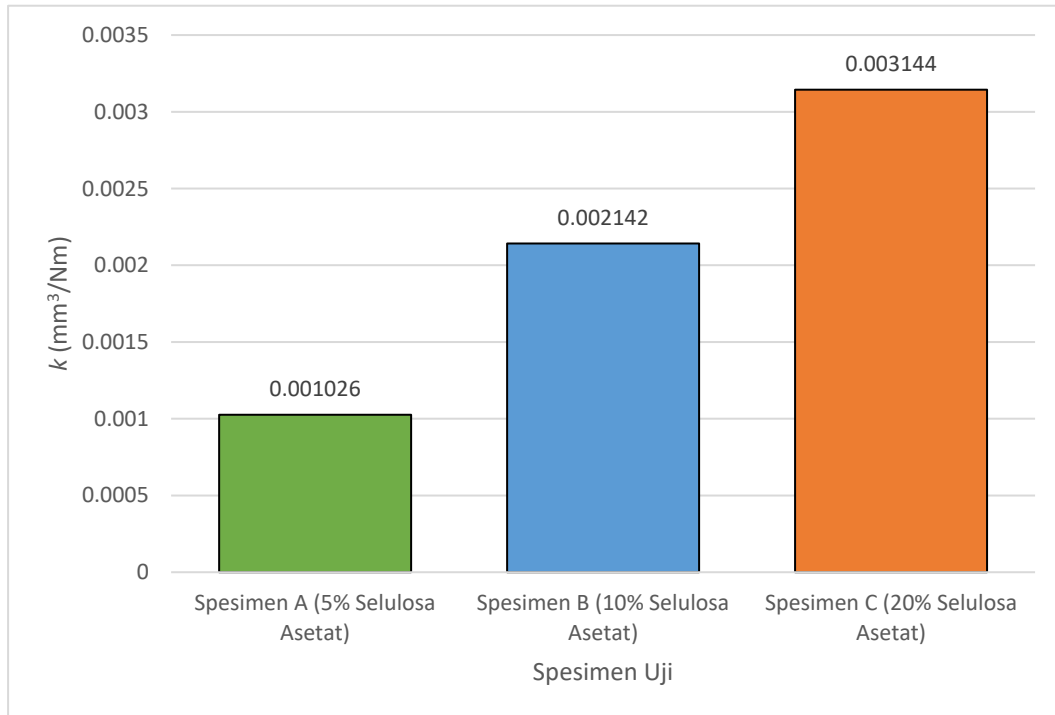


Gambar 4.9 Grafik Keausan Material ΔV (mm³) Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*

Pada grafik tersebut dijelaskan bahwa hilangnya volume material komposit kampas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa pada saat pengujian keausan. Data grafik diatas adalah keausan spesimen setelah pengujian berlangsung selama 57,18 menit. Pada grafik dapat dilihat nilai ΔV (mm³) pada tiap spesimen berbeda. Terdapat spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat dan spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat. Pengujian keausan dilakukan sebanyak 3 kali pada tiap spesimen. Nilai ΔV spesimen A adalah 36,6428 mm³ pada spesimen A1, 37,1855 mm³ pada spesimen A2 dan 37,0368 mm³ pada spesimen A3. Kemudian nilai ΔV spesimen B adalah 75,4604 mm³ pada spesimen B1, 84,3198 mm³ pada spesimen B2 dan 71,5923 mm³ pada spesimen B3. Selanjutnya ΔV spesimen C adalah 112,2333 mm³ pada spesimen C1, 115,5810 mm³ pada spesimen C2 dan 111,8033 mm³ pada spesimen C3.

Pada grafik dapat dilihat bahwa Nilai ΔV tiap spesimen mengalami peningkatan yang signifikan bersamaan dengan bertambahnya presentase selulosa asetat yang ditambahkan pada material komposit kampas rem. Pada spesimen A, nilai ΔV rata-rata adalah 36,9550 mm³. Sedangkan nilai ΔV rata-rata dari spesimen B adalah 77,1242 mm³. Selanjutnya nilai ΔV rata-rata dari spesimen C adalah 113,2059 mm³. Nilai ΔV terbesar terdapat pada spesimen C dengan 20% penambahan selulosa asetat, yaitu 113,2059 mm³. Sedangkan nilai ΔV terkecil terdapat pada spesimen A

dengan 5% penambahan selulosa asetat, yaitu 36,9550 mm³. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbung tempurung kelapa, maka nilai ΔV juga akan meningkat. Nilai ΔV juga akan mempengaruhi nilai dari *wear rate* dan *wear coefficient* dari material komposit kanvas rem. Berikut grafik *wear rate* yang didapatkan dari hasil pengujian keausan:



Gambar 4.10 Grafik *Wear Rate* Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

Pada grafik diatas menunjukkan nilai dari *wear rate* material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Pada grafik 4.7 telah ditunjukkan nilai ΔV pada tiap spesimen yang mana akan mempengaruhi nilai dari *wear rate* seperti yang ditunjukkan pada rumus berikut:

$$k = \frac{\Delta V}{W.L} \quad (9)$$

dimana, k : *wear rate*

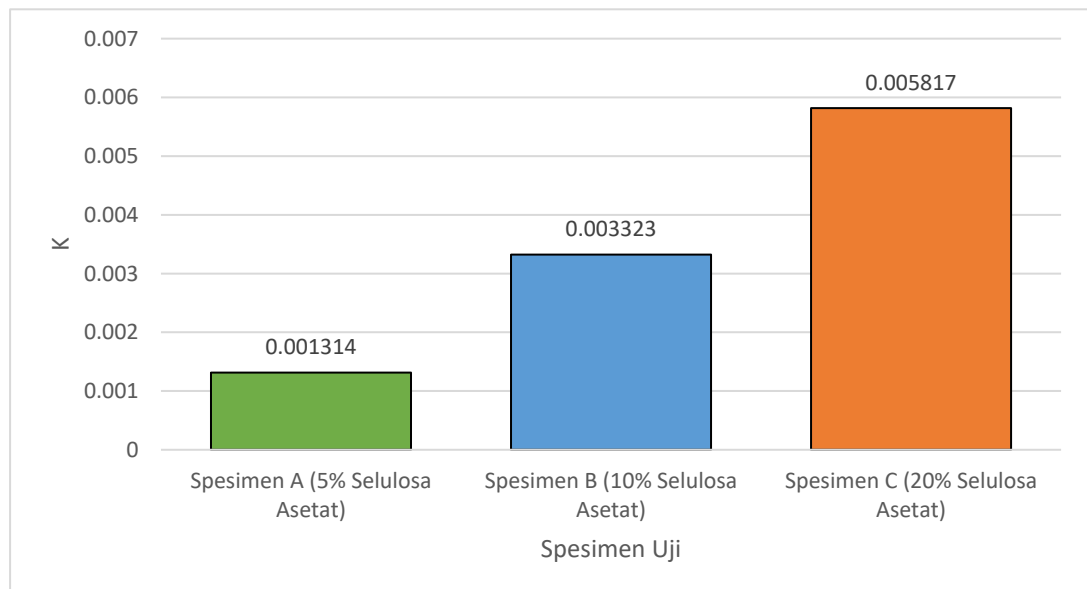
W : *weight* beban yang diberikan

L : panjang lintasan yang ditempuh

Nilai dari *wear rate* dipengaruhi oleh ΔV , W dan L . Sehingga, untuk perhitungan dari nilai *wear rate* dapat dicontohkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{\Delta V}{W.L} \\
 k &= \frac{113,2059307 \text{ mm}^3}{20 \text{ N} \cdot 1800 \text{ m}} \\
 k &= 0,003144609 \text{ mm}^3/\text{Nm} \quad (10)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan rumus perhitungan *wear rate* diatas didapatkan nilai *wear rate* dari spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat sebesar 0,001026 mm³/Nm. Kemudian nilai *wear rate* dari spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat sebesar 0,002143 mm³/Nm. Selanjutnya nilai *wear rate* dari spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat sebesar 0,003144 mm³/Nm. Nilai *wear rate* terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0,003144 mm³/Nm. Sedangkan nilai *wear rate* terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0,001026 mm³/Nm. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai dari *wear rate* akan meningkat bersamaan dengan peningkatan presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem. Hal tersebut berbanding lurus dengan nilai dari koefisien gesek yang didapatkan. Semakin besar nilai koefisien gesek material, maka nilai dari *wear rate* dari material juga akan meningkat. Berdasarkan dari nilai *wear rate* tersebut, maka nilai *wear coefficient* dari material komposit kanvas rem didapatkan pada grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik *Wear Coefficient* Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos*

Untuk memperoleh nilai dari *wear coefficient* dari material komposit rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa diperlukan nilai *hardness* yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya. Nilai *hardness* yang didapatkan harus diubah dalam satuan MPa. Nilai tersebut dapat diperoleh dengan cara mengkonversi nilai *hardness* kedalam nilai *Ultimate Tensile Strength*. Data konversi dapat dilihat pada tabel 3.8, yang mana nilai konversi didapatkan dari perhitungan interpolasi dengan mengacu pada tabel konversi nilai *hardness* standar JIS oleh Nabeya Bi-tech Kaisha. Tabel konversi nilai *hardness* kan ditampilkan pada lembar lampiran. Maka nilai dari *wear coefficient* dapat diperoleh dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$K = \frac{\Delta V \cdot H}{W \cdot L}$$

$$K = \frac{113,2059307 \text{ mm}^3 \cdot 1849,9998 \text{ MPa}}{20 \text{ N} \cdot 1800 \text{ m}}$$

$$K = 0,005817256 \quad (11)$$

Pada perhitungan tersebut didapatkan nilai *wear coefficient* dari material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa. Pada grafik diatas, nilai *wear coefficient* dari spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat adalah sebesar 0,001314. Kemudian nilai *wear coefficient* dari spesimen B dengan penambahan 10% selulosa asetat adalah sebesar 0,003323. Selanjutnya nilai *wear coefficient* dari spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat adalah sebesar 0,005817. Nilai *wear coefficient* terbesar terdapat pada spesimen C dengan penambahan 20% selulosa asetat, yaitu 0,005817. Sedangkan nilai *wear coefficient* terkecil terdapat pada spesimen A dengan penambahan 5% selulosa asetat, yaitu 0,001314.

Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai dari *wear coefficient* akan meningkat seiring dengan bertambahnya presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa. Hal tersebut sesuai dengan nilai *wear rate* yang juga akan meningkat seiring dengan bertambahnya presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem. Nilai dari *wear rate* dan *wear coefficient* berbanding lurus dengan nilai dari gaya gesek dan koefisien gesek material komposit kanvas rem. Semakin besar presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kanvas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa, maka nilai dari *wear rate*, *wear coefficient*, gaya gesek dan koefisien gesek juga akan meningkat. Hal tersebut dikarenakan selulosa asetat yang ditambahkan berfungsi sebagai serat buatan yang akan meningkatkan sifat material komposit kanvas rem.

4.5 Analisa Perbandingan Nilai *Wear Rate* Komposit Kanvas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Kanvas Rem Standar dan Kanvas Rem Hasil Penelitian Terdahulu

Kanvas rem memiliki kualitas berdasarkan pada nilai dari *wear rate*. Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian laju keausan untuk mendapatkan nilai *wear rate* dari komposit kanvas rem *non-asbestos* yang terbuat dari sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C. Nilai *wear rate* yang telah didapatkan selanjutnya akan dilakukan analisa perbandingan dengan komposit kanvas rem 0% selulosa asetat, kanvas rem *asbestos* dan kanvas rem standar dari hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan.

Tabel 4.8 Tabel Data Hasil Pengujian *Wear Rate*

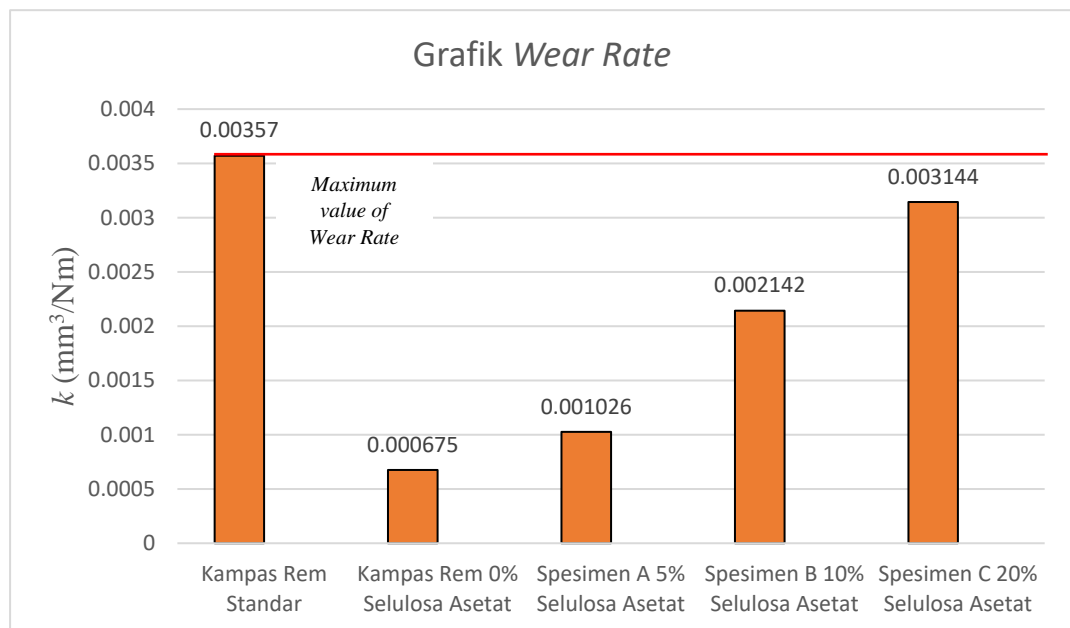
Tipe Kanvas Rem	k (mm³/Nm)
kanvas rem standar	0.00357
komposit 0% selulosa asetat	0.000675
kanvas rem asbestos	0.00056

Data pada tabel diatas didapatkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Nilai *wear rate* kanvas rem standar didapatkan dari tabel panduan SNI (Standar Nasional Indonesia) oleh BSN (Badan Standar Nasional) dengan

judul “Kampas Rem Kendaraan Bermotor, Klasifikasi, Dimensi dan Koefisien Gesek” yang diterbitkan pada tahun 2010 dan dapat dilihat pada lampiran. Untuk *wear rate* komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi dan serbuk tempurung kelapa dengan 0% selulosa asetat didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Suhardiman dan Mukmin Syahputra dengan judul “Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa” pada tahun 2008. Sedangkan untuk nilai koefisien gesek kinetis dan *wear rate* kampas rem *asbestos* didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Adi Akbar Rafsanjani dengan judul “Pengaruh Density terhadap Hardness, Koefisien Gesek, dan Wear Rate dari Campuran Komposit Serbuk Kayu dan Serbuk Keramik untuk Kampas Rem” pada tahun 2021.

4.5.1 Analisa Perbandingan Nilai *Wear Rate* Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Komposit Kampas Rem 0% Selulosa Asetat

Pengujian keausan komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C dilakukan untuk mendapatkan nilai *wear rate*. Selanjutnya nilai *wear rate* yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan nilai *wear rate* pada komposit kampas rem *non-asbestos* dengan 0% selulosa asetat. Kemudian nilai *wear rate* dari komposit kampas rem *non-asbestos* akan dibandingkan dengan kampas rem standar. Standar untuk kampas rem adalah kampas rem dengan nilai *wear rate* dibawah $0.00357 \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Berikut grafik perbandingan nilai koefisien gesek kinetis:



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Koefisien Gesek Kinetis Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* 0%, 5%, 10% dan 20% Selulosa Asetat

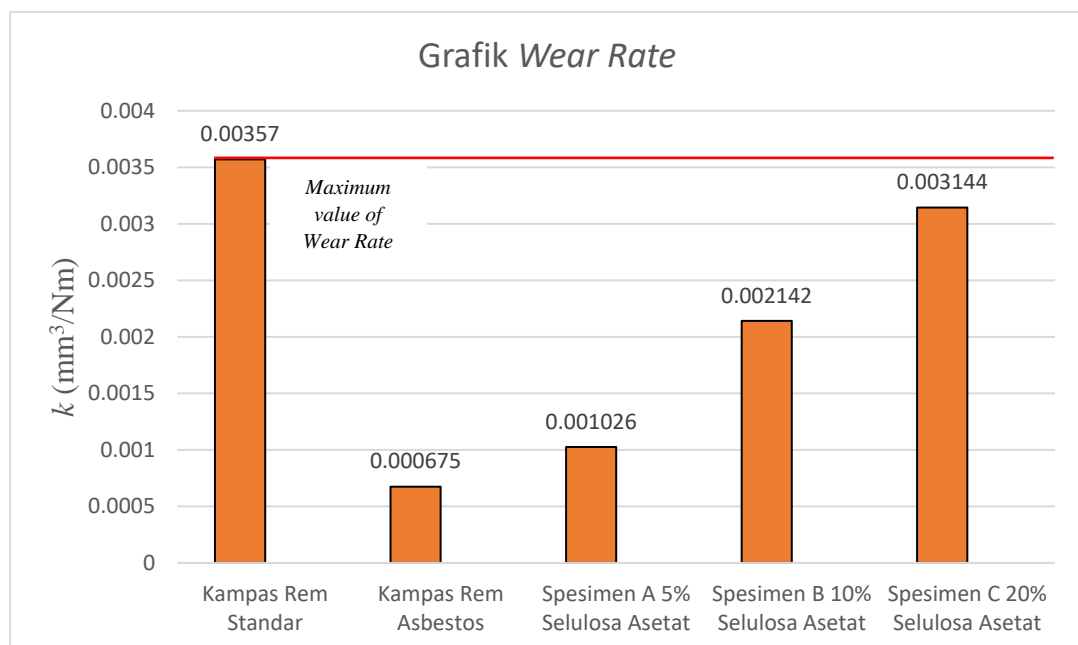
Pada grafik dapat diketahui bahwa nilai *wear rate* dari kampas rem standar adalah $0.00357 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dan nilai *wear rate* dari komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa adalah $0.000675 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ pada kampas rem dengan 0% selulosa asetat, $0.001026 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, $0.002142 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat

dan 0.003144 mm³/Nm pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada komposit kampas rem standar yaitu 0.00357 mm³/Nm. Sedangkan nilai koefisien gesek kinetis terendah terdapat pada komposit kampas rem dengan 0% selulosa asetat, yaitu 0.000675 mm³/Nm.

Berdasarkan data pada grafik, dapat disimpulkan bahwa komposit kampas rem *non-asbestos* dengan 0%, 5%, 10% dan 20% selulosa asetat telah memenuhi standar kampas rem dengan nilai *wear rate* kurang dari 0.00357 mm³/Nm. Berdasarkan hasil pengujian *wear rate* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan selulosa asetat pada komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbu kayu dan serbuk tempurung kelapa akan mempengaruhi nilai *wear ratenya*. Nilai *wear rate* pada komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbu kayu dan serbuk tempurung kelapa akan meningkat seiring dengan besarnya presentase selulosa asetat yang ditambahkan.

4.5.2 Analisa Perbandingan Nilai *Wear Rate* Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* Hasil Pengujian dengan Kampas Rem *Asbestos*

Pengujian keausan telah dilakukan terhadap komposit kampas rem *non-asbestos* sekamp padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa dengan penambahan selulosa asetat sebesar 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C untuk mendapatkan nilai *wear rate*. Selanjutnya nilai *wear rate* yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan nilai *wear rate* pada kampas rem *asbestos*. Standar untuk kampas rem adalah kampas rem dengan nilai *wear rate* dbawah 0.00357 mm³/Nm. Berikut grafik perbandingan nilai *wear rate* komposit kampas rem *non-asbestos* dengan kampas rem *asbestos*:



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan *Wear Rate* Kampas Rem Standar dengan Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos* dan Kampas Rem *Asbestos*

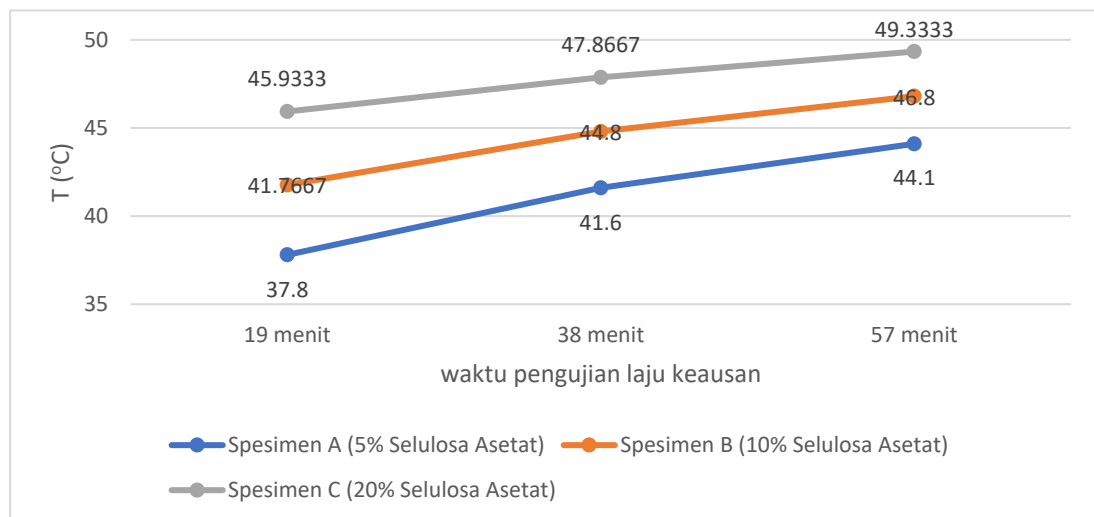
Pada grafik dapat diketahui bahwa nilai *wear rate* komposit kampas rem *asbestos* adalah 0.00056 mm³/Nm. Sedangkan nilai *wear rate* komposit kampas rem *non-*

asbestos sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa adalah 0.001026 mm³/Nm pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, 0.002142 mm³/Nm pada spesimen B dengan 10% selulosa asetat dan 0.003144 mm³/Nm pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat. Nilai *wear rate* tertinggi terdapat pada kampas rem standar, yaitu 0.00357 mm³/Nm. Sedangkan nilai *wear rate* terendah terdapat pada komposit kampas rem *asbestos*, yaitu 0.00056 mm³/Nm.

Berdasarkan data pada grafik, dapat diketahui bahwa komposit kampas rem *asbestos* dan *non-asbestos* telah memenuhi standar kampas rem dengan nilai *wear rate* kurang dari 0.00357 mm³/Nm. Nilai *wear rate* yang paling baik terdapat pada komposit kampas rem *asbestos* dengan nilai 0.00056 mm³/Nm. Hal ini menunjukkan bahwa komposit kampas rem *asbestos* lebih baik dibandingkan komposit kampas rem *non-asbestos* dari segi nilai *wear rate*. Pada komposit kampas rem *non-asbestos* sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa diketahui bahwa nilai *wear rate* akan meningkat seiring dengan penambahan selulosa asetat.

4.6 Analisa Stabilitas Termal pada Komposit Kampas Rem Sekam Padi, Serbuk Kayu dan Serbuk Tempurung Kelapa

Pengujian stabilitas termal pada komposit kampas rem dilakukan pada saat pengujian laju keausan berlangsung. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur temperature dari spesimen uji pada saat pengujian laju keausan dilakukan. Temperatur spesimen uji diukur menggunakan *infrared thermometer* yang ditembakkan pada spesimen uji pada 19 menit, 38 menit dan 57 menit pada saat pengujian laju keausan. Data hasil pengukuran temperature spesimen uji dapat dilihat pada tabel 3.6 Berikut grafik pengujian stabilitas termal yang dibuat berdasarkan pada tabel data hasil pengujian tabel 3.6:



Gambar 4.14 Grafik Pengujian Stabilitas Termal Komposit Kampas Rem *Non-Asbestos*

Grafik diatas adalah grafik pengukuran temperatur pada material komposit kampas rem sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa pada saat pengujian laju keausan dilakukan. Pengukuran temperatur dilakukan pada spesimen A, B dan C pada 3 waktu yang berbeda. Pengukuran temperatur dilakukan sebanyak 3 kali pada tiap spesimen. Sehingga didapatkan grafik temperatur rata-rata dari spesimen A, B dan C. Presentase penambahan selulosa asetat adalah 5% pada spesimen A, 10% pada spesimen B dan 20% pada spesimen C.

Pada spesimen A, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 37,8 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 41,6 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 44,1 °C. Pada spesimen B, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 41,7667 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 44,8 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 46,8 °C. Sedangkan pada spesimen C, temperatur yang diukur pada waktu 19 menit pengujian keausan adalah sebesar 45,9333 °C. Pada waktu 38 menit pengujian keausan, temperatur mengalami peningkatan hingga 47,8667 °C. Ketika pengujian keausan akan berakhir pada waktu 57 menit, temperatur mengalami peningkatan hingga 49,3333 °C.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur yang telah dilakukan, spesimen A memiliki peningkatan nilai temperatur sebesar 6,3 °C selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Pada spesimen B, peningkatan nilai temperatur selama 57 menit pengujian keausan berlangsung adalah sebesar 5,0333 °C. Sedangkan pada spesimen C peningkatan nilai temperatur selama 57 menit pengujian keausan berlangsung adalah sebesar 3,4 °C. Peningkatan temperatur pada spesimen menurun seiring dengan bertambahnya presentase penambahan selulosa asetat pada material komposit kampas rem. Sehingga, material komposit kampas rem yang memiliki nilai stabilitas termal yang baik adalah spesimen C dengan penambahan selulosa asetat sebesar 20%. Stabilitas termal dari tiap spesimen uji material komposit kampas rem berbeda bergantung pada campuran material kompositnya. Penambahan selulosa asetat pada material komposit kampas rem dapat meningkatkan nilai stabilitas termal. Hal ini dikarenakan sifat dari selulosa asetat sebagai serat buatan yang memiliki ketahanan tinggi terhadap panas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan analisa dan pembahasan hasil pengujian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan, nilai dari kekerasan permukaan spesimen akan meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kanvas rem *non-asbestos*. Pada pengujian kekerasan permukaan, didapatkan nilai *hardness* terbesar pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 68.5 HS.
2. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, diketahui bahwa penambahan selulosa asetat pada kanvas rem *non-asbestos* yang terbuat dari komposit sekam padi, serbuk kayu dan serbuk tempurung kelapa akan mempengaruhi nilai dari koefisien gesek statis dan nilai koefisien gesek kinetis pada kanvas rem. Pada penelitian diketahui bahwa nilai dari koefisien gesek statis dan kinetis meningkat seiring bertambahnya presentase selulosa asetat yang ditambahkan pada komposit kanvas rem *non-asbestos*. Nilai koefisien gesek statis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.6635. Selanjutnya untuk nilai koefisien gesek kinetis tertinggi terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu 0.5564.
3. Berdasarkan hasil pengujian laju keausan menggunakan alat uji tribometer yang telah dilakukan, didapatkan bahwa nilai dari *wear rate* dan *wear coefficient* dari spesimen meningkat seiring dengan presentase penambahan selulosa asetat pada komposit kanvas rem *non-asbestos*. Kanvas rem dengan 20% selulosa asetat memiliki nilai *wear rate* tertinggi, yaitu $k = 0.003144 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dan nilai *wear coefficient* tertinggi sebesar $K = 0.005817$. Nilai *wear rate* dan *wear coefficient* terkecil terdapat pada kanvas rem dengan 5% selulosa asetat, yaitu $k = 0.001026 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ dan $K = 0.001314$.
4. Berdasarkan hasil pengujian stabilitas termal pada komposit kanvas rem *non-asbestos*, diketahui peningkatan temperatur terkecil terdapat pada spesimen C dengan 20% selulosa asetat, yaitu sebesar $3.4 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Nilai peningkatan temperatur terbesar terdapat pada spesimen A dengan 5% selulosa asetat, yaitu sebesar $6.23 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 57 menit pengujian keausan berlangsung. Maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan temperatur yang dialami oleh spesimen akan menurun seiring dengan peningkatan presentase selulosa asetat yang ditambahkan. Sehingga spesimen dengan presentase penambahan selulosa asetat terbesar memiliki stabilitas termal yang tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh saran dan rekomendasi untuk digunakan pada penelitian yang dilakukan selanjutnya. Berikut saran dan rekomendasi:

1. Nilai *pressure* untuk pembuatan spesimen uji ditentukan terlebih dahulu.
2. Tingkat ketelitian dalam pengukuran *volume* dan dimensi lebih ditingkatkan untuk hasil yang lebih spesifik dan akurat
3. Peralatan pengujian dapat ditingkatkan lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2018. *Sepanjang 2017 Terjadi 98 Ribu Kali Kecelakaan Lalu Lintas*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/09/21/sepanjang-2017-terjadi-98-ribu-kali-kecelakaan-lalu-lintas>
- Bashir, M., Qayoum, A., & Saleem S. S. 2019. *Influence of Lignocellulosic Banana Fiber on The Thermal Stability of Brake Pad Material*. IOP Science Published Ltd. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab37bd>
- Fengel, D dan Wenger, G. 1995. *KAYU : Kimia, Ultrastruktur, dan Reaksi- reaksi (terjemahan)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Giancoli, D. C., 2001, *Fisika Jilid I (terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- Haroen, W. K., & Watimena, R. B. 2017. *Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat Pulp Non Asbestos*. Bandung : Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK).
- Herdianto, M. R., & Hendrasarie, N. 2020. *Kemampuan Filter Rokok Non-Pakai sebagai Adsorben dalam Mengurangi Gas Emisi Co dan Hc*. Surabaya : Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.
- Jati, Susena., Sudarisman., & Kamiel, B. P. 2019. *Perancangan dan Pembuatan Kampas Rem dari Bahan Serbuk Kayu Limbah Pengolahan Kayu*. Yogyakarta : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Nurdiansyah, Y. A. 2011. *Perhitungan Keausan Berbasis Fem pada Sistem Rolling-Sliding Contact*. Semarang : Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.
- Nurhisyam, M. F. W. 2021 *Pengaruh Grain size Material Terhadap Koefisien Gesek dan Kekerasan Permukaan Pada Material Komposit Cocopeat dan Magnesium Oksida*. . Surabaya : Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nuringtyas, T. R. 2010. *Karbohidrat*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Nurun, N. 2013. *Teknologi Material Komposit*. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>.
- Pertiwi, Y. M., Hanifah, U. N., Sakti, A.B., & Prayogi, A. A. 2020. *Eco Powerbank: Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok menjadi Bahan dalam Media Penyimpan Energi*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Prabowo, D., Burhanudin, A., Armanto E., & Dwi D. 2012. *Rancang Bangun dan Pengujian Pemanas pada Disc untuk Alat Uji Tribometer Tipe Pin-On-Disc*. Semarang : Universitas Wahid Hasyim.

- Rafsanjani, A. A. 2021. *Pengaruh Density terhadap Hardness, Koefisien Gesek, dan Wear Rate dari Campuran Komposit Serbuk Kayu dan Serbuk Keramik Untuk Kampas Rem*. Surabaya : Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Reza, H. 2014. *Abu Sekam Padi Indonesia*. <https://id.scribd.com/doc/211843869/ABU-SEKAM-PADI-INDONESIA1-docx>.
- Riadi, M. 2018. *Struktur, Jeniis, Sifat dan Sumber Selulosa*. <https://www.kajianpustaka.com/2018/10/struktur-jenis-sifat-dan-sumber-selulosa.html>
- Solechudin., & Wibisono. 2002. *Buku Praktek Kerja*, Probolinggo : PT. Kertas Lecces Persero
- Shodiq, F. N. 2020. *Pengaruh Serbuk Serabut Kelapa (SiO₂) terhadap Kekerasan Permukaan dan Koefisien Gesek pada Material Resin Epoxy dan Serbuk Serabut Kelapa*. Surabaya : Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suhardiman., & Syahputra, M. 2008. *Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa*. Bengkalis : Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis.
- Suhardiyono, L. 1988. *Tanaman Kelapa, Budidaya dan Pemanfaatannya*. Yogyakarta : Kanisius.
- Sulthan, B. H. N. 2014. *Penggunaan Sensor Infrared Thermometer untuk Mendeteksi Temperatur pada Tromol Rem Mobil*. Padang : Universitas Andalas.
- Surest, A. H., & Satriawan, D. 2010. *Pembuatan Pulp Selulosa dari Batang Rosella dengan Proses Soda (Konsentrasi Naoh, Temperatur Pemasakan dan Lama Pemasakan)*. Palembang : Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya.
- Syawaluddin., & Setiawan, I. A. 2008. *Perbandingan Pengujian Mekanis terhadap Kampas Rem Asbes dan Non-Asbestos dengan Melakukan Uji Komposisi, Uji Kekerasan, dan Uji Keausan*. Jakarta : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Tipler, P.A., 2001, *Fisika Untuk Sains dan Teknik, Edisi ketiga Jilid 2 (terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- Triono, A. 2006. *Karakteristik Briket Arang dari Campuran Serbuk Gergajian kayu Afrika dan Sengon dengan Penambahan Tempurung Kelapa*. Bogor : Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan, IPB.

BIODATA PENULIS



Roni Setiawan lahir di Kota Pasuruan, 22 November 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Agus Dwi Sudarso dan Umi Kulsum. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu SD Negeri Kebonsari Kota Pasuruan pada tahun 2003-2009. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Kota Pasuruan pada tahun 2009-2012. Selanjutnya penulis meneruskan pendidikan di SMA Negeri 1 Kota Pasuruan. Penulis melanjutkan jenjang pendidikan ke tingkat Sarjana di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015. Penulis mengambil bidang studi Desain dan melakukan tugas akhir di Laboratorium Mekanika Benda Padat. Penulis pernah aktif dalam kegiatan kemahasiswaan baik itu kegiatan keorganisasian maupun kepanitiaan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin, BEM Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem dan BEM Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di perusahaan PT. Petrokimia Gresik pada bidang rancang bangun dan PT. Kutai Timber Indonesia pada bidang *maintenance*. Penulis akan senantiasa terbuka menerima masukan dan saran terkait penulisan tugas akhir ini. Pembaca dapat menghubungi penulis melalui alamat surel ronisme58@gmail.com.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel Konversi Nilai *Hardness*

Conversion Table of Hardness

(SAE J 417) revised in 1983

Approximate conversion value for steel Rockwell C hardness*1

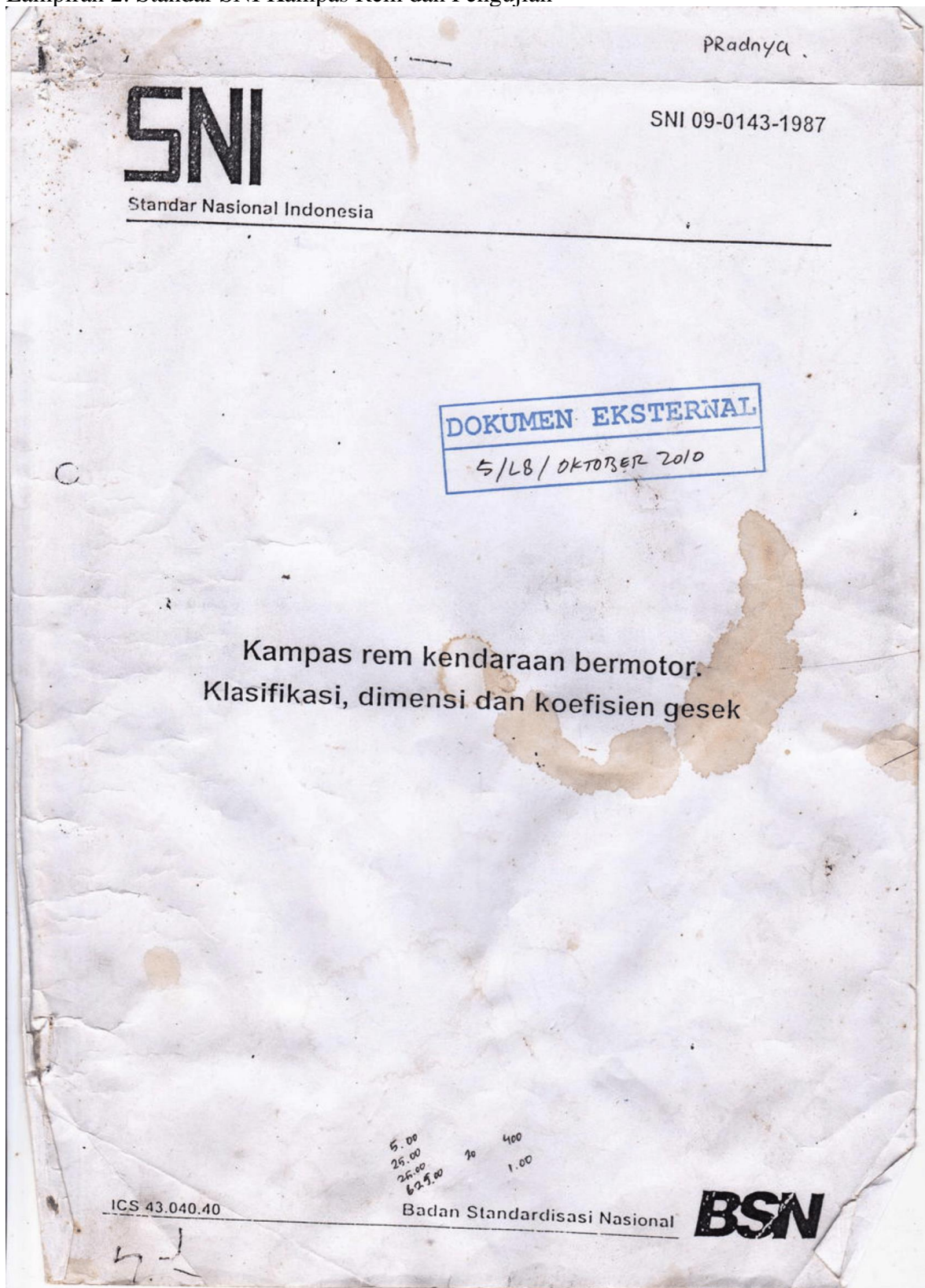
(HRC) Rockwell C scale hardness	(HV) Vickers hardness	Brinell hardness (HB) 10mm ball load 3000kgf		Rockwell hardness*3			Rockwell superficial hardness; diamond conical indenter			(HS) Shore hardness	Tensile strength*2 (approximate value) MPa	(HRC)*3 Rockwell C scale hardness
		Standard ball	Tungsten carbide ball	(HRA) A scale load 60kgf diamond conical indenter	(HRB) B scale load 100kgf diameter 1.6mm (1/16in) ball	(HRD) D scale load 100kgf diamond conical indenter	15-N scale load 15kgf	30-N scale load 30kgf	45-N scale load 45kgf			
68	940	—	—	85.6	—	76.9	93.2	84.4	75.4	97	—	68
67	900	—	—	85.0	—	76.1	92.9	83.6	74.2	95	—	67
66	865	—	—	84.5	—	75.4	92.5	82.8	73.3	92	—	66
65	832	—	(739)	83.9	—	74.5	92.2	81.9	72.0	91	—	65
64	800	—	(722)	83.4	—	73.8	91.8	81.1	71.0	88	—	64
63	772	—	(705)	82.8	—	73.0	91.4	80.1	69.9	87	—	63
62	746	—	(688)	82.3	—	72.2	91.1	79.3	68.8	85	—	62
61	720	—	(670)	81.8	—	71.5	90.7	78.4	67.7	83	—	61
60	697	—	(654)	81.2	—	70.7	90.2	77.5	66.6	81	—	60
59	674	—	(634)	80.7	—	69.9	89.8	76.6	65.5	80	—	59
58	653	—	615	80.1	—	69.2	89.3	75.7	64.3	78	—	58
57	633	—	595	79.6	—	68.5	88.9	74.8	63.2	76	—	57
56	613	—	577	79.0	—	67.7	88.3	73.9	62.0	75	—	56
55	595	—	560	78.5	—	66.9	87.9	73.0	60.9	74	2075	55
54	577	—	543	78.0	—	66.1	87.4	72.0	59.8	72	2015	54
53	560	—	525	77.4	—	65.4	86.9	71.2	58.6	71	1950	53
52	544	(500)	512	76.8	—	64.6	86.4	70.2	57.4	69	1880	52
51	528	(487)	496	76.3	—	63.8	85.9	69.4	56.1	68	1820	51
50	513	(475)	481	75.9	—	63.1	85.5	68.5	55.0	67	1760	50
49	498	(464)	469	75.2	—	62.1	85.0	67.6	53.8	66	1695	49
48	484	451	455	74.7	—	61.4	84.5	66.7	52.5	64	1635	48
47	471	442	443	74.1	—	60.8	83.9	65.8	51.4	63	1580	47
46	458	432	432	73.6	—	60.0	83.5	64.8	50.3	62	1530	46
45	446	421	421	73.1	—	59.2	83.0	64.0	49.0	60	1480	45
44	434	409	409	72.5	—	58.5	82.5	63.1	47.8	58	1435	44
43	423	400	400	72.0	—	57.7	82.0	62.2	46.7	57	1385	43
42	412	390	390	71.5	—	56.9	81.5	61.3	45.5	56	1340	42
41	402	381	381	70.9	—	56.2	80.9	60.4	44.3	55	1295	41
40	392	371	371	70.4	—	55.4	80.4	59.5	43.1	54	1250	40
39	382	362	362	69.9	—	54.6	79.9	58.6	41.9	52	1215	39
38	372	353	353	69.4	—	53.8	79.4	57.7	40.8	51	1180	38
37	363	344	344	68.9	—	53.1	78.8	56.8	39.6	50	1160	37
36	354	336	336	68.4	(109.0)	52.3	78.3	55.9	38.4	49	1115	36
35	345	327	327	67.9	(108.5)	51.5	77.7	55.0	37.2	48	1080	35
34	336	319	319	67.4	(108.0)	50.8	77.2	54.2	36.1	47	1055	34
33	327	311	311	66.8	(107.5)	50.0	76.6	53.3	34.9	46	1025	33
32	318	301	301	66.3	(107.0)	49.2	76.1	52.1	33.7	44	1000	32
31	310	294	294	65.8	(106.0)	48.4	75.6	51.3	32.5	43	980	31
30	302	286	286	65.3	(105.5)	47.7	75.0	50.4	31.3	42	950	30
29	294	279	279	64.7	(104.5)	47.0	74.5	49.5	30.1	41	930	29
28	286	271	271	64.3	(104.0)	46.1	73.9	48.6	28.9	41	910	28
27	279	264	264	63.8	(103.0)	45.2	73.3	47.7	27.8	40	880	27
26	272	258	258	63.3	(102.5)	44.6	72.8	46.8	26.7	38	860	26
25	266	253	253	62.8	(101.5)	43.8	72.2	45.9	25.5	38	840	25
24	260	247	247	62.4	(101.0)	43.1	71.6	45.0	24.3	37	825	24
23	254	243	243	62.0	100.0	42.1	71.0	44.0	23.1	36	805	23
22	248	237	237	61.5	99.0	41.6	70.5	43.2	22.0	35	785	22
21	243	231	231	61.0	98.5	40.9	69.9	42.3	20.7	35	770	21
20	238	226	226	60.5	97.8	40.1	69.4	41.5	19.6	34	760	20
(18)	230	219	219	—	96.7	—	—	—	—	33	730	(18)
(16)	222	212	212	—	95.5	—	—	—	—	32	705	(16)
(14)	213	203	203	—	93.9	—	—	—	—	31	675	(14)
(12)	204	194	194	—	92.3	—	—	—	—	29	650	(12)
(10)	196	187	187	—	90.7	—	—	—	—	28	620	(10)
(8)	188	179	179	—	89.5	—	—	—	—	27	600	(8)
(6)	180	171	171	—	87.1	—	—	—	—	26	580	(6)
(4)	173	165	165	—	85.5	—	—	—	—	25	550	(4)
(2)	166	158	158	—	83.5	—	—	—	—	24	530	(2)
(0)	160	152	152	—	81.7	—	—	—	—	24	515	(0)

*1 Bold numbers are according to ASTM E 140 Table 1 (arranged jointly by SAE, ASM and ASTM).

*2 1MPa = 1N/mm²

*3 The value in parentheses in the table are for ranges rarely used and indicated for reference.

Lampiran 2: Standar SNI Kampas Rem dan Pengujian



**KAMPAS REM KENDARAAN BERMOTOR
(KLASIFIKASI, DIMENSI DAN KOEFISIEN GESEK)**

1. RUANG LINGKUP

Standar ini meliputi klasifikasi, syarat mutu, cara uji, syarat lulus uji, syarat penandaan dan cara penunjukan dari kampas rem (brake lining) untuk kendaraan bermotor.

2. KLASIFIKASI

Kampas rem menurut ciri-ciri dan penggunaannya, dapat diklasifikasikan seperti di bawah ini

2.1. Klasifikasi menurut ciri-ciri

- 1) Tipe 1 : Lunak
- 2) Tipe 2 : Setengah keras
- 3) Tipe 3 : Keras.

2.2. Klasifikasi menurut penggunaan

- 1) Kelas 1 A : Khusus untuk beban ringan (umumnya dipakai untuk rem tengah (center brake) kendaraan bermotor roda dua dan kendaraan bermotor roda tiga)
- 2) Kelas 1 B : Khusus untuk beban ringan (umumnya dipakai untuk rem parkir dan lain penggunaan termasuk rem cakram (pad) kendaraan bermotor roda dua dan kendaraan bermotor roda tiga).
- 3) Kelas 2 : Untuk beban ringan (umumnya dipakai untuk kendaraan penumpang)
- 4) Kelas 3 : Untuk beban menengah (umumnya dipakai untuk kendaraan truk ringan)
- 5) Kelas 4 A : Untuk beban berat (umumnya dipakai untuk truk berat)
- 6) Kelas 4 B : Untuk beban berat (umumnya dipakai untuk rem cakram)

3. SYARAT MUTU

3.1. Bahan

Bahan kampas rem adalah sebagai berikut :

- Tipe 1 : Anyaman biasa dan sejenisnya
- Tipe 2 : Cetakan lunak dengan canai panas dan sejenisnya
- Tipe 3 : Cetakan, anyaman keras spesial, semi cetakan, yang mempunyai sifat-sifat seperti logam dan sejenisnya.

3.2. Kemampuan gesek

Koefisien gesek dari kampas rem dan perbedaan yang diperbolehkan seperti kedalaman pengikisan ditunjukkan seperti di bawah ini. Selain itu luka goresan

dan parut-parut (scrabs) yang membahayakan tidak boleh ada pada permukaan benda uji yang bergesekan. Koefisien gesek dan toleransinya ditunjukkan pada Tabel I dan Tabel II. Sedangkan jumlah pengikisan ditunjukkan pada Tabel III.

Tabel I
Koefisien Gesek

Klasifikasi menurut ciri-ciri	Klasifikasi menurut penggunaan	Suhu permukaan gesek dari cakram					
		100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	360 °C
		Koefisien gesek					
Tipe 1,2 dan 3	Kelas 1A	0,30-0,60	0,25-0,60	—	—	—	—
	Kelas 1B	0,30-0,60	0,25-0,60	0,20-0,60	—	—	—
	Kelas 2	0,30-0,60	0,25-0,60	0,20-0,60	—	—	—
	Kelas 3	0,30-0,60	0,30-0,60	0,20-0,60	0,15-0,60	—	—
	Kelas 4A	0,30-0,60	0,30-0,60	0,25-0,60	0,20-0,60	0,15-0,60	—
	Kelas 4B	0,25-0,60	0,25-0,60	0,25-0,60	0,25-0,60	0,25-0,60	0,20-0,60

Tabel II
Toleransi Koefisien Gesek

Klasifikasi menurut ciri-ciri	Klasifikasi menurut penggunaan	Suhu permukaan gesek dari cakram			
		100 °C	150 °C	200 °C	250 °C
		Toleransi			
Tipe 1,2 dan 3	Kelas 1A	± 0,10	—	—	—
	Kelas 1B	± 0,10	± 0,12	—	—
	Kelas 2	± 0,08	± 0,10	—	—
	Kelas 3	± 0,08	± 0,10	± 0,12	—
	Kelas 4A	± 0,08	± 0,10	± 0,12	± 0,12
	Kelas 4B	± 0,08	± 0,10	± 0,12	± 0,12

- | | |
|---|--|
| <p>1 = motor cycle.
 tipe 2 = motorcycle
 tipe 3 =
 tipe 4 = light loaded
 tipe 5 = heavy.
 tipe 5 = bus & drum</p> | <p>1. motorcycle
 2. motorcycle loaded.
 3. passenger
 4. heavy
 5. bus & drum
 6. heaviest.</p> |
|---|--|

Tabel III
Jumlah Pengikisan

Klasifikasi menurut ciri-ciri	Klasifikasi menurut penggunaan	Suhu permukaan gesek dari cakram					
		100 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	350 °C
		Makimum tingkat aus (10 ⁶ cm ³ / Nm)					
Tipe 1,2 dan 3	Kelas 1A	1,02	1,63	—	—	—	—
	Kelas 1B	1,02	2,04	3,57	—	—	—
	Kelas 2	0,51	0,77	1,02	—	—	—
	Kelas 3	0,51	0,77	1,02	2,04	—	—
	Kelas 4 A	0,51	0,77	1,02	2,04	3,57	—
	Kelas 4 B	0,51	0,77	1,02	2,04	3,57	7,14

3.3. Kelenturan (Flexibility)

Persyaratan kemampuan lentur hanya berlaku untuk tipe 1. Jika bagian dalam dari benda uji dililitkan sejauh 180° pada silinder, dengan tebal benda uji dan diameter silinder seperti pada Tabel IV, tidak boleh terjadi sobekan atau cacat lain yang membahayakan.

Tabel IV
Tebal Benda Uji dan Diameter Silinder

satuan : mm	
Tebal benda uji	Diameter silinder
kurang dari 6,5	100
didas 6,5 dan kurang dari 10	150
didas 10	20 x tebal

3.4. Ukuran dan Toleransi

Toleransi dari lebar dan tebal kampas rem ditunjukkan pada Tabel V. Disamping itu sebagai acuan ukuran pokok kampas rem dapat dilihat Tabel VI dan Tabel VII.

Tabel V
Toleransi Lebar dan Tebal

Satuan : mm

Ukuran			Toleransi	
			Tipe 1 dan 2	Tipe 3
Lingkaran rem dan kampas rem tengah (drum brake and center brake linings)	Lebar	80 atau kurang	2,0	0,6
		dias 30 s/d 60	2,0	1,0
		dias 30 s/d 100	2,4	1,4
		dias 100	3,0	2,0
	Tebal	6,5 atau kurang	0,4	0,3
		dias 6,5 s/d 20	0,6	0,4
	dias 10	0,8	0,5	
Cakram kampas rem (pad)	Tebal	10 atau kurang	0,6	
		dias 10 s/d 20	0,8	
		dias 20 s/d 30	1,0	
		dias 30	1,2	

Catatan : Toleransi ini tidak berlaku untuk kampas rem yang telah selesai diproduksi (barang jadi), untuk dirakit dalam sepatu rem.

Tabel VI
Lebar dan Tebal
(sebagai acuan)

Satuan : mm

Lebar	Tebal							
	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20
20	4	—	—	—	—	—	—	—
22	4	—	—	—	—	—	—	—
25	4	5	—	—	—	—	—	—
28	4	5	—	—	—	—	—	—
32	4	5	—	—	—	—	—	—
35	4	5	—	—	—	—	—	—
40	4	5	6,3	—	—	—	—	—
45	—	5	6,3	—	—	—	—	—
50	—	5	6,3	—	—	—	—	—
56	—	5	6,3	—	—	—	—	—
63	—	5	6,3	8	—	—	—	—
71	—	—	6,3	8	—	—	—	—
80	—	—	6,3	8	10	—	—	—
90	—	—	—	8	10	—	—	—
100	—	—	—	8	10	12,5	—	—
112	—	—	—	—	10	12,5	—	—
125	—	—	—	—	10	12,5	16	—
140	—	—	—	—	10	12,5	16	20
160	—	—	—	—	—	12,5	16	20
180	—	—	—	—	—	—	16	20
200	—	—	—	—	—	—	—	20

Catatan : Lebar disesuaikan dengan deret pokok angka pilihan R 20, tebal disesuaikan dengan R 10, sesuai SII.0314-80, Angka Pilihan.

Tabel VII
Diameter Lingkaran Dalam dari Lingkaran Rem dan Lebar Kampas Rem
(sebagai acuan)

Satuan : mm

Diameter lingkaran dalam dari lingkaran rem (brake drum)	Lebar								
100	20	22	25	—	—	—	—	—	—
106	20	22	25	28	—	—	—	—	—
112	20	22	25	28	—	—	—	—	—
118	20	22	25	28	32	—	—	—	—
125	20	22	25	28	32	—	—	—	—
132	20	22	25	28	32	35	—	—	—
140	20	22	25	28	32	35	—	—	—
150	22	25	28	32	35	40	—	—	—
160	22	25	28	32	35	40	—	—	—
170	25	28	32	35	40	45	—	—	—
180	25	28	32	35	40	45	—	—	—
190	28	32	35	40	45	50	—	—	—
200	28	32	35	40	45	50	—	—	—
212	32	35	40	45	50	56	—	—	—
224	32	35	40	45	50	56	—	—	—
236	35	40	45	50	56	63	—	—	—
250	35	40	45	50	56	63	—	—	—
265	40	45	50	56	63	71	—	—	—
280	40	45	50	56	63	71	—	—	—
300	45	50	56	63	71	80	—	—	—
315	45	50	56	63	71	80	—	—	—
335	50	56	63	71	80	90	—	—	—
355	50	56	63	71	80	90	—	—	—
375	56	63	71	80	90	100	—	—	—
400	56	63	71	80	90	100	112	125	140
425	63	71	80	90	100	112	125	140	160
450	63	71	80	90	100	112	125	140	160
475	71	80	90	100	112	125	140	160	180
500	80	90	100	112	125	140	160	180	200

Catatan : Diameter dalam dari lingkaran rem disesuaikan dengan deret pokok angka pilihan R 40, sesuai SII.0314-80.

4. CARA UJI

4.1. Sifat Tampak

Kampas rem yang telah selesai diproduksi harus baik dan bebas dari semua kerusakan atau cacat yang akan merugikan dan mempengaruhi kemampuannya, seperti retak, tergores, terbungkus dan melintir.

4.2. Unjuk Kerja Gesek

4.2.1. Peralatan dan Ketentuan Pengujian

Pengujian unjuk kerja gesek dilakukan dengan menggunakan mesin uji gesek jenis kecepatan tetap, dengan ketentuan sebagai berikut :

- a) Jarak antara titik tengah benda uji dan sumbu putar adalah 0,15 m.
- b) Kualitas bahan permukaan gesek cakram sesuai dengan besi tuang kelabu, dengan bentuk matrik pearlite.
- c) Kecepatan putaran cakram 400 sampai dengan 500 ppm.
- d) Besar permukaan gesek benda uji adalah 25 mm x 25 mm, dengan toleransi $\pm 0,2$ mm.
Tebal benda uji harus 5 mm. Dalam hal tebal benda uji kurang dari 5 mm, proses perataannya sesedikit mungkin. *tebal benda uji 5-7 mm*.
- f) Jumlah benda uji 2 buah.
- g) Tekanan pada benda uji adalah 0,78 MPa untuk tipe 1, 0,981 MPa untuk tipe 2 dan 0,981 MPa untuk tipe 3.
- h) Arah gesekan pada benda uji harus searah dengan penggunaannya.
- i) Untuk pengukuran gaya gesek dipakai alat ukur yang dapat mencatat sendiri.
- j) Pengukuran suhu permukaan gesek cakram (selanjutnya disebut suhu cakram) dilakukan dengan menekan plat perak sebesar 8 mm x 8 mm x 0,6 mm yang dipadukan pada termokopel Chromel Alumel (dengan kabel berdiameter 0,3 mm) pada permukaan gesek cakram dengan gaya 0,0981 - 0,196 N, lihat gambar pada lampiran A.
Lefak plat perak itu di atas garis sumbu dari lebar bagian gesekan pada cakram, sejauh 50 - 100 mm dari titik tengah benda uji dalam arah putaran cakram.
- k) Walaupun kenaikan suhu cakram, pada dasarnya, harus tergantung dari kalor gesek antara cakram dengan benda uji, boleh juga dipakai sarana pemanas tambahan (dari luar), dengan mendinginkan atau memanaskan permukaan dalam dari cakram, pengendalian terhadap permukaan gesek dapat dilakukan sampai ± 5 °C dalam daerah suhu antara 100 °C dan 350 °C.

4.2.2. Pelaksanaan Pengujian

Pengujian harus dilakukan menurut pentahapan sebagai berikut :

- a) Dengan menggunakan benda uji yang telah dipoles paralel kedua permukaannya, lakukan lebih dahulu pengikisan. Pada satu benda uji dilakukan pengukuran tebal, dengan mikrometer, pada 5 tempat.
- b) Dengan mengusahakan suhu cakram 100 °C, gaya gesek dicatat selama

masa 5000 putaran, dan tebal setelah gesekan diukur. Pada saat melakukan pengukuran tebal, benda uji harus didinginkan pada suhu ruangan.

c) Pengukuran seperti pada (b) dilakukan pada tiap suhu 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C, 350 °C, tetapi :

- untuk kelas 1A sampai 150 °C
- untuk kelas 1B dan 2 sampai 200 °C
- untuk kelas 3 sampai 250 °C
- untuk kelas 4 A sampai 300 °C
- untuk kelas 4 B sampai 350 °C

dan suhu cakram yang dipersyaratkan harus dicapai dalam batas 1500 putaran.

d) Suhu maksimum harus dicapai dalam batas waktu 1500 putaran atau kurang.

Setelah pengukuran sampai suhu maksimum dilaksanakan, gaya gesek dicatat pada waktu penurunan suhu, yakni penurunan suhu sebesar 50 °C dari :

- 100 °C untuk kelas 1A
- 150 °C untuk kelas 1B dan 2
- 200 °C untuk kelas 3
- 250 °C untuk kelas 4 A
- 300 °C untuk kelas 4 B,

dan koefisien geseknya dihitung. Dalam hal ini, pada waktu penempatan di suhu masing-masing, pencatatan dilakukan dalam batas waktu 1500 putaran. Jumlah putaran yang diperlukan untuk mencapai penurunan suhu hingga tahap berikutnya adalah 500 putaran atau kurang.

4.2.3. Perhitungan Koefisien Gesek

Koefisien gesek harus dihitung dengan memakai rumus seperti dibawah ini. Disamping itu μ diperhitungkan dari gaya gesek rata-rata dari akhir setengah dari keseluruhan gaya yang dicatat.

$$\text{Koefisien gesek } \mu = \frac{f}{F}$$

dimana :

μ = Koefisien gesek

f = Gaya gesek rata-rata (N)

F = Gaya pada benda uji (N)

4.2.4. Perhitungan Tingkat Aus

Tingkat aus (wear rate) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :-

$$V = 1,06 \frac{\Lambda (d_1 - d_2)}{n f_m}$$

dimana :

V = Tingkat aus, yakni volume aus dibagi kerja unit. ($\frac{\text{cm}^3}{\text{N.m.}}$)

$$1,06 = \frac{1}{2 \pi R} \text{ (satu dibagi jarak putaran)}$$

R = Jarak gesek, yakni jarak dari titik tengah benda uji ke titik tengah sumbu putar (0,15 m)

n = Jumlah putaran cakram

A = Luas permukaan gesek benda uji (cm²)

d₁ = Tebal rata-rata benda uji sebelum diuji (cm)

d₂ = Tebal rata-rata benda uji setelah diuji (cm)

f_m = Nilai rata-rata gaya gesek (N)

4.3. Kelenturan

Pengujian kelenturan sesuai dengan butir 3.3.

5. SYARAT LULUS UJI

Kampas rem dinyatakan lulus uji apabila telah memenuhi semua ketentuan yang dipersyaratkan dalam standar ini.

6. SYARAT PENANDAAN

Semua kampas rem kendaraan bermotor harus diberi tanda pada bagian yang tidak mudah hilang dan terhapus, dengan mencantumkan :

- Klasifikasi, lebar, tebal
- Nama pembuat atau logo
- Kode produksi

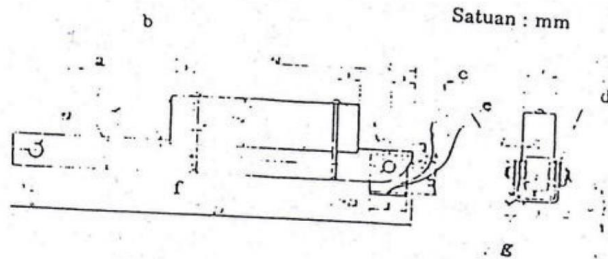
7. CARA PENUNJUKAN

Kampas rem kendaraan bermotor ditunjuk dengan mencantumkan nama, tipe, kelas, ukuran dan No. SII.

Contoh: Kampas rem kendaraan bermotor Tipe 3, Kelas 3-80 x 6,3 SII. 1078-84.

LAMPIRAN A

PERALATAN PENGUJIAN

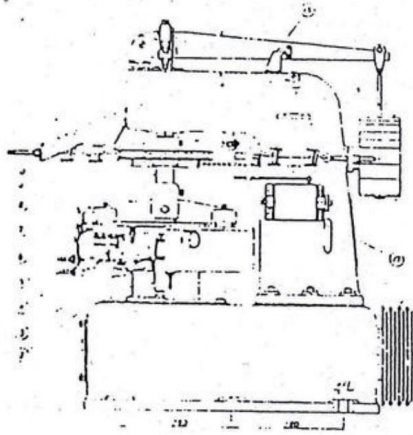


Keterangan :

- a. Phenol resin
- b. Mild steel
- c. Thermo-couple
- d. Mica

- e. Brass
- f. Mild steel
- g. Silver plate

Gambar A.1.
Alat Ukur Suhu Cakram



Keterangan :

- | | |
|---|---|
| 1. Pulley | 10. Supplementary pressure shaft |
| 2. Rotating shaft | 11. Friction force measuring spring |
| 3. Shaft cooling water nozzle | 12. Chain wheel |
| 4. Cooling water nozzle (fine adjustment) | 13. Lever horizontalness adjustment equipment |
| 5. Cooling water nozzle (coarse adjustment) | 14. Load lever |
| 6. Supplementary heating equipment | 15. Lever horizontalness indicator |
| 7. Test piece | 16. Weight |
| 8. Friction disc | 17. Friction force recorder drum |
| 9. Test piece support arm | 18. Oil damper |

Gambar A.2.

Mesin Uji Gesek dengan Kecepatan Tetap

LAMPIRAN B

PENGUJIAN KAMPAS REM
(SEBAGAI ACUAN)

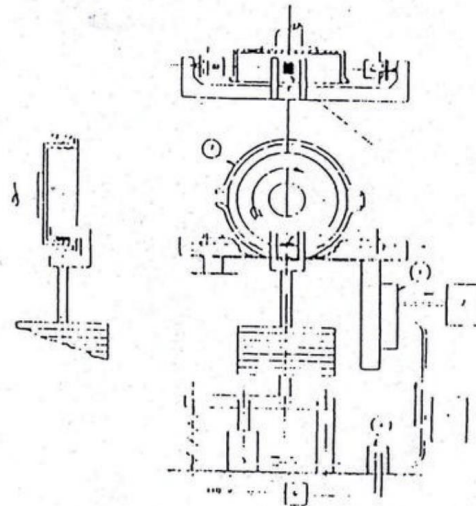
B-1. Penggunaan

Acuan ini dimaksudkan untuk keseragaman cara pengujian pada balai-balai uji, untuk pengamanan cara pencatatan gesekan dan ciri-ciri pemakaian dari kampas rem. Data-data unjuk kerja yang diperoleh dapat digunakan untuk pengendalian mutu pada pabrik kampas rem dan sebagai bahan pemeriksaan untuk pembeli.

B-2. Sarana Pengujian

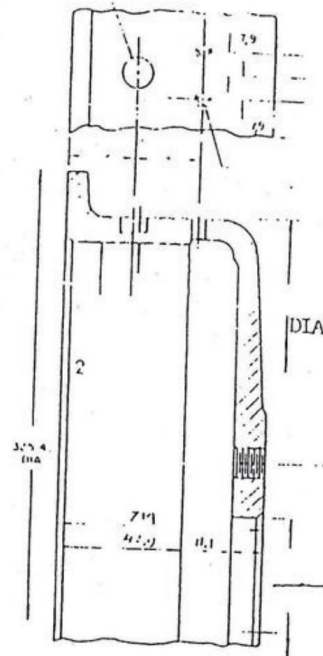
- 1) Mesin Uji Gesek, seperti terlihat pada Gambar B.1 dan B.2.
- 2) Sarana Pemanas
- 3) Sarana Pendingin
- 4) Sarana Pengendali :
 - Laju Pemanasan Drum
 - Laju Pendinginan Drum
- 5) Sarana Pengukur :
 - Suhu Drum, dengan ketelitian $\pm 2\%$ dari skala penuh
 - Gaya Gesek, dengan ketelitian $\pm 2\%$ dari skala penuh
 - Kecepatan Putar, dengan ketelitian $\pm 2\%$ dari skala penuh
 - Tebal
 - Bobot

Sarana pengukur suhu drum terdiri dari termokopel yang dilas, slip ring dari perak uang logam, sikat grafit perak, dan penunjuk dan/atau pencatat yang memiliki impedansi masuk (input impedance) tinggi. Sarana pemanas harus dapat menjamin kenaikan suhu drum yang "berputar bebas" sesuai dengan kurva pemanasan seperti pada Gambar B.3, dengan penyimpangan tidak lebih dari $\pm 14^\circ\text{C}$. Sarana pendingin harus dapat menjamin suhu drum tidak melebihi 93°C pada waktu melaksanakan penyiapan benda uji, dan penurunan suhu drum yang "berputar bebas" sesuai dengan kurva pendinginan seperti pada Gambar B.4, dengan penyimpangan tidak lebih dari $\pm 14^\circ\text{C}$.
- 6) Drum dengan diameter permukaan gesek 277 - 280 mm.



1. Sel beban
2. Pencatat tekanan udara
3. Pengatur tekanan udara, saringan dan pengukur
4. Katup udara bersolenoid
5. Silinder udara
6. Pencatat daun
7. Pemanas drum tambahan

Gambar B.1
Bagian-bagian Mesin Uji Gesek



Analisa dari besi :

Karbon (C)	: 3,30 - 3,50
Mangan (Mn)	: 0,55 - 0,75
Silikon (Si)	: 1,80 - 2,10
Belerang (S)	: 0,20 Max.
Pospor (P)	: 0,20 Max.
Nikel (Ni)	: 0,60 - 0,70
Krom (Cr)	: 0,15 - 0,25
Molibium (Mo)	: 0,20 - 0,30

Kekerasan 179-229
Struktur pearlite grain

Gambar B.2
Bahan Drum Mesin Uji Gesek

B-3. Kondisi Pengujian

Pengujian unjuk kerja dilakukan setelah persiapan pendahuluan dan pengikisan awal (break-in, wear-in) selesai dilaksanakan, seperti yang ditunjukkan pada butir B-4. Pelaksanaan pengujian dilakukan tanpa berhenti (tanpa interupsi). Semua kecepatan putar drum didasarkan pada diameter nominal 279 mm dengan benda uji berbeban.

B-4. Persiapan Pengujian

1) Persiapan Benda Uji

Benda uji diambil dari bagian tengah bahan gesek, kira-kira sama jauhnya dari tiap ujungnya. Besar benda uji adalah 25,4 mm x 25,4 mm, rata di dasarnya, dan jari-jari lengkung permukaan kerja sesuai dengan jari-jari lengkung drum. Pembuangan bahan dari permukaan kerja benda uji sesedikit mungkin, tetapi jangan kurang dari 0,254 mm. Tebal benda uji (atau benda uji ditambah ganjalan) kira-kira 6,1 mm dititik tengahnya. Bahan berlebih harus dibuang dari bagian dasarnya bila bahan itu diambil

dari kanvas yang tebalnya 6,35 mm atau lebih. Dalam hal tebal kanvas kurang dari 5,33 mm, pembuangan bahan dari dasar, untuk menghasilkan permukaan yang rata, harus sesedikit mungkin. Permukaan kerja benda uji tidak boleh dijamah tangan dan harus bebas dari kotoran atau bahan lain.

2) Persiapan Permukaan Drum

a) Drum Baru atau Yang Diperbarui Permukaannya.

Setelah permukaan drum digerinda pada mesin uji, buanglah semua bekas penggerindaan melalui pemolesan kertas atau kain amplas. Pemolesan terakhir hendaknya dengan grit 320. Buanglah debu dari drum dengan udara kering bersih dan atau dengan kain saringan (cheese cloth) atau sejenisnya.

Sudahi persiapan permukaan dengan memutar mesin dan memakai benda uji acuan, pada tekanan 689 kPa, 417 ppm, dan suhu tidak lebih dari 93 °C sampai koefisien geseknya stabil.

b) Permukaan drum dipoles dengan kertas atau kain amplas.

Pemolesan terakhir dengan grit 320. Buang debu dari drum dengan udara kering bersih dan atau dengan kain saringan (cheese cloth) atau sejenisnya.

3) Penyiapan Benda Uji

Benda uji digesekkan pada 312 ppm 689 kPa, dan suhu maksimum 93 °C selama tidak kurang dari 20 menit untuk memperoleh sentuhan gesek sekurang-kurangnya 95 % dari permukaan.

4) Pengukuran Tebal dan Bobot awal

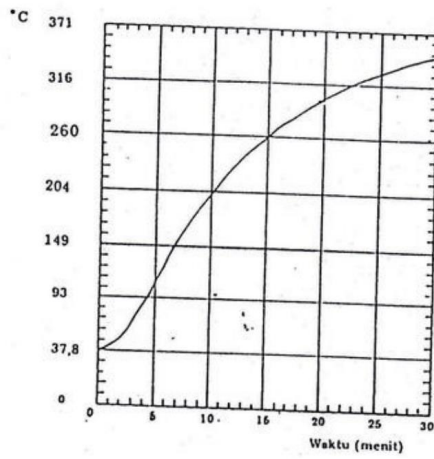
Pengukuran tebal benda uji dilakukan pada tiga tempat sepanjang sumbu yang sejajar dengan sumbu drum (luar, tengah dan dalam) dan dicatat. Penimbangan bobot dilakukan dalam satuan gram, dan dicatat sampai tiga desimal.

Benda uji digesekkan lagi selama 5 menit terus-menerus pada 344 kPa dan 208 ppm.

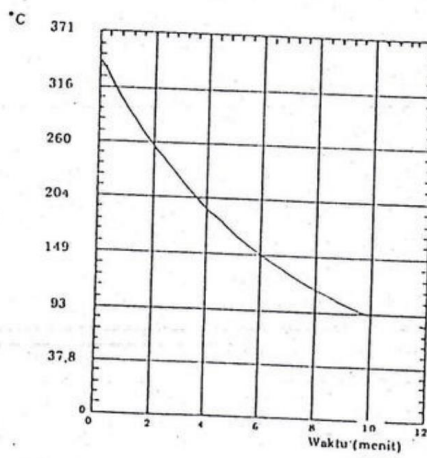
Senjang awal (initial clearance) antara benda uji dan drum dalam keadaan "off" harus 0,245 - 0,381 mm.

5) Pengukuran Aus Awal

Ketinggian pemegang benda uji dibaca pada penunjuknya dan dicatat, yakni dalam keadaan drum berhenti, pada suhu 93 °C, dan dengan tekanan 1032 kPa.



Gambar B.3
Kurva Standar Pemanasan Drum dari Mesin Uji Gesek



Gambar B.4
Kurva Standar Pendinginan Drum dari Mesin Uji Gesek

SII.1078-84

Lakukan penekanan selama 10 detik pada saat suhu mencapai 316 °C, 260 °C, 204 °C, 149 °C, 93 °C, sambil mencatat gaya gesek masing-masing.

9) Pengujian Dasar Ulang
Dilakukan seperti 5.1.

10) Pengukuran Aus Akhir
Dilakukan seperti 4.5.

11) Pengukuran Tebal dan Penimbangan Bobot Akhir
Ukur tebal dan timbang bobot seperti yang dilakukan pada 4.4.

B-6. Pemilihan Titik Uji bagi Nilai Koefisien Gesek

Dalam pengujian yang berbeban terputus-putus, nilai koefisien gesek diambil dari hasil pengamatan pada saat akhir pembebanan.

B-7. Penyajian Data

Data pengujian disajikan dalam lembaran seperti yang tertera pada Gambar B.5 dan Gambar B.6.

Bahan:			No. Pekerjaan:					
Kelompok Produk:			No. Pengujian:					
Arahan:			Tanggal:					
			Petugas:					
Awal		Berat	Tebal	Pembacaan Penunjukan:				
Akhir								
Hilang								
Daerah Awal			Catatan	Daerah Akhir				
No. Pemakalan	Pengukuran	Koef. Gesekan		No. Pemakalan	Pengukuran	Koef. gesek		
1				1				
5				5				
10				10				
15				15				
20				20				
Uji hilang daya rem pertama				Uji hilang daya rem kedua				
Menit	Suhu	Pengukuran		Koef. gesek	Menit	Suhu	Pengukuran	Koef. gesek
0					0			
0,5				0,5				
1				1				
1,5				1,5				
2				2				
2,5				2,5				
3				3				
3,5				3,5				
4				4				
4,5				4,5				
5				5				
5,5				5,5				
6				6				
6,5				6,5				
7				7				
7,5				7,5				
8				8				
8,5				8,5				
9				9				
9,5				9,5				
10				10				
Uji timbul daya pertama			Uji timbul daya kedua					
Suhu (° C)	Pengukuran	Koef. gesek	Suhu (° C)	Pengukuran	Koef. gesek			
216			216					
260			260					
204			204					
149			149					
93			93					

Gambar B 5
Formulir Isian Pengujian

Koefisien gesekan	Dasar awal	uji hilang daya rem pertama	uji timbul daya rem pertama	uji Aus
0.1 0.0 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0	0 10 20	93 149 204 260 316	260 204 149 93	0 20 40 60 80 100
	No Pemakaian	Temperatur Drum (°C)		No Pemakaian
Koefisien gesekan	Uji hilang daya rem kedua	Uji timbul daya rem kedua	Bahan awal	No Pekerjaan _____ No pengujian _____ Tanggal _____ Bahan _____ Kelompok _____ Produk _____ Acuan _____ Date Aus Berat _____ (gr) Tebal _____ (mm) Awal _____ Akhir _____ Hilang _____ % _____ No mesin _____ Petugas _____ Dibuat _____
0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0	93 149 204 260 316 371 316 260 204 149 93	0 10 20	0 10 20	
	Temperatur drum (°C)		No Pemakaian	

Gambar B 6
Formulir Iklan Pengukuran