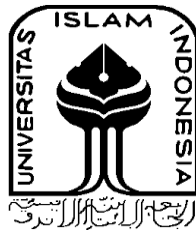


**PENGARUH VARIASI FORMULASI BAHAN PADA
PRODUKSI KOMPOSIT *FRICTION MATERIALS* KAMPAS
REM TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Errizky Wibowo
No. Mahasiswa : 20525058
NIRM : 2003220008

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGARUH VARIASI FORMULASI BAHAN PADA PRODUKSI KOMPOSIT *FRICTION MATERIALS* KAMPAS REM TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Errizky Wibowo

No. Mahasiswa : 20525058

NIRM : 2003220008

Yogyakarta, 11 Agustus 2025

Pembimbing

Dr. Ir. Muhammad Khairul, S.T., M.T., IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH VARIASI FORMULASI BAHAN PADA PRODUKSI KOMPOSIT *FRICTION MATERIALS* KAMPAS REM TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN TRIBOLOGI

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Errizky Wibowo
No. Mahasiswa : 20525058
NIRM : 2003220008

Tim Penguji

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

Ketua

Tanggal:

8/9/25

Irfan Aditya Dharma, S.T., MEM. Ph.D

Anggota I

Tanggal :

8/9/25

Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T.

Anggota II

Tanggal:

1/9/25

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP



HALAMAN PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk mereka yang menjadi cahaya dalam perjalananku. Untuk orang tua tercinta, yang mengukir doa dalam diam dan menenun harapan dalam setiap langkahku tanpa lelah, tanpa syarat. Untuk saudara-saudariku yang juga menjadi harapan untukku terus melangkah. Untuk kawan-kawan seperjuangan yang menjadi warna dalam perjalananku. Untuk sosok terkasih perempuan hebat yang senantiasa penuh sabar dalam menemani dan tempat berbagi segala cerita. Untuk para guru dan mentor, yang membukakan pintu ilmu sekaligus mengajarku arti ketekunan. Dan untuk diriku sendiri, yang belajar bahwa jatuh bukanlah kegagalan, melainkan cara untuk bangkit lebih kuat.

"Hidup yang tidak teruji adalah hidup yang tidak layak dijalani."

— Aristoteles

Semoga setiap baris dalam skripsi ini menjadi bukti bahwa perjalanan panjang selalu dimulai dengan satu langkah berani, dan setiap usaha tulus akan berbuah pada waktunya.

HALAMAN MOTTO

Motto :

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al-Baqarah 286)

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Formulasi Bahan Pada Produksi Komposit *Friction Materials* Kampas Rem Terhadap Sifat Mekanik Dan Tribologi”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik Mesin pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul akhir nanti. Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada bagian kata pengantar ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Bapak, Ibu, dan Adik-adik saya yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, dan doa.
2. Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D. Rektor Universitas Islam Indonesia atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Islam Indonesia.
3. Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU., ASEAN,Eng Dekan Fakultas Teknologi Industri atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
4. Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP, sebagai Ketua Jurusan Prodi Teknik Mesin sekaligus Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu dan wawasannya sehingga dapat membimbing saya dalam melaksanakan Tugas Akhir.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin FTI UII yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
6. Mohamad Rizky Djati Admoko dan Akhmad Fauzi sebagai rekan Tugas Akhir saya yang bersedia bekerjasama dalam penyelesaian Tugas Akhir.
7. Keluarga Prodi Teknik Mesin yang telah berpartisipasi dalam pelaksanaan Tugas Akhir saya.

8. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan dan dukungan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penulis berharap semoga karya tulis ini dapat bermanfaat untuk masyarakat dan penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 25 Juni 2025

Muhammad Errizky Wibowo

ABSTRAK

Penelitian tentang bahan alam sebagai pengganti material asbes dalam komposit material gesek kampas rem. Material dalam kategori biomassa sebagai *reinforcement* komposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fraksi berat sekam padi, resin *phenolic*, alumunium oksida, dan besi oksida terhadap sifat fisik, sifat mekanik, dan performa tribologi dari spesimen komposit material gesek kampas rem.

Proses pembuatan spesimen menggunakan metode *hot compression* dengan fraksi berat spesimen A15 (Sekam Padi 15%, Resin Phenolic 45%, Katalis 10%, Al_2O_3 15%, Fe_2O_3 15%), spesimen A20 (Sekam Padi 20%, Resin Phenolic 40%, Katalis 10%, Al_2O_3 15%, Fe_2O_3 15%), spesimen A25 (Sekam Padi 25%, Resin Phenolic 35%, Katalis 10%, Al_2O_3 15%, Fe_2O_3 15%). Metode penelitian yang digunakan yaitu metode penelitian eksperimental deskriptif dengan pendekatan kuantitatif.

Komposit dengan fraksi berat sekam padi 25% menghasilkan densitas tertinggi ($1,19 \text{ g/cm}^3$) karena tingginya silika yang memperkuat ikatan antarmaterial, namun sifat mekanik seperti *flexural strength*, *tensile strength*, dan ketangguhan impak justru menurun pada fraksi berat sekam padi 25%, dengan nilai tertinggi dicapai pada variasi 15% sekam padi dan 45% resin *phenolic* akibat keterbasahan (*wettability*) matriks yang lebih baik. Di sisi lain, koefisien gesek (COF) tertinggi 0,607 diperoleh pada komposit variasi 25% sekam padi karena permukaan serat yang kasar meningkatkan gesekan, sekaligus memberikan ketahanan aus dan gesek terbaik dengan *specific wear* terendah ($0,28 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{Nmm}$). Hasil ini menunjukkan bahwa keseimbangan komposisi antara resin *phenolic* dan sekam padi sangat penting untuk mengoptimalkan sifat mekanik dan performa tribologi komposit kampas rem.

Kata kunci : *Sekam padi, komposit, material gesek, kampas rem.*

ABSTRACT

This research investigates the use of natural biomass as a reinforcement material in composites to replace asbestos in brake pad applications. The study aims to determine the effect of the volume fraction of rice husk, phenolic resin, aluminum oxide (Al_2O_3), and iron oxide (Fe_2O_3) on the physical properties, mechanical properties, and tribological performance of the composite specimens.

The specimens were fabricated using the hot compression method with three different compositions: Specimen A15 (15% Rice Husk, 45% Phenolic Resin, 10% Catalyst, 15% Al_2O_3 , 15% Fe_2O_3), Specimen A20 (20% Rice Husk, 40% Phenolic Resin, 10% Catalyst, 15% Al_2O_3 , 15% Fe_2O_3), and Specimen A25 (25% Rice Husk, 35% Phenolic Resin, 10% Catalyst, 15% Al_2O_3 , 15% Fe_2O_3). A descriptive experimental research method with a quantitative approach was employed.

The results showed that the composite with a 25% rice husk volume fraction achieved the highest density (1.19 g/cm^3), attributed to its high silica content strengthening the intermaterial bonds. However, its mechanical properties including flexural strength, tensile strength, and impact toughness decreased. The highest mechanical properties were achieved with the 15% rice husk and 45% phenolic resin variation, resulting from better matrix wettability. Conversely, the highest coefficient of friction (COF) of 0.607 was obtained from the composite with 25% rice husk, where the rough fiber surface enhanced friction. This variation also demonstrated the best wear resistance, exhibiting the lowest specific wear rate ($0.28 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{N}\cdot\text{mm}$). These findings indicate that balancing the composition between phenolic resin and rice husk is crucial for optimizing the mechanical and tribological performance of brake pad composites.

Keywords: *Rice husk, composite, friction materials, brake pad*

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak	viii
Abstract.....	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Notasi.....	xv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Kampas Rem	9
2.2.2 Komposit	12
2.2.3 Pengujian Material.....	25
Bab 3 Metode Penelitian	34
3.1 Alur Penelitian	34
3.2 Prosedur Penelitian	36
3.2.1 Studi Literatur.....	36
3.2.2 Persiapan Alat & Bahan	36

3.2.3	Pembuatan Spesimen Komposit	42
3.2.4	Pengujian Spesimen.....	45
3.2.5	Data Hasil Pengujian	47
3.2.6	Analisis & Pembahasan	47
3.2.7	Kesimpulan & Saran.....	47
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	48
4.1	Pengujian Densitas.....	48
4.2	Pengujian Lentur/Bending	50
4.3	Pengujian Tarik.....	53
4.4	Pengujian Impak	56
4.5	Pengujian Ketahanan Aus dan Gesek	59
Bab 5	Penutup.....	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	63
Daftar Pustaka		64
Lampiran.....		70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI.....	10
Tabel 2.2. <i>Properties of phenolic resin</i>	22
Tabel 2.3. Komposisi sekam padi.....	23
Tabel 2.4. <i>Properties of 99.5% aluminum oxide in room temperature</i>	24
Tabel 2.5. <i>Properties of Iron Oxides (Fe₂O₃)</i>	24
Tabel 3.1. Fraksi berat spesimen.	43
Tabel 4.1. Data hasil pengujian densitas.	48
Tabel 4.2. Data hasil pengujian lentur/ <i>bending</i>	51
Tabel 4.3. Data nilai <i>flexural strength</i>	51
Tabel 4.4. Data hasil pengujian tarik.....	54
Tabel 4.5. Data nilai <i>tensile strength</i> dan <i>tensile modulus</i>	55
Tabel 4.6. Data hasil pengujian impak.	57
Tabel 4.7. Data hasil pengujian ketahanan aus dan gesek.....	60
Tabel 4.8. Data hasil pengujian ketahanan aus dan gesek.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kampas rem kereta api	9
Gambar 2.2. Bagian-bagian kampas rem dan material penyusun	10
Gambar 2.3. Diagram sistem rem udara kereta api	11
Gambar 2.4. Ilustrasi komposit	12
Gambar 2.5. Komposit berdasarkan material penguat	13
Gambar 2.6. Jenis komposit serat.....	14
Gambar 2.7. (a) Skema komposit lapisan, (b) Skema komposit <i>sandwich panel</i>	14
Gambar 2.8. Aplikasi komposit partikel/serbuk.....	15
Gambar 2.9. Aplikasi AMMC pada silinder blok	16
Gambar 2.10. Aplikasi CMC pada ventilator.....	16
Gambar 2.11. Aplikasi PMC termoset pada lantai	17
Gambar 2.12. Metode <i>hand lay-up</i>	18
Gambar 2.13. Metode <i>vacuum bag</i>	19
Gambar 2.14. Metode <i>pressure bag</i>	19
Gambar 2.15. Metode <i>spray-up</i>	20
Gambar 2.16. Metode <i>compression molding</i>	20
Gambar 2.17. Metode <i>injection molding</i>	21
Gambar 2.18. Metode <i>continuous pultrusion</i>	22
Gambar 2.19. Ilustrasi uji <i>three point bending</i>	26
Gambar 2.20. Dimensi spesimen uji bending	26
Gambar 2.21. Ilustrasi uji tarik	28
Gambar 2.22. Dimensi spesimen uji tarik	29
Gambar 2.23. Ilustrasi uji <i>impact</i>	30
Gambar 2.24. Metode <i>izod</i>	31
Gambar 2.25. Metode <i>charpy</i>	31
Gambar 2.26. Dimensi Spesimen uji <i>impact charpy</i>	32
Gambar 2.27. Ilustrasi uji keausan <i>pin on disc</i>	33
Gambar 2.28. Dimensi uji keausan <i>pin on disc</i>	33
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.	35

Gambar 3.2. Cetakan.	36
Gambar 3.3. Gelas plastik.	37
Gambar 3.4. Timbangan digital.	37
Gambar 3.5. <i>crusher</i>	38
Gambar 3.6. Ayakan.	38
Gambar 3.7. Oven.	38
Gambar 3.8. <i>Hand mixer</i>	38
Gambar 3.9. Amplas.	39
Gambar 3.10. Wadah Pencampuran.	39
Gambar 3.11. Mesin <i>hidraulic hot press</i>	39
Gambar 3.12. Alat pelepas spesimen.	40
Gambar 3.13. Sekam padi.	40
Gambar 3.14. Resin phenolic serbuk.	41
Gambar 3.15. Katalis heksamina.	41
Gambar 3.16. Serbuk aluminium oksida.	41
Gambar 3.17. Serbuk besi oksida.	42
Gambar 3.18. Pelumas cetakan (WD-40).	42
Gambar 4.1. Grafik densitas spesimen.	49
Gambar 4.2. Grafik <i>flexural strength</i>	52
Gambar 4.3. <i>Elastic region</i> spesimen A15-1.	54
Gambar 4.4. Grafik <i>tensile strength</i> dan <i>tensile modulus</i>	55
Gambar 4.5. Grafik harga impak.	58
Gambar 4.6. Grafik <i>steady state</i> COF terhadap <i>sliding distance</i> spesimen A20-1.	59
Gambar 4.7. Grafik <i>coefficient of friction</i> (COF).	61
Gambar 4.8. <i>Specific wear</i> spesimen komposit.	61

DAFTAR NOTASI

ρ	= Densitas (gram/cm ³)
m	= Massa Benda (gram)
V	= Volume Benda (cm ³)
σ_f	= Tegangan lengkung (N/mm ²)
F	= Besar gaya tekan (N)
L	= Panjang bentang/ <i>span</i> (mm)
b	= Lebar spesimen (mm)
d	= Tebal spesimen (mm)
E	= Modulus elastisitas (N/mm ²)
δ	= <i>Deflection</i> (mm)
σ	= Tegangan tarik (N/mm ²)
F	= Besar gaya tarik (N)
A	= Luas penampang (mm ²)
ε	= Regangan
Δl	= Pertambahan panjang (mm)
L	= Panjang daerah ukur (mm)
l_0	= Panjang awal
E	= Energi serap <i>impact</i>
m	= Massa pendulum (kg)
g	= Kecepatan gravitasi pendulum (m/s)
λ	= Besaran yang mengontrol karakteristik bahan kerja (J)
α	= Sudut awal pendulum (°)
β	= Sudut akhir pendulum (°)
HI	= Harga <i>impact</i> (J/mm ²)
E	= Energi serap <i>impact</i> (J)
Ws	= Keausan Spesifik (mm ² /N)
V	= Volume keausan (mm ³)
F_n	= Gaya normal yang bekerja (N)
d	= Jarak gesekan total (mm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan suatu hal yang tidak dapat terpisahkan dari kehidupan manusia di seluruh dunia, tak terkecuali di Indonesia. Salah satu jenis transportasi yang cukup digemari oleh masyarakat Indonesia adalah kereta api. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pengguna kereta api di skala nasional dalam rentang bulan Mei 2022 hingga bulan Mei 2023 mencapai angka 30,5 juta penumpang. Angka tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan berbagai moda transportasi lainnya, seperti pesawat terbang dengan jumlah pengguna 7 juta penumpang, serta kapal laut dengan jumlah pengguna 1,7 juta orang.

Teknologi kereta api telah berkembang sangat pesat. Salah satu komponen penting dari kereta api adalah sistem pengereman. Sistem pengereman yang terdapat pada kereta api terdiri dari beberapa komponen yaitu kampas rem, cakram, dan sistem hidrolik. Sistem pengereman adalah suatu sistem yang berfungsi menghambat atau menghentikan laju kendaraan. Sistem pengereman memiliki peran sangat penting dalam bidang otomotif karena bertanggung jawab terhadap keselamatan pengendara kendaraan [1].

Bagian penting dari sistem pengereman adalah kampas rem. Kualitas kampas rem dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu komposisi bahan, jenis bahan, dan kekerasan bahan [2]. Kampas rem umumnya terbuat dari bahan asbestos. Debu asbestos sangat berbahaya bagi kesehatan pernafasan. Oleh karena itu saat ini penggunaan bahan asbestos pada kampas rem mulai coba digantikan dengan bahan yang lebih aman [1].

Penelitian yang telah dilakukan oleh Suhot, dkk menggunakan sekam padi dalam pembuatan kampas rem. Hasil penelitian itu menunjukkan bahwa kandungan silika yang tinggi dapat membentuk material dengan kekerasan yang baik, sehingga membuat material tahan akan goresan dan tahan lama [3]. Kapoor & Sanjeev dalam penelitiannya menggunakan sekam padi untuk menghasilkan

material gesek kampas rem non-asbes. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan sekam padi dapat menghasilkan material dengan sifat dan ketahanan aus dan gesek seperti bahan keramik [4].

Di Indonesia sendiri sebagai negara agraris, tanaman padi masih menjadi sumber tanaman pangan pokok yang produksinya cukup tersebar merata di setiap daerah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), Pada 2023, luas panen padi diperkirakan sebesar 10,21 juta hektare dengan produksi padi sekitar 53,98 juta ton gabah kering giling (GKG). Jika dikonversikan menjadi beras untuk konsumsi pangan penduduk, produksi beras pada 2023 diperkirakan sebesar 31,10 juta ton. Sekam padi diperoleh dari kulit beras selama penggilingan [5]. Sekam padi merupakan biomassa yang mempunyai komposisi (9,02%) kadar air, (3,03%) protein kasar, (1,18%) lemak, (35,68%) serat kasar, (17,17%) abu, (33,71%) karbohidrat, (1,33%) karbon (zat arang), 1,54% hidrogen, (33,64%) oksigen, dan (16,98%) silika [6]. Limbah sekam yang tidak dikelola dengan baik akan mudah terbawa angin dan mengganggu lingkungan serta kesehatan masyarakat sekitar. Pemanfaatan sekam padi menjadi bahan penguat dalam komposit menjadi salah satu upaya pengurangan limbah pertanian yang belum terkelola dengan baik.

Berdasarkan beberapa penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh fraksi berat sekam padi, resin *phenolic* ($C_8H_6O_2$), aluminium oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3) terhadap sifat mekanik dan performa tribologi material gesek kampas rem komposit dengan menggunakan metode *hot compression*. Melalui penelitian ini selanjutnya diharapkan dapat menjadi salah satu acuan untuk terus mengembangkan material kampas rem yang ramah lingkungan dan disesuaikan dengan standar yang berlaku, sehingga dapat menggantikan kampas rem yang berbahan asbes.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap sifat fisik material gesek kampas rem komposit?

2. Bagaimana pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap sifat mekanik material gesek kampas rem komposit?
3. Bagaimana pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap performa tribologi material gesek kampas rem komposit?

1.3 Batasan Masalah

Suatu penelitian perlu adanya batasan, agar memudahkan dalam penelitian.

Berikut batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Material penguat yang digunakan adalah serbuk sekam padi dengan ukuran partikel 100 *mesh*.
2. Matriks yang digunakan adalah Resin *Phenolic* ($C_8H_6O_2$)
3. Material tambahan yang digunakan adalah aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai *filler* dan besi oksida (Fe_2O_3) sebagai bahan abrasif.
4. Proses pembuatan komposit material gesek kampas rem kereta api menggunakan metode *hot compression*

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap sifat fisik pada material gesek kampas rem komposit.
2. Mengetahui pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap sifat mekanik pada material gesek kampas rem komposit
3. Mengetahui pengaruh fraksi berat sekam padi dan resin *phenolic* terhadap performa tribologi pada material gesek kampas rem komposit.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, baik secara teoritis maupun praktis.

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan referensi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan bahan tentang pemanfaatan sekam padi.

- b. Memberikan referensi data dari hasil pengujian yang dilakukan dalam pembuatan kampas rem menggunakan sekam padi.
- c. Menambah kajian untuk penelitian di masa yang akan datang berkaitan dengan pemanfaatan sekam padi sebagai aplikasi material kampas rem kereta api.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi peneliti, mengetahui pengaruh fraksi volume sekam padi dengan resin *phenolic* sebagai kampas rem kereta api.
- b. Bagi perguruan tinggi, hasil penelitian dapat bermanfaat sebagai referensi bagi sumbangsih penelitian material khususnya dalam penggunaan material yang ramah lingkungan.
- c. Bagi perkembangan teknologi, menambah referensi dalam pengembangan kampas rem.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan Kerja Praktik ini adalah sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab I merupakan pendahuluan yang menjelaskan mengenai latar belakang penulis dalam membuat laporan ini. Selain itu, dalam bab ini juga tercantum tujuan penulis dalam pelaksanaan Tugas Akhir (TA) dan manfaat yang penulis dapatkan dari pelaksanaan Tugas Akhir (TA)

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab II merupakan Bab yang menyajikan kajian teoritis yang relevan dengan topik penelitian, mengulas penelitian terdahulu yang berkaitan, dan merumuskan kerangka pemikiran yang menjadi dasar penelitian.

3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan secara rinci metode yang digunakan dalam penelitian, mencakup desain penelitian, teknik pengumpulan data, prosedur penelitian, serta teknik analisis data.

4. Bab 4 Hasil Dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil penelitian dalam bentuk data yang diolah dan diinterpretasikan, serta membahas temuan dalam konteks teori dan penelitian terdahulu. Analisis data dilakukan untuk menjawab rumusan masalah, dan pembahasan mengaitkan hasil dengan teori yang relevan.

5. Bab 5 Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan yang disarikan dari yang telah dibahas dalam Bab 4 dan berisikan saran-saran yang terkait dengan hasil penelitian yang telah dilakukan yang relevan dengan isi Bab 4.

6. Daftar Pustaka

Bagian ini berisi sumber yang telah digunakan sebagai referensi dalam naskah TA ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Secara umum, kampas rem menggunakan asbes sebagai bahan penguat dan resin sebagai bahan pengikat. Namun, penelitian dari WHO (*World Health Organization*) dan IARC (*International Agency for Research on Cancer*) menunjukkan bahwa asbes dapat menyebabkan kanker paru-paru akibat paparan debunya. Selain itu, kampas rem berbahan asbes dapat mengalami penurunan performa atau fading pada suhu di atas 200°C [7]. Hal tersebut dapat menjadi alasan kuat untuk mengembangkan material baru sebagai pengganti asbes untuk material gesek kampas rem yang lebih ramah lingkungan.

Beberapa penelitian telah dilakukan oleh peneliti agar mendapatkan material kampas rem komposit ramah lingkungan. Salah satunya yang telah dilakukan oleh Suhot, dkk tentang bahan komposit kampas rem dengan menggunakan komponen serat alam berupa sekam padi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari perilaku fisik, mekanik, dan termal dari sekam padi (sekam padi) sebagai serat untuk memperkuat berbagai polimer sintetis. Sekam padi mengandung serat alami yang dapat meningkatkan kekuatan mekanik dan daya tahan material komposit. Sekam padi juga kaya akan silika, sehingga dapat menghasilkan material dengan sifat ketahanan aus dan gesek seperti bahan keramik. Kandungan silika dalam sekam padi memberikan sifat penguatan yang meningkatkan kekuatan mekanik dan kekerasan komposit. Selain itu, Sebagai limbah pertanian, sekam padi menawarkan peluang solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam pengembangan material komposit [3].

Menurut data dari Pangkalan Data Kekayaan Intelektual (PDKI) Indonesia, beberapa peneliti telah membuat paten untuk penelitian yang berfokus pada kampas rem yang menggunakan material komposit berbasis bahan alam. Salah satunya adalah penggunaan sekam padi dalam komposit kampas rem sepeda motor oleh Farid, dkk nomor paten IDP000087358 dengan judul “Proses Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Bahan Komposit *Polyester* Berpenguat Silika

Sekam Padi”. Penelitian ini berfokus pada pencarian alternatif pengganti material asbes, yang diketahui berdampak negatif terhadap kesehatan, dengan memanfaatkan serat alam atau bahan organik dari sekam padi. Penelitian ini menggunakan komposisi serbuk sekam padi dan karbonisasi serbuk sekam padi, dipadukan dengan resin *polyester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kampas rem sepeda motor yang dihasilkan memiliki karakteristik yang memenuhi standar dan cocok digunakan pada kecepatan operasional dalam kota, yaitu 40 km/jam [8].

Khafidh, dkk dalam penelitiannya tentang material kampas rem komposit, menyelidiki karakteristik bahan komposit kampas rem dengan variasi komposisi *epoxy*, sekam padi, Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Metode pembuatan yang digunakan adalah *hand layup*, dan berbagai pengujian dilakukan, termasuk uji densitas, kekerasan, kekuatan lentur, analisis termal, SEM, TGA/DSC, dan uji keausan. Hasil menunjukkan bahwa penambahan bahan penguat seperti sekam padi meningkatkan sifat mekanik komposit, dengan spesimen terbaik memiliki komposisi 50% *epoxy*, 20% sekam padi, 15% Al_2O_3 , dan 15% Fe_2O_3 . Selain itu, ditemukan bahwa kekerasan serta ketahanan aus dan gesek komposit berkorelasi positif dengan densitas, di mana spesimen dengan densitas lebih tinggi menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik [9].

Penelitian oleh Fitriyana, dkk membahas terkait komposit dari serat alam yang ramah lingkungan. Penelitian ini mengeksplorasi pengembangan dan karakterisasi bahan bantalan rem ramah lingkungan yang terbuat dari komposit resin epoksi, sekam padi, aluminium oksida, dan oksida besi. Penelitian ini meneliti sifat mekanis komposit ini, khususnya berfokus pada efek dari berbagai fraksi volume komponen terhadap kekuatan tarik, ketahanan benturan, dan kepadatan. Temuan menunjukkan bahwa kombinasi spesifik dari 50% epoksi, 20% sekam padi, 15% aluminium oksida, dan 15% oksida besi menghasilkan kinerja mekanis yang optimal, memenuhi standar lingkungan untuk bantalan rem bebas asbes [10].

Primaningtyas, dkk telah melakukan penelitian untuk menganalisis perilaku keausan pada material gesek kampas rem yang menggunakan penguat sekam padi non-karbonasi dan karbonisasi, dengan pengikat *epoxy* serta variasi fraksi volume dan ukuran partikel yang berbeda-beda. Rasio antara serbuk sekam padi dan *epoxy* dalam penelitian ini adalah 20:80; 30:70; dan 40:60. Karakterisasi ketahanan aus

dan gesek dilakukan dengan metode ogoshi untuk mengamati perilaku keausan material gesek dengan sekam padi yang non-karbonasi dan karbonisasi, dengan variasi ukuran partikel sebesar 50, 80, dan 100 mesh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen yang diperkuat dengan sekam padi berkarbonasi dengan fraksi volume 20%, ukuran partikel 100 mesh, dan 80% epoxy memiliki ketahanan aus dan gesek yang lebih baik dibandingkan dengan material kampas rem berbasis asbes. Tingkat keausan menurun seiring dengan meningkatnya jumlah serbuk sekam padi yang tidak dikarbonasi dalam semua kondisi pengujian. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sekam padi berkarbonasi yang lebih baik dalam mengikat, sedangkan partikel sekam padi yang tidak dikarbonisasi cenderung menggumpal ketika jumlahnya meningkat, sehingga menyebabkan campuran menjadi tidak homogen. Penambahan jumlah sekam padi berkarbonisasi justru menurunkan ketahanan aus dan gesek komposit kampas rem, dengan hasil terbaik diperoleh pada sekam padi berkarbonasi dengan fraksi volume 20%. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan serbuk sekam padi dengan fraksi volume yang tidak berlebihan, dipadukan dengan epoxy sebagai pengikat, sangat efektif dalam meningkatkan ketahanan aus dan gesek pada material gesek kampas rem [11].

Berdasarkan berbagai kajian penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sifat fisik, sifat mekanik, dan performa tribologi material gesek pada kampas rem dipengaruhi oleh fraksi berat serbuk, ukuran partikel, serta perlakuan pada spesimen. Oleh karena itu, penelitian ini memilih untuk menggunakan serbuk sekam padi dengan ukuran partikel 100 mesh sebagai penguat (*reinforcement*) dengan variasi fraksi berat 20%, 30%, dan 35% yang dikombinasikan dengan matriks resin fenolik, katalis, serta ditambahkan serbuk aluminium oksida dan serbuk besi oksida.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Kampas Rem

A. Deskripsi Kampas Rem

Kampas rem atau *brake pad* adalah komponen yang berperan penting dalam menekan piringan rem saat proses pengereman berlangsung. Agar pengereman dapat berfungsi secara optimal, kampas rem perlu memiliki koefisien gesek yang tinggi serta ketahanan yang baik terhadap aus dan panas [12]. Berikut gambar 2.1 merupakan contoh kampas rem kereta api.



Gambar 2.1. Kampas rem kereta api [13].

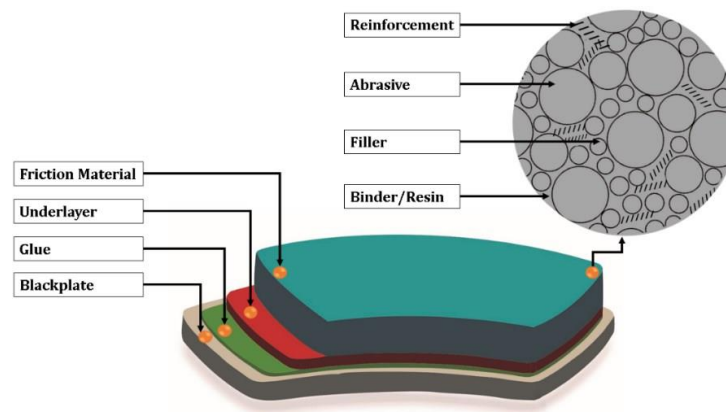
Sifat material kampas rem setidaknya harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut [14]:

1. Mempunyai koefisien gesek yang tinggi.
2. Mempunyai laju keausan yang rendah.
3. Mempunyai tahanan panas yang tinggi.
4. Mempunyai kapasitas disipasi panas yang tinggi.
5. Mempunyai kekuatan mekanik yang mencukupi.
6. Tidak dipengaruhi oleh minyak dan embun.

B. Bagian-Bagian Kampas Rem

Material komposit pada kampas rem terdiri dari beberapa bagian, salah satu yang paling penting adalah material gesek (*friction material*). Material gesek ini terbuat dari bahan yang harus memiliki sifat mekanik dan performa tribologi yang baik. Komponen penyusun material gesek meliputi material penguat

(*reinforcement*), material pengikat (*matrix*), material pengisi (*filler*), dan material abrasif [7]. Berikut gambar 2.2 Bagian-bagian kampas rem dan material penyusunnya.



Gambar 2.2. Bagian-bagian kampas rem dan material penyusun [7].

C. Standar Kampas Rem Kereta Api

Pada aplikasi sistem pengereman, bahan kampas rem dirancang untuk memenuhi standar keamanan dan ketahanan, serta memastikan kendaraan dapat melakukan pengereman dengan halus. Selain itu, kampas rem harus memiliki koefisien gesek yang tinggi, tingkat keausan yang rendah, kekuatan yang baik, dan memiliki kemampuan untuk meredam getaran saat pengereman dilakukan. Sifat mekanik pada kendaraan mengacu pada kemampuan suatu bahan untuk menahan beban atau gaya tanpa menyebabkan kerusakan pada komponen tersebut [15]. Oleh karena itu, diperlukan suatu standar acuan yang mengatur spesifikasi teknis kampas rem, mencakup nilai kekerasan, keausan, ketahanan bending, dan sifat mekanik lainnya. Spesifikasi tersebut harus memenuhi kriteria rem komposit yang dipersyaratkan oleh PT. KAI, sebagaimana pada tabel 2.1 berikut.

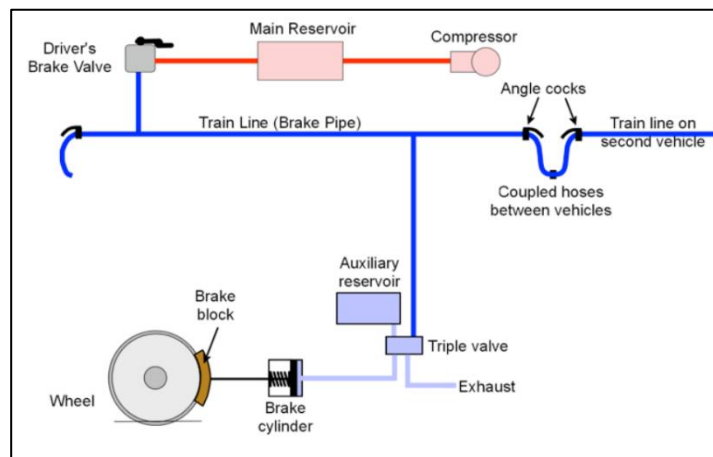
Tabel 2.1. Spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI [16].

No	Sifat Fisik & Mekanik	Spesifikasi Teknik PT. KAI
1	Berat jenis, gr/cm^3	1,8 – 2,4
2	Koefisien gesek	0,14 – 0,22
3	<i>Hardness</i> , HRR	70 – 105
4	<i>Compressive strength</i> , MPa	Min 25

No	Sifat Fisik & Mekanik	Spesifikasi Teknik PT. KAI
5	<i>Flexural Strength</i> , MPa	24 – 40
6	<i>Shear strength</i> , MPa	15 – 35
7	<i>Modulus of Elasticity</i> , MPa	240 – 15000
8	<i>Thermal conductivity</i> , W/m.K	Min 0.8
9	Ketahanan Panas Operasional	
	a. 200 C	Tidak meleleh dan tidak terbakar untuk pemakaian kontinyu.
	b. 500 C	Boleh terbakar namun tidak menimbulkan nyala api.

D. Sistem Pengereman Kereta Api

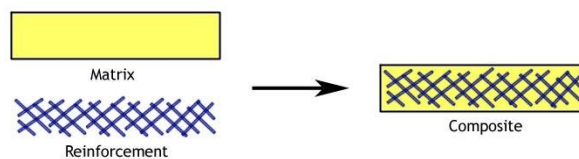
Sistem rem udara banyak digunakan pada kendaraan komersial seperti truk, bus, kereta api, dan lainnya. Kendaraan kereta api biasanya dilengkapi dengan sistem pengereman yang menggunakan udara bertekanan untuk mendorong bantalan rem ke cakram atau blok roda. Sistem ini dikenal sebagai rem udara atau rem pneumatik. Udara bertekanan disalurkan melalui kereta api menggunakan pipa rem. Variasi tingkat tekanan udara dalam pipa menyebabkan perubahan kondisi rem untuk setiap gerbong. Berikut gambar 2.3 diagram sistem rem udara kereta api [17].



Gambar 2.3. Diagram sistem rem udara kereta api [18].

2.2.2 Komposit

Komposit adalah material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material penyusun. Penggabungan material-material ini menghasilkan komposit dengan sifat yang berbeda dari material asalnya, sehingga tercipta material baru dengan kualitas yang lebih unggul [19]. Secara umum, komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu penguat (*reinforcement*) dan pengikat (*matrix*). Saat ini, komposit semakin banyak diaplikasikan di berbagai bidang, seperti industri otomotif, peralatan olahraga, peralatan rumah tangga, dan lain-lain. Berikut gambar 2.4 ilustrasi komposit.



Gambar 2.4. Ilustrasi komposit [20].

Material komposit memiliki karakteristik yang tahan terhadap korosi, tidak mudah rusak oleh air, ringan, serta memiliki kekuatan yang tinggi. Adapun menurut Mastuki, dkk beberapa kelebihan dan kekurangan dari material komposit menurut sebagai berikut :

Kelebihan Komposit :

1. Komposit menghasilkan sifat mekanik yang tidak dapat dicapai oleh polimer, keramik, dan logam.
2. Komposit memiliki sifat keuletan yang lebih baik.
3. Komposit dapat menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik daripada material penyusunnya.
4. Komposit memiliki rasio perbandingan antara kekuatan dan kekauan yang lebih baik daripada baja dan aluminium.

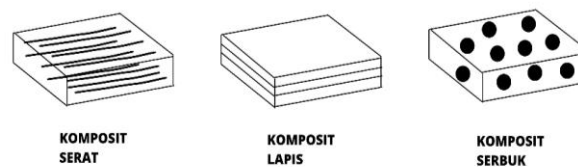
Kekurangan Komposit :

1. Pada proses pembuatan material komposit membutuhkan waktu yang lama dan biaya relatif mahal.
2. Material komposit sering mengakibatkan perbedaan sifat yang dipengaruhi besar oleh arah pengukuran komposit.
3. Komposit memiliki temperatur terbatas hingga 400⁰C.

4. Komposit berbasis polimer sangat rentan terhadap reaksi kimia atau bahan pelarut.

A. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Material Penguat

Penguat (*reinforcement*) merupakan komponen utama yang sangat memengaruhi sifat-sifat suatu material komposit. Dalam pembuatan komposit, material penguat biasanya digunakan dengan fraksi berat tidak melebihi 50%. Jika komposisi penguat terlalu banyak, ikatan antara penguat dan matriks tidak akan optimal, yang dapat mengurangi kualitas komposit yang dihasilkan. Material penguat umumnya terdiri dari dua jenis, yaitu serat sintetis dan serat alam. Serat sintetis dibuat dari bahan buatan, sementara serat alam diperoleh langsung dari sumber alami. Berikut gambar 2.5 komposit berdasarkan material penguat.



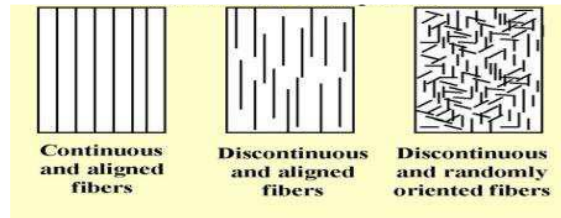
Gambar 2.5. Komposit berdasarkan material penguat [22].

Menurut Tjahjanti komposit terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan material penguatnya, yaitu sebagai berikut :

1. Komposit Serat

Komposit serat adalah jenis komposit yang terdiri dari satu lapisan dan diperkuat dengan serat. Serat yang digunakan untuk memperkuat matriks dapat berupa serat pendek, panjang, atau kontinu, dengan ukuran yang disesuaikan sesuai kebutuhan. Konsentrasi serat yang dapat dicampurkan dengan matriks bisa mencapai 70% fraksi berat. Komposit serat sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, seperti berikut:

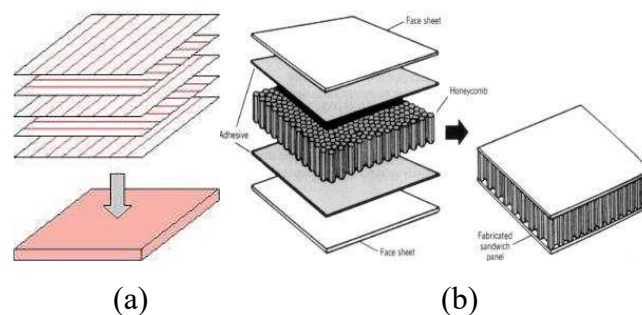
- a. Serat panjang dan searah (*continuous and aligned fiber*)
- b. Serat pendek dan searah (*discontinuous and aligned fiber*)
- c. Serat pendek dan random (*discontinuous and randomly oriented fiber*)



Gambar 2.6. Jenis komposit serat[22].

2. Komposit Lapis

Komposit lapis adalah jenis komposit yang terdiri dari beberapa lapisan, minimal dua lapisan, yang digabungkan menjadi satu. Setiap lapisan penyusunnya memiliki karakteristik unik dengan arah serat yang bervariasi. Secara umum, komposit lapis terbagi menjadi dua jenis, yaitu komposit lapisan (*laminar composites*) dan panel sandwich. Komposit lapisan merupakan lapisan atau panel dua dimensi yang memiliki kekuatan lebih tinggi pada arah tertentu. Contoh komposit lapisan alami adalah kayu yang digunakan dalam pembuatan *plywood*. Sementara itu, panel *sandwich* terdiri dari dua lapisan luar yang kuat, dikenal sebagai lapisan muka (*face*), dan biasanya diisi dengan material ringan di antara kedua lapisan tersebut. Seperti pada gambar 2.7 berikut.

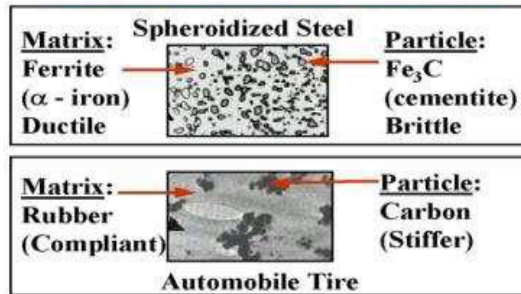


Gambar 2.7. (a) Skema komposit lapisan, (b) Skema komposit *sandwich panel* [22].

3. Komposit Partikel/Serbuk

Komposit partikel adalah jenis komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguat, yang tersebar merata ke segala arah dan bidang dalam material. Partikel penguat pada komposit ini umumnya berukuran lebih besar dari 1 μm . Konsentrasi partikel yang dapat dicampurkan dengan matriks

berkisar antara 20% hingga 40% fraksi berat. Keunggulan material komposit berbasis partikel adalah kekuatannya yang lebih seragam di berbagai arah, mampu meningkatkan kekuatan dan kekerasan material, serta dapat menghambat pergerakan dislokasi. Berikut gambar 2.8 aplikasi komposit partikel



Gambar 2.8. Aplikasi komposit partikel/serbuk [22].

B. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks

Matriks atau pengikat merupakan fasa dalam material komposit yang memiliki bagian atau fraksi berat terbesar (dominan). Matriks memiliki fungsi mentransfer tegangan pada serat, membentuk ikatan yang koheren, permukaan matriks/serat, melindungi serat, memisahkan serat, melepaskan ikatan, dan tetap stabil setelah proses pembuatan. Menurut Tjahjanti berdasarkan matriksnya, material komposit terbagi menjadi beberapa jenis [23] :

1. *Metal Matrix Composite* (MMC/MMC's)

MMC (Metal Matrix Composite) adalah material komposit yang menggunakan logam sebagai bahan pengikatnya. Pengembangan MMC dimulai pada tahun 1996, dengan fokus awal pada Continuous Filament MMC yang diaplikasikan dalam industri penerbangan. MMC yang menggunakan matriks logam aluminium (Al) dikenal sebagai Aluminium Metal Matrix Composite (AMMC). Jika AMMC diproduksi melalui proses pengecoran, maka disebut Aluminium Metal Matrix Composite Cast Composite (AMMCC). Salah satu contoh penerapan AMMC di industri otomotif adalah pada pembuatan silinder blok dengan matriks berbahan aluminium [23]. Berikut gambar 2.9 merupakan aplikasi AMMC pada silinder blok.



Gambar 2.9. Aplikasi AMMC pada silinder blok [23].

2. *Ceramic Matrix Composite (CMC atau CMC's)*

CMC (Ceramic Matrix Composite) adalah material komposit yang menggunakan keramik sebagai bahan pengikatnya. CMC merupakan material dua fasa, di mana satu fasa berperan sebagai penguat dan fasa lainnya sebagai matriks yang terbuat dari bahan keramik. Secara umum, CMC menggunakan penguat dari bahan oksida, karbida, atau nitrida. Salah satu metode manufaktur CMC adalah proses DIMOX, yaitu teknik pembuatan komposit melalui reaksi oksidasi logam leburan untuk membentuk matriks keramik di sekitar area pengisi (filler). Salah satu aplikasi CMC adalah pada pembuatan ventilator yang tahan terhadap gas panas dengan menggunakan matriks keramik [23]. Berikut gambar 2.10 aplikasi CMC pada ventilator.



Gambar 2.10. Aplikasi CMC pada ventilator [23].

3. *Polymer Matrix Composite (PMC atau PMC's)*

PMC (Polymer Matrix Composite) adalah material komposit yang menggunakan polimer sebagai bahan pengikatnya. Polimer merupakan matriks yang paling umum digunakan dalam material komposit karena sifatnya yang tahan terhadap korosi dan ringan. Material komposit PMC memiliki berbagai keunggulan, seperti biaya produksi yang rendah, kemampuan diproduksi secara massal, ketangguhan yang baik, umur simpan yang panjang, siklus fabrikasi yang cepat, fleksibilitas dalam mengikuti bentuk, bobot yang ringan, serta

kekakuan dan kekuatan spesifik yang tinggi. Selain itu, PMC bersifat anisotropik. Matriks polimer terbagi menjadi dua jenis, yaitu termoset dan termoplastik. Perbedaan utama antara keduanya adalah polimer termoset tidak dapat didaur ulang, sedangkan termoplastik dapat didaur ulang. Beberapa contoh polimer termoset yang sering digunakan antara lain resin poliester, resin vinyl ester, fenolik, dan resin epoxy. Salah satu contoh penerapan polimer termoset adalah pembuatan lantai menggunakan resin epoxy [23]. Berikut gambar 2.11 merupakan aplikasi PMC termoset. Berikut gambar 2.11 aplikasi PMC termoset pada lantai.



Gambar 2.11. Aplikasi PMC termoset pada lantai [23].

C. Metode Pembuatan Komposit

Metode pembuatan komposit secara umum terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *open mold process* dan *closed mold process*. *Open mold process* terbagi menjadi beberapa proses, yaitu *hand lay up*, *vacuum bag*, *pressure bag*, *spray-up*, dan *filament winding*. Sedangkan *closed mold process* yaitu *compression molding*, *injection molding*, dan *continuous pultrusion* [24]. Penjelasannya sebagai berikut :

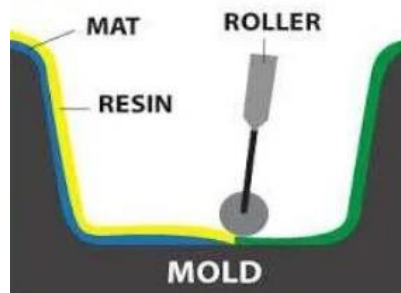
1. *Open Mold Process*

Open mold process merupakan suatu proses pembuatan komposit dimana pada saat proses berlangsung, cetakan tidak ditutup atau dalam kondisi terbuka. *Open Mold Process* terdiri dari beberapa proses, sebagai berikut :

a. *Hand Lay-Up*

Hand lay-up merupakan metode yang paling sederhana dan merupakan proses fabrikasi komposit dengan metode terbuka. Proses pembuatan dengan metode *hand lay-up* yaitu dengan cara menuangkan resin dengan tangan ke dalam serat-serat berupa anyaman, rajut atau kain. Kemudian beri tekanan dan ratakan menggunakan roller atau kuas. Proses ini diulang

sampai ketebalan yang diinginkan tercapai. Pada proses ini resin bersentuhan langsung dengan udara dan proses pencetakan biasanya dilakukan pada suhu kamar. Keuntungan dari metode *hand lay-up* yaitu mudah dilakukan, volumenya rendah, dan biaya pembuatan relatif murah. Pada metode *hand lay-up*, jenis resin yang paling banyak digunakan adalah *polyester* dan *epoxy*. Penerapan pembuatan produk komposit menggunakan *hand lay-up* biasanya digunakan sebagai bodi kendaraan, bak mandi, dan perahu. Berikut gambar 2.12 merupakan ilustrasi metode *hand lay-up*. Berikut gambar 2.12 metode *hand lay-up*.

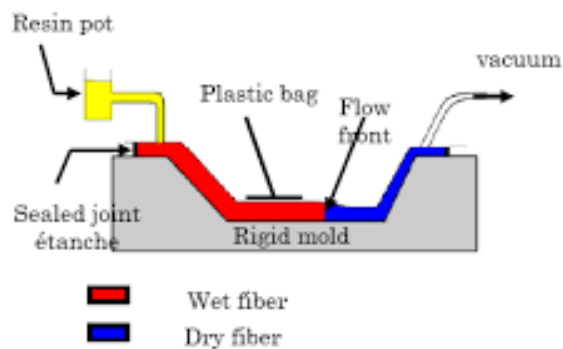


Gambar 2.12. Metode *hand lay-up* [25].

b. *Vacuum Bag*

Vacuum bag merupakan penyempurnaan dari metode *hand lay-up*, untuk menghilangkan udara yang terperangkap dan kelebihan resin yang masih menempel pada cetakan digunakan proses vakum ini. Pada proses *vacuum bag*, digunakan pompa vakum untuk menyedot udara pada cetakan. Menyedot udara di dalam cetakan, udara yang berada di luar penutup plastik akan menekan ke arah dalam. Sehingga menyebabkan udara yang terperangkap pada spesimen komposit dapat diminimalkan.

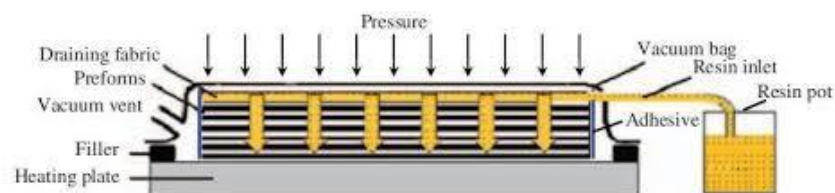
Metode vakum memberikan konsentrasi penguatan yang lebih tinggi, daya rekat yang lebih baik antara lapisan dan lebih banyak kontrol rasio resin/kaca bila dibandingkan dengan metode *hand lay-up*. Penerapan metode *vacuum bag* adalah pada pembuatan perahu dan komponen mobil balap. Berikut gambar 2.13 merupakan ilustrasi metode *vacuum bag*.



Gambar 2.13. Metode *vacuum bag* [26].

c. *Pressure Bag*

Proses *pressure bag* memiliki kemiripan dengan metode *vacuum bag*, namun metode ini tidak menggunakan pompa vakum melainkan menggunakan udara bertekanan atau steam yang dimasukkan melalui wadah elastis. Wadah elastis ini akan bersentuhan dengan komposit yang akan diproses. Tekanan yang biasa diterapkan pada proses *pressure bag* adalah 30 hingga 50 psi. Penerapan metode pembuatan komposit dengan kantong penekan adalah pembuatan tangki, wadah dan lain-lain. Berikut gambar 2.14 merupakan ilustrasi metode *pressure bag*.

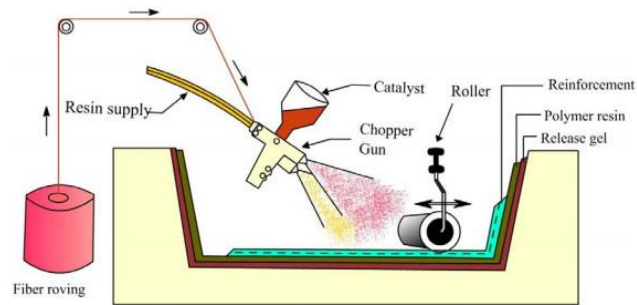


Gambar 2.14. Metode *pressure bag* [27].

d. *Spray-Up*

Proses *spray-up* merupakan metode pembuatan komposit open-mould yang dapat menghasilkan bagian-bagian yang lebih kompleks dan ekonomis dibandingkan hand lay-up. Proses *spray-up* dilakukan dengan cara menyemprotkan fiber yang telah melewati tempat pemotongan (*chopper*). Sementara itu, resin yang telah dicampur dengan katalis juga disemprotkan secara bersamaan dan wadah pencetakan telah disiapkan terlebih dahulu. Kemudian biarkan mengeras pada kondisi atmosfer standar. Penerapan metode pembuatan komposit *spray-up* adalah pembuatan panel, bak mandi,

perahu dan lain-lain. Berikut gambar 2.15 merupakan ilustrasi metode *spray-up*.



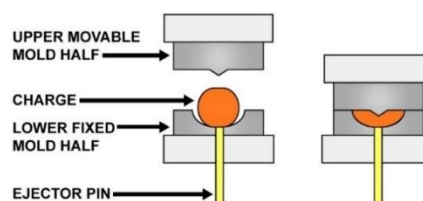
Gambar 2.15. Metode *spray-up* [28].

2. Closed Mold Process

Closed mold process merupakan suatu proses pembuatan komposit dimana pada saat proses berlangsung, cetakan ditutup atau dalam kondisi tertutup. *Closed mold process* terdiri dari beberapa proses, sebagai berikut :

a. Compression Molding

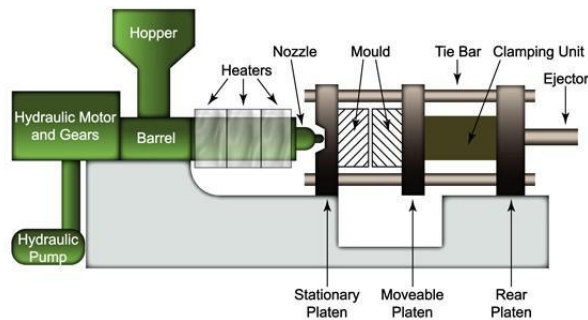
Proses *compression molding* menggunakan hidrolis sebagai alat pengepres. Pembuatannya dengan cara serat yang telah dicampur dengan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan, kemudian dilakukan pengepresan dan pemanasan. Poliester, vinil ester, epoxy dan fenolik adalah resin termoset yang sering digunakan dalam metode ini. Penerapan metode komposit *compression molding* adalah peralatan rumah tangga, perkakas listrik, panel bodi kendaraan rekreasi, rangka sepeda dan lain-lain. Berikut gambar 2.16 merupakan ilustrasi metode *compression molding*.



Gambar 2.16. Metode *compression molding* [28].

b. *Injection Molding*

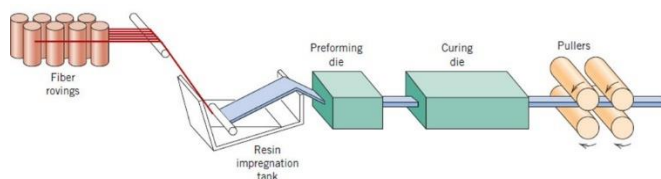
Metode injection molding dapat disebut juga sebagai reaksi pencetakan cair atau pelapisan tekanan tinggi. Serat dan resin dimasukkan ke dalam rongga cetakan atas dan kondisi temperatur dijaga agar dapat melelehkan resin. Setelah itu, resin dan fiber yang meleleh akan mengalir dari bagian atas ke bagian bawah cetakan, kemudian dilakukan injeksi oleh mandrel menuju nozel ke cetakan komposit. Penerapan metode pembuatan komposit dengan injection molding adalah bumper otomotif, komponen panel, peralatan rumah tangga, komponen furnitur dan lain-lain. Berikut gambar 2.17 merupakan ilustrasi metode injection molding.



Gambar 2.17. Metode *injection molding* [29].

c. *Continuous Pultrusion*

Proses continuous pultrusion dilakukan dengan cara serat jenis roving dilewatkan melalui wadah yang berisi resin dan terus menerus dilewatkan ke cetakan pra-cetak dan diawetkan (*cure*), kemudian digulung sesuai dengan dimensi yang diinginkan atau dikenal sebagai menarik serat dari jaring melalui rendaman resin. Setelah itu, diteruskan ke cetakan yang dipanaskan. Fungsi cetakan tersebut adalah untuk mengontrol kandungan resin, melengkapi pengisian serat, dan mengeraskan material. Penerapan metode komposit continuous pultrusion adalah untuk pembuatan batang pada struktur atap, jembatan, dan lain-lain. Berikut gambar 2.18 merupakan ilustrasi metode continuous pultrusion.



Gambar 2.18. Metode *continuous pultrusion* [30].

D. Bahan-Bahan Penyusun Komposit *Eco-Friendly Friction Materials*

1. Resin Fenolik (*Phenolic Resin*)

Resin fenolik adalah resin sintetis yang dihasilkan dari reaksi antara fenol dan formaldehida. Resin ini memiliki sifat keras, kuat, tahan lama, dan dapat dicetak dalam berbagai kondisi. Termasuk dalam kategori polimer termoset, resin fenolik memiliki rumus kimia $C_7H_8O_2$.

Resin ini dikenal karena ketahanannya terhadap panas dan air, serta dapat diberi berbagai macam warna tanpa menimbulkan efek racun. Resin fenolik sering digunakan sebagai bahan pelapis, laminasi, pengikat batu gerinda, atau pengikat logam dan kaca. Selain itu, resin ini dapat diolah menjadi berbagai bentuk, seperti lembaran, plat, batang, dan lainnya [31]. Berikut tabel 2.2 *properties of phenolic resin*.

Tabel 2.2. *Properties of phenolic resin* [31].

<i>Tensile Strength</i>	85 MPa
<i>Tensile Modulus</i>	10500 Mpa
<i>Compressive Strength</i>	190 MPa
<i>Water Absorption</i>	5-10 mg at 24h, 23oC

2. Sekam Padi

Sekam padi atau kulit padi termasuk salah satu bentuk biomassa yang dikembangkan sebagai sumber energi alternatif terbarukan (*renewable energy*). Biomassa merupakan istilah yang merujuk pada semua senyawa organik yang berasal dari tanaman pertanian, alga, dan limbah organik. Komposisi sekam padi terdiri dari senyawa lignoselulosa, hemiselulosa, dan lignin [32]. Sekam padi memiliki sifat-sifat seperti kekuatan, kekakuan, ringan, dan harga yang terjangkau, bahkan dapat dikatakan tidak memerlukan biaya jika memanfaatkan limbah dari proses penggilingan beras. Berikut tabel 2.3 komposisi dari sekam padi.

Tabel 2.3. Komposisi sekam padi [33].

Komposisi	Nilai
Serat kasar	35,68 %
Karbohidrat	33,71 %
Oksigen	33,64 %
Silika	16,98 %
Kadar air	9,02 %
Protein kasar	3,03 %
Lemak	1,18 %
Hidrogen	1,54 %
Karbon	1,33 %

3. Alumunium Oksida

Aluminium oksida (Al_2O_3) adalah senyawa kimia yang terbentuk dari aluminium dan oksigen, dikenal sebagai isolator listrik efektif dan bahan penyekat suhu tinggi karena kemampuannya menyerap panas. Dengan ketahanan terhadap korosi dan titik lebur sangat tinggi (2053°C – 2072°C), alumina sangat cocok untuk berbagai aplikasi industri. [31].

Menurut penelitian Shakuntala, dkk penambahan alumina pada material komposit dapat meningkatkan ketahanan aus dan gesek. Sementara itu, Baskar, dkk menyatakan bahwa alumina memiliki sifat-sifat unggul seperti massa yang ringan, kekuatan dan kekerasan tinggi, ketahanan terhadap korosi, konduktivitas termal yang baik, serta daya tahan terhadap gesekan dan keausan [35]. Berikut tabel 2.4 *Properties of 99.5% aluminum oxide in room temperature*.

Tabel 2.4. *Properties of 99.5% aluminum oxide in room temperature [36].*

99.5% Aluminum Oxide			
Mechanical	Units of Measure	SI/Metric	(Imperial)
Density	gm/cc (lb/ft ³)	3.89	(242.8)
Porosity	% (%)	0	(0)
Color	—	ivory	—
Flexural Strength	MPa (lb/in ² ×10 ³)	379	(55)
Elastic Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	375	(54.4)
Shear Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	152	(22)
Bulk Modulus	GPa (lb/in ² ×10 ⁶)	228	(33)
Poisson's Ratio	—	0.22	(0.22)
Compressive Strength	MPa (lb/in ² ×10 ³)	2600	(377)
Hardness	Kg/mm ²	1440	—
Fracture Toughness K _{IC}	MPa·m ^{1/2}	4	—
Maximum Use Temperature (no load)	°C (°F)	1750	(3180)
Thermal			
Thermal Conductivity	W/m ² K (BTU/in ² ·hr·°F)	35	(243)
Coefficient of Thermal Expansion	10 ⁻⁶ /°C (10 ⁻⁶ /°F)	8.4	(4.7)
Specific Heat	J/Kg·°K (Btu/lb·°F)	880	(0.21)
Electrical			
Dielectric Strength	ac-kv/mm (volts/mil)	16.9	(420)
Dielectric Constant	@ 1 MHz	9.8	(9.8)
Dissipation Factor	@ 1 kHz	0.0002	(0.0002)
Loss Tangent	@ 1 kHz	—	—
Volume Resistivity	ohm·cm	>10 ¹⁴	—

Tabel 2.4 menunjukkan karakteristik alumina dengan kemurnian 99,5%. Dalam kondisi tersebut, material ini memiliki kekuatan mekanik yang sangat tinggi, mencapai 1440 kg/mm², serta ketahanan termal hingga 1750°C.

4. Besi Oksida

Besi oksida (Fe₂O₃) atau feri oksida adalah salah satu senyawa logam yang paling melimpah dibandingkan oksida logam lainnya, karena memiliki beragam kegunaan. Salah satu aplikasinya adalah sebagai bahan abrasif. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit, bahan abrasif ini mampu memperbaiki kekerasan dan tekstur permukaan, sehingga meningkatkan ketahanan aus dan gesek material tersebut [37]. Berikut tabel 2.5 *Properties of Iron Oxides*.

Tabel 2.5. *Properties of Iron Oxides (Fe₂O₃).*

<i>Density</i>	5,24 g/cm ³
<i>Molecular Weight/Molar Mass</i>	1599,69 g/mol
<i>Boiling Point</i>	3.414 °C
<i>Melting Point</i>	1.565 °C
<i>Chemical Formula</i>	Fe ₂ O ₃

2.2.3 Pengujian Material

A. Pengujian Densitas

Densitas atau kerapatan merupakan sifat fisik yang menunjukkan perbandingan massa suatu bahan terhadap volumenya, menggambarkan seberapa padat partikel-partikel penyusunnya. Nilai ini menjadi ciri khas suatu material karena memengaruhi sifat fisik dan perilakunya. Dengan mengukur densitas, dapat diketahui tingkat kepadatan suatu material [38]. Berdasarkan penjelasan tersebut, pada penelitian ini pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui nilai densitas atau kerapatan dari spesimen komposit kampas rem. Umumnya untuk menghitung densitas dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Keterangan:

ρ : Densitas (gram/cm³)

m : Massa Benda (gram)

V : Volume Benda (cm³)

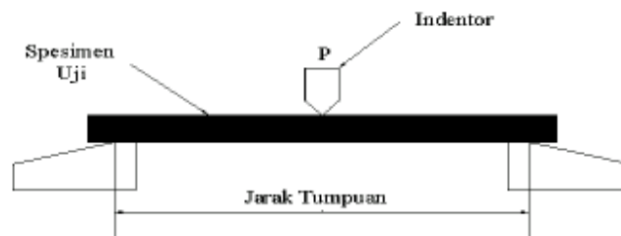
Dalam pengujian densitas umumnya ukuran spesimen tidak memiliki acuan yang baku atau tetap. Sehingga, dimensi spesimen akan dibuat berbentuk tabung dengan diameter ($\varnothing$) 60 mm dengan ketebalan 8 mm.

B. Pengujian Lentur/Bending

Uji lentur atau bending merupakan metode pengujian material dengan memberikan tekanan untuk mengukur kekuatan lentur material tersebut. Kekuatan lentur atau bending merupakan kemampuan suatu material dalam menahan tegangan maksimal akibat pembebanan luar sebelum mengalami deformasi atau kegagalan. Besarnya nilai kekuatan lentur dipengaruhi oleh karakteristik material dan jenis beban yang bekerja. Saat pengujian bending, bagian atas spesimen mengalami kompresi (tekanan), sementara bagian bawahnya menerima tarikan. Pada material komposit, ketahanan terhadap tekanan umumnya lebih besar dibandingkan kemampuan menahan tarikan, sehingga memengaruhi performa keseluruhan struktur saat mengalami pembebanan lentur. Ada dua metode pengujian bending yang umum digunakan, yaitu *four point bending* yang memakai

dua titik penekanan dan dua tumpuan, serta *three point bending* yang menggunakan satu titik penekanan dan dua tumpuan [39].

Three point bending memiliki kelebihan yaitu kemudahan persiapan spesimen, karena pengujian ini lebih mudah dan membutuhkan spesimen yang relatif lebih pendek. Pada perlakuannya *three point bending* spesimen uji diberikan beban pada satu titik yang berada di tengah spesimen dan memiliki tumpuan di dua penyangga. Berikut gambar 2.19 merupakan ilustrasi uji *three point bending*.



Gambar 2.19. Ilustrasi uji *three point bending* [40].

Persamaan dari uji *three point bending* sebagai berikut :

Flexural Strength :

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

σ_f = Tegangan lengkung (N/mm²)

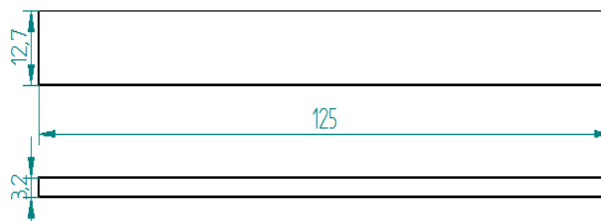
F = Besar gaya tekan (N)

L = Panjang bentang/*span* (mm)

b = Lebar spesimen (mm)

d = Tebal spesimen (mm)

Pengujian bending menggunakan dimensi spesimen sesuai standar ASTM D790-17 sebagai berikut pada gambar 2.20:



Gambar 2.20. Dimensi spesimen uji bending [41].

C. Pengujian Tarik

Uji tarik merupakan metode pengujian material dengan menerapkan gaya tarik secara aksial untuk mengukur kekuatan material terhadap tegangan eksternal. Proses ini dilakukan dengan menarik spesimen secara kontinu hingga terjadi patah, sambil mengamati pertambahan panjang material secara teratur. Tujuan utama pengujian ini adalah menentukan kekuatan tarik material, dimana garis gaya harus sejajar dengan sumbu material untuk mendapatkan pembebanan tarik murni - jika terjadi pembebanan tidak sejajar akan menimbulkan efek lentur. Selama pengujian, mesin uji tarik mencatat hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi, yang menjadi data penting dalam analisis sifat mekanik material untuk keperluan rekayasa teknik [42]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Besar gaya tarik (N)

A = Luas penampang (mm²)

Pada pengujian tarik besarnya regangan merupakan jumlah pertambahan panjang akibat pembebanan dibandingkan dengan panjang daerah ukur (*gauge length*). Nilai regangan adalah regangan proporsional. Persamaannya sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \left(\frac{L - l_0}{l_0} \right) \quad (2.4)$$

Keterangan :

ε = Regangan

Δl = Pertambahan panjang (mm)

L = Panjang daerah ukur (mm)

l_0 = Panjang awal

Daerah proporsional adalah daerah dimana tegangan dan regangan yang terjadi masih sebanding nilainya, defleksi masih bersifat elastis. Besarnya nilai modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada daerah proporsional. Persamaannya sebagai berikut :

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (2.5)$$

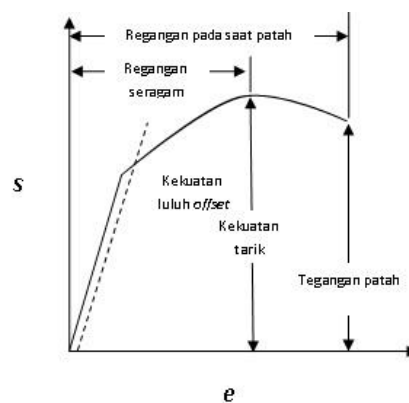
Keterangan :

E = Modulus elastisitas tarik (N/mm^2)

$\Delta\sigma$ = Tegangan tarik (N/mm^2)

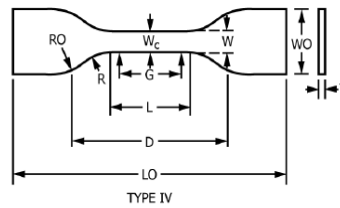
$\Delta\epsilon$ = Regangan (mm)

Spesimen diletakkan pada mesin uji tarik dan dihubungkan ke *extensometer* melalui *strain gauge* pada saat proses pengujian tarik. *Strain gauge* memiliki fungsi sebagai sensor kemudian perubahan panjang yang dialami oleh spesimen dapat diukur dengan *extensometer*. *Crosshead* bergerak sehingga membuat *load cell* bergerak. *Load cell* akan memberikan gaya dan menimbulkan tegangan tarik pada spesimen. Spesimen akan mengalami perubahan panjang setelah menerima tegangan tarik. *Strain gauge* akan mendeteksi perubahan panjang yang terjadi pada spesimen. Alat tersebut terpasang pada spesimen dan terukur oleh *extensometer* yang terhubung pada *strain gauge*. Data perubahan panjang dan perubahan gaya yang diterima oleh spesimen pun diperoleh dan dapat diolah lebih lanjut. Berikut gambar 2.21 merupakan ilustrasi uji tarik.



Gambar 2.21. Ilustrasi uji tarik [43].

Pengujian tarik menggunakan dimensi spesimen sesuai standar ASTM D638-14 tipe IV sebagai berikut pada gambar 2.22.



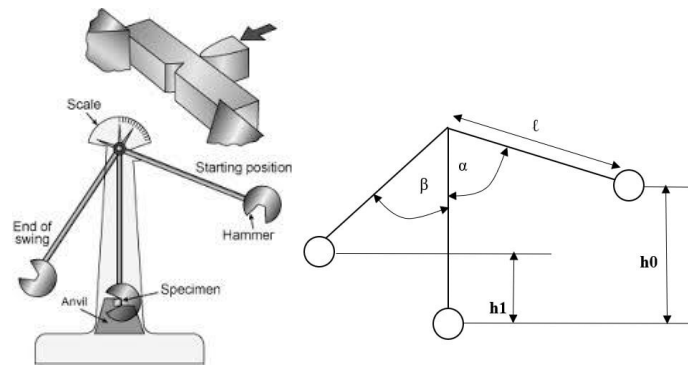
Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ⁴					
Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under	
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}
W —Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)
L —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)
WO —Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...
WO —Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)
LO —Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)
G —Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)
G —Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...
D —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)	25.4 (1.0)
R —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...
					±1 (±0.04) ^C

Gambar 2.22. Dimensi spesimen uji tarik [44].

D. Pengujian Kekuatan Impak

Uji *impact* adalah metode pengujian material untuk menilai ketangguhannya dalam menahan beban kejut berkecepatan tinggi. Tujuan pengujian ini adalah mensimulasikan kondisi di mana material menerima beban secara mendadak, berbeda dengan pengujian lain yang umumnya memberikan beban secara perlahan. Perbedaan utama terletak pada parameter kecepatan pembebanan. Material yang digunakan dalam konstruksi dan transportasi sering mengalami beban tiba-tiba selama operasionalnya, sehingga uji *impact* diperlukan untuk mengevaluasi performanya dalam situasi tersebut.

Prinsip dasar uji *impact* adalah mengukur kemampuan material dalam menyerap energi potensial dari pendulum yang diayunkan dari ketinggian tertentu. Saat pendulum menghantam spesimen uji, material akan mengalami deformasi, dan energi yang diserapnya dapat dihitung. Energi ini digunakan untuk menentukan kekuatan impact dengan membagi total energi serapan material oleh luas penampang yang terkena tumbukan [45]. Energi kinetik diperoleh dari perubahan energi potensial pendulum saat jatuh dan menumbuk spesimen. Energi kinetik maksimum adalah energi yang diserap oleh spesimen pada saat tumbukan terjadi. Berikut ilustrasi dan persamaan yang digunakan dalam pengujian impact. Berikut gambar 2.23 merupakan ilustrasi uji impact



Gambar 2.23. Ilustrasi uji *impact* [46].

Menentukan energi serap (E) :

$$E = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.6)$$

Keterangan : E = Energi serap *impact*

m = Massa pendulum (kg)

g = Kecepatan gravitasi pendulum (m/s)

λ = Besaran yang mengontrol karakteristik bahan kerja (J)

α = Sudut awal pendulum ($^{\circ}$)

β = Sudut akhir pendulum ($^{\circ}$)

Menentukan Harga *impact* (HI) :

$$HI = \frac{E}{A} \quad (2.7)$$

Keterangan : HI = Harga *impact* (J/mm²)

E = Energi serap *impact* (J)

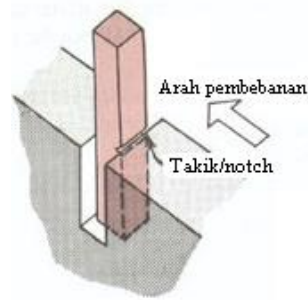
A = Luas penampang dibawah takik (mm²)

Pengujian *impact* dibagi menjadi dua metode, yaitu :

1) Metode *izod*

Metode *izod* adalah pengujian *impact* dengan meletakkan spesimen uji pada tumpuan dengan posisi dan arah pembebanan searah dengan arah notch. Metode ini banyak digunakan di Eropa, dengan penampang bujung sangkar atau lingkaran

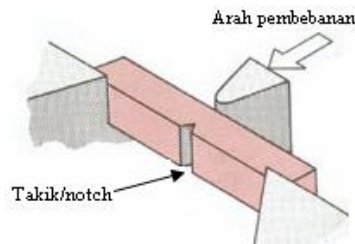
dengan takik V didekat ujung yang dijepit [47]. Berikut gambar 2.24 merupakan ilustrasi uji impak metode *izod*.



Gambar 2.24. Metode *izod* [46].

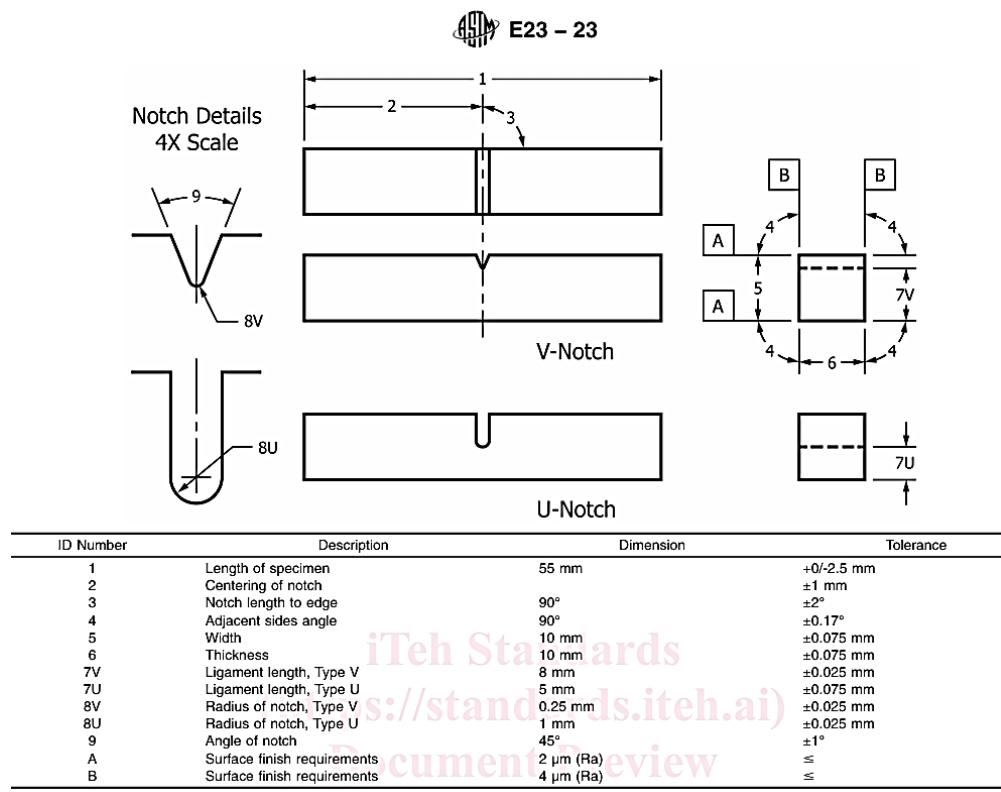
2) Metode *charpy*

Metode *charpy* adalah pengujian impact dengan posisi spesimen pada tumpuan dengan arah horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Metode ini banyak digunakan di Amerika Serikat. Metode *charpy* mempunyai perbedaan dengan metode *izod* yaitu pada peletakan spesimen [47]. Berikut gambar 2.25 merupakan ilustrasi uji impak metode *charpy*.



Gambar 2.25. Metode *charpy* [46].

Pengujian *impact charpy* menggunakan dimensi spesimen sesuai standar ASTM E23 sebagai berikut pada gambar 2.26.



Gambar 2.26. Dimensi Spesimen uji *impact charpy* [48].

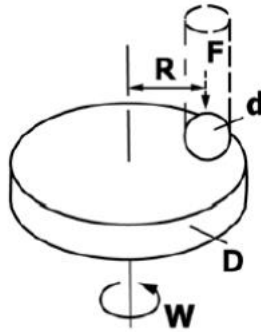
E. Uji Ketahanan Aus Dan Gesek

Uji ketahanan aus dan gesek merupakan suatu uji karakteristik fisik yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keausan benda (permukaan benda) terhadap gesekan atau goresan [49]. Fenomena ini merupakan respons material terhadap kondisi dan perlakuan tertentu [11]. Sebagai pengujian kritis dalam aplikasi kampas rem, uji keausan membantu mengevaluasi ketahanan material dan laju keausan, yang menjadi faktor penting dalam menjamin keandalan dan keamanan sistem pengereman.

Pada pengujian keausan terdapat beberapa metode, yaitu metode *pin on disc* dan metode *ogoshi*.

Metode *pin on disc* merupakan salah satu konfigurasi pengujian keausan yang banyak digunakan untuk menganalisis karakteristik gesek dan aus material. Prinsip kerja metode *pin on disc* melibatkan penekanan pin (sampel uji) terhadap permukaan piringan (*disc*) dengan beban tertentu, sementara piringan diputar oleh motor pada kecepatan konstan yang diatur melalui inverter. Dengan metode ini,

interaksi gesek antara *pin* dan *disc* dapat diamati secara terkendali untuk mengevaluasi ketahanan aus dan gesek material [50]. Berikut gambar 2.27 ilustrasi uji keausan *pin on disc*.



Gambar 2.27. Ilustrasi uji keausan *pin on disc* [51].

Persamaan untuk menentukan nilai keausan spesifik (W_s) :

$$W_s = \frac{V}{F_n \times d} \quad (2.8)$$

Keterangan :

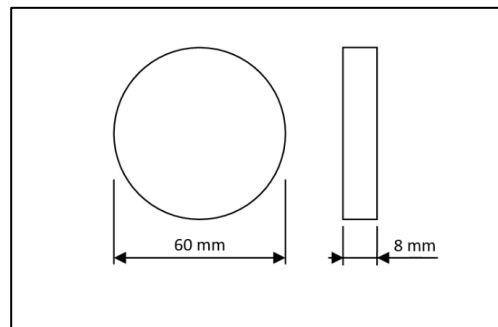
W_s = Keausan Spesifik (mm^2/N)

V = Volume keausan (mm^3)

F_n = Gaya normal yang bekerja (N)

d = Jarak gesekan total (mm)

Pengujian keausan menggunakan alat tribometer *pin on disc* dengan dimensi spesimen sesuai arahan manual dari laboran. Berikut gambar 2.28 Dimensi uji keausan *pin on disc*.



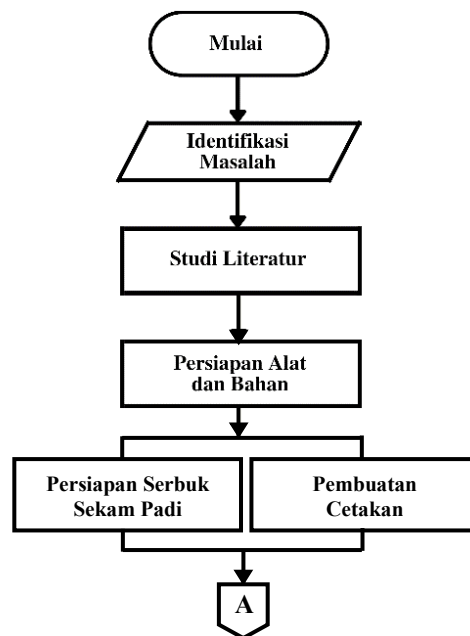
Gambar 2.28. Dimensi uji keausan *pin on disc*

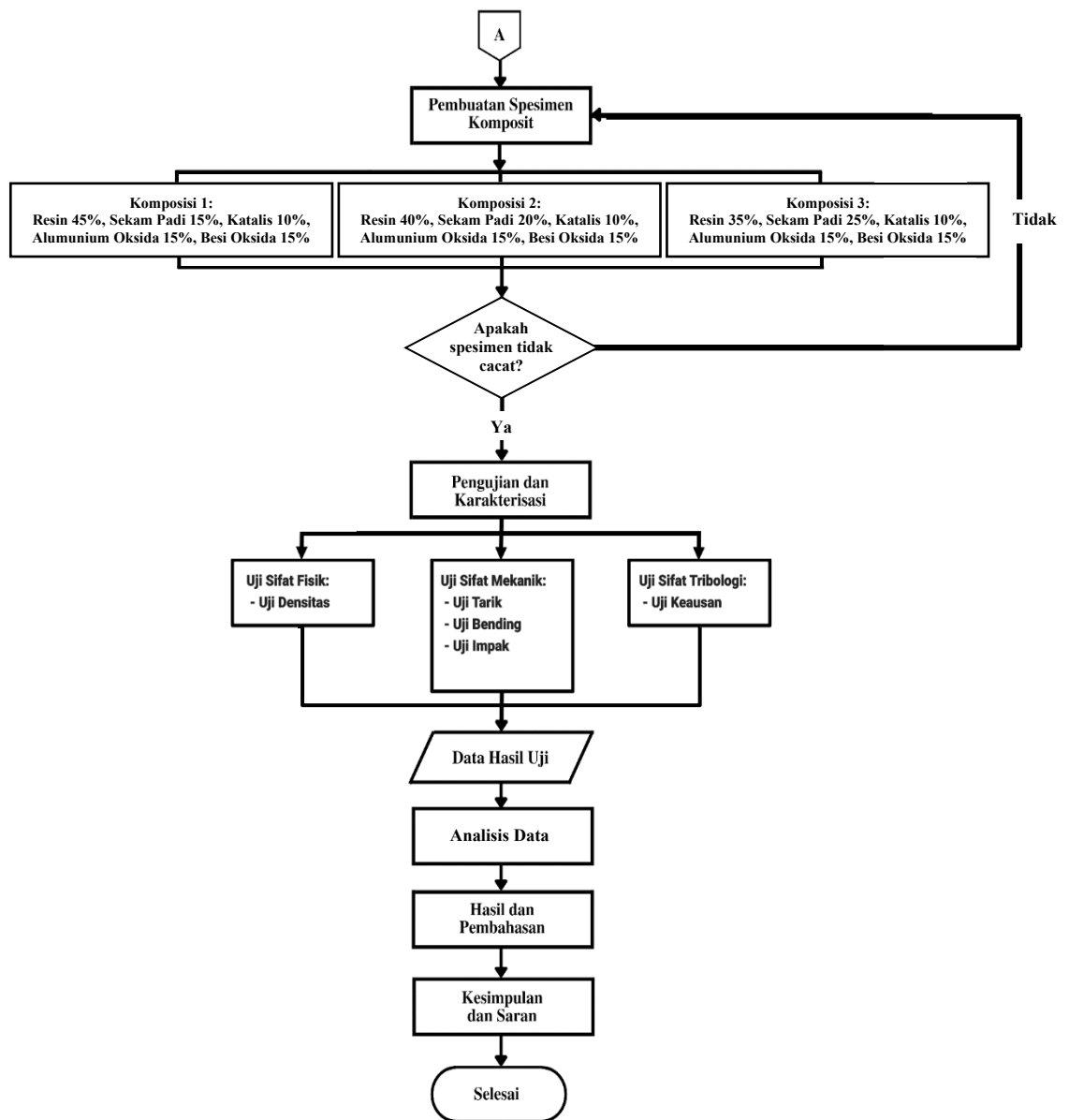
BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Maret 2024 sampai dengan bulan Juni 2025 dengan alur sebagai berikut pada gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

Terdapat beberapa tempat yang akan digunakan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Proses Pemesinan cetakan pada penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin FTI UII.
2. Proses pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Komposit Teknik Mesin FTI UII.
3. Proses pengujian lentur/bending, dan Impak akan dilaksanakan di Laboratorium DTMI FT UGM.

4. Proses pengujian tarik akan dilaksanakan di Balai Besar Kulit Karet dan Plastik (BBKKP) DIY.
5. Proses pengujian keausan akan dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin FTI UII.

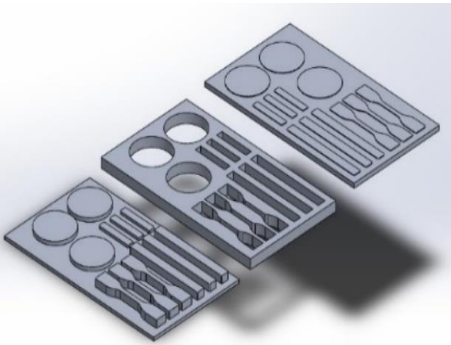
3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengumpulkan berbagai data pendukung penelitian, seperti teori-teori dari jurnal, buku, atau penelitian sebelumnya yang relevan, guna mempermudah penentuan langkah-langkah dalam penelitian. Data-data tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan pembandingan terhadap hasil penelitian yang diperoleh.

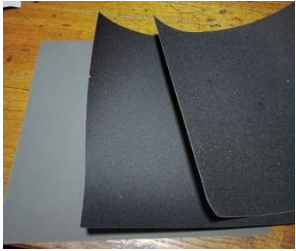
3.2.2 Persiapan Alat & Bahan

A. Alat

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
1.	 Gambar 3.2. Cetakan.	Cetakan spesimen digunakan untuk mencetak spesimen komposit sesuai dengan bentuk dan ukuran yang dibutuhkan, dengan desain berbentuk balok dan terbuat dari bahan aluminium. Ukuran cetakan spesimen didasarkan pada dimensi yang sesuai standar ASTM, dengan bahan pembuatan menggunakan aluminium 5051. Proses pembuatan cetakan terdiri dari dua tahap utama: (1) proses desain cetakan menggunakan software <i>Solidworks</i> untuk menyesuaikan

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
		ukuran dengan standar ASTM, dan (2) proses pemesinan cetakan dengan mesin CNC <i>Milling</i> , di mana sebelumnya dibuat NC Program menggunakan Autodesk Fusion 360 untuk mempersiapkan pengerjaan.
2.	 Gambar 3.3. Gelas plastik.	Gelas plastik digunakan untuk wadah untuk menimbang berat bahan-bahan spesimen komposit sebelum dimasukkan ke wadah pencampuran.
3.	 Gambar 3.4. Timbangan digital.	Timbangan digital digunakan untuk menimbang material komposit berdasarkan perhitungan fraksi berat (wt%) dengan tingkat ketelitian mencapai 0,1 gram.

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
4.	 Gambar 3.5. <i>crusher</i>.	Alat penepung (<i>Crusher</i>) berfungsi untuk menghancurkan sekam padi agar sesuai ukuran partikel yang diinginkan.
5.	 Gambar 3.6. Ayakan.	Ayakan berfungsi untuk menyaring serbuk sekam padi guna memisahkan partikel dengan ukuran yang tidak sesuai, sehingga hanya diperoleh partikel berukuran 100 mesh sesuai kebutuhan.
6.	 Gambar 3.7. Oven.	Oven digunakan untuk proses <i>post curing</i>, di mana setelah spesimen dibuat selanjutnya spesimen melalui proses <i>post curing</i> selama 4 jam di dalam oven dengan temperatur 150 C
7.	 Gambar 3.8. <i>Hand mixer</i>.	<i>Hand Mixer</i> digunakan sebagai alat pengaduk atau pencampur bahan-bahan spesimen komposit.

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
8.	 Gambar 3.9. Amplas.	Amplas berfungsi untuk menghaluskan permukaan cetakan yang masih kasar setelah proses pemesinan.
9.	 Gambar 3.10. Wadah Pencampuran.	Wadah Pencampuran yang digunakan yakni berbentuk baskom dengan bahan plastik sebagai tempat pencampuran semua bahan spesimen komposit.
10.	 Gambar 3.11. Mesin <i>hidraulic hot press</i>.	Mesin <i>Hidraulic Hot Press</i> digunakan untuk mencetak spesimen komposit dengan penekanan panas.

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
11.	 Gambar 3.12. Alat pelepas spesimen.	Alat pelepas spesimen digunakan untuk memudahkan saat melepaskan spesimen komposit dari cetakan setelah proses pencetakan.

B. Bahan

No	Nama & Gambar Bahan	Keterangan
1.	 Gambar 3.13. Sekam padi.	Sekam padi berfungsi sebagai material penguat (<i>reinforcement</i>) pada pembuatan komposit material gesek kampas rem. Proses pengolahan sekam padi terdiri dari tiga tahap utama: (1) pembakaran sekam padi dalam mesin furnace pada suhu 600°C selama 60 menit untuk menghilangkan kadar air dan meningkatkan kandungan silika, mengubah warnanya menjadi hitam; (2) penggilingan sekam padi menggunakan mesin crusher untuk menghasilkan serbuk halus yang memperbaiki struktur material gesek kampas rem; dan (3) pengayakan serbuk dengan ukuran mesh 40, 60, dan 100, di mana penelitian ini menggunakan mesh 100 (149 μm) untuk mendapatkan partikel dengan ukuran

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
		yang diinginkan melalui penyaringan manual.
2.	 Gambar 3.14. Resin phenolic serbuk.	Resin <i>Phenolic</i> berfungsi sebagai material pengikat (<i>matrix</i>) pada pembuatan komposit material gesek kampas rem. Jenis resin <i>phenolic</i> yang digunakan yakni jenis <i>novolac</i> , jenis ini bersifat termoplastik sehingga memerlukan agen <i>cross-linking</i> agar menjadi termoset.
3.	 Gambar 3.15. Katalis heksamin.	Katalis berfungsi sebagai agen <i>cross-linking</i> untuk resin <i>phenolic</i> agar dapat mengubah sifatnya dari termoplastik menjadi termoset. Katalis yang digunakan adalah katalis heksamin ($C_7H_{12}N_4$).
4.	 Gambar 3.16. Serbuk alumunium oksida.	Alumunium oksida (Al_2O_3) berfungsi sebagai material pengisi (<i>filler</i>) pada pembuatan komposit material gesek kampas rem.

No	Nama & Gambar Alat	Keterangan
5.	 Gambar 3.17. Serbuk besi oksida.	Besi oksida (Fe_2O_3) berfungsi sebagai bahan abrasif pada pembuatan komposit material gesek kampas rem.
6.	 Gambar 3.18. Pelumas cetakan (WD-40).	Pelumas cetakan menggunakan WD-40 sebagai pelumas pada cetakan bertujuan untuk mencegah bahan serbuk menempel pada pinggiran cetakan selama proses pembuatan spesimen dengan penekanan panas. WD-40 disemprotkan pada cetakan sebelum pengisian bahan campuran spesimen ke dalamnya, sehingga memudahkan pelepasan sampel dari cetakan.

3.2.3 Pembuatan Spesimen Komposit

A. Pencetakan spesimen

1. Menyiapkan alat yang digunakan yaitu gelas plastik, timbangan digital, *hand mixer*, baskom (wadah pencampuran), dan cetakan spesimen.
2. Menyiapkan bahan yang digunakan yaitu serbuk sekam padi, resin *phenolic* dan katalis heksamina, aluminium oksida, besi oksida, WD-40 (pelapis anti lengket). Berikut tabel 3.1 fraksi berat bahan-bahan penyusunnya:

Tabel 3.1. Fraksi berat spesimen.

Kode Spesimen	Resin (wt%)	Katalis (wt%)	Sekam padi (wt%)	Besi Oksida (wt%)	Aluminium oksida (wt%)
A15	45	10	15	15	15
A20	40	10	20	15	15
A25	35	10	25	15	15

- Membersihkan cetakan spesimen dari debu atau kotoran yang menempel, kemudian melapisi cetakan spesimen bagian dalam dengan WD-40.
- Menimbang material komposit (resin phenolic dan katalis heksamin, serbuk sekam padi, aluminium oksida, besi oksida) sesuai perhitungan fraksi berat dengan cara menuangkan material ke dalam gelas plastik yang sudah ditempatkan diatas timbangan digital secara perlahan.
- Menuangkan semua bahan-bahan, kemudian mengaduknya menggunakan hand mixer selama 5 menit di wadah pencampuran.
- Menuangkan bahan campuran ke dalam cetakan spesimen.
- Bahan campuran yang sudah dimasukkan ke dalam cetakan dilaukan penekanan pada mesin hidraulic hot press tanpa menggunakan panas selama 5 menit, guna memadatkan bahan campuran.
- Ambil kembali cetakan dari mesin hidraulic hot press dan tambahkan bahan campuran dan kembalikan ke mesin hidraulic hot press untuk selanjutnya dilakukan penekanan panas selama 30 menit.
- Melepas komposit yang terbentuk dari cetakan spesimen dengan alat pelepas spesimen dengan bantuan mesin hidraulic hot press.
- Proses pembuatan spesimen selesai, kemudian mengulangi langkah-langkah tersebut untuk membuat spesimen selanjutnya atau apabila ada spesimen yang cacat.

B. Finishing Spesimen

Proses terakhir (*finishing*) pada sepesimen yakni dilakukan proses *curing* pada spesimen komposit menggunakan oven dengan suhu 150°C dalam waktu 4 jam.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang sengaja dimanipulasi/diubah untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel lain, sehingga variabel ini sengaja dipilih dan dimanipulasi agar pengaruhnya dapat diukur dan diamati. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah fraksi berat sekam padi dan fraksi berat resin *phenolic*. Fraksi berat sekam padi 15%, 20%, dan 25%, resin *phenolic* 35%, 40%, dan 45%. Perbedaan dari angka variasi tersebut akan menjadikan nilai yang berbeda pada setiap hasil uji masing-masing spesimen.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang diukur/diamati sebagai hasil dari perubahan variabel bebas. Variabel terikat dapat diartikan juga sebagai variabel yang bergantung serta akan dipengaruhi oleh variabel lain, tetapi tidak dapat mempengaruhi variabel lain. Variabel terikat pada penelitian ini adalah densitas/massa jenis, flexural strength, flexural modulus, tensile strength, tensile modulus, harga impak, keausan spesifik, dan koefisien gesek.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat konstan untuk memastikan bahwa hanya variabel bebas yang memengaruhi variabel terikat. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah :

- a. Material penguat yang digunakan adalah serbuk sekam padi dengan ukuran partikel 100 *mesh*.
- b. Pembakaran sekam padi dengan temperatur 600⁰C selama 1 jam.
- c. Proses pembuatan material gesek kampas rem menggunakan metode *Hot Compression* dengan tekanan 10 MPa dan temperatur 150⁰C.
- d. Proses *post curing* dilakukan dengan temperatur 150⁰C selama 4 jam.

3.2.4 Pengujian Spesimen

A. Pengujian Densitas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik berupa densitas (kerapatan) spesimen komposit kampas rem. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital untuk mengukur massa spesimen, dan jangka sorong ketelitian 0,05 mm untuk mengukur tebal spesimen. Pelaksanaan pengujian densitas dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin FTI dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Menyiapkan spesimen yang akan diuji
2. Menyiapkan alat ukur (timbangan digital & jangka sorong)
3. Mengukur massa dari semua spesimen dengan menggunakan timbangan digital
4. Mengukur tebal dari semua spesimen dengan menggunakan jangka sorong
5. Mencatat hasil pengukuran massa dan tebal spesimen
6. Hitung nilai densitas dengan rumus:

$$\rho = \text{massa spesimen (gram)} / \text{volume spesimen (mm}^3\text{)}$$

7. Mencatat hasil perhitungan densitas semua spesimen

B. Pengujian Lentur/Bending (*three point bending*)

Pengujian ini bertujuan untuk mencari nilai *flexural strength* (kekuatan lentur) dari spesimen komposit kampas rem. Pengujian lentur/*bending* menggunakan metode *three point bending* merupakan pengujian dengan menggunakan satu titik penekanan dan dua tumpuan. Rangka berfungsi sebagai penahan kekuatan balik dari gaya tekan yang dihasilkan oleh alat penekan pada saat proses pengujian. Pengujian dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* di Laboratorium DTMI FT UGM dengan menggunakan standar ASTM D790-17. Prosedur dalam pengujian *three point bending* sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen pengujian yang akan diuji.
2. Memasang dudukan (*loading nose*) pada *universal testing machine*.
3. Mengukur dan mencatat dimensi spesimen lalu input ke *software*.
4. Memasang spesimen pada mesin uji bending.
5. Memutar tuas beban hingga spesimen patah atau membengkok.
6. Mencatat hasil pengujian

C. Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk menentukan nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* dari spesimen komposit kampas rem. Pengujian dilakukan dengan alat *universal testing machine* di Laboratorium Pengujian BBKKP DIY. Standar ASTM yang digunakan yaitu ASTM D638. Prosedur dalam pengujian tarik sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen pengujian yang akan diuji.
2. Memasangudukan (*loading nose*) pada *universal testing machine*.
3. Mengukur dan mencatat dimensi spesimen lalu input ke *software*.
4. Memasang spesimen pada mesin uji bending.
5. Memutar tuas beban hingga spesimen patah atau membengkok.
6. Mencatat hasil pengujian.

D. Pengujian Impak

Pengujian Impak dilakukan dengan menggunakan metode *charpy* dengan posisi spesimen pada tumpuan dengan arah horizontal/mendatar dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sepsimen komposit kampas rem dalam keadaan menerima beban kejut. Pengujian dilakukan dengan alat *impact testing machine* di Laboratorium DTMI FT UGM. Standar ASTM yang digunakan yaitu ASTM E-32. Prosedur dalam pengujian *impact charpy* sebagai berikut :

1. Menyiapkan spesimen pengujian yang akan diuji.
2. Mengkalibrasi mesin impak dengan sudut dan beban yang dikehendaki.
3. Memasang spesimen pada penahan mesin impak.
4. Mengangkat pendulum dan melepas tuas.
5. Mencatat hasil pengujian berupa perubahan sudut pendulum.

E. Pengujian Ketahanan Aus Dan Gesek

Pengujian ketahanan aus dan gesek dilakukan dengan menggunakan metode *pin on disc* untuk mengetahui performa tribologi spesimen komposit kampas rem berupa nilai *specific wear* dan *coefficient of friction* (COF). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin tribometer

1. Menyiapkan spesimen yang akan diuji
2. Memasang spesimen pada alat uji tribometer *pin on disc* dan atur *wear track* senilai 4 mm.
3. Memasang beban 1 kg pada alat uji tribometer *pin on disc*
4. Menghidupkan alat uji tribometer *pin on disc* dengan menekan saklar
5. Membuka *software* dan atur parameter pengujian berupa kecepatan putar 200 rpm dan durasi *running* 10 menit
6. Menyimpan data hasil pengujian

3.2.5 Data Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan data spesifik dari setiap pengujian, yang kemudian akan dianalisis lebih lanjut.

3.2.6 Analisis & Pembahasan

Data yang diperoleh dari pengujian selanjutnya akan diproses dan dianalisis secara komprehensif, dimana hasil analisis tersebut akan disajikan dalam bentuk teori, grafik, tabel, serta referensi dari penelitian-penelitian terdahulu sebagai landasan acuan dalam penelitian ini. Melalui interpretasi sistematis terhadap data yang telah dianalisis, penelitian ini bertujuan memberikan jawaban terhadap seluruh rumusan masalah yang diajukan, sekaligus menegaskan keabsahan temuan yang diperoleh.

3.2.7 Kesimpulan & Saran

Penelitian ini akan diakhiri dengan penyimpulan temuan untuk memberikan gambaran utuh yang singkat dari penelitian yang telah dilakukan, sekaligus menyampaikan implikasi dan saran/masukan yang dapat dijadikan acuan bagi penelitian mendatang.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas merupakan pengujian sifat fisik yang dilakukan untuk mengetahui kerapatan (densitas) dari suatu material. Faktor kerapatan tersebut dipengaruhi oleh kehomogenan material saat proses pencampuran dan pencetakan material komposit. Pengujian densitas dilakukan dengan menimbang spesimen untuk mengetahui massa spesimen serta menghitung volume spesimen berdasarkan pengukuran aktual. Data hasil pengujian densitas berupa massa dan volume spesimen digunakan untuk menghitung densitas dengan contoh seperti berikut pada spesimen A15-1.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{23,19 \text{ gr}}{20,77 \text{ cm}^3}$$

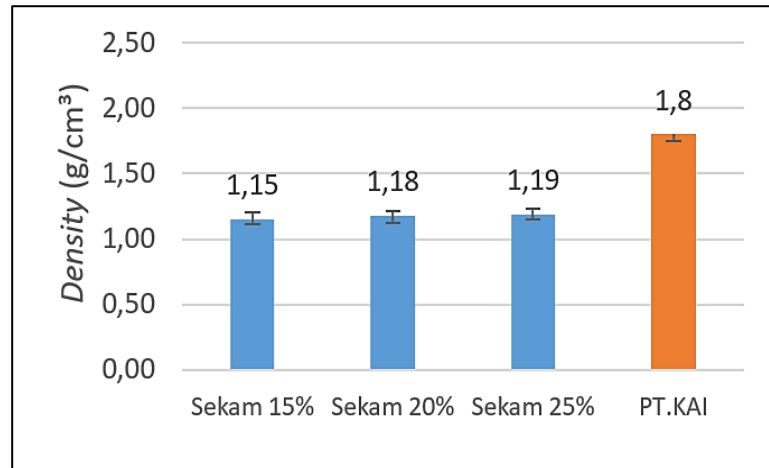
$$\rho = 1,117 \text{ gr/cm}^3$$

Berikut adalah data hasil pengujian densitas masing-masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Data hasil pengujian densitas.

Kode	Variasi	Diameter (mm)	Tebal (mm)	Volume (cm ³)	Massa (gram)	Densitas (gram/cm ³)	Rata-rata Densitas	St. Dev
A15-1	Sekam 15%	60	7,35	20,77	23,19	1,117	1,15	0,0520
A15-2			7,50	21,20	23,94	1,129		
A15-3			7,50	21,20	25,70	1,212		
A20-1	Sekam 20%		7,60	21,48	24,54	1,143	1,18	0,0356
A20-2			7,60	21,48	26,07	1,214		
A20-3			7,70	21,76	25,73	1,182		
A25-1	Sekam 25%		7,45	21,05	24,47	1,162	1,19	0,0505
A25-2			7,50	21,20	24,38	1,150		
A25-3			7,50	21,20	26,35	1,243		

Hasil pengujian densitas didapatkan nilai densitas dari tiap variasi spesimen material komposit kampas rem. Perbandingan rata-rata nilai tersebut dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Grafik densitas spesimen.

Berdasarkan diagram pada gambar 4.1 Menunjukkan pada spesimen dengan variasi sekam 15% dan resin 45% nilai densitas 1,15 g/cm³. Spesimen dengan variasi sekam 20% dan resin 40% nilai densitas 1.18 g/cm³. Spesimen dengan variasi sekam 25% dan resin 35% nilai densitas 1.19 g/cm³.

Pada pengujian densitas, nilai yang didapatkan berkaitan dengan ikatan antar material penyusun komposit. Nilai densitas tertinggi didapatkan oleh spesimen dengan kandungan sekam padi paling banyak, yakni pada variasi 25% sebesar 1,19 g/cm³. Peningkatan fraksi berat sekam padi dalam komposit menyebabkan kandungan silika juga meningkat. Silika berperan sebagai penyerap uap air, yang membantu membentuk ikatan antar material penyusun komposit sehingga integrasinya menjadi lebih optimal. Kadar uap air dalam tinggi dapat mengganggu matriks dalam fungsi utamanya sebagai material pengikat pada komposit. Hal tersebut telah dibuktikan oleh hasil penelitian [3] mengenai perkembangan terbaru komposit berbahan dasar sekam padi menunjukkan bahwa sekam padi dapat diaplikasikan sebagai kampas rem. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan silika dalam sekam padi, yang dapat meningkatkan kerapatan struktur komposit. Dengan demikian, komposit yang dihasilkan dapat memiliki ketahanan aus dan gesek yang baik dan daya tahan tinggi, sehingga cocok digunakan sebagai material gesek pada kampas rem.

Pada pengujian densitas ini nilai densitas tertinggi pada spesimen fraksi sekam padi 25% dengan nilai densitas 1,19 g/cm³, sehingga belum sesuai dengan standar minimal dari spesifikasi teknik kampas rem PT. KAI yakni 1,8 g/cm³.

4.2 Pengujian Lentur/Bending

Pengujian bending merupakan pengujian sifat mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tekan suatu material dengan diberikan beban secara *continous* hingga terjadi patahan. Sifat mekanik yang didapatkan pada pengujian ini berupa nilai *bending stress* dan *flexural strength* dari spesimen komposit material gesek kampas rem, sehingga mendapatkan nilai yang paling optimal berdasarkan variasi spesimen yang dibuat. Nilai *bending stress* merupakan tegangan internal yang timbul pada material ketika mengalami momen lentur (*bending moment*), sedangkan nilai *flexural strength* merupakan kemampuan material untuk menahan deformasi atau patah saat mengalami pembebanan lentur,

Pengujian bending yang dilakukan berdasarkan standar ASTM D790 dengan support span 51,0 mm. Hasil pengujian mendapatkan nilai *max force*, *displacement*, dan *bending stress* spesimen komposit material gesek kampas rem. Selanjutnya, nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai *flexural strength* dengan perhitungan manual menggunakan rumus. Perhitungannya sebagai berikut dengan mengambil contoh spesimen A15-1 (variasi 15% dan resin *phenolic* 45%).

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bd^2}$$

$$\sigma_f = \frac{3 (11.88 \text{ N}) (51 \text{ mm})}{2 (12,7 \text{ mm}) (3,2 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_f = 6,988 \text{ MPa}$$

Data hasil pengujian bending masing-masing variasi ditunjukkan pada tabel 4.2 dan tabel 4.3.

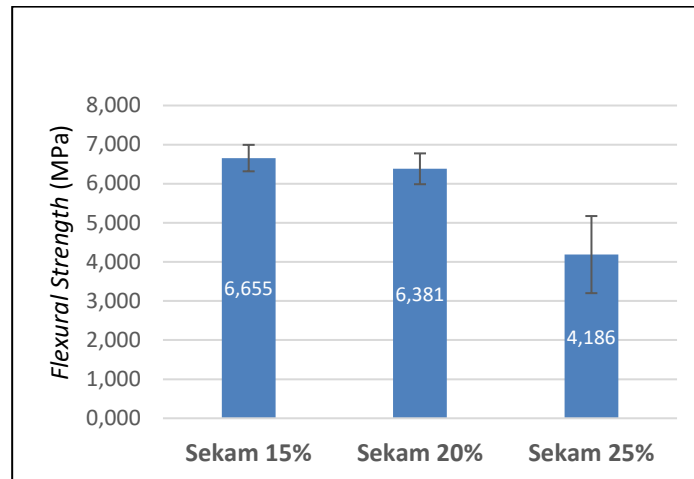
Tabel 4.2. Data hasil pengujian lentur/*bending*.

Kode	Variasi	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Span (mm)	<i>Dis- placement</i> (mm)	<i>Max Force</i> (N)	<i>Bending Stress</i> (MPa)	Rata-rata <i>Bending Stress</i> (MPa)
A15-1	Sekam 15%	12,70	3,20	51,00	0,46	11,88	6,99	6,08
A15-2		12,70	3,20	51,00	0,53	10,73	4,80	
A15-3		12,70	3,15	51,00	1,09	10,98	6,46	
A20-1	Sekam 20%	12,70	3,15	51,00	0,54	10,98	6,66	6,15
A20-2		12,70	3,20	51,00	0,57	11,13	6,55	
A20-3		12,70	3,15	51,00	0,68	9,77	5,23	
A25-1	Sekam 25%	12,70	3,20	51,00	0,40	5,86	3,45	4,19
A25-2		12,70	3,20	51,00	0,51	6,47	3,80	
A25-3		12,70	3,20	51,00	0,47	9,02	5,31	

Tabel 4.3. Data nilai *flexural strength*.

Kode	Variasi (%)	<i>Flexural Strength</i> (MPa)	<i>Rata-rata Flexural Strength</i> (MPa)	St. Dev
A15-1	Sekam 15%	6,988	6,655	0,453
A15-2		6,312		
A15-3		6,666		
A20-1	Sekam 20%	6,666	6,381	0,394
A20-2		6,547		
A20-3		5,931		
A25-1	Sekam 25%	3,447	4,186	1,037
A25-2		3,806		
A25-3		5,306		

Hasil akhir pengujian lentur/*bending* didapatkan nilai *flexural strength* dari masing-masing variasi spesimen komposit material gesek kampas rem. Perbandingan nilai tersebut ditunjukkan dalam diagram pada gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2. Grafik *flexural strength*.

Berdasarkan diagram pada gambar 4.2 menunjukkan pada spesimen dengan variasi sekam 15% dan resin 45% nilai rata-rata *flexural strength* 6,655 MPa. Spesimen dengan variasi sekam 20% dan resin 40% nilai rata-rata *flexural strength* 6,381 MPa. Spesimen dengan variasi sekam 25% dan resin 35% nilai rata-rata *flexural strength* 4,186 MPa.

Flexural strength merupakan kemampuan material untuk menahan deformasi atau patah saat mengalami pembebanan lentur. Data perbandingan dari hasil pengujian lentur/*bending* mengalami tren turun pada masing-masing variasi fraksi berat spesimen untuk nilai *flexural strength*. Nilai *flexural strength* tertinggi pada variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45% yakni 6,655 MPa, sedangkan nilai *flexural strength* terkecil pada variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35% yakni 4,186 MPa. Salah satu yang menjadi faktor terjadinya hal tersebut yakni kandungan matriks resin *phenolic* pada spesimen. Perbandingan yang tidak proporsional antara resin *phenolic* dengan bahan lainnya akan berdampak pada sifat mekanik spesimen material komposit kanvas rem. Kurangnya kandungan resin *phenolic* pada spesimen komposit akan mengurangi kemampuan matriks untuk membasahi bahan lainnya. Ketidakmerataan keterbasahan dalam komposit berbasis serbuk tersebut menyebabkan penurunan sifat mekanik spesimen yang dihasilkan, akibat ikatan antarmuka antara matriks (resin *phenolic*) dan penguat yang tidak optimal.

Hal tersebut juga dijelaskan dalam penelitian Priyambodo & Palmiyanto, pada spesimen komposit nilai kelenturan maksimum sebesar 8,56 N/mm² diperoleh pada

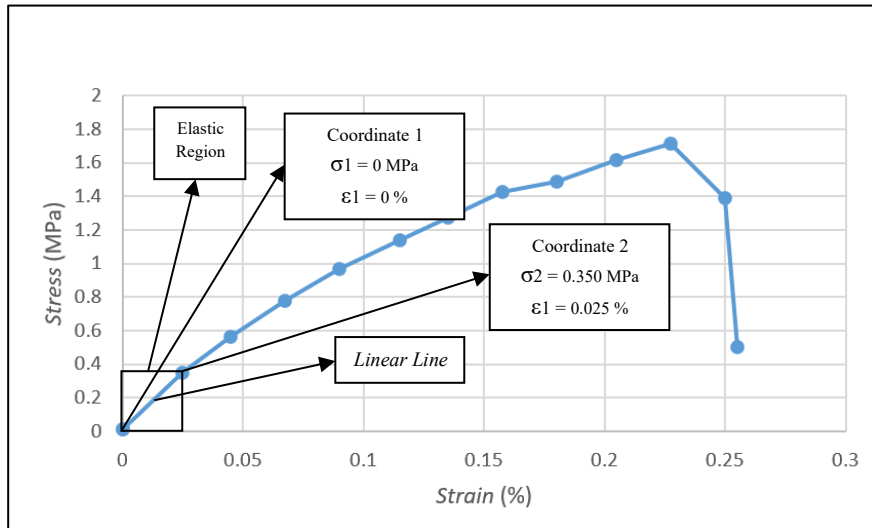
komposisi 70% serbuk kulit mete dan 20% skrap aluminium, sedangkan nilai terendah terjadi pada komposisi 50% kulit mete dan 40% aluminium. Fenomena ini disebabkan oleh dominasi serbuk aluminium yang mengurangi kemampuan pembasahan matriks fenolik terhadap serbuk kulit mete. Rendahnya keterbasahan (*wettability*) yang tidak merata dalam komposit tersebut melemahkan ikatan antarmuka antara matriks dan penguat, sehingga berdampak negatif pada sifat mekanik spesimen yang dihasilkan [52].

Pada pengujian lentur/*bending* ini nilai *flexural strength* (kekuatan lentur) spesimen tertinggi pada variasi sekam padi 15% sebesar 6,655 MPa, sehingga belum memenuhi standar minimal Spesifikasi Teknik Rem Komposit PT. KAI yakni 2400 N/cm² atau 24 MPa.

4.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan pengujian sifat mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik suatu material dengan cara menarik spesimen uji secara *continous* hingga material mengalami perpanjangan sampai terjadi putus. Sifat mekanik yang didapatkan pada pengujian ini berupa nilai *tensile strength* dan *tensile modulus* dari spesimen komposit material gesek kampas rem, sehingga mendapatkan nilai yang paling optimal berdasarkan variasi spesimen yang dibuat. Nilai *tensile strength* merupakan kekuatan material sebelum patah saat ditarik, sedangkan nilai *tensile modulus* merupakan ukuran kekakuan material dalam menahan deformasi elastis saat ditarik. Pengujian tarik yang dilakukan berdasarkan standar ASTM D638 tipe 1 dengan alat *Universal Testing Machine*. Hasil pengujian mendapatkan nilai *max force* dan *elongation* serta nilai *tensile strength* yang otomatis keluar dari alat uji spesimen komposit material gesek kampas rem. Selanjutnya, nilai dihitung rata-rata nya menggunakan rumus rata-tata.

Nilai *tensile modulus* perlu dihitung secara manual menggunakan rumus. Sebelum menghitung nilai *tensile modulus*, perlu untuk menentukan garis linear pada grafik *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) yang merupakan daerah elastis dari spesimen. Sebagai contoh berikut gambar 4.3 Cara menentukan garis linear atau daerah elastis pada grafik *stress* dan *strain* pada spesimen A15-1 (variasi fraksi berat sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45%).



Gambar 4.3. *Elastic region* spesimen A15-1.

Setelah menentukan daerah elastis dari grafik *stress* dan *strain*, selanjutnya menghitung nilai *tensile modulus* menggunakan rumus seperti contoh berikut.

$$E_{1.1} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

$$E_{1.1} = \frac{0,350 \text{ MPa} - 0 \text{ MPa}}{0,025\% - 0\%}$$

$$E_{1.1} = 13,62 \text{ MPa}$$

Data hasil pengujian tarik masing-masing variasi ditunjukkan pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 berikut.

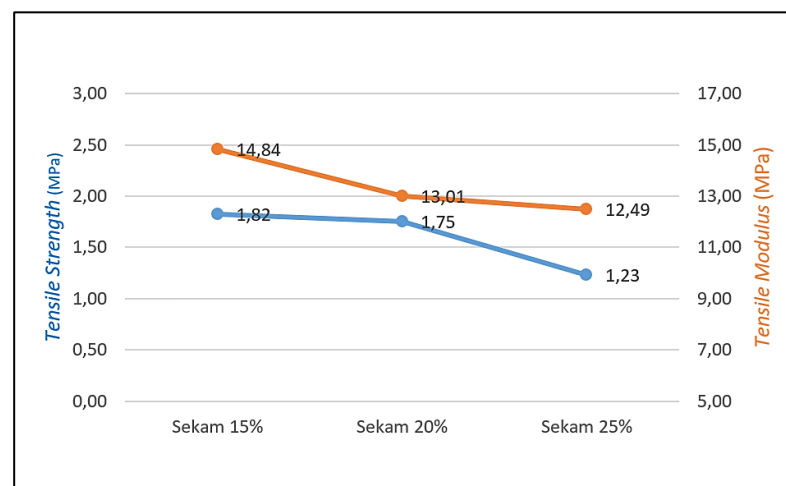
Tabel 4.4. Data hasil pengujian tarik.

Kode spesimen	Variasi	Panjang Awal (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Area (mm ²)	Max Force (N)	Elongation (mm)
A15-1	Sekam 15%	50	3,63	6,31	22,905	40,89	0,13
A15-2			4,34	6,30	27,342	60,17	0,26
A15-3			3,38	6,31	21,328	28,95	0,14
A20-1	Sekam 20%		3,58	6,28	22,482	18,69	0,06
A20-2			3,45	6,38	22,011	46,69	0,27
A20-3			3,65	6,38	23,287	50,98	0,14
A25-1	Sekam 25%		3,29	6,39	21,023	14,77	0,05
A25-2			3,62	6,37	23,059	27,90	0,08
A25-3			3,42	6,31	21,580	36,52	0,13

Tabel 4.5. Data nilai *tensile strength* dan *tensile modulus*.

Kode spesimen	Variasi	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	Rata-rata <i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Tensile Modulus</i> (MPa)	Rata-rata <i>Tensile Modulus</i> (MPa)	St. Dev <i>Tensile Strength</i>	St. Dev <i>Tensile Modulus</i>
A15-1	Sekam 15 %	1,83	1,82	13,62	14,84	0,430	1,808
A15-2		2,25		16,91			
A15-3		1,39		13,97			
A20-1	Sekam 20%	0,85	1,75	12,86	13,01	0,783	1,687
A20-2		2,17		11,40			
A20-3		2,24		14,76			
A25-1	Sekam 25%	0,72	1,23	11,45	12,49	0,505	0,908
A25-2		1,24		13,12			
A25-3		1,73		12,90			

Hasil pengujian tarik didapatkan nilai *tensile strength* (kekuatan tarik) dan *tensile modulus* (modulus tarik) dari masing-masing variasi spesimen komposit material gesek kampas rem. Perbandingan nilai tersebut ditunjukkan dalam diagram gambar 4.4 masing-masing spesimen komposit material gesek kampas rem.



Gambar 4.4. Grafik *tensile strength* dan *tensile modulus*.

Data perbandingan rata-rata dari hasil pengujian tarik pada gambar 4.5 mengalami tren turun pada masing-masing variasi fraksi berat spesimen. Nilai *tensile strength* tertinggi pada variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45% yakni 1,82 MPa, sedangkan nilai *tensile strength* terkecil pada variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35% yakni 1,23 MPa. Seperti halnya pengujian lentur/*bending*, salah satu yang menjadi faktor terjadinya hal tersebut yakni

komposisi matriks resin *phenolic* pada spesimen. Kurangnya kandungan resin *phenolic* pada spesimen komposit akan mengurangi kemampuan matriks untuk membasahi bahan lainnya. Ketidakmerataan keterbasahan (*wettability*) dalam komposit berbasis serbuk tersebut menyebabkan penurunan sifat mekanik spesimen yang dihasilkan, akibat ikatan antarmuka antara matriks (resin *phenolic*) dan penguat yang tidak optimal. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian tarik spesimen komposit kampas rem, dimana nilai *tensile strength* tertinggi didapatkan pada spesimen yang paling tinggi kandungan resin *phenolic*.

Selain nilai *tensile strength*, nilai *tensile modulus* pada perbandingan semua variasi fraksi berat kampas rem komposit pada gambar 4.5 juga mengalami tren turun. Nilai *tensile modulus* tertinggi pada variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45%, sedangkan nilai terendah pada variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35%. Material yang memiliki modulus elastisitas tinggi umumnya juga memiliki kekuatan lentur yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya yang lebih baik dalam menahan deformasi dan tekanan saat menerima beban, sehingga cenderung lebih tahan terhadap perubahan bentuk dibandingkan material dengan modulus lentur rendah [53].

Pada pengujian tarik ini nilai *tensile modulus* tertinggi pada spesimen variasi sekam padi 15% sebesar 14,84 MPa, sehingga belum memenuhi standar minimal spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI yakni 24000 N/cm² atau 240 MPa.

4.4 Pengujian Impak

Pengujian *impact* pada spesimen komposit material gesek kampas rem dalam penelitian ini menggunakan metode *charpy*. Pengujian *impact* dengan metode *charpy* merupakan pengujian sifat mekanik yang bertujuan untuk mengetahui ketangguhan suatu material uji terhadap beban kejut dengan kecepatan tinggi atau secara tiba-tiba. Sifat mekanik yang didapatkan pada pengujian ini berupa nilai harga impak (HI) dari spesimen komposit material gesek kampas rem, sehingga mendapatkan nilai yang paling optimal berdasarkan variasi spesimen yang dibuat. Untuk menghitung harga impak (HI), sebagai contoh berikut merupakan perhitungan nilai HI dari spesimen A15-1.

1) Menghitung Energi Serap (E)

$$E = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$E = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s} \cdot 0,83 \text{ m} (-0,891 - (-0,913))$$

$$E = 0,1791 \text{ J}$$

2) Menghitung Harga Impak (HI)

$$HI = \frac{E}{A}$$

$$HI = \frac{0,1791 \text{ J}}{80 \text{ mm}^2}$$

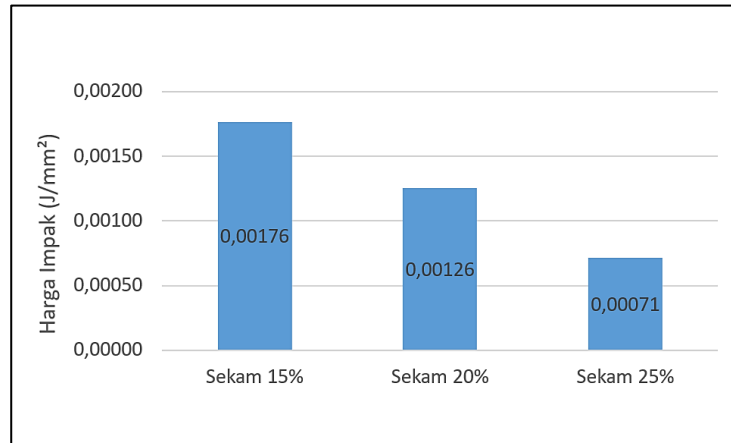
$$HI = 0,00224 \text{ J/mm}^2$$

Data hasil pengujian *impact charpy* masing-masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6. Data hasil pengujian impak.

Kode Spesimen	Variasi	A (mm ²)	m (kg)	g (m/s)	λ (m)	α (°)	β (°)	HI (J/mm ²)	ST.Dev
A15-1	Sekam 15%	80	1	9,81	0,83	156	153	0,00224	0,00041
A15-2		80	1	9,81	0,83	156	154	0,00153	
A15-3		80	1	9,81	0,83	156	154	0,00153	
A20-1	Sekam 20%	80	1	9,81	0,83	156	154	0,00153	0,00024
A20-2		80	1	9,81	0,83	156	154,5	0,00112	
A20-3		80	1	9,81	0,83	156	154,5	0,00112	
A25-1	Sekam 25%	80	1	9,81	0,83	156	155	0,00071	0,00000
A25-2		80	1	9,81	0,83	156	155	0,00071	
A25-3		80	1	9,81	0,83	156	155	0,00071	

Hasil pengujian impak dengan metode *charpy* didapatkan nilai rata-rata harga impak (HI) dari masing-masing variasi fraksi berat spesimen komposit material gesek kampas rem. Perbandingan nilai tersebut ditunjukkan dalam diagram gambar 4.6 masing-masing spesimen komposit material gesek kampas rem.



Gambar 4.5. Grafik harga impak.

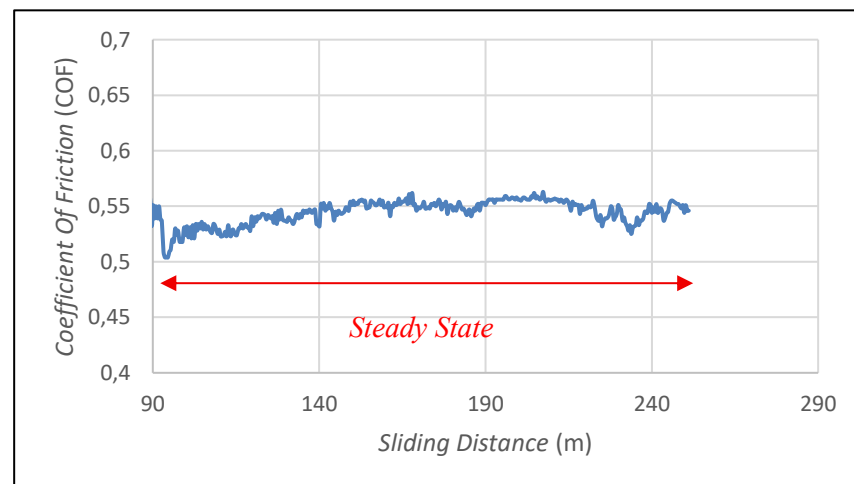
Berdasarkan diagram pada gambar 4.5 menunjukkan pada speimen variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45% nilai HI 0,00176 J/mm², pada variasi sekam padi 20% dan resin *phenolic* 40% nilai HI 0,00126 J/mm², dan pada variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35% nilai HI 0,00071 J/mm².

Data perbandingan dari hasil pengujian impak mengalami tren turun nilai HI pada masing-masing variasi fraksi berat spesimen. Nilai HI tertinggi pada variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45% yakni 0,00176 J/mm², sedangkan nilai HI terendah pada variasi sekam padi 25% dan resin 35%. Seperti halnya pengujian lentur/*bending* dan pengujian tarik, salah satu faktor yang menjadi penyebab rendahnya nilai HI pada hasil pengujian impak spesimen ialah keterikatan matriks resin *phenolic* terhadap bahan lainnya. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh Wijaya, dkk menjelaskan bahwa nilai kekuatan impak yang rendah pada material hybrid komposit berpenguat partikel alumina dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti bentuk partikel yang tidak merata, perbedaan fasa antara partikel dengan matriks, serta luas permukaan terikat yang tidak optimal [54]. Keterikatan matriks yang kurang optimal dapat disebabkan oleh kandungan resin *phenolic* yang tidak proporsional terhadap bahan lainnya [52]. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan hasil pengujian impak pada spesimen komposit kanvas rem nilai HI terendah terjadi pada spesimen dengan kandungan resin *phenolic* yang paling sedikit.

Pada pengujian dampak ini tidak ada standar minimal untuk nilai ketangguhan dampak pada spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI, sehingga hasil dari pengujian dampak tidak dapat dilakukan perbandingan.

4.5 Pengujian Ketahanan Aus dan Gesek

Pengujian keausan pada spesimen komposit material gesek kampas rem dalam penelitian ini menggunakan metode keausan *pin on disc*. Pengujian keausan dengan metode *pin on disc* merupakan pengujian performa tribologi yang bertujuan untuk mensimulasikan kondisi aktual dari kampas rem atau mengetahui pengikisan suatu material uji terhadap gesekan oleh *disc* yang berputar secara berulang. Performa tribologi yang didapatkan pada pengujian ini berupa nilai *specific wear* dan *coefficient of friction* (COF) dari spesimen komposit material gesek kampas rem, sehingga mendapatkan nilai yang paling optimal berdasarkan variasi spesimen yang dibuat. Penelitian ini menguji gesekan dan keausan menggunakan tribometer *pin-on-disk* dengan parameter pengujian kecepatan putar 200 rpm, *wear track* 4 mm, pin 6 mm, dan durasi 10 menit. Peneliti hanya menganalisis data gesekan saat sudah stabil (*steady state*). Sebagai contoh berikut gambar 4.6 kondisi *steady state* COF pada spesimen A20-1



Gambar 4.6. Grafik *steady state* COF terhadap *sliding distance* spesimen A20-1.

Selanjutnya untuk menghitung *specific wear* pada tiap variasi fraksi berat spesimen, sebagai contoh berikut perhitungan *specific wear* pada variasi sekam padi 15%.

$$\begin{aligned} \text{Specific Wear (W}_s\text{)} &= \frac{V}{F_n \times d} \\ &= \frac{1,0026 \text{ mm}^3}{10 \text{ N} \times 107716,30 \text{ mm}} \\ &= 0,93081 \times 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{Nmm} \end{aligned}$$

Data hasil pengujian keausan *pin-on-disk* masing-masing variasi ditunjukkan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data hasil pengujian ketahanan aus dan gesek.

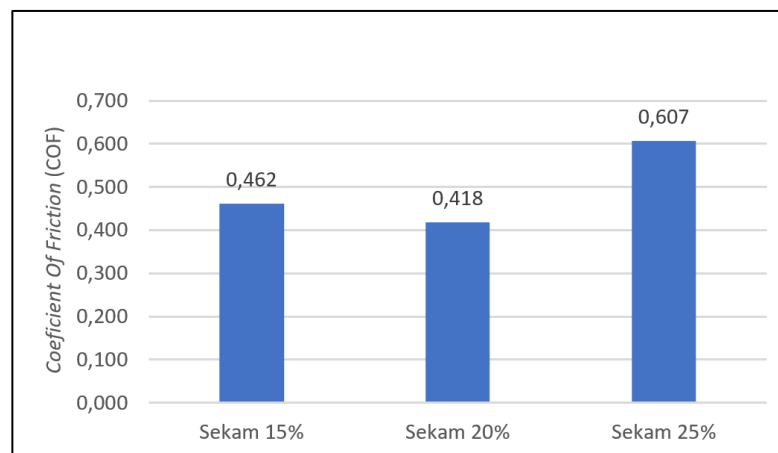
Kode	Variasi	Beban (N)	Massa Aus (g)	Sliding Distance (mm)	Volume Aus (mm ³)
A15-1	Sekam 15%	10	0,076	181884,58	0,6804
A15-2		10	0,114	107716,30	1,0026
A15-3		10	0,053	213660,00	0,4206
A20-1	Sekam 20%	10	0,034	175025,12	0,2975
A20-2		10	0,048	100596,18	0,3954
A20-3		10	0,036	97509,27	0,3046
A25-1	Sekam 25%	10	0,078	178338,36	0,6824
A25-2		10	0,032	78776,40	0,2819
A25-3		10	0,021	177946,00	0,1734

Tabel 4.8. Data hasil pengujian ketahanan aus dan gesek.

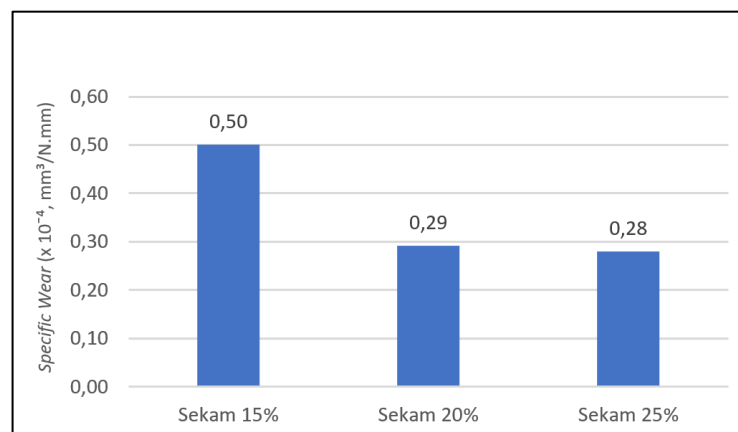
Kode	Variasi	W _s (x 10 ⁻⁴ , mm ³ /N.mm)	Rata-rata W _s (x 10 ⁻⁴ , mm ³ /N.mm)	COF	Rata-rata COF	ST.Dev COF	St. Dev W _s
A15-1	Sekam 15%	0,37	0,50	0,254	0,462	0,181	0,383
A15-2		0,93		0,550			
A15-3		0,20		0,581			
A20-1	Sekam 20%	0,17	0,29	0,545	0,418	0,119	0,113
A20-2		0,39		0,308			
A20-3		0,31		0,401			

Kode	Variasi	W_s ($\times 10^{-4}$, $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{mm}$)	Rata-rata W_s ($\times 10^{-4}$, $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{mm}$)	COF	Rata-rata COF	ST.Dev COF	St. Dev W_s
A25-1	Sekam 25%	0,38	0,28	0,549	0,607	0,090	0,158
A25-2		0,36		0,561			
A25-3		0,10		0,711			

Pengujian Ketahanan Aus dan Gesek didapatkan nilai *coefficient of friction* (COF) dan *specific wear* dari masing-masing variasi fraksi berat spesimen komposit kampas rem. Perbandingan rata-rata nilai tersebut ditunjukkan pada gambar 4.7 dan gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.7. Grafik *coefficient of friction* (COF).



Gambar 4.8. *Specific wear* spesimen komposit.

Berdasarkan gambar 4.8 nilai COF pada spesimen variasi sekam padi 15% dan resin *phenolic* 45% nilai COF 0,462, pada variasi sekam padi 20% dan resin *phenolic* 40% nilai COF 0,418, dan pada variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35% nilai COF 0,607. Nilai COF tertinggi didapatkan pada spesimen

dengan variasi sekam padi 25% dan resin *phenolic* 35%. Hal tersebut dapat terjadi karena penambahan jumlah kandungan penguat seperti sekam padi komposit kampas rem yang lebih banyak akan meningkatkan nilai koefisien gesek. Prasetya & Zainuri telah membuktikan dalam penelitiannya tentang pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem komposit. Hasil penelitian tersebut nilai koefisien gesek terbesar dimiliki oleh sampel dengan fraksi komposisi serat waru terbanyak yakni 12% dengan nilai koefisien gesek sebesar 0,1899. Peningkatan komposisi serat dalam bahan kampas rem komposit akan memperluas area kontak antara serat dan *disc brake* karena serat memiliki permukaan yang kasar. Hal ini menyebabkan koefisien gesek pada permukaan gesek meningkat, sehingga beban pengereman dapat berkurang dan komponen rem menjadi lebih tahan lama [1].

Peningkatan kandungan sekam padi sebagai penguat dalam material komposit kampas rem juga memiliki dampak yang baik terhadap keausan. Khafidh, dkk dalam penelitiannya tentang material kampas rem komposit, mengkaji karakteristik bahan komposit kampas rem dengan variasi komposisi *epoxy*, sekam padi, Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Salah satu hasilnya yaitu perbandingan antara spesimen 2 dan 6 terhadap uji keausan yakni penambahan 20% sekam padi pada Spesimen 6 menyebabkan ketahanan aus, gesekan, dan stabilitas termal lebih rendah dibandingkan dengan spesimen 2. Selain itu, ditemukan bahwa nilai keausan spesifik dan koefisien gesek komposit berkorelasi positif dengan densitas, di mana spesimen dengan densitas lebih tinggi menunjukkan nilai keausan spesifik dan koefisien gesek yang lebih baik [9].

Pada pengujian ketahanan aus dan gesek ini nilai koefisien gesek (COF) terendah pada spesimen variasi sekam padi 15% sebesar 0,467 dan nilai tertinggi pada spesimen variasi sekam padi 25% sebesar 0,607. Nilai tersebut tidak sesuai dengan kriteria karena melebihi standar maksimal spesifikasi teknik rem komposit PT. KAI yakni 0,14 – 0,22.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Komposit dengan fraksi berat sekam padi 25% menghasilkan densitas tertinggi (1,19 g/cm³) karena kandungan silika dan serat sekam padi dapat meningkatkan kerapatan struktur komposit.
2. Sifat mekanik seperti *flexural strength*, *tensile strength*, dan ketangguhan impak justru menurun pada fraksi berat sekam padi 25% akibat keterbasahan (*wettability*) bahan-bahan lain terhadap matriks yang kurang optimal.
3. koefisien gesek (COF) tertinggi 0,607 diperoleh pada komposit variasi 25% sekam padi karena permukaan serat yang kasar meningkatkan gesekan. Kandungan silika yang tinggi juga memberikan dampak ketahanan aus yang baik dengan nilai *specific wear* spesimen terendah ($0,28 \times 10^{-4}$ mm³/Nmm).

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, diperlukan strategi optimasi seperti penyesuaian rasio antara resin *phenolic* dengan bahan lainnya, agar mengoptimalkan sifat mekanik kampas rem komposit.
2. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan kampas rem komposit.
3. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji ketahanan panas untuk dapat mengetahui sifat stabilitas termal kampas rem komposit.
4. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk dapat mengetahui bentuk struktur kampas rem komposit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Prasetya and M. Zainuri, “Pengaruh Fraksi Berat Serat Waru terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Kereta Api Komposit Non Asbestos,” *J. Sains Dan Seni ITS*, vol. 6, no. 2, pp. B53–B58, Sep. 2017, doi: 10.12962/j23373520.v6i2.26816.
- [2] F. D. Fitrianto and Y. Estriyanto, “Pemanfaatan Serbuk Tongkol Jagung Sebagai Alternatif Bahan Friksi Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor,” *Nosel J. Ilm. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 1, pp. 1–8, 2013.
- [3] M. A. Suhot, M. Z. Hassan, S. A. Aziz, and M. Y. Md Daud, “Recent Progress of Rice Husk Reinforced Polymer Composites: A Review,” *Polymers*, vol. 13, no. 15, p. 2391, Jul. 2021, doi: 10.3390/polym13152391.
- [4] S. Kapoor and M. Sanjeev, “A Paper Review on Scope of Non Asbestos and Natural Wastes Material,” *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 3, no. 7, Jul. 2016.
- [5] L. N. Somarriba Sokolova, E. V. Ermakova, and M. Rynkovskaya, “A Review of Agro-waste Materials as Partial Replacement of Fine Aggregate in Concrete,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 371, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/371/1/012012.
- [6] A. N. Mahfuzin, S. M. B. Respati, and M. Dzulfikar, “Analisis Filter Keramik Berpori Berbasis Zeolit Alam Dan Arang Sekam Padi Dalam Menurunkan Kandungan Partikel Air Sumur Galian,” *Momentum*, vol. 16, no. 1, pp. 9–25, 2019.
- [7] A. P. Irawan *et al.*, “Overview of the Important Factors Influencing the Performance of Eco-Friendly Brake Pads,” *Polymers*, vol. 14, no. 6, p. 1180, Mar. 2022, doi: 10.3390/polym14061180.
- [8] M. Farid, Ribut, Bayu, H. Azhar, and A. Oktaviansyah, “Proses Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Bahan Komposit Poliester Berpenguat Silika Sekam Padi (Patent No. IDP000087358).”
- [9] M. Khafidh *et al.*, “A Study on Characteristics of Brake Pad Composite Materials by Varying the Composition of Epoxy, Rice Husk, Al₂O₃, and Fe₂O₃,” *Automot. Exp.*, vol. 6, no. 2, pp. 303–319, Aug. 2023, doi: 10.31603/ae.9121.

- [10] D. F. Fitriyana *et al.*, “Pengaruh Fraksi Volume Sekam Padi, Aluminium Oksida dan Besi Oksida Terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem dengan Matriks Epoxy,” *J. Ilm. Momentum*, vol. 19, no. 2, p. 99, Nov. 2023, doi: 10.36499/jim.v19i2.8752.
- [11] W. E. Primaningtyas, R. R. Sakura, Suheni, I. Syafi’i, and A. A. G. A. D. Adhyaksa, “Asbestos-free Brake Pad Using Composite Polymer Strengthened with Rice Husk Powder,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 462, p. 012015, Jan. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/462/1/012015.
- [12] A. Y. Tripariyanto, L. Dewi, and A. Komari, “Nilai Perlambatan Dan Uji Ketegangan Disch Brake Pada Sistem Pengereman (Gokart 7,5 Hp),” *Pros. Semin. Nas. Tek. Ind.*, vol. 1, pp. 79–92, Oct. 2021, doi: 10.33479/snti.v1i.154.
- [13] “[Hot Item] Harga Pabrik Kustom Sepatu Rem Kereta Api Blok Henti,” Made-in-China.com. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: https://id.made-in-china.com/co_guardx/product_Factory-Price-Customized-Railway-Freight-Train-Brake-Shoes-Stop-Block_uouyuhogyu.html
- [14] S. Sumiyanto, A. Abdunnaser, and A. N. Fajri, “Analisa Pengujian Gesek, Aus Dan Lentur Pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor,” *Bina Tek.*, vol. 15, no. 1, p. 49, Aug. 2019, doi: 10.54378/bt.v15i1.872.
- [15] M. Zakaria, “Analisis Kampas Rem Komposit Dari Karbon Kulit Buah Mahoni dan Abu Layang (Fly Ash) Batubara Serta Sifat-Sifat Fisiknya,” *Berk. FSTPT*, vol. 2, no. 3, p. 17, 2018.
- [16] H. Syaiful A, W. I. Pudja, and A. Triono, “Penentuan Parameter Produksi Material Rem Ramah Lingkungan Untuk Aplikasi Kereta Api Menggunakan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Penguat,” *J. Energi Dan Manufaktur Feb 2013*, vol. 5, no. 1, Nov. 2021, Accessed: Mar. 22, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.harianregional.com/jem/id-4682>
- [17] M. Günay, M. E. Korkmaz, and R. Özmen, “An investigation on braking systems used in railway vehicles,” *Eng. Sci. Technol. Int. J.*, vol. 23, no. 2, pp. 421–431, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.jestch.2020.01.009.

- [18] “9 Komponen Sistem Pengereman Kereta Api dan Cara Kerjanya.” Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: <https://bawalaksana.id/komponen-sistem-pengereman-kereta-api/>
- [19] M. Muhajir, “Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak,” *J. Tek. Mesin*, vol. 24, no. 2, Jan. 2016.
- [20] “Fig.1: Analogy of composite materials,” ResearchGate. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Analogy-of-composite-materials_fig1_344399950
- [21] Mastuki, B. M. Ibrahim, and Z. Fadlurrohman, “Analisa Kekerasan Struktur Mikro dan Uji Impact Pada Komposit Aluminium.,” *Mek. J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, 2021.
- [22] P. H. Tjahjanti, *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Material Komposit dan Polimer*. UMSIDA Press, 2018.
- [23] P. H. Tjahjanti, “Buku Ajar Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer,” *Buku Ajar Teori Dan Apl. Mater. Komposit Dan Polim.*, 2018, doi: 10.21070/2019/978-602-5914-27-0.
- [24] H. F. C. Sumarauw, “Sifat Mekanis Material Komposit Berpenguat Partikel Cangkang Kepiting Dengan Menggunakan Variasi Fraksi Volume Partikel 10%, 20% Dan 30%,” *Yogyak. Univ. Sanata Dharma*, no. 18, 2017.
- [25] R. S. Pratama, “Pembuatan Papan Skateboard Bahan Komposit Diperkuat Serat Kelapa Dan Kelapa Sawit,” Thesis, 2018. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: <http://localhost:8080/handle/123456789/11131>
- [26] I. B. Alit and I. G. B. Susana, “Pengerian Berpenukar Kalor Dengan Sumber Energi Sekam Padi,” no. Vol. 6 No. 2 (2020): Machine : Jurnal Teknik Mesin Section, 2020.
- [27] K. Abdurrohman and M. Aryandi, “Kajian Eksperimental Tensile Properties Komposit Poliester Berpenguat Serat Karbon Searah Hasil Manufaktur Vacuum Infusion Sebagai Material Struktur LSU,” *ResearchGate*, 2018, doi: 10.30536/j.jtd.2016.v14.a2948.
- [28] “Production methods,” Artech Rubber. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: <https://artechrubber.nl/en/production-methods/>

- [29] Y. Srithep, "A Study On Material Distribution, Mechanical Properties, And Numerical Simulation In Co-Injection Molding," no. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1204150909, 2008.
- [30] S. Kumar, "Composites," ResearchGate. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/345921909_Composites
- [31] M. F. Adrian, "Pengaruh Fraksi Volume Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Kekuatan Tekan Dan Kekuatan Lentur Pada Blok Rem Komposit Kereta Api," 2019.
- [32] A. Sugiharto and Z. â€™Ilma Firdaus, "Pembuatan Briket Ampas Tebu Dan Sekam Padi Menggunakan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif," *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, May 2021, doi: 10.31942/inteka.v6i1.4449.
- [33] A. N. Mahfuzin, S. M. B. Respati, and M. Dzulfikar, "Analisis Filter Keramik Berpori Berbasis Zeolit Alam Dan Arang Sekam Padi Dalam Menurunkan Kandungan Partikel Air Sumur Galian," *Maj. Ilm. Momentum*, vol. 16, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2020, doi: 10.36499/jim.v16i1.3363.
- [34] Shakuntala, G. Raghavendra, and K. Acharya, "Characterization of Wood Apple Shell Particles." Accessed: Mar. 24, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320807387_Characterization_of_Wood_Apple_Shell_Particles
- [35] S. Baskar, V. Vijayan, S. Saravanan, A. V. Balan, and A. G. Antony, "Effect Of Al₂O₃, Aluminium Alloy And Fly Ash For Making Engine Component," 2018.
- [36] Accuratus Corporation, "Aluminum Oxide Al₂O₃ Material Properties." Accessed: Mar. 24, 2025. [Online]. Available: <https://accuratus.com/alumox.html>
- [37] M. D. O. Lubis and D. T. Putranti, "Pengaruh Penambahan Aluminium Oksida Pada Bahan Basis Gigi Tiruan Resin Akrilik Polimerisasi Panas Terhadap Kekerasan Dan Kekasaran Permukaan," *B-Dent J. Kedokt. Gigi*

- Univ. Baiturrahmah*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, Jul. 2019, doi: 10.33854/jbd.v6i1.202.
- [38] N. Islamuddin and W. Soedarmadji, “Analisa Uji Tekan, Kerapatan Densitas Dan Mikrostruktur Terhadap Komposit Bahan Baku Teakwood Serbuk Gergaji Kayu,” *J. Mech. Manuf. Technol. JMMT*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2020.
- [39] H. N. Beliu, Y. M. Pell, J. U. Jasron, and J. AdiSucipto, “Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri - Polyester,” vol. 03, no. 02, 2016.
- [40] N. H. Sari and S. Sinarep, “Analisa Kekuatan Bending Komposit Epoxy Dengan Penguatan Serat Nilon,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 1, no. 1, Jan. 2011, doi: 10.29303/d.v1i1.130.
- [41] “Experimental Investigation of Mechanical Properties for Tamarind Shell Particles as Filler in Epoxy Composite,” ResearchGate. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/315841814_Experimental_Investigation_of_Mechanical_Properties_for_Tamarind_Shell_Particles_as_Filler_in_Epoxy_Composite
- [42] R. D. Salindeho, J. Soukotta, and R. Poeng, “Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material,” *J. Poros Tek. Mesin UNSRAT*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2013, Accessed: Mar. 26, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/poros/article/view/2990>
- [43] A. Zayadi, “Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950oc dan Tempering 500oc”.
- [44] H. A. D. Subekti and H. I. Firmansyah, “Pengaruh Panjang Serat terhadap Kekuatan Tarik Fiber Metal Laminate Composite,” ResearchGate. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/385807585_Pengaruh_Panjang_Serat_terhadap_Kekuatan_Tarik_Fiber_Metal_Laminate_Composite
- [45] A. Dahlan and Rusiyanto, “Pengaruh Penambahan Unsur Aluminium Murni Pada Bahan Aluminium Scrap Terhadap Ketangguhan Impak Dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Velg Motor Honda,” *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2021.

- [46] “Teknik metalurgi dan Material Logam: Pengujian Impact,” Teknik metalurgi dan Material Logam. Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: <https://metalurgi-ilmu-logam.blogspot.com/2018/11/pengujian-impact.html>
- [47] R. Pramono, “Analisa Kekuatan Impak Dengan Variasi Sudut Bandul Pada Material Logam Baja St37,” Thesis, 2016. Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/119>
- [48] “The Critical Role of Specimen Dimensions and Notch in Charpy Impact Testing.” Accessed: Jul. 29, 2025. [Online]. Available: <https://elcalabs.com/dimensions-and-notch-in-charpy-impact-testing/>
- [49] Q. Hadi and A. Zamheri, “Pengaruh Fraksi Volume Penguat Abu Terbang, Serbuk Besi Dan Matrik Resin Terhadap Keausan Dan Kekerasan Untuk Bahan Kampas Rem,” *AUSTENIT*, vol. 9, no. Retrieved from <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/austenit/article/view/862>, 2017.
- [50] A. Ghufro, I. Syafa’at, and Darmanto, “Analisa Keausan Point Contact Menggunakan Tribometer Pin-On-Disc Dan Pemodelan Global Incremental Wear Model Dengan Variasi Pembebanan,” *Pros. Semin. Nas. Sains Dan Teknol. SNST*, vol. 1, no. 1, pp. 41–45, 2017.
- [51] ASTM G99-17, *Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*. doi: 10.1520/G0099-17.
- [52] B. H. Priyambodo and M. H. Palmiyanto, “Pengaruh Variasi Komposisi Bahan Komposit Limbah Kulit Mete/Phenolic Dengan Penguat Skrap Alumunium Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sebagai Bahan Alternatif Kampas Rem Non Asbestos,” *DI Pros. SNST Ke-5 Tahun 2014*, 2014.
- [53] G. Wypych, “The Effect Of Fillers on The Mechanical Properties of Filled Materials,” in *Handbook of Fillers*, Elsevier, 2016, pp. 467–531. doi: 10.1016/B978-1-895198-91-1.50010-5.
- [54] I. N. G. S. Wijaya, I. D. G. A. Subagia, and W. N. Septiadi, “Charpy impact test pada kampas rem hybrid komposit phenolic resin matrik dengan penguat serbuk basalt-Alumina-kulit kerang,” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 9, no. 2, pp. 180–185, 2016.

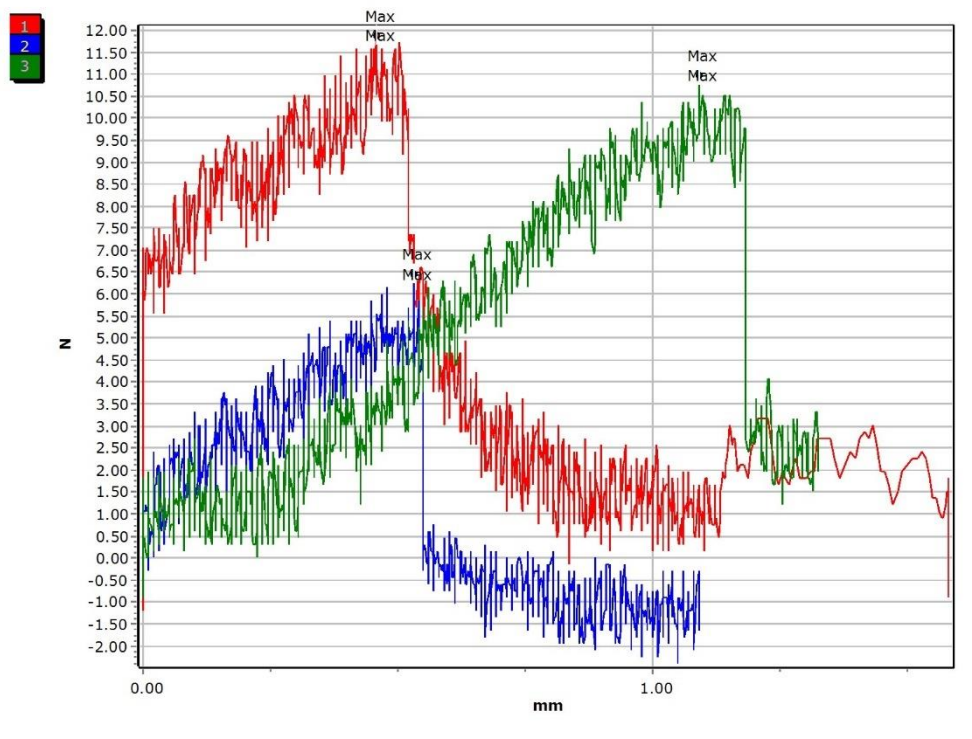
Lampiran

Lampiran 1. Hasil Uji Bending

UNIVERSITAS GADJAH MADA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
MATERIALS ENGINEERING LABORATORY

Test Date: 5/8/2025

Test Num.	Material	Width (mm)	Thickness (mm)	Span (mm)	Displacement (mm)	Max. Force (N)	Bending Stress (MPa)
1	1-1	12.70	3.20	51.00	0.46	11.88	6.99
2	1-2	12.70	3.20	51.00	0.53	10.73	4.80
3	1-3	12.70	3.15	51.00	1.09	10.98	6.46
Average	0.0000	12.70	3.18	51.00	0.69	11.20	6,08

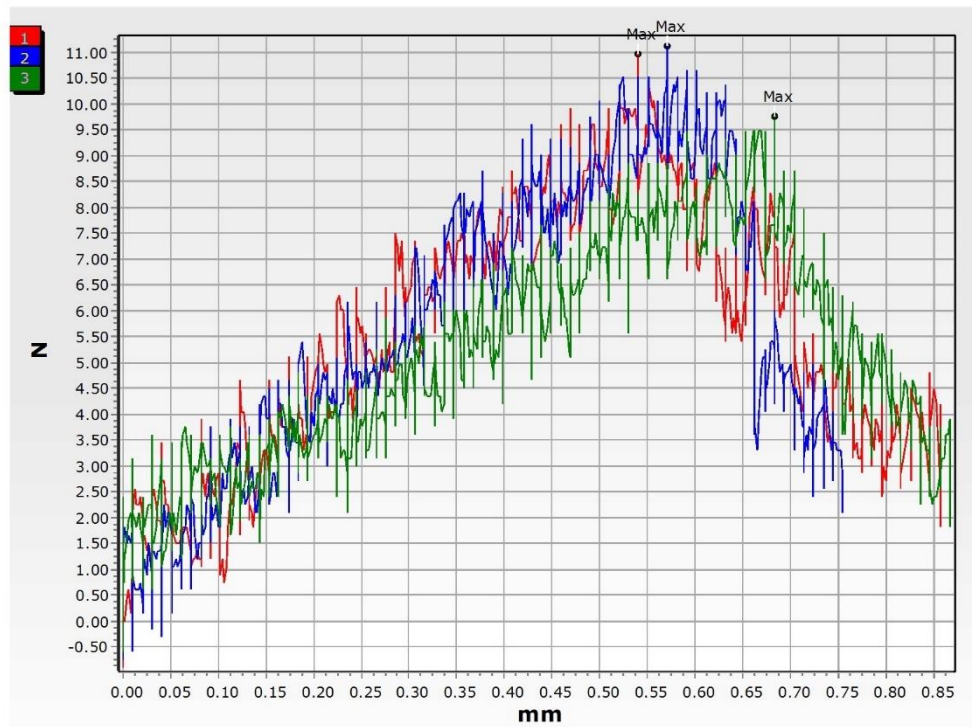


Gambar grafik uji lentur/*bending* spesimen A15 (sekam padi 15%)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
MATERIALS ENGINEERING LABORATORY

Test Date: 6/19/2025

Test Num.	Material	Width (mm)	Thickness (mm)	Span (mm)	Displacement (mm)	Max. Force (N)	Bending Stress (MPa)
1	FMT10MPA-1	12.70	3.15	51.00	0.54	10.98	6.66
2	FMT10MPA-2	12.70	3.20	51.00	0.57	11.13	6.55
3	FMT10MPA-3	12.70	3.15	51.00	0.68	9.77	5.23

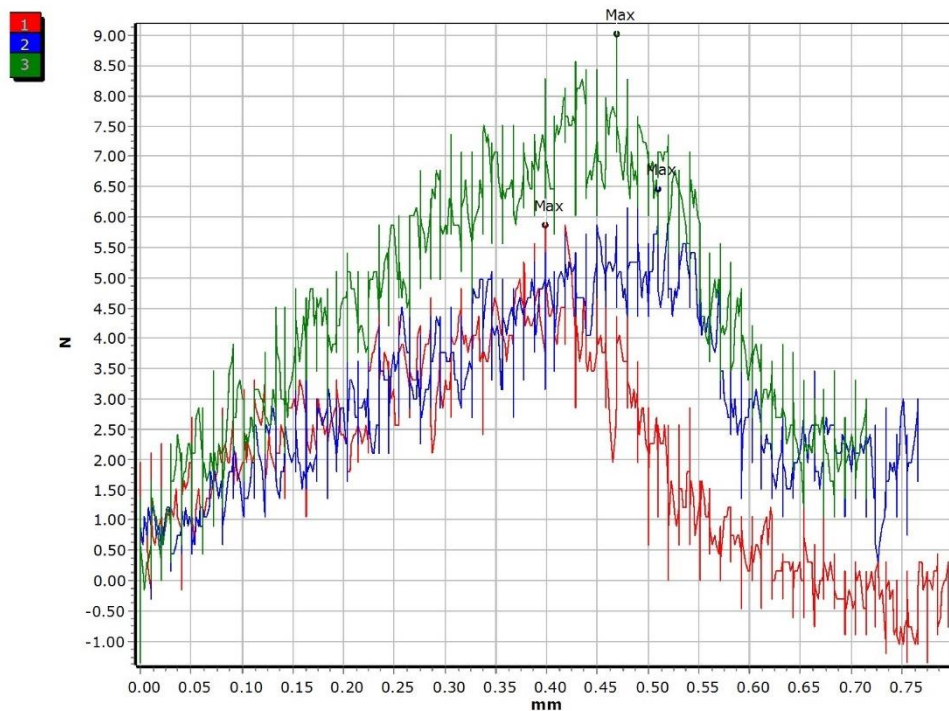


Gambar grafik uji lentur/*bending* spesimen A20 (sekam padi 20%)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
MATERIALS ENGINEERING LABORATORY

Test Date: 5/8/2025

Test Num.	Material	Width (mm)	Thickness (mm)	Span (mm)	Displacement (mm)	Max. Force (N)	Bending Stress (MPa)
1	3-1	12.70	3.20	51.00	0.40	5.86	3.45
2	3-2	12.70	3.20	51.00	0.51	6.47	3.80
3	3-3	12.70	3.20	51.00	0.47	9.02	5.31
Average	0.0000	12.70	3.20	51.00	0.46	7.12	4.19



Gambar grafik uji lentur/*bending* spesimen A25 (sekam padi 25%)

Lampiran 2. Hasil Uji Tarik



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN
JASA INDUSTRI KULIT, KARET DAN PLASTIK
Jalan Sokonandi No. 9 Telp. (0274) 512929 Fax. (0274) 563655
Y O G Y A K A R T A - 55166

No Pengujian : 551/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
Test Report Number

Halaman: 1 dari 1
Page: 1 of 1

Hanya berlaku untuk contoh yang diuji. tidak diperkenankan menyalin/memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa ijin dari pemegang sertifikat dan LPK-BBSPJIKKP
The result of this testing is valid for the mentioned sample, do not copy without permission of the client and LPK-BBSPJIKKP

SURAT TANDA UJI

(TEST RESULT CERTIFICATE)

Nomor Pengujian : 551/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
Test Report Number
Bahan / Barang : Komposit Friction Materials
Material/Commodity
Kondisi Contoh : Baik, 3pcs spesimen + 1 cadangan
Sample Condition
Merek / Kode : 1 (Resin 45%, sekam 15%)
Brand/Code
Diterima Tanggal : 25 April 2025
Date of entry
Mulai Diuji Tanggal : 28 April 2025
Starting date of analysis
Dibuat untuk : **Muhammad Errizky Wibowo**
Name and Address of Client : Jl. Pamungkas No. A4, Umbulmartani, Ngemplak
Nomor BAPC : -, -
BAPC Number
Nomor Contoh : -
Sample Number
Hasil Pengujian : Sebagai berikut / As follows
Test Result

No	Parameter Uji	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kekuatan tarik, N/mm ²	1,83 ; 2,25 ; 1,39	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV
2	Perpanjangan Putus, %	0,26 ; 0,52 ; 0,28	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV

Yogyakarta, 09 Mei 2025
Penguji Mutu Barang Ahli Muda



Dr. Muhammad Sholeh, M.Eng
NIP. 197906112002121001

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

F-UJI-09

Rev. 2/0

Gambar data hasil uji tarik spesimen A15 (sekam 15%)

No Pengujian : 556/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
Test Report Number

Halaman: 1 dari 1
Page: 1 of 1

SURAT TANDA UJI
(TEST RESULT CERTIFICATE)

Nomor Pengujian
Test Report Number : 556/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25

Bahan / Barang
Material/Commodity : Komposit Friction Materials

Kondisi Contoh
Sample Condition : Baik, 3pcs spesimen

Merek / Kode
Brand/Code : 10 MPa

Diterima Tanggal
Date of entry : 25 April 2025

Mulai Diuji Tanggal
Starting date of analysis : 28 April 2025

Dibuat untuk
Name and Address of Client : Akhmad Fauzi
Jl. Kaliurang km 14.5, Kimpulan I

Nomor BAPC
BAPC Number : -, -

Nomor Contoh
Sample Number : -

Hasil Pengujian
Test Result : Sebagai berikut / As follows

No	Parameter Uji	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kekuatan tarik, N/mm ²	0,85 ; 2,17 ; 2,24	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV
2	Perpanjangan Putus, %	0,12 ; 0,54 ; 0,28	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV

Yogyakarta, 09 Mei 2025
Penguji Mutu Barang Ahli Muda



Dr. Muhammad Sholeh, M.Eng
NIP. 197906112002121001

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

F-UJI-09

Rev. 2/0

Gambar data hasil uji tarik spesimen A20 (sekam 20%)

No Pengujian : 552/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
Test Report Number

Halaman: 1 dari 1
Page: 1 of 1

Hanya berlaku untuk contoh yang diuji. tidak diperkenankan menyalin/memperbanyak sebagian atau seluruhnya tanpa ijin dari pemegang sertifikat dan LPK-BBSPJIKKP
The result of this testing is valid for the mentioned sample, do not copy without permission of the client and LPK-BBSPJIKKP

SURAT TANDA UJI

(TEST RESULT CERTIFICATE)

Nomor Pengujian
Test Report Number : 552/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25

Bahan / Barang
Material/Commodity : Komposit Friction Materials

Kondisi Contoh
Sample Condition : Baik, 3pcs spesimen + 1 cadangan

Merek / Kode
Brand/Code : 3 (Resin 35%, sekam 25%)

Diterima Tanggal
Date of entry : 25 April 2025

Mulai Diuji Tanggal
Starting date of analysis : 28 April 2025

Dibuat untuk
Name and Address of Client : Muhammad Errizky Wibowo
Jl. Pamungkas No. A4, Umbulmartani, Ngemplak

Nomor BAPC
BAPC Number : -, -

Nomor Contoh
Sample Number : -

Hasil Pengujian
Test Result : Sebagai berikut / As follows

No	Parameter Uji	Hasil Uji	Metode Uji
1	Kekuatan tarik, N/mm ²	0,72 ; 1,24 ; 1,73	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV
2	Perpanjangan Putus, %	0,10 ; 0,16 ; 0,26	ASTM D 638 – 14 ; Dumble type IV

Yogyakarta, 09 Mei 2025
Penguji Mutu Barang Ahli Muda



Dr. Muhammad Sholeh, M.Eng
NIP. 197906112002121001

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

F-UJI-09

Rev. 2/0

Gambar data hasil uji tarik spesimen A25 (sekam 25%)

LPK BBKKP

LEMBAR DATA UJI LABORATORIUM PENGUJIAN BBSPJIKKP	Nomor Uji	: 551/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
	Contoh	: Komposit Friction Materials
	Diterima Tgl	: 25/04/25
	Mulai Diuji Tgl	: 08/05/25
	Selesai tanggal	: 24/05/05

Kuat Tarik ASTM D638 ; Dumble Tipe IV

No.	Kode	Tebal rata - rata (m)	Lebar rata rata (mm)	Area (mm ²)	Beban (kgf)		Hasil Uji (N/mm2) (Mpa)
					Pembacaan alat	standar	
1		3,63	6,31	22,8722	4,170	4,259	1,827
2		4,34	6,30	27,3210	6,136	6,266	2,250
3		3,38	6,31	21,3376	2,952	3,016	1,387
Hasil Uji (N/m2) (Pa)							
							1826859,648
							2250012,511
							1386602,382

Perpanjangan Putus

No.	Kode	Panjang Awal (mm)	Perubahan Panjang (mm)	Hasil uji (%)
1		50	50,13	0,260
2		50	50,26	0,520
3		50	50,14	0,280

Dikerjakan oleh :

M

Disahkan oleh :

~

F-UJI-10

Rev. 2/2

Hal... dari...

Gambar lembar data uji tarik spesimen A15 (sekam 15%)

LPK BBKKP

**LEMBAR DATA UJI
LABORATORIUM PENGUJIAN
BBSPJIKKP**

Nomor Uji : 556/LP-BBSPJIKKP/PLASTIK/IV/25
Contoh : Komposit Friction Materials
Diterima Tgl : 25/04/25
Mulai Diuji Tgl : 08/05/25
Selesai tanggal : 24/05/05

Kuat Tarik ASTM D638 ; Dumble Tipe IV

No.	Kode	Tebal rata - rata (m)	Lebar rata rata (mm)	Area (mm ²)	Beban (kgf)		Hasil Uji (N/mm2) (Mpa)
					Pembacaan alat	standar	
1		3,58	6,28	22,4943	1,906	1,948	0,850
2		3,45	6,38	21,9897	4,762	4,864	2,170
3		3,65	6,38	23,2657	5,199	5,310	2,239
Hasil Uji (N/m2) (Pa)							
849619,793							
2169775,758							
2238875,836							

Perpanjangan Putus

No.	Kode	Panjang Awal (mm)	Perubahan Panjang (mm)	Hasil uji (%)
1		50	50,06	0,120
2		50	50,27	0,540
3		50	50,14	0,280

Dikerjakan oleh :

W

Disahkan oleh :

Ha... dari...

F-UJI-10

Rev. 2/2

Gambar lembar data uji tarik spesimen A20 (sekam 20%)

LPK BBKKP

**LEMBAR DATA UJI
LABORATORIUM PENGUJIAN
BBSP JIKKP**

Nomor Uji : 552/LP-BBSP JIKKP/PLASTIK/IV/25
Contoh : Komposit Friction Materials
Diterima Tgl : 25/04/25
Mulai Diuji Tgl : 08/05/25
Selesai tanggal : 24/05/05

Kuat Tarik ASTM D638 ; Dumble Tipe IV

No.	Kode	Tebal rata - rata (m)	Lebar rata rata (mm)	Area (mm ²)	Beban (kgf)		Hasil Uji (N/mm2) (Mpa)
					Pembacaan alat	standar	
1		3,29	6,39	21,0334	1,507	1,541	0,719 ✓
2		3,62	6,37	23,0473	2,846	2,908	1,238 ✓
3		3,42	6,31	21,5688	3,725	3,805	1,731 ✓
Hasil Uji (N/m2) (Pa)							
718660,067							
1237678,013							
1730640,810							

Perpanjangan Putus

No.	Kode	Panjang Awal (mm)	Perubahan Panjang (mm)	Hasil uji (%)
1		50	50,05	0,100 ✓
2		50	50,08	0,160 ✓
3		50	50,13	0,260 ✓

Dikerjakan oleh :

M

Disahkan oleh :

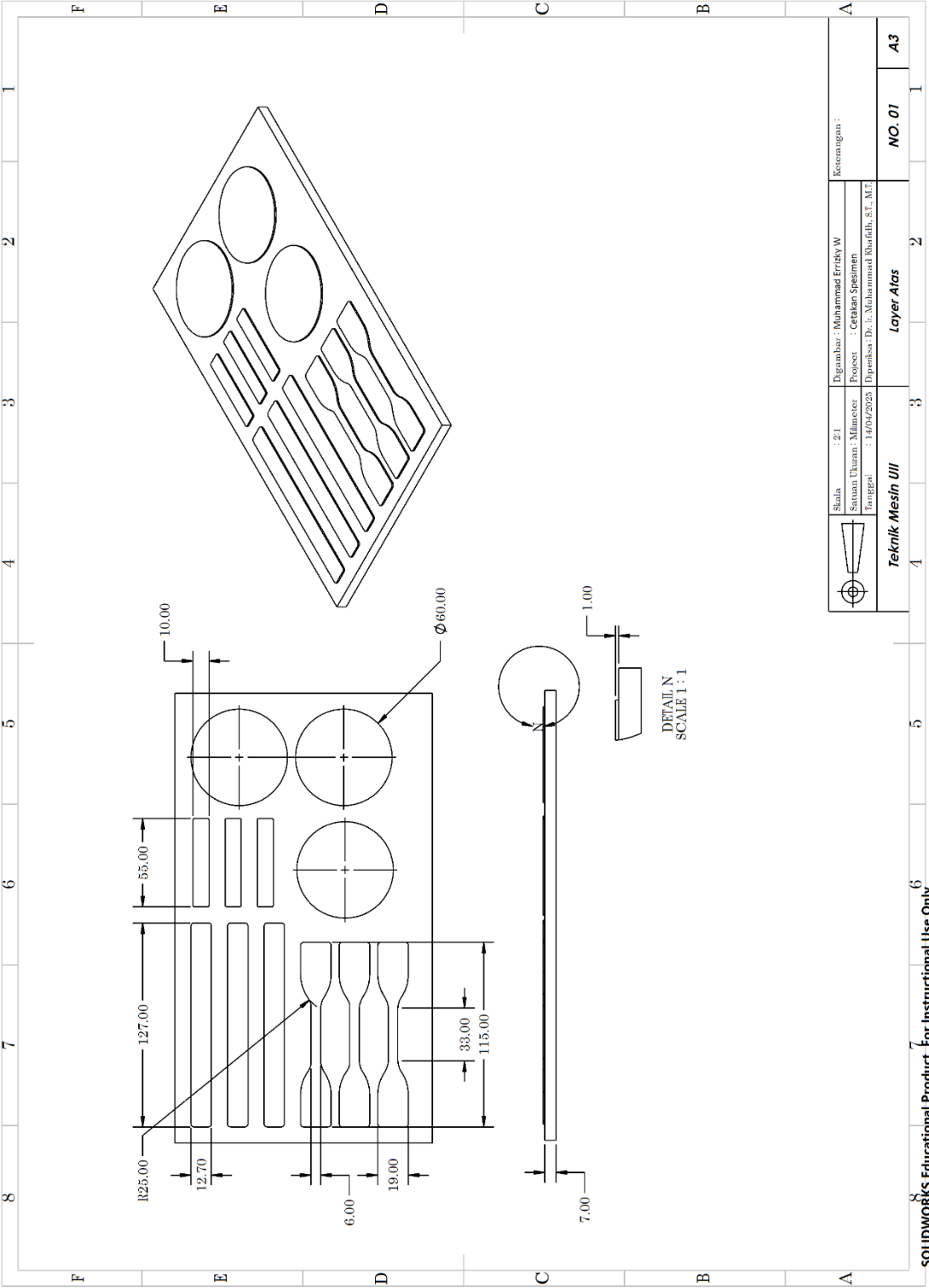
Hal... dari...

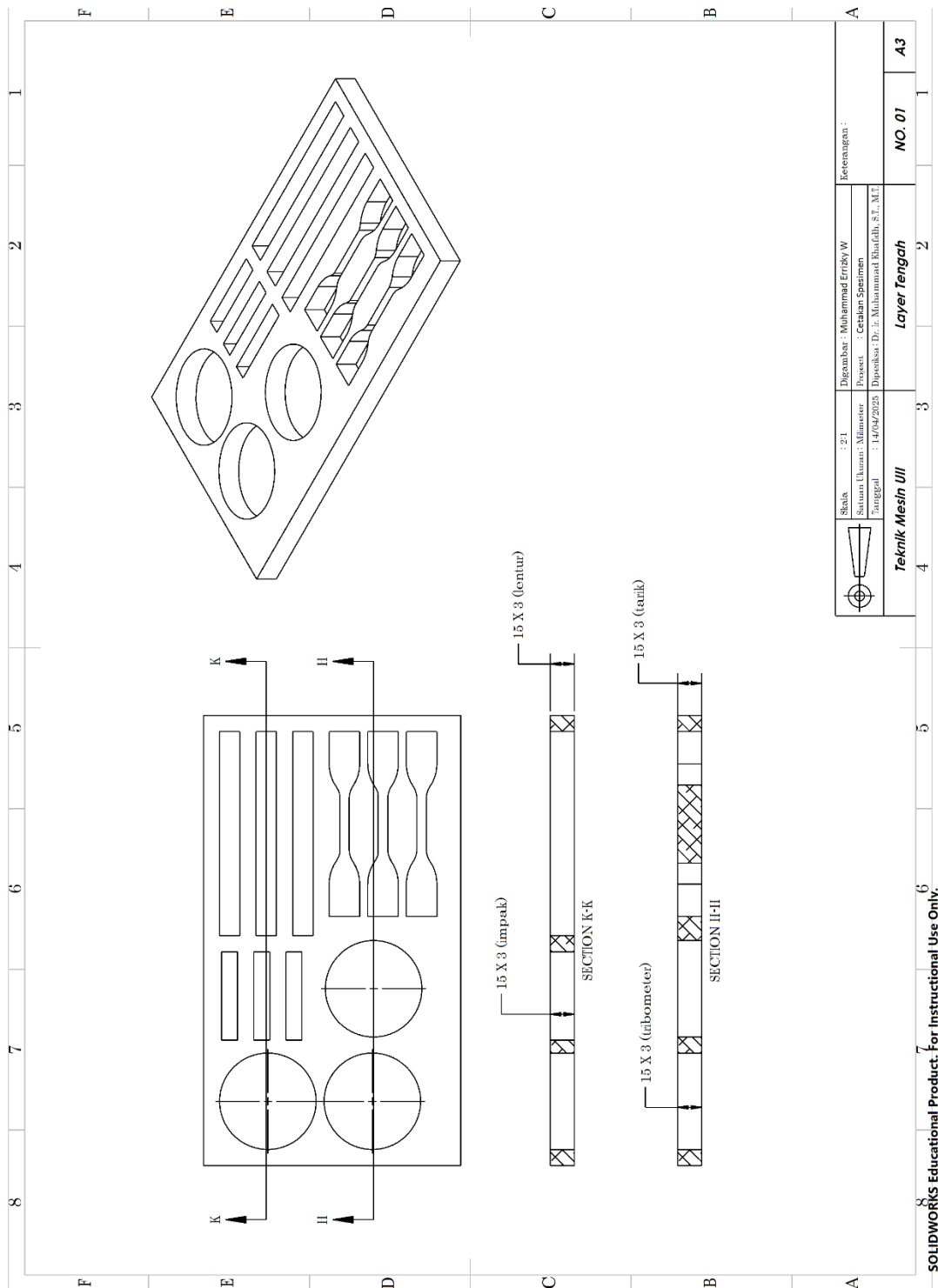
F-UJI-10

Rev. 2/2

Gambar lembar data uji tarik spesimen A25 (sekam 25%)

Lampiran 3. Gambar Teknik Cetakan





SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

