



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI,
TEKANAN, DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING*
TERHADAP KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS
REM SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh:

Edward Feliks Sanmarlanto Purba

NIM. 2202411008

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI,
TEKANAN, DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING*
TERHADAP KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS
REM SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur,
Jurusan Teknik Mesin

Oleh:

Edward Feliks Sanmarlanto Purba

NIM. 2202411008

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JULI 2026**

HALAMAN PERSEMBAHAN



“Skripsi ini dipersembahkan kepada kedua orang tua, keluarga, serta seluruh pihak yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini”

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI, TEKANAN,
DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING* TERHADAP KEAUSAN
DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR**

Oleh:

Edward Feliks Sanmarlanto Purba

NIM. 2202411008

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE.
NIP. 197707142008121005

Pembimbing 2

Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T.
NIP. 1986083202009122001

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Radhi Maladzi, S.T., M.T.
NIP. 199307282024061001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI, TEKANAN,
DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING* TERHADAP KEAUSAN
DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR**

Oleh:

Edward Feliks Sanmarlanto Purba

NIM. 2202411008

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji
pada hari Senin tanggal 13 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi
Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T. NIP. 198608302009122001	Ketua Penguji		20-7-26
2.	Vina Nanda Garjati, S.T., M.T. NIP. 199206232020122014	Penguji I		20-7-26
3.	Radhi Maladzi, S.T., M.T. NIP. 199307282024061001	Penguji II		20-7-26

Depok, 21 Juli 2026

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Edward Feliks Sanmarlanto Purba
NIM : 2202411008
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 13 Juli 2026




Edward Feliks Sanmarlanto Purba
NIM. 2202411008



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI, TEKANAN, DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING* TERHADAP KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR

Edward Feliks Sanmarlanto Purba¹, Muslimin², Vika Rizkia³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: edward.feliks.sanmarlanto.purba.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Kampas rem merupakan komponen penting pada sistem pengereman kendaraan bermotor yang memerlukan karakteristik tribologi yang baik. Penggunaan kampas rem berbahan asbestos mulai ditinggalkan karena berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan, sehingga diperlukan pengembangan kampas rem komposit non-asbestos. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi komposisi arang sekam padi dan resin epoksi serta tekanan dan temperatur *compression molding* terhadap karakteristik densitas, keausan, koefisien gesek, dan mikrostruktur kampas rem komposit. Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan metode *Design of Experiment* (DoE) dengan variasi arang sekam padi 10%, 15%, dan 20%, resin epoksi 25%, 20%, dan 15%, tekanan 130, 140, dan 150 bar, serta temperatur 160°C, 170°C, dan 180°C selama 15 menit. Pengujian densitas mengacu pada ASTM B311, keausan pada ASTM G99, koefisien gesek pada ASTM D1894, dan karakterisasi mikrostruktur menggunakan SEM-EDS. Hasil penelitian menunjukkan densitas tertinggi diperoleh pada spesimen A3 sebesar 1,605 g/cm³, keausan terendah pada spesimen C2 sebesar $7,11 \times 10^{-7}$ mm²/kg, dan koefisien gesek sebesar 0,617 yang paling mendekati karakteristik kampas rem komersial. Hasil SEM-EDS menunjukkan adanya pori, jejak keausan, distribusi partikel, serta unsur dominan karbon. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, spesimen C2 memiliki performa terbaik.

Kata kunci: kampas rem komposit, arang sekam padi, *Design of Experiment* (DoE), *compression molding*, densitas, keausan, koefisien gesek, SEM-EDS.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI ARANG SEKAM PADI, TEKANAN, DAN TEMPERATUR *COMPRESSION MOLDING* TERHADAP KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR

Edward Feliks Sanmarlanto Purba¹, Muslimin², Vika Rizkia³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: edward.feliks.sanmarlanto.purba.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

Brake pads are essential components of motor vehicle braking systems that require good tribological characteristics. The use of asbestos-based brake pads has gradually been abandoned due to their adverse effects on human health and the environment. Therefore, the development of environmentally friendly non-asbestos composite brake pads is required. This study aimed to analyze the effects of variations in rice husk charcoal and epoxy resin compositions, as well as compression molding pressure and temperature, on the density, wear, friction coefficient, and microstructure of composite brake pads. The research was conducted experimentally using the Design of Experiment (DoE) method with rice husk charcoal contents of 10%, 15%, and 20%, epoxy resin contents of 25%, 20%, and 15%, molding pressures of 130, 140, and 150 bar, and molding temperatures of 160°C, 170°C, and 180°C for 15 minutes. Density, wear, and friction coefficient tests were conducted in accordance with ASTM B311, ASTM G99, and ASTM D1894, respectively, while microstructural characterization was performed using Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS). The results showed that the highest density was obtained by specimen A3 at 1.605 g/cm³, while the lowest wear was obtained by specimen C2 at 7.11 × 10⁻⁷ mm²/kg. Specimen C2 also exhibited a friction coefficient of 0.617, which was the closest to the characteristics of a commercial brake pad. SEM-EDS analysis revealed the presence of pores, wear tracks, particle distribution, and carbon as the dominant element. Based on the overall test results, specimen C2 demonstrated the best performance.

Keywords: composite brake pad, rice husk charcoal, Design of Experiment (DoE), compression molding, density, wear, friction coefficient, SEM-EDS.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Komposisi Arang Sekam Padi, Tekanan, dan Temperatur *Compression Molding* terhadap Keausan dan Koefisien Gesek Kampas Rem Sepeda Motor”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. dan Ibu Dr. Vika Rizkia, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Vina Nanda Garjati, S.T., M.T. dan Bapak Radhi Maladzi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta atas ilmu, arahan, dan bimbingan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman Grup Dudul, Kehidupan Mesin, dan Manufaktur Q, serta seluruh rekan angkatan M22 yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan semangat kepada penulis selama menempuh masa perkuliahan.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat berbagai keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis sangat terbuka terhadap saran dan kritik yang bersifat konstruktif dari berbagai pihak guna menyempurnakan karya ini.

Depok, 4 April 2026

Edward Feliks Sanmarlanto Purba

NIM. 2202411008





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah Penelitian	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Sistem Pengereman	8
2.1.2 Kampas Rem.....	8
2.1.3 Material Komposit	11
2.1.4 Perhitungan Komposisi.....	12
2.1.5 Komposisi Material.....	14
2.1.6 Pencampuran Material	18
2.1.7 <i>Compression Molding</i>	18
2.1.8 Pengujian	19
2.1.9 Metode <i>Design of Experiment</i> (DoE).....	22
2.2 Kajian Literatur	23
2.3 Kerangka Pemikiran dan Pengembangan Hipotesis	29
2.3.1 Kerangka Pemikiran	29
2.3.2 Pengembangan Hipotesis	31

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Jenis Penelitian.....	32
3.2 Objek Penelitian.....	33
3.3 Metode Pengambilan Spesimen.....	34
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	34
3.5 Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	35
3.6 Metode Analisis Data.....	35
3.6.1 Pengujian Densitas.....	44
3.6.2 Pengujian Keausan.....	44
3.6.3 Pengujian Koefisien Gesek.....	45
3.6.4 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil Proses Manufaktur Kampas Rem	47
4.2 Hasil Pengujian Densitas	48
4.2.1 Pengaruh Variasi Komposisi Material Terhadap Nilai Densitas	50
4.2.2 Pengaruh Parameter <i>Compression Molding</i> Terhadap Nilai Densitas.	52
4.2.3 Perbandingan Nilai Densitas.....	55
4.3 Hasil Pengujian Keausan	57
4.3.1 Pengaruh Variasi Komposisi Material Terhadap Nilai Keausan	59
4.3.2 Pengaruh Parameter <i>Compression Molding</i> Terhadap Nilai Keausan.	60
4.3.3 Perbandingan Nilai Keausan.....	64
4.4 Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	65
4.4.1 Pengaruh Variasi Komposisi Material dan Parameter <i>Compression Molding</i> Terhadap Nilai Koefisien Gesek	67
4.4.2 Perbandingan Nilai Koefisien Gesek.....	67
4.5 Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS).....	69
4.5.1 Hasil Pengamatan <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	69
4.5.2 Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS).....	71
4.6 Hubungan Komposisi Material, Parameter <i>Compression Molding</i> , dan Struktur Mikro terhadap Karakteristik Kampas Rem.....	76
4.6.1 Hubungan Variasi Komposisi Mataerial Terhadap Terhadap Densitas dan Keausan.....	76
4.6.2 Hubungan Parameter <i>Compression Molding</i> terhadap Koefisien Gesek	77
4.6.3 Hubungan Struktur Mikro Terhadap Karakteristik Tribologi.....	78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6.4 Spesimen Dengan Performa Terbaik	79
BAB V PENUTUP.....	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
LAMPIRAN.....	87



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kampas Rem.....	9
Gambar 2. 2 Arang Sekam Padi	15
Gambar 2. 3 Resin Epoksi	15
Gambar 2. 4 Mesin <i>Compression Molding</i>	19
Gambar 2. 5 Kerangka Pemikiran Penelitian	30
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 3. 2 Prosedur Pengujian Densitas	44
Gambar 3. 3 Mesin Ogoshi.....	45
Gambar 3. 4 <i>Load Cell & TM2101-T5 Servo Control Computer System Universal Testing Machine</i>	45
Gambar 3. 5 <i>Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	46
Gambar 4. 1 Hasil Proses Manufaktur Kampas Rem.....	48
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Pengujian Densitas.....	49
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Komposisi Material.....	51
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Tekanan <i>Compression Molding</i>	53
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Temperatur <i>Compression Molding</i>	55
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Nilai Densitas Hasil Pengujian dengan Nilai Densitas Kampas Rem Komersial.....	56
Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Keausan.....	58
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Komposisi Material	60
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Tekanan <i>Compression Molding</i>	62
Gambar 4. 10 Grafik Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Temperatur <i>Compression Molding</i>	64



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Nilai Keausan Hasil Pengujian dengan Nilai Keausan Kampas Rem Komersial.....	65
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Koefisien Gesek.....	67
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Nilai Koefisien Gesek Hasil Pengujian dengan Nilai Koefisien Gesek Kampas Rem Komersial.....	68
Gambar 4. 14 Hasil Pengamatan SEM Spesimen C2 pada Perbesaran (a) 100×, (b) 250×, (c) 500×, (d) 1000×.....	70
Gambar 4. 15 Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 1 Spesimen C2: (a) Titik Pengamatan dan (b) Grafik Spektrum.....	71
Gambar 4. 16 Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 2 Spesimen C2: (a) Titik Pengamatan dan (b) Grafik Spektrum.....	73
Gambar 4. 17 Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 3 Spesimen C2: (a) Titik Pengamatan dan (b) Grafik Spektrum.....	74

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Kampas Rem.....	11
Tabel 2. 2 Tabel Kajian Literatur	23
Tabel 3. 1 Variasi Spesimen.....	33
Tabel 3. 2 Alat dan Bahan	38
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Densitas.....	48
Tabel 4. 2 Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Komposisi Material...	50
Tabel 4. 3 Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Tekanan.....	52
Tabel 4. 4 Nilai Rata-Rata Densitas Berdasarkan Variasi Temperatur	54
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Keausan.....	57
Tabel 4. 6 Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Komposisi Material...	59
Tabel 4. 7 Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Tekanan	61
Tabel 4. 8 Nilai Rata-Rata Keausan Berdasarkan Variasi Temperatur	63
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Koefisien Gesek	66
Tabel 4. 10 Komposisi Unsur Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 1 Spesimen C2	72
Tabel 4. 11 Komposisi Unsur Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 2 Spesimen C2	73
Tabel 4. 12 Komposisi Unsur Hasil Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS) pada Titik Pengamatan 3 Spesimen C2	75



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi	87
Lampiran 2 Perhitungan Komposisi	88
Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Keausan	90
Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek	93
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian <i>Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	94
Lampiran 6 Daftar Riwayat Hidup	97





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomotif yang berlangsung sangat pesat telah mendorong peningkatan performa kendaraan bermotor, khususnya dalam hal kecepatan dan kapasitas daya mesin. Peningkatan tersebut secara tidak langsung menuntut sistem keselamatan yang semakin andal, terutama pada sistem pengereman. Sistem pengereman memiliki peran krusial dalam menjaga keselamatan pengemudi karena berfungsi mengubah energi kinetik kendaraan menjadi energi panas melalui mekanisme gesekan antara kampas rem dengan cakram atau tromol [1].

Dalam sistem tersebut, kampas rem merupakan komponen utama yang bekerja secara kontinu melalui kontak gesek berulang. Proses ini menyebabkan peningkatan temperatur yang cukup tinggi, terutama pada kondisi pengereman mendadak atau saat kendaraan beroperasi dalam beban berat. Oleh karena itu, material kampas rem dituntut memiliki stabilitas termal yang baik, ketahanan terhadap keausan, serta koefisien gesek yang stabil agar mampu mempertahankan performa pengereman secara optimal dan aman dalam berbagai kondisi operasional [2].

Selama ini, material kampas rem yang banyak digunakan di pasaran masih berbasis asbes. Material ini dikenal memiliki ketahanan panas dan kestabilan gesek yang baik. Namun, seiring meningkatnya kesadaran terhadap aspek kesehatan dan lingkungan, penggunaan asbes mulai dibatasi. Partikel debu yang dihasilkan dari keausan material asbes bersifat karsinogenik dan berpotensi menimbulkan gangguan pernapasan serius, termasuk kanker paru-paru [3][4]. Selain itu, kampas rem berbasis asbes juga memiliki keterbatasan teknis, seperti kecenderungan mengalami penurunan performa (*fading*) pada temperatur tinggi, khususnya di atas 200°C, yang dapat menurunkan daya cengkeram secara signifikan dan membahayakan keselamatan [3][4]. Oleh karena itu, kondisi ini mendorong berbagai penelitian untuk mengembangkan kampas rem non-asbestos yang lebih



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aman dan ramah lingkungan [1].

Salah satu alternatif material yang memiliki potensi besar adalah pemanfaatan limbah pertanian, khususnya arang sekam padi, sebagai bahan pengisi atau penguat dalam komposit kampas rem. Sekam padi memiliki ketersediaan yang melimpah di Indonesia serta mengandung silika dalam jumlah tinggi yang dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus material [3][4]. Selain itu, struktur karbon berpori yang dihasilkan dari proses pengarangannya mampu berkontribusi dalam pembentukan lapisan gesek sekunder (*third body layer*) selama proses pengereman. Lapisan ini berperan penting dalam menstabilkan koefisien gesek serta mengurangi laju keausan akibat interaksi antara kampas rem dan cakram [5].

Meskipun demikian, keberhasilan pembentukan material komposit tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan yang digunakan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh metode manufaktur. Salah satu metode yang umum digunakan dalam pembuatan kampas rem adalah *compression molding* [6]. Pada metode ini, parameter proses seperti tekanan dan temperatur memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas material yang dihasilkan. Tekanan pemadatan yang optimal dapat meningkatkan densitas material dengan mengurangi porositas serta memperbaiki distribusi partikel dalam matriks [7]. Sebaliknya, tekanan yang tidak sesuai dapat menyebabkan distribusi material yang tidak merata dan memicu terbentuknya aglomerasi partikel yang berpotensi menurunkan kekuatan struktural komposit [4].

Selain tekanan, temperatur proses juga memegang peranan penting dalam menentukan keberhasilan proses *curing* pada matriks polimer, seperti resin epoksi. Temperatur yang tepat memungkinkan terjadinya ikatan yang kuat antara matriks dan bahan penguat, sehingga meningkatkan integritas struktural material serta ketahanannya terhadap beban mekanik dan temperatur tinggi selama proses pengereman [1].

Dalam perkembangan penelitian material komposit, karakterisasi material tidak hanya dilakukan melalui pengujian sifat makroskopik seperti densitas, keausan, dan koefisien gesek, tetapi juga didukung oleh analisis mikrostruktur untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada permukaan material setelah mengalami proses gesekan. Salah satu metode karakterisasi yang banyak digunakan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

adalah *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Pengujian SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan material, seperti keberadaan pori, jejak keausan, pelepasan partikel akibat gesekan, serta distribusi partikel penyusun. Sementara itu, analisis EDS digunakan untuk mengidentifikasi komposisi unsur pada area permukaan yang diamati sehingga hasil pengamatan morfologi dapat didukung oleh informasi mengenai unsur-unsur penyusun material. Melalui kombinasi kedua metode tersebut, karakteristik permukaan material komposit setelah proses tribologi dapat dianalisis secara lebih lengkap [2].

Analisis menggunakan SEM-EDS berperan penting dalam menjelaskan hubungan antara kondisi mikrostruktur permukaan dengan karakteristik tribologi material. Penelitian yang dilakukan oleh Bucur *et al.* menunjukkan bahwa hasil pengamatan SEM setelah pengujian tribologi mampu mengidentifikasi adanya pori, jejak keausan, serta pelepasan partikel pada permukaan material komposit. Selain itu, analisis EDS digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat pada area pengamatan sehingga kondisi permukaan material dapat dianalisis tidak hanya dari aspek morfologi, tetapi juga dari komposisi unsur penyusunnya. Oleh karena itu, penggunaan SEM-EDS menjadi salah satu metode karakterisasi yang mendukung analisis perilaku material komposit setelah mengalami proses gesekan [2].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi arang sekam padi serta parameter tekanan dan temperatur pada proses *compression molding* terhadap karakteristik densitas, keausan, dan koefisien gesek kampas rem sepeda motor. Penelitian ini juga dilengkapi dengan analisis *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) untuk mengidentifikasi karakteristik mikrostruktur dan komposisi unsur pada permukaan spesimen setelah pengujian sehingga keterkaitannya dengan karakteristik keausan dan koefisien gesek dapat dianalisis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kampas rem komposit non-asbestos yang lebih ramah lingkungan serta memiliki karakteristik yang baik dari aspek densitas, ketahanan aus, dan performa gesek.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini disusun berdasarkan kebutuhan pengembangan kampas rem komposit non-asbestos yang lebih aman bagi kesehatan, ramah lingkungan, serta memiliki karakteristik tribologi yang baik. Variasi komposisi arang sekam padi sebesar 10%, 15%, dan 20%, resin epoksi sebesar 15%, 20%, dan 25%, dengan komposisi material tambahan yang dipertahankan tetap, serta parameter proses *compression molding* yang meliputi temperatur 160°C, 170°C, dan 180°C serta tekanan 130 bar, 140 bar, dan 150 bar dapat memengaruhi karakteristik densitas, keausan, dan koefisien gesek kampas rem komposit.

Hasil pengujian makroskopik masih belum mampu menjelaskan secara menyeluruh perubahan yang terjadi pada permukaan material setelah mengalami proses gesekan. Oleh karena itu, analisis mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) diperlukan untuk mengidentifikasi kondisi morfologi permukaan dan komposisi unsur penyusun sehingga hubungan antara struktur mikro dengan karakteristik tribologi material dapat dijelaskan secara lebih mendalam. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengembangan kampas rem komposit non-asbestos yang memiliki karakteristik densitas, ketahanan aus, dan performa pengereman yang lebih baik.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi material dan parameter proses *compression molding* terhadap karakteristik densitas dan ketahanan keausan kampas rem?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi material dan parameter proses *compression molding*, yang meliputi temperatur dan tekanan dengan *holding time* selama 15 menit, terhadap nilai koefisien gesek kampas rem?
3. Bagaimana karakteristik mikrostruktur permukaan dan komposisi unsur kampas rem berdasarkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscope–*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) setelah mengalami proses gesekan?

4. Bagaimana hubungan antara variasi komposisi material, parameter proses *compression molding*, dan struktur mikro terhadap karakteristik densitas serta performa tribologi kampas rem yang meliputi keausan dan koefisien gesek?

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian difokuskan pada kampas rem sepeda motor berbasis material komposit non-asbestos yang dikembangkan dari arang sekam padi sebagai bahan penguat.
2. Komposisi material yang digunakan dalam pembuatan kampas rem meliputi arang sekam padi dengan variasi 10%, 15%, dan 20%, resin epoksi sebesar 15%, 20%, dan 25%, serta bahan tambahan tetap berupa rubber powder 25%, sulfur 6%, zinc oxide 2%, barium sulfate 10%, brass powder 10%, aluminium powder 10%, dan hexamethylenetetramine 2%.
3. Proses manufaktur dilakukan menggunakan metode *compression molding* dengan variasi parameter temperatur sebesar 160°C, 170°C, dan 180°C, serta tekanan sebesar 130 bar, 140 bar, dan 150 bar, dengan waktu penahanan (*holding time*) selama 15 menit.
4. Karakterisasi material dalam penelitian ini dibatasi pada pengujian densitas, keausan, dan koefisien gesek untuk mengevaluasi karakteristik tribologi, serta pengamatan mikrostruktur permukaan dan identifikasi komposisi unsur menggunakan *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) guna menganalisis kondisi permukaan spesimen setelah pengujian.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi material dan parameter proses *compression molding* terhadap karakteristik densitas dan ketahanan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keausan kampas rem sepeda motor.

2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi material dan parameter proses *compression molding*, yaitu temperatur dan tekanan dengan *holding time* 15 menit terhadap nilai koefisien gesek kampas rem.
3. Menganalisis karakteristik mikrostruktur permukaan dan komposisi unsur kampas rem berdasarkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS) setelah mengalami proses gesekan.
4. Menganalisis hubungan antara variasi komposisi material, parameter proses *compression molding*, dan mikrostruktur terhadap karakteristik densitas serta performa tribologi kampas rem.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam memahami dan menganalisis pengaruh variasi komposisi material, parameter proses *compression molding*, serta karakteristik mikrostruktur terhadap performa tribologi kampas rem berbasis komposit non-asbestos.
2. Diharapkan dapat mendukung pengembangan penelitian terapan di bidang material komposit dan memperkuat kontribusi Politeknik Negeri Jakarta dalam inovasi teknologi kampas rem ramah lingkungan.
3. Diharapkan dapat mendorong pemanfaatan limbah sekam padi sebagai material bernilai tambah dalam produk teknik, sehingga berkontribusi terhadap pengurangan limbah pertanian dan pengembangan material yang lebih berkelanjutan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang yang mendasari penelitian mengenai pengembangan kampas rem komposit non-asbestos berbasis arang sekam padi, serta rumusan masalah, pertanyaan penelitian, batasan masalah, tujuan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori yang relevan dengan penelitian, meliputi konsep material komposit, kampas rem, densitas, sifat tribologi (keausan dan koefisien gesek), proses *compression molding*, serta prinsip kerja *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), yang didukung oleh hasil penelitian terdahulu sebagai dasar pengembangan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci mengenai metode penelitian yang digunakan, meliputi alat dan bahan, komposisi material, variasi parameter proses (tekanan dan temperatur), waktu penahanan, prosedur pembuatan spesimen dengan metode *compression molding*, serta metode pengujian yang mencakup densitas, keausan, koefisien gesek, dan analisis *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian yang telah dilakukan, meliputi data densitas, keausan, koefisien gesek, serta hasil pengamatan mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS). Hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk menjelaskan hubungan antara variasi komposisi material, parameter proses *compression molding*, dan karakteristik tribologi kampas rem komposit.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis penelitian yang mengacu pada rumusan masalah dan tujuan penelitian, serta saran yang dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian densitas dan keausan, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi material serta parameter proses *compression molding* yang meliputi temperatur dan tekanan berpengaruh terhadap karakteristik densitas dan ketahanan keausan kampas rem komposit. Variasi komposisi material memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai densitas rata-rata, sedangkan peningkatan temperatur *compression molding* dari 160°C hingga 180°C menyebabkan nilai densitas rata-rata menurun dari 1,602 gram/cm³ menjadi 1,488 gram/cm³. Variasi tekanan pada rentang 130–150 bar juga menghasilkan perubahan nilai densitas yang relatif kecil. Nilai densitas yang paling mendekati densitas kampas rem komersial sebesar 1,500 gram/cm³ diperoleh pada spesimen C1, C2, dan C3 dengan nilai masing-masing sebesar 1,492 gram/cm³, 1,487 gram/cm³, dan 1,485 gram/cm³. Sementara itu, nilai keausan terbaik diperoleh pada spesimen C2 dengan komposisi 10% arang sekam padi, 25% resin epoksi, tekanan 140 bar, dan temperatur *compression molding* 180°C, yaitu sebesar $7,11 \times 10^{-7}$ mm²/kg. Nilai tersebut masih berada di atas rentang keausan kampas rem komersial sebesar $0,87 \times 10^{-7}$ – $5,73 \times 10^{-7}$ mm²/kg, namun merupakan nilai keausan terendah dibandingkan spesimen lainnya.
2. Berdasarkan hasil pengujian koefisien gesek, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi material serta parameter proses *compression molding* yang meliputi temperatur dan tekanan dengan *holding time* selama 15 menit berpengaruh terhadap nilai koefisien gesek kampas rem komposit. Pengujian koefisien gesek dilakukan pada spesimen C1 dan C2 yang memiliki nilai keausan terendah, dengan hasil masing-masing sebesar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

0,648 dan 0,617. Spesimen C1 menghasilkan nilai koefisien gesek yang lebih tinggi sehingga mampu menghasilkan gaya gesek yang lebih besar, sedangkan spesimen C2 memiliki nilai koefisien gesek yang lebih rendah, tetapi lebih mendekati batas atas rentang koefisien gesek kampas rem komersial sebesar 0,20–0,60 dan didukung oleh nilai keausan yang paling rendah. Dengan demikian, spesimen C2 dengan komposisi 10% arang sekam padi, 25% resin epoksi, tekanan 140 bar, temperatur *compression molding* 180°C, dan *holding time* selama 15 menit menunjukkan kombinasi karakteristik yang lebih optimal karena memiliki nilai koefisien gesek yang lebih mendekati karakteristik kampas rem komersial serta didukung oleh hasil densitas dan ketahanan keausan yang lebih baik.

3. Berdasarkan hasil pengujian *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS), karakteristik mikrostruktur permukaan spesimen C2 setelah proses gesekan menunjukkan bahwa mikrostruktur belum sepenuhnya kompak, yang ditandai dengan adanya rongga (*void*), *wear debris*, dan jejak keausan (*wear track*), namun tidak ditemukan retak besar (*macrocrack*) maupun pelepasan partikel pengisi dalam jumlah yang signifikan. Analisis EDS mengidentifikasi unsur karbon, oksigen, aluminium, silikon, sulfur, seng, dan barium, dengan unsur karbon sebagai unsur dominan pada seluruh titik pengamatan. Variasi persentase massa unsur pada setiap titik menunjukkan bahwa distribusi matriks dan partikel pengisi pada permukaan spesimen belum sepenuhnya homogen. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses gesekan menyebabkan perubahan morfologi permukaan tanpa menghilangkan unsur-unsur utama penyusun kampas rem komposit.
4. Berdasarkan seluruh hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi material, parameter proses *compression molding*, dan struktur mikro memiliki keterkaitan dalam menentukan karakteristik densitas serta performa tribologi kampas rem komposit. Komposisi material dan parameter proses berpengaruh terhadap tingkat pemadatan komposit, yang selanjutnya berkaitan dengan karakteristik struktur mikro, nilai densitas,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ketahanan keausan, dan koefisien gesek pada setiap variasi spesimen. Hasil analisis SEM-EDS menunjukkan bahwa mikrostruktur spesimen C2 belum sepenuhnya kompak dan distribusi unsur penyusunnya belum sepenuhnya homogen, serta tetap menunjukkan karakteristik densitas dan performa tribologi yang lebih baik dibandingkan spesimen lainnya. Secara keseluruhan hasil pengujian, spesimen C2 dengan komposisi material 10% arang sekam padi, 25% resin epoksi, tekanan *compression molding* 140 bar, dan temperatur *compression molding* 180°C ditetapkan sebagai spesimen dengan performa terbaik pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi komposisi arang sekam padi dan resin epoksi yang lebih beragam sehingga dapat diperoleh formulasi kampas rem komposit dengan karakteristik densitas, keausan, dan koefisien gesek yang lebih mendekati kampas rem komersial.
2. Variasi parameter proses *compression molding*, seperti temperatur, tekanan, dan *holding time*, perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mengetahui kombinasi parameter proses yang paling optimal dalam menghasilkan performa kampas rem komposit.
3. Pengujian SEM-EDS sebaiknya dilakukan pada lebih dari satu spesimen atau pada setiap variasi komposisi material sehingga hubungan antara struktur mikro, komposisi unsur, serta karakteristik tribologi kampas rem dapat dianalisis secara lebih komprehensif.
4. Penelitian selanjutnya juga disarankan menambahkan pengujian karakteristik material lainnya, seperti kekerasan, kuat tekan, konduktivitas termal, atau ketahanan terhadap temperatur tinggi, sehingga performa kampas rem komposit dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh sebelum diaplikasikan pada kendaraan bermotor.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joko Hari Prasetyo, M. H. Bahri, and Ardhi Fathoni Syam Putra Nusantara, "Analisis kekerasan dan keausan kampas rem berbahan ampas tebu dan serbuk besi sebagai penguat bermatriks epoxy," *Natl. Multidiscip. Sci. UMJember Proceeding Ser.*, vol. 2, no. 5, pp. xx–xx, 2023, [Online]. Available: <http://proceeding.unmuhjember.ac.id/index.php/nsm>
- [2] Flavius Bucur, Liviu Pascu, Corneliu Birtok Baneasa, Adina Budiul Berghian, and Ana Socalici, "Research on the production of composite materials for brake shoes," *UPB Sci. Bull. Ser. B Chem. Mater. Sci.*, vol. 84, no. 1, pp. 227–236, 2022.
- [3] Deni Fajar 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, pp. 99–105, 2023, doi: 10.36499/jim.v19i2.8752.
- [4] Muhammad Khafidh *et al.*, "A study on characteristics of brake pad composite materials by varying the composition of epoxy, rice husk, al₂O₃ and fe₂o₃," *J. Unimma*, vol. 6, no. 2, pp. 303–319, 2023.
- [5] Chunjiang He *et al.*, "Morphology and composition of the third body on the friction surface of an organic composite railway brake shoe," *Coatings*, vol. 13, no. 5, pp. 1–13, 2023, doi: 10.3390/coatings13050952.
- [6] Fahri Marentiko, Dhiya Luqyana, Vika Rizkia, and Muslimin, "Karakteristik sifat mekanik pada pembuatan komposit terhadap performa kampas rem non-asbestos," *J. Mek. Terap.*, vol. 5, no. 3, pp. 160–167, 2024, doi: 10.32722/jmt.v5i3.7098.
- [7] Mega Ayu Yusuf, Yus Witdarko, Parjono, Wiyan Afriyanto Pamungkas, and Suryadi, "Characteristics of charcoal briquettes from rice husk waste with compaction pressure variations as an alternative fuel," *J. Ecol. Eng.*, vol. 24, no. 4, pp. 237–243, 2023.
- [8] Sumiyanto, Abdunnaser, and Achmad Noor Fajri, "Analisa pengujian gesek, aus dan lentur pada kampas rem tromol sepeda motor," vol. 22, no. 1, pp.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

54–64, 2020.

- [9] Arief Novianto, Rifky Ismail, and Bagus Ari Saputra, “Karakteristik kampas rem dari komposit serbuk arang tempurung kelapa dan serbuk tulang sapi,” *ROTASI*, vol. 25, no. 3, pp. 52–58, 2023.
- [10] Ferriawan Yudhanto, Santo Ajie Dhewanto, and Suluh Widya Yakti, “Karakterisasi bahan kampas rem sepeda motor dari komposit serbuk kayu jati,” *J. Quantum Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [11] Fahri Marentiko, Vika Rizkia, Dhiya Luqyana, and Muslimin, “Pengaruh temperatur pada mesin compression molding terhadap kekerasan material komposit,” pp. 1064–1070, 2024.
- [12] Hafiz Nopal Ridani, Sukanto, and Rodika, “Kajian komposit matrik alumunium untuk kampas rem sepeda motor diperkuat pasir silika hibrid (sio2/ba/rha) dengan metode metalurgi serbuk,” *J. Inov. Teknol. PANGAN*, vol. 03, no. 1, 2025.
- [13] Saripuddin Muddin, Jamaluddin, Darmadi Azis, and Andi Haslinah, “Pengaruh fraksi volume komposit serat sabut kelapa bermatrik polimer termoseting polyester terhadap kekuatan lentur,” *ILTEK J. Teknol.*, vol. 17, no. 01, pp. 15–19, 2022, doi: 10.47398/iltek.v17i01.59.
- [14] Catur Pramono, Widayat, and Agus Suprihanto, “Karakteristik bahan alternatif kampas rem dari komposit dan serbuk kuningan dengan variasi suhu post curing,” *J. Profesi Ins. Indones.*, vol. 1, no. 7, pp. 235–241, 2023.
- [15] Muhammad Taufik Nur Fuad and Heri Yudiono, “Analisa keausan kampas rem sepeda motor berbahan komposit serbuk tempurung buah maja,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2022, doi: 10.23887/jptm.v10i1.44431.
- [16] Prantasi Harmi Tjahjanti and Avit Dwi Payana, “Pemanfaatan serat pelepah pisang sebagai bahan penguat komposit kampas rem sepeda motor non-asbestos,” *J. Mesin Nusantara*, vol. 8, no. 2, pp. 290–302, 2025.
- [17] Mastariyanto Perdana, Meiki Eru Putra, Akmal, Hengki Putra, Murfid Al Ikram, and Ardhy Meidianda, “Karakteristik komposit cangkang kelapa



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- sawit/alumina/epoksi sebagai material kampas rem sepeda motor,” *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 13, no. 1, pp. 13–18, 2023.
- [18] Dony Eko Prasetyo, Hadi Sutanto, and Arka Dwinanda Soewono, “Structural analysis of brake shoe with aluminum alloy, cast iron, magnesium alloy and brake linings with different carbon variants under static load,” *J. Unimma*, vol. 7, no. 3, pp. 374–388, 2024, doi: 10.31603/ae.11207.
- [19] Mulia, Supriadi, and Safri Gunawan, “Performance analysis and microstructure of brake shoe composite material made of pecan, aluminum, and pineapple leaf fiber,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2193, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2193/1/012036.
- [20] Erika Ardelean, Flavius Bucur, Corneliu Birtok-Băneasă, Ana Socalici, Marius Ardelean, and Adina Budiul Berghian, “Optimizing the chemical composition of brake shoes according to the hardness recommended by the product standard,” *J. Mater.*, pp. 1–23, 2023.
- [21] T. A. Kristiawan, A. D. Wibowo, T. Setiyawan, and R. T. Indrawati, “The influence of using a sleeve machine on the production cost of brake shoe products in the die casting department of PT XYZ,” *J. Mech. Eng. Appl. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–42, 2024, doi: 10.32497/jmeat.v2i1.5475.
- [22] Hersendro Sulistyo and Vinan Viyus, “Simulation on the effect of braking force and brake shoe material type on the wear rate of railway bogie brake block,” *J. Tek. Mesin, Ind. Elektro dan Inform.*, vol. 3, no. 3, pp. 378–394, 2024.
- [23] Sergii Panchenko *et al.*, “Detecting the influence of uneven loading of the brake shoe in a freight car bogie on its strength,” *J. Enterp. Technol.*, vol. 7, pp. 6–13, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.287791.
- [24] Vira Pramadhani Putri, Dahlan, and Totok Suryono, “Analisis pola keausan brake shoe pada kereta mass rapid transit jakarta,” *J. Tek. Transp.*, vol. 2, no. 2, pp. 128–139, 2023.
- [25] Rizky Ramadhan and Dr.Ing.Ir. Ikhwansyah Isranuri, “Studi eksperimental kebisingan pada kampas rem sepeda motor yang terbuat dari material komposit hazelnut, pineapple, aluminium,” *J. Din.*, vol. 10, no. 1, pp. 30–38,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2022.

- [26] Muhammad Naufal Farros Aqilla, “Analisis pengaruh perendaman oli terhadap sifat fisik dan tribologi kampas rem berbasis cangkang telur dan serat bambu dengan variasi fraksi volume,” 2025.
- [27] Muhammad Errizky Wibowo, “Pengaruh variasi formulasi bahan pada produksi komposit friction materials kampas rem terhadap sifat mekanik dan tribologi,” 2025.
- [28] Lili Mulyani, Ferry Setiawan, and Edi Sofyan, “Analisis karakteristik keausan material dengan matriks resin menggunakan filler serat bambu dan pasir besi untuk aplikasi kampas rem,” vol. 8, no. 1, pp. 103–111, 2022.
- [29] JEOL, “Energy dispersive X-ray Analytics (EDS) - JEOL JED-2300 Analysis Station,” JEOL COMPANY.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



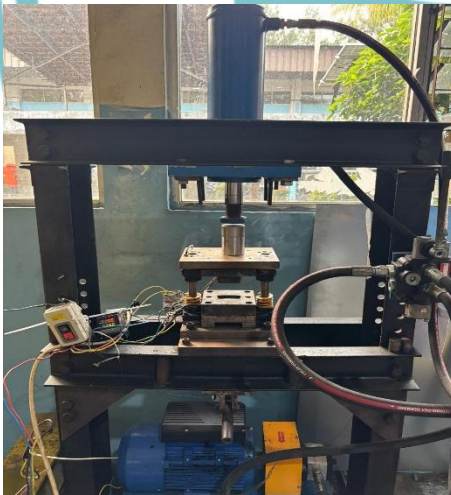
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 2 Perhitungan Komposisi

Diketahui:

Massa jenis serbuk arang sekam padi	= 0,90 gram/cm ³
Massa jenis resin epoksi	= 1,17 gram/cm ³
Massa jenis rubber powder	= 1,2 gram/cm ³
Massa jenis sulfur powder	= 2,07 gram/cm ³
Massa jenis zinc oxide powder	= 5,6 gram/cm ³
Massa jenis barium sulfate powder	= 4,5 gram/cm ³
Massa jenis brass powder	= 8,73 gram/cm ³
Massa jenis aluminium powder	= 2,7 gram/cm ³
Massa jenis hexamethylenetetramine powder	= 1,33 gram/cm ³
Volume cetakan	= 8.900 mm ³ = 8,9 cm ³

Perhitungan Komposisi

Massa Serbuk Arang Sekam Padi

$$m_{ASP} = V_{cetakan} \times V_{ASP\%} \times \rho_{ASP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 10\% \times 0,90 \text{ gram/cm}^3 = 0,801 \text{ gram}$$

$$m_{ASP} = V_{cetakan} \times V_{ASP\%} \times \rho_{ASP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 15\% \times 0,90 \text{ gram/cm}^3 = 1,201 \text{ gram}$$

$$m_{ASP} = V_{cetakan} \times V_{ASP\%} \times \rho_{ASP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 20\% \times 0,90 \text{ gram/cm}^3 = 1,602 \text{ gram}$$

Massa Resin Epoksi

$$m_{RE} = V_{cetakan} \times V_{RE\%} \times \rho_{RE} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 15\% \times 1,17 \text{ gram/cm}^3 = 1,561 \text{ gram}$$

$$m_{RE} = V_{cetakan} \times V_{RE\%} \times \rho_{RE} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 20\% \times 1,17 \text{ gram/cm}^3 = 2,082 \text{ gram}$$

$$m_{RE} = V_{cetakan} \times V_{RE\%} \times \rho_{RE} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 25\% \times 1,17 \text{ gram/cm}^3 = 2,603 \text{ gram}$$

Massa Rubber Powder

$$m_{RP} = V_{cetakan} \times V_{RP\%} \times \rho_{RP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 25\% \times 1,2 \text{ gram/cm}^3 = 2,67 \text{ gram}$$

Massa Sulfur Powder

$$m_{SP} = V_{cetakan} \times V_{SP\%} \times \rho_{SP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 6\% \times 2,07 \text{ gram/cm}^3 = 1,105 \text{ gram}$$



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Massa Zinc Oxide Powder

$$m_{ZOP} = V_{\text{cetakan}} \times V_{ZOP\%} \times \rho_{ZOP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 2\% \times 5,6 \text{ gram/cm}^3 = 0,996 \text{ gram}$$

Massa Barium Sulfate Powder

$$m_{BSP} = V_{\text{cetakan}} \times V_{BSP\%} \times \rho_{BSP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 10\% \times 4,5 \text{ gram/cm}^3 = 4,005 \text{ gram}$$

Massa Brass Powder

$$m_{BP} = V_{\text{cetakan}} \times V_{BP\%} \times \rho_{BP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 10\% \times 8,73 \text{ gram/cm}^3 = 7,769 \text{ gram}$$

Massa Aluminium Powder

$$m_{AP} = V_{\text{cetakan}} \times V_{AP\%} \times \rho_{AP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 10\% \times 2,7 \text{ gram/cm}^3 = 2,403 \text{ gram}$$

Massa Hexamethylenetetramine Powder

$$m_{HP} = V_{\text{cetakan}} \times V_{HP\%} \times \rho_{HP} = 8,9 \text{ cm}^3 \times 2\% \times 1,33 \text{ gram/cm}^3 = 0,236 \text{ gram}$$

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Keausan

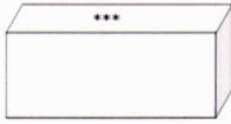


FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
 Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
 WhatsApp. 0819-2884-9045 | Tel. 021-7884 9045
 email : cmpfaftui@ui.ac.id website : www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN KEAUSAN
WEAR RESISTANCE TEST REPORT
 Hal 1 dari 3

No Laporan	M0046	Tanggal Terima	2 Juni 2026
Report Nr		Receiving Date	
No Kontrak	M0046/PT.02/FT04/P/2026	Tanggal Uji	17 Juni 2026
Contract Nr.		Date of Test	
Pemakai Jasa	Edward Feliks Sanmarlanto Purba	Metode Uji	ASTM G99
Customer	Djamel	Testing method	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta	Jenis Uji	Aus
Address		Type Of Test	
Bahan	Fe Based	Mesin Uji	OGOSHI
Material		Testing machine	

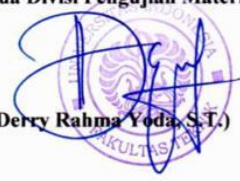
Sketsa Sampel
 Sample Figure



* Daerah penjejakan

Kode Sampel	Lebar Jejak Rata-rata (b) [mm]	Tebal Cincin (B) [mm]	Diameter Cincin (d) [mm]	Beban (P) [Kg]	Jarak Luncur (x) [m]	Kecepatan [m/s]	Spesifik Abrasi [mm ³ /mm]
A1	3.55	3	30	3.16	100	1.97	7.4564792×10^{-6}
A2	3.01	3	30	3.16	100	1.97	4.5451502×10^{-6}
A3	2.92	3	30	3.16	100	1.97	4.1495147×10^{-6}

Depok, 17 Juni 2026
 Ketua Divisi Pengujian Material



(Derry Rahma Yoda, S.T.)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan ijin dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS

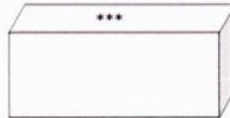
Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
WhatsApp. 0819-2884-9045 | Tel. 021-7884 9045
email : cmpfaiui@ui.ac.id website : www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN KEAUSAN
WEAR RESISTANCE TEST REPORT

Hal 2 dari 3

No Laporan	M0046	Tanggal Terima	2 Juni 2026
Report Nr		Receiving Date	
No Kontrak	M0046/PT.02/FT04/P/2026	Tanggal Uji	17 Juni 2026
Contract Nr.		Date of Test	
Pemakai Jasa	Edward Feliks Sanmarlanto Purba	Metode Uji	ASTM G99
Customer	Djamel	Testing method	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta	Jenis Uji	Aus
Address		Type Of Test	
Bahan	Fe Based	Mesin Uji	OGOSHI
Material		Testing machine	

Sketsa Sampel
Sample Figure



* Daerah penjejakan

Kode Sampel	Lebar Jejak Rata-rata (b) [mm]	Tebal Cincin (B) [mm]	Diameter Cincin (d) [mm]	Beban (P) [Kg]	Jarak Luncur (x) [m]	Kecepatan [m/s]	Spesifik Abrasi [mm ³ /mm]
B1	3.33	3	30	3.16	100	1.97	6.1543395×10^{-6}
B2	3.06	3	30	3.16	100	1.97	4.7754360×10^{-6}
B3	3.70	3	30	3.16	100	1.97	8.4421667×10^{-6}

Depok, 17 Juni 2026
Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yoda, S.T.)



Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji - CMPFA FTUI ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian harus dengan izin dari Laboratorium Uji - CMPFA FTUI



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
 Gedung MRC Lantai 2 Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok 16424
 WhatsApp. 0819-2884-9045 | Tel. 021-7884 9045
 email : cmpfaftui@ui.ac.id website : www.cmpfa-ui.co.id

LAPORAN PENGUJIAN KEAUSAN
WEAR RESISTANCE TEST REPORT
 Hal 3 dari 3

No Laporan	M0046	Tanggal Terima	2 Juni 2026
Report Nr		Receiving Date	
No Kontrak	M0046/PT.02/FT04/P/2026	Tanggal Uji	17 Juni 2026
Contract Nr.		Date of Test	
Pemakai Jasa	Edward Feliks Sanmarlanto Purba	Metode Uji	ASTM G99
Customer	Djamal	Testing method	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta	Jenis Uji	Aus
Address		Type Of Test	
Bahan	Fe Based	Mesin Uji	OGOSHI
Material		Testing machine	

Sketsa Sampel
 Sample Figure

* Daerah penjejakan

Kode Sampel	Lebar Jejak Rata-rata (b) [mm]	Tebal Cincin (B) [mm]	Diameter Cincin (d) [mm]	Beban (P) [Kg]	Jarak Luncur (x) [m]	Kecepatan [m/s]	Spesifik Abrasi [mm ³ /mm]
C1	2.11	3	30	3.16	100	1.97	1.5656552×10^{-6}
C2	2.08	3	30	3.16	100	1.97	1.4998187×10^{-6}
C3	3.23	3	30	3.16	100	1.97	5.6163778×10^{-6}

Depok, 17 Juni 2026
 Ketua Divisi Pengujian Material

(Derry Rahma Yoda, S.T.)

CS Scanned with CamScanner

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji – CMPFA FTUI ; publikasi serta pengutipan dokumen ini akan sebagai bentuk cengkaman dari Laboratorium Uji – CMPFA FTUI



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 Data Hasil Pengujian Koefisien Gesek



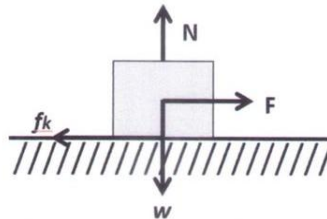
**PT PANCARAN
TEKNOLOGI
INVESTINDO**
Material Testing & Inspection
ISO 9001:2015

LAPORAN PENGUJIAN KOEFISIEN GESEK COEFFICIENT OF FRICTION TEST REPORT

Hal 1 dari 1

Nomor Laporan	M-032/R-PTI/2026	Tanggal Terima	18 Juni 2026
Report Number		Receiving Date	
Nomor Kontrak	085/U/JIPTI/2026	Tanggal Uji	20 Juni 2026
Contract Number		Date of Test	
Pemakai Jasa	Edward Feliks Sanmarlanto Purba	Metode Uji	ISO D1894
Customer		Testing method	
Alamat	Politeknik Negeri Jakarta. Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16425.	Jenis Uji	
Address		Type Of Test	Gesek Mekanis
Bahan	Produk	Mesin Uji	Load Cell & TM2101-T5 Servo Control Computer System
Material		Testing machine	Universal Testing Machines

Sketsa Sampel
Sample Figure



Kode Sample Sample Code	Gaya Normal Normal Force (N)	Gaya Horizontal Applied Force (N)	Koefisien Gesek coefficient of friction (μ)	Keterangan Remarks
C1	3.815	2.472	0.648	-
C2	3.815	2.354	0.617	-

Bogor, 22 Juni 2026
Kepala Divisi Pengujian Material

(Ina Nurnichwah S.T., M.Pd.)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di PT Pancaran Teknologi Investindo; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari PT Pancaran Teknologi Investindo.



Head Office:
Technology Business Incubation Center (TBIC) PUSPIPIK R. B2 Lt.1. Pengasinan, Gunung
Sindur, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16340.
Branch Office and Laboratory:
Diponegoro No.108, Setilodarna, Kec. Tambora, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17510.

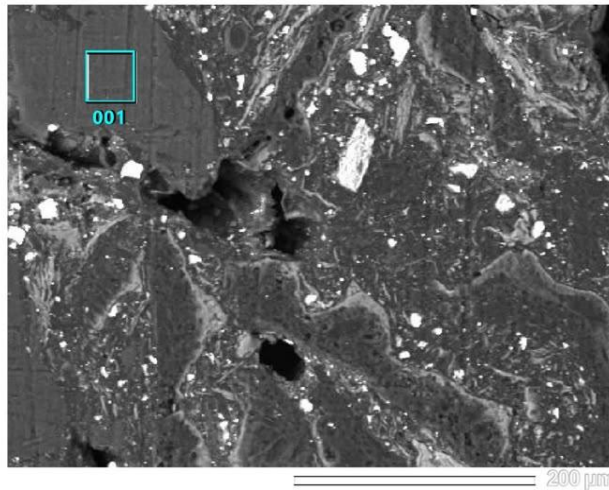
+62 821 7777 8437
pancantesting@gmail.com
http://www.pancatekindo.com



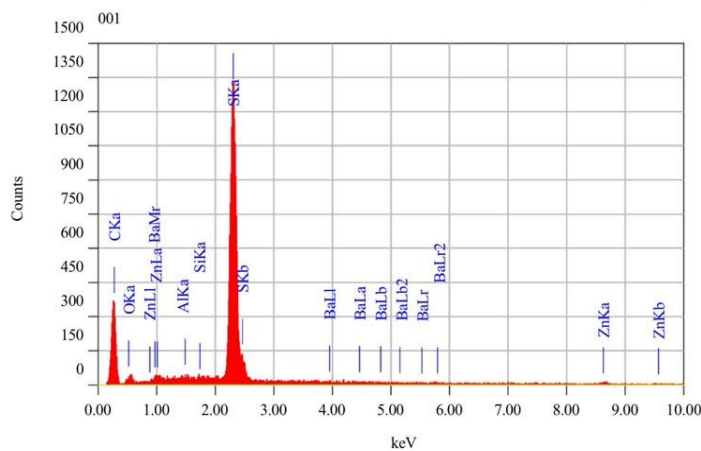
Lampiran 5 Data Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope–Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM-EDS)

C2 -01

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6360 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 250
Date	: 2026/06/24
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6360 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T2
Real Time	: 30.47 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 1 %
Counting Rate	: 1139 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.3300

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	80.59	0.34	91.92				23.4112
O K*	0.525	0.17	0.67	0.15				0.1474
Al K*	1.486	0.03	0.10	0.02				0.0937
Si K*	1.739	0.07	0.10	0.04				0.2353
S K	2.307	17.83	0.08	7.62				72.3486
Zn K*	8.630	1.27	1.01	0.27				3.6692
Ba L*	4.464	0.03	0.52	0.00				0.0946
Total		100.00		100.00				

JED-2300 AnalysisStation

JEOL



Scanned with CamScanner

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



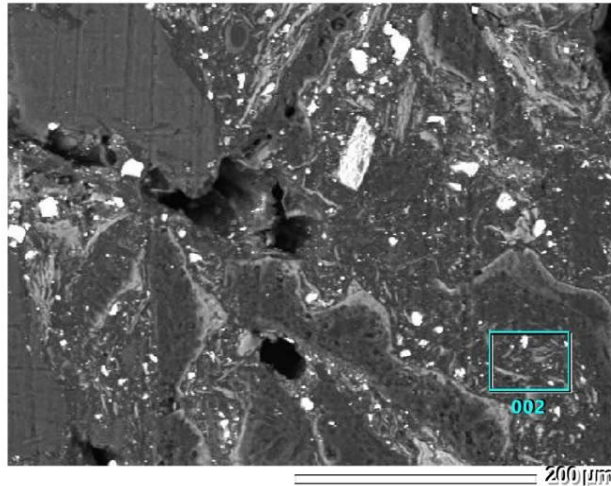
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

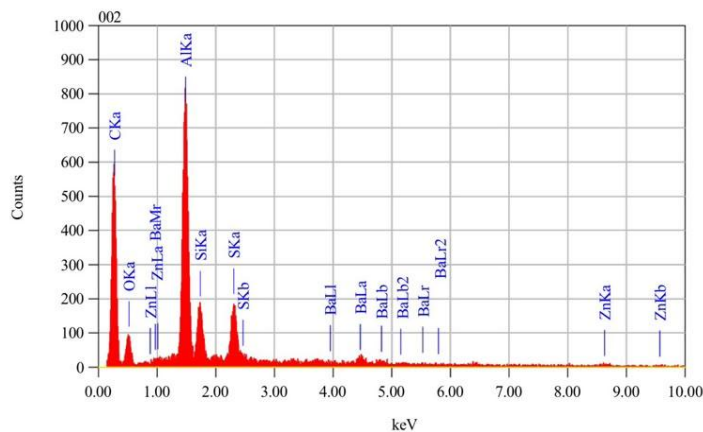
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

C2 -02

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6360 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 250
Date	: 2026/06/24
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6360 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T2
Real Time	: 30.45 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 1 %
Counting Rate	: 1079 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.4135

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	64.77	0.18	78.19				39.1167
O K	0.525	12.46	0.70	11.29				11.0577
Al K	1.486	12.73	0.15	6.84				26.3633
Si K	1.739	3.06	0.17	1.58				6.1217
S K	2.307	3.56	0.13	1.61				9.5821
Zn K ^a	8.630	1.05	1.41	0.23				2.3368
Ba L	4.464	2.38	0.70	0.25				5.4217
Total		100.00		100.00				

JED-2300 AnalysisStation

JEOL



Scanned with CamScanner



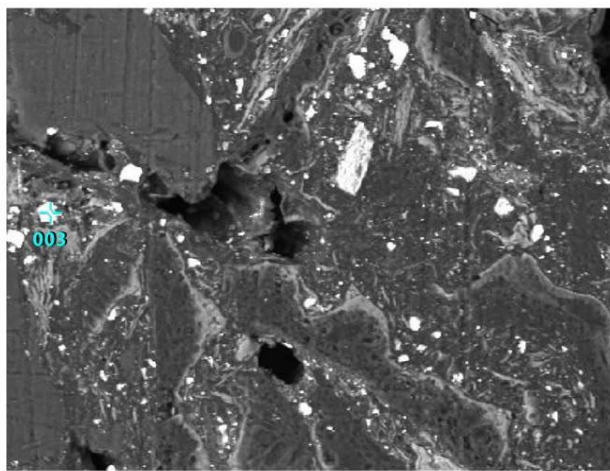
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

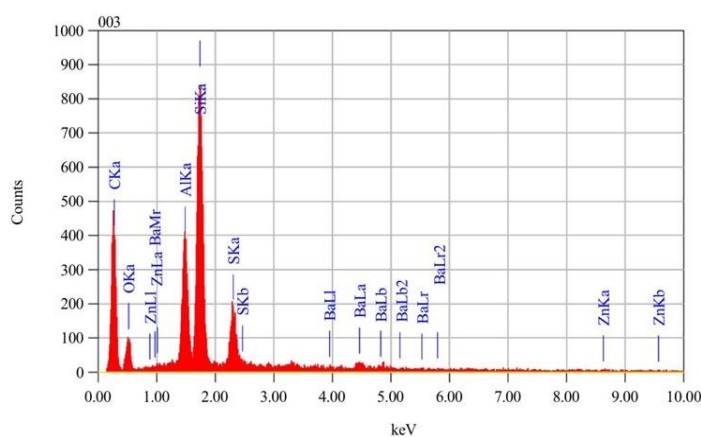
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

C2 -03

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6360 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 250
Date	: 2026/06/24
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6360 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T2
Real Time	: 30.45 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 1 %
Counting Rate	: 1126 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.4195

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	60.46	0.20	74.87				29.0766
O K	0.525	13.56	0.61	12.61				12.3817
Al K	1.486	6.20	0.13	3.42				13.0457
Si K	1.739	13.27	0.14	7.03				29.5376
S K	2.307	3.68	0.12	1.71				9.5574
Zn K ^a	8.630	0.49	1.25	0.11				1.0978
Ba L	4.464	2.33	0.62	0.25				5.3032
Total		100.00		100.00				

JED-2300 AnalysisStation

JEOL



Scanned with CamScanner



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 6 Daftar Riwayat Hidup

Daftar Riwayat Hidup

1. Nama Lengkap : Edward Feliks Sanmarlanto Purba
2. NIM : 2202411008
3. Tempat, Tanggal Lahir: Jakarta, 18 November 2003
4. Jenis Kelamin : Laki-laki
5. Alamat : Jalan Bulak Cabe RT. 006/RW. 009 No. 9, Kelurahan Cilincing, Kecamatan Cilincing, Kota Administrasi Jakarta Utara, DKI Jakarta, Kode Pos: 14120
6. E-mail : edward.feliks.sanmarlanto.purba.tm22@mhs.w.pnj.ac.id
7. Pendidikan
 - SD (2010 – 2016) : SDK Harapan Bagi Bangsa
 - SMP (2016 – 2019) : SMPN 244 Jakarta
 - SMA (2019 – 2022) : SMAN 114 Jakarta
8. Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
9. Jurusan : Teknik Mesin
10. Tempat/Topik OJT : PT Asianagro Agungjaya Jakarta/Proses Manufaktur *Shortening* dan *Margarine* Menggunakan Mesin Polaron di PT Asianagro Agungjaya Jakarta

