

**PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik *PHENOLIC*
RESIN DI PERKUAT DENGAN PADUAN LOGAM DAN
BAGASSE ASH MENGGUNAKAN METODE
METALURGI SERBUK**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
kelulusan Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik manufaktur Negeri Bangka
Belitung



Disusun oleh:

Muhammad Fadhil NIM:1042219

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2025/2026**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik *PHENOLIC RESIN*

DIPERKUAT DENGAN PADUAN LOGAM DAN *BAGASSE ASH*

MENGGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK

Oleh:

Muhammad Fadhil NIM: 1042219

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan
Program Sarjana Terapan/Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka
Belitung

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng.

Pembimbing II



Erwanto, S.S.T., M.T.

Penguji I



Juanda, S.S.T., M.T.

Penguji II



Sugiyarto, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhammad Fadhil NIM: 1042219

Dengan Judul : Proses pembuatan komposit matrik *phenolic resin* di perkuat dengan Paduan logam dan *Bagasse ASH* menggunakan metode metalurgi serbuk

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 21 Juli 2025

Nama Mahasiswa

1. Muhammad Fadhil

Tanda Tangan



ABSTRAK

Pada umumnya kampas rem yang sering digunakan mengandung bahan asbestos. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kampas rem ramah lingkungan berbasis komposit dengan menggunakan resin fenolik sebagai matriks dan penguat yang terdiri dari serbuk aluminium, kuningan, pasir silika, serta bagasse ash (ampas tebu). Proses pembuatan kampas rem dilakukan dengan metode metalurgi serbuk, yang meliputi tahap pencampuran menggunakan ball mill dan digunakan parameter proses yang meliputi parameter Ball Powder weight Ratio (BPR) 10:1, kecepatan mesin yaitu 90 rpm dan waktu penggilingan 4 jam. Proses kompaksi dingin dengan tekanan bervariasi (5000, 5300, dan 5600 Psi), serta sintering pada suhu 60°C selama 10 menit. Variasi komposisi matriks dan penguat yang digunakan adalah 42%, 50%, dan 58% berat. Pengujian dilakukan terhadap sifat kekerasan menggunakan uji Hardness Brinell dan densitas menggunakan metode Archimedes ASTM B962-17. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi tekanan kompaksi dan persentase matriks berpengaruh terhadap kekerasan. Pada pengujian ini diperoleh pada komposisi matriks 42% dan tekanan kompaksi 5000 Psi dengan nilai kekerasan memenuhi standar kampas rem komposit yaitu 104 HB, tetapi belum memenuhi standar densitas. Sedangkan pada komposisi 58% matriks dan tekanan kompaksi 5600 Psi memiliki nilai densitas yang hampir memenuhi standar yaitu 1,467 g/cm³ tetapi nilai kekerasannya melebihi standar yaitu 138 HB.

Kata Kunci: kampas rem, resin fenolik, bagasse ash, metalurgi serbuk, kompaksi, kekerasan, densitas.

ABSTRACT

In general, brake linings that are often used contain asbestos materials. This research aims to develop composite-based environmentally friendly brake linings using phenolic resin as a matrix and reinforcement consisting of aluminum powder, brass, silica sand, and bagasse ash. The process of making brake linings is carried out using the powder metallurgy method, which includes the mixing stage using a ball mill and process parameters are used which include Ball Powder weight Ratio (BPR) parameters of 10:1, engine speed of 90 rpm and grinding time of 4 hours. Cold compaction process with varying pressures (5000, 5300, and 5600 Psi), and sintering at 60°C for 10 minutes. The matrix and reinforcement composition variations used were 42%, 50%, and 58% by weight. Tests were conducted on hardness properties using the Brinell Hardness test and density using the Archimedes ASTM B962-17 method. The results showed that variations in compaction pressure and matrix percentage had an effect on hardness. In this test obtained at 42% matrix composition and 5000 Psi compaction pressure with a hardness value that meets the standard of composite brake lining, namely 104 HB, but has not met the density standard. While at 58% matrix composition and 5600 Psi compaction pressure has a density value that almost meets the standard of 1.467 g/cm³, but the hardness value exceeds the standard of 138 HB.

Keywords: brake linings, phenolic resin, bagasse ash, powder metallurgy, compaction, hardness, density.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala Puji dan Syukur dan hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK *PHENOLIC RESIN* DIPERKUAT DENGAN PADUAN LOGAM DAN *BAGASSE ASH* MENGGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK”**. Tidak lupa penulis mengucapkan syalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sosok yang menjadi inspirasi dan teladan bagi penulis. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Terapan dan menyelesaikan pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Penulis juga menyadari panjangnya perjalanan dari mulai ingin melanjutkan kuliah sampai pada penyusunan skripsi ini tidaklah mudah, namun dengan bantuan, dukungan, doa, dan kehendaknyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis dengan kerendahan hati ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada kedua orang tua saya yang saya sayangi yaitu, bapak yang tercinta Mustar dan ibu yang tercinta Yunita yang telah menyayangi dan mendoakan untuk kebaikan hidup penulis bisa berdiri dengan gagah sampai pada titik ini. Semoga Allah SWT bisa memberi ke Baikan dan ke Ikhlasan kepada kedua orang tua saya yang telah melahirkan dan mendidik penulis. Amin
2. Kakak penulis Heri Setiawan dan adik Zaki Apriansyah yang selalu menjadi penyemangat di tengah kesibukan penulis dalam mengejar gelar Sarjana. Semoga kalian mengikuti jejak yang sampai pada titik ini dan menjadi golongan anak-anak yang terpelajar.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Polman Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Dr.Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
 6. Bapak Dr.Sukanto, S.S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama sekaligus wali dosen selama penulis berada di Politeknik Manufaktur Bangka Belitung yang telah banyak memberikan masukan, Ilmu, Pengalaman, menyediakan waktu, tenaga, dan bimbingan untuk penyediaan makalah penelitian.
 7. Bapak Erwanto, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua yang telah banyak memberikan arahan, Ilmu, Pengalaman dalam sistematika penulisan makalah penelitian ini.
 8. Untuk Teman-teman yang melakukan penelitian dalam konteks yang sama Fibry Yansha, Devrin Dwiki Saputra, Ardiansyah yang sama-sama berjuang untuk lulus dan mendapat gelar sarjana. Kalian adalah teman-teman yang hebat semoga kalian menjadi orang-orang sukses untuk sekarang dan nanti.
 9. Serta teman-teman saya Hadi usman, Fathullah faing, Ikhwan Mukhtari arifin yang telah membantu dan menyemangati saya dalam penulisan Skripsi ini.
 10. Seluruh teman-teman satu kelas saya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu mahasiswa Teknik Mesin Manufaktur Negeri Bangka Belitung Angkatan 2022 yang telah saling mendoakan dan mendukung satu sama lain.
- Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan bagi kita semua.
Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sungailiat, 21 Juli 2025

Penulis



Muhammad Fadhil

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Komposit.....	6
2.3 <i>Phenolic Resin</i>	7
2.4 Aluminium	8
2.5 Kuningan.....	9
2.6 <i>Bagasse ASH</i>	10

2.7	Pasir Silika	11
2.8	Metalurgi Serbuk.....	11
2.8.1	Pencampuran (<i>Mixing</i>)	12
2.8.2	Penekanan (Kompaksi)	13
2.8.3	Sintering	14
2.9	Kampas Rem	15
2.10	Uji Kekerasan.....	16
2.11	Uji Densitas.....	17
2.12	Metode Desain <i>Full Factorial</i>	20
2.13	Pengujian ANOVA	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Metode Penelitian.....	23
3.2	Studi Literatur	24
3.3	Parameter.....	24
3.4	Bahan dan alat penelitian	24
3.4.1	Bahan penelitian.....	25
3.4.2	Alat-alat penelitian	28
3.5	Proses Penelitian	31
3.5.1	Metalurgi serbuk	31
3.6	Validasi spesimen	33
3.7	Pengolahan data	33
3.8	Analisis Data	34
BAB IV PEMBAHASAN.....		37

4.1	Hasil proses pemaduan serbuk (<i>Mechanical Alloying</i>).....	37
4.2	Hasil Cetakan Sample	41
4.3	Uji kekerasan sebelum sintering	42
4.3.1	Proses uji kekerasan sebelum sintering.....	42
4.3.2	Pengolahan dan analisa data hasil Pengujian kekerasan sebelum.....	44
4.4	Uji densitas sebelum sintering	45
4.4.1	Proses pengujian densitas pada sample sebelum sintering	45
4.4.2	Pengolahan dan Analisa data hasil pengujian densitas sebelum	47
4.5	Sintering	51
4.5.1	Prosedur sintering	51
4.6	Uji kekerasan setelah sintering.....	52
4.6.1	Proses pengujian kekerasan setelah sintering	52
4.6.2	Pengolahan dan Analisa data hasil pengujian kekerasan sesudah.....	53
4.6.3	Uji ANOVA Nilai Kekerasan Sesudah Proses Sintering.....	55
4.7	Uji densitas setelah sintering.....	57
4.7.1	Proses pengujian densitas setelah sintering	57
4.7.2	Pengolahan dan Analisa data hasil pengujian densitas setelah	58
4.7.3	Uji ANOVA Nilai densitas Sesudah Proses Sintering.....	63
BAB V PENUTUP.....		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Ilustrasi tahapan proses penekanan serbuk	14
2. 2 Jenis-jenis kompaksi	14
2. 3 Ilustrasi proses sintering.....	15
2. 4 Jenis-jenis pengujian kekerasan	17
2. 5 Ilustrasi uji densitas.....	20
3. 1 Diagram alir	23
3. 2 Ampas tebu (<i>Bagasse ASH</i>)	25
3. 3 <i>Phenolic resin</i>	26
3. 4 Serbuk kuningan	26
3. 5 Serbuk aluminium	27
3. 6 Pasir silika	28
3. 7 Mesin <i>Ball Milling</i>	28
3. 8 Mesin press hidrolik.....	29
3. 9 Timbangan digital	29
3. 10 Cetakan spesimen.....	29
3. 11 Oven	30
3. 12 <i>Mixer</i> (Pengaduk).....	30
3. 13 Gelas ukur	30
3. 14 Alat uji densitas	31
3. 15 Alat uji kekerasan <i>portable</i>	31
4. 1 Grafik <i>Particle Size Analyzer</i> Silika	38
4. 2 Grafik <i>Particle Size Analyzer Phenolic resin</i>	39
4. 3 Grafik <i>Particle Size Analyzer</i> Aluminium.....	39
4. 4 Grafik <i>Particle Size Analyzer</i> Kuningan	39
4. 5 Grafik <i>Particle Size Analyzer Bagasse ASH</i>	40
4. 6 Serbuk 58% penguat	40
4. 7 Serbuk 50% Penguat	40

4. 8 Serbuk 42% penguat	41
4. 9 Hasil cetakan sample.....	42
4. 10 Uji kekerasan sebelum sintering	43
4. 11 Nilai yang terbaca pada layar uji kekerasan <i>portable</i>	43
4. 12 Grafik rata-rata kekerasan sebelum perlakuan sintering	45
4. 13 Proses penimbangan kering.....	46
4. 14 Proses penimbangan basah.....	47
4. 15 Grafik rata-rata pengujian densitas sebelum sintering	50
4. 16 Spesimen yang telah melalui proses sintering	52
4. 17 Proses uji kekerasan setelah sintering	53
4. 18 Grafik nilai rata-rata kekerasan setelah sintering.....	54
4. 19 Proses penimbangan kering.....	58
4. 20 Proses penimbangan basah.....	58
4. 21 Grafik nilai rata-rata densitas setelah sintering	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2. 1 sifat-sifat fisik aluminium	9
2. 2 Senyawa Kimia <i>Bagasse ASH</i>	11
2. 3 komposisi Kimia pasir Silika	11
2. 4 Syarat teknik kampas rem komposit	16
3. 1 Desain tabel hasil uji kekerasan	33
3. 2 Desain tabel nilai hasil timbang kering/basah pengujian densitas	34
3. 3 Desain tabel pengolahan data pengujian densitas	34
3. 4 Desain tabel pengolahan data <i>Full factorial</i>	35
3. 5 Desain tabel Anova	35
4. 1 Hasil uji kekerasan spesimen sebelum sintering.....	44
4. 2 Nilai hasil timbang kering sebelum sintering pada sample.....	47
4. 3 Nilai hasil timbangan basah sebelum sintering pada sample.....	48
4. 4 Pengolahan data pengujian densitas sebelum sintering.....	50
4. 5 Hasil uji kekerasan spesimen setelah sintering.....	53
4. 6 perhitungan ANOVA nilai kekerasan setelah sintering.....	55
4. 7 Nilai hasil timbang kering sesudah sintering.....	59
4. 8 Nilai hasil timbang basah sesudah sintering.....	60
4. 9 Pengolahan data pengujian densitas setelah sintering.....	62
4. 10 perhitungan ANOVA nilai densitas sesudah perlakuan sintering.....	63
4. 11 Perbandingan Dengan Penelitian Terdahulu.....	66

LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Daftar Riwayat Hidup	73
2 Hasil uji <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) <i>Bagasse ASH</i>	74
3 Hasil uji <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) Kuningan.....	75
4 Hasil uji <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) <i>Phenolic Resin</i>	76
5 Hasil uji <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) Aluminium	77
6 Hasil uji <i>Particle Size Analyzer</i> (PSA) Silika	78
7 Perhitungan mechanical alloying penguat	79
8 Perhitungan serbuk untuk setiap variasi matrik dan penguat.....	82
9 Perhitungan Anova Uji Kekerasan	83
10 Perhitungan Anova Uji Densitas	86
11 Poster Proyek Akhir	89
12 Form Bimbingan	90
13 Form Monitoring.....	91
14 Cek Plagiasi.....	92

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kampas rem adalah bagian yang penting pada kendaraan bermotor yang berperan dalam memperlambat atau menghentikan laju kendaraan dengan aman dan nyaman. Terutama saat berkendara dengan kecepatan tinggi, komponen ini menanggung beban hingga 90 % dibandingkan dengan bagian lain pada kendaraan [1]. Oleh karena itu, penting untuk memilih kampas rem berkualitas tinggi yang juga ramah lingkungan. Sebagian besar kampas rem yang tersedia di pasaran mengandung *asbestos*, yang dapat membahayakan kesehatan manusia dengan menyebabkan gangguan pernapasan dan kanker paru-paru serta tidak ramah lingkungan [2]. Untuk itu, diperlukan alternatif bahan lain, Salah satu bahan alternatif yang digunakan adalah abu ampas tebu (*bagasse ash*). Ampas tebu mengandung serat alami yang dapat dimanfaatkan sebagai substitusi material dalam pembuatan kampas rem *non-asbes* [3].

Material komposit sendiri adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan yang berbeda, yang tidak tercampur tetapi membentuk satu kesatuan dengan sifat mekanik yang lebih baik [4]. Resin fenolik diproduksi hampir 6 juta ton/tahun di seluruh dunia dan ditemukan sebagai salah satu resin yang paling banyak dikonsumsi, bahkan dengan keterbatasan tertentu, seperti kerapuhan dan penyusutan. Resin fenolik dikenal sebagai pengikat untuk berbagai substrat seperti serat, kayu, substrat kaca, komponen logam, kertas, karet, dll. Resin ini menampilkan karakteristik yang lebih baik dan hemat biaya dibandingkan dengan sebagian besar sistem resin polimer lainnya. Resin fenolik telah dipelajari secara mendalam untuk tujuan komersial dan masih belum ada pengganti fenolik dalam hal stabilitas dan kualitas ketahanan panas [5].

Logam sering dikaitkan dengan benda keras dan berkilau seperti emas, perak, atau besi. Namun, dalam tabel periodik unsur, logam juga mencakup material dengan tekstur lebih lunak [6]. Meskipun hampir semua logam dapat diubah menjadi serbuk, hanya beberapa jenis yang ekonomis untuk digunakan dalam

pembuatan produk jadi, seperti besi, tembaga, dan nikel, yang umum digunakan dalam metalurgi serbuk [7]. Metalurgi serbuk merupakan metode pembentukan logam yang dilakukan dengan menggunakan material logam berukuran partikel sangat halus. Dalam proses ini, serbuk logam dimasukkan ke dalam cetakan dan kemudian dikompaksi. Setelah proses kompaksi, serbuk akan membentuk benda padat awal (*green body*) yang menyerupai bentuk cetakan. Benda padat ini kemudian mengalami proses sintering pada suhu tertentu. Tujuan sintering adalah untuk memungkinkan partikel-partikel serbuk bergerak dan saling mengikat, sehingga membentuk struktur yang lebih rapat dan padat [8]. Metode ini menawarkan sejumlah keunggulan, salah satunya adalah efisiensi penggunaan material yang tinggi, kemampuan menciptakan paduan dari bahan dengan perbedaan densitas dan titik lebur tinggi, serta pengendalian porositas dan homogenitas produk. Namun, ada juga beberapa keterbatasan, seperti kesulitan dalam membentuk benda dengan ukuran dan bentuk tertentu [9]. Tahapan dalam metalurgi serbuk meliputi pencampuran, pemadatan, dan sintering. Pada proses ini, tahap pemadatan atau kompaksi material memegang peranan penting untuk memperoleh tingkat kepadatan yang optimal pada produk akhir [10].

Oleh karena itu penelitian ini bertujuan membuat kampas rem komposit dengan menggunakan phenolic resin sebagai matriks yang diperkuat dengan paduan logam serta ampas tebu

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa pengaruh persentase bahan dan variasi kompaksi terhadap kekerasan dan densitas kampas rem?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh persentase bahan dan variasi kompaksi terhadap kekerasan dan densitas kampas rem

1.4 Batasan masalah

Peneliti menetapkan batasan masalah untuk mempermudah pengumpulan data dan informasi agar tujuan penelitian ini tidak menyimpang, berikut dibawah ini Batasan masalah yang ditetapkan:

1. Penguat yang digunakan adalah serbuk aluminium, kuningan, pasir silika, dan *bagasse ash*.
2. Pengikat penelitian ini menggunakan serbuk *phenolic resin*.
3. *Mixing* serbuk penguat menggunakan mesin *ball mill* dengan waktu 4 jam.
4. Pencampuran serbuk *phenolic resin* dan penguat menggunakan *mixer* selama 1 menit.
5. Varian tekanan kompaksi penelitian ini yaitu 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi dengan waktu tunggu tekan 10 menit.
6. Varian matrik dan penguat yaitu 42 % matrik dengan 58 % penguat, 50 % matrik dengan 50 % penguat, dan 58 % matrik dengan 42 % penguat.
7. Suhu sintering 60°C.
8. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian Densitas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penelitian yang telah dibahas pada Bab I, diperlukan pemahaman mendalam terkait studi yang mengadopsi prinsip, material, dan metode serupa. Dalam penelitian ini, metode metalurgi serbuk diterapkan untuk menganalisis ketebalan dimensi serta tingkat kerataan permukaan spesimen. Komposit matriks *phenolic* resin diperkuat dengan serbuk logam dan *bagasse ash* untuk diaplikasikan pada kampas rem sepeda motor. Fokus penelitian ini terletak pada variasi penguat dalam matriks komposit serta perbedaan tekanan yang digunakan selama proses kompaksi dingin.

Pengaruh tekanan kompaksi panas dan suhu sintering terhadap densitas dan kekerasan material dibahas dalam penelitian yang dilakukan oleh Anggreni, Yulia (2024), "Pembuatan komposit AMC diperkuat hybrid *bagasse ash-alumina* terhadap variasi kompaksi dan suhu sintering dengan metode metalurgi serbuk." Untuk penelitian ini, metode metalurgi serbuk digunakan sebagai pendekatan utama. Metode ini mencakup langkah-langkah persiapan, campuran, kompaksi, dan sintering. Dengan rasio bola 10:1 dan waktu pengadukan 2 jam dan kecepatan putar 90 rpm, mesin *ball mill* digunakan untuk proses pencampuran ini. Proses kompaksi dilakukan dengan metode penekanan dua arah menggunakan mesin press hidrolik yang dilengkapi alat pengukur tekanan. Parameter tekanan yang digunakan dalam proses ini adalah 5600 Psi, 6000 Psi, dan 6400 Psi, dengan waktu tahan selama 15 menit. Selanjutnya, proses sintering dilakukan pada suhu 550°C, 580°C, dan 610°C dengan waktu tahan selama 10 menit. Pengujian densitas spesimen mengacu pada prinsip hukum Archimedes dan mengikuti standar ASTM B962-17 mendapatkan hasil dengan nilai tertinggi 1,59 gr/cm³, Sedangkan pengujian kekerasan dilakukan dengan berpedoman pada uji kekerasan *Brinell* Portable dengan ASTM E110-14 mendapatkan hasil tertinggi dinilai 42,76 HRB, nilai tertinggi tersebut terdapat Pada tekanan kompaksi sebesar 6400 Psi, hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi

tekanan yang diberikan, maka semakin tinggi pula nilai kekerasan dan densitas sampel. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan tekanan kompaksi berpengaruh positif terhadap kerapatan struktur material dan kekuatan mekaniknya [11].

Penelitian berjudul "Kelayakan Kampas Rem Sepeda Motor *Non Asbestos* dari Bahan Ampas Tebu (*Bagasse*)" dilakukan oleh Mochammad Fakri Sugianto dan Arlini Dyah Radityaningrum pada tahun 2020. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimal dalam pembuatan kampas rem kendaraan bermotor berbasis ampas tebu *non-asbestos* tanpa melalui proses karbonisasi. Studi dilakukan dengan menggunakan variasi campuran antara ampas tebu, serbuk aluminium, dan serbuk kuningan. Tiga formulasi yang diuji meliputi: 50 % ampas tebu, 25 % serbuk aluminium, dan 25 % serbuk kuningan; 40 % ampas tebu, 30 % serbuk aluminium, dan 30 % serbuk kuningan; serta 30 % ampas tebu, 35 % serbuk aluminium, dan 35 % serbuk kuningan. Semua ini diuji dalam skala laboratorium. Untuk setiap varian, perbandingan resin *epoxy* dengan hardener yang digunakan adalah satu per satu. Ampas tebu yang digunakan memiliki ukuran tanpa ayakan, 50 mesh, dan 100 mesh. Parameter pengujian meliputi tingkat keausan, kekerasan *Vickers*, uji dampak, serta pengamatan mikroskopis. Berdasarkan hasil pengujian, komposisi 1 dengan ukuran partikel 50 mesh menunjukkan performa terbaik dalam hal keausan, kekerasan, dan dampak, dengan masing-masing nilai sebesar 1,74 mm, 18,90 HVN, dan 0,22 joule/mm²[3]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Lanang Bagus Yulqa (2016) dengan judul "Studi Komposisi Resin *Phenolic* Sebagai Bahan Matrik Dalam Pembuatan Kampas Rem Metode Campuran Kering" bertujuan untuk menguji pemanfaatan resin fenolik sebagai bahan matriks alternatif pengganti resin epoksi dalam proses pembuatan kampas rem. Material yang digunakan meliputi serbuk kuningan, serbuk aluminium, karbon, barium sulfat, kalsium karbonat, dan serat kaca. Proses pembuatan kampas rem dilakukan dengan pengepresan menggunakan beban sebesar 7,5 ton selama 7 menit, kemudian dioven selama 60 menit pada suhu 200 °C. Pengujian yang dilakukan mencakup uji gesekan dan uji kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran resin fenolik sebanyak 21,9 %

menghasilkan tingkat keausan terendah dibandingkan dengan campuran 17,4 % dan 26,1 %. Hal ini terlihat dari hasil uji gesekan, di mana tingkat keausan campuran 21,9 % mencapai 4,3 mm³/menit pada uji kering, 3,5 mm³/menit pada uji dengan air, dan 3,1 mm³/menit pada uji dengan oli. Secara keseluruhan, kampas rem yang dibuat dengan metode pencampuran basah menunjukkan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran kering. Hal ini dibuktikan dengan tingkat keausan yang lebih tinggi pada campuran 17,4 % yang menggunakan metode kering dibandingkan dengan campuran menggunakan metode basah [12].

2.2 Komposit

Komposit dapat didefinisikan sebagai kombinasi dari dua atau lebih material yang memiliki bentuk, komposisi kimia, dan sifat yang berbeda, serta tidak saling melarutkan satu sama lain. Dalam komposit, salah satu material berfungsi sebagai penguat, sementara material lainnya bertindak sebagai matrik untuk mempertahankan integritas keseluruhan. Secara umum, material komposit terdiri dari dua kategori utama, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). Matriks sendiri dapat dibedakan menjadi dua jenis, yakni termoplastik dan termoset. Beberapa jenis matriks polimer termoset yang sering digunakan meliputi *polyester*, *epoxy*, *phenolic*, dan *polyamides*, sementara matriks polimer termoplastik yang umum digunakan antara lain *polyethylene*, *polypropylene*, *nilon*, *polycarbonate*, dan *polyether-ether keton* [13].

Secara umum, komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori, antara lain:

1. Berdasarkan kombinasi material utamanya, misalnya kombinasi antara logam-organik atau logam-anorganik.
2. Berdasarkan karakteristik bentuk massanya (*bulk form*), seperti sistem matriks atau struktur laminasi.
3. Berdasarkan distribusi elemen penyusunnya, yaitu distribusi kontinu (terus menerus) dan diskontinu (terputus-putus).
4. Berdasarkan fungsi atau aplikasinya, misalnya untuk keperluan elektrik atau struktural.

Secara garis besar, menurut Jones (1975), komposit dapat dibagi menjadi tiga jenis utama, yaitu:

1. Komposit Serat (*Fibrous Composites*)
2. Komposit Partikel (*Particulate Composites*)
3. Komposit Laminasi (*Laminated Composites*) [14]

2.3 Phenolic Resin

Resin fenolik adalah jenis resin sintetis yang dihasilkan dari reaksi antara fenol dan formaldehida. Resin ini memiliki bentuk yang keras, kuat, tahan lama, serta dapat dicetak dalam berbagai kondisi. Termasuk dalam kelompok polimer termoset, resin fenolik memiliki rumus kimia $C_7H_8O_2$. Resin ini tahan terhadap panas dan air, dapat diberi berbagai warna, serta tidak bersifat toksik. Karena sifat-sifat tersebut, resin fenolik banyak dimanfaatkan sebagai bahan pelapis, laminasi, pengikat pada batu gerinda, serta pengikat logam atau kaca. Selain itu, resin ini juga dapat diolah menjadi berbagai bentuk seperti lembaran, pelat, batang, dan bentuk lainnya [12].

Resin fenolik dikenal sebagai pengikat untuk berbagai substrat seperti serat, kayu, substrat kaca, komponen logam, kertas, karet, dll. Resin ini menampilkan karakteristik yang lebih baik dan hemat biaya dibandingkan dengan sebagian besar sistem resin polimer lainnya. Resin fenolik telah dipelajari secara mendalam untuk tujuan komersial dan masih belum ada pengganti fenolik dalam hal stabilitas dan kualitas ketahanan panas.

Pada tahun 2011, Jepang menyelenggarakan konferensi Baekeland 2011 untuk memperingati perayaan seratus tahun produksi resin fenolik di Jepang. Banyak peneliti melaporkan bahwa resin fenolik mampu memenuhi banyak karakteristik yang diinginkan, seperti kekuatan mekanik yang unggul, ketahanan panas, stabilitas dimensi, serta ketahanan tinggi terhadap berbagai pelarut, air, dan asam. Selain itu, resin fenolik secara alami tahan api dan menghasilkan lebih sedikit asap saat terbakar, dibandingkan dengan epoksi.

Resin termoset adalah resin yang sangat berikatan silang yang dikenal karena kestabilannya dengan menggunakan suhu, tekanan, dan/atau penyinaran

cahaya. Material termoset adalah material padat yang sangat berikatan silang, berguna untuk material dengan kekuatan mekanik dan fisik yang tinggi untuk keperluan industri, dengan modulus dan kekuatan mekanik yang tinggi, daya tahan fisik dan stabilitas terhadap tekanan termal dan ketahanan kimia. Menariknya, resin fenolik memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan resin termoplastik atau termoset konvensional lainnya, termasuk:

- Sifat perekat yang luar biasa
- Kekakuan tinggi
- Stabilitas dimensi yang sangat baik pada suhu tinggi
- Sifat termal yang sangat baik
- Memiliki ketahanan mekanik yang unggul dan daya tahan tinggi
- Ketahanan api yang sangat baik
- Sifat isolasi panas
- Termoset yang sangat terikat silang
- Efisiensi dalam pembentukan ikatan lem
- Stabilitas kimia [5]

2.4 Aluminium

Paduan aluminium adalah salah satu material yang kini luas digunakan dalam berbagai bidang sektor industri, termasuk otomotif, konstruksi, dan lainnya. Aluminium dipilih karena sifatnya yang ringan, serta kekuatannya dapat ditingkatkan melalui pencampuran dengan elemen lain, seperti silikon, membentuk paduan aluminium-silikon (Al-Si) yang memiliki resistansi yang tinggi terhadap korosi. Paduan Al-Si juga dikenal ringan, memiliki koefisien muai yang rendah, serta merupakan konduktor listrik yang baik, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan kotak mesin pesawat, komponen mobil, dan bagian mesin lainnya. Namun, tantangan yang dihadapi adalah bahwa kekuatan dasar aluminium murni belum mencukupi untuk memenuhi standar performa yang dibutuhkan pada komponen otomotif. Oleh karena itu, salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium, yaitu melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) [15].

Aluminium termasuk logam ringan dengan massa sekitar 34 % dari massa besi untuk volume yang sama, dan lebih berat sekitar 1,5 kali dibandingkan magnesium. Meskipun memiliki sifat mekanis yang kurang baik, aluminium murni dikenal memiliki kemampuan cor (*castability*) yang cukup baik. Untuk membuat aluminium lebih kuat, sebagaimana dengan logam lain, bahan lain harus ditambahkan sesuai dengan tujuan. Karena kekuatan mereka yang lebih besar daripada aluminium murni, paduan aluminium banyak digunakan secara komersial. Zn, Mg, dan Cu biasanya ditambahkan ke paduan aluminium [16].

Tabel 2. 1 sifat-sifat fisik aluminium [17]

Nama	Satuan
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis cair	22,375 gram/cm ³
Kalor (20°C)	24,2 J/mol K
Penghantar panas 300 K	2,37 W/m K
Modulus young	70 Gpa
Modulus geser	26 Gpa
Kekerasan skala Brinell	245 mpa

2.5 Kuningan

Kuningan adalah logam hasil campuran antara logam tembaga (Cu) dan seng (Zn), di mana tembaga menjadi unsur dominan. Karena komposisinya, kuningan termasuk dalam kelompok campuran tembaga. Warna kuningan bisa berkisar dari coklat kemerahan tua hingga kuning terang keperakan, tergantung pada kadar seng yang dikandungnya, di mana seng memiliki pengaruh besar terhadap perubahan warna tersebut. Dibandingkan dengan tembaga murni, kuningan memiliki kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi, meskipun masih lebih rendah jika dibandingkan dengan baja. Kuningan memiliki sifat mudah dibentuk menjadi berbagai bentuk, bersifat sebagai Konduktor panas yang efisien, serta Secara umum memiliki ketahanan terhadap korosi akibat paparan air garam. Berkat karakteristik ini, kuningan banyak dimanfaatkan dalam pembuatan pipa, tabung, sekrup, alat musik, dan komponen kelautan [18].

2.6 *Bagasse ASH*

Bagasse atau serat ampas tebu, adalah salah satu serat alam yang banyak ditemukan di Indonesia. Pemanfaatan produk samping dan sisa pengolahan hasil pertanian atau perkebunan, termasuk pasca panen, belum optimal. Ampas tebu yang dihasilkan dalam industri pengolahan tebu menjadi gula dapat mencapai 90 % dari tebu yang diolah. Selama ini, ampas tebu biasanya digunakan sebagai bahan bakar boiler, pupuk organik, pakan ternak, dan partikel board, tetapi masih digunakan secara terbatas dan tidak bernilai ekonomi. Menggabungkan serat ampas tebu dengan material komposit dapat membantu meningkatkan pemanfaatan limbah industri, khususnya dari industri gula di Indonesia, yang sejauh ini belum mencapai optimalisasi ekonomi dan pemanfaatan hasil olahannya [19]. Serat ampas (*bagasse*) tebu adalah residu dari proses penggilingan tanaman tebu (*Saccharum officinarum*), yang menghasilkan banyak produk limbah berserat setelah niranya diekstrak atau dikeluarkan. Serat ampas tebu digunakan untuk membuat pupuk atau dibuang begitu saja, mencemari lingkungan. *Lignocellulose* adalah bahan utama serat ampas tebu. Ampas tebu ini dapat diproses menjadi papan buatan karena seratnya panjangnya antara 0,7 mm sampai dengan 2 mm dan diameternya sekitar 20 mikro. *Bagasse* mengandung air antara 48 % sampai dengan 52 %, gula sekitar 3,3 %, dan serat sekitar 47,7 %. Serat *bagasse* tidak larut dalam air dan sebagian besar tersusun dari selulosa, pentosan, serta lignin. Serat ini memiliki sifat mekanik yang baik, tidak bersifat korosif, berdensitas rendah, berbiaya relatif ekonomis, serta lebih ramah lingkungan karena dapat didaur ulang [20].

Tabel 2. 2 Senyawa Kimia *Bagasse ASH* [21]

Oksida	%
SiO ₂	83.00
Al ₂ O ₃	3.76
Fe ₂ O ₃	1.94
TiO ₂	0.15
CaO	3.62
MgO	1.80
Cr ₂ O ₃	0.01
K ₂ O	2.76
Na ₂ O	0.42
SO ₃	0.06
Mn ₂ O ₃	0.16
P ₂ O ₅	1.73

2.7 Pasir Silika

Pasir silika adalah mineral tambang yang tersusun dari kristal-kristal silika (SiO₂) serta mengandung sejumlah senyawa pengotor yang terbawa selama proses sedimentasi. Dikenal pula sebagai pasir putih, material ini berasal dari Proses pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti silika dan feldspar. Pelapukan tersebut lalu terbawa oleh aliran air atau hembusan angin, lalu mengendap di sepanjang tepi sungai, danau, atau wilayah pesisir [22].

Material ini umumnya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti sebagai bahan campuran dalam pembuatan semen, bahan baku keramik, komponen utama dalam industri kaca, serta sebagai media untuk proses penjernihan air [23].

Tabel 2. 3 komposisi Kimia pasir Silika[24]

NO	Compound Name	Chemical Formula	Perct. [%]
1	Quartz	SiO ₂	81
2	Maghemite	Fe ₂ O ₃	12
3	Anatase	TiO ₂	5
4	Zirconium Oxide	ZrO ₂	2

2.8 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk menggunakan serbuk sebagai bahan dasar sebelum proses pembentukan. Metode ini sebagian besar terdiri dari memadatkan serbuk logam hingga mencapai bentuk yang diinginkan, kemudian memanaskannya hingga suhu yang hampir mencapai titik lelehnya. Partikel logam dapat menyatu dalam proses ini karena difusi atom antar permukaannya. Metode ini memungkinkan penggunaan

campuran yang sulit difabrikasi dengan metode lain karena memungkinkan kontrol yang tepat terhadap komposisi material. Kualitas akhir dari material yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh cetakan serta proses penyelesaian akhir (*finishing touch*) [25].

2.8.1 Pencampuran (*Mixing*)

Paduan mekanis merupakan metode pengolahan serbuk padat yang melibatkan proses pengelasan dingin berulang, retakan, serta pengelasan ulang partikel serbuk menggunakan ball mill berenergi tinggi. Teknik ini pertama kali dikembangkan sekitar 50 tahun lalu untuk menghasilkan superalloy berbasis nikel (Ni) dan besi (Fe) yang diperkuat oleh dispersi oksida, terutama untuk keperluan di bidang kedirgantaraan dan aplikasi suhu tinggi. Saat ini, paduan mekanis telah menjadi metode yang penting dalam sintesis material metastabil dan material canggih lainnya yang memiliki potensi besar untuk berbagai aplikasi. Material metastabil yang dapat dihasilkan mencakup larutan padat jenuh, fase antara, kuasikristalin, paduan amorf, hingga paduan entropi tinggi. Selain itu, struktur nanokristalin telah berhasil diproduksi dalam hampir semua sistem paduan. Namun, karena ukuran partikel serbuk yang sangat halus, proses pemadatan hingga mencapai densitas maksimum tanpa pori-pori menjadi tantangan tersendiri. Untuk mengatasi tantangan ini, telah dikembangkan berbagai metode baru. Kontaminasi serbuk selama proses penggilingan dan pemadatan juga menjadi masalah, meskipun dapat diatasi dengan biaya tinggi. Beragam aplikasi telah berhasil dikembangkan dari material-material baru ini. Artikel ulasan ini memberikan gambaran umum tentang proses paduan mekanis, mekanisme pembentukan struktur nanokristalin, serta pembuatan material seperti nanokomposit dan logam amorf. Selain itu, dibahas pula aplikasi paduan mekanis dalam sintesis berbagai material canggih seperti logam murni, paduan penyimpan hidrogen, serta material untuk kebutuhan energi.

Pemrosesan material non-keseimbangan dimulai dengan memberi energi pada material dan menggunakan keadaan tereksitasi (berenergi tinggi) tersebut untuk memproses material guna memperoleh struktur mikro dan sifat yang

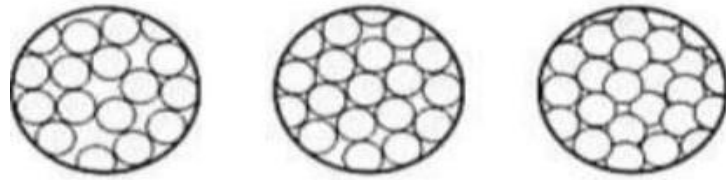
diinginkan. Para peneliti secara tradisional menggunakan suhu, tekanan, cahaya, atau listrik untuk mengubah material kesetimbangan menjadi kondisi berenergi. Namun, metode yang mudah dan tidak konvensional untuk memberi energi pada material adalah dengan menggunakan "kekuatan kasar" (atau tekanan mekanis).

Teknik paduan mekanis (MA) dikembangkan pada tahun 1960-an sebagai respons terhadap kebutuhan industri. Dihadapkan pada pertanyaan tentang mengidentifikasi material yang memiliki kekuatan yang memadai baik pada suhu menengah maupun tinggi. MA melibatkan pemuatan bubuk unsur individual atau bubuk prapaduan bersama dengan media penggilingan dalam ball mill berenergi tinggi, biasanya mempertahankan rasio berat bola terhadap bubuk sebesar 10:1 atau lebih tinggi. Proses ini melibatkan pengelasan dingin berulang, rekahan, dan pengelasan ulang partikel bubuk. Selama proses ini, ukuran bubuk yang dihasilkan dapat dikontrol dengan menyeimbangkan peristiwa rekahan dan pengelasan. Sekitar 1-2 wt % agen pengendali proses (PCA) digunakan, terutama ketika logam ulet dibuat. PCA diserap pada permukaan partikel bubuk dan meminimalkan pengelasan dingin yang berlebihan di antara mereka sendiri dan/atau ke wadah penggilingan dan media penggilingan; ini menghambat penggumpalan partikel bubuk. Ukuran partikel dan butiran berkurang secara progresif dengan waktu penggilingan, mencapai tingkat nanometer [26].

2.8.2 Penekanan (Kompaksi)

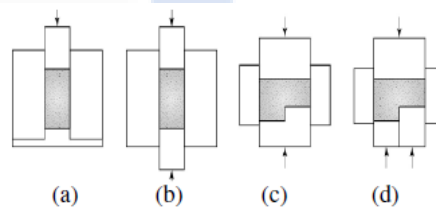
Proses kompaksi merupakan tahap penting dalam meningkatkan kerapatan dan densitas material komposit, proses kompaksi menjadi tahap yang penting. Dalam metalurgi serbuk, kompaksi dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu kompaksi panas, di mana tekanan diberikan sambil memanaskan material, dan kompaksi dingin, yang dilakukan pada suhu ruang tanpa pemanasan. Pada kompaksi panas, sampel dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu selama proses penekanan berlangsung. Sementara itu, pada kompaksi dingin, proses penekanan dilakukan pada suhu ruang tanpa pemanasan. Dalam pembuatan komposit logam, kompaksi panas merupakan metode yang lebih sering digunakan karena dapat meningkatkan sifat pembasahan pada serbuk matriks. Hal ini memungkinkan

terbentuknya ikatan mekanis yang lebih kuat antara permukaan serbuk dan partikel, serta menghasilkan ikatan *interlocking* yang lebih baik antara serbuk matriks dan serbuk penguat selama proses penekanan [27].



Gambar 2. 1 Ilustrasi tahapan proses penekanan serbuk [28]

Proses kompaksi dapat dilakukan dalam satu arah atau dua arah sumbu. Pada kompaksi dua arah, tekanan dapat diberikan dari arah yang saling berlawanan. Umumnya, proses ini melibatkan penggunaan penekan dari atas dan bawah secara bersamaan. Seperti yang ditampilkan pada (Gambar 2.2), terdapat beberapa jenis metode kompaksi, yaitu: (a) penekan tunggal, (b) dan (c) penekan ganda, serta (d) penekan jamak. Penekan bagian bawah juga berfungsi sebagai mekanisme injeksi untuk mendorong keluar produk yang telah dicetak. Untuk mengurangi gesekan, permukaan bagian dalam cetakan (*dies*) perlu dibuat sehalus mungkin [29].



Gambar 2. 2 Jenis-jenis kompaksi [29]

2.8.3 Sintering

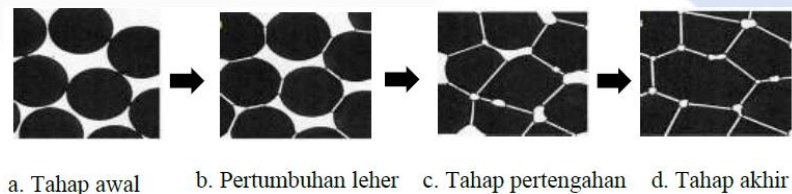
Sintering adalah proses pemanasan material di bawah titik leburnya dengan tujuan untuk mengikat partikel-partikel penyusun sehingga terbentuk struktur yang lebih padat dan kuat. Proses ini membantu meningkatkan kekuatan mekanik, stabilitas dimensional, dan homogenitas material.

Beberapa faktor yang memengaruhi proses sintering antara lain:

1. Temperatur (T): Suhu yang digunakan selama proses sintering memiliki pengaruh besar terhadap tingkat pemadatan, interaksi kimia antar partikel, serta pembentukan ikatan antar serbuk. Semakin optimal suhu yang

diterapkan, semakin baik pula hasil densifikasi dan kekuatan struktur komposit yang dihasilkan.

2. Waktu: Durasi pemanasan pada suhu sintering menentukan efektivitas pembentukan ikatan antar partikel. Waktu yang tepat diperlukan agar proses sintering berlangsung optimal.
3. Kecepatan Pemanasan dan Pendinginan: Struktur mikro dan makro bahan yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan kenaikan dan penurunan suhu.
4. Atmosfer Sintering: Gas yang ada selama proses ini memengaruhi reaksi kimia antar partikel serbuk dan mencegah oksidasi yang tidak diinginkan. Akibatnya, gas inert sering digunakan untuk mengontrol atmosfer selama proses sintering.
5. Jenis Material: Parameter sintering yang ideal ditentukan oleh karakteristik material, seperti ukuran partikel, komposisi kimia, dan sifat fisiknya. Ini karena kondisi sintering untuk setiap material berbeda [11].



Gambar 2. 3 Ilustrasi proses sintering [28]

2.9 Kampas Rem

Kampas rem adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan. Komponen ini menanggung beban kerja yang sangat tinggi, mencapai hingga 90 % dibandingkan komponen lainnya. Umumnya, kampas rem dibuat dari bahan dasar asbes yang dicampur dengan elemen tambahan seperti SiC (silikon karbida), Mn (mangan), atau Co (kobalt). Proses produksinya dilakukan melalui metode penekanan dan pemanasan (sintering), yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan daya gesek kampas rem. Proses pemanasan dilakukan pada suhu sekitar 130°C hingga 150°C, yang menyebabkan perubahan struktur material, sehingga partikel-partikel menyatu dan membentuk struktur padat yang baik dengan matriks pengikat yang kuat [30]. Kampas rem komposit harus

memenuhi standar agar dapat digunakan pada kendaraan. Berikut beberapa persyaratan Teknik kampas rem komposit bisa dilihat pada tabel 2. 5 dibawah ini [31].

Tabel 2. 4 Syarat teknik kampas rem komposit [31]

NO	Standart	Nilai
1	Kekerasan	68-105 BHN
2	Ketahanan Panas	360°C
3	Keausan	5×10^{-4} - 5×10^{-3} mm ² /kg
4	Koefisien gesek	0,14-0,27
5	Massa Jenis	1,5-2,4 gr/cm ³
6	Konduktivitas thermal	0,12-0,8 W.m.°K
7	Tekanan spesifik	0,17-0,98 joule/g.°C
8	Kekuatan geser	1300-3500 N/cm ²
9	Kekuatan perpatahan	480-1500 N/cm ²

2.10 Uji Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) merupakan sifat suatu material untuk mampu menahan terhadap goresan, pengikisan, serta penetrasi. Sifat ini sangat berkaitan dengan ketahanan aus (*wear resistance*) dan memiliki keterkaitan dengan kekuatan material [32]. Pengujian kekerasan, juga dikenal sebagai pengujian kekerasan, dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap deformasi pada area tertentu atau permukaannya. Pada material logam, deformasi yang dimaksud adalah deformasi *plastis*, yaitu kondisi di mana material mengalami perubahan bentuk permanen ketika diberikan gaya, sehingga struktur mikronya tidak dapat kembali ke bentuk semula. Untuk mengukur tingkat kekerasan material akibat deformasi tersebut, digunakan berbagai metode uji kekerasan lekukan, seperti uji *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, *Knoop*, dan lainnya. Contoh pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 2. 4 [33].

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone 1/16, 1/8, 1/4 in. diameter steel spheres	 	 	60 kg 100 kg 150 kg 15 kg 30 kg 45 kg	Rockwell Superficial Rockwell

Gambar 2. 4 Jenis-jenis pengujian kekerasan [33]

1. Metode pengujian kekerasan:

- Metode *Rockwell* banyak digunakan karena praktis dan tidak memerlukan keterampilan khusus. Dalam metode ini, permukaan sampel ditekan menggunakan indenter berbentuk bola dengan beban 2 kg, dan nilai kekerasannya langsung ditampilkan pada layar alat uji.

2. Peralatan pengujian:

- Pengujian menggunakan alat uji kekerasan portabel dengan indenter bola berdiameter 2 mm. Pemilihan indenter yang sesuai sangat penting agar hasil pengujian kekerasan tetap akurat sesuai metode yang digunakan.

3. Standar pengujian:

- Pengujian kekerasan dalam penelitian ini mengikuti standar ASTM E110-14 [34]. Standar ini digunakan untuk menjamin bahwa prosedur uji dilakukan secara konsisten dan akurat, serta hasilnya dapat dijadikan acuan yang sebanding dengan standar industry [11].

2.11 Uji Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan ukuran seberapa padat suatu zat, dinyatakan sebagai jumlah massa per satuan volume. Satuan yang digunakan adalah

satuan massa dibagi volume (misalnya kg/m^3). Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa dalam setiap volumenya. Massa jenis dapat digunakan untuk mengidentifikasi zat, karena setiap zat memiliki massa jenis yang khas. Meskipun jumlah massa atau volumenya berbeda-beda, suatu zat akan tetap memiliki massa jenis yang sama.

Perbedaan kepadatan antar bahan disebabkan oleh perbedaan komposisi penyusunnya, yang dapat menciptakan ruang kosong atau celah di antara partikel-partikel penyusunnya, terutama pada material berbentuk serbuk. Tingkat porositas serbuk dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran butir, bentuk partikel, dan cara partikel tersusun. Semakin seragam dan teratur susunan partikel, maka porositas akan semakin rendah. Bentuk partikel yang membulat (*spherical*) juga dapat mengurangi rongga antar butir, sehingga menurunkan tingkat porositas. Selain itu, bahan dan homogenitas susunan serbuk turut memengaruhi jumlah pori yang terbentuk. Densitas merupakan sifat penting dari suatu zat, menggambarkan hubungan antara massa dan volume ($\rho = m/V$), dengan ρ sebagai massa jenis (kg/m^3), m sebagai massa (kg), dan V sebagai volume (m^3).

Dalam kaitannya dengan hukum Archimedes, setiap benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida akan mengalami gaya ke atas sebesar berat fluida yang dipindahkan. Berdasarkan kondisi ini, benda bisa mengalami tiga kemungkinan: mengapung, melayang, atau tenggelam. Benda akan mengapung jika massa jenisnya lebih kecil daripada massa jenis fluida, ditandai dengan sebagian permukaan benda tetap berada di atas permukaan zat cair [35].

Beberapa hal penting yang berkaitan dengan proses pengujian densitas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran Massa Sampel:

- Sampel ditimbang menggunakan timbangan digital dalam dua kondisi, yaitu saat kering dan setelah direndam dalam air. Selisih dari kedua hasil penimbangan tersebut digunakan untuk menghitung nilai densitas.

2. Metode Berdasarkan Hukum *Archimedes*:

- Hukum *Archimedes* menjelaskan bahwa saat benda dimasukkan ke dalam cairan, benda tersebut akan mendapat gaya dorong ke atas sebesar berat

cairan yang dipindahkan. Nah, dengan merendam sampel ke dalam air, kita bisa mengukur perubahan massanya, lalu dari situ diketahui berapa banyak cairan yang tergeser.

3. Perhitungan Densitas:

- Densitas (ρ) dihitung dengan cara membagi massa kering sampel dengan selisih antara massa kering dan massa saat direndam. Rumus yang digunakan yaitu: $\rho = (\text{massa kering}) / (\text{massa kering} - \text{massa basah})$

4. Standar Pengujian:

- Pengujian densitas ini mengacu pada standar ASTM B962-17[36]. Mengikuti standar ini penting supaya hasil yang didapat bisa dipercaya dan sesuai dengan prosedur yang umum digunakan dalam penelitian material.

Pengukuran densitas ini penting untuk mengetahui sifat fisik dari material yang diuji. Dengan menggunakan prinsip *Archimedes* dan mengikuti standar pengujian yang tepat, hasilnya bisa lebih akurat dan bisa memberikan gambaran yang jelas tentang karakteristik bahan tersebut.

Berikut adalah rumus yang digunakan dalam pengujian Densitas.

$$\rho_m = \frac{m_s}{m_s - m_g} \rho_{H_2O} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

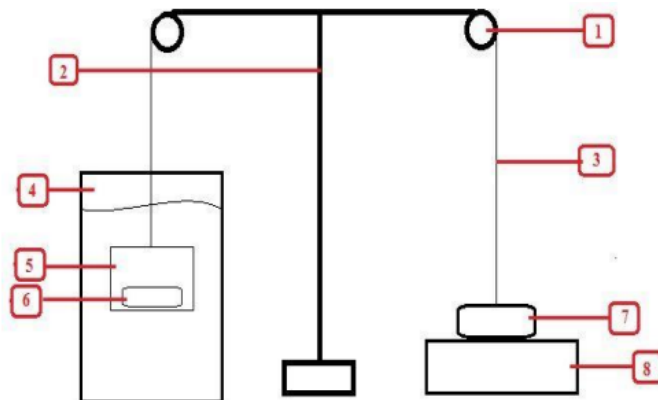
ρ_m = Densitas *actual* (g/cm³)

m_s = Masa spesimen kering (g)

m_g = Masa spesimen basah (g)

ρ_{H_2O} = Masa jenis air = 1 g/cm³ [11]

Uji densitas dapat dilihat pada gambar 2. 5.



Gambar 2. 5 Ilustrasi uji densitas [11]

Keterangan:

- 1) Katrol
- 2) Rangka
- 3) Tali
- 4) Wadah
- 5) Keranjang
- 6) Sample 1
- 7) Sample 2
- 8) Timbangan digital

2.12 Metode Desain *Full Factorial*

Desain *full factorial* merupakan metode perancangan eksperimen yang melibatkan penggunaan dua tingkat nilai (tinggi dan rendah) pada setiap faktor yang diuji. Dalam desain ini, seluruh kombinasi antara level-level dari tiap faktor dihitung dan diuji selama eksperimen berlangsung. Hal ini memungkinkan peneliti untuk menganalisis pengaruh masing-masing faktor terhadap respon, serta mengidentifikasi interaksi antar faktor. Salah satu bentuk dari desain *full factorial* adalah desain *factorial* dua tingkat (2-level factorial), yang berperan penting dalam proses penyaringan (*screening*) faktor atau variabel bebas. Desain ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh utama dari tiap faktor dan interaksi antar faktor dengan jumlah perlakuan yang minimal. Pada tahap *screening*, faktor atau variabel yang dipertahankan adalah yang memiliki nilai signifikansi statistik (nilai P) yang

menunjukkan pengaruh nyata. Faktor yang tidak signifikan cenderung menghasilkan respon yang kurang akurat [37].

2.13 Pengujian ANOVA

Uji ANOVA merupakan salah satu metode analisis statistik yang secara khusus digunakan dalam penelitian eksperimental. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh **R.A. Fisher**. ANOVA termasuk dalam jenis uji hipotesis statistik, di mana kesimpulan ditarik berdasarkan data atau kelompok data melalui pendekatan statistik inferensial. Hipotesis nol (H_0) dalam uji ANOVA menyatakan bahwa data yang dianalisis berasal dari populasi yang sama secara acak (*simple random*), sehingga memiliki nilai ekspektasi mean dan varians yang setara. Sebagai ilustrasi, dalam penelitian yang membandingkan efek berbagai perlakuan pada kelompok pasien yang sama, hipotesis nol menyatakan bahwa semua perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang serupa [38].

Membuat hipotesis atau analisis anova saat membuat eksperimen faktorial. Selama nilai F-tabel melebihi 0,05:2,27 (3,55) atau p-value kurang dari α , keputusan terhadap hipotesis nol (H_0) adalah menolak H_0 [28].

- Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$ maka H_0 ditolak.
- Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 gagal ditolak.
- Jika signifikan atau probabilitas $> 0,05$, maka H_0 ditolak.
- Jika signifikan atau probabilitas $< 0,05$, maka H_0 gagal ditolak

[39] Secara umum dalam analisis anova nilai yang dihitung yaitu sebagai berikut:

- Jumlah Kuadrat Total

$$SST = \sum_i^a = 1 \sum_j^b = 1y^2ijk - \frac{y^2}{abn} \dots \dots \dots (2.2)$$

- Jumlah Kuadrat Mean

$$ADJMS : DF \dots \dots \dots (2.3)$$

- Jumlah kuadrat faktor

$$SS \text{ suhu matrik} = \frac{1}{an} \sum_i^a = 1y^2i - \frac{y^2}{abn} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$SS \text{ suhu kompaksi} = \frac{1}{bn} \sum_j^b = 1y^2j - \frac{y^2}{abn} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$SS\ AB = \frac{1}{n} \sum_a^a = 1 \sum_b^b = 1y^2ij - \frac{y^2}{abn} - SSA - SSB \dots\dots\dots(2.6)$$

4. Jumlah kuadrat eror

$$jke = jkt - jkm - jkf \dots\dots\dots(2.7)$$

5. F-Hitung

$$Adj\ MS : Error\ Adj\ MS \dots\dots\dots (2.8)$$

6. DF

$$Jumlah\ Level - 1 \dots\dots\dots(2.9)$$

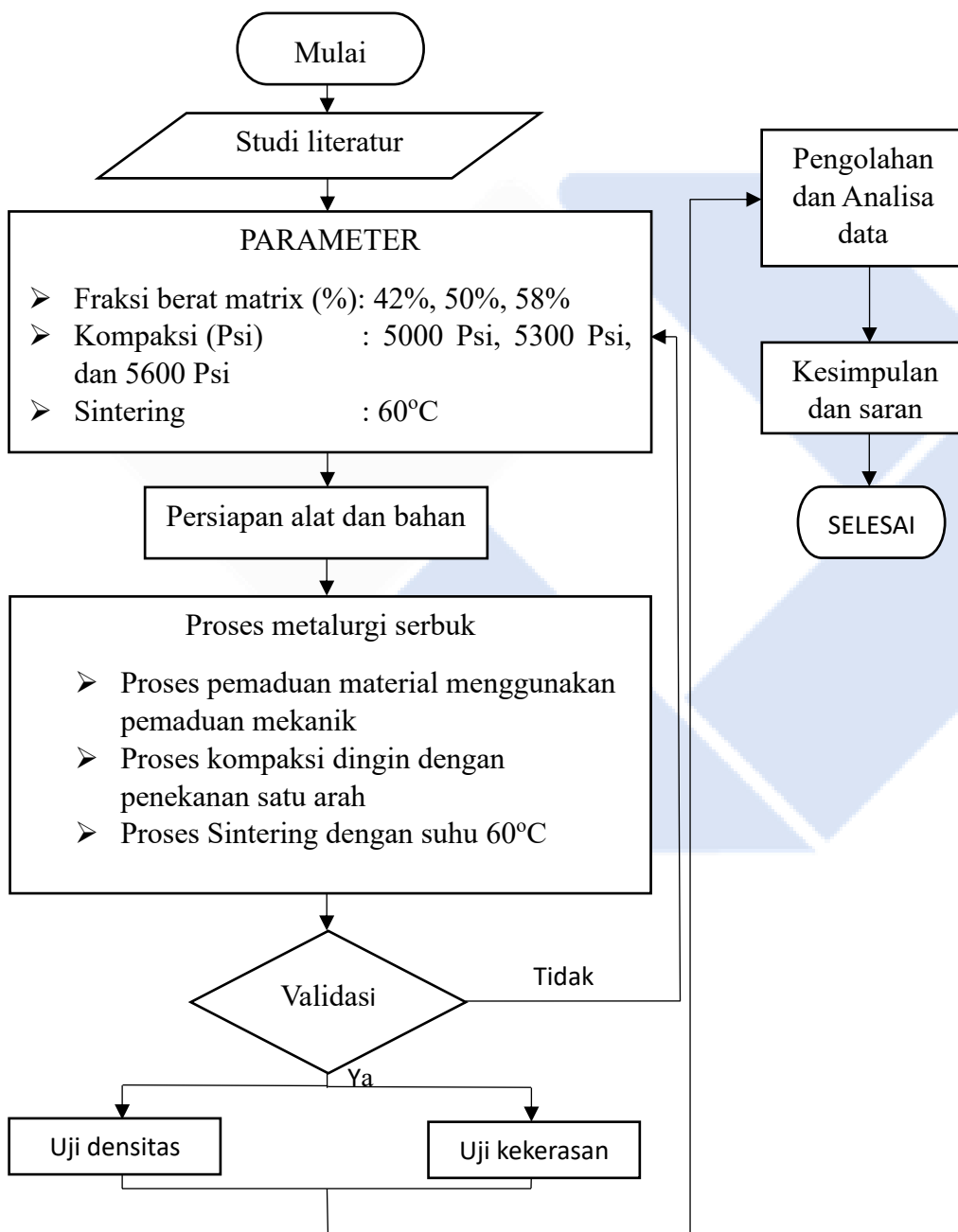


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Berikut tahapan penelitian tugas akhir:



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Studi Literatur

Pada dasarnya studi literatur merupakan langkah awal untuk memulai suatu penelitian. Dikarenakan aspek yang ada di penelitian itu mencakup informasi dan referensi literasi ilmiah yang sudah teruji diantaranya sesuai dengan artikel-artikel ilmiah, makalah ilmiah, dan lain sebagainya. Studi literatur juga bisa digunakan sebagai landasan dasar teori dalam suatu penelitian supaya mendapatkan hasil yang inovatif. Selain itu, literatur menyediakan informasi pendukung seperti hasil-hasil penelitian terdahulu, eksperimen yang relevan, serta temuan dari berbagai referensi. Informasi tersebut berguna untuk memperkuat argumen dalam penelitian baru atau sebagai bahan pembandingan terhadap temuan yang diperoleh. Rujukan terhadap literatur yang tepat juga berperan dalam meningkatkan validitas dan kredibilitas suatu penelitian, karena menunjukkan bahwa kajian yang dilakukan didasarkan pada studi-studi sebelumnya yang terpercaya.

Melalui studi literatur, peneliti dapat mengidentifikasi kekosongan pengetahuan atau topik-topik yang masih jarang diteliti. Hal ini dapat menjadi landasan untuk merumuskan fokus penelitian yang lebih tajam dan spesifik. Pengumpulan informasi dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, maupun sumber online yang dapat dipercaya, merupakan langkah krusial untuk memastikan bahwa penelitian memiliki pijakan ilmiah yang kuat dan dapat memberikan sumbangsih yang berarti dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

3.3 Parameter

Pada penelitian ini telah ditentukan parameter yang akan digunakan, yaitu variasi matrik dan variasi tekanan kompaksi. Variasi matrik yang digunakan adalah 42 %, 50 %, dan 58 %, sedangkan variasi tekanan kompaksi yang digunakan adalah 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi. Tujuan dari parameter ini adalah untuk mengetahui apakah variasi matrik dan variasi tekanan kompaksi berpengaruh terhadap kekerasan dan densitas.

3.4 Bahan dan alat penelitian

Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Las dan Fabrikasi Logam (LAPALO) Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, sementara pengujian

densitas dan kekerasan dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik. Bahan dan peralatan berikut digunakan dalam penelitian ini.

3.4.1 Bahan penelitian

Berikut adalah bahan-bahan yang digunakan:

1. Ampas tebu (*Bagasse ASH*)

Ampas tebu (*bagasse*) merupakan residu dari proses penggilingan tanaman tebu (*Saccharum officinarum*), yang menghasilkan banyak produk limbah berserat setelah niranya diekstrak atau dikeluarkan. *Lignocellulose* adalah bahan utama serat ampas tebu. *Bagasse* ini dapat diproses menjadi papan buatan karena seratnya panjangnya antara 0,7 mm sampai dengan 2 mm dan diameternya sekitar 20 mikro. *Bagasse* terdiri sebagian besar dari lignin, selulosa, dan pentosan, dan mengandung air antara 48 % sampai dengan 52 %, gula sekitar 3,3 %, dan serat sekitar 47,7 %. Serat ampas tebu (*Bagasse*) tidak dapat larut dalam air. Serat ampas tebu mempunyai sifat mekanik yang baik, tidak korosif, rendah densitas, ramah lingkungan, dan murah karena bisa didaur ulang. Berikut adalah gambar ampas tebu yang digunakan pada Gambar 3. 2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Ampas tebu (*Bagasse ASH*)

2. *Phenolic Resin*

Resin fenolik adalah jenis resin sintetis yang dihasilkan dari reaksi antara fenol dan formaldehida. Resin ini memiliki bentuk yang keras, kuat, tahan lama, serta dapat dicetak dalam berbagai kondisi. Termasuk dalam kelompok polimer termoset, resin fenolik memiliki rumus kimia $C_7H_8O_2$. Resin ini tahan terhadap panas dan air, dapat diberi berbagai warna, serta tidak bersifat toksik. Karena

sifat-sifat tersebut, resin fenolik banyak dimanfaatkan sebagai bahan pelapis, laminasi, pengikat pada batu gerinda, serta pengikat logam atau kaca. Selain itu, resin ini juga dapat diolah menjadi berbagai bentuk seperti lembaran, pelat, batang, dan bentuk lainnya. *Phenolic* resin yang digunakan di penelitian ini merupakan *phenolic* resin FRJ 551, dari PT.Graha Jaya Pratama. Berikut adalah gambar *phenolic resin* yang telah dihaluskan pada Gambar 3. 3 dibawah ini.



Gambar 3. 3 *Phenolic resin*

3. Serbuk Kuningan

Kuningan adalah logam hasil campuran antara tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang dikenal sebagai paduan kuningan, di mana tembaga menjadi unsur dominan. Karena komposisinya, kuningan termasuk dalam kelompok campuran tembaga. Warna kuningan bisa berkisar dari coklat kemerahan tua hingga kuning terang keperakan, tergantung pada kadar seng yang dikandungnya, di mana seng memiliki pengaruh besar terhadap perubahan warna tersebut. Kuningan memiliki sifat mudah dibentuk menjadi berbagai bentuk, bersifat sebagai penghantar panas yang efisien, serta umumnya tahan terhadap korosi akibat paparan air garam. Berikut adalah gambar serbuk kuningan yang digunakan pada Gambar 3. 4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 Serbuk kuningan

4. Serbuk Aluminium

Paduan aluminium adalah salah satu material yang kini secara luas diterapkan dalam berbagai sektor industri, termasuk otomotif, konstruksi, dan lainnya. Aluminium dipilih karena sifatnya yang ringan, serta kekuatannya dapat ditingkatkan melalui pencampuran dengan elemen lain, seperti silikon, membentuk paduan aluminium-silikon (Al-Si) yang memiliki kemampuan tahan korosi yang baik. Paduan Al-Si juga dikenal ringan, memiliki koefisien muai yang rendah, serta merupakan konduktor listrik yang baik, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan kotak mesin pesawat, komponen mobil, dan bagian mesin lainnya. Namun, tantangan yang dihadapi adalah bahwa kekuatan dasar aluminium murni belum mencukupi untuk memenuhi standar performa yang dibutuhkan pada komponen otomotif. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan paduan aluminium adalah dengan menerapkan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Berikut adalah gambar serbuk aluminium yang digunakan pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Serbuk aluminium

5. Silika

Silika merupakan mineral hasil tambang yang terbentuk dari kristal-kristal silika (SiO_2) dan memiliki sejumlah senyawa pengotor yang ikut terbawa selama proses pengendapan. Biasa disebut juga pasir putih, material ini berasal dari proses pelapukan batuan yang mengandung mineral utama seperti silika dan feldspar. Hasil pelapukan tersebut kemudian terbawa oleh aliran air atau angin, lalu mengalami pengendapan di sepanjang bantaran sungai, tepian danau, atau kawasan pantai. Berikut adalah gambar pasir silika yang digunakan pada Gambar 3. 6.



Gambar 3. 6 Pasir silika

3.4.2 Alat-alat penelitian

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian:

1. Mesin *Ball Milling* (*Ball Mill Machine*)

Mesin *Ball Milling* digunakan untuk menggiling bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini supaya lebih halus dan bisa digunakan untuk mencampur bahan-bahan seperti matrik dan penguatnya. Didalam Mesin *Ball Milling* (*Ball Mill Machine*) terdapat bola bola kecil yang membantu supaya proses penggiligan dan pencampuran lebih efektif karena bahan dan bola saling bertabrakan. Berikut gambar mesin *Ball Milling* yang digunakan pada Gambar 3. 7 dibawah ini.



Gambar 3. 7 Mesin *Ball Milling*

2. Mesin Press Hidrolik

digunakan untuk proses penekanan pada material komposit yang sudah dicampurkan, bahan-bahan yang digunakan terdiri dari ampas tebu (*Bagasse Ash*), serbuk kuningin, serbuk aluminium, silika sebagai penguat, dan *Phenolic Resin* sebagai matrik. Tujuannya supaya memberikan efek tekanan sehingga menaikkan ikatan dan masa jenis pada material komposit yang telah dicampurkan. Mesin press ini memiliki penekanan satu arah dan

alat pembaca tekanan. Berikut gambar mesin press hidrolik yang digunakan pada Gambar 3. 8 dibawah ini.



Gambar 3. 8 Mesin press hidrolik

3. Timbang Digital

digunakan untuk menimbang massa jenis bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat material komposit sebelum memasuki metode *Mixing* (Pencampuran). Timbangan Digital ini juga bisa digunakan untuk menimbang spesimen sebelum atau sesudah diuji. Berikut gambar timbangan digital yang digunakan pada Gambar 3. 9 dibawah ini.



Gambar 3. 9 Timbangan digital

4. Cetakan Spesimen

Cetakan spesimen berguna sebagai pembentuk material komposit yang akan dicetak dengan proses kompaksi dingin secara. Berikut gambar cetakan spesimen yang digunakan pada Gambar 3. 10 dibawah ini.



Gambar 3. 10 Cetakan spesimen

5. Oven

Oven digunakan untuk proses sintering spesimen yang telah dicetak dengan proses kompaksi dingin. Proses sintering dilakukan agar ikatan antar satu partikel dengan partikel yang lain terbentuk Kembali. Berikut gambar oven yang digunakan pada Gambar 3. 11 dibawah ini.



Gambar 3. 11 Oven

7. *Mixer* (Pengaduk)

Mixer digunakan untuk mengaduk/mencampur matrik *phenolic resin* dan penguat yang sudah digiling menggunakan *Ball Mill Machine* selama 4 jam. Berikut alat pengaduk yang digunakan pada Gambar 3. 12 dibawah ini.



Gambar 3. 12 *Mixer* (Pengaduk)

8. Gelas ukur

Digunakan untuk mengukur cairan yang akan digunakan pada saat pengujian densitas. Berikut gambar gelas ukur yang digunakan pada Gambar 3. 13 dibawah ini.



Gambar 3. 13 Gelas ukur

9. Alat uji densitas

Alat pengujian Densitas berfungsi untuk mengetahui berat jenis dari spesimen yang dimasukkan kedalam cairan, hal ini dilakukan agar peneliti dapat mengetahui berat jenis dari spesimen kering dan spesimen basah ketika dimasukkan kedalam cairan. Berikut gambar alat uji densitas yang digunakan pada Gambar 3. 14 dibawah ini.



Gambar 3. 14 Alat uji densitas

10. Alat uji kekerasan *portable*

Alat uji kekerasan *portable* digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sample/spesimen yang telah dicetak di penelitian ini. Berikut gambar alat uji kekerasan *portable* yang digunakan pada Gambar 3. 15 dibawah ini.



Gambar 3. 15 Alat uji kekerasan *portable*

3.5 Proses Penelitian

Berikut adalah proses-proses penelitian yang akan dilakukan:

3.5.1 Metalurgi serbuk

1. Proses pencampuran

Proses ini dilakukan melalui Paduan mekanis bubuk alumunium, kuningan, silika, dan *Bagasse ASH* menggunakan *ball mill machine*. Langkah-langkah dalam proses ini mencakup perbandingan bola baja terhadap bubuk (*ball to*

powder ratio/BPR) sebesar 10:1, kecepatan rotasi mesin sebesar 90 rpm, serta waktu proses penggilingan selama 4 jam atau 240 menit. Proses *mechanical alloying* terdiri dari dua tahapan yang berlangsung secara bersamaan, yaitu pencampuran dan penggilingan. Metode ini memungkinkan tercapainya distribusi serbuk yang merata, sehingga menghasilkan partikel yang lebih halus dan seragam sebelum seluruh bahan mengalami proses pemaduan mekanis.

Setelah tahap pencampuran dan penggilingan selesai, peneliti menerapkan variasi komposisi antara matriks dan bahan penguat dalam tiga tingkatan, yaitu: 42 % matriks dengan 58 % penguat, 50 % matriks dengan 50 % penguat, serta 58 % matriks dengan 42 % penguat. Masing-masing variasi menggunakan berat serbuk sebanyak 15 g untuk setiap spesimen. Pengukuran berat serbuk dilakukan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian hingga 0,001 g.

Dalam studi ini, peneliti mengatur berat campuran serbuk matriks dan penguat ke dalam cetakan 15 g. Untuk menghasilkan spesimen dengan ketebalan berkisar antara 5-10 mm, digunakan kombinasi mekanis dari serbuk *phenolic resin* sebagai bahan matriks serta alumunium, kuningan, *silica*, dan *bagasse ash* sebagai bahan penguat, dengan total berat campuran sebesar 135 g.

2. Proses kompaksi dingin

Proses pemadatan dilakukan menggunakan mesin press hidrolik yang dilengkapi dengan alat pembaca tekanan. Sebelum dilakukan kompaksi dingin, cetakan diletakkan pada mesin press dan bubuk dimasukkan secara merata ke dalamnya. Setelah itu cetakan besi yang berbentuk lingkaran dimasukan ke dalam bagian alat cetakan. Tekanan kemudian diberikan dari satu arah (atas) dengan bantuan alat ukur tekanan. Tekanan dingin yang diaplikasikan sebesar 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi dengan waktu tahan selama 10 menit.

3. Proses sintering

Proses perlakuan panas melalui teknik sintering berfungsi untuk menyatukan partikel-partikel dalam paduan komposit agar saling terikat, akibat adanya reaksi termal dan kimia selama proses sintering berlangsung. Dalam penelitian ini, peneliti menerapkan suhu sebesar 60°C dengan waktu tahan 10 menit. Setelah proses sintering selesai, spesimen dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang.

3.6 Validasi spesimen

Proses ini dilakukan menggunakan visual memeriksa setiap spesimen yang telah dicetak. Jika terdapat kecacatan di spesimen seperti rapuh, retak, pecah, dll, maka akan dilakukan proses pencetakan ulang dari tahap metalurgi serbuk. Tetapi jika spesimen masih layak untuk diuji maka akan tetap dilakukan pengujian

3.7 Pengolahan data

Data yang diperoleh dari hasil uji densitas dan uji kekerasan akan dilakukan analisis dan disusun dalam bentuk grafik dan tabel. Pengolahan data ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil dari uji densitas dan uji kekerasan.

Berikut adalah desain tabel pengolahan data pada Tabel 3. 1, Tabel 3. 2, dan Tabel 3. 3 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Desain tabel hasil uji kekerasan

NO	Persentase matrik (%)	Kompaksi dingin (Psi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			1	2	3	
1	42	5000				
2	42	5300				
3	42	5600				
4	50	5000				
5	50	5300				
6	50	5600				
7	58	5000				
8	58	5300				
9	58	5600				

Tabel 3. 2 Desain tabel nilai hasil timbang kering/basah pengujian densitas

NO	Persentase matrik (%)	Kompaksi Dingin (PSI)	Timbang kering (g)		
			Pengujian ke		
			1	2	3
1	42	5000			
2	42	5300			
3	42	5600			
4	50	5000			
5	50	5300			
6	50	5600			
7	50	5000			
8	50	5300			
9	50	5600			

Tabel 3. 3 Desain tabel pengolahan data pengujian densitas

NO	Persentase matrik	Kompaksi dingin	Nilai Densitas (g/cm³)			Rata-rata (g/cm³)
	(%)	(Psi)	Pengujian ke(g)			
			1	2	3	
1	42	5000				
2	42	5300				
3	42	5600				
4	50	5000				
5	50	5300				
6	50	5600				
7	50	5000				
8	50	5300				
9	50	5600				

3.8 Analisis Data

Peneliti memilih menggunakan metode pengolahan data *Full factorial*. Dengan variasi serbuk Pengikat, penguat dan kompaksi sebagai pengaruh yang Dimana masing-masing memiliki 3 sample.

Berikut adalah desain tabel pengolahan data factorial dan anova yang akan digunakan pada Tabel 3. 4 dan Tabel 3. 5 dibawah ini.

Tabel 3. 4 Desain tabel pengolahan data *Full factorial*

Eksperimen	Persentase matrik (%)	Kompaksi (Psi)
1	42	5000
2	42	5300
3	42	5600
4	50	5000
5	50	5300
6	50	5600
7	58	5000
8	58	5300
9	58	5600

Tabel 3. 5 Desain tabel Anova

Faktor	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-Value	P-Value
Persentase Matrik					
Variasi Kompaksi					
Persentase Matrik*					
Variasi Kompaksi					
Error					
Total					

Sesudah membuat rancangan eksperimen *full factorial* desain langkah selanjutnya peneliti membuat hipotesis. Faktor-faktor yang mempengaruhi hipotesis pada penelitian ini adalah mengenai berpengaruhnya persentase matrik dan variasi kompaksi terhadap kekerasan dan densitas pada material kampas rem, yang dimana faktor tersebut dapat berkaitan dengan faktor yang lainnya atau tidak berkaitan dengan faktor yang lainnya. Hipotesis umum disebut sebagai hipotesis nol (H_0).

Hipotesis nol untuk eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis Persentase Matrik

H0: Varian persentase matrik komposit material kampas rem tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan

H1: Varian persentase matrik komposit material kampas rem berpengaruh terhadap nilai densitas

2. Hipotesis Variasi Kompaksi

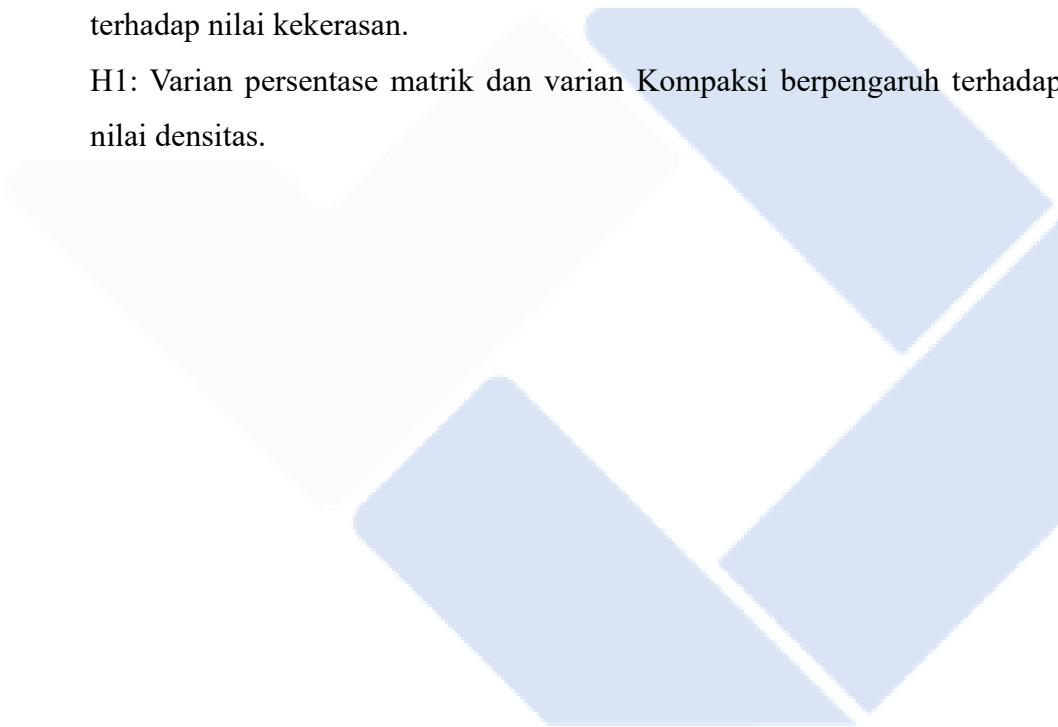
H0: Varian Kompaksi tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan

H1: Varian Kompaksi berpengaruh terhadap nilai densitas

3. Hipotesis interaksi varian persentas matrik dan varian kompaksi

H0: Varian persentase matrik dan varian Kompaksi tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

H1: Varian persentase matrik dan varian Kompaksi berpengaruh terhadap nilai densitas.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penggunaan metode metalurgi serbuk dengan kombinasi *phenolic resin* sebagai matriks dan penguat berupa serbuk aluminium, kuningan, pasir silika, serta *bagasse ash* dapat menghasilkan kampas rem komposit yang memiliki kekerasan dan densitas yang bervariasi tergantung pada parameter kompaksi dan komposisi matriks. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi dari 5000 Psi ke 5600 Psi serta peningkatan persentase matriks dari 42 % ke 58 % menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, dengan nilai tertinggi mencapai 139 HB. Begitu pula dengan densitas, di persentase matrik 58 % dan tekanan kompaksi 5600 PSi memiliki densitas menghasilkan nilai densitas mencapai 1,467 g/cm³. Pengujian ini membuktikan bahwa tekanan kompaksi dan variasi matrik berpengaruh terhadap kekerasan dan densitas, walaupun belum memenuhi standart Teknik kampas rem komposit.

5.2 Saran

1. Optimasi Parameter: Untuk hasil yang lebih maksimal, disarankan dilakukan variasi suhu sintering yang lebih tinggi dari 60°C karena suhu tersebut tergolong rendah untuk pembentukan ikatan partikel logam yang kuat dan Perlu juga menurunkan matrik dan tekanan kompaksi agar spesimen memenuhi standart Teknik kampas rem komposit.
2. Uji Lanjutan: Perlu dilakukan pengujian tambahan seperti uji keausan, uji gesekan, dan uji impact untuk mengetahui performa kampas rem secara menyeluruh dalam kondisi kerja nyata.
3. Lebih berhati-hati serta teliti pada saat melakukan proses pencetakan spesimen agar memperoleh hasil yang maksimal, seperti menghindari kerepisan atau keretakan pada spesimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wawan Kartiwa Haroen, “Rekayasa Mesin Pencetak Kampas Rem Serat Pulp Non Asbestos”, *Jurnal SIMETRIS*, vol. 8, no. 1, pp. 201–208, 2017.
- [2] Aminur, Muhammad Hasbi, Yuspian Gunawan, “Proses Pembuatan Biokomposit Polimer Serat Untuk Aplikasi Kampas Rem,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [3] Mochammad Fakri Sugianto, Arlini Dyah Radityaningrum, “Kelayakan Kampas Rem Sepeda Motor Non Asbestos Dari Bahan Ampas Tebu (Bagasse)”, *Jurnal Teknik WAKTU*, vol. 18, no. 1, pp. 1–6, 2020.
- [4] Suhardiman, Mukmin Syaputra, “Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa”, *Jurnal Invotek Polbeng*, vol. 07, no. 2, pp. 210–214, 2017.
- [5] Mohammad Asim, Naheed Saba, Mohammad Jawaid, Mohammed Nasir, Mohammed Pervaiz, Othman Y. Alothman, “A Review On Phenolic Resin And Its Composites,” *Curr. Anal. Chem.*, vol. 14, no. 3, pp. 185–197, 2018. doi: 10.2174/1573411013666171003154410.
- [6] Reni Puspasari, “Logam Dalam Ekosistem Perairan,” *BAWAL*, vol. 1 no. 2, pp. 43–47, 2006.
- [7] Agus Pramono, Salahuddin Junus, “Karakteristik Fisik Dan Struktur Mikro Komposit Logam Aluminium-Grafit Hasil Proses Metalurgi Serbuk”, *Jurnal ROTOR*, vol. 4, no. 1, pp. 69-75, 2011.
- [8] Moh Fawaid, Sunardi, Shafnur Hamdi, “Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu”, *Prosiding Seminar Nasional Industrial Services III “Peningkatan Daya Saing Industri Nasional Melalui Integrasi Industri Baja Berkelanjutan Menuju ASEAN Economic Community 2015*, pp. 447–454, 2013.

- [9] Totok Suwanda, “Optimalisasi Tekanan Kompaksi, Temperatur Dan Waktu Sintering Terhadap Kekerasan Dan Berat Jenis Aluminium Pada Proses Percetakan Dengan Metalurgi Serbuk”, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 9, no. 2, pp. 187–198, 2006.
- [10] Yulia Anggreni, Sugiyarto, Achmad Rusdy, Ilham Ary Wahyudie, Rodika, Yudi Oktriadi, Sukanto, “Pembuatan Komposit AMC Hybrid Baggase Ash dan Alumina Metode Metalurgi Serbuk”, *Dinamika Teknik Mesin Unkhair*, vol. 8, no. 2, pp. 65–74, 2023.
- [11] Yulia Anggreni, “Pembuatan Komposit AMC Diperkuat Hybrid Bagasse ASH-Alumina Terhadap Variasi Kompaksi Dan Suhu Sintering Dengan Metode Metalurgi Serbuk”, Laporan Akhir Proyek Akhir, Politeknik Manufatkur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 2024.
- [12] Lanang bagus Yulqa, “Studi Komposisi Resin Phenolic Sebagai Bahan Matrik Dalam Pembuatan Kampas Rem Metode Campuran Kering”, Naskah Publikasi Tugas Akhir, Surakarta, 2016.
- [13] Budha Maryanti, A. As'ad Sonief, Slamet Wahyudi, “Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 123–129, 2011.
- [14] Jonathan Oroh, Ir. Frans.sappu,MT, Romels Lumintang,ST,MT, “Analisa Sifat Mekanik Material Komposit Dari Serat Sabut Kelapa”, *Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi Manado*, 2013.
- [15] Desy Permatasari, Zuhaimi, A. Jannifar, “Analisa Sifat Mekanik Aluminium Alloy 6151 Setelah Mengalami Perlakuan Panas”, *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 1-5, 2020.
- [16] Yasmina Amalia, Sudaryanto, Fitri Ayu Mardhatila, Rahmad Kristiardi, Yahya Jati Kuncoro, “Paduan Aluminium Berdasarkan Sifat Mekanik”, *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, vol. 8, no. 3, pp. 722–732, 2022.

- [17] R. Bagus Suryasa Majanasastra, “Analisis sifat mekanik dan struktur mikro hasil proses hydroforming pada material tembaga (Cu) C84800 dan aluminium Al 6063”, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 15–30, 2016.
- [18] Febrian Wisnu Adi, “Studi Eksperimen Finishing Perhiasan Kuningan Dengan Perpaduan Elektroplating Dan Patinasi”, *Corak Jurnal Seni Kriya*, vol. 7, no. 1, pp. 54–61, 2018.
- [19] Hartono Yudo, Sukanto Jatmiko, “Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak”, *Kapal*, vol. 5, no. 2, pp. 95–101, 2008.
- [20] Catur Pramono, Sri Widodo, Muhammad Galih Ardiyanto, “Karakteristik Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu Dengan Matriks Epoxy”, *Journal Of Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2019.
- [21] Achmad Freddy Eka Prasandha, Triwulan, Januarti Jaya Ekaputri, “Paving Geopolimer Berbahan Dasar Bottom Ash Dan Sugar Cane Bagasse Ash(SCBA)”, *Jurnal Teknik ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 110–115, 2015.
- [22] Fauzi Rahman, “Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar”, *Info Teknik*, vol. 7, no. 2, pp. 56–66, 2006.
- [23] Agung Cakrawijaya, Rukmana, Abd Karim Hadi, Sudarman Supardi, Arsyad Fadhil, “Pengaruh Substitusi Pasir Silika sebagai Agregat Halus pada Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi”, *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, vol. 7, no. 3, pp. 222–228, 2022.
- [24] Sukanto, Wahyono Suprpto, Rudy Soenoko, Yudi Surya Irawan, “The Effect OF Milling Time On The Alumina Phase Transformation In The AMCs Powder Metallurgy Reinforced By Silica-Sand-Tailings”, *EUREKA*, 2022.
- [25] Ahmad Junaidi, Amin Suhadi “Pengembangan Metode Pembuatan Elektroda Tembaga – Karbon Dengan Metalurgi Serbuk”, *Jurnal Sains dan*

Teknologi Indonesia, vol. 15, no. 2, pp. 68–77, 2013.

- [26] Challapalli Suryanarayana, “Mechanical Alloying: A Novel Technique to Synthesize Advanced Materials” *Research Official Journal Of Cast*, vol. 2019, 2019.
- [27] Arise Graafian Dylan, Sugiyarto, Agus Wanto, Abdul Budi, Sukanto, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Silicon Carbida Dan Rice Husk Ash Dengan Metode Metalurgi Serbuk”, *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, vol. 10, no. 02, pp. 61–68, 2023.
- [28] Ricky Irwansyah, “Proses Metalurgi Serbuk Pada Fabrikasi Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Penambangan Timah”, Laporan Akhir Proyek Akhir, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 2023.
- [29] Rizky Kurnia Putra, Sunardi, Moh Fawaid, “Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Papan Komposit Bahan Alternatif Furniture Dengan Variasi Kompaksi”, *Jurusan Teknik Mesin*.
- [30] Ferriawan Yudhanto, Santo Ajie Dhewanto, Suluh Widya Yakti, “Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati”, *Jurnal Quantum Teknika*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019.
- [31] Ario Kristian Iman Taka, “Variasi Ukuran Terhadap Kekerasan dan Laju Keausan Komposit Epoxy Aluminium-Serbuk Tempurung Kelapa Untuk Kampas Rem”, Laporan Akhir Proyek Akhir, Fakultas Teknik Universitas Jember, 2017.
- [32] Vicky Bhaskara Sardi, Sarjito Jokosisworo, Hartono Yudo, “Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 142–149, 2018.
- [33] Maman Sulaeman, Haris Budiman, Engkos Koswara, “Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada

Cangkul di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung”, *Industrial Research Workshop And National Seminar*.

- [34] Designation: E110-14, “Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers”, *ASTM B. Stand.*, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1520/E0110-14.2.
- [35] Puji Kumala Pertiwi, Agustin Leny, Khoirotul Yusro, Gonjtang Prajitno M. Si, “Uji Densitas Dan Porositas Pada Batuan Dengan Menggunakan Neraca O Houss Dan Neraca Pegas”, *Fisika Laboratorium-Lab. Material*, pp. 1–5, 2015.
- [36] Designation: B962-17, “Standard Test Method For Density Of Compacted Or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes’ Principle”, *ASTM Int. West Conshohocken, PA, USA*, vol. 13, no. Reapproved, pp. 5–7, 2004, doi: 10.1520/B0962-17.2.
- [37] Diana Hendrati, Erianti Siska Purnamasari, Syulastri Effendi, Santhy Wyantuti, “Pemantapan Proses Sintesis Ligan Dibutilditiokarbamat (DBDTK) Sebagai Pengekstrak Logam Gadolinium (GD) Berdasarkan Desain Eksperimen”, *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 14, no. 2, pp. 219–235, 2018.
- [38] Junri Lasmon Marpaung, Agung Sutrisno, Romels Lumintang, “Penerapan Metode Anova Untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa”, *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 151–162.
- [39] Muhammad Asep, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Timah Dengan Metode Metalurgi Serbuk”, Laporan Akhir Proyek Akhir, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Sungailiat, 2023.

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup

1. Data Diri

Nama Lengkap : Muhammad Fadhil
Tempat & Tanggal Lahir : Baturusa, 28 Mei 2004
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : JL. BARU SDN 02 BATURUSA
No Telepon/HP : 081367387867
Email : muhammadpadil1029@gmail.com



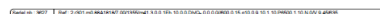
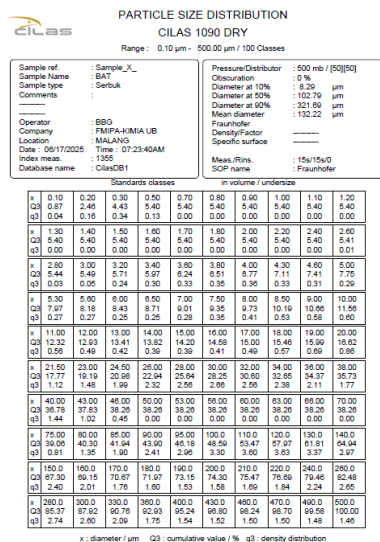
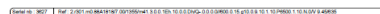
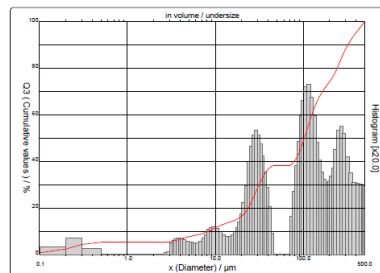
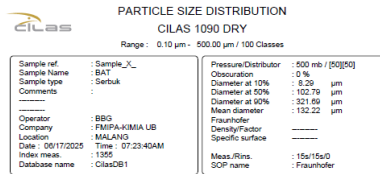
2. Riwayat Pendidikan

SDN 2 BATURUSA	2010-2016
SMP 1 MERAANG	2016-2019
SMA 1 MERAANG	2019-2022

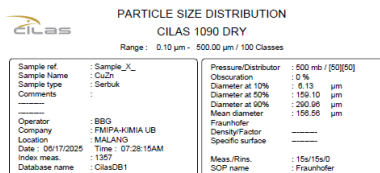
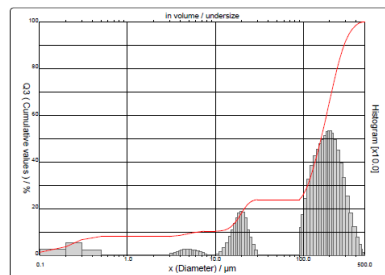
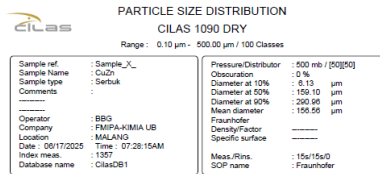
Sungailiat, 02 juli 2025

Muhammad Fadhil

Lampiran 2 Hasil uji *Particle Size Analyzer* (PSA) *Bagasse ASH*



Lampiran 3 Hasil uji *Particle Size Analyzer* (PSA) Kuningan

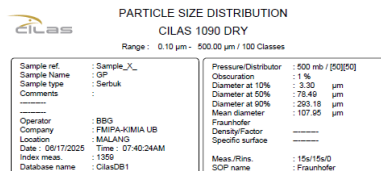
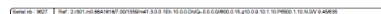
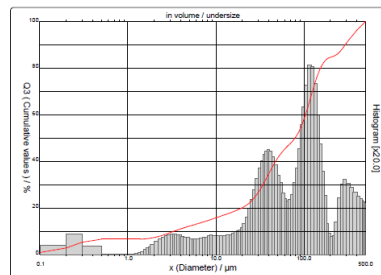
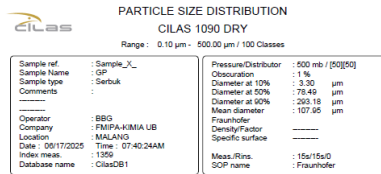


		in dollars cents				in volume / ounce			
C	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	1.00	1.10	1.20
CS	1.34	3.77	6.72	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
CS	1.50	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40
CS	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
CS	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
CS	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.50	5.00
CS	8.18	8.18	8.24	8.31	8.41	8.52	8.65	8.86	9.07
CS	5.00	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00
CS	9.57	9.74	9.95	10.14	10.38	10.37	10.41	10.41	10.41
CS	0.25	0.22	0.22	0.17	0.14	0.09	0.04	0.00	0.00
C	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	20.00
CS	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
CS	0.04	0.14	0.31	0.53	0.79	1.10	1.35	1.58	1.82
C	21.50	23.50	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00
CS	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50	21.50
CS	1.84	5.96	1.10	0.78	0.47	0.23	0.00	0.00	0.00
C	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00
CS	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00
C	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.00	110.00	120.00	140.00
CS	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00	75.00
CS	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	1.72	2.43	3.24	4.20
C	150.00	160.00	170.00	180.00	190.00	200.00	210.00	220.00	240.00
CS	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
CS	48.12	50.37	54.18	58.24	62.94	68.32	73.91	79.72	84.00
CS	48.12	47.98	48.13	48.13	48.13	48.13	48.13	48.13	48.13
C	280.00	300.00	330.00	360.00	400.00	440.00	470.00	500.00	550.00
CS	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00	280.00
CS	86.23	93.41	94.73	95.61	96.87	96.45	96.45	96.45	96.45

x : diameter / μm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

Source: <http://www.census.gov/hhes/education/data/tables/2000/2000.ed.education.attainment.bysexandrace.pdf>

Lampiran 4 Hasil uji *Particle Size Analyzer* (PSA) *Phenolic Resin*

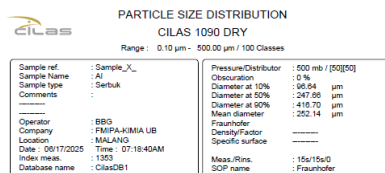
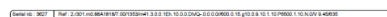
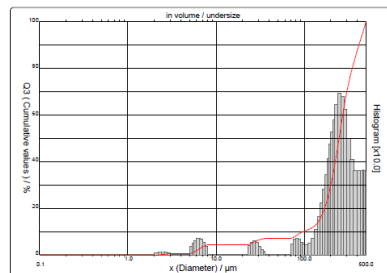
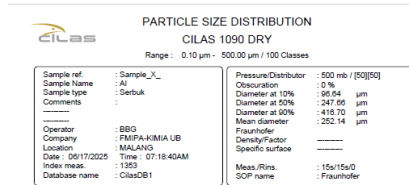


r	standards classes					in volume / under				
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10
0.05	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.10	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.15	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.20	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.25	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.30	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.35	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.40	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.45	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.50	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.55	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.60	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.65	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.70	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.75	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.80	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.85	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.90	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
0.95	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.00	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.05	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.10	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.15	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.20	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.25	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.30	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.35	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.40	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.45	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.50	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.55	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.60	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.65	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.70	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.75	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.80	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
1.85	0.98	0.20	0.39	0.62	0.62	0.62	0.62</			

x : diameter / μm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

[1](#)
[2](#)
[3](#)
[4](#)
[5](#)
[6](#)
[7](#)
[8](#)
[9](#)
[10](#)
[11](#)
[12](#)
[13](#)
[14](#)
[15](#)
[16](#)
[17](#)
[18](#)
[19](#)
[20](#)
[21](#)
[22](#)
[23](#)
[24](#)
[25](#)
[26](#)
[27](#)
[28](#)
[29](#)
[30](#)
[31](#)
[32](#)
[33](#)
[34](#)
[35](#)
[36](#)
[37](#)
[38](#)
[39](#)
[40](#)
[41](#)
[42](#)
[43](#)
[44](#)
[45](#)
[46](#)
[47](#)
[48](#)
[49](#)
[50](#)
[51](#)
[52](#)
[53](#)
[54](#)
[55](#)
[56](#)
[57](#)
[58](#)
[59](#)
[60](#)
[61](#)
[62](#)
[63](#)
[64](#)
[65](#)
[66](#)
[67](#)
[68](#)
[69](#)
[70](#)
[71](#)
[72](#)
[73](#)
[74](#)
[75](#)
[76](#)
[77](#)
[78](#)
[79](#)
[80](#)
[81](#)
[82](#)
[83](#)
[84](#)
[85](#)
[86](#)
[87](#)
[88](#)
[89](#)
[90](#)
[91](#)
[92](#)
[93](#)
[94](#)
[95](#)
[96](#)
[97](#)
[98](#)
[99](#)
[100](#)

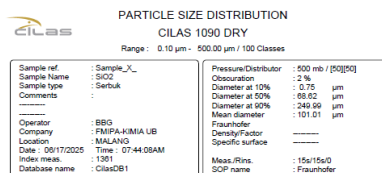
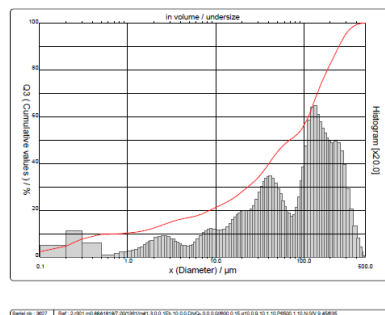
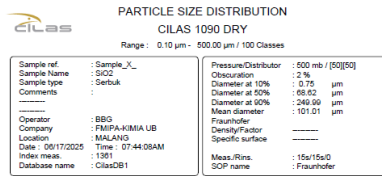
Lampiran 5 Hasil uji *Particle Size Analyzer* (PSA) Aluminium

[illegible]

x : diameter / μm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

[illegible]

Lampiran 6 Hasil uji *Particle Size Analyzer* (PSA) Silika



Standards classes										in volume / undersize									
x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20									
Q3	2.39	4.78	7.81	9.81	9.94	10.08	10.22	10.38	10.55	10.71									
q3	0.13	0.26	0.55	0.29	0.03	0.07	0.10	0.11	0.13	0.14									
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60									
Q3	10.89	11.09	11.29	11.52	11.78	12.01	12.32	13.05	13.57	14.06									
q3	0.17	0.20	0.21	0.20	0.20	0.32	0.39	0.41	0.44	0.45									
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00									
Q3	14.51	14.61	15.25	15.59	15.82	16.05	16.25	16.50	16.72	16.98									
q3	0.45	0.43	0.50	0.59	0.94	0.91	0.39	0.29	0.24	0.23									
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00									
Q3	17.18	17.38	17.67	18.09	18.54	19.02	19.50	19.98	20.45	21.30									
q3	0.25	0.27	0.31	0.36	0.45	0.51	0.55	0.59	0.61	0.60									
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00									
Q3	22.04	22.71	23.35	23.99	24.65	25.34	26.04	26.74	27.42	28.09									
q3	0.57	0.57	0.59	0.64	0.71	0.79	0.85	0.91	0.93	0.97									
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00									
Q3	26.05	26.65	26.79	27.61	27.71	28.85	29.05	29.38	29.52	29.75									
q3	0.98	0.99	0.98	1.02	1.10	1.22	1.38	1.50	1.61	1.68									
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00									
Q3	36.94	41.63	43.16	44.93	46.07	47.07	48.18	49.86	49.51	50.25									
q3	1.72	1.73	1.68	1.57	1.45	1.34	1.19	1.08	0.99	0.93									
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0									
Q3	51.09	51.85	52.71	53.70	54.99	56.22	59.27	62.71	65.17	66.41									
q3	0.87	0.91	1.05	1.28	1.63	1.92	2.37	2.93	3.20	3.24									
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0									
Q3	72.25	74.77	77.02	79.08	80.61	82.62	84.23	85.76	88.66	91.39									
q3	3.05	2.89	2.75	2.64	2.53	2.47	2.44	2.43	2.47	2.43									
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0									
Q3	93.55	95.38	97.25	98.45	99.38	99.77	99.95	99.99	100.00	100.00									
q3	2.29	1.96	1.45	1.02	0.65	0.40	0.21	0.10	0.02	0.00									

x : diameter / µm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

Header: S02 | Ref: 2.001 mb [Sample] | Distribution: 0.03 10.0 50.0 90.0 100.0 150.0 200.0 250.0 300.0 350.0 400.0 450.0 500.0

Lampiran 7 Perhitungan *mechanical alloying* penguat

perhitungan *mechanical alloying* penguat

Berat Spesimen= 15 gram

- Variasi 42% penguat

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Penguat}}{100\%} \times \text{berat spesimen} \\ &= \frac{42\%}{100\%} \times 15 \text{ gram} \\ &= 0,42 \times 15 \text{ gram} \\ &= 6,3 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jenis penguat ada 4, maka:

$$\begin{aligned} &= \frac{6,3 \text{ gram}}{\text{jumlah jenis penguat}} \\ &= \frac{6,3 \text{ gram}}{4} \end{aligned}$$

$$= 1,575 \text{ gram}$$

Perbandingan antar penguat yaitu:

- 1(25% dari 6,3 gram) untuk aluminium=1,575 gram
- 1(25% dari 6,3 gram) untuk kuningan=1,575 gram
- 0,5(12,5% dari 6,3 gram) untuk ampas tebu=0,7875 gram
- 1,5(37,5% dari 6,3 gram) untuk silika=2,3625 gram

Ampas tebu digunakan perbandingan 0,5 dikarenakan densitasnya rendah, sehingga volume serbuk tidak memenuhi volume tabung dari mesin *ball mill* dan membuat bola bola yang ada didalam mesin *Ball mill* leluasa bergerak dan menabrak antar bola lainnya dan membuat serbuk menjadi halus, agar mencapai 100% penguat maka perbandingan silika dinaikan menjadi 1,5 karena densitasnya tinggi.

Dikarenakan ada 9 sample maka setiap penguat dikalikan dengan 9

- Aluminium 1,575 gram $\times$ 9=14,175 gram
- Kuningan 1,575 gram $\times$ 9=14,175 gram
- Ampas tebu 0,7875 gram $\times$ 9=7,0875 gram
- Silika 2,3625 gram $\times$ 9= 21,2625 gram

$$\text{Total serbuk}=14,175 \text{ gram}+14,175 \text{ gram}+7,0875 \text{ gram}+21,2625 \text{ gram}=56,7 \text{ gram}$$

Jadi untuk proses *mechanical alloying* variasi 50% penguat dibutuhkan jumlah penguat sebanyak 56,7 gram sesuai dengan perhitungan diatas, begitu juga dengan perhitungan untuk variasi penguat lainnya lainnya.

perhitungan *mechanical alloying* penguat

Berat Spesimen= 15 gram

- Variasi 50% penguat
$$= \frac{\text{Penguat}}{100\%} \times \text{berat spesimen}$$
$$= \frac{50\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$$
$$= 0,50 \times 15 \text{ gram}$$
$$= 7,5 \text{ gram}$$

Jenis penguat ada 4, maka:

$$= \frac{7,5 \text{ gram}}{\text{jumlah jenis penguat}}$$

$$= \frac{7,5 \text{ gram}}{4}$$

$$= 1,875 \text{ gram}$$

Perbandingan antar penguat yaitu:

- 1(25% dari 7,5 gram) untuk aluminium=1,875 gram
- 1(25% dari 7,5 gram) untuk kuningan=1,875 gram
- 0,5(12,5% dari 7,5 gram) untuk ampas tebu=0,9375 gram
- 1,5(37,5% dari 7,5 gram) untuk silika=2,8125 gram

Ampas tebu digunakan perbandingan 0,5 dikarenakan densitasnya rendah, sehingga volume serbuk tidak memenuhi volume tabung dari mesin *ball mill* dan membuat bola bola yang ada didalam mesin *Ball mill* leluasa bergerak dan menabrak antar bola lainnya dan membuat serbuk menjadi halus, agar mencapai 100% penguat maka perbandingan silika dinaikan menjadi 1,5 karena densitasnya tinggi.

Dikarenakan ada 9 sample maka setiap penguat dikalikan dengan 9

- Aluminium 1,875 gram $\times$ 9=16,875 gram
- Kuningan 1,875 gram $\times$ 9=16,875 gram
- Ampas tebu 0,9375 gram $\times$ 9=8,4375 gram
- Silika 2,8125 gram $\times$ 9= 25,3125 gram

$$\text{Total serbuk}=6,875 \text{ gram}+16,875 \text{ gram}+8,4375 \text{ gram}+25,3125 \text{ gram}=67,5 \text{ gram}$$

Jadi untuk proses *mechanical alloying* variasi 50% penguat dibutuhkan jumlah penguat sebanyak 67,5 gram sesuai dengan perhitungan diatas, begitu juga dengan perhitungan untuk variasi penguat lainnya.

perhitungan *mechanical alloying* penguat

Berat Spesimen= 15 gram

- Variasi 58% penguat
$$= \frac{\text{Penguat}}{100\%} \times \text{berat spesimen}$$
$$= \frac{58\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$$
$$= 0,58 \times 15 \text{ gram}$$
$$= 8,7 \text{ gram}$$

Jenis penguat ada 4, maka:

$$= \frac{8,7 \text{ gram}}{\text{jumlah jenis penguat}}$$

$$= \frac{8,7 \text{ gram}}{4}$$

$$= 2,175 \text{ gram}$$

Perbandingan antar penguat yaitu:

- 1(25% dari 8,7 gram) untuk aluminium=2,175 gram
- 1(25% dari 8,7 gram) untuk kuningan=2,175 gram
- 0,5(12,5% dari 8,7 gram) untuk ampas tebu=1,0875 gram
- 1,5(37,5% dari 8,7 gram) untuk silika=3,2625 gram

Ampas tebu digunakan perbandingan 0,5 dikarenakan densitasnya rendah, sehingga volume serbuk tidak memenuhi volume tabung dari mesin *ball mill* dan membuat bola bola yang ada didalam mesin *Ball mill* leluasa bergerak dan menabrak antar bola lainnya dan membuat serbuk menjadi halus, agar mencapai 100% penguat maka perbandingan silika dinaikan menjadi 1,5 karena densitasnya tinggi.

Dikarenakan ada 9 sample maka setiap penguat dikalikan dengan 9

- Aluminium 2,175 gram $\times 9 = 19,575 \text{ gram}$
- Kuningan 2,175 gram $\times 9 = 19,575 \text{ gram}$
- Ampas tebu 1,0875 gram $\times 9 = 9,7875 \text{ gram}$
- Silika 3,2625 gram $\times 9 = 29,3625 \text{ gram}$

$$\text{Total serbuk} = 19,575 \text{ gram} + 19,575 \text{ gram} + 9,7875 \text{ gram} + 29,3625 \text{ gram} = 78,3 \text{ gram}$$

Jadi untuk proses *mechanical alloying* variasi 58% penguat dibutuhkan jumlah penguat sebanyak 78,3 gram sesuai dengan perhitungan diatas, begitu juga dengan perhitungan untuk variasi penguat lainnya lainnya.

Lampiran 8 Perhitungan serbuk untuk setiap variasi matrik dan penguat

1. Variasi 42% matrik & 58% penguat

Spesimen beratnya 15 gram

- Matrik 42%
 $= \frac{42\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,42\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 6,3 \text{ gram}$
- Penguat 58%
 $= \frac{58\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,58\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 8,7 \text{ gram}$

Jadi, diperlukan berat serbuk matrik sebanyak 6,3 gram dan serbuk penguat sebanyak 8,7 gram untuk satu spesimen di variasi matrik 42% dan penguat 58%, total berat serbuk 6,3 gram+8,7 gram=15 gram.

2. Variasi 50% matrik & 50% penguat

Spesimen beratnya 15 gram

- Matrik 50%
 $= \frac{50\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,50\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 7,5 \text{ gram}$
- Penguat 50%
 $= \frac{50\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,50\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 7,5 \text{ gram}$

Jadi, diperlukan berat serbuk matrik sebanyak 7,5 gram dan serbuk penguat sebanyak 7,5 gram untuk satu spesimen di variasi matrik 50% dan penguat 50%, total berat serbuk 7,5 gram+7,5 gram=15 gram.

3. Variasi 58% matrik & 42% penguat

Spesimen beratnya 15 gram

- Matrik 58%
 $= \frac{58\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,58\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 8,7 \text{ gram}$
- Penguat 42%
 $= \frac{42\%}{100\%} \times 15 \text{ gram}$
 $= 0,42\% \times 15 \text{ gram}$
 $= 6,3 \text{ gram}$

Jadi, diperlukan berat serbuk matrik sebanyak 8,7 gram dan serbuk penguat sebanyak 6,3 gram untuk satu spesimen di variasi matrik 58% dan penguat 42%, total berat serbuk 8,7 gram+6,3 gram=15 gram.

Lampiran 9 Perhitungan Anova Uji Kekerasan

Diketahui	
a(matrik)	3
b(kompaksi)	3
n	3
y^2/abn	428652
y^2_{ijk}	431338
y^2_i	3864404
y^2_j	3872142
Y	3402
y^2_{ij}	431156,6667
y^2	11573604
1/bn	0,111111
1/an	0,111111
SST	2686
SSMT	296,44
SSKM	1155,762
SS axb	1052,4647

➤ y

Matrik	Tekanan kompaksi(Psi)		
	5000	5300	5600
42	102	125	131
	102	118	133
	108	122	129
50	120	133	132
	117	127	131
	121	135	136
58	126	130	134
	124	129	141
	121	136	139
		y	3402
		y ²	11573604
		y ² /abn	428652

➤ Σy^2_{ijk}

Matrik	Tekanan kompaksi(Psi)		
	5000	5300	5600
42	10404	15625	17161
	10404	13924	17689
	11664	14884	16641
50	14400	17689	17424
	13689	16129	17161
	14641	18225	18496
58	15876	16900	17956
	15376	16641	19881
	14641	18496	19321
		Σy^2_{ijk}	431338

➤ Σy^2_j dan Σy^2_i

Matrik	Tekanan kompaksi(Psi)			Σy^2_i	
	5000	5300	5600		
42	102	125	131		
	102	118	133	1070	1144900
	108	122	129		
50	120	133	132		
	117	127	131	1152	1327104
	121	135	136		
58	126	130	134		
	124	129	141	1180	1392400
	121	136	139	$\Sigma y^2_i =$	3864404
Σy^2_j	1041	1155	1206		
	1083681	1334025	1454436		
		$\Sigma y^2_j =$	3872142		

➤ Σy^2_{ij}

Matrik	Tekanan kompaksi(Psi)				Σy^2_{ij}	
	5000	5300	5600			
42	102	125	131	312	365	393
	102	118	133			
	108	122	129			
50	120	133	132	358	395	399
	117	127	131			
	121	135	136			
58	126	130	134	371	395	414
	124	129	141			
	121	136	139			
				97344	133225	154449
				128164	156025	159201
				137641	156025	171396
						1293470
					$\Sigma y^2_{ij} =$	431156,6667

- ❖ $SST = \sum_i^a = 1 \sum_j^b = 1y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} = 431338 - 428652 = 2686$
- ❖ $SSMT = \frac{1}{an} \sum_i^a = 1y^2_i - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 3864404 - 428652 = 296,44$
- ❖ $SSKM = \frac{1}{bn} \sum_j^b = 1y^2_j - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 3872142 - 428652 = 1155,762$
- ❖ $SSab = \frac{1}{n} \sum_a^a = 1 \sum_b^b = 1y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SSa - SSb$
 $= 431156,6667 - 428652 - 296,44 - 1155,762 = 1052,4647$
- ❖ $SSE = SST - SSa - SSb - SSab = 2686 - 296,44 - 1155,762 - 1052,4647 = 181,33$
- ❖ $DFa = a - 1 = 3 - 1 = 2$
- ❖ $DFb = a - 1 = 3 - 1 = 2$
- ❖ $DFab = (a - 1)(b - 1) = (3 - 1)(3 - 1) = 2 \times 2 = 4$
- ❖ $DFT = abn - 1 = 3 \times 3 \times 3 - 1 = 27 - 1 = 26$
- ❖ $DFE = ab(n - 1) = 3 \times 3(3 - 1) = 3 \times 3(2) = 3 \times 6 = 18$
- ❖ $MSa = SSa / DFa = 296,44 / 2 = 148,22$
- ❖ $MSb = SSb / DFb = 1155,762 / 2 = 577,881$
- ❖ $MSab = SSab / DFab = 1052,4647 / 4 = 263,116$
- ❖ $MSE = SSE / DFE = 181,33 / 18 = 10,074$
- ❖ $Fa = MSa / MSE = 148,22 / 10,074 = 14,713$
- ❖ $Fb = MSb / MSE = 577,881 / 10,074 = 55,378$
- ❖ $Fab = MSab / MSE = 263,116 / 10,074 = 26,118$

Lampiran 10 Perhitungan Anova Uji Densitas

Diketahui	
a(matrik)	3
b(kompaksi)	3
n	3
y^2/abn	49,156213
y^2_{ijk}	50,69338
y^2_{2i}	442,4972
y^2_{2j}	442,62724
Y	36,431
y^2_{2ij}	49,25973
y^2	1327,2178
1/bn	0,111111
1/an	0,111111
SST	1,53716563
SSMT	-0,03903
SSKM	0,02459
SS $a \times b$	0,167137

➤ y

Matrik	Kompaksi		
	5000	5300	5600
42	1,189	1,013	1,023
	1,339	1,384	1,235
	1,522	1,588	1,622
50	1,229	1,579	1,178
	1,27	1,239	1,233
	1,262	1,385	1,803
58	1,016	1,045	1,01
	1,413	1,438	1,436
	1,595	1,429	1,956
		y	36,431
		y^2	1327,218
		y^2/abn	49,15621

➤ Σy^2_{ijk}

Matrik	Kompaksi		
	5000	5300	5600
42	1,413721	1,02617	1,046529
	1,792921	1,91546	1,525225
	2,316484	2,52174	2,630884
50	1,510441	2,49324	1,387684
	1,6129	1,53512	1,520289
	1,592644	1,91823	3,250809
58	1,032256	1,09203	1,0201
	1,996569	2,06784	2,062096
	2,544025	2,04204	3,825936
		Σy^2_{ijk}	50,69338

➤ Σy^2_{2i} dan Σy^2_{2j}

Matrik	Kompaksi			Σy^2_{2i}	
	5000	5300	5600		
42	1,189	1,013	1,023		
	1,339	1,384	1,235	11,915	141,9672
	1,522	1,588	1,622		
50	1,229	1,579	1,178		
	1,27	1,239	1,233	12,178	148,3037
	1,262	1,385	1,803		
58	1,016	1,045	1,01		
	1,413	1,438	1,436	12,338	152,2262
	1,595	1,429	1,956	$\Sigma y^2_{2i} =$	442,4972
$\Sigma y^2_{2j} =$	11,835	12,1	12,496		
	140,0672	146,41	156,15002		
		$\Sigma y^2_{2j} =$	442,62724		

❖ Σy^2_{ij}

Matrik	Kompaksi				Σy^2_{ij}	
	5000	5300	5600			
42	1,189	1,013	1,023	4,05	3,985	3,88
	1,339	1,384	1,235			
	1,522	1,588	1,622			
50	1,229	1,579	1,178	3,761	4,203	4,214
	1,27	1,239	1,233			
	1,262	1,385	1,803			
58	1,016	1,045	1,01	4,024	3,912	4,402
	1,413	1,438	1,436			
	1,595	1,429	1,956			
				16,4025	15,880225	15,0544
				14,14512	17,665209	17,7578
				16,19258	15,303744	19,3776
						147,7792
					$\Sigma y^2_{ij} =$	49,25973

❖ $SST = \sum_i^a = 1 \sum_j^b = 1y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} = 50,69338 - 49,156213 = 1,53716563$

❖ $SSMT = \frac{1}{an} \sum_i^a = 1y^2_i - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 442,4972 - 49,156213 = -0,03903$

❖ $SSKM = \frac{1}{bn} \sum_j^b = 1y^2_j - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 442,62724 - 49,156213 = -0,02459$

❖ $SSab = \frac{1}{n} \sum_a^a = 1 \sum_b^b = 1y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SSa - SSb$
 $= 49,25973 - 49,156213 - (-0,03903) - (-0,02459) = 0,167137$

❖ $SSE = SST - SSa - SSb - SSab = 1,53716563 - (-0,03903) - (-0,02459) - (-0,167137) = 1,76792263$

❖ $DFa = a - 1 = 3 - 1 = 2$

❖ $DFb = a - 1 = 3 - 1 = 2$

❖ $DFab = (a - 1)(b - 1) = (3 - 1)(3 - 1) = 2 \times 2 = 4$

❖ $DFT = abn - 1 = 3 \times 3 \times 3 - 1 = 27 - 1 = 26$

❖ $DFE = ab(n - 1) = 3 \times 3(3 - 1) = 3 \times 3(2) = 3 \times 6 = 18$

❖ $MSa = SSa / DFa = -0,03903 / 2 = -0,019515$

❖ $MSb = SSb / DFb = -0,02459 / 2 = -0,012295$

❖ $MSab = SSab / DFab = 0,167137 / 4 = 0,04178425$

❖ $MSE = SSE / DFE = 1,76792263 / 18 = 0,0982$

❖ $Fa = MSa / MSE = -0,019515 / 0,0982 = -0,0198$

❖ $Fb = MSb / MSE = -0,012295 / 0,0982 = -0,1252$

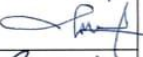
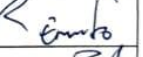
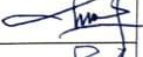
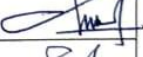
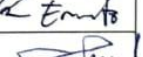
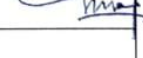
❖ $Fab = MSab / MSE = 0,04178425 / 0,0982 = 0,4255$

Lampiran 11 Poster Proyek Akhir



Lampiran 12 Form Bimbingan

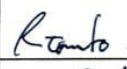
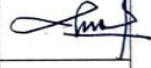
FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....			
JUDUL		Proses Pembuatan komposit matrik getas Arca diperkuat dengan Paduan logam dan bagasse ash menggunakan metode metalurgi Serbuk	
Nama Mahasiswa		Muhammad Fadhil NIM: 1042219	
Nama Pembimbing		1. Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng. 2. Erwanto, S.S.T., M.T. 3.	
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	14-02-2015	Menyelesaikan BAB I	
2	28-02-2015	Menyelesaikan BAB II dan III	
3	14-03-2015	Mempersiapkan alat dan bahan	
4	17-04-2015	Bimbingan zakalah bab 3 dan 4	
5	07-05-2015	Mempersiapkan bahan TA	
6	27-05-2015	Mencampur bahan / mengkilas	
7	02-06-2015	Diskusi menanggapi cetakan	
8	30-06-2015	Pergecekan tulisan BAB IV	
9	07-07-2015	Pergecekan tulisan BAB IV dan V	
10			

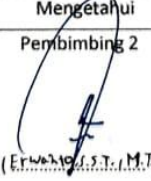
Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Komisi Proyek Akhir

Lampiran 13 Form Monitoring

 FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025			
JUDUL		Proses Pembuatan komposit matrik getas perca diperkuat dengan balok logam dan bagasse ash menggunakan metode metalurgi serbuk	
Nama Mahasiswa		1. Muhammad Fadhil/NIM: 1042219 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	17-April-2025	50% Proposal	
2	17-April-2025	Bimbingan makalah bab 3 dan 4	
3	02-Juni-2025	100% proposal selesai	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Dr. Sukarno, S.T., M.Eng)	Pembimbing 2  (Erwan, S.T., I.M.T)	Pembimbing 3 (.....)

Silahkan diatur kolom baru jika jumlah pembimbing lebih dari yang tersedia.

Lampiran 14 Cek Plagiasi



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Muhammad Fadhil
Assignment title: Proyek Akhir 2025 D4
Submission title: PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik Phenolic Resin Dip...
File name: S_M.fadhil.docx
File size: 4.24M
Page count: 74
Word count: 11,365
Character count: 70,377
Submission date: 04-Jul-2025 10:38AM (UTC+0700)
Submission ID: 2709965942

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kayu merupakan salah satu sumber daya alam yang penting bagi kehidupan manusia yang berperan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Kayu memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah diproses. Namun, kayu memiliki kelemahan, yaitu mudah rusak karena serangan jamur, serangga, dan cuaca. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pengolahan kayu agar tahan lama. Salah satu cara untuk meningkatkan daya tahan kayu adalah dengan menggunakan resin epoksi. Resin epoksi memiliki sifat yang kuat dan tahan lama, sehingga dapat digunakan sebagai perekat untuk kayu. Dengan menggunakan resin epoksi, kayu akan menjadi lebih kuat dan tahan lama.

Salah satu jenis resin epoksi yang banyak digunakan adalah resin epoksi dua komponen. Resin epoksi dua komponen terdiri dari resin epoksi dan hardener. Resin epoksi dan hardener akan berikatan membentuk resin epoksi yang kuat. Resin epoksi dua komponen ini banyak digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pembuatan pelapis, perekat, dan bahan komposit. Resin epoksi dua komponen ini memiliki sifat yang kuat dan tahan lama, sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan.

Muhammad Fadhil

**PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK PHENOLIC RESIN
DIPERKUAT DENGAN PADUAN LOGAM DAN BAGASSE ASH M...**



Proyek Akhir 2025 D4



PA D4 2025



Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Document Details

Submission ID

trnoid::1:3289948564

Submission Date

Jul 4, 2025, 10:37 AM GMT+7

Download Date

Jul 4, 2025, 11:30 AM GMT+7

File Name

S_M.fadhil.docx

File Size

4.2 MB

74 Pages

11,365 Words

70,377 Characters

12% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

Top Sources

- 12%  Internet sources
- 0%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an Indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

12%  Internet sources
0%  Publications
0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1 Internet
repository.polman-babel.ac.id

12%