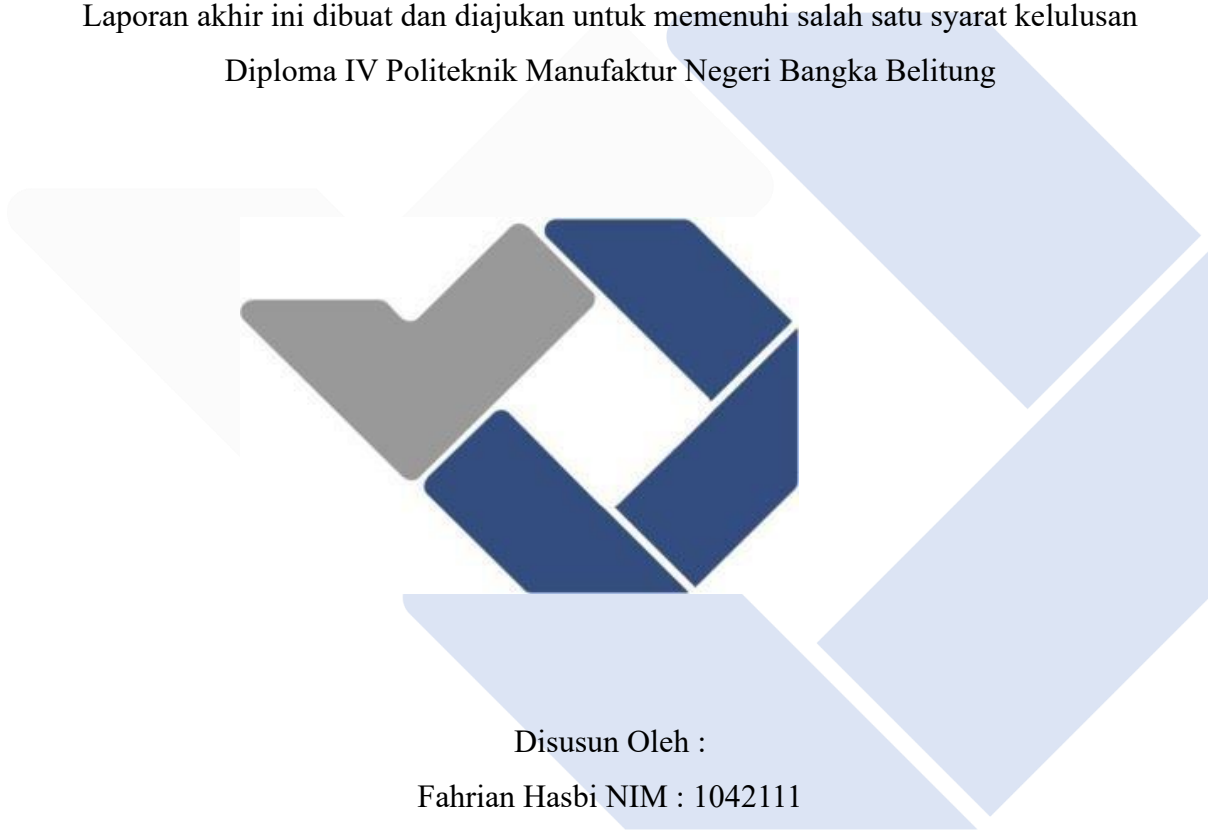


**PENGUATAN KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM
MENGUNAKAN PASIR SILIKA HIBRID (SiO_2 /BA/RHA)
UNTUK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DENGAN
METALURGI SERBUK**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan
Diploma IV Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :
Fahrian Hasbi NIM : 1042111

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUATAN KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM MENGGUNAKAN PASIR SILIKA HIBRID (SiO_2 /BA/RHA) UNTUK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DENGAN METALURGI SERBUK

Oleh:

Fahrian Hasbi

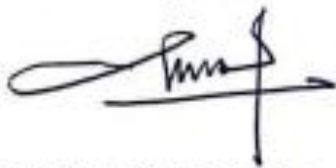
NIRM

1042111

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

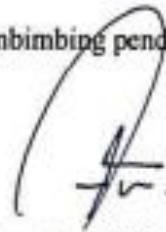
Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing pendamping



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

Penguji 1



Zulfiriyanto, S.S.T., M.T.

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Fahrian Hasbi NIRM 1042111

Dengan Judul : PENGUATAN KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM MENGGUNAKAN PASIR SILIKA HIBRID (SiO_2 /BA/RHA) UNTUK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DENGAN 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 kami, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 24 Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Fahrian Hasbi



ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap sifat densitas dan kekerasan komposit matriks aluminium yang diperkuat dengan SiO₂, BA, dan RHA. Komposit dibuat menggunakan metode metalurgi serbuk dengan memanfaatkan aluminium daur ulang sebagai matriks. Penelitian ini melibatkan proses pencampuran serbuk aluminium dengan SiO₂, BA, RHA. Parameter proses yang diterapkan meliputi *Ball Powder Weight Ratio* (BPR) sebesar 10:1, kecepatan putar 90 rpm, dan durasi penggilingan selama 6 jam, dengan variasi persentase penguat sebesar 6%, 8%, dan 10%. Tahap kompaksi dilakukan dengan metode penekanan dua arah, menggunakan tekanan 6000 Psi pada suhu 400°C, serta waktu penahanan selama 18 menit. Selanjutnya, proses sintering dilaksanakan pada suhu 530°C, 550°C, 570°C dengan waktu penahanan selama 10 menit. Pengujian meliputi uji densitas menggunakan standar ASTM B962-17 dan uji kekerasan sesuai ASTM E110-14. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi persentase penguat dan suhu sintering memengaruhi sifat mekanik komposit. Kombinasi optimal dari parameter proses menghasilkan komposit dengan kekerasan dan densitas tinggi, menunjukkan potensi material ini sebagai pengganti material berbasis asbestos dalam aplikasi kampas rem.

Kata Kunci : komposit matriks aluminium, pasir silika, metalurgi serbuk, kampas rem, aluminium daur ulang.

ABSTRACT

This research aims to explore the influence of reinforcement percentage and sintering temperature on the density and hardness properties of aluminum matrix composites reinforced with SiO₂, BA, and RHA. The composites were fabricated using the powder metallurgy method, utilizing recycled aluminum as the matrix. The study involved mixing aluminum powder with SiO₂, BA, and RHA. The process parameters applied included a Ball Powder Weight Ratio (BPR) of 10:1, a rotational speed of 90 rpm, and a milling duration of 6 hours, with reinforcement percentage variations of 6%, 8%, and 10%. The compaction stage was conducted using a two-way pressing method, applying a pressure of 6000 Psi at a temperature of 400°C, with a holding time of 18 minutes. Subsequently, the sintering process was carried out at temperatures of 530°C, 550°C, and 570°C with a holding time of 10 minutes. The testing involved density measurement according to ASTM B962-17 and hardness testing according to ASTM E110-14. The results indicated that variations in reinforcement percentage and sintering temperature significantly affect the mechanical properties of the composites. The optimal combination of process parameters resulted in composites with high hardness and density, demonstrating the potential of this material as a substitute for asbestos-based materials in brake pad applications.

Keyword : Aluminum matrix composite, silica sand, powder metallurgy, brake pad, recycled aluminum.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**PENGUATAN KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM MENGGUNAKAN PASIR SILIKA HIBRID (SiO_2 /BA/RHA) UNTUK KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DENGAN METALURGI SERBUK**“, penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (PolmanBabel).

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng.,PhD, selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
2. Bapak Pristiansyah, S.S.T, M.Eng. selaku ketua program studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng., Selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa dengan sabar memberikan masukan dan perbaikan selama penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Erwanto, S.S.T., M.T, selaku dosen pembimbingan kedua yang telah banyak memberikan ide-ide dan konsep pemikirannya selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Kedua orang tua tercinta, bapak Suharman dan ibu Sri Lestari yang telah menjadi orang tua terhebat, yang selalu memberikan motivasi, nasihat, semangat, perhatian, kasih sayang, fasilitas, dan doa kepada penulis yang takkan bisa penulis balas.
7. Kakak saya tercinta Lesta Herliana yang telah memberikan dukungan kepada penulis agar bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dan memberi dukungan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan Namanya satu persatu.

Penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, namun penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan. Penulis berharap semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi demi pengembangan ke arah yang lebih baik.

Sungailiat, 15 Juli 2024

Fahrian Hasbi

A decorative graphic consisting of several overlapping geometric shapes, primarily triangles and quadrilaterals, in shades of light blue and light gray, arranged in a stylized, abstract pattern.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	3
ABSTRAK.....	4
<i>ABSTRACT</i>	5
KATA PENGANTAR	6
DAFTAR TABEL	10
DAFTAR GAMBAR.....	11
DAFTAR LAMPIRAN.....	12
BAB I.....	13
PENDAHULUAN	13
1.1. Latar Belakang	13
1.2. Rumusan Masalah	14
1.3. Tujuan Penelitian	14
1.4. Batasan Masalah	14
BAB II	15
TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1 Penelitian Terdahulu	15
2.2 Komposit.....	17
2.2.1. Definisi Komposit.....	17
2.2.2. Klasifikasi Material Komposit.....	18
2.3 Mesin <i>Ball Mill</i>	20
2.4 Metalurgi Serbuk	21
2.4.1 <i>Mixing</i> (pencampuran serbuk).....	21
2.4.2 Kompaksi.....	23
2.4.3 Sintering.....	25
2.5 Aluminium	26
2.6 Silika	27
2.7 <i>Baggase Ash</i>	28
2.8 <i>Rice Husk Ash</i>	29
2.9 Uji Densitas.....	29
2.10 Uji Kekerasan.....	30
2.11 Kampas Rem.....	31
2.12 Metode Desain Full Faktorial	32

BAB III.....	33
METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1 Metode Pelaksanaan.....	33
3.2 Studi Literatur	34
3.3 Perancangan Parameter Proses	34
3.3.1. Pemaduan mekanik (<i>mechanical alloying</i>).....	34
3.3.2. Tekanan kompaksi	34
3.3.3. Suhu sintering.....	34
3.3.4. Komposisi alumunium dan penguat	34
3.4 Bahan dan Alat Penelitian.....	35
3.4.1 Bahan penelitian	36
3.4.2 Alat penelitian	37
3.5 Prosedur Penelitian	40
3.6 Validasi Spesimen	41
3.7 Penguujian Densitas.....	41
3.8 Penguujian Kekerasan.....	41
3.9 Pengolahan Data	42
3.10 Analisis Data.....	42
BAB IV.....	43
PEMBAHASAN.....	43
4.1. Hasil Pemaduan Mekanik (<i>Mechanical Alloying</i>)	43
4.2. Spesimen Sebelum Pengujian.....	44
4.3. Uji Densitas Sebelum Sintering.....	45
4.4. Uji Kekerasan Sebelum Sintering.....	50
4.5. Uji Densitas Setelah Sintering	51
4.6. Uji Kekerasan Setelah Sintering	56
BAB V	61
KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat fisik Aluminium.	26
Tabel 2. 2 Sifat fisik dan mekanik silika	28
Tabel 2. 3 Komposisi kimia <i>baggage ash</i>	28
Tabel 2. 4 Komposisi kimia <i>rice husk ash</i>	29
Tabel 2. 5 persyaratan kampas rem komposit.....	31
Tabel 4. 1. Hasil timbangan sampel kering.	46
Tabel 4. 2. Hasil timbangan sampel basah.....	47
Tabel 4. 3. Hasil perhitungan densitas sebelum sintering.....	49
Tabel 4. 4. Hasil uji kekerasan sebelum sintering.	50
Tabel 4. 5. Hasil penimbangan sampel kering setelah sintering.....	52
Tabel 4. 6. Hasil penimbangan basah sampel setelah sintering.....	52
Tabel 4. 7. Hasil perhitungan densitas setelah di sintering.....	54
Tabel 4. 8. Data analisis variasi uji densitas.	55
Tabel 4. 9. Hasil uji kekerasan setelah sintering.....	57
Tabel 4. 10. Data analisis variasi uji kekerasan.	58
Tabel 4. 11. Perbandingan penelitian terdahulu.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi komposit berdasarkan matrik	17
Gambar 2. 2 Proses penekanan satu arah dan dua arah.	24
Gambar 2. 3 Tahapan proses pembentukan kepadatan serbuk	25
Gambar 2. 4 Tahapan proses sintering.....	26
Gambar 2. 5 Ilustrasi pengujian densitas	30
Gambar 3. 1 Diagram alir	33
Gambar 3. 2 Serbuk aluminium hasil daur ulang	35
Gambar 3. 3 Pasir silika.....	35
Gambar 3. 4 Serbuk <i>Baggase ash</i>	36
Gambar 3. 5 <i>Serbuk rice husk ash</i>	36
Gambar 3. 6 Timbangan digital	36
Gambar 3. 7 <i>Ball mill machine</i>	37
Gambar 3. 8 Mesin press hidrolik	37
Gambar 3. 9 Cetakan	38
Gambar 3. 10 Thermocouple	38
Gambar 3. 11 thermogun	38
Gambar 3. 12 oven.....	39
Gambar 3. 13 Gelas ukur	39
Gambar 3. 14 Alat uji densitas.....	39
Gambar 3. 15 Alat uji kekerasan <i>portable</i>	40
Gambar 4. 1 Serbuk hasil pemaduan mekanik.	43
Gambar 4. 2 Grafik uji <i>particle size analyzer</i>	44
Gambar 4. 3 Contoh sampel	45
Gambar 4. 4 Spesimen.....	45
Gambar 4. 5. Proses pengujian densitas.	46
Gambar 4. 6. Grafik uji densitas sebelum sintering.	49
Gambar 4. 7. Proses pengujian kekerasan.	50
Gambar 4. 8. Grafik uji kekerasan sebelum sintering.	51
Gambar 4. 9. Proses uji densitas setelah sintering.....	51
Gambar 4. 10. Grafik uji densitas setelah sintering.....	55
Gambar 4. 11. Proses uji kekerasan setelah sintering.....	57
Gambar 4. 12. Grafik uji kekerasan setelah sintering.....	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis	65
Lampiran 2 Hasil Uji <i>Particle Size Analyzer</i> Alumunium	66
Lampiran 3 Hasil Uji <i>Particle Size Analyzer</i> Silika	68
Lampiran 4 Hasil Uji <i>Particle Size Analyzer</i> Baggase Ash	70
Lampiran 5 Hasil Uji <i>Particle Size Analyzer</i> Rice Husk Ash	72
Lampiran 6 Uji <i>Particle Size Analyzer</i> Hasil Pemaduan Mekanik.....	74



BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Salah satu komponen penting dalam kendaraan bermotor adalah kampas rem yang berfungsi untuk menghentikan atau mengurangi laju kendaraan agar tidak membahayakan penumpang. Saat ini, masih banyak kampas rem yang masih menggunakan bahan asbestos sebagai material pembuatan kampas rem sebagai bahan utama dan bahan campuran lain seperti, resin, serpihan logam, *friction additive*, *filler*, karet sintetis, dan keramik [1].

Sebuah studi yang dilakukan oleh Internasional Labour Organization (ILO) mengungkapkan bahwa sekitar 54,7% kasus penyakit kanker paru-paru di beberapa negara disebabkan oleh paparan asbes. Menurut (ILO) jenis kanker paru-paru ini adalah Mesothelioma. Sehingga, memerlukan inovasi sebagai alternatif untuk memenuhi material tersebut. Saat ini, salah satu material yang banyak dikembangkan adalah komposit matrik aluminium.

Aluminium digunakan karena memiliki beberapa keunggulan seperti, Sifatnya yang ringan, tahan terhadap karat yang luar biasa, dan titik yang lelehnya rendah, sehingga dapat mengurangi biaya proses daur ulang. Bahan penguat memiliki fungsi untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan gesekan, dan operasional suhu tinggi. Karakteristik ini membuatnya menjadi pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai penguat dalam komposit yang mengandung matrik aluminium. Material yang dapat meningkatkan nilai tersebut diantaranya, oksida mineral logam seperti, alumina (Al_2O_3), zirkonium silicate ($Zr(SiO_2)$), *silicon dioxide* (SiO_2) dan lain sebagainya.

Pada proses penggilingan padi menghasilkan limbah pertanian yang dikenal sebagai sekam padi. Sekam padi yang dibakar menghasilkan abu yang disebut dengan *rice husk ash* (RHA), memiliki sejumlah besar silika sehingga RHA memiliki sifat yang unik dan mungkin bermanfaat dalam berbagai aplikasi. Selain itu, serbuk *rice husk ash* juga mempunyai beberapa keunggulan seperti, biaya produksi yang rendah, mereduksi terjadinya Al_4C_3 (*Aluminium carbide*) yang bersifat korosif dan menjadi bahan alternatif baru untuk pengganti material asbes [2].

Material lain yang digunakan adalah *bagasse ash*. Abu ampas tebu merupakan limbah sisa pembakaran ampas tebu, yang juga mempunyai sejumlah silika yang belum maksimal dalam pemanfaatannya.[3].

Pasir silika adalah salah satu senyawa kimia yang mempunyai rumus molekul yaitu SiO_2 (*Silicon dioxide*), silika didapat dari silika mineral, nabati, serta sintetis. Silika yang ditemukan didalam bumi merupakan silika mineral yang dapat berupa pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang memiliki kandungan silika (SiO_2) dalam bentuk kristal. Silika memiliki sifat tahan aus, ketahanan termal, dan tingkat kekakuan yang tinggi. Selain itu, apabila (SiO_2) digunakan sebagai material penguat komposit yang dipadukan dengan aluminium maka akan memperoleh hasil material komposit yang mempunyai beberapa sifat seperti, tahan korosi, ringan kuat, serta *machinability* yang sangat baik [4].

1.2.Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah :

Bagaimana pengaruh variasi persentase penguat dan variasi suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium menggunakan pasir silika, *rice husk ash*, dan *baggage ash* dengan metalurgi serbuk.

1.3.Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yaitu :

Mendapatkan hasil dari pengaruh variasi persentase penguat dan suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium menggunakan pasir silika, *rice husk ash*, dan *baggage ash* dengan metalurgi serbuk.

1.4.Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan bahan aluminium hasil daur ulang.
2. Penguat komposit yang digunakan adalah pasir silika, *rice husk ash*, dan *baggage ash*.
3. Tekanan kompaksi panas sebesar 6000 Psi dengan suhu 400°C dan waktu tahan 18 menit.
4. Variasi suhu sintering yaitu 530°C, 550°C, 570°C dengan waktu tahan 10 menit.
5. Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah uji densitas ASTM B962-17 dan uji kekerasan ASTM E110-14

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diuraikan dalam Bab 1, penelitian ini difokuskan pada eksplorasi penerapan metode metalurgi serbuk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara mendalam pengaruh variasi tekanan kompaksi serta suhu sintering terhadap parameter densitas dan kekerasan dari komposit matriks aluminium, yang diperkaya dengan material penguat seperti pasir silika, abu sekam padi (*rice husk ash*), dan abu ampas tebu (*baggase ash*). Dalam rangka mencapai tujuan tersebut, diperlukan telaah literatur yang komprehensif dari berbagai sumber yang telah melakukan penelitian serupa dengan menggunakan material yang sebanding. Penelusuran referensi ini menjadi esensial guna memastikan kesesuaian metodologi dan validitas hasil penelitian yang diharapkan.

Dalam studi yang dilakukan oleh Supriyanto dkk [5] berjudul “Sifat Fisis dan Mekanis Matrik Komposit Al-Si yang Dibuat dengan Metode Metalurgi Serbuk,” penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi temperatur sintering terhadap struktur mikro, sifat mekanik, dan densitas komposit AlSi. Penelitian ini memanfaatkan butiran aluminium (Al) berukuran 250 μm dengan kemurnian 99,98%, serta silikon (Si) berukuran 250 μm dengan kemurnian 99,7%, dengan komposisi campuran AlSi sebesar 80:20. Campuran komposit ini dipadatkan menggunakan alat press dengan tekanan 3000 Psi, kemudian menjalani proses sintering pada suhu 400°C, 500°C, dan 600°C dengan waktu penahanan selama 20 menit. Penelitian ini menemukan bahwa peningkatan suhu sintering berkorelasi positif dengan peningkatan nilai densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan. Pada suhu sintering tertinggi, yaitu 600°C, densitas mencapai nilai maksimum sebesar 2,28 g/cm³, sementara kekerasan tertinggi yang tercatat adalah 33,33 HV. Hasil ini menunjukkan bahwa suhu sintering memegang peran penting dalam mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari komposit Al-Si yang dihasilkan melalui metode metalurgi serbuk, yang mana peningkatan suhu berkontribusi signifikan terhadap kualitas akhir material. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan material komposit berbasis aluminium-silikon, khususnya dalam konteks aplikasi yang memerlukan material dengan kekerasan dan densitas tinggi.

Merujuk pada penelitian yang dilaksanakan oleh Wahyudi dkk [6]. mengenai "Pengaruh Temperatur Sintering Serbuk Aluminium dan Serbuk Arang Kayu Glugu Terhadap Kekerasan

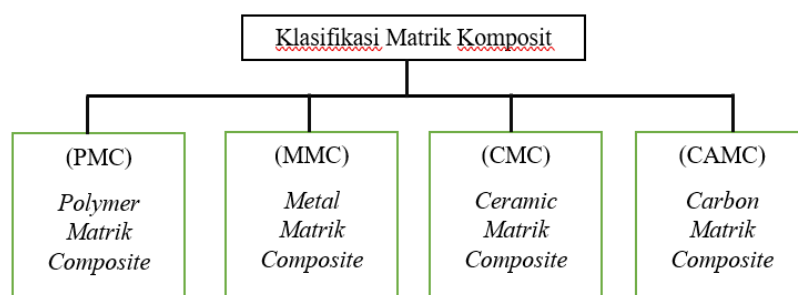
Komposit Kampas Rem," ditemukan bahwa seluruh sampel yang disinter pada temperatur 125°C, 175°C, dan 225°C serta dipadatkan dengan tekanan sebesar 2000 kg memenuhi standar SAE J661 untuk nilai kekerasan kampas rem, yang berkisar antara 68 hingga 105 Rockwell. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur sintering optimal yang diidentifikasi adalah 175°C, dengan kekerasan rata-rata sebesar 85,88 HRB, yang merupakan temperatur paling efektif dalam konteks studi ini. Penemuan ini menegaskan pentingnya pemilihan temperatur sintering yang tepat untuk mencapai karakteristik material yang diinginkan, khususnya dalam aplikasi kampas rem yang membutuhkan tingkat kekerasan tertentu untuk kinerja optimal.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ade Guna dkk [7]. yang berjudul "Efek Pemadatan Panas pada Komposit Matriks Aluminium Diperkuat Alumina atau Bagasse Ash: Densitas dan Kekerasan," penelitian ini mengeksplorasi penggunaan serbuk aluminium (Al) yang diperkuat dengan alumina dan abu bagasse dalam fraksi volume 5%, 10%, dan 15%. Serbuk aluminium dan material penguat tersebut dicampur menggunakan mesin ball mill selama 2 jam, menghasilkan ukuran serbuk sebesar 164 µm. Selanjutnya, material tersebut dikompaksi menggunakan alat press hidrolik dua arah dengan tekanan 6000 Psi, kemudian dilakukan proses sintering pada suhu 550°C, 580°C, dan 610°C. Hasil dari pengujian kekerasan menunjukkan peningkatan signifikan seiring dengan bertambahnya fraksi volume penguat yang digunakan. Sebagai contoh, sampel dengan fraksi volume penguat 95% menunjukkan nilai kekerasan mencapai 41,6 HB, sementara hasil pengujian densitas tertinggi dicapai pada nilai 2,228 g/cm³. Analisis mikroskopis terhadap struktur mikro dari sampel-sampel ini mengindikasikan bahwa peningkatan fraksi volume penguat yang digunakan mengakibatkan penggumpalan serbuk penguat serta menurunnya kualitas ikatan interlocking antar partikel, yang disebabkan oleh waktu pemaduan mekanik yang relatif singkat. Selain itu, kerapatan sampel terbaik tercapai pada sampel dengan fraksi volume penguat 5%, yang menunjukkan minimnya keretakan, penggumpalan, dan porositas dibandingkan dengan sampel-sampel yang menggunakan fraksi volume penguat 10% dan 15%. Penelitian ini mengungkapkan bahwa peningkatan proporsi penguat dalam komposit aluminium-alumina atau abu bagasse dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik material, khususnya kekerasan dan densitas, namun juga memperlihatkan tantangan dalam hal pengendalian kualitas ikatan antar partikel dan penggumpalan.

2.2 Komposit

2.2.1. Definisi Komposit

Komposit merujuk pada suatu material yang tersusun dari dua atau lebih bahan yang berlainan yang digabungkan secara sinergis untuk menghasilkan material dengan sifat-sifat unggul yang tidak dimiliki oleh komponen-komponennya secara individual. Klasifikasi komposit umumnya didasarkan pada jenis material yang berfungsi sebagai matriks, yang bertindak sebagai media pengikat serta penyalur beban antar material yang dikombinasikan. Kategori matriks ini dapat mencakup berbagai jenis bahan, seperti polimer, logam, keramik, atau kombinasi dari beberapa jenis material tersebut, yang masing-masing memberikan kontribusi unik terhadap karakteristik akhir dari komposit tersebut. Pemahaman yang mendalam tentang karakteristik matriks ini penting untuk menentukan aplikasi spesifik dan performa material komposit dalam berbagai bidang industri dan teknologi.



Gambar 2. 1 Klasifikasi komposit berdasarkan matrik [8]

Empat klasifikasi utama dari material komposit mencakup komposit dengan matriks polimer (Polymer Matrix Composite/PMC), komposit dengan matriks logam (Metal Matrix Composite/MMC), komposit dengan matriks keramik (Ceramic Matrix Composite/CMC), serta komposit dengan matriks karbon (Carbon Matrix Composite/CAMC). Dalam konteks perkembangan teknologi material saat ini, PMC telah menjadi varian komposit yang paling dominan penggunaannya di berbagai industri [8]. Proses integrasi antara matriks dan penguat dalam setiap jenis komposit ini menghasilkan material dengan sifat mekanis yang unik dan karakteristik yang khas, yang sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat material konstituen yang membentuk komposit tersebut. Keunikan karakteristik mekanik ini berperan penting dalam menentukan aplikasi spesifik dari masing-masing jenis komposit dalam bidang-bidang teknologi yang berbeda [9]. Dalam kajian ini, diakui bahwa integrasi atau sinergi dari beberapa bahan yang berbeda dapat berkontribusi pada penciptaan sifat komposit yang memiliki keunggulan yang lebih menonjol dan ketahanan yang lebih superior. Material komposit ini

memiliki sejumlah karakteristik yang menjadikannya sebagai pilihan unggul dalam berbagai aplikasi.

- a. Pertama, material komposit menunjukkan kekakuan serta kekuatan yang sangat tinggi, yang menjadi faktor penting dalam berbagai bidang teknik dan industri.
- b. Kedua, material ini menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap korosi, yang memperpanjang umur pakai dan mengurangi kebutuhan perawatan.
- c. Ketiga, dengan bobot yang relatif ringan, material komposit menawarkan efisiensi dalam hal mobilitas dan penggunaan energi, yang sangat relevan dalam konteks industri transportasi dan aerospace.
- d. Terakhir, proses produksi material komposit relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan tradisional, menjadikannya pilihan yang semakin diminati dalam pengembangan teknologi baru.

Karakteristik tersebut memberikan justifikasi yang kuat untuk preferensi terhadap material komposit dalam aplikasi teknik dan manufaktur modern, terutama dalam konteks kebutuhan akan material yang tidak hanya kuat, tetapi juga efisien dan tahan lama.

2.2.2. Klasifikasi Material Komposit

Material komposit dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan karakteristik matriks dan elemen penguatnya. Dari segi matriks, komposit dapat dipecah menjadi empat jenis utama, yakni:

1. *Metal Matrix Composite* (MMC). MMC merupakan jenis komposit di mana logam berperan sebagai matriks utamanya. Keunggulan MMC dibandingkan dengan logam konvensional terletak pada kemampuannya untuk mempertahankan kinerja yang optimal pada suhu yang lebih tinggi. Elemen penguat dalam MMC memiliki fungsi esensial dalam meningkatkan berbagai sifat material, termasuk kekakuan, kekuatan mekanis, ketahanan terhadap aus, ketahanan terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi (creep), konduktivitas termal, serta stabilitas dimensi. Jenis logam yang umumnya digunakan sebagai matriks dalam MMC meliputi superalloy, serta paduan logam seperti aluminium, magnesium, titanium, dan tembaga.
2. *Polymer Matrix Composite* (PMC). Polymer Matrix Composite (PMC) adalah suatu material komposit yang tersusun atas resin polimer sebagai matriks dan serat yang berfungsi sebagai penguat. Material ini memiliki aplikasi yang sangat luas dan beragam, serta digunakan dalam jumlah yang signifikan, mengingat karakteristiknya yang optimal pada suhu kamar, kemudahan dalam proses fabrikasi, serta biaya yang relatif terjangkau.

Dalam kajian ini, PMC diklasifikasikan berdasarkan jenis serat penguat yang digunakan, yaitu serat kaca, karbon, dan aramid, serta dikaitkan dengan beragam jenis resin polimer yang digunakan dalam aplikasinya. Masing-masing jenis penguat memberikan karakteristik yang berbeda pada PMC, sehingga memungkinkan penerapannya dalam berbagai bidang industri sesuai dengan kebutuhan spesifik. Analisis komprehensif ini juga mencakup tinjauan terhadap potensi pengembangan material PMC di masa depan, dengan mempertimbangkan inovasi dalam jenis resin dan serat penguat yang dapat meningkatkan kinerja dan efektivitas material ini dalam berbagai aplikasi [10].

3. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*. CMC ini memanfaatkan matriks keramik seperti alumina kalsium dan alumina silikat, yang dapat diperkuat dengan serat pendek serta whisker dari serat karbon atau silikon karbida. CMC menawarkan sejumlah keunggulan, antara lain tingkat kekerasan yang sangat tinggi, ketahanan terhadap suhu ekstrem, dan kepadatan yang rendah. Keunggulan-keunggulan ini dicapai berkat proses penguatan matriks keramik dengan serat, yang secara signifikan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material komposit tersebut. Dalam hal ini, serat yang digunakan sebagai penguat terdiri dari silikon karbida dan karbon, yang berkontribusi pada peningkatan sifat mekanik dan termal dari CMC. Penggunaan serat ini dalam matriks keramik tidak hanya memperbaiki kinerja material dalam kondisi ekstrem tetapi juga memungkinkan aplikasi dalam berbagai lingkungan yang menuntut performa tinggi [11].
4. *Carbon matrix composite (CAMC)*. CAMC merupakan bahan yang sangat istimewa. Bahan ini meliputi berbagai material, mulai dari pelumas hingga berlian, serta serat struktural. Bentuk matriks karbon, yang dihasilkan melalui berbagai metode pembuatan karbon-karbon, cenderung memiliki karakteristik yang relatif lemah dan rapuh. Rentang konduktivitas termal dapat bervariasi secara signifikan, dari sangat rendah hingga sangat tinggi, tergantung pada material prekursor dan prosedur pemrosesan yang digunakan. Seperti halnya dalam studi keramik, pengukuran sifat matriks yang bersifat in situ merupakan tantangan yang kompleks [8].

Dalam kajian mengenai material komposit, klasifikasi dapat dilakukan berdasarkan jenis penguat yang digunakan. Berdasarkan referensi yang ada pada [11], komposit dapat dikategorikan dalam tiga tipe utama:

1. Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis material komposit yang memanfaatkan serat sebagai bahan penguat yang terintegrasi dalam matriks. Kekuatan komposit ini secara alami

lebih optimal ketika menggunakan serat dalam bentuk panjang dibandingkan dengan serat yang berbentuk curah atau bulk. Hal ini disebabkan oleh sifat mekanik serat panjang yang memberikan kontribusi lebih besar terhadap kekuatan dan kekakuan material secara keseluruhan.

2. Komposit Partikel

Komposit partikel adalah kategori material komposit yang menggunakan partikel serbuk sebagai penguat, di mana partikel-partikel ini tersebar secara homogen dalam matriks. Penyebaran yang merata dari partikel-partikel ini memungkinkan distribusi kekuatan yang lebih seragam dalam material, sehingga mempengaruhi karakteristik mekanik dan struktur dari komposit tersebut.

3. Komposit Lapis

Komposit lapisan, atau sering disebut komposit multilayer, adalah material komposit yang terdiri dari dua lapisan atau lebih lamina. Jenis komposit ini menggunakan serat yang disusun dalam bentuk lapisan-lapisan, yang memberikan kekuatan dan ketahanan tambahan pada material. Komposit lapis banyak diterapkan dalam teknologi canggih dan industri otomotif, di mana kekuatan, daya tahan, dan performa tinggi sangat dibutuhkan.

Penjelasan ini memberikan wawasan tentang berbagai tipe komposit dan mekanisme penguatan yang mempengaruhi sifat-sifat material tersebut, sehingga memberikan landasan yang kuat untuk pemahaman dan penerapan dalam berbagai bidang teknologi dan industri.

2.3 Mesin *Ball Mill*

Mesin ball mill adalah perangkat industri yang dirancang khusus untuk proses pencampuran dan penghalusan bahan material hingga mencapai ukuran partikel yang lebih kecil atau halus. Proses penghancuran material dalam mesin ini terjadi melalui mekanisme tumbukan yang dihasilkan oleh bola-bola baja yang berputar di dalamnya. Dalam praktiknya, mesin ball mill sering digunakan untuk menggiling berbagai jenis material, termasuk namun tidak terbatas pada kuningan, silika, dan aluminium. Fungsi utama dari mesin ini adalah untuk mencapai ukuran partikel yang diinginkan melalui mekanisme fisik yang melibatkan pergerakan dan tumbukan bola-bola berat terhadap material yang sedang diproses [12]. Mesin ball mill sering kali diterapkan dalam proses penggilingan bahan material karena menawarkan sejumlah keunggulan signifikan. Salah satu kelebihan utama dari mesin ini adalah kemampuannya untuk melaksanakan dua tahapan proses secara simultan, yakni pencampuran dan penumbukan. Keunggulan tersebut memberikan keuntungan dalam mencapai distribusi

material yang merata dan memperhalus ukuran partikel yang dihasilkan. Dengan kata lain, mesin ball mill tidak hanya mencampurkan bahan secara homogen tetapi juga menumbuknya hingga mencapai tingkat kehalusan yang lebih tinggi dibandingkan sebelum proses penggilingan. Kemampuan ini secara substansial meningkatkan kualitas material akhir dengan menjamin bahwa semua komponen campuran tercampur secara merata dan partikel yang dihasilkan memiliki ukuran yang lebih konsisten dan halus.

2.4 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk, yang juga dikenal dengan istilah powder metallurgy (P/M atau PM), merujuk pada metode produksi yang melibatkan berbagai teknik untuk memformulasikan produk logam solid dari serbuk atau partikel tanpa memerlukan proses peleburan pada material utama. Teknik ini mencakup serangkaian prosedur yang memungkinkan pemrosesan material logam dalam bentuk serbuk untuk kemudian dikompresi dan dipanaskan dalam kondisi yang terkontrol untuk membentuk struktur padat yang diinginkan. Metode metalurgi serbuk sering digunakan untuk menghasilkan komponen dengan karakteristik tertentu yang tidak dapat dicapai melalui teknik pembuatan logam konvensional [13]. Prinsip fundamental dalam metalurgi serbuk melibatkan proses pemadatan partikel logam menjadi konfigurasi yang diinginkan, diikuti dengan pemanasan di bawah suhu lebur agar terbentuk struktur yang solid dan kokoh. Pada tahapan ini, partikel-partikel logam mengalami fusi melalui mekanisme transportasi massa yang dipengaruhi oleh difusi atom antar permukaan partikel. Metalurgi serbuk merupakan metode manufaktur yang signifikan karena kemampuannya dalam mengubah material berbentuk serbuk atau partikel menjadi produk akhir yang terstruktur dengan baik. Proses ini tidak hanya menawarkan keuntungan dari segi efisiensi biaya, tetapi juga mempertimbangkan berbagai aspek penting seperti sifat material, komposisi kimia, perlakuan panas, serta struktur mikro dari produk yang dihasilkan.

Langkah-langkah yang terlibat dalam proses metalurgi serbuk dapat dirinci sebagai berikut:

2.4.1 *Mixing* (pencampuran serbuk)

Pencampuran serbuk merupakan sebuah prosedur yang dirancang untuk menggabungkan material logam dengan bahan lainnya, dengan tujuan utama untuk mencapai peningkatan dalam sifat fisik atau mekanik serta menghasilkan campuran yang homogen. Proses pencampuran material logam dapat dilakukan melalui dua pendekatan utama, yakni pencampuran basah dan pencampuran kering. Pencampuran basah melibatkan penggunaan

pelarut polar untuk mengintegrasikan serbuk matriks dan filler, dengan tujuan untuk memfasilitasi dan meningkatkan efisiensi proses pencampuran material tersebut. Sebaliknya, pencampuran kering dilakukan tanpa pelarut, yang mana proses ini lebih sesuai untuk material yang cenderung tidak mudah mengalami oksidasi. Teknik ini bertujuan untuk memastikan bahwa campuran yang dihasilkan tetap stabil dan tidak terpengaruh oleh proses oksidasi yang dapat mengubah sifat-sifat material.

Kehomogenan dalam proses pencampuran material berperan penting dalam mempengaruhi efektivitas proses penekanan atau kompaksi. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tingkat homogenitas yang tinggi dalam pencampuran memungkinkan distribusi material yang lebih merata selama proses kompaksi, sehingga menghasilkan kepadatan yang konsisten. Dengan demikian, ikatan antar partikel dapat terbentuk dengan kualitas yang lebih baik, karena material yang homogen akan mengalami kompaksi yang lebih seragam. Proses kompaksi yang optimal sangat bergantung pada keseragaman campuran, yang pada gilirannya mempengaruhi integritas struktural dan performa akhir dari produk yang dihasilkan. Berbagai variabel yang berpotensi memengaruhi homogenitas distribusi partikel dapat mencakup beberapa aspek berikut:

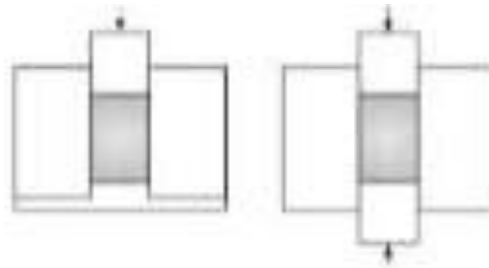
- Kecepatan pencampuran. Kecepatan selama proses pencampuran memainkan peran penting dalam distribusi partikel, karena dapat mempengaruhi sejauh mana partikel-partikel tersebut tersebar merata di seluruh massa campuran.
- Durasi pencampuran. Lama waktu yang dialokasikan untuk proses pencampuran dapat berdampak signifikan pada tingkat homogenitas, karena waktu yang lebih lama cenderung meningkatkan peluang tercapainya distribusi partikel yang lebih merata.
- Ukuran partikel. Ukuran partikel berkontribusi pada karakteristik distribusi, di mana partikel yang lebih kecil mungkin lebih mudah tersebar merata dibandingkan dengan partikel yang lebih besar.
- Jenis material. Jenis material yang digunakan dalam campuran dapat mempengaruhi hasil distribusi partikel, karena karakteristik fisik dan kimia material dapat mempengaruhi interaksi antar partikel.
- Temperatur. Temperatur lingkungan atau proses pencampuran juga dapat berperan dalam distribusi partikel, di mana perubahan suhu dapat mempengaruhi viskositas dan sifat-sifat lain dari bahan campuran.

- Media pencampuran. Media yang digunakan dalam proses pencampuran, seperti jenis pengaduk atau alat pencampur, dapat menentukan sejauh mana partikel tersebar secara merata.

Faktor-faktor tersebut saling berinteraksi dan dapat mengubah secara substansial tingkat kehomogenan distribusi partikel dalam suatu campuran. Pemahaman mendalam mengenai masing-masing faktor ini dan bagaimana mereka berkontribusi pada proses pencampuran sangat penting untuk mengoptimalkan hasil yang diinginkan dalam aplikasi praktis.

2.4.2 Kompaksi

Proses kompaksi adalah tahapan kritis dalam teknik pemrosesan bahan, yang bertujuan untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk produk sesuai dengan desain cetakan yang digunakan. Selama tahap ini, serbuk yang dimanfaatkan tidak hanya dipadatkan, tetapi juga diarahkan untuk saling berikatan secara lebih erat sebelum proses sintering yang selanjutnya meningkatkan kekuatan ikatan antar partikel dan mengurangi ruang kosong di antara mereka. Seiring dengan peningkatan tekanan kompaksi, volume udara yang terperangkap dalam partikel serbuk akan berkurang secara proporsional. Proses kompaksi dapat dilakukan dengan berbagai arah aplikasi tekanan, baik dalam format satu arah, yang melibatkan penekanan dari satu sisi, maupun dalam format dua arah, yang melibatkan penekanan dari dua sisi secara simultan. Secara umum, metode kompaksi satu arah sering diterapkan pada sampel yang memiliki bentuk geometris yang relatif sederhana. Sebaliknya, metode kompaksi dua arah lebih cocok untuk sampel dengan geometri yang kompleks atau rumit. Dalam proses kompaksi dua arah, yang melibatkan tekanan simultan dari kedua arah yang berlawanan, distribusi kerapatan yang dihasilkan cenderung lebih uniform. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa tekanan diterapkan dari atas dan bawah dengan arah yang berlawanan, yang memungkinkan pencapaian kerapatan yang lebih konsisten, dengan nilai kekuatan mekanik terendah sering kali terletak di pusat sampel. Untuk produk yang memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi, pengaturan tekanan tambahan dapat diterapkan guna mencapai kerapatan yang lebih merata [14]. Berikut gambar penekanan satu arah dan dua arah ditunjukkan gambar 2.1.



(a) single punch (b) double punch

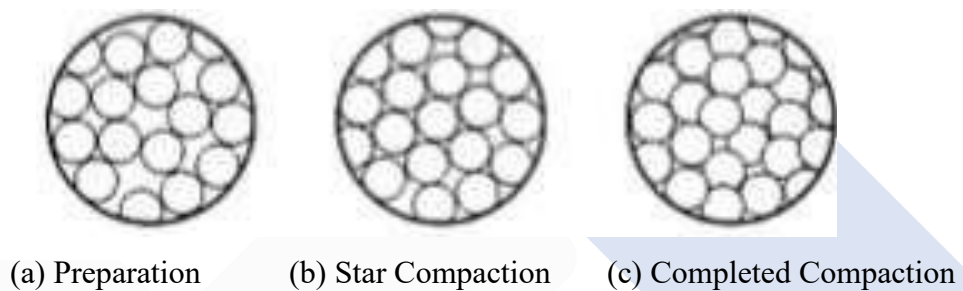
Gambar 2. 2 Proses penekanan satu arah dan dua arah [2][15].

Dalam konteks pemadatan atau kompaksi, terdapat dua pendekatan yang umum diterapkan yang dapat dikategorikan berdasarkan suhu operasional. Pendekatan pertama adalah kompaksi panas (Hot Compaction), yang merujuk pada proses pemadatan material dengan menerapkan suhu yang lebih tinggi daripada suhu lingkungan sekitar. Sebaliknya, kompaksi dingin (Cold Compaction) adalah metode di mana pemadatan dilakukan pada suhu yang setara dengan suhu ruangan atau suhu kamar. Metode kompaksi panas memungkinkan penyesuaian struktur material pada temperatur yang lebih ekstrem, sedangkan kompaksi dingin mempertahankan kondisi suhu lingkungan saat pemadatan berlangsung. Kedua metode ini memiliki implikasi berbeda dalam hal perubahan fisik dan mekanik pada material yang diproses, dan pemilihan metode tergantung pada sifat material serta tujuan pemadatan yang diinginkan [16]. Proses kompaksi panas dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari titik leleh matriks, sehingga serbuk penyusun mengalami penurunan kekerasan atau menjadi lebih plastis. Hal ini memudahkan proses pemadatan ketika tekanan diterapkan selama proses kompaksi. Beberapa faktor yang berpotensi mempengaruhi efektivitas proses kompaksi meliputi:

- a. Dimensi partikel, yang merujuk pada ukuran individu dari butiran serbuk yang terlibat.
- b. Geometri partikel, yaitu bentuk atau konfigurasi struktural dari setiap partikel serbuk.
- c. Tata letak partikel, yang mencakup cara partikel disusun dan saling berinteraksi dalam matriks.
- d. Distribusi ukuran partikel, yang menunjukkan variasi dalam ukuran partikel di seluruh populasi serbuk.

Ketika serbuk mengalami aplikasi tekanan, respons yang timbul di antara partikel-partikelnya adalah pembentukan struktur yang lebih teratur dan penutupan pori-pori besar yang awalnya

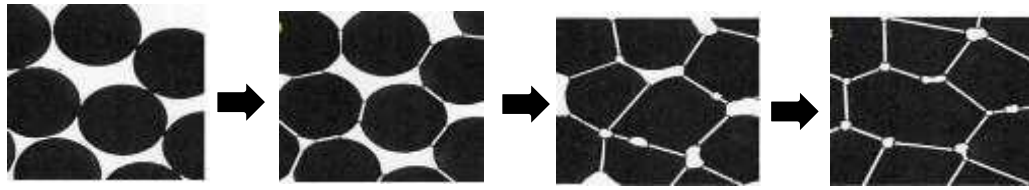
ada pada serbuk tersebut, yang pada gilirannya memungkinkan terjadinya pemadatan. Seiring dengan peningkatan tekanan, terjadi peningkatan kepadatan serbuk yang signifikan, yang juga berfungsi mengurangi ukuran pori-pori dan memfasilitasi pembentukan struktur partikel baru. Proses ini menyebabkan perubahan pada distribusi dan konfigurasi partikel, mengarah pada pembentukan formasi partikel yang lebih padat dan teratur, yang berkontribusi pada peningkatan kualitas dan stabilitas material [17]. Berikut ini gambar proses pembentukan kepadatan serbuk logam.



Gambar 2. 3 Tahapan proses pembentukan kepadatan serbuk [15].

2.4.3 Sintering

Sintering merupakan suatu mekanisme penting dalam pembentukan struktur material yang melibatkan pembentukan ikatan antara partikel atau serbuk setelah tahap kompaksi. Proses ini melibatkan pemanasan sampel pada suhu yang lebih rendah daripada titik lelehnya, dengan tujuan untuk memungkinkan terjadinya transfer massa di permukaan partikel serbuk. Proses transfer massa ini berfungsi untuk menghubungkan partikel-partikel secara efektif, membentuk ikatan kohesif yang mempengaruhi sifat mekanik dan struktural akhir dari material. Selama sintering, perubahan mikrostruktur dan interaksi antara partikel berperan penting dalam mencapai konsolidasi material yang optimal dan pengendalian kualitas produk akhir [18]. Dalam proses sintering, pembentukan batas butir dapat terjadi sebagai salah satu tahapan dari proses rekristalisasi. Secara umum, proses sintering dilakukan pada rentang suhu yang berkisar antara 70% hingga 90% dari suhu cair serbuk utama. Pembentukan batas butir ini merupakan indikasi penting dari perubahan struktural yang terjadi selama sintering, dan suhu sintering yang optimal memainkan peran kunci dalam memastikan bahwa rekristalisasi berlangsung secara efektif. Dalam konteks ini, suhu sintering yang ditetapkan harus cukup tinggi untuk memungkinkan pergerakan atom yang signifikan, sehingga mendukung pembentukan struktur mikro yang diinginkan dalam material [19]. Berikut ini gambar proses yang terjadi pada saat sintering ditunjukkan gambar 2.3.



a. point contact b. initial stage c. intermediette stage d. final stage

Gambar 2. 4 Tahapan proses sintering [19].

2.5 Aluminium

Aluminium merupakan unsur ketiga yang paling melimpah di kerak bumi, setelah oksigen dan silikon. Konsentrasi aluminium di bumi mencapai sekitar 7,6%. Sebagai logam yang ringan, aluminium memiliki berbagai aplikasi dalam industri teknik karena sejumlah sifat penting yang dimilikinya. Di antara sifat-sifat utama aluminium adalah ketahanan terhadap korosi serta konduktivitas listrik yang sangat baik. Selain itu, aluminium juga menunjukkan karakteristik lainnya yang menjadikannya sebagai bahan baku yang sangat berharga dalam berbagai aplikasi teknik. Kualitas-kualitas ini membuat aluminium menjadi pilihan yang signifikan dalam pengembangan material dan teknologi, berkat kemampuannya untuk mempertahankan integritas struktural serta efisiensi dalam transmisi listrik [20].

Tabel 2. 1 Sifat fisik Aluminium [20].

Sifat-sifat fisik	Kemurnia AL (%)	
	99,996	>99.0
Massa jenis (20°C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g.°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahan listrik koefisien temperature (/°C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20-100°C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal, konstanta kisi	$Fcc, a = 4,013 \text{ kX}$	$Fcc, a = 4,04 \text{ kX}$

Dalam studi ini, pemanfaatan aluminium daur ulang diadopsi sebagai strategi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku dari sumber daya alam yang langka, seperti batu

bara, bauksit, gas alam, dan minyak bumi. Proses daur ulang aluminium, khususnya dari produk aluminium bekas, mengeliminasi kebutuhan akan bijih bauksit yang umumnya diperlukan dalam produksi aluminium baru. Dengan demikian, metode ini tidak hanya mengurangi konsumsi bijih bauksit, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan ekstraksi dan pengolahan bahan mentah tersebut. Penggunaan aluminium daur ulang menawarkan pendekatan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam industri aluminium, sekaligus berkontribusi pada efisiensi sumber daya dan pengurangan jejak ekologis. Dalam konteks pemanfaatan dan pengolahan limbah aluminium untuk proses daur ulang, diperlukan energi yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan pengolahan aluminium primer. Secara spesifik, proses daur ulang limbah aluminium hanya memerlukan sekitar 5% dari total energi yang dibutuhkan untuk pengolahan aluminium primer. Akibatnya, metode daur ulang ini dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan, yaitu sekitar 95%. Selain itu, dari sudut pandang ekonomi, proses daur ulang aluminium juga jauh lebih ekonomis, yang berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi secara keseluruhan. Implementasi teknologi daur ulang ini tidak hanya menawarkan efisiensi energi yang substansial tetapi juga mengurangi biaya produksi dan dampak lingkungan yang terkait dengan pengolahan bahan aluminium dari sumber primer [21] [22].

Penggunaan aluminium primer yang berasal dari bauksit menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan proses daur ulang aluminium, terutama terkait dengan konsumsi energi yang tinggi dalam pengolahannya. Proses pengolahan bauksit menjadi aluminium primer memerlukan energi yang sangat besar, yang berdampak pada sumber daya dan biaya produksi. Sebaliknya, metode daur ulang aluminium menawarkan solusi yang lebih berkelanjutan untuk mengatasi akumulasi limbah aluminium [23]. Proses daur ulang ini tidak hanya membantu mengurangi volume limbah logam, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada ekstraksi bahan baku dari sumber daya alam yang semakin menipis. Dengan menerapkan teknik daur ulang, tentu dapat meminimalkan dampak lingkungan dan memanfaatkan kembali material yang telah ada, sehingga mengurangi kebutuhan energi dan material baru dalam jangka panjang. [24].

2.6 Silika

Pasir silika adalah hasil dari proses pelapukan bebatuan yang mengandung mineral utama, seperti kuarsa dan feldspar. Pelapukan ini menyebabkan mineral-mineral tersebut terdisintegrasi dan terseret oleh aliran air atau angin, kemudian terakumulasi di area pesisir

sungai, laut, dan danau, serta di bawah permukaan tanah. Berikut ini adalah tabel yang menguraikan sifat-sifat fisik dan mekanik yang dimiliki oleh pasir silika.

Tabel 2. 2 Sifat fisik dan mekanik silika [20].

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus molekul	SiO ₂
Berat jenis (gr/cm ³)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titi cair	1600-1725
Titik didih	2230
Kekuatan Tarik (M _{pa})	110
Modulus elastisitas (G _{pa})	70-75
Kekerasan (kg/m ²)	650

2.7 Baggase Ash

Abu ampas tebu adalah partikel-partikel yang terbentuk sebagai hasil dari pengolahan ampas tebu yang telah diperas untuk menghilangkan sari patinya dan kemudian menjalani proses pembakaran dalam ketel-ketel uap. Proses ini menghasilkan abu ampas tebu yang memiliki karakteristik kimia tertentu. Tabel berikut ini menunjukkan komposisi kimia dari abu ampas tebu [25].

Tabel 2. 3 Komposisi kimia *baggase ash* [25].

Senyawa	Jumlah%
SiO ₂	55
AL ₂ O ₃	5,1
Fe ₂ O ₃	4,1
CaO	11
MgO	0,9
K ₂ +Na ₂ O	1,4
SO ₃	2,2

2.8 Rice Husk Ash

Abu sekam padi, atau yang sering disebut sebagai Rice Husk Ash (RHA), adalah residu yang diperoleh dari proses penggilingan padi. Selama proses tersebut, setiap 1000 kilogram padi yang digiling akan menghasilkan sekitar 220 kilogram kulit sekam, yang setara dengan 22% dari total berat padi. Ketika kulit sekam ini dibakar dalam tungku pembakaran, hasil yang diperoleh adalah sekitar 55 kilogram abu, atau sekitar 25% dari total berat sekam yang dibakar. Secara umum, kulit sekam padi terdiri dari 75% komponen yang mudah terbakar, sedangkan sisa 25% dari beratnya akan mengalami konversi menjadi abu. Abu yang dihasilkan, yang dikenal sebagai Rice Husk Ash (RHA), mengandung silika reaktif dalam rentang konsentrasi sekitar 85-95%, menjadikannya material dengan potensi tinggi dalam berbagai aplikasi industri dan konstruksi [26].

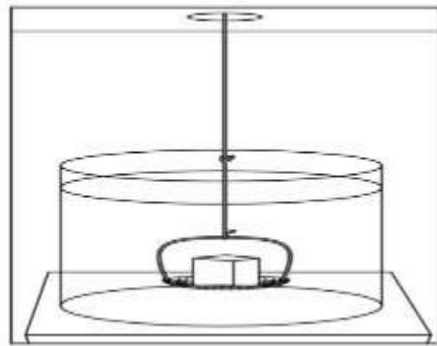
Tabel 2. 4 Komposisi kimia *rice husk ash* [26].

Oksida	Kandungan%
SiO ₂	94,9
Al ₂ O ₃	0,67
Fe ₂ O ₃	0,84
CaO	2,84
K ₂ O	0,69
TiO ₂	0,03
CrO	0,03
MnO	0,37
NiO	0,03
CuO	0,05

2.9 Uji Densitas

Densitas adalah karakteristik krusial dari suatu substansi, merujuk pada massa jenis atau kerapatan material tersebut. Dalam istilah teknis, densitas didefinisikan sebagai rasio antara massa dan volume suatu zat, yang sering disebut sebagai massa per unit volume. Proses pengujian densitas dilaksanakan dengan merujuk pada standar pengujian ASTM B962-17 [27], yang menyediakan pedoman komprehensif untuk prosedur evaluasi tersebut. Standar ini berfungsi sebagai acuan penting dalam memastikan akurasi dan konsistensi hasil pengukuran densitas, serta mendukung validitas proses pengujian dengan metodologi yang telah teruji dan

diterima secara luas dalam industri. Berikut gambar ilustrasi pengujian densitas dengan sampel dimasukkan didalam air dengan posisi sampel melayang dengan menggunakan keranjang.



Gambar 2. 5 Ilustrasi pengujian densitas [27].

Pengujian densitas dilakukan dengan merujuk pada prinsip Archimedes, yang mengemukakan bahwa setiap benda yang sebagian atau seluruhnya ditempatkan dalam suatu fluida, termasuk air, akan mengalami perubahan gaya dorong ke atas yang sebanding dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut. Berdasarkan prinsip ini, benda yang terendam dalam fluida dapat mengalami tiga fenomena yang berbeda: ia dapat terapung di permukaan fluida, melayang di tengah-tengah fluida, atau tenggelam ke dasar fluida, tergantung pada perbandingan antara gaya dorong ke atas yang diterimanya dan berat benda tersebut. Prinsip Archimedes ini merupakan dasar penting dalam memahami interaksi antara objek dan fluida, yang mempengaruhi perilaku benda dalam berbagai kondisi lingkungan. Nilai densitas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

ρ_m = densitas actual (gram/cm³)

m_s = massa sampel kering (gram)

m_g = massa sampel yang digantung didalam air (gram)

V_{H_2O} = massa jenis air = 1 gram/cm³

2.10 Uji Kekerasan

Kekerasan material dapat didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menahan tekanan yang diberikan oleh material lain yang memiliki kekerasan lebih tinggi. Tekanan yang dimaksud di sini merujuk pada indentasi yang dihasilkan oleh material yang lebih keras ketika dikenakan pada permukaan benda uji. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengevaluasi

ketahanan plastis dari permukaan material terhadap penetrasi yang dilakukan oleh penekan. Berbagai metode pengujian ketahanan permukaan yang sering diterapkan meliputi metode Vickers, Rockwell, dan Brinell. Dalam konteks penelitian ini, pengujian kekerasan terhadap sampel komposit Al/SiO₂ dilakukan menggunakan alat uji kekerasan portabel sesuai dengan standar ASTM E-110 14 [28]. Standar ASTM E-110 14 mengatur bahwa sampel yang diuji harus memiliki ketebalan minimum sebesar 1 mm untuk memastikan hasil pengujian yang akurat.

2.11 Kampas Rem

Kampas rem adalah elemen integral dalam sistem pengereman kendaraan bermotor, yang berperan penting dalam memperlambat atau menghentikan pergerakan kendaraan, khususnya pada kendaraan darat. Untuk mencapai performa pengereman yang optimal, adalah esensial untuk menggunakan kampas rem yang memiliki karakteristik pengereman yang unggul. Kualitas kampas rem ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kekerasan material serta komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan kampas rem tersebut [29]. Untuk memperoleh pedoman yang memadai mengenai spesifikasi teknis dari kampas rem, penting untuk memastikan bahwa nilai-nilai kekerasan, keausan, ketahanan lentur, serta parameter mekanik lainnya memenuhi atau mendekati ambang batas standar keamanan yang telah ditetapkan. Persyaratan teknis untuk kampas rem komposit dirinci dalam Tabel 2.5 yang terlampir di bawah ini:

Tabel 2. 5 persyaratan kampas rem komposit [30]

Standar	Nilai
Kekerasan	68 – 105 BHN
Ketahanan panas	360°C
Keausan	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$
Koefisien gesek	0,14 – 0,27
Massa jenis	1,5 – 2,4 gr/cm ³
Konduktivitas thermal	0,12 – 0,8 W.M.°K
Tekanan spesifik	0,17 – 0,98 joule/g.°C
Kekuatan geser	1300 – 3500 N/cm ²
Kekuatan perpatahan	480 – 1500 N/cm ²

2.12 Metode Desain Full Faktorial

Dalam penyusunan desain eksperimen faktorial, perlu dilakukan formulasi hipotesis dan analisis menggunakan ANOVA. Keputusan mengenai hipotesis nol (H_0) diambil berdasarkan perbandingan antara nilai statistik F hitung dan nilai Ftabel. Jika nilai F hitung melebihi nilai Ftabel pada tingkat signifikansi 0,05, yaitu 2,27 (untuk satu kelompok) atau 3,55 (untuk dua kelompok), atau jika nilai p-value lebih kecil daripada α , maka keputusan yang diambil adalah untuk menolak hipotesis nol. Untuk menetapkan apakah H_0 harus ditolak atau tidak, beberapa ketentuan harus dipatuhi, di antaranya adalah sebagai berikut: [31].

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

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

1. Jumlah Kuadrat Total

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ijk}^2 - \frac{y^2}{abn}$$

2. Jumlah Kuadrat Mean

$$Adj MS : DF$$

3. Jumlah Kuadrat Factor

$$SS_{Suhu Sintering} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_i^2 - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_{Kompaksi Panas} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_j^2 - \frac{y^2}{abn}$$

$$SS_{AXB} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^a \sum_{b=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y^2}{abn} - SS_{LP} - SS_{FV}$$

4. Jumlah Kuadrat Error

$$Jke = jkt - jkm - jkf$$

5. F-Hitung

$$Adj MS : Error Adj MS$$

6. DF

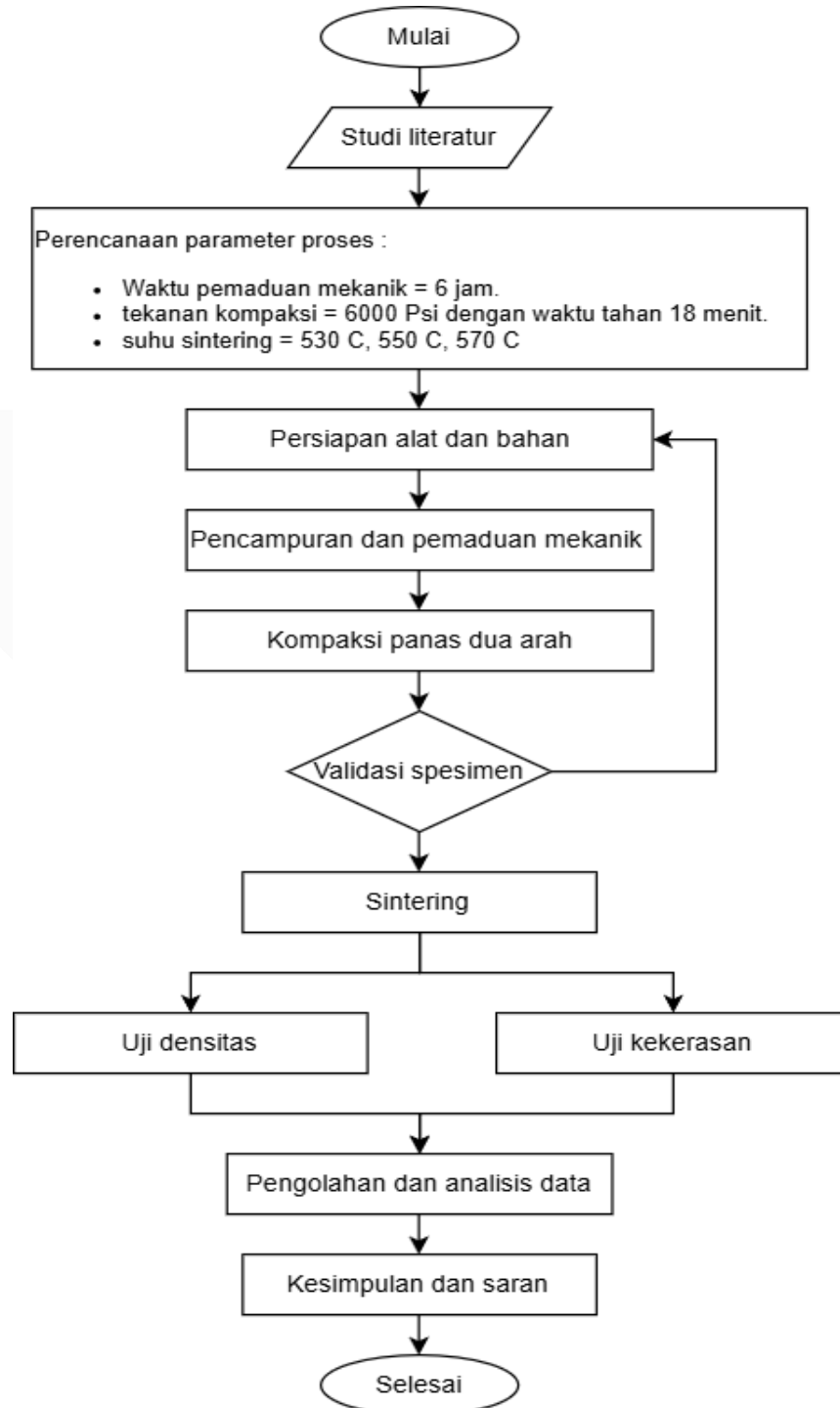
$$Jumlah Level - 1$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Pelaksanaan

Berikut ini diagram alir yang menggambarkan proses penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur pada penelitian ini diperlukan untuk mencari informasi yang relevan dan dijadikan acuan pada proses penelitian ini yang refrensinya didapat dari berbagai sumber seperti buku, jurnal-jurnal, artikel-artikel dan sumber-sumber lainnya.

3.3 Perancangan Parameter Proses

3.3.1. Pemaduan mekanik (*mechanical alloying*)

Menurut analisis dari hasil tes struktur mikro, disimpulkan keadaan ini terjadi akibat waktu Ketika pemaduan mekanik yang relative rendah yang menyebabkan terjadi penggumpalan serbuk penguat, serta mengakibatkan ikatan interlockingsemakin rendah dengan bertambahnya serbuk penguat yang digunakan pada riset kali. Kerapatan sampel yang paling baik terjadi pada sampel yang berpenguat 5% tidak ada keretakan, penggumpalan dan porositas lebih sedikit dibandingkan sampel yang berpenguat 10% dan 15% [7].

3.3.2. Tekanan kompaksi

perbedaan tekanan kompaksi panas yang diterapkan pada proses pembuatan komposit matrik aluminium diperkuat serbuk silika tailing terbukti telah dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan yang dihasilkan. Semakin tinggi tekanan kompaksi panas yang diaplikasikan semakin meningkat densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan, yaitu nilai densitas dan kekerasan tertinggi diperoleh pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi sebesar 2,162 g/cm³ dan 53,1 HB [1].

3.3.3. Suhu sintering

Perbedaan temperatur pemanasan pada proses sintering komposit matrik aluminium diperkuat serbuk silika tailing juga telah dapat mempengaruhi densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan, dimana semakin tinggi suhu sintering yang diterapkan semakin meningkat nilai densitas dan kekerasannya. Densitas dan kekerasan tertinggi diperoleh pada proses dengan suhu sintering 610°C yaitu sebesar 2,368 g/cm³ dan kekerasan 71,8 HB [1].

3.3.4. Komposisi alumunium dan penguat

Pada pada proses pembuatan komposit matrik aluminium terbukti bahwa semakin banyak matrik aluminium yang digunakan maka tingkat kekerasannya akan semakin tinggi yaitu 40 HB pada fraksi volume 90%, demikian juga dengan nilai densitas yang tertinggi terdapat pada fraksi volume 90% dengan nilai 1,72gr/mm³ [2].

3.4 Bahan dan Alat Penelitian

Pada proses pembuatan spesimen penelitian ini dilakukan laboratorium Lapalo Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung dan untuk pengambilan data uji densitas dan uji kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung (PolmanBabel). Berikut ini bahan dan alat yang digunakan pada penelitian ini.

3.4.1. Bahan Penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan bahan – bahan sebagai berikut :

1. Serbuk aluminium hasil daur ulang

Serbuk Aluminium memiliki kandungan 83,4% Al, 10,06% Si, 2,67% Cu, dan 3,87% unsur lain dari hasil uji XRF, dan hasil uji Psa D50:282.53 μm . Berikut merupakan gambar material aluminium yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Serbuk aluminium hasil daur ulang

2. Pasir Silika Tailing Timah

Serbuk silikon dioksida yang digunakan merupakan pasir silika tailing hasil dari limbah pencucian tambang timah, yang memiliki komposisi senyawa 83% SiO_2 , 12% Fe_2O_3 dan 5% TiO_2 berdasarkan hasil uji XRD di Universitas Negeri Malang. Sedangkan berdasarkan hasil uji *Particle Size Analyzer* pasir silika tailing timah mempunyai ukuran distribusi yaitu D50:164 μm . Dibawah ini merupakan gambar pasir silika yang digunakan, ditunjukkan pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Pasir silika

3. *Baggase Ash*

Serbuk *Baggase ash* memiliki kandungan 61,0% Si, 16,7% Ca, dan unsur lain 22,24 dari hasil uji XRF, dan hasil Psa D50:44,08 μm . Berikut merupakan gambar serbuk BA yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 Serbuk *Baggase ash*

4. *Rice Husk Ash*

Serbuk *rice husk ash* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan 82,7 % Si, 2,97% K, dan 4,74% Ca, dan 9,59% unsur lain. Berikut merupakan gambar serbuk RHA yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3. 5 Serbuk *rice husk ash*

3.4.2. Alat Penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut :

1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang serbuk yang digunakan pada proses penelitian ini. Berikut merupakan gambar timbangan digital yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Timbangan digital

2. Mesin *Ball mill*

Mesin *Ball mill* berfungsi untuk memadukan serbuk aluminium dengan penguat, didalam tabung mesin tersebut terdapat bola-bola baja yang berfungsi untuk menghaluskan serbuk agar menjadi partikel yang lebih halus. Berikut merupakan gambar mesin *ball mill* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3. 7 *Ball mill machine*

3. Mesin press hidrolik

Mesin press hidrolik digunakan untuk memadatkan serbuk aluminium dengan penguat yang telah dipadukan dengan cara ditekan/dikompaksi dua arah penekanan membentuk sesuai cetakan. Berikut merupakan gambar mesin hidrolik yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3. 8 Mesin press hidrolik

4. Cetakan

Cetakan berfungsi untuk membentuk serbuk menjadi sampel komposit, sampel dicetak sesuai dengan bentuk cetakan yang digunakan. Berikut merupakan gambar cetakan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3. 9 Cetakan

5. *Thermocouple*

Alat ini digunakan untuk memanaskan serbuk Paduan yang akan dicetak dengan suhu yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan bersamaan dengan proses kompaksi panas. Berikut merupakan gambar *thermocouple* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3. 10 *Thermocouple*

6. Alat pengukur suhu (*Thermogun*)

Alat pengukur suhu berfungsi untuk mengetahui suhu pada alat pemanas dan cetakan pada saat proses kompaksi. Berikut merupakan gambar *Thermogun* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3. 11 *thermogun*

7. *Oven/furnace*

Oven berfungsi untuk memanaskan sampel komposit yang telah selesai dicetak. Berikut merupakan gambar oven yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3. 12 oven

8. gelas ukur

gelas ukur digunakan untuk wadah penampung air dan air diisi secara penuh sebelum sampel dimasukkan kedalam gelas ukur. Berikut merupakan gambar gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3. 13 Gelas ukur

9. Alat uji Densitas

Alat uji ini digunakan untuk menimbang berat sampel komposit pada saat didalam air. Berikut merupakan gambar alat uji densitas yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3. 14 Alat uji densitas

10. Alat uji Kekerasan *portable*

Alat uji ini berfungsi untuk menguji kekerasan sampel komposit yang telah melalui proses pencetakan dan sintering. Berikut merupakan gambar alat uji kekerasan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 3.15 dibawah ini.



Gambar 3. 15 Alat uji kekerasan *portable*

3.5 Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah proses prosedur penelitian yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Proses *mixing*

Proses pencampuran serbuk aluminium hasil daur ulang dengan serbuk pasir silika tailing timah dilakukan menggunakan metode *Mechanical Alloying* dengan mesin horizontal *ball mill*. Parameter proses yang digunakan meliputi *parameter Ball Powder weight Ratio* (BPR) 10:1, kecepatan putaran mesin 90 rpm, dan waktu penggilingan selama 6 jam. Dalam metode *Mechanical Alloying* ini, dua proses terjadi secara simultan: pencampuran dan penggerusan, sehingga menghasilkan serbuk yang tercampur merata atau mendekati homogen dan lebih halus dibandingkan sebelum dilakukannya proses pemaduan mekanik. Setelah proses penimbangan selesai, serbuk dimasukkan ke dalam tabung pada mesin horizontal *ball mill*. Mesin ini dilengkapi dengan bola-bola kecil berdiameter 30 mm dan 25 mm, dengan masing-masing bola memiliki berat 111,18 gram dan 65,96 gram serta kekerasan rata-rata 61 HRC dan 58,2 HRC.

2. Proses kompaksi

Tujuan dari proses kompaksi panas adalah untuk memadatkan serbuk yang digunakan. Proses ini menggunakan mesin press hidrolik dengan dua hidrolik (atas dan bawah) dan dilengkapi dengan alat pembaca tekanan. Serbuk dipanaskan menggunakan thermocouple, dan cetakan yang digunakan berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Sebelum memulai proses kompaksi panas, cetakan ditempatkan pada alat kompaksi dan serbuk yang telah dicampur dimasukkan secara merata ke dalam cetakan. Kemudian,

cincin besi diletakkan di atas cetakan untuk menekan serbuk. Cetakan ditekan menggunakan mesin hidrolik dua arah yang dilengkapi dengan alat ukur tekanan. Tekanan yang diberikan selama kompaksi panas adalah 6000 Psi dengan waktu tahan selama 18 menit. Proses ini dilakukan pada suhu 400°C di area pemanas yang mengelilingi cetakan. Setelah proses kompaksi panas selesai, tunggu agar cetakan dingin setelah itu keluarkan sampel dari cetakan.

3. Proses sintering

Proses sintering bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel pada serbuk. Pada saat proses sintering, sampel yang telah dicetak dimasukkan ke dalam furnace atau oven. Variasi suhu sintering yang digunakan adalah 530°C, 550°C, dan 570°C, dengan waktu tahan selama 10 menit. Setelah proses sintering selesai, sampel dikeluarkan dari cetakan dan didinginkan pada suhu ruangan.

3.6 Validasi Spesimen

Pada proses validasi spesimen ini dilakukan dengan cara melihat secara visual sampel yang telah dibuat apakah terdapat kecacatan seperti retak, terkikis atau pecah. Jika sampel yang telah dibuat dalam keadaan layak uji maka tahap selanjutnya adalah pengujian sampel, tetapi jika sampel yang dibuat masih terdapat kecacatan maka dan tidak sesuai maka akan dilakukan proses pembuatan ulang sampel.

3.7 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan menimbang sampel menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan massa sampel. Proses ini melibatkan dua tahap penimbangan: pertama, menimbang sampel dalam kondisi kering sebelum dimasukkan ke dalam air, dan kedua, menimbang sampel setelah dimasukkan ke dalam air (kondisi basah). Data yang diperoleh dari kedua penimbangan ini kemudian dibandingkan antara massa sampel kering dan massa sampel dalam air. Perbandingan ini digunakan untuk menghitung densitas (ρ) sampel. Pengujian densitas ini mengikuti standar ASTM B962-17.

3.8 Pengujian Kekerasan

Untuk mendapatkan nilai kekerasan dari spesimen yang telah dicetak dalam penelitian ini, dilakukan uji kekerasan pada spesimen tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan portable yang memiliki beban penekanan sebesar 2 kg dan indentor berbentuk bola dengan diameter 2 mm.

Alat uji ini dipilih karena kemudahannya dalam penggunaan, serta hasil pengujian kekerasan dapat langsung dibaca pada layar alat tersebut dan segera dicatat. Proses pengujian kekerasan ini mengikuti standar ASTM E110-14.

3.9 Pengolahan Data

Hasil data yang diperoleh setelah melakukan proses pengujian densitas dan kekerasan, selanjutnya nilai tersebut dibuat dalam bentuk data tabel dan grafik. Pengujian dilakukan untuk melihat hasil dari uji spesimen komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika, BA dan RHA.

3.10 Analisis Data

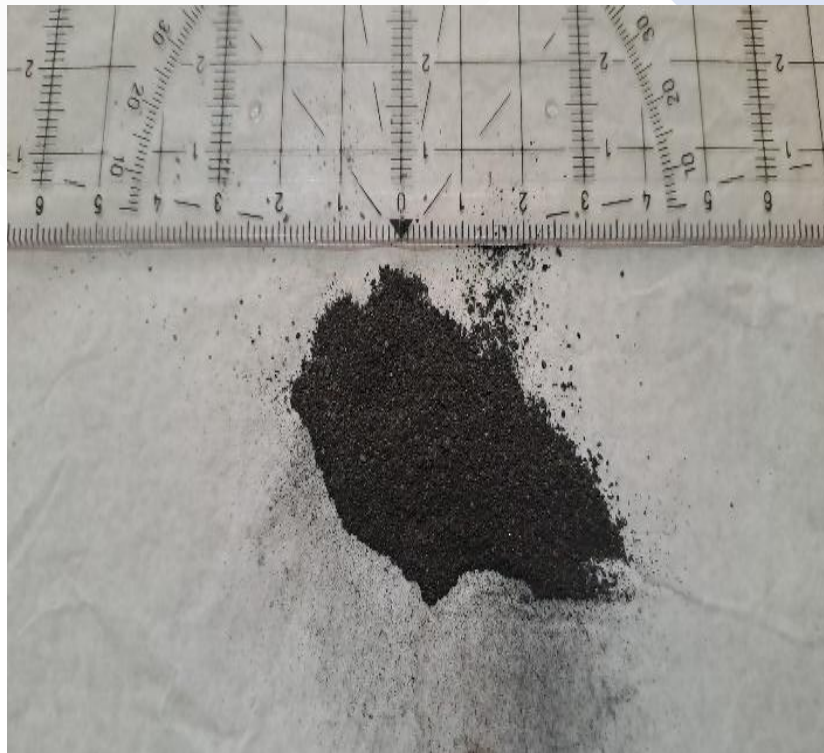
Analisis data pada penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen faktorial. Dengan kompaksi panas dan suhu sintering sebagai faktor yang memiliki 3 level. Level antar parameter dapat dipangkatkan dengan banyaknya faktor sehingga didapatkan 9 kombinasi parameter dengan pengulangan sebanyak 3 kali sehingga banyak data yang diperoleh yaitu 27 data.

BAB IV

PEMBAHASAN

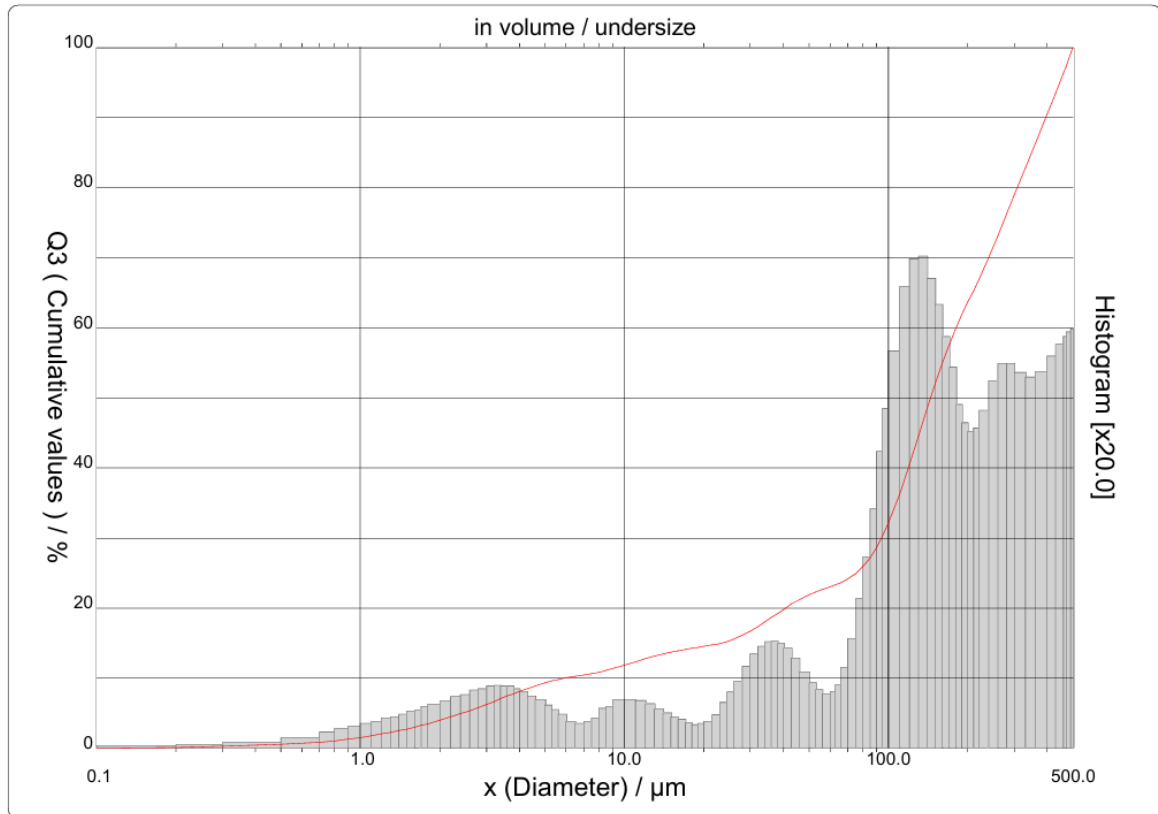
4.1. Hasil Pemaduan Mekanik (*Mechanical Alloying*)

Pada proses pemaduan mekanik pada komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika, *rice husk ash*, dan *baggage ash* terjadi pencampuran dan penggerusan di dalam tabung mesin *ball mill* secara simultan. banyak serbuk yang dicampur dalam satu kali pencampuran adalah 350gr. Waktu pencampuran serbuk dilakukan selama 6 jam menghasilkan ukuran serbuk yang lebih halus dibanding sebelum dilakukan proses pencampuran. Proses pemaduan mekanik dengan *ball mill* ini menggunakan parameter proses yang meliputi parameter *Ball Powder weight Ratio* (BPR) 10:1, parameter kecepatan putaran mesin adalah 90 rpm. Selanjutnya, hasil dari proses pemaduan mekanik di uji *Particle Size Analyzer* untuk mengetahui hasil sebaran ukuran serbuk. Berikut merupakan gambar hasil pemaduan mekanik ditunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4. 1 Serbuk hasil pemaduan mekanik.

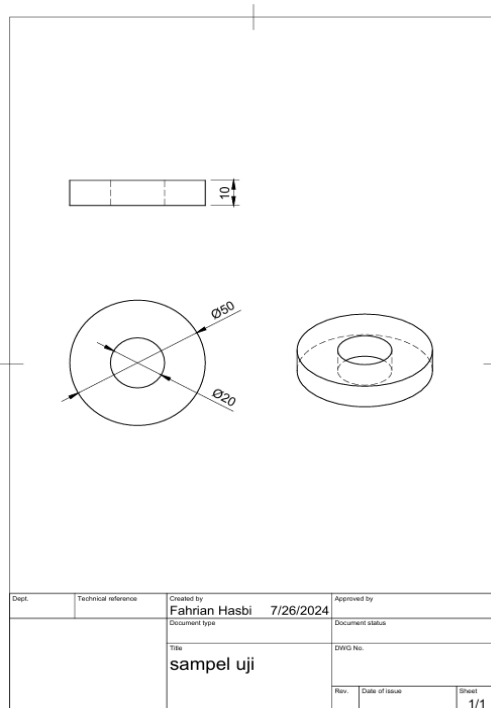
Dibawah ini merupakan grafik hasil uji *Particle Size Analyzer* terhadap hasil pencampuran mekanik yang dilakukan selama 6 jam. Dari hasil uji PSA menyebutkan persentase ukuran partikel serbuk yaitu D50: 144,28 μm dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 4. 2 Grafik uji *particle size analyzer*.

4.2. Spesimen Sebelum Pengujian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium yang diperkuat dengan pasir silika, *rice husk ash*, dan *baggage ash*, dengan variasi suhu sintering yaitu 530°C, 550°C, dan 570°C selama 10 menit. Specimen yang digunakan berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, serta ketebalan rata-rata 9 mm sampai dengan 10 mm. Berikut adalah gambar sampel hasil dari proses kompaksi panas ditunjukkan pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 3 Contoh sampel



Gambar 4. 4 Spesimen.

4.3.Uji Densitas Sebelum Sintering

Sebelum melakukan uji densitas, Langkah pertama adalah mempersiapkan peralatan uji densitas seperti aquadest, gelas ukur, tiang besi, dan timbangan digital. Selanjutnya, masuk proses pengujian densitas dengan menimbang sampel dalam kondisi kering, setelah itu sampel dimasukkan kedalam cairan aquadest dan sampel ditimbang dalam keadaan basah. Uji densitas dilakukan menggunakan standar ASTM B962-17 mengacu pada hukum *Archimedes*.

Standar AASTM B962-17 menjelaskan metode untuk mengukur densitas produk metalurgi serbuk yang memiliki porositas yang berhubungan dengan permukaan. Massa jenis bahan yang kedap air, yaitu bahan yang tidak bertambah massanya ketika direndam air. Nilai massa jenis dan massa yang digunakan untuk menentukan massa jenis, dimana penggunaan satuan gram per sentimeter kubik (g/cm^3) dan gram (g).



Gambar 4. 5. Proses pengujian densitas.

Setelah melakukan uji densitas, hasil timbangan sampel yang telah ditimbang kering dan basah kemudian dimasukkan kedalam tabel dan dihitung menggunakan rumus densitas. Berikut meruparakan hasil timbangan kering yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan hasil timbangan basah yang dapat dilihat pada tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4. 1. Hasil timbangan sampel kering.

No	Presentase penguat %	Pengujian Kering (g)		
		1	Sampel 2	3
1	6	39,43	30,25	37,02
2	6	36,17	37,50	38,38
3	6	35,81	38,77	37,62
4	8	33,65	36,33	32,96
5	8	30,87	37,89	35,45
6	8	33,17	34,76	34,71
7	10	37,65	30,77	33,92
8	10	32,55	31,24	31,89
9	10	35,68	36,85	36,77

Tabel 4. 2. Hasil timbangan sampel basah.

No	Presentase penguat %	Pengujian Basah (g)		
		1	Sampel 2	3
1	6	17,73	13,19	18,76
2	6	13,10	16,37	17,95
3	6	15,40	19,30	18,50
4	8	13,24	15,94	15,00
5	8	16,21	12,35	14,36
6	8	15,47	19,34	15,80
7	10	14,71	11,70	13,18
8	10	13,90	13,98	14,12
9	10	13,88	14,47	14,81

Setelah menimbang kering dan basah selesai, dilanjutkan dengan menghitung nilai densitas menggunakan rumus densitas seperti berikut ini.

➤ Sampel 1 dengan persentasi penguat 8%

Dik: $m_s = 33,65$ g

Ditanya: ρm?

$$m_g = 13,24 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho m = \frac{33,65}{(33,65 - 13,24)} \cdot 1$$

$$\rho m = \frac{35,68}{(20,41)} \cdot 1$$

$$\rho m = 1,648 \text{ g/cm}^3$$

➤ Sampel 2 dengan persentasi penguat 8%

Dik: $m_s = 36,33$ g

Ditanya: ρm?

$$m_g = 15,94 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho_m = \frac{36,33}{(36,33 - 15,94)} \cdot 1$$

$$\rho_m = \frac{36,33}{(19,78)} \cdot 1$$

$$\rho_m = 1,781 \text{ g/cm}^3$$

➤ Sampel 3 dengan persentasi penguat 6% dan suhu sintering 530°C

Dik: $m_s = 32,96 \text{ g}$

Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 15,00 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho_m = \frac{32,96}{(32,96 - 15,00)} \cdot 1$$

$$\rho_m = \frac{32,96}{(17,96)} \cdot 1$$

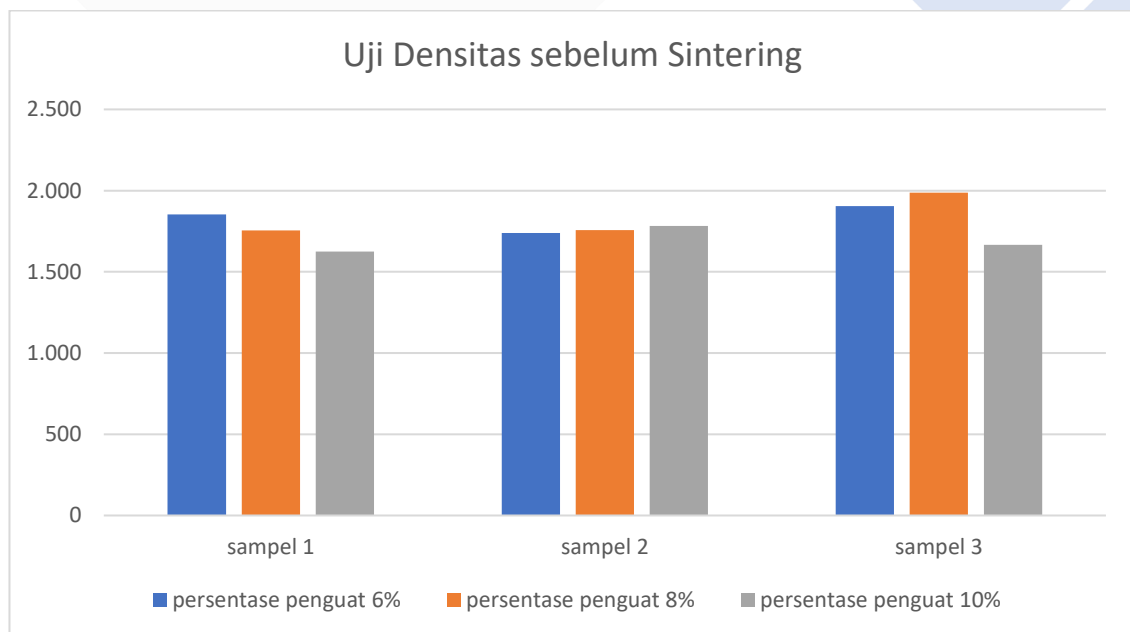
$$\rho_m = 1,835 \text{ g/cm}^3$$

Dibawah ini merupakan hasil dari perhitungan nilai densitas yang dihitung menggunakan rumus densitas dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3. Hasil perhitungan densitas sebelum sintering.

No	Presentase penguat %	Nilai Densitas (g/cm ³)			Rata-rata (g/cm ³)
		1	Sampel 2	3	
1	6	1,817	1,773	1,973	1,854
2	6	1,567	1,774	1,879	1,740
3	6	1,754	1,991	1,967	1,904
4	8	1,648	1,781	1,835	1,754
5	8	2,105	1,483	1,680	1,756
6	8	1,874	2,254	1,835	1,987
7	10	1,641	1,613	1,621	1,625
8	10	1,745	1,809	1,794	1,782
9	10	1,682	1,646	1,674	1,667

Dibawah ini merupakan grafik nilai densitas berdasarkan tabel 4.3.



Gambar 4. 6. Grafik uji densitas sebelum sintering.

Menurut data dari grafik uji densitas diatas, nilai densitas tertinggi adalah 1,987 g/cm³ pada persentase penguat 8% dan nilai densitas terendah adalah 1,625 g/cm³ pada persentase penguat 10%. Berdasarkan data tersebut perbedaan persentase penguat berpengaruh pada spesimen komposit.

4.4. Uji Kekerasan Sebelum Sintering

Setelah sampel selesai dicetak, selanjutnya adalah mempersiapkan peralatan untuk uji kekerasan. Setelah itu, lakukan pengujian kekerasan pada sampel dengan cara menekan sampel uji pada tiga titik yang berbeda disetiap sampel. Uji kekerasan ini menggunakan standar ASTM E110-14.



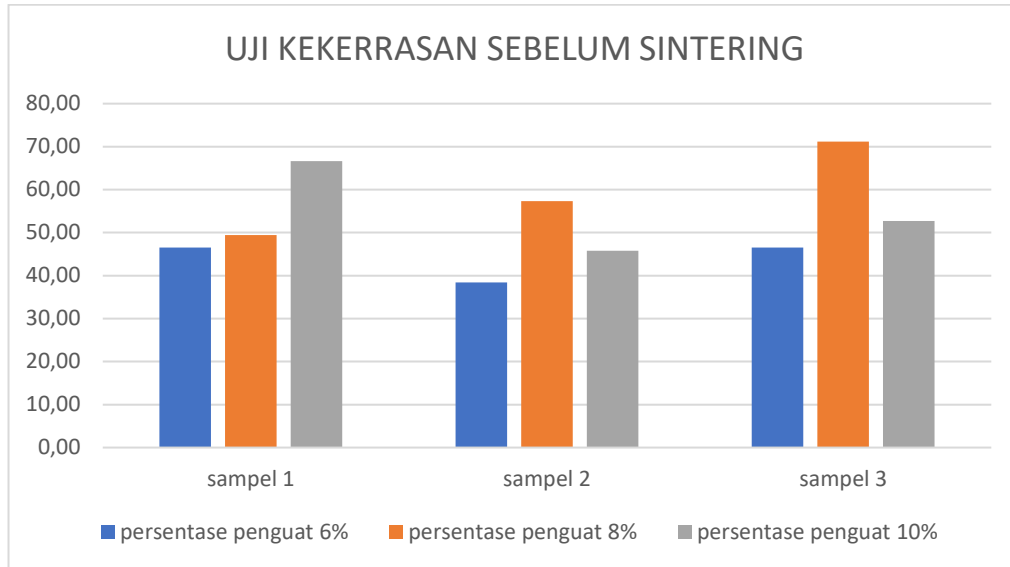
Gambar 4. 7. Proses pengujian kekerasan.

Setelah melakukan uji kekerasan, kemudian data dimasukkan kedalam tabel seperti tabel berikut ini.

Tabel 4. 4. Hasil uji kekerasan sebelum sintering.

No	Presentase penguat %	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
		1	Sampel 2	3	
1	6	40,3	56,6	42,6	46,5
2	6	36,6	43	35,6	38,4
3	6	48,6	42	49	46,5
4	8	56	47,3	45	49,4
5	8	39,6	66,3	66	57,3
6	8	76	73,3	64,4	71,2
7	10	70	51	79	66,6
8	10	44,6	44,3	48,6	45,8
9	10	55	52	51,3	52,7

Berikut ini adalah grafik uji kekerasan berdasarkan tabel 4.4.



Gambar 4. 8. Grafik uji kekerasan sebelum sintering.

Merujuk dari grafik diatas, kekerasan tertinggi didapat pada persentase penguat 10% yaitu 52,7 HB, dan kekerasan terendah didapat pada persentase penguat 6% yaitu 38,4 HB. Dapat disimpulkan bahwa, variasi persentase penguat dapat mempengaruhi terhadap nilai kekerasan sampel komposit.

4.5.Uji Densitas Setelah Sintering

Setelah melakukan proses sintering pada sampel uji dengan variasi suhu sintering 530°C, 550°C, dan 570°C, Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian densitas kembali untuk membandingkan nilai densitas sebelum proses sintering dengan sesudah proses sintering. Uji densitas dilakukan menggunakan standar ASTM B962-17 mengacu pada hukum *Archimedes*.



Gambar 4. 9. Proses uji densitas setelah sintering.

Setelah melakukan uji densitas, hasil timbangan sampel yang telah ditimbang kering dan basah kemudian dimasukkan kedalam tabel dan dihitung menggunakan rumus densitas. Berikut meruparakan hasil timbangan kering yang dapat dilihat pada tabel 4.5 dan hasil timbangan basah yang dapat dilihat pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4. 5. Hasil penimbangan sampel kering setelah sintering.

No	Presentase penguat %	Suhu Sintering (°C)	Pengujian Kering (g)		
			1	Sampel 2	3
1	6	530	32,67	31,59	33,12
2	6	550	32,65	25,87	20,75
3	6	570	38,32	30,68	37,86
4	8	530	28,16	20,39	19,95
5	8	550	23,02	34,06	18,21
6	8	570	18,69	23,08	27,03
7	10	530	26,17	18,97	20,75
8	10	550	15,89	17,31	19,23
9	10	570	28,91	15,78	17,65

Tabel 4. 6. Hasil penimbangan basah sampel setelah sintering.

No	Presentase penguat %	Suhu Sintering (°C)	Pengujian Basah (g)		
			1	Sampel 2	3
1	6	530	12,54	11,81	13,88
2	6	550	11,98	10,66	10,05
3	6	570	16,15	14,86	15,21
4	8	530	8,41	10,52	9,78
5	8	550	14,65	15,24	10,51
6	8	570	8,37	13,26	13,73
7	10	530	11,48	10,12	11,20
8	10	550	8,15	9,27	10,15
9	10	570	12,30	10,22	18,82

Setelah menimbang kering dan basah selesai, dilanjutkan dengan menghitung nilai densitas menggunakan rumus densitas seperti berikut ini.

- Sampel 1 dengan persentasi penguat 6% dan suhu sintering 530°C

Dik: $m_s = 32,67$ g

Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 12,54 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho_m = \frac{32,67}{(32,67 - 12,54)} \cdot 1$$

$$\rho_m = \frac{32,67}{(20,13)} \cdot 1$$

$$\rho_m = 1,622 \text{ g/cm}^3$$

- Sampel 2 dengan persentasi penguat 6% dan suhu sintering 530°C

Dik: $m_s = 31,59$ g

Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 11,81 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho_m = \frac{31,59}{(31,59 - 11,81)} \cdot 1$$

$$\rho_m = \frac{31,59}{(19,78)} \cdot 1$$

$$\rho_m = 1,597 \text{ g/cm}^3$$

- Sampel 3 dengan persentasi penguat 6% dan suhu sintering 530°C

Dik: $m_s = 33,12$ g

Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 13,88 \text{ g}$$

$$\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\rho_m = \frac{33,12}{(33,12-13,88)} \cdot 1$$

$$\rho_m = \frac{33,12}{(19,24)} \cdot 1$$

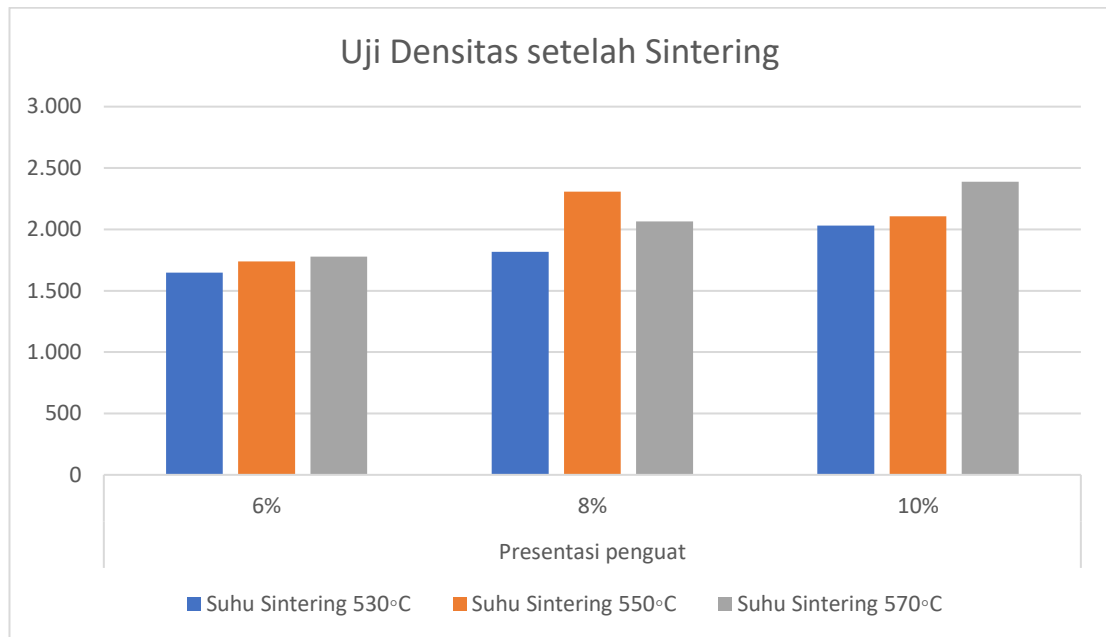
$$\rho_m = 1,721 \text{ g/cm}^3$$

Dibawah ini merupakan hasil dari perhitungan nilai densitas yang dihitung menggunakan rumus densitas dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7. Hasil perhitungan densitas setelah di sintering.

No	Presentase penguat %	Suhu Sintering (°C)	Nilai Densitas (g/cm ³)			Rata-rata (g/cm ³)
			1	Sampel 2	3	
1	6	530	1,622	1,597	1,721	1,647
2	6	550	1,579	1,700	1,939	1,739
3	6	570	1,728	1,939	1,671	1,779
4	8	530	1,425	2,065	1,961	1,817
5	8	550	2,750	1,809	2,364	2,307
6	8	570	1,811	2,350	2,032	2,064
7	10	530	1,781	2,143	2,172	2,032
8	10	550	2,052	2,152	2,117	2,107
9	10	570	1,740	2,838	2,584	2,387

Dibawah ini adalah grafik uji densitas setelah sintering berdasarkan pada tabel 4.7.



Gambar 4. 10. Grafik uji densitas setelah sintering.

Tabel 4. 8. Data analisis variasi uji densitas.

Analysis of Variance					
Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Persentase penguat	2	1.0041	0.50207	5.58	0.011
Suhu sintering	2	0.3264	0.16319	1.81	0.187
Persentase Penguat*Sintering	4	0.2729	0.06822	0.72	0.590
Error	18	1.7066	0.09481		
Total	26	3.3100			

Berdasarkan hasil uji ANOVA yang telah diperoleh, hipotesis awal yang diusulkan adalah sebagai berikut :

H_0 = Persentase penguat tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Persentase penguat memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_0 = Suhu sintering tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Suhu sintering memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_0 = Persentase penguat dan suhu sintering panas tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Persentase penguat dan suhu sintering memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

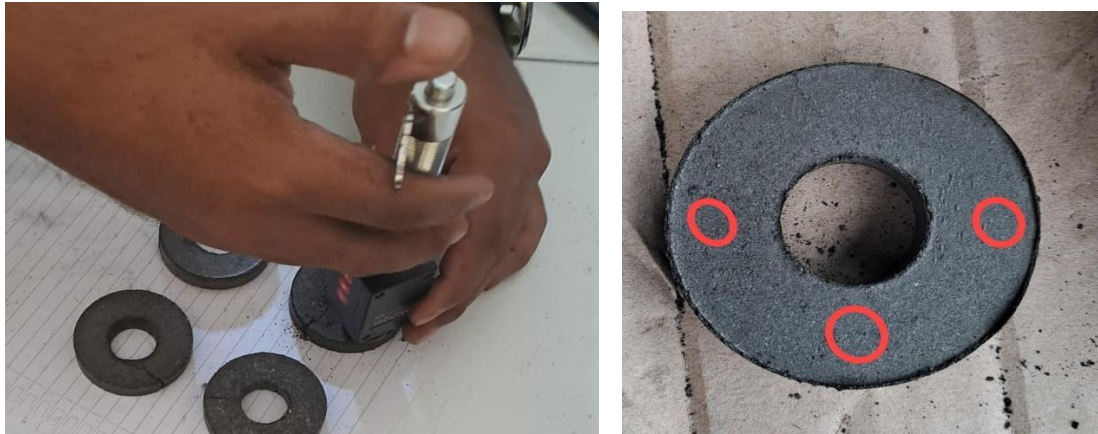
Hipotesis tersebut akan dievaluasi menggunakan kriteria uji sebagai berikut:

H_0 akan ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 tidak dapat ditolak. Keputusan yang diambil berdasarkan hasil Analysis of Variance (ANOVA) terhadap data eksperimen untuk nilai densitas adalah sebagai berikut:

1. Ditinjau dari faktor persentase penguat (faktor A), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 akan ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa persentase penguat memiliki pengaruh pada nilai densitas.
2. Ditinjau dari faktor suhu sintering (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa suhu sintering memiliki pengaruh pada nilai densitas.
3. Ditinjau dari interaksi faktor persentase penguat (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa interaksi antara faktor persentase penguat (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B) memiliki pengaruh pada nilai densitas.

4.6. Uji Kekerasan Setelah Sintering

Setelah melakukan proses sintering pada sampel uji dengan variasi suhu sintering 530°C, 550°C, dan 570°C, Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kekerasan kembali untuk membandingkan nilai kekerasan sebelum proses sintering dengan sesudah proses sintering. Uji kekerasan ini menggunakan standar ASTM E110-14.



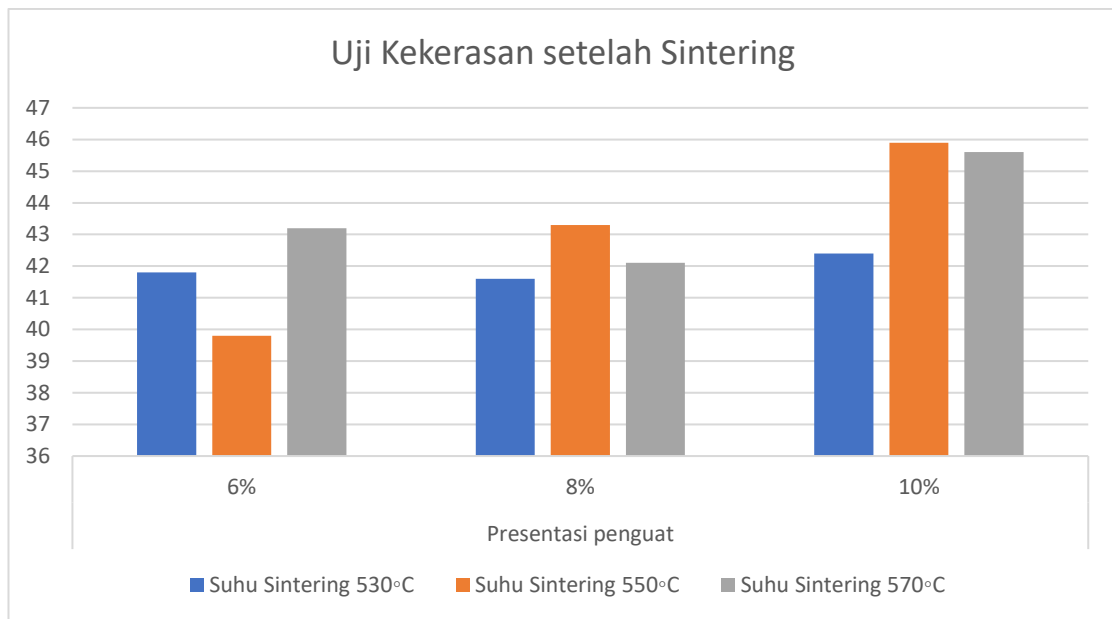
Gambar 4. 11. Proses uji kekerasan setelah sintering.

Berikut ini adalah nilai dari hasil uji kekerasan setelah spesimen disintering ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9. Hasil uji kekerasan setelah sintering.

No	Presentase penguat %	Suhu Sintering (°C)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			1	Sampel 2	3	
1	6	530	41,6	40	44	41,8
2	6	550	39	38,3	42,3	39,8
3	6	570	43,6	48	38	43,2
4	8	530	44	40	41	41,6
5	8	550	41,3	46,3	42,3	43,3
6	8	570	47	41	38,3	42,1
7	10	530	44,3	41,6	41,3	42,4
8	10	550	42,6	42,3	53	45,9
9	10	570	43,6	48,6	44,6	45,6

Dibawah ini merupakan gambar grafik berdasarkan hasil uji kekerasan setelah sintering ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4. 12. Grafik uji kekerasan setelah sintering.

Tabel 4. 10. Data analisis variasi uji kekerasan.

Analysis of Variance					
Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Persentase Penguat	2	44.59	22.294	1.92	0.170
Suhu Sintering	2	12.68	6.338	0.55	0.587
Persentase penguat*Sintering	4	31.60	7.901	0.64	0.63
Error	18	223.51	12.417		
Total	26	312.37			

Berdasarkan hasil uji ANOVA yang telah diperoleh, hipotesis awal yang diusulkan adalah sebagai berikut :

H_0 = Persentase penguat tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Persentase penguat memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_0 = Suhu sintering tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Suhu sintering memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_0 = Persentase penguat dan suhu sintering tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Persentase penguat dan suhu sintering memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

Hipotesis tersebut akan dievaluasi menggunakan kriteria uji sebagai berikut:

H_0 akan ditolak apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$ maka H_0 tidak dapat ditolak. Keputusan yang diambil berdasarkan hasil Analysis of Variance (ANOVA) terhadap data eksperimen untuk nilai densitas adalah sebagai berikut:

1. Ditinjau dari faktor persentase penguat (faktor A), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa persentase penguat memiliki pengaruh pada nilai kekerasan.
2. Ditinjau dari faktor suhu sintering (faktor B), nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, sehingga H_0 gagal ditolak dan H_1 ditolak. Bisa disimpulkan bahwa kompaksi tidak memiliki pengaruh pada nilai kekerasan.
3. Ditinjau dari interaksi faktor persentase penguat (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa interaksi antara faktor persentase penguat (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B) memiliki pengaruh pada nilai kekerasan.

Setelah data pengujian diperoleh, selanjutnya dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya. Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan antara penelitian yang telah dilakukan dan penelitian terdahulu. Berikut disajikan tabel perbandingan dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4. 11. Perbandingan penelitian terdahulu.

Nilai Uji	Kampas Rem SNI		
	Penelitian Fahrian	Dylan	Syarat SNI
Densitas	2,387 g/cm ³	1,72 g/cm ³	1,5-2,4 g/cm ³
Kekerasan	45,9 HB	40 HB	68-105 BHN

Dapat dilihat dari tabel diatas, diketahui nilai densitas tertinggi yang dilakukan pada penelitian ini adalah 2,387 g/cm³ dan nilai densitas tertinggi pada penelitian Dylan adalah 1,72 g/cm³[2]. Memenuhi kriteria nilai densitas dari SNI dalam pembuatan kampas rem komposit, karena kriteria yang diberikan dalam SNI adalah 1,5-2,4 g/cm³. Nilai densitas yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar dibandingkan nilai densitas yang diperoleh oleh Dylan [2]. Hal ini disebabkan oleh pencampuran antara serbuk matrik dan serbuk penguat yang kurang homogen sehingga terjadinya penggumpalan yang berakibat ikatan antar muka *interlocking* antara serbuk matrik dan serbuk penguat tidak maksimal atau lemah [2].

Nilai kekerasan tertinggi yang didapatkan pada penelitian ini yaitu 45,9 HB. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Dylan [2]. Mendapatkan nilai kekerasan tertinggi yaitu 40 HB. Maka nilai kekerasan yang didapat pada penelitian ini dan penelitian Dylan belum memenuhi persyaratan kekerasan kampas rem standar SNI. Hal ini dikarenakan banyaknya matrik alumunium yang digunakan maka akan semakin tinggi nilai kekerasannya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.Kesimpulan

Merujuk kepada penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan ssebagai berikut :

Perbedaan variasi persentase penguat dan suhu sintering komposit matrik alumunim yang diperkuat SiO₂, BA, RHA terhadap nilai densitas dan kekerasan. Suhu sintering yang lebih tinggi meningkatkan kerapatan material dan sifat kekerasannya. Nilai densitas tertinggi yang didapatkan 2,387 g/cm³, sedangkan nilai kekerasan yang diperoleh adalah 45,9 HB.

5.2.Saran

Untuk peneliti berikutnya yang akan melakukan penelitian komposit matrik alumunium penulis akan memeberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk peneliti berikutnya yang akan mengambil judul metalurgi serbuk turunkan suhu sinteringnya.
2. Variasikan parameter lainnya dalam penelitian.
3. Saat pembuatan spesimen diwajibkan menggunakan peralatan safety guna menunjang keselamatan.
4. Teliti dan berhati-hati pada saat pembuatan spesimen untuk menghindari kejadian yang tidak diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiyarto, Somowardi, Sukanto, Yuliyanto, and M. Asep, “Efek Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Matrik Aluminium diperkuat Silika Tailing,” *Turbo*, vol. 12, no. 02, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i2.2858.
- [2] A. G. Dylan, S. Sugiyarto, A. Wanto, A. Budi, and S. Sukanto, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Silicon Carbida Dan Rice Husk Ash Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” *LONTAR J. Tek. Mesin Undana*, vol. 10, no. 02, pp. 61–68, 2023, doi: 10.35508/ljtmu.v10i02.13481.
- [3] D. S. E. P. H. Maulana Yusuf, "Studi Karakteristik Silika Gel Hasil Sintesis Dari Abu Ampas Tebu Dengan Variasi Konsentrasi Asam Klorida," *Jurnal Istek*, Vol. 8, No. 1, Pp. 16-28, 2014.
- [4] M. Asep, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Timah Dengan Metode Metalurgi Serbuk” *Politek. Manufaktur Negeri Bangka Belitung.*, 2023.
- [5] A. Supriyanto, M. Margono, M. V. Hermawan, and H. Haikal, “Sifat Fisis Dan Mekanis Matrik Komposit Al-Si Yang Dibuat Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” 2022. doi: 10.29406/stek.v13i2.5099.
- [6] R. P. Wahyudi, Z. A. Muttaqin, and A. Triono, “Pengaruh Temperatur Sintering Serbuk Aluminium Dan Serbuk Arang Kayu Glugu Terhadap Kekerasan Komposit Kampas Rem Influences Sintering Temperature of Aluminium Powder and Glugu Wood Charcoal Powder To Hardness Composite Hybrid Brake Pads,” 2019.
- [7] S. Wiryono, T. Ade Guna, R. Rodika, and M. Wahyudi, “Efek Pemadatan Panas Pada Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Alumina/Baggase Ash Densitas Dan Kekerasan,” *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–38, 2024, doi: 10.33504/jitt.v2i1.153.
- [8] M. Kutz, *Mechanical Engineers’ Handbook*, Fourth Edition,, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [9] Krevelen, “Properties of Polymers, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions”. Threed Edition. Elsevier Science B. V. Amsterdam. 58 Netherlands,” 1994.

- [10] J. D. G. R. William D. Callister, *Materials Science And Engineering*, 2013.
- [11] A. Kaw, *Mechanic Of Composite Material*. Edisi Kedua. Amerika Serikat: Taylor & Francis Group, Llc. 2006.
- [12] M. Ramadhan, “Pengaruh Waktu Penggilingan Material Alumunium terhadap Bulir yang Dihasilkan dengan Menggunakan Mesin Bola Penghancur/Ball Milling,” *Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara*, pp. 1–56, 2019.
- [13] Aswar, “Studi Komposit Matrik Aluminium Berpenguat Grafit Dan Tembaga Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” *Progr. Stud. Tek. Mesin Univ. Hasanuddin Gowa*, 2022.
- [14] M. Milani, “Optimization of the pressing process of triangular shaped cutting tool inserts,” *Master Thesis Mech. Eng.*, 2016.
- [15] M. . Groover, “Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and System 4th edition. John Willey & Sons, Inc. Elly, N.,” 2010.
- [16] I. A. Wahyudie, “Hot Compaction Process Optimization For Improvement Tribology Behavior Of Zirconium Silicate Strengthened BMCs `,” *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 56, 2021.
- [17] M. Fawaid and S. Hamdi, “Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu,” *Pros. Semin. Nas. Ind. Serv. III “Peningkatan Daya Saing Ind. Nas. Melalui Integr. Ind. Baja Berkelanjutan Menuju ASEAN Econ. Community 2015*, pp. 1–8, 2015.
- [18] M. S. Mohammad Safrudin Yafiedan Dr. Widyastuti, S.Si, “Pengaruh Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas dan Kekerasan pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk,” *J. Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, pp. 44–49, 2014.
- [19] R. Suprpto, W & Soenoko, “Teknologi Metalurgi Serbuk,” *Pena Mas Publ.*, vol. 192, p. 10, 2015.
- [20] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*. 1985.
- [21] D. Brough and H. Jouhara, “The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 1–2, 2020, doi: 10.1016/j.ijft.2019.100007.

- [22] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, "Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 7094–7108, 2020, doi: 10.15282/jmes.14.3.2020.11.0556.
- [23] D. S. Wong and P. Lavoie, "Aluminum: Recycling and Environmental Footprint," *Jom*, vol. 71, no. 9, pp. 2926–2927, 2019, doi: 10.1007/s11837-019-03656-9.
- [24] C. Bulei, M. P. Todor, T. Heput, and I. Kiss, "Recovering Aluminium for Recycling in Reusable Backyard Foundry that Melts Aluminium Cans," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 416, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/416/1/012099.
- [25] SELSI, "Studi Karakteristik Permeabilitas Lumpur Limbah Yang Dicampur Dengan Abu Ampas Tebu Dan Tanah Sebagai Lapisan Penutup Harian Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA)," *Dep. Tek. Lingkung. Univ. Hasanuddin*, 2021, [Online]. Available: <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/12125/>
- [26] C. Yusnar, "Analisis Morfologi Partikel Mikrostruktur Geopolimer Abu Sekam Padi Menggunakan Pembakaran Dengan Alat Furnace Dan Pembakaran Secara Manual," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 2, pp. 8629–8637, 2024.
- [27] ASTM International, "Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes' Principle," *Astm B962-17*, vol. i, pp. 1–7, 2013, doi: 10.1520/B0962-17.2. 59
- [28] E110-14, "Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers," *ASTM B. Stand.*, pp. 4–8, 2015, doi: 10.1520/E0110-14.2.
- [29] C. P. Sembiring, *Analisa Pengaruh Tekanan Dan Putaran Pengereman Terhadap Laju Keausan Kampas Rem Cakram Sepeda Motor*, Sumatera Utara: <https://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/6892>, 2022.
- [30] H. A. & P. Muhammad Syahid, "Analisa Sifat Mekanik Polimer Matriks Komposit Berpenguat Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Kampas Rem," pp. 1 - 5, 2011.
- [31] Ahmad, Lithrone Laricha Salomon, and Jessica, "Desain Eksprimen Untuk Meningkatkan Kualitas Kekuatan Produk dengan Pendekatan Analisis Desain Faktorial," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 209–220, 2018.

Lampiran 1 Daftar Riwayat Hidup Penulis

Daftar Riwayat Hidup



1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Fahrian Hasbi
Tempat dan Tanggal Lahir : Bogor, 17 Februari 2003
Alamat Rumah : Perum Taman Cileungsi, Blok AB 23 No 16.
Cileungsi, Bogor
Telp : 0831-2884-9688
Email : fahrianhasbi246@gmail.com
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam

2. Riwayat Pendidikan

SDN PASIRANGIN 02
SMPN 3 CILEUNGSI
SMKN 1 GUNUNGPUTRI

Sungailiat, 24 Juli 2024

Fahrian Hasbi

Lampiran 2 Hasil Uji *Particle Size Analyzer* Alumunium



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

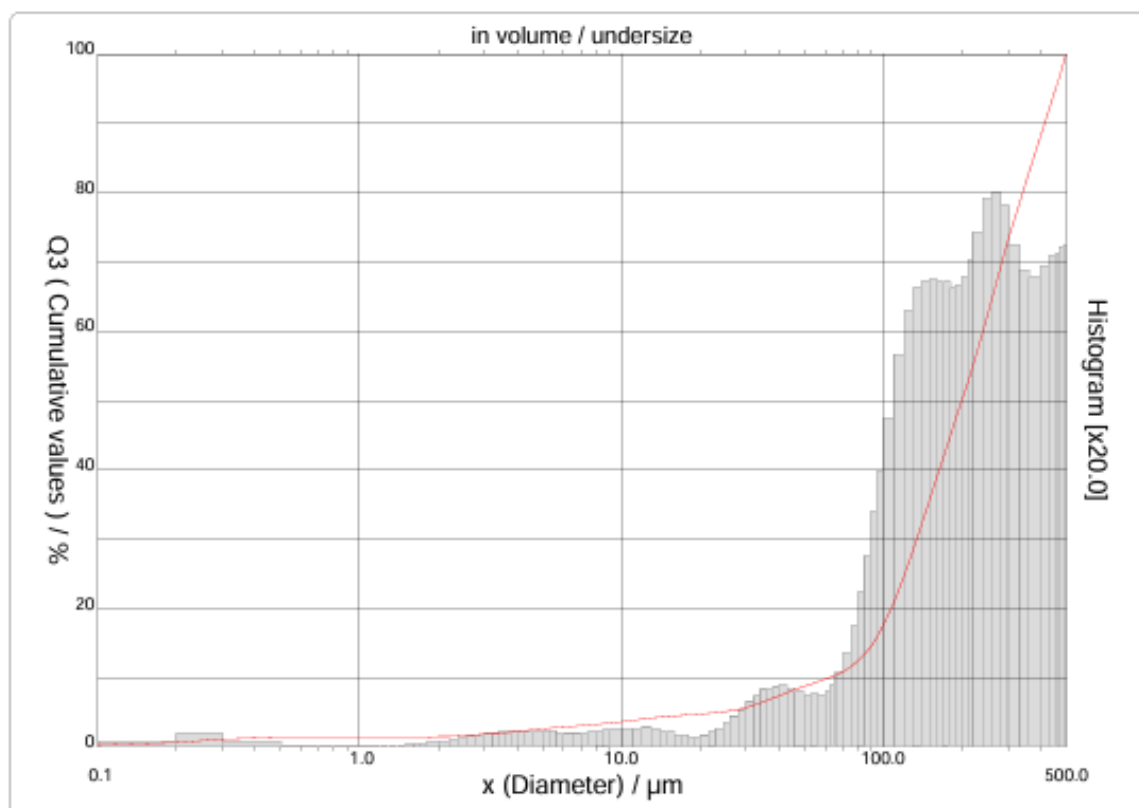
Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : Al-Paduan2
Sample type : SERBUK
Comments :

Operator : BBG
Company :
Location :
Date : 13/02/2018 Time : 07:23:47
Index meas. : 1349
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 2 %
Diameter at 10% : 61.84 μm
Diameter at 50% : 199.88 μm
Diameter at 90% : 414.61 μm
Fraunhofer
Density/Factor : 3.35 g/cm³ / 1.00
Specific surface : 1878.15 cm²/g

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : BBG



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1349/m99.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.Q/V 9.45/635



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : Al-Paduan2
Sample type : SERBUK
Comments :

Operator : BBG
Company :
Location :
Date : 13/02/2018 Time : 07:23:47
Index meas. : 1349
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 2 %
Diameter at 10% : 61.84 µm
Diameter at 50% : 199.88 µm
Diameter at 90% : 414.61 µm

Fraunhofer
Density/Factor : 3.35 g/cm³ / 1.00
Specific surface : 1878.15 cm²/g

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : BBG

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	0.31	0.67	1.19	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
q3	0.01	0.03	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	1.45	1.45	1.45	1.46	1.47	1.49	1.53	1.58	1.64	1.71
q3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	1.79	1.87	1.96	2.04	2.13	2.22	2.30	2.42	2.53	2.66
q3	0.07	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	2.75	2.84	2.94	3.05	3.15	3.24	3.34	3.43	3.53	3.72
q3	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12	0.12
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	3.90	4.06	4.22	4.35	4.46	4.56	4.63	4.70	4.75	4.80
q3	0.13	0.12	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08	0.08	0.06	0.06
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	4.88	4.98	5.10	5.25	5.49	5.76	6.07	6.40	6.75	7.09
q3	0.07	0.10	0.13	0.17	0.22	0.26	0.32	0.36	0.41	0.42
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	7.42	7.90	8.32	8.81	9.13	9.44	9.82	10.11	10.42	10.89
q3	0.43	0.44	0.41	0.39	0.37	0.37	0.37	0.40	0.44	0.53
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	11.59	12.43	13.44	14.62	16.00	17.53	20.92	24.62	28.40	32.08
q3	0.67	0.87	1.11	1.37	1.70	1.98	2.36	2.83	3.14	3.30
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	35.56	38.83	41.89	44.77	47.46	50.03	52.52	54.97	59.82	64.58
q3	3.35	3.37	3.35	3.35	3.31	3.33	3.39	3.50	3.70	3.95
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	69.03	73.08	78.27	82.77	88.13	91.90	95.49	96.64	98.90	100.00
q3	3.99	3.90	3.62	3.44	3.38	3.46	3.54	3.55	3.60	3.62

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

Lampiran 3 Hasil Uji *Particle Size Analyzer* Silika



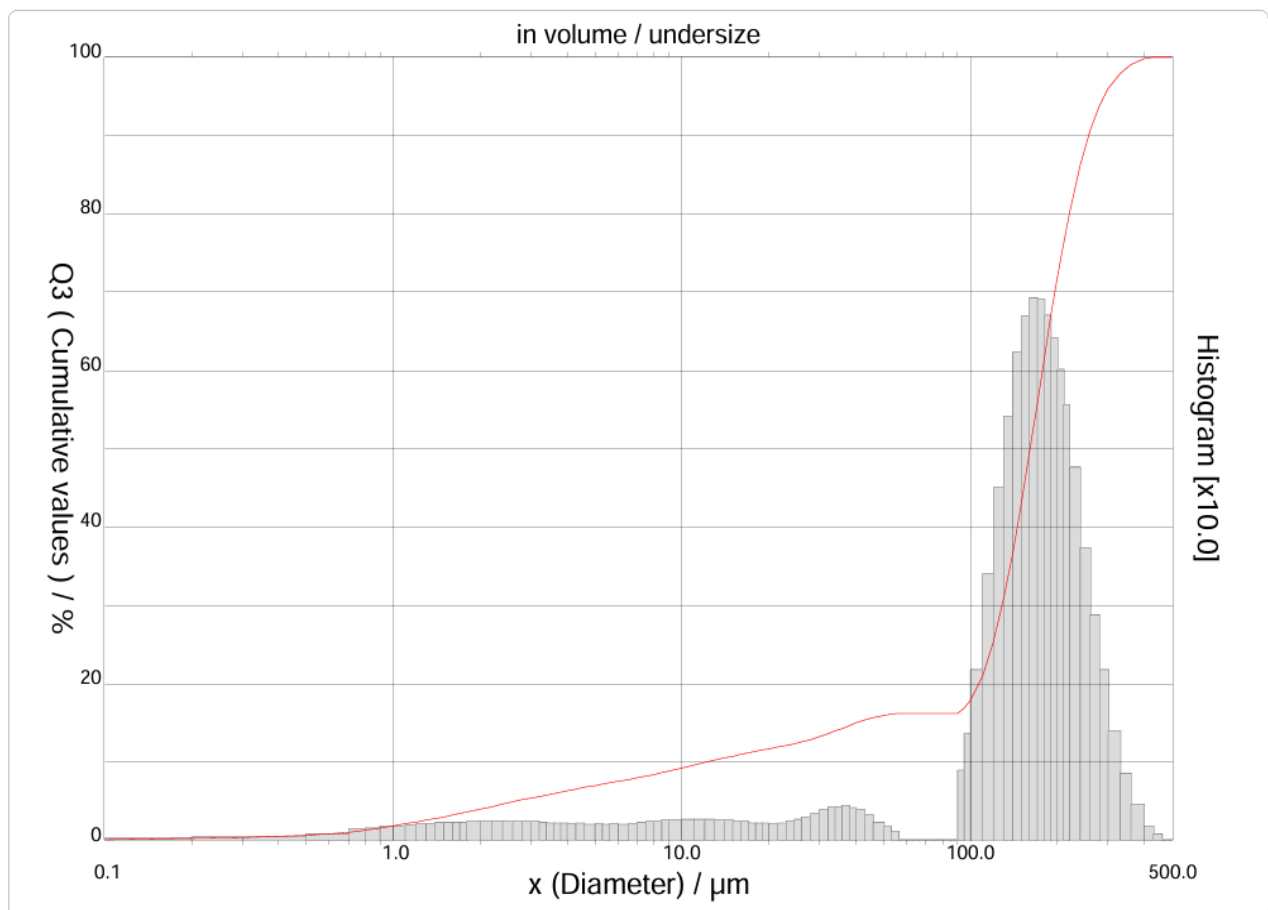
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
 Sample Name : Si-125(2)
 Sample type : SERBUK
 Comments :

 Operator : BBG
 Company :
 Location :
 Date : 13/02/2018 Time : 07:40:36
 Index meas. : 1353
 Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
 Obscuration : 4 %
 Diameter at 10% : 12.06 μm
 Diameter at 50% : 160.80 μm
 Diameter at 90% : 257.20 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : 2.86 g/cm^3 / 1.00
 Specific surface : 1966.18 cm^2/g
 Meas./Rins. : 15s/15s/0
 SOP name : BBG



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1353/m99.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0//600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.45/635



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : Si-125(2)
Sample type : SERBUK
Comments :

Operator : BBG
Company :
Location :
Date : 13/02/2018 Time : 07:40:36
Index meas. : 1353
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 4 %
Diameter at 10% : 12.06 µm
Diameter at 50% : 160.80 µm
Diameter at 90% : 257.20 µm

Fraunhofer
Density/Factor : 2.86 g/cm³ / 1.00
Specific surface : 1966.18 cm²/g

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : BBG

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	0.13	0.28	0.46	0.74	1.11	1.37	1.63	1.90	2.15	2.39
q3	0.01	0.01	0.03	0.04	0.07	0.13	0.15	0.17	0.18	0.19
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	2.63	2.85	3.07	3.28	3.48	3.67	4.03	4.37	4.68	4.96
q3	0.20	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22	0.23	0.24	0.24	0.24
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	5.22	5.45	5.67	5.87	6.05	6.22	6.38	6.60	6.81	7.05
q3	0.24	0.22	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21	0.20	0.21	0.19
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	7.22	7.38	7.59	7.82	8.04	8.26	8.48	8.69	8.90	9.29
q3	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20	0.21	0.23	0.23	0.25	0.25
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	9.65	9.98	10.28	10.55	10.80	11.02	11.23	11.41	11.58	11.74
q3	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.23	0.23	0.21	0.21	0.21
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	11.96	12.17	12.39	12.62	12.93	13.27	13.63	14.00	14.35	14.70
q3	0.20	0.21	0.23	0.26	0.28	0.33	0.38	0.41	0.41	0.44
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	15.01	15.42	15.73	16.00	16.14	16.23	16.23	16.23	16.23	16.23
q3	0.41	0.38	0.31	0.22	0.16	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	16.23	16.23	16.23	16.23	16.94	17.97	21.04	25.42	30.76	36.71
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	1.35	2.17	3.38	4.49	5.40
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	43.08	49.49	55.72	61.58	66.96	71.84	76.19	80.03	86.17	90.60
q3	6.21	6.68	6.91	6.89	6.69	6.40	5.99	5.55	4.74	3.72
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	93.76	95.98	97.94	99.03	99.74	99.93	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	2.87	2.16	1.38	0.84	0.45	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00

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

Lampiran 4 Hasil Uji *Particle Size Analyzer Baggase Ash*



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

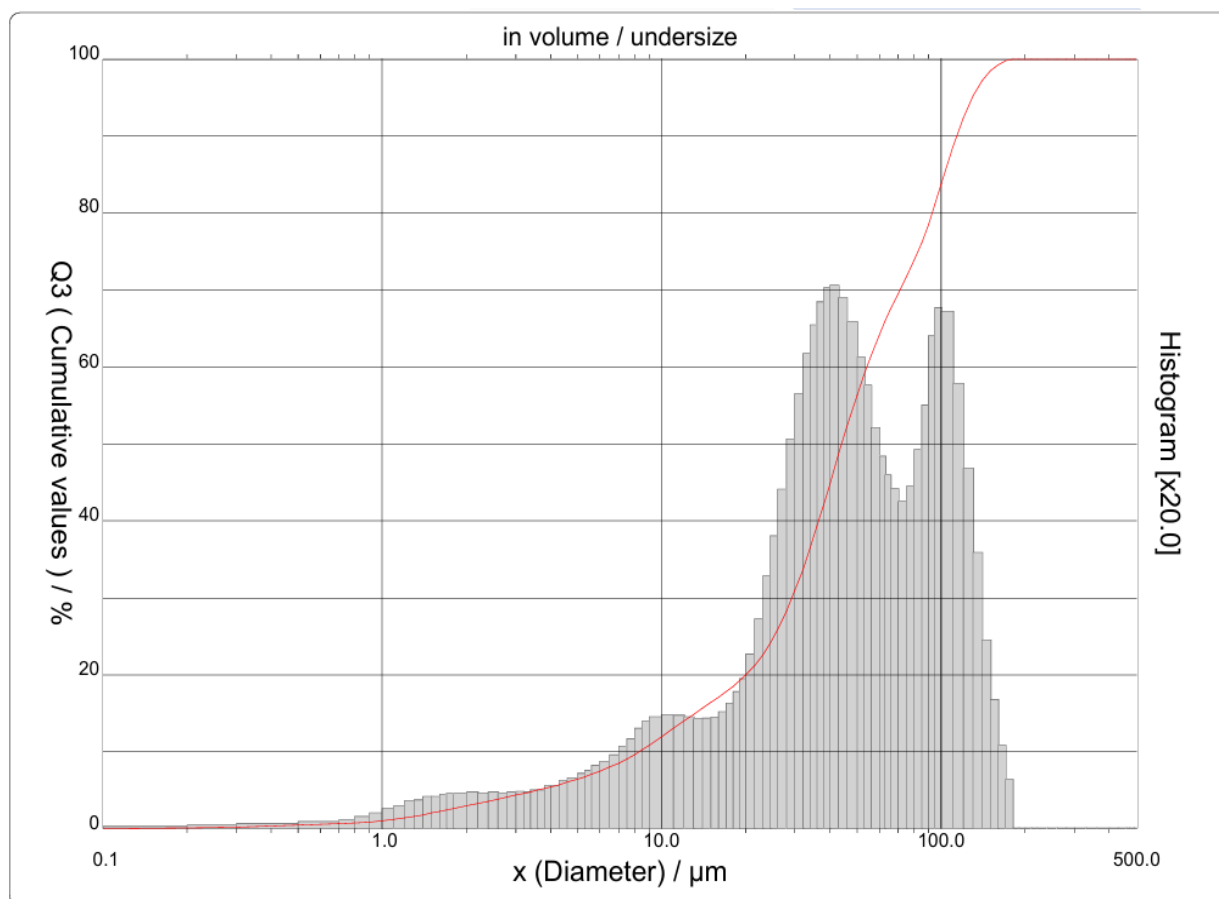
Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : BA
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 10/02/2023 Time : 01:09:49PM
Index meas. : 1161
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 8.27 μm
Diameter at 50% : 44.08 μm
Diameter at 90% : 113.72 μm
Mean diameter : 54.47 μm

Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627

Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1161/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-0.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.45/635



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : BA
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 10/02/2023 Time : 01:09:49PM
Index meas. : 1161
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 8.27 µm
Diameter at 50% : 44.08 µm
Diameter at 90% : 113.72 µm
Mean diameter : 54.47 µm
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer

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	0.09	0.18	0.27	0.48	0.69	0.79	0.92	1.07	1.25	1.44
q3	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	1.65	1.85	2.06	2.26	2.46	2.65	3.00	3.33	3.63	3.91
q3	0.17	0.18	0.20	0.20	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	4.16	4.40	4.63	4.84	5.05	5.25	5.46	5.76	6.07	6.48
q3	0.22	0.23	0.24	0.23	0.24	0.24	0.27	0.27	0.30	0.33
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	6.79	7.10	7.52	8.04	8.57	9.12	9.68	10.27	10.87	12.02
q3	0.35	0.37	0.40	0.43	0.47	0.53	0.57	0.64	0.69	0.72
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	13.08	14.04	14.91	15.70	16.44	17.14	17.83	18.53	19.25	20.00
q3	0.74	0.73	0.72	0.71	0.71	0.72	0.75	0.81	0.88	0.97
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	21.23	22.61	24.17	25.87	28.33	30.96	33.71	36.53	39.35	42.14
q3	1.12	1.35	1.63	1.89	2.20	2.52	2.82	3.08	3.26	3.41
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	44.86	48.71	52.22	56.36	59.05	61.44	64.15	65.93	67.54	69.50
q3	3.51	3.52	3.44	3.28	3.05	2.87	2.60	2.41	2.29	2.20
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	71.71	73.87	76.12	78.49	81.10	83.72	88.55	92.34	95.16	97.16
q3	2.12	2.21	2.45	2.74	3.19	3.38	3.35	2.88	2.33	1.78
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	98.43	99.24	99.73	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	1.22	0.83	0.53	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1161/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.9.45/635

Lampiran 5 Hasil Uji *Particle Size Analyzer Rice Husk Ash*



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

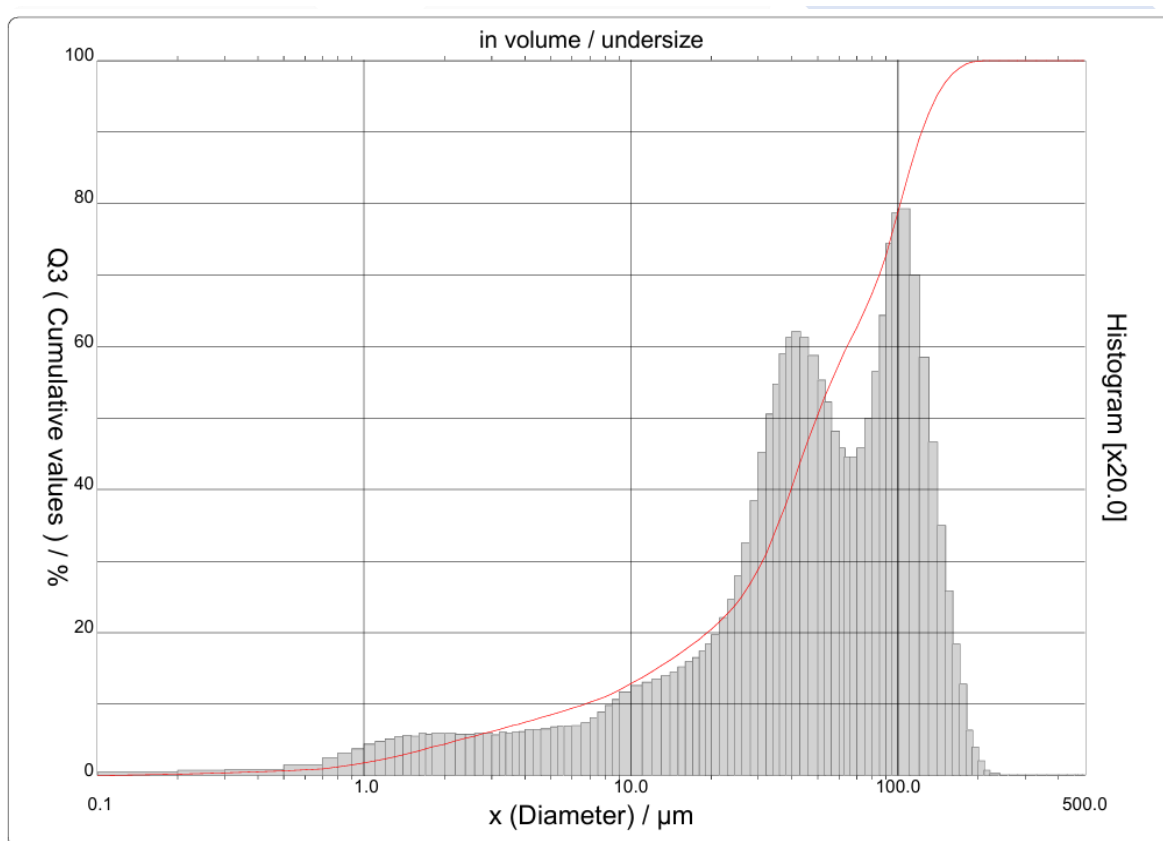
Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : RHA
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 10/02/2023 Time : 01:12:44PM
Index meas. : 1162
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 6.67 μm
Diameter at 50% : 49.46 μm
Diameter at 90% : 122.75 μm
Mean diameter : 60.19 μm

Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1162/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.45/635



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : RHA
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 10/02/2023 Time : 01:12:44PM
Index meas. : 1162
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 6.67 µm
Diameter at 50% : 49.46 µm
Diameter at 90% : 122.75 µm
Mean diameter : 60.19 µm

Fraunhofer
Density/Factor :
Specific surface :

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer

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	0.08	0.24	0.41	0.66	0.99	1.23	1.50	1.78	2.08	2.38
q3	0.00	0.02	0.03	0.03	0.07	0.12	0.15	0.18	0.21	0.23
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	2.68	2.97	3.25	3.51	3.77	4.01	4.47	4.88	5.25	5.59
q3	0.25	0.26	0.27	0.27	0.29	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	5.91	6.21	6.48	6.75	7.00	7.24	7.47	7.81	8.13	8.53
q3	0.29	0.29	0.28	0.30	0.29	0.30	0.30	0.31	0.32	0.32
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	8.82	9.10	9.45	9.86	10.26	10.67	11.09	11.53	11.98	12.89
q3	0.33	0.34	0.34	0.34	0.36	0.40	0.43	0.48	0.53	0.58
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	13.78	14.62	15.42	16.19	16.93	17.66	18.38	19.08	19.78	20.48
q3	0.62	0.64	0.67	0.69	0.72	0.75	0.79	0.82	0.86	0.91
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	21.54	22.65	23.81	25.05	26.85	28.83	31.01	33.30	35.64	38.02
q3	0.98	1.10	1.22	1.39	1.62	1.91	2.25	2.52	2.73	2.94
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	40.37	43.73	46.82	50.48	52.89	55.04	57.52	59.19	60.74	62.70
q3	3.06	3.10	3.06	2.93	2.76	2.60	2.40	2.28	2.22	2.22
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	65.06	67.47	70.03	72.78	75.79	78.81	84.46	89.01	92.51	95.09
q3	2.28	2.49	2.82	3.21	3.71	3.93	3.95	3.49	2.92	2.32
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	96.89	98.13	98.96	99.50	99.75	99.90	99.97	99.99	100.00	100.00
q3	1.74	1.28	0.91	0.63	0.31	0.20	0.10	0.03	0.01	0.00
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

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

Lampiran 6 Uji Particle Size Analyzer Hasil Pemaduan Mekanik



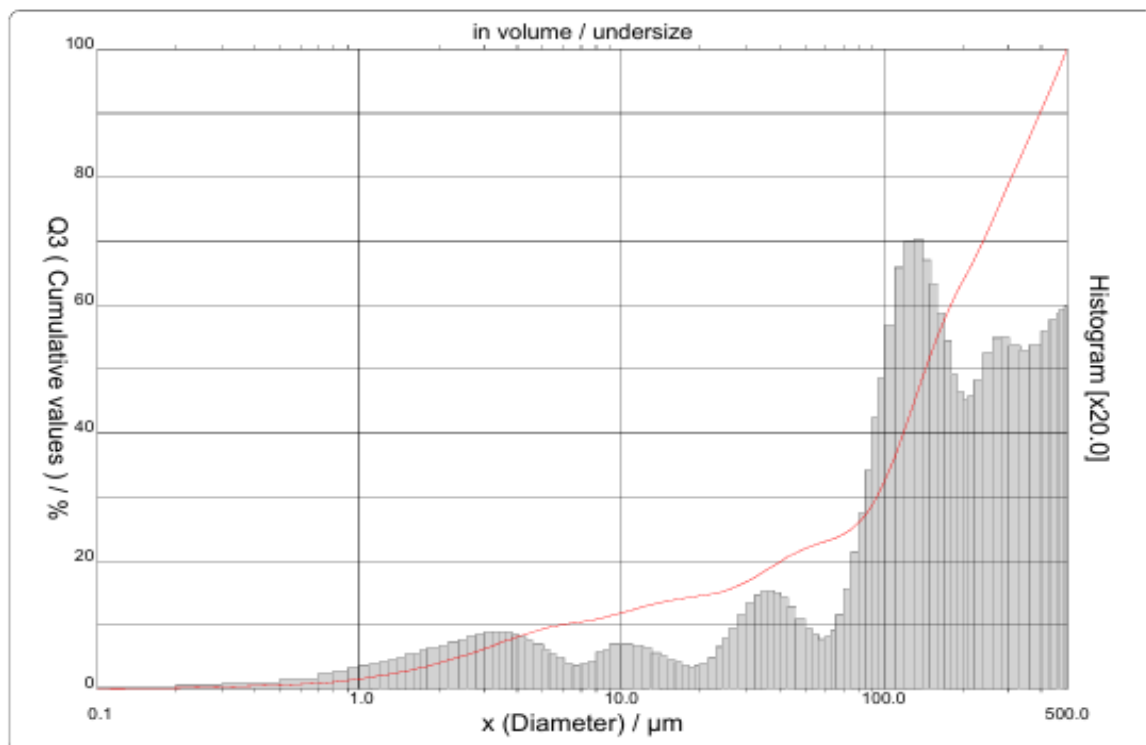
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : B
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:04:43AM
Index meas. : 1267
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 5.86 μm
Diameter at 50% : 144.28 μm
Diameter at 90% : 395.82 μm
Mean diameter : 177.34 μm
Fraunhofer
Density/Factor :
Specific surface :
Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1267/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.45/635



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : B
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:04:43AM
Index meas. : 1267
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 5.86 µm
Diameter at 50% : 144.28 µm
Diameter at 90% : 395.82 µm
Mean diameter : 177.34 µm

Fraunhofer
Density/Factor :
Specific surface :

Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer

Standards classes

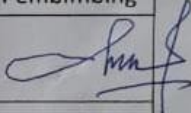
in volume / undersize

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	0.08	0.18	0.31	0.56	0.89	1.11	1.34	1.58	1.82	2.06
q3	0.00	0.01	0.02	0.03	0.07	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	2.31	2.55	2.79	3.04	3.28	3.53	4.01	4.48	4.95	5.40
q3	0.21	0.22	0.23	0.26	0.27	0.29	0.31	0.33	0.36	0.38
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	5.85	6.28	6.70	7.10	7.47	7.82	8.14	8.57	8.94	9.36
q3	0.41	0.42	0.44	0.44	0.43	0.43	0.42	0.40	0.37	0.34
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	9.62	9.84	10.08	10.30	10.49	10.68	10.88	11.13	11.38	11.91
q3	0.30	0.27	0.23	0.18	0.17	0.18	0.21	0.28	0.29	0.34
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	12.39	12.82	13.19	13.49	13.74	13.95	14.13	14.28	14.41	14.54
q3	0.34	0.33	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.17
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	14.74	14.97	15.27	15.62	16.14	16.73	17.37	18.02	18.66	19.27
q3	0.19	0.23	0.32	0.39	0.47	0.57	0.66	0.72	0.75	0.76
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	19.84	20.60	21.24	21.91	22.31	22.65	23.04	23.33	23.64	24.14
q3	0.74	0.70	0.64	0.54	0.46	0.41	0.38	0.40	0.45	0.57
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	24.94	25.96	27.19	28.64	30.34	32.19	36.21	40.47	44.63	48.50
q3	0.78	1.06	1.36	1.70	2.11	2.42	2.83	3.28	3.48	3.50
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	51.94	54.98	57.63	59.94	61.91	63.68	65.32	66.90	70.02	73.14
q3	3.34	3.16	2.93	2.71	2.44	2.31	2.25	2.28	2.40	2.61
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	76.16	78.98	82.78	86.21	90.42	93.43	96.32	97.26	99.10	100.00
q3	2.73	2.74	2.67	2.64	2.68	2.79	2.87	2.93	2.96	2.99

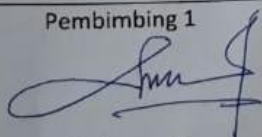
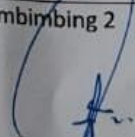
x : diameter / µm Q3 : cumulative value / % q3 : density distribution

Lampiran 7 Form Monitoring

FORM-PPR-3-6: Form Monitoring Proyek Akhir

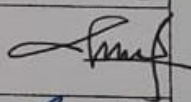
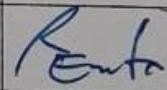
	FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/...../.....		
JUDUL	Penguatan Komposit Aluminium Menggunakan Pasir Silika Hibrid ($SiO_2/BA/EHA$) Untuk Kampas Rem Sepeda Motor dengan Metakurpi Serbuk		
Nama Mahasiswa	1. <u>Fahrian Hasbi</u> /NIM: <u>1042111</u> 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:		
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	13 Mei 2024	Draft Bab 1 + 2 Bahan sudah disiapkan	

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

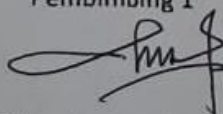
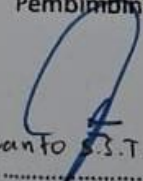
Mengetahui		
Pembimbing 1  (<u>Sukanto</u>)	Pembimbing 2  (<u>Ernyto</u>)	Pembimbing 3 (.....)

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

FORM-PPR-3-6: Form Monitoring Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024	
JUDUL		Pengujian Matrik Aluminium Menggunakan Pasir Silika Hibrid (SiO ₂ / BA / PVA) untuk Kampas Rem Sepeda Motor dengan Metalurgi Serbuk	
Nama Mahasiswa		1. FAHRIAN HASBI /NIM: 1042111 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
2	27/07/24	Sampel 40% Bab 1 - 4 (Draf)	
	28/07 ²⁴		

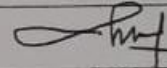
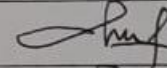
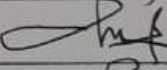
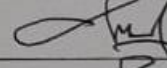
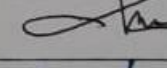
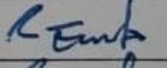
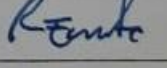
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1  Dr. Sukanto S.S.T., M.Eng. (.....)	Pembimbing 2  Erwanfo S.S.T., M.T. (.....)	Pembimbing 3 (.....)

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

Lampiran 8 Form Bimbingan

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

	 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023/2024		
JUDUL	Penguatan komposit Matrik Aluminium Menggunakan Pasir Silika Hibrid ($SiO_2/BA/RHA$) untuk kampas Rem Sepeda Motor dengan Metalurgi Serbuk		
Nama Mahasiswa	FAHQIAN HASBI NIM: 1042111		
Nama Pembimbing	1. Dr. Sukanto S.S.T., M.Eng. 2. Eruanto S.S.T., M.T. 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	21/3/24	Perencanaan Parameter Proses	
2	8/4/24	mencari alat dan bahan	
3	13/5/24	Pengumpulan Bab 1 - Bab III	
4	28/5/24	konsultasi Penyebab Spesimen retak	
5	3/6/24	konsultasi Penyebab thermocouple rusak	
6	23/7/24	konsultasi Pengujian Spesimen	
7	13/5/24	konsultasi makalah BAB I - III	
8	19/7/24	konsultasi makalah BAB IV	
9			
10			

Catatan:

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

Lampiran 9 Form Revisi

FORM-PPR-3-8: Form Revisi Laporan Akhir



FORM REVISI LAPORAN AKHIR
TAHUN AKADEMIK
2023 / 2024

JUDUL : peragaan Konyak Katrik Aluminium menggunakan pasir silika Hibrid (SiO₂/BA/PAA) untuk kampo pem separasi meler dengan raketnya sendiri.

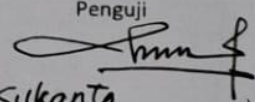
Nama Mahasiswa :

1.	<u>Fahrian Hasbi</u>	NIM: <u>104 2111</u>
2.		NIM: _____
3.		NIM: _____
4.		NIM: _____
5.		NIM: _____

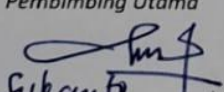
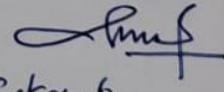
Bagian yang direvisi	Halaman
<u>lihat di Naskah</u>	

Sungailiat, 05 Agustus - 2024

Penguji


(Sukanto)

Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

Mengetahui, <u>8/12/2024</u> Pembimbing Utama  <u>(Sukanto)</u>	Sungailiat, _____ Penguji  <u>(Sukanto)</u>
--	--

Pedoman Proyek Akhir | Hal. 50

JUDUL

Demagnet Komposit matrik Aluminium Mengandung
 fiber Silika Hls red Untuk Kanvas Pem
 Sepeda Motor dengan. Matrik. Serat

1. Fahriah Hasbi

NIM: 1042111

2. _____ NIM: _____

3. _____ NIM: _____

4. _____ NIM: _____

5. _____ NIM: _____

Halaman

lengkap data pasar dan
mana yang baru tampil.

Sungailiat,

Penguji

(.....)

Mengetahui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Utama

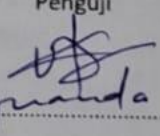
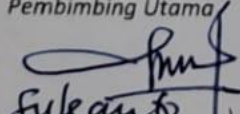
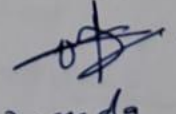
 13 01 '25

(Sukanto)

Sungailiat,

Penguji

zulfurito

	FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024																						
JUDUL :	Penguatan komposit matrik aluminium menggunakan pasir silica hibrid (SiO ₂ /BA/ RHA) untuk kampas rem sepeda motor dengan metalurgi serbuk																						
Nama Mahasiswa :	<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">1. <u>Fahrhan Hasbi</u></td> <td style="width: 50%;">NIM: <u>104211</u></td> </tr> <tr> <td>2. _____</td> <td>NIM: _____</td> </tr> <tr> <td>3. _____</td> <td>NIM: _____</td> </tr> <tr> <td>4. _____</td> <td>NIM: _____</td> </tr> <tr> <td>5. _____</td> <td>NIM: _____</td> </tr> </table>	1. <u>Fahrhan Hasbi</u>	NIM: <u>104211</u>	2. _____	NIM: _____	3. _____	NIM: _____	4. _____	NIM: _____	5. _____	NIM: _____												
1. <u>Fahrhan Hasbi</u>	NIM: <u>104211</u>																						
2. _____	NIM: _____																						
3. _____	NIM: _____																						
4. _____	NIM: _____																						
5. _____	NIM: _____																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 70%;">Bagian yang direvisi</th> <th style="width: 30%;">Halaman</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		Bagian yang direvisi	Halaman																				
Bagian yang direvisi	Halaman																						
What laporan																							
Sungailiat, ... 5 ... 10 ... 2024 ... Penguji  (..... granda)																							
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa																							
Mengetahui, Pembimbing Utama  (..... Fukeanto)	Sungailiat, ... 8 ... 1 ... 2025 ... Penguji  (..... granda)																						

Lampiran 10 Poster Proyek Akhir

MAHASISWA

FAHRIAN HASBI
1042111

DOSEN PEMBIMBING

Dr.SUKANTO, S.S.T., M.Eng.
ERWANTO, S.S.T., M.T.



POLMAN BABEL

PROYEK AKHIR

PENGUATAN KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM MENGGUNAKAN PASIR SILIKA HIBRID (SiO₂/BA/RHA) UNTUK KAMPAS REM SEPEEDA MOTOR DENGAN METALURGI SERBUK

LATAR BELAKANG

SALAH SATU KOMPONEN PENTING KENDARAAN BERMOTOR ADALAH KAMPAS REM, YANG BERFUNGSI UNTUK MENGURANGI LAJU KENDARAAN AGAR AMAN. BANYAK KAMPAS REM MASIH MENGGUNAKAN ASBES, MESKIPUN BERISIKO MENYEBABKAN KANKER PARU-PARU JENIS MESOTHELIOMA. OLEH KARENA ITU, INOVASI BAHAN ALTERNATIF DIPERLUKAN, SEPERTI KOMPOSIT Matriks ALUMINIUM YANG RINGAN, TAHAN KARAT, DAN MURAH DIDAUUR ULANG. BAHAN PENGUAT SEPERTI ALUMINA DAN SILIKON DIOKSIDA DAPAT MENINGKATKAN KEKUATAN DAN KETAHANAN. ABU SEKAM PADI (RHA) DAN SERBUKNYA JUGA DIGUNAKAN SEBAGAI ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN DAN EKONOMIS, MENGURANGI RISIKO KOROSI.

METALURGI SERBUK



METODE PELAKSANAAN

