

**ANALISIS KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM KAMPAS
REM SEPEDA MOTOR DIPERKUAT PADUAN PASIR
SILIKA DAN BOILER *FLY-ASH* DENGAN METODE
METALURGI SERBUK**

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh :

Barokah Ilham NIM :1042138

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DIPERKUAT PADUAN PASIR SILIKA DAN BOILER *FLY-ASH* DENGAN METODE METALURGI SERBUK

Oleh:

Barokah Ilham/1042138

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

Menyetujui,

Pembimbing I



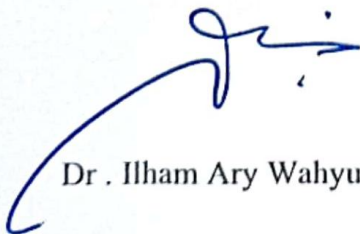
Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

Pembimbing II



Dr . Sukanto M., Eng.

Penguji I



Dr . Ilham Ary Wahyudie, M.T.

Penguji II



Zulfitriyanto, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Barokah Ilham

NIM: 1042138

Dengan Judul : Analisis Komposit Matrik Aluminium Kampas Rem Sepeda
Motor Diperkuat Paduan Pasir Silika Dan Boiler *Fly-Ash*
Dengan Metode Metalurgi Serbuk

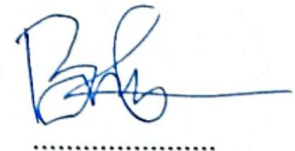
Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 22 Juli 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Barokah Ilham



.....

ABSTRAK

Penggunaan asbestos dalam pembuatan kampas rem diketahui membahayakan kesehatan, sehingga diperlukan inovasi ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh persentase penguat dan tekanan kompaksi panas terhadap sifat densitas dan kekerasan. Komposit dibuat menggunakan metode metalurgi serbuk, yang meliputi penggilingan serbuk aluminium daur ulang, pasir silika, dan boiler fly ash dengan mesin ball mill. Parameter proses yang digunakan adalah Ball Powder Weight Ratio (BPR) 10:1, kecepatan putar 90 rpm, dan waktu penggilingan selama 6 jam dengan variasi persentase penguat sebesar 8%, 12%, dan 16%. Proses kompaksi dilakukan dengan dua arah penekanan, menggunakan variasi tekanan sebesar 5000, 5400, dan 5800 PSI pada suhu 350°C, dengan waktu penahanan selama 10 menit. Proses sintering dilakukan pada suhu 600°C dengan waktu tahanan selama 10 menit. Pengujian dilakukan dengan metode uji densitas sesuai ASTM B962-17 dan uji kekerasan Brinell portable sesuai ASTM E110-14. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase penguat dan tekanan kompaksi panas meningkatkan densitas dan kekerasan komposit. Nilai densitas tertinggi yang diperoleh adalah 2,262 g/cm³, sementara nilai kekerasan tertinggi mencapai 49,2 HB pada persentase penguat 16% dengan tekanan kompaksi 5800 PSI.

Kata Kunci: metalurgi serbuk, asbestos, kampas rem, pasir silika, boiler fly-ash

ABSTRACT

The use of asbestos in the production of brake pads is known to pose health risks, necessitating environmentally friendly innovations. This study aims to evaluate the effects of the percentage of reinforcement and hot compaction pressure on the density and hardness properties. Composites were produced using the powder metallurgy method, which involves grinding recycled aluminum powder, silica sand, and boiler fly ash with a ball mill. The process parameters used were a Ball Powder Weight Ratio (BPR) of 10:1, a rotation speed of 90 rpm, and a grinding time of 6 hours, with varying reinforcement percentages of 8%, 12%, and 16%. The compaction process was performed using bidirectional pressing with varying pressures of 5000, 5400, and 5800 PSI at a temperature of 350°C, with a holding time of 10 minutes. The sintering process was conducted at a temperature of 600°C with a holding time of 10 minutes. Testing was carried out using density tests in accordance with ASTM B962-17 and portable Brinell hardness tests in accordance with ASTM E110-14. The test results showed that an increase in the percentage of reinforcement and hot compaction pressure improved the density and hardness of the composite. The highest density obtained was 2.262 g/cm³, while the highest hardness reached 49.2 HB at a reinforcement percentage of 16% with a compaction pressure of 5800 PSI.

Keywords: powder metallurgy, asbestos, brake pads, silica sand, boiler fly-ash

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan penuh rasa syukur, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, serta kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “ **ANALISIS KOMPOSIT MATRIK ALUMINIUM KAMPAS REM SEPEDA MOTOR DIPERKUAT PADUAN PASIR SILIKA DAN BOILER *FLY-ASH* DENGAN METODE METALURGI SERBUK** ”. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik untuk menyelesaikan program studi di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, demi memperoleh gelar Sarjana Terapan. Perjalanan dalam menyelesaikan studi hingga tahap ini tentu tidaklah mudah dan membutuhkan kerja keras serta dukungan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, terima kasih yang tak terhingga kepada Ayahanda, Basri Matsani, atas cinta, doa, dan dukungan yang selalu diberikan, serta kepada Ibunda, (almarhumah) Laila Sari, yang senantiasa mendoakan dari surga. Segala pencapaian ini tidak lepas dari pengorbanan kalian berdua. Semoga keberhasilan ini dapat menjadi kebanggaan bagi Ayah dan mengenang jasa Ibu. Kalian adalah sumber kekuatan dan inspirasi terbesar dalam hidupku.
2. Terima kasih yang mendalam kepada kedua kakakku, Lori Bastian dan Ade Bela Carera, serta adikku tercinta, Alfiki Noffraza, atas dukungan, kasih sayang, dan semangat yang selalu kalian berikan. Kehadiran kalian dalam setiap langkahku menjadi motivasi untuk terus maju. Semoga keberhasilan ini juga menjadi kebanggaan bagi kalian.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak M.Subhan, S.S.T.,M.T.selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan arahan, Ilmu, Pengalaman dalam sistematika penulisan makalah penelitian ini.
7. Bapak Dr. Sukanto, M.Eng. Selaku dosen pembimbing dua yang telah banyak memberikan masukan, Ilmu, Pengalaman, menyediakan waktu, tenaga dan bimbingan untuk penyediaan makalah penelitian ini.
8. Bapak Eko Yudo, S.S.T.,M.T.selaku dosen wali pengganti orang tua penulis di lingkungan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung,yang mana beliau selalu memberi nasehat serta mengawasi penulis selama mengikuti perkuliahan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
9. Untuk teman-temanku, Akhmad Hasyim Fikri, Veldi Handi Rahmadan, Tirta Darmawan, Fadilla Razqi, Sudrian Alfian, dan M. Razeev Syahrizal, yang selalu mendukung dan membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini, serta seluruh teman-teman kelas TMM B yang bersama-sama berjuang meraih gelar sarjana. Kalian adalah teman-teman yang luar biasa. Semoga kalian semua menjadi orang-orang yang sukses, baik sekarang maupun di masa depan.

Sebagai penutup, penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberkahi kita semua dalam setiap langkah ke depan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Sungailiat, 16 September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	II
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	II
ABSTRAK	III
ABSTRACT	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR GAMBAR.....	X
LAMPIRAN.....	XII
BAB I PENDAHULUAN.....	XII
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Komposit	7
2.3. Matelurgi Serbuk.....	8
2.3.1. Pencampuran Serbuk (Mixing)	8
2.3.2. Kompaksi	9
2.3.3. Sintering	10
2.4. Aluminium.....	10
2.5. Silika (SiO ₂).....	12
2.6. Boiler <i>Fly-Ash</i>	12
2.7. Kampas Rem	13
2.8. Pengujian Kekerasan	13
2.9. Pengujian Densitas	14
2.10. Metode Full Faktorial	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Metode Penelitian.....	17

3.2.	Studi Literatur.....	18
3.3.	Material dan Peralatan Penelitian.....	18
3.3.1.	Material Penelitian	18
3.3.2.	Peralatan penelitian	20
3.4.	Prosedur Penelitian.....	24
3.5.	Validasi Spesimen	25
3.6.	Pengujian Kekerasan	25
3.7.	Pengujian Densitas	26
3.8.	Pengolahan Data.....	26
3.9.	Analisa Data	27
BAB IV	PEMBAHASAN.....	30
4.1.	Hasil Pencampuran.....	30
4.2.	Spesimen Sebelum Pengujian	31
4.3.	Analisis Uji Densitas Sebelum Sintering	32
4.4.	Analisis Uji Kekerasan Sebelum Sintering	37
4.5.	Analisis Uji Densitas Setelah Sintering.....	40
4.6.	Analisis Uji Kekerasan Setelah Sintering.....	46
BAB V	PENUTUP.....	51
5.1.	Kesimpulan.....	51
5.2.	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52

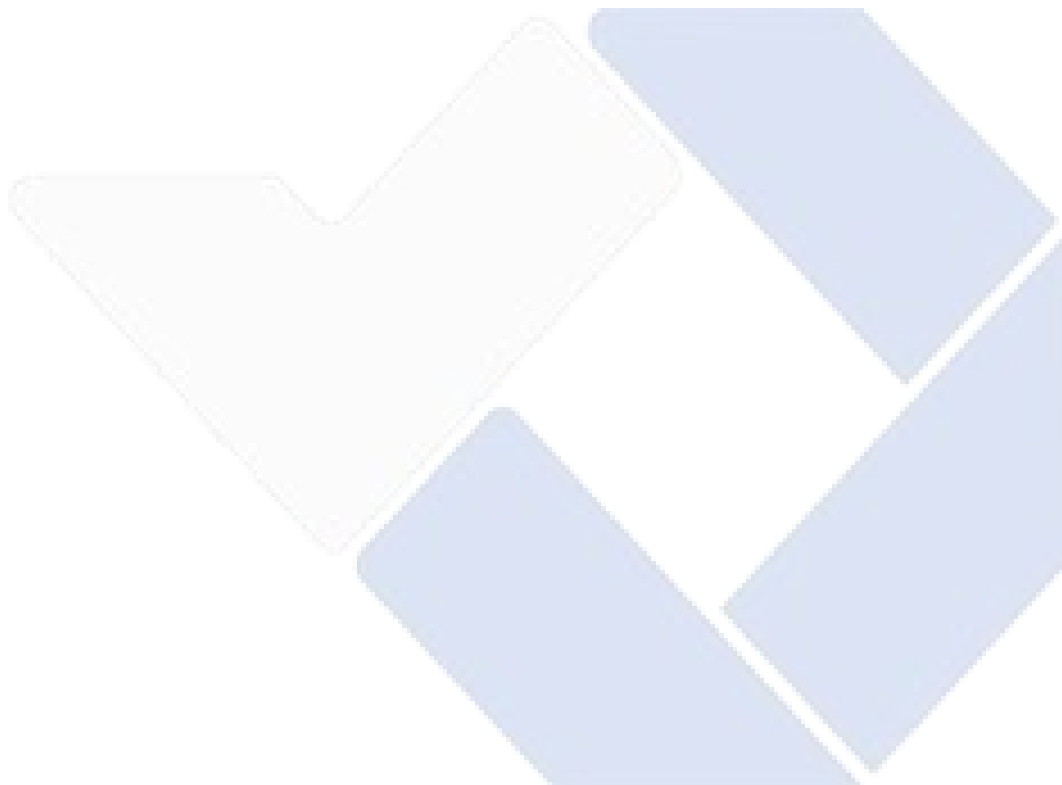
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium	11
Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium.....	11
Tabel 2. 3 Unsur kimia boiler fly-ash	13
Tabel 3. 1 Data uji kekerasan.....	26
Tabel 3. 2 Data uji densitas	27
Tabel 3. 3 Tingkat dan parameter uji	27
Tabel 3. 4 Desain full factorial.....	28
Tabel 3. 5 Uji ANNOVA	28
Tabel 4. 1 Hasil timbangan sampel kering (g)	33
Tabel 4. 2 Hasil timbangan sampel basah (g)	34
Tabel 4. 3 Hasil dari perhitungan densitas (g/cm ³).....	36
Tabel 4. 4 Hasil uji kekerasan sebelum sintering.....	38
Tabel 4. 5 Hasil timbangan sampel kering.....	41
Tabel 4. 6 Hasil timbangan sampel basah.....	41
Tabel 4. 7 Hasil dari perhitungan densitas (g/cm ³).....	43
Tabel 4. 8 Data analisis variasi uji densitas	44
Tabel 4. 9 Hasil uji kekerasan setelah sintering.....	47
Tabel 4. 10 Data analisis variasi uji kekerasan	48
Tabel 4. 11 Perbandingan penelitian terdahulu.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi tahap pembentukan kepadatan serbuk	9
Gambar 2. 2 Proses penekanan satu arah dan dua arah.....	10
Gambar 2. 3 Proses tahapan sintering	10
Gambar 2. 4 Contoh uji densitas	15
Gambar 3. 1 Diagram alir.....	17
Gambar 3. 2 Serbuk aluminium	18
Gambar 3. 3 Pasir silika	19
Gambar 3. 4 Boiler fly-ash.....	19
Gambar 3. 5 Timbang digital	20
Gambar 3. 6 Mixer	20
Gambar 3. 7 Ball mill machine	21
Gambar 3. 8 Alat tekan hidrolik.....	21
Gambar 3. 9 Cetakan.....	22
Gambar 3. 10 Thermocouple.....	22
Gambar 3. 11 Thermogun	22
Gambar 3. 12 Oven	23
Gambar 3. 13 Press Hidrolik.....	23
Gambar 3. 14 Alat pengujian kekerasan	24
Gambar 3. 15 Alat pengujian densitas	24
Gambar 4. 1 Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 92%.....	30
Gambar 4. 2 Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 88%.....	31
Gambar 4. 3 Grafik particle size analyzer dengan persentase penguat 84%.....	31
Gambar 4. 4 Sampel.....	32
Gambar 4. 5 Menimbang sampel kering.....	32
Gambar 4. 6 Menimbang sampel basah	33
Gambar 4. 7 Grafik uji densitas sebelum sintering	36
Gambar 4. 8 Uji kekerasan pada sampel.....	37
Gambar 4. 9 Hasil uji kekerasan pada sampel	38
Gambar 4. 10 Grafik uji kekerasan sebelum sintering.....	39

Gambar 4. 11 Menimbang sampel kering.....	40
Gambar 4. 12 Menimbang sampel basah.....	40
Gambar 4. 13 Grafik uji densitas setelah sintering	44
Gambar 4. 14 Uji kekerasan pada sampel.....	46
Gambar 4. 15 Hasil uji kekerasan pada sampel	46
Gambar 4. 16 Grafik uji kekerasan setelah sintering	47



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DAFTAR RIWAYAT HIDUP	56
LAMPIRAN 2 HASIL UJI <i>PARTICLE SIZE ANALYZER</i> ALUMINIUM.....	57
LAMPIRAN 3 HASIL UJI <i>PARTICLE SIZE ANALYZER</i> PASIR SILIKA.....	59
LAMPIRAN 4 HASIL UJI <i>PARTICLE SIZE ANALYZER</i> BOILER <i>FLY-ASH</i>	61
LAMPIRAN 5 HASIL UJI PSA SERBUK DENGAN PERSENTASE 92%	63
LAMPIRAN 6 HASIL UJI PSA SERBUK DENGAN PERSENTASE 88%	65
LAMPIRAN 7 HASIL UJI PSA SERBUK DENGAN PERSENTASE 84%	67
LAMPIRAN 8 FORM MONITORING PROYEK AKHIR	69
LAMPIRAN 9 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR.....	71
LAMPIRAN 10 FORM REVISI PROYEK AKHIR.....	72
LAMPIRAN 11 HASIL TURNITIN	75
LAMPIRAN 12 POSTER PROYEK AKHIR.....	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri otomotif Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang signifikan. Dengan peningkatan jumlah dan variasi jenis serta merek kendaraan bermotor, permintaan akan suku cadang otomotif, termasuk kampas rem, semakin meningkat. Salah satu jenis kampas rem yang biasa digunakan pada kendaraan masa kini adalah yang terbuat dari resin bonded. Kategori umum dari kampas rem ini termasuk logam rendah (LM), logam non-organik (NAO), dan logam semi (SM) [1].

Kampas rem pada kendaraan bermotor memiliki peran vital dalam pengendalian, bertujuan untuk mengurangi kecepatan kendaraan dengan aman dan nyaman. Asbestos masih merupakan serat utama sekitar 60% dari bahan kampas rem saat ini dengan tambahan bahan lain seperti resin, serpihan logam, bahan aditif gesekan, bahan pengisi, karet sintetis, dan keramik [2].

Penelitian medis menegaskan bahwa penggunaan kampas rem yang mengandung serat asbestos berisiko bagi kesehatan, menyebabkan kanker paru-paru dan gangguan pernapasan. Pada tahun 1986, Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) mengumumkan larangan penggunaan serat asbestos dalam kampas rem kendaraan bermotor. Sebagai hasilnya, industri otomotif diwajibkan menggunakan kampas rem non-asbestos untuk semua kendaraan baru mulai September 1993. Pada tahun 1996, EPA juga menerapkan kebijakan yang mewajibkan produsen kampas rem aftermarket untuk menggunakan yang tidak mengandung asbestos [3].

Kampas rem non-asbestos mulai diperkenalkan pada sekitar tahun 2000-an sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Meskipun demikian, kampas rem jenis ini memiliki harga yang relatif tinggi, sekitar dua kali lipat lebih mahal dari pada kampas rem asbestos. Oleh karena itu, sebagian besar masyarakat ekonomi

menengah ke bawah cenderung memilih kampas rem *aftermarket* yang lebih terjangkau harganya [4].

Karena itu, diperlukan solusi baru untuk mengatasi kebutuhan akan bahan tersebut. Salah satu alternatif yang sedang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit dengan matriks aluminium. Komposit logam dengan aluminium sebagai matriks disebut sebagai komposit matriks aluminium. Aluminium memiliki banyak keuntungan, termasuk kekakuan yang tinggi, ketahanan lelah yang baik, dan harga pembuatan yang kompetitif. Variasi dalam pembuatan komposit aluminium telah terjadi selama beberapa tahun, serta diuji dengan berbagai metode yang tepat. Bahan penguat yang digunakan meliputi serat kontinu, monofilamen, multifilamen, serat pendek, whisker, dan partikulat [5].

Tailing, sisa tanah halus dari 125.875 hektar bekas tambang timah di Pulau Bangka Belitung, mencakup sekitar 64.255 hektar. Dengan mengolahnya menjadi material nano-silika melalui proses penggilingan menggunakan crusher dan ball mill, potensi ekonomi pasir silika ini dapat ditingkatkan. Proses penggilingan ini dapat mengurangi ukuran pasir hingga 200 mesh, atau 74 μm . Semua orang tahu Bangka Belitung memiliki pasir silika atau kuarsa terbaik di Indonesia. Menurut penelitian oleh Wahyudi dan Amalia, pelindian pasir silika dapat menghasilkan produk kimia dengan komposisi 98,75% SiO_2 , 0,079% TiO_2 , 0,054% Al_2O_3 , 0,389% Fe_2O_3 , dan 0,25% LOI. Namun, biaya proses pelindian untuk mencapai kadar kuarsa atau silikon dioksida yang tinggi cukup mahal [6]. Silika merupakan senyawa kimia yang memiliki rumus molekul SiO_2 , juga dikenal sebagai silicon dioxide, yang dapat dibuat dari berbagai sumber, termasuk mineral silika, tumbuhan, dan pembuatan kristal sintetis. Mineral silika merujuk pada senyawa yang umumnya ditemukan dalam pasir kuarsa, granit, dan feldspar, serta bahan tambang atau galian lainnya yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2). Sifat-sifat silika (SiO_2) termasuk kekakuan, kekerasan, ketahanan aus, dan ketahanan termal yang tinggi. Jika digunakan sebagai penguat dan dicampur dengan aluminium sebagai matriks, akan menghasilkan komposit yang sangat kuat dan tahan korosi, serta ringan, dengan kemudahan dalam proses pemesinan [7].

Pada tahun 2020, Indonesia memiliki 14.996 juta hektar kebun kelapa sawit, menjadikannya salah satu produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Jumlah limbah cangkang sawit yang melimpah di Indonesia mencapai 9,375 juta ton per tahun [8]. Pabrik kelapa sawit (PKS) menggunakan serat dan cangkang kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler, menghasilkan sekitar 3 hingga 5 ton kerak boiler setiap minggu. Sekitar 15% cangkang dan 85% serat kelapa sawit, serta tandan kosong. (TKS) digunakan dalam boiler untuk menghasilkan uap. Namun, sekitar 5% dari bahan bakar boiler tersebut tidak terbakar sepenuhnya, menghasilkan abu yang tidak digunakan. Kehadiran limbah abu tersebut meningkatkan jumlah limbah padat yang harus diurus, padahal abu memiliki potensi untuk dikonversi menjadi produk bernilai ekonomi tinggi. Dalam konteks penelitian ini, boiler *fly ash* digunakan sebagai bahan tambahan penguat dalam pembuatan komposit matriks aluminium, bersama dengan pasir silika tailing timah. Dengan demikian, diharapkan dapat tercipta solusi inovatif dan berkelanjutan dalam mengelola limbah industri timah dan kelapa sawit di Indonesia, sambil menciptakan produk yang ramah lingkungan [9].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana tekanan kompaksi panas dan persentasi penguat (pasir silika dan boiler *fly-ash*) mempengaruhi nilai kekerasan dan densitas komposit matrik aluminium daur ulang?

1.3. Tujuan Penelitian

Ini adalah tujuan dari penelitian ini:

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh tekanan kompaksi panas dan persentasi penguat (pasir silika dan boiler *fly-ash*) mempengaruhi nilai kekerasan dan densitas komposit matrik aluminium daur ulang

1.4. Batasan Masalah

Untuk memastikan tujuan penelitian ini tetap terarah dan untuk memudahkan pengumpulan data dan informasi, Batasan masalah berikut ditetapkan oleh penulis:

1. Penelitian ini memanfaatkan aluminium hasil daur ulang.
2. Pasir silika dan boiler *fly-ash* digunakan sebagai bahan penguat komposit.
3. Persentasi penguat yang digunakan adalah 8%, 12% dan 16%
4. Variasi tekanan kompaksi panas terdiri dari 5000, 5400, dan 5800 PSI pada suhu 350°C, dengan waktu penahanan selama 10 menit.
5. Temperatur sintering adalah 600°C dengan durasi tahanan sintering selama 10 menit.
6. Pengujian yang akan dilakukan meliputi :
 - Uji Kekerasan ASTM E110-14
 - Uji Densitas ASTM B962-17

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Penelitian Terdahulu

Studi ini dilakukan untuk memanfaatkan abu terbang sebagai penambahan dalam komposit aluminium matriks (AMC), berdasarkan studi sebelumnya oleh Subarmono dkk [10]. Abu terbang adalah hasil sisa pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap. Dalam penelitian ini, serbuk aluminium berukuran partikel kurang dari 40 μm dicampur dengan berbagai konsentrasi abu terbang (2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%). Campuran ini diaduk selama tiga jam menggunakan mixer rotasi. Setelah pencampuran aluminium dan abu terbang, kompaksi isostatik dilakukan dengan tekanan 100 MPa. Kemudian, proses sintering tanpa tekanan dilaksanakan dalam atmosfer gas argon pada suhu 500–600 °C. Pengujian dilakukan untuk mengukur kekuatan lentur, kekerasan Vickers, ketahanan aus, dan densitas komposit, sementara struktur mikro dianalisis menggunakan SEM. Hasilnya menunjukkan bahwa sifat mekanis meningkat seiring dengan penambahan fraksi berat abu terbang hingga 5%, namun setelah itu terjadi penurunan.

Menurut penelitian Arrahim dkk [11]. dengan judul ” Pengaruh Fraksi Penguat Fly Ash dan Temperatur Cetakan Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Pada MMC” Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari nilai kekerasan dan struktur mikro dari material komposit MMC yang menggunakan serbuk aluminium (Al) sebagai matriks dan diperkuat dengan *fly-ash*. Penggunaan *fly-ash* sebagai penguat memiliki variasi persentase sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Setelah itu, penguat tersebut dicampur dengan matriks aluminium, yang memiliki ukuran butir 3,174 μm . Dalam metode metalurgi serbuk, penekanan panas (HIP) digunakan pada suhu 250°C, 300°C, dan 350°C. Kekerasan diuji dengan Rockwell Hardness Tester, dan struktur mikro diamati dengan scanning electron microscope (SEM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen dengan variasi campuran serbuk aluminium dan fly ash memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 90:10% pada semua variasi suhu (250°C, 300°C, dan 350°C), dengan nilai

kekerasan 65,07 HRB. Variasi campuran memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 75:25%, dengan nilai kekerasan 55,64 HRB. Dengan penambahan fly ash sebesar 10-15%, nilai kekerasan meningkat.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Sukanto dan rekan-rekannya [12]. dengan judul "Karakterisasi Komposit Matriks Aluminium Paduan Al-ZnSiFeCuMg yang Diperkuat Dengan Partikel Pasir Silika Tailing", variasi ukuran butiran dan persentase berat filler dalam serbuk paduan aluminium daur ulang Al-ZnSiFeCuMg dinilai berdasarkan sifat-sifatnya. Dalam penelitian ini, metalurgi serbuk digunakan. Proses tekanan kompaksi panas dilakukan dengan press hidrolik dua arah tekanan (atas dan bawah) selama sepuluh menit pada suhu 300°C dan tekanan 100 MPa. Kemudian proses sintering dilakukan selama lima belas menit pada suhu 550°C. Analisis struktur mikro, kekerasan, dan densitas adalah bagian dari pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa spesimen AMC dengan campuran 20% SiO₂ dengan ukuran butiran 164 µm menunjukkan peningkatan kekerasan sebesar 67%. Kekerasan awalnya adalah 46,67 HRB dengan tingkat keausan 0,00041 g/m, dan spesimen dengan ukuran butiran 31 µm menunjukkan peningkatan sebesar 63%, dari 46,67 HRB dengan tingkat keausan 0,00113 g/m. Hal ini menunjukkan bahwa AMC dengan filler dengan ukuran butiran 164 µm menghasilkan komposit yang lebih kuat dan memiliki ikatan yang lebih kuat antara filler dan matriks dibandingkan dengan AMC dengan filler berukuran 31 µm.

Menurut penelitian Guntoro [13]. tentang "Pemanfaatan Serat Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor", kampas rem sepeda motor biasanya terbuat dari asbes yang tidak ramah lingkungan. Namun, penelitian yang dilakukan di Laboratorium Uji Material Politeknik Teknologi Kimia Industri (PTKI) Medan menemukan solusi yang ramah lingkungan yang menggunakan matrik poliuretan, serbuk alumina, dan serat pelepah kelapa sawit. Dua jenis pengujian yang digunakan adalah tingkat kekerasan *Rockwell* dan koefisien gesek *Pin On Disk* dalam penelitian yang berlangsung dari Februari hingga Juli 2020. Menurut hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menambahkan serbuk alumina dalam komposisi tertentu, serat pelepah kelapa sawit

dapat digunakan untuk membuat kampas rem sepeda motor. Uji kekerasan Rockwell menunjukkan bahwa perlakuan A2 (Alumina 6%) memiliki tingkat kekerasan tertinggi, 52,75 Kg. Selain itu, uji koefisien gesek Pin On Disk menunjukkan bahwa kampas rem dengan komposisi perlakuan A2 memiliki koefisien gesek terendah, 0.000765 N/mm², yang menunjukkan kinerja yang baik.

1.2. Komposit

Material komposit adalah bahan yang tersusun dari dua atau lebih komponen dengan karakteristik fisik, kimia dan mekanik yang sangat berbeda. Sifat khas dari material komposit ini merupakan hasil dari sifat individual dari bagian-bagian penyusunnya serta fraksi volume dan susunan mereka dalam sistem material. Bergantung pada aplikasi yang diinginkan, komposit dapat dirancang untuk memenuhi persyaratan geometris, struktural, mekanik, kimia, dan terkadang estetika tertentu [14]. Material komposit menawarkan beberapa keunggulan, seperti bobot yang ringan, ketahanan yang tinggi dan kekerasan yang lebih baik terhadap keausan dan korosi.

Berdasarkan bentuk dari matriksnya, komposit dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. Komposit Matrik Polimer merupakan yang umum digunakan pada komposit karena sifatnya yang ringan, tahan karat dan korosi. Dua jenis matriks ini adalah termoset dan termoplastik; yang pertama tidak dapat didaur ulang, tetapi yang kedua lebih sering digunakan.
2. Komposit Matrik Logam adalah komposit yang menggunakan logam sebagai matriks. Pada tahun 1996 Pengembangan material MMC dimulai, dengan penekanan awal pada Continuous Filament MMC untuk aplikasi penerbangan.
3. Komposit Matrik Keramik adalah bahan dua fase yang terdiri dari fase reinforcement yang berfungsi sebagai penguat dan fase matriks yang terbuat dari keramik. Oksida, karbida, dan nitrid adalah bahan penguat yang umum digunakan dalam CMC. Salah satu metode pembuatan CMC adalah

proses dimox, di mana komposit dibuat dengan mengoksidasi leburan logam untuk mendorong pertumbuhan matriks keramik di sekitar daerah penguat.

Material komposit dapat dikelompokkan ke dalam lima kategori berdasarkan komponennya [15].

- a. Komposit serat, yang memiliki atau tidak memiliki matriks matriks.
- b. Komposit flakes, yang memiliki atau tidak memiliki matriks.
- c. Komposit partikel, yang memiliki atau tidak memiliki matriks.
- d. Komposit rangka, terdiri dari matriks yang terisi dengan bahan kedua.
- e. Komposit laminat, terdiri dari laminat komponen atau lapisan.

1.3. Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy* atau PM) melibatkan produksi dan penggunaan bubuk logam untuk menciptakan komponen dengan presisi tinggi dan sifat yang dapat disesuaikan. Teknologi ini memanfaatkan rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi dari bubuk logam, cocok digunakan sebagai katalis atau dalam berbagai reaksi kimia. Aplikasi PM meliputi industri otomotif, di mana bagian-bagian PM ferus banyak digunakan dalam mesin, transmisi, dan sasis karena efisiensi biaya dan presisinya. PM juga penting untuk menciptakan mikrostruktur unik seperti filter berpori, bantalan pelumas mandiri, dan paduan yang diperkuat dispersi. Meskipun efisien dalam biaya dan reproduktibilitas, bagian-bagian PM mungkin memiliki keuletan yang lebih rendah dibandingkan dengan logam tempa, sehingga pemilihan bahan dan proses yang tepat sangat penting untuk mencapai mikrostruktur yang diinginkan. Metalurgi serbuk adalah teknologi pembentukan logam yang efisien dan dapat disesuaikan, memberikan solusi untuk berbagai kebutuhan teknik mulai dari komponen otomotif hingga aplikasi khusus seperti filter dan komposit.

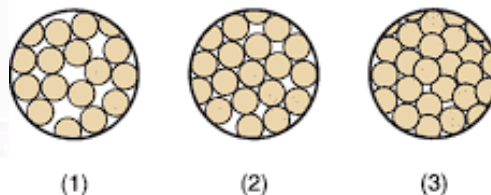
1.3.1. Pencampuran Serbuk (Mixing)

Pencampuran (*mixing*) dalam metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy* atau PM) melibatkan mencampur bubuk logam dengan pelumas untuk mengurangi

gesekan antarpartikel selama kompaksi dan mempermudah pengeluaran bagian yang sudah terkompaksi dari cetakan. Bubuk logam dapat dicampur dengan pelumas, paduan induk, atau bahan tambahan lainnya sebelum proses kompaksi untuk mencapai komposisi yang diinginkan dalam pembuatan komponen PM [16].

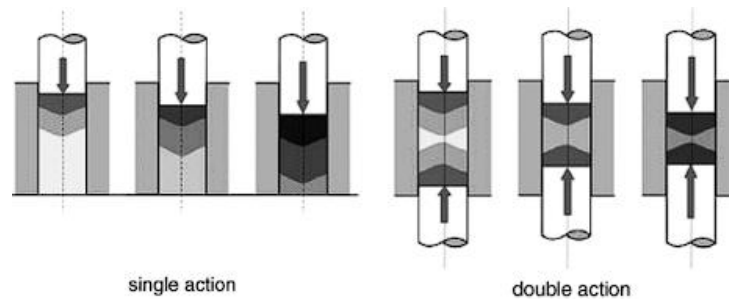
1.3.2. Kompaksi

Dalam proses kompaksi, tekanan tinggi digunakan untuk membentuk bubuk menjadi bentuk yang diinginkan. Metode kompaksi konvensional adalah penekanan, di mana pukulan yang saling bertentangan menekan bubuk di dalam cetakan. Tekanan awalnya menghasilkan pengemasan ulang bubuk menjadi susunan yang lebih efisien, menghilangkan "jembatan" yang terbentuk selama pengisian, mengurangi ruang pori, dan meningkatkan jumlah titik kontak antara partikel. Saat tekanan meningkat, partikel mengalami deformasi plastis, meningkatkan area kontak antar partikel dan mengakibatkan kontak lebih banyak. Hal ini menyebabkan penurunan volume pori lebih lanjut [17].



Gambar 2. 1 Ilustrasi tahap pembentukan kepadatan serbuk [17].

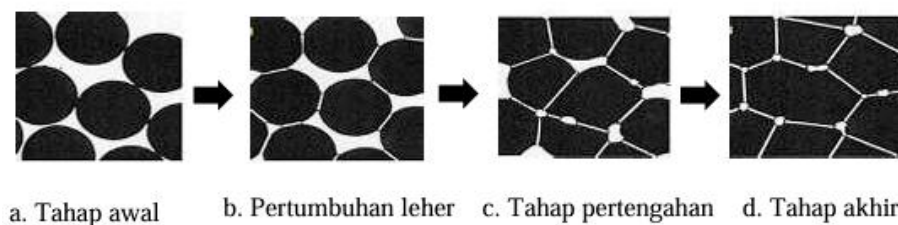
Terdapat dua jenis proses kompaksi berdasarkan sumbu yang umum digunakan: satu arah dan dua arah. Proses kompaksi satu arah cocok untuk bentuk yang sederhana, sedangkan kompaksi dua arah lebih sesuai untuk bentuk yang kompleks. Dalam kompaksi dua arah, tekanan dari atas dan bawah bekerja bersama-sama untuk menciptakan kepadatan yang lebih seragam, meskipun kekuatan mekanik terendah biasanya terjadi di bagian tengah. Jika produk memiliki kompleksitas yang tinggi, tekanan dapat ditingkatkan untuk mencapai kepadatan yang lebih merata [18].



Gambar 2. 2 Proses penekanan satu arah dan dua arah [18].

1.3.3. Sintering

Sintering adalah proses pemanasan pada produk hasil kompaksi untuk menyatukan partikel logam, meningkatkan kekuatan dan kekerasan. Dalam proses sinter, partikel padat menyatu karena panas dan reaksi kimia. Panas menyebabkan partikel bersatu dan meningkatkan tegangan permukaan. Dengan kata lain, sintering menghasilkan peningkatan densitas dengan menyatukannya partikel. Proses rekristalisasi terjadi saat batas butir terbentuk. Sintering biasanya dilakukan pada suhu antara 70 dan 90 persen dari suhu cairan pada serbuk utama [19].



Gambar 2. 3 Proses tahapan sintering [19].

1.4. Aluminium

Aluminium adalah logam ringan yang memiliki sifat-sifat baik seperti ketahanan terhadap korosi yang baik dan konduktivitas listrik yang tinggi, bersama dengan karakteristik dasar logam lainnya. Penambahan unsur-unsur seperti nikel, silikon, magnesium, tembaga, mangan dan seng, baik secara individu maupun dalam kombinasi, dapat meningkatkan secara signifikan kekuatan mekanik aluminium dan juga memiliki sifat tambahan seperti ketahanan korosi, aus, dan koefisien pemuaian yang rendah. Aluminium banyak digunakan dalam berbagai

industri, termasuk peralatan rumah tangga serta dalam industri pesawat terbang, otomotif, kapal laut, dan konstruksi [20].

Tabel 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium [20].

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996%	>99,0
Masa 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)
Tahanan 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 kX	Fcc, a=4,04 kX

Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium [20].

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996%		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

1.5. Silika (SiO_2)

Pasir silika (SiO_2) adalah sebuah mineral alami yang memiliki rumus molekul (SiO_2) atau dikenal juga sebagai silikon dioksida. Mineral ini dapat ditemukan dalam bentuk silika alam, termasuk dari sumber mineral alam, tumbuhan, dan sintesis kristal [21]. Pemanasan pasir kuarsa dengan suhu 870°C untuk menghasilkan struktur kristal tridimit pada silika, yang juga ditemukan secara alami. Jika pasir kuarsa dipanaskan dengan suhu 1.470°C , silika yang memiliki struktur kristal kristobalit dapat dihasilkan. Pasir silika dibuat oleh mineral atau logam yang mengandung silika, yang sering digunakan di bidang metalurgi. Pasir silika ini memiliki beragam aplikasi industri, seperti sandblasting untuk menghapus karat dari mesin, plat besi dan pipa, serta dalam pembuatan kaca, keramik, filter air bersih, dan pengecoran beton [7].

1.6. Boiler *Fly-Ash*

PT. Tata Hampan Eka Persada terletak di Desa Puding Besar, Kecamatan Puding Besar, Kabupaten Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, dan merupakan salah satu pabrik kelapa sawit yang menggunakan cangkang dan serat kelapa sawit sebagai bahan bakar untuk mesin boiler. Abu hasil dari pembakaran di boiler terdiri dari *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar). Limbah padat utama dari hasil pembakaran adalah *fly-ash*, dihasilkan saat pembakaran cangkang dan serat kelapa sawit, memiliki titik leleh yang lebih tinggi daripada temperatur pembakaran. Ini menghasilkan abu yang lebih ringan dan berbutiran halus berwarna gelap daripada abu dasar [22]. Silikon oksida (SiO_2) adalah kandungan utama abu cangkang kelapa sawit ini, yang berbentuk halus dan memiliki sifat pozzolanic dan reaktif yang baik, yang memungkinkannya bereaksi dengan bahan yang keras dan kaku. Oleh karena itu, abu cangkang kelapa sawit ini ideal untuk digunakan sebagai bahan komposit [23].

Tabel 2. 3 Unsur kimia boiler fly-ash [23].

Unsur kimia	Persentase
SiO ₂	50,02%
Al ₂ O	8,7%
Fe ₂ O ₃	2,6%
CaO	12,65%
MgO	4,23%
K ₂ O	0,72%
Na ₂ O	0,41%
H ₂ O	1,97%

1.7. Kampas Rem

Kampas rem berfungsi untuk mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan bermotor. Karena sangat penting dan menanggung beban 90% dari komponen lainnya dalam sistem rem, kualitas kampas rem sangat penting untuk keselamatan pengendara. Kampas rem harus memenuhi sejumlah persyaratan, termasuk tidak menghasilkan zat beracun saat digunakan untuk mengerem, tahan terhadap korosi, menawarkan tingkat gesekan yang stabil, memiliki tingkat keausan yang rendah, dan menghasilkan kebisingan yang minim. Kekerasan standar kampas rem motor komposit berkisar antara 68 hingga 105 *Brinell Hardness Number* (BHN) [24].

1.8. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah proses untuk menentukan sejauh mana suatu material dapat mengalami deformasi lokal atau permukaan akibat tekanan, khususnya untuk logam yang mengalami deformasi plastis. Ketahanan suatu bahan pada tekanan dari bahan lain yang lebih keras, seperti indentasi oleh bahan keras pada permukaan benda uji, dikenal sebagai kekerasan. Metode pengujian kekerasan termasuk *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*. Metode *Rockwell* sering digunakan karena prosesnya yang sederhana tanpa memerlukan keahlian khusus. Metode *Vickers* menggunakan intan piramida dengan sudut puncak 136°, sementara *Brinell*

menggunakan bola baja. Penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan dengan beban tekanan dua kilogram dan bola indentor dengan diameter dua milimeter, mengikuti standar ASTM E110-14. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur ketahanan permukaan sampel komposit Al/SiO₂/BFA terhadap penetrator, sesuai dengan persyaratan standar ASTM E110-14 yang menetapkan tebal minimal sampel 1 mm [25].

1.9. Pengujian Densitas

Densitas suatu benda adalah perbandingan antara massa dan volumenya, yang menunjukkan seberapa padat suatu material. Dalam metalurgi serbuk (PM), densitas digunakan untuk mengukur massa per satuan volume dari berbagai jenis spesimen: spesimen hijau (belum disinter), spesimen sinter (telah disinter tetapi belum diresapi minyak), dan spesimen yang telah diresapi minyak. Pengukuran densitas dilakukan dengan hati-hati, termasuk menggunakan prinsip *Archimedes* untuk menghitung volume spesimen berdasarkan air yang dipindahkan saat direndam, serta memastikan bahwa spesimen tidak memiliki porositas permukaan yang dapat memengaruhi hasil pengukuran. Pengukuran densitas mengacu pada standar ASTM B962-17 untuk memastikan konsistensi dan akurasi dalam prosedur yang digunakan. [26].

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

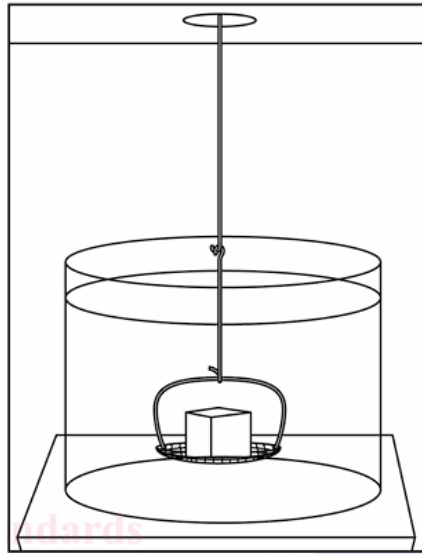
Keterangan :

P_m = densitas actual (gram/cm³)

M_s = massa sampel kering (gram)

M_g = massa sampel yang digantung dalam air (gram)

p_{H₂O} = massa jenis air = 1 gram/cm³



Gambar 2. 4 Contoh uji densitas [26].

1.10. Metode Full Faktorial

Tujuan dari desain full faktorial adalah untuk menentukan efek dari berbagai faktor sekaligus dan interaksinya. Ini dapat digambarkan sebagai persamaan regresi yang membantu menemukan hubungan antara variabel respons dan satu atau lebih variabel bebas. Tujuan dari desain ini adalah untuk menentukan efek dari berbagai faktor berdasarkan hasil penelitian. Salah satu kelebihan utamanya adalah informasi yang diperoleh menjadi lebih komprehensif karena mampu memperhitungkan pengaruh utama dan interaksi antar faktor. Selain itu, karena eksperimen dengan desain ini melibatkan kombinasi dari elemen yang relevan, hasilnya dapat diterapkan pada berbagai kondisi lainnya [27].

Dalam rancangan eksperimen faktorial, dibutuhkan untuk membuat hipotesis atau analisis ANOVA. Keputusan yang berkaitan dengan hipotesis nol (H_0) bergantung pada nilai F-tabel. Keputusannya adalah menolak H_0 karena statistik F-hitung melebihi $F_{0,05;2,27(3,55)}$ atau p-value kurang dari α .

- 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

Nilai biasanya dihitung dalam analisis anova sebagai berikut:

1. Jumlah Kuadrat Total

$$jkt = \sum y^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

2. Jumlah Kuadrat Mean

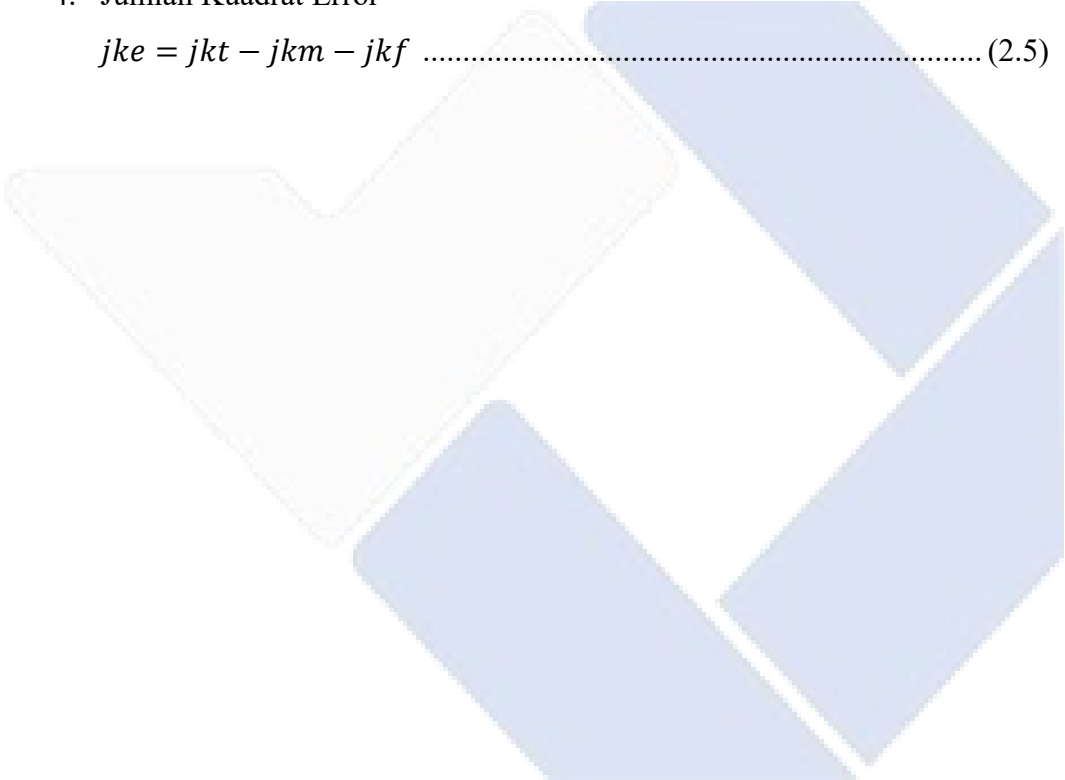
$$jkm = n\bar{y} \dots\dots\dots (2.3)$$

3. Jumlah Kuadrat Faktor

$$kf = \frac{(Total A_1)^2}{n_1} + \frac{(Total A_2)^2}{n_2} + \frac{(Total A_2)^2}{n_1+n_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Jumlah Kuadrat Error

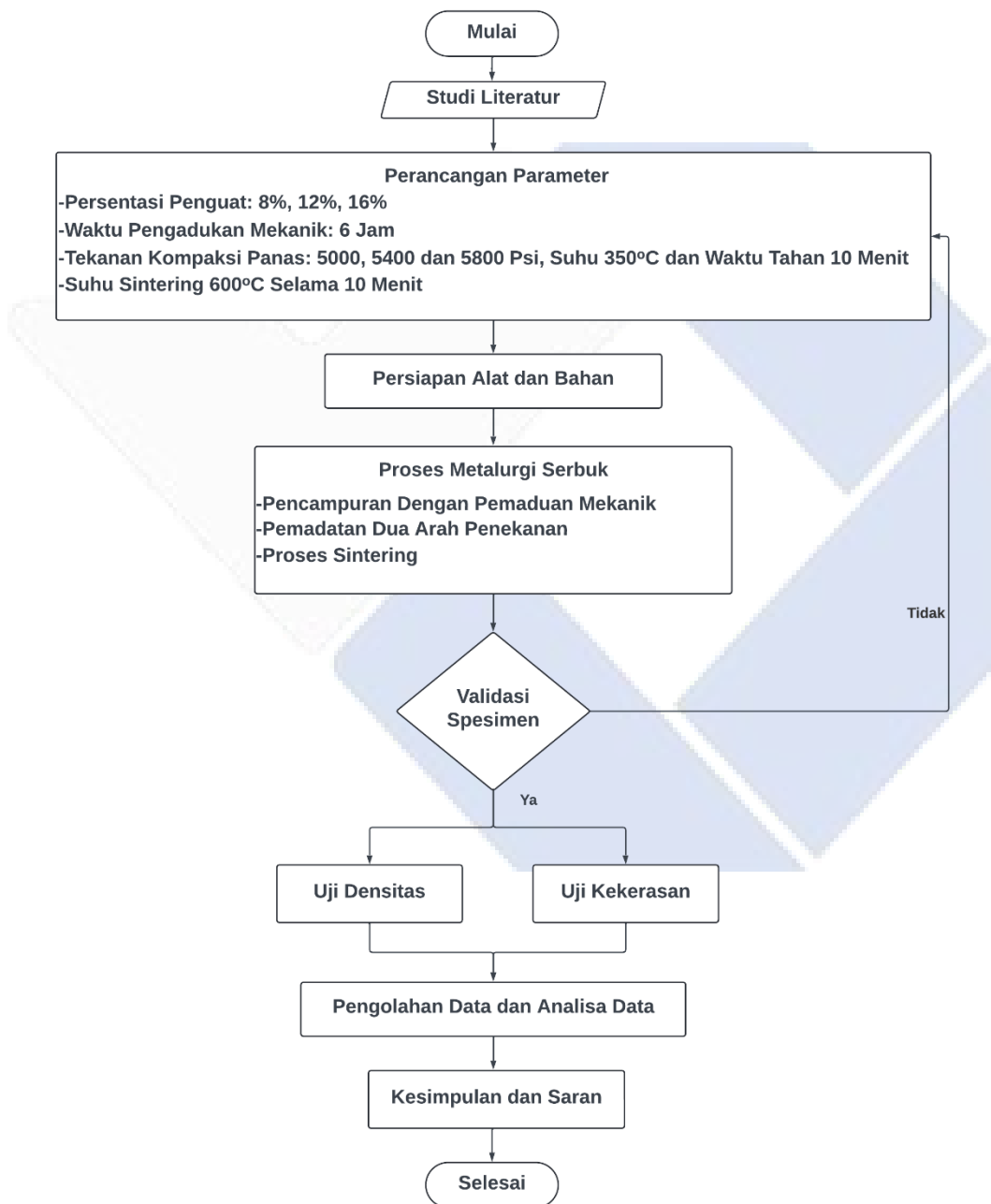
$$jke = jkt - jkm - jkf \dots\dots\dots (2.5)$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Diagram alir berikut menunjukkan langkah-langkah dalam penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2.Studi Literatur

Studi literatur adalah proses penting untuk menyelidiki dan menganalisis literatur yang ada, seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, dan makalah konferensi yang terkait dengan topik penelitian tertentu. Tujuan dari studi literatur adalah memahami keadaan pengetahuan yang ada tentang topik tersebut, mengidentifikasi tren penelitian, mengevaluasi temuan penting, dan mengintegrasikan informasi tersebut ke dalam kerangka kerja penelitian yang lebih luas.

3.3. Material dan Peralatan Penelitian

Spesimen penelitian ini dibuat di LAB Teknik Mesin POLMAN BABEL. Data uji kekerasan dan densitas dikumpulkan di LAB Material Teknik Mesin. Bahan dan peralatan berikut digunakan dalam penelitian ini.

3.3.1. Material Penelitian

Dalam proses penelitian ini digunakan Material-material berikut

1. Serbuk Aluminium

Matrik dalam penelitian ini menggunakan serbuk aluminium yang dihasilkan dari daur ulang, dari hasil pengujian komposisi kimia di Laboratorium Logam Ceper. Serbuk ini memiliki komposisi senyawa yang terdiri dari 83,4% Al, 10,09% Si dan 2,6% Cu(FeO₂) dengan ukuran *Particle Size Analyzer* D50:282,53 µm.



Gambar 3. 2 Serbuk aluminium

2. Pasir Silika

Pada penelitian ini, silika (SiO_2) yang akan digunakan berasal dari tailing timah, yang diperoleh dari limbah pengolahan timah. Sampel ini memiliki komposisi senyawa yang terdiri dari sekitar 83% SiO_2 , 12% Fe_2O_3 , dan 5% TiO_2 . Distribusi ukuran partikel sampel ini adalah 164 μm berdasarkan hasil analisis distribusi ukuran partikel dengan D50.



Gambar 3. 3 Pasir silika

3. Boiler *Fly-Ash*

Pada penelitian ini boiler *fly-ash* yang akan digunakan berasal dari hasil sisa pembakaran mesin boiler.



Gambar 3. 4 Boiler *fly-ash*

3.3.2. Peralatan penelitian

Dalam proses penelitian akan digunakan alat berikut:

1. Timbang digital

Berat pasir silika, serbuk aluminium, dan boiler *fly-ash* yang akan digunakan dalam penelitian ini ditimbang menggunakan timbangan digital.



Gambar 3. 5 Timbang digital

2. Mixer portable

Mixer portable digunakan untuk mencampurkan serbuk penguat selama 5 menit sebelum dimasukkan ke mesin ball mill



Gambar 3. 6 Mixer

3. *Ball mill machine*

Pasir silika, serbuk aluminium, dan boiler *fly-ash* dicampur dengan mesin penggilingan. Karena terdapat bola-bola kecil di dalam tabungnya, mesin ini juga memiliki kemampuan untuk menghancurkan serbuk menjadi partikel yang lebih halus.



Gambar 3. 7 *Ball mill machine*

4. Alat tekan hidrolik

Serbuk yang telah digiling akan dikompaksi menggunakan alat tekan hidrolik. Alat ini dilengkapi dengan dua tekanan, yaitu tekanan atas dan tekanan bawah, serta memiliki *pressure gauge* (pengukur tekanan).



Gambar 3. 8 Alat tekan hidrolik

5. Cetakan

Dalam penelitian ini, benda yang dicetak memiliki diameter 50 mm luar dan diameter 20 mm dalam, dan tujuan cetakan adalah untuk membuat komposit yang dihasilkan dari proses panas kompaksi.



Gambar 3. 9 Cetakan

6. *Thermocouple*

Cetakan dan serbuk di panaskan dengan alat ini. 350°C adalah suhu yang akan digunakan.



Gambar 3. 10 *Thermocouple*

7. *Thermogun*

Alat ini digunakan untuk memantau suhu pada cetakan selama proses kompaksi panas.



Gambar 3. 11 *Thermogun*

8. Oven

Oven dipakai untuk memanaskan sampel yang telah menyelesaikan proses kompaksi panas.



Gambar 3. 12 Oven

9. Alat Press Hidrolik

Alat ini digunakan untuk mengeluarkan poros cetakan pada sampel dengan cara menekan bagian atas poros.



Gambar 3. 13 Press Hidrolik

10. Alat Pengujian kekerasan

Tingkat kekerasan sampel material komposit yang sedang diteliti diukur dengan alat pengujian ini.



Gambar 3. 14 Alat pengujian kekerasan

11. Alat pengujian densitas

Alat ini digunakan untuk menilai densitas pada sampel yang sedang diteliti



Gambar 3. 15 Alat pengujian densitas

3.4. Prosedur Penelitian

Proses penelitian digambarkan sebagai berikut.

1. Proses penggilingan

Proses penggilingan serbuk dilakukan menggunakan mesin ball mill dengan kecepatan 90 rpm dan waktu penggilingan selama 6 jam. Rasio berat bola terhadap serbuk adalah 10:1. Metode yang digunakan adalah *mechanical alloying* untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus. Penggilingan dilakukan sebanyak 3 kali dengan persentase penguat 8%, 12% dan 16%.

2. Proses kompaksi panas

Pemadatan panas dilakukan untuk mengompres serbuk yang akan digunakan. Metode ini menggunakan alat hidrolik yang terdiri dari dua penekanan, yaitu penekanan atas dan penekanan bawah, serta dilengkapi dengan pressure

gauge. *Thermocouple* digunakan untuk memanaskan serbuk selama proses pemadatan panas. Cetakan diletakkan pada *thermocouple*, dan serbuk dimasukkan ke dalam cetakan secara merata. Untuk memadatkan serbuk, besi yang berbentuk cincin dimasukkan ke dalam cetakan dan ditekan menggunakan alat hidrolik dengan penekanan dua arah. Tekanan kompaksi panas divariasikan selama 10 menit, masing-masing pada 5000 psi, 5400 psi, dan 5800 psi, dengan suhu 350°C. Setelah proses selesai, cetakan didinginkan dan sampel dikeluarkan.

3. Proses sintering

Memperkuat ikatan antar partikel pada serbuk adalah tujuan proses sintering. Pada tahap sintering, sampel yang telah dicetak disiapkan dan dimasukkan ke dalam *furnace*. Sampel dipanaskan hingga mencapai suhu 600°C selama proses pemanasan dan dibiarkan dalam kondisi ini selama 10 menit (waktu penahanan). Setelah proses selesai, sampel didinginkan pada suhu ruangan setelah dikeluarkan dari oven.

3.5. Validasi Spesimen

Selama proses ini, spesimen diperiksa secara visual untuk memastikan kelayakan sampel sebelum diuji. Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi cacat, seperti ketidaksempurnaan bentuk, retakan, atau pecah. Jika cacat ditemukan dalam jumlah yang signifikan atau jika spesimen tidak memenuhi standar yang diharapkan, maka spesimen tersebut akan dicetak ulang.

3.6. Pengujian Kekerasan

Dalam penelitian ini, kekerasan spesimen diukur menggunakan alat uji kekerasan portabel. Alat ini, yang memiliki beban tekan sebesar 2 kilogram dan dilengkapi dengan indenter berbentuk bola berdiameter 2 milimeter, dipilih karena kemudahan operasionalnya serta kemampuannya untuk menampilkan dan merekam hasil pengukuran secara *real-time* pada tampilan alat. Metode pengujian ini dilaksanakan sesuai dengan pedoman yang ditetapkan dalam standar ASTM E110-14, yang memastikan akurasi dan konsistensi hasil.

3.7. Pengujian Densitas

Massa sampel diukur untuk pengujian densitas, yang dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Prosesnya dimulai dengan cara mengukur massa sampel dalam keadaan kondisi kering, sehingga diperoleh massa awal. Kemudian, massa sampel yang terendam dalam air diukur, dan data ini digunakan untuk menentukan densitas (ρ), yang dihitung dengan membandingkan massa sampel kering dengan massa sampel yang terendam dalam air. Prinsip ini sesuai dengan metode *Archimedes*, di mana volume sampel ditentukan berdasarkan volume air yang dipindahkan saat sampel direndam. Proses pengujian densitas ini mengacu pada standar ASTM B962-17 untuk memastikan ketepatan dan konsistensi dalam pengukuran.

3.8. Pengolahan Data

Selanjutnya, data hasil pengujian diolah menjadi tabel dan grafik. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk menilai kinerja spesimen komposit. Berikut adalah tabel pengujian kekerasan ditampilkan di bawah.

Tabel 3. 1 Data uji kekerasan

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-Rata
			1	2	3	
1	8	5000				
2	8	5400				
3	8	5800				
4	12	5000				
5	12	5400				
6	12	5800				
7	16	5000				
8	16	5400				
9	16	5800				

Berikut adalah tabel pengujian densitas ditampilkan di bawah ini

Tabel 3. 2 Data uji densitas

No	Persentasi	Kompaksi Panas	Nilai Densitas			Rata-Rata
	Penguat					
	(%)		(Psi)	(g/cm ³)		
			1	2	3	
1	8	5000				
2	8	5400				
3	8	5800				
4	12	5000				
5	12	5400				
6	12	5800				
7	16	5000				
8	16	5400				
9	16	5800				

3.9. Analisa Data

Metode desain eksperimen faktorial digunakan untuk menganalisis data penelitian ini. Faktor yang digunakan adalah kompaksi panas dan persentasi penguat, masing-masing dengan 3 level. Kombinasi antara level-level ini menghasilkan 9 variasi parameter, yang masing-masing diuji sebanyak 3 kali, sehingga diperoleh total 27 data.

Tabel 3. 3 Tingkat dan parameter uji

Faktor	Level		
Persentasi Penguat (%)	8	12	16
Kompaksi Panas (Psi)	5000	5400	5800

Tabel 3. 4 Desain *full factorial*

Eksprimen	Persentasi (%)	Kompaksi (Psi)
1	8	5000
2	8	5400
3	8	5800
4	12	5000
5	12	5400
6	12	5800
7	16	5000
8	16	5400
9	16	5800

Tabel 3. 5 Uji *ANNOVA*

Faktor	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-HITUNG	P-TABEL
Persentasi Penguat					
Kompaksi Panas					
Persentasi Penguat* Kompaksi Panas					
Error					
Total					

Setelah desain eksperimen faktorial selesai, langkah berikutnya adalah menyusun hipotesis. Dalam eksperimen ini, hipotesis menyatakan bahwa faktor-faktor yang diuji mempengaruhi gesekan dan kekerasan, baik secara mandiri maupun melalui interaksi antar faktor. Hipotesis nol (H_0) adalah hipotesis utama. Berikut adalah hipotesis nol (H_0) yang dibahas dalam penelitian ini:

1. Hipotesis tentang Tekanan Pemadatan Panas:
 - H_{01} : Tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas.
 - H_{02} : Tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada kekerasan.
2. Hipotesis tentang Persentasi penguat:
 - H_{03} : Persentasi penguat tidak mempengaruhi nilai densitas.
 - H_{04} : Persentasi penguat tidak mempengaruhi kekerasan.
3. Hipotesis tentang Interaksi Tekanan pemadatan Panas dan Persentasi penguat:
 - H_{05} : Interaksi antara tekanan pemadatan panas dan persentasi penguat tidak mempengaruhi nilai densitas.
 - H_{06} : Interaksi antara tekanan pemadatan panas dan persentasi penguat tidak mempengaruhi kekerasan.

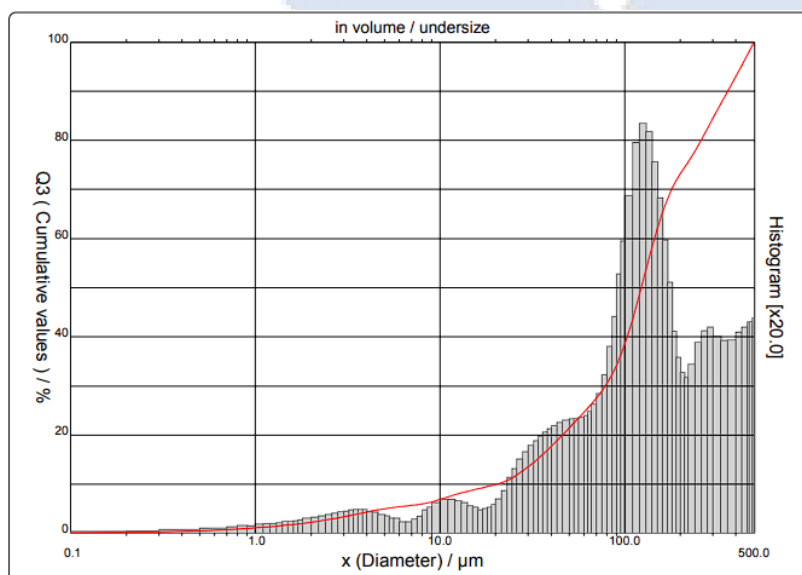
BAB IV

PEMBAHASAN

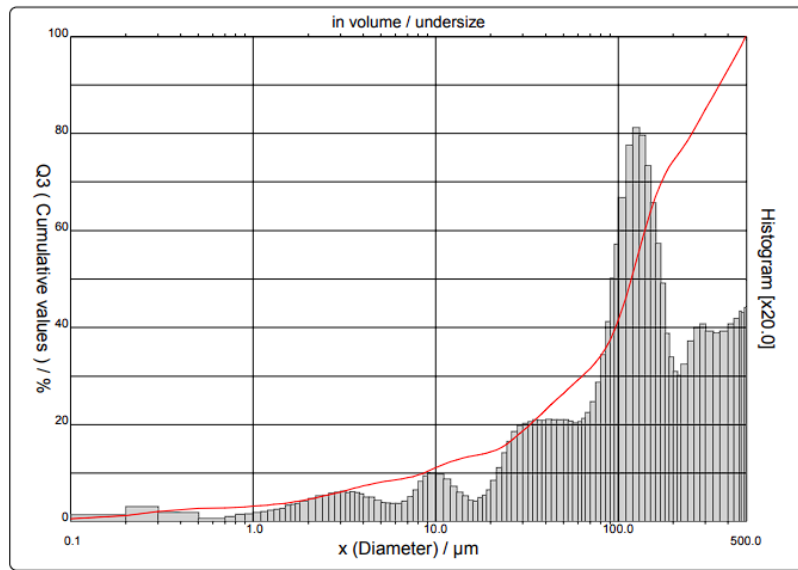
4.1. Hasil Pencampuran

Setelah berhasil melaksanakan proses pemaduan mekanik pada serbuk Aluminium yang diperkuat pasir silika dan boiler *fly-ash* pada suhu ruangan. Dalam proses pencampuran mekanik ini, terjadi penggerusan dan pencampuran secara simultan. Waktu pencampuran mekanik yang dilakukan selama 6 jam metode ini menghasilkan campuran dengan ukuran serbuk yang lebih kecil daripada ukuran sebelum pencampuran. Selain itu, tumbukan berulang antara bola-bola bearing dengan serbuk matrik dan serbuk penguatnya menyebabkan pengelasan dingin, yang juga disebut sebagai *ColdWeld*.

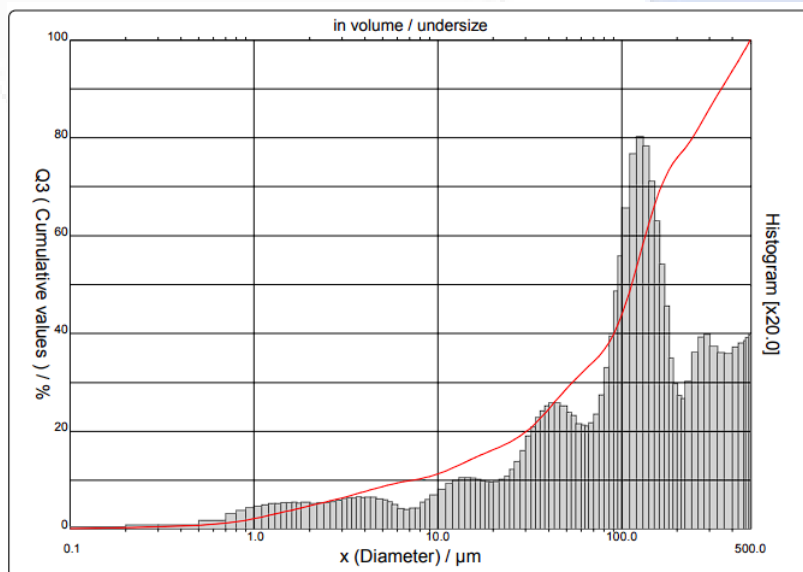
Berikut adalah hasil uji *Particle Size Analyzer* terhadap ukuran serbuk campuran setelah proses pemaduan mekanik. Untuk persentase penguat 92%, memiliki ukuran partikel D50: 122 μm , sementara untuk persentase penguat 88% memiliki ukuran D50: 117 μm , dan persentase penguat 84% menunjukkan ukuran partikel D50: 112 μm . Grafik di bawah ini menggambarkan distribusi ukuran partikel dari masing-masing variasi persentase penguat tersebut.



Gambar 4. 1 Grafik *particle size analyzer* dengan persentase penguat 92%.



Gambar 4. 2 Grafik *particle size analyzer* dengan persentase penguat 88%.

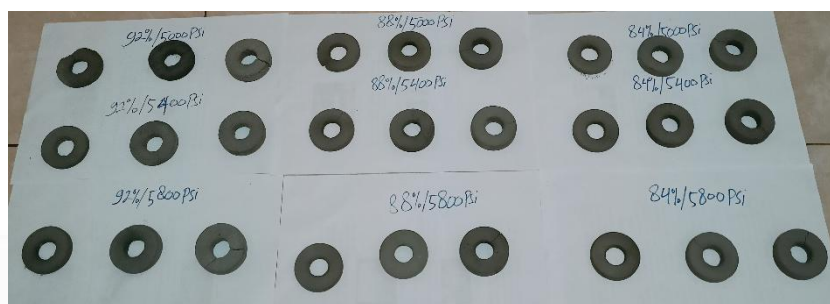


Gambar 4. 3 Grafik *particle size analyzer* dengan persentase penguat 84%.

4.2. Spesimen Sebelum Pengujian

Uji kekerasan dan densitas dilakukan sekitar 20 hari setelah proses kompaksi panas dan sintering untuk memastikan sampel mencapai kondisi yang relatif stabil [28]. Pada penelitian ini, sampel berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Pengujian dilakukan dengan alat uji densitas

dan kekerasan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai densitas dan nilai kekerasan pada sampel komposit matrik aluminium yang diperkuat boiler fly-ash dan pasir silika, yang dipengaruhi oleh variasi persentase penguat sebesar 8%, 12%, dan 16% dengan waktu penggilingan 6 jam dan tekanan kompaksi panas sebesar 5000 Psi, 5400 Psi, dan 5800 Psi dengan waktu tahan 10 menit. Penelitian ini dilakukan dengan alat tekan hidrolik dua arah penekanan (atas dan bawah). Di bawah ini adalah gambar sampel yang telah dicetak.



Gambar 4. 4 Sampel

4.3. Analisis Uji Densitas Sebelum Sintering

Setelah sampel dicetak langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat-alat untuk uji densitas seperti aquadest, gelas ukur, tiang besi dan timbang digital. Setelah peralatan disiapkan langkah selanjutnya adalah menimbang sampel dalam kondisi kering setelah itu menimbang sampel dalam keadaan basah dengan memasukkan sampel ke dalam cairan aquadest. Uji ini menerapkan standar ASTM B962-17 mengacu pada hukum *Archimedes*.



Gambar 4. 5 Menimbang sampel kering



Gambar 4. 6 Menimbang sampel basah

Setelah melakukan pengujian densitas, hasil timbangan dari sampel yang ditimbang kering dan basah dimasukkan ke dalam tabel. Berikut adalah hasil timbangan dari sampel kering yang dapat dilihat pada tabel 4.1 dan sampel basah dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 1 Hasil timbangan sampel kering (g)

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Pengujian Kering (g)		
			Sampel		
			1	2	3
1	8	5000	20,54	31,65	46,06
2	8	5400	19,03	32,56	43,44
3	8	5800	19,16	32,33	44,44
4	12	5000	18,35	29,91	40,11
5	12	5400	18,90	30,29	40,25
6	12	5800	20,00	29,16	40,53
7	16	5000	19,80	29,83	39,77
8	16	5400	20,61	30,55	40,77
9	16	5800	20,00	29,83	38,62

Tabel 4. 2 Hasil timbangan sampel basah (g)

No	Persentasi	Kompaksi	Pengujian Basah (g)		
	Penguat (%)	Panas (Psi)	Sampel		
			1	2	3
1	8	5000	10,64	17,30	21,11
2	8	5400	11,69	16,51	21,74
3	8	5800	9,60	15,64	14,38
4	12	5000	6,80	12,66	21,45
5	12	5400	10,10	16,34	21,92
6	12	5800	8,62	12,91	22,03
7	16	5000	12,82	13,15	17,66
8	16	5400	12,05	13,52	7,93
9	16	5800	12,87	16,83	22,45

Setelah nilai dari hasil timbangan kering dan basah didapatkan. Selanjutnya adalah menghitung nilai densitas dengan rumus densitas pada persamaan 2.9 bab 2. Dibawah ini adalah perhitungan densitas pada sampel sebelum sintering.

- Sampel 1 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 20,54$ g

Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 10,64$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm³

Jawab:

$$\rho_m = \frac{20,54}{(20,54 - 10,64)} 1$$

$$\rho_m = \frac{20,54}{(9,9)} 1$$

$$\rho_m = 2,074$$
 g/cm³

- Sampel 2 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 31,65 \text{ g}$ Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 17,30 \text{ g}$$

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

Jawab:

$$\rho_m = \frac{31,65}{(31,65 - 17,30)} 1$$

$$\rho_m = \frac{31,65}{14,35} 1$$

$$\rho_m = 2,205 \text{ g/cm}^3$$

- Sampel 3 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 46,06 \text{ g}$ Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 21,11 \text{ g}$$

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

Jawab:

$$\rho_m = \frac{46,06}{(46,06 - 21,11)} 1$$

$$\rho_m = \frac{46,06}{24,95} 1$$

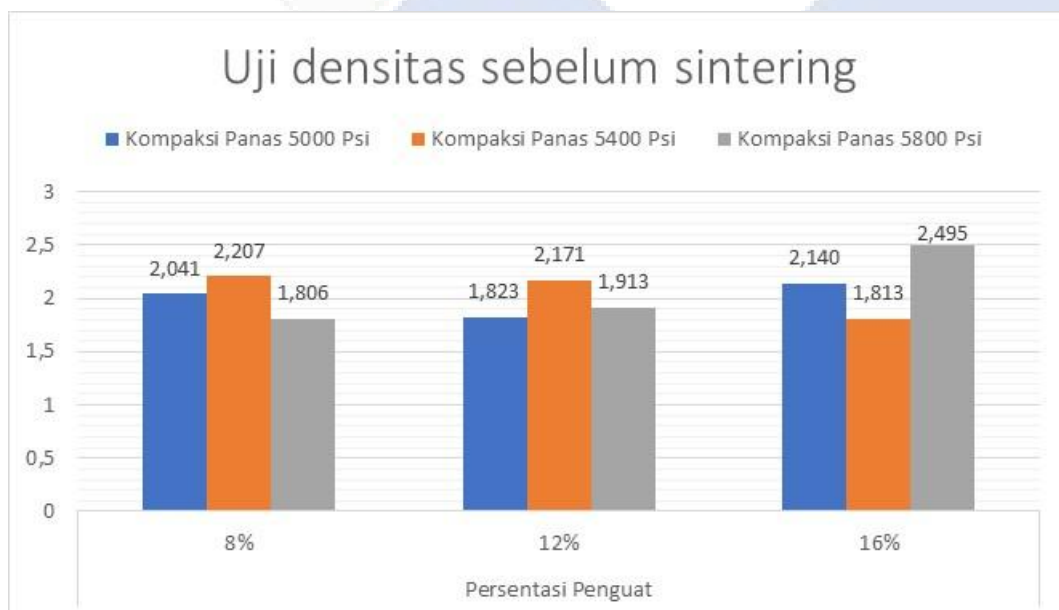
$$\rho_m = 1,846 \text{ g/cm}^3$$

Berikut adalah hasil nilai densitas yang diperoleh setelah menghitung menggunakan rumus densitas dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini:

Tabel 4. 3 Hasil dari perhitungan densitas (g/cm^3)

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Nilai Densitas (g/cm³)			Rata-rata (g/cm³)
			Sampel			
			1	2	3	
1	8	5000	2,074	2,205	1,846	2,041
2	8	5400	2,592	2,028	2,001	2,207
3	8	5800	2,004	1,937	1,478	1,806
4	12	5000	1,588	1.733	2,149	1,823
5	12	5400	2,147	2,171	2,195	2,171
6	12	5800	1,757	1,794	2,190	1,913
7	16	5000	2,836	1,788	1,798	2,140
8	16	5400	2,407	1,793	1,241	1,813
9	16	5800	2,805	2,294	2,388	2,495

Dibawah ini adalah grafik berdasarkan hasil uji densitas sebelum sinterring dari tabel 4.3.



Gambar 4. 7 Grafik uji densitas sebelum sinterring

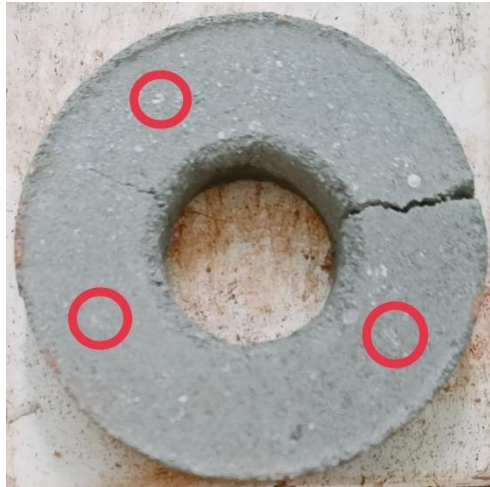
Berdasarkan grafik hasil uji densitas sebelum sintering diatas, penekanan dua arah kompaksi panas 5800 Psi dan persentasi penguat 16% memiliki nilai densitas yang tinggi sebesar $2,495 \text{ g/cm}^3$. Sedangkan nilai densitas terendah sebesar $1,806 \text{ g/cm}^3$ dengan kompaksi panas 5800 Psi dan persentasi penguat 8%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa, tekanan kompasi panas dan persentasi penguat mempengaruhi nilai densitas pada sampel komposit. Dimana semakin besar tekanan kompaksi dan persentasi penguat nilai densitas yang didapatkan semakin besar. Peningkatan tersebut disebabkan serbuk yang diberikan tekanan tinggi akan membentuk ikatan serbuk yang lebih rapat dan ikatannya semakin kuat sehingga nilai densitasnya meningkat. Hal serupa juga disampaikan oleh alfianto dan nafi [29]. Yang mengatakan bahwa adanya variasi tekanan dan persentase penguat berpengaruh terhadap sifat fisik dan nilai densitasnya. Semakin banyak penguat yang diberikan maka nilai densitasnya meningkat.

4.4. Analisis Uji Kekerasan Sebelum Sintering

Setelah sampel dicetak langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat untuk pengujian kekerasan. Setelah alat pengujian disiapkan lakukan uji pada sampel dengan melakukan titik pada sampel sebanyak 3 titik pada 1 sampel. Penelitian ini melakukan uji kekerasan dengan menerapkan standar ASTM E110-14. Berikut adalah proses uji kekerasan pada sampel komposit yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4. 8 Uji kekerasan pada sampel



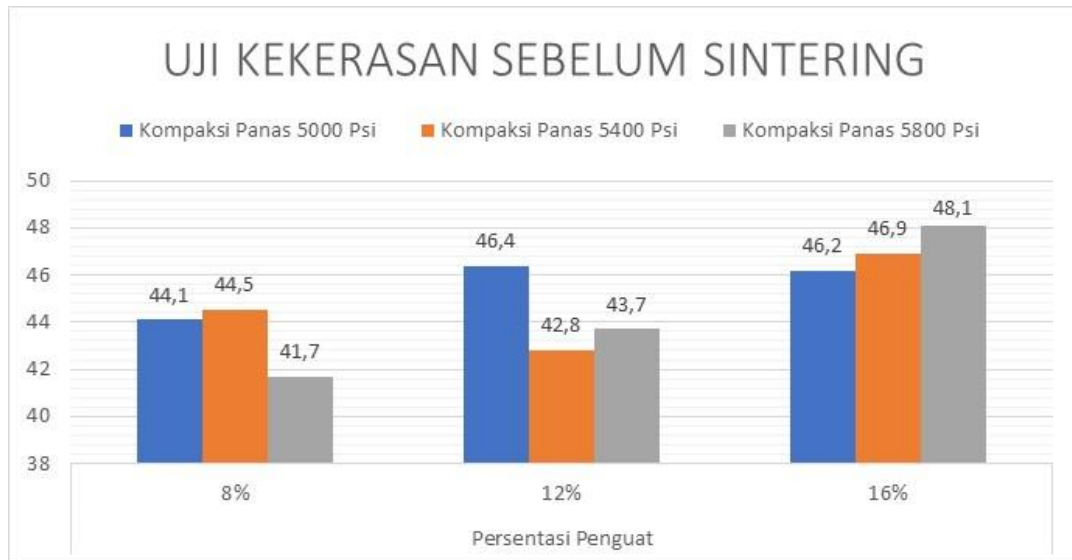
Gambar 4. 9 Hasil uji kekerasan pada sampel

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat kekerasan portabel, di mana nilai kekerasan diperoleh secara otomatis ketika alat uji ditekan, dan hasilnya langsung ditampilkan di layar alat tersebut. Berikut adalah hasil dari nilai kekerasan, ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil uji kekerasan sebelum sintering

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			Sampel			
			1	2	3	
1	8	5000	41,6	37	53,6	44.1
2	8	5400	54,3	40	39,3	44,5
3	8	5800	45,3	38	42	41,7
4	12	5000	51,6	46	41,6	46,4
5	12	5400	46	37	45,6	42,8
6	12	5800	45	47,3	39	43,7
7	16	5000	54	40	44,6	46,2
8	16	5400	53	45,3	42,6	46,9
9	16	5800	62,6	41,6	40	48,1

Dibawah ini adalah grafik berdasarkan hasil uji kekerasan sebelum sintering dari tabel 4.4.



Gambar 4. 10 Grafik uji kekerasan sebelum sintering

Berdasarkan grafik uji kekerasan diatas, kekerasan tertinggi terjadi pada persentasi penguat 16% dengan tekanan kompaksi 5800 psi mendapatkan kekerasan 48,1 HB. Sementara itu kekerasan terendah terdapat pada persentasi penguat 8% kompaksi 5800 psi sebesar 41,7 HB. Berdasarkan hasil uji kekerasan tersebut dapat disimpulkan bahwa, tekanan kompasi panas dan persentasi penguat mempengaruhi nilai kekerasan pada sampel komposit. Dimana semakin besar tekanan kompaksi dan persentasi penguat nilai kekerasan yang didapatkan semakin besar. Fenomena ini terjadi karena serbuk komposit dipanaskan di bawah titik leleh matriks penyusunnya, sambil mengalami proses pemadatan. Akibatnya, pemampatan serbuk menjadi lebih efektif karena serbuk penyusun komposit menjadi lebih plastis, yang memungkinkan partikel-partikel serbuk saling terikat lebih erat. Hal serupa juga disampaikan oleh alfianto dan nafi [29]. Yang mengatakan bahwa adanya variasi tekanan dan persentase penguat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan nilai kekerasannya. Semakin besar tekanan dan semakin banyak persentase penguatnya mengakibatkan nilai kekerasannya meningkat.

4.5. Analisis Uji Densitas Setelah Sintering

Setelah melakukan sintering dengan suhu 600°C selama 10 menit langkah selanjutnya adalah pengujian densitas kembali untuk membandingkan nilai densitas sebelum dan setelah sintering. Uji ini menerapkan standar ASTM B962-17 mengacu pada hukum *Archimedes*.



Gambar 4. 11 Menimbang sampel kering



Gambar 4. 12 Menimbang sampel basah

Setelah melakukan pengujian densitas, hasil timbangan dari sampel yang ditimbang kering dan basah dimasukkan ke dalam tabel. Berikut adalah hasil timbangan dari sampel kering yang dapat dilihat pada tabel 4.5 dan sampel basah dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4. 5 Hasil timbangan sampel kering

No	Persentasi	Kompaksi	Pengujian Kering (g)		
	Penguat	Panas	Sampel		
	(%)	(Psi)	1	2	3
1	8	5000	16,88	30,17	41,81
2	8	5400	18,79	30,91	40,70
3	8	5800	18,86	29,71	41,34
4	12	5000	16,73	29,94	40,40
5	12	5400	16,34	29,72	38,72
6	12	5800	20,00	28,77	39,66
7	16	5000	20,30	30,69	40,48
8	16	5400	19,53	30,33	39,38
9	16	5800	17,44	30,56	40,67

Tabel 4. 6 Hasil timbangan sampel basah

No	Persentasi	Kompaksi	Pengujian Basah (g)		
	Penguat	Panas	Sampel		
	(%)	(Psi)	1	2	3
1	8	5000	8,48	14,41	19,97
2	8	5400	9,86	14,90	20,69
3	8	5800	9,58	16,16	20,07
4	12	5000	6,79	14,02	20,08
5	12	5400	7,70	13,40	21,97
6	12	5800	10,02	15,62	19,86
7	16	5000	7,80	14,01	18,45
8	16	5400	8,53	14,27	18,93
9	16	5800	11,55	15,52	18,02

Setelah nilai dari hasil timbangan kering dan basah didapatkan. Selanjutnya adalah menghitung nilai densitas dengan rumus densitas pada persamaan 2.9 bab 2. Dibawah ini adalah perhitungan densitas pada sampel sebelum sintering.

- Sampel 1 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 16,88 \text{ g}$ Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 8,48 \text{ g}$$

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

Jawab:

$$\rho_m = \frac{16,88}{(16,88 - 8,48)} \text{ l}$$

$$\rho_m = \frac{16,88}{(8,4)} \text{ l}$$

$$\rho_m = 2,009 \text{ g/cm}^3$$

- Sampel 2 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 30,17 \text{ g}$ Ditanya: ρ_m?

$$m_g = 14,41 \text{ g}$$

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

Jawab:

$$\rho_m = \frac{30,17}{(30,17 - 14,41)} \text{ l}$$

$$\rho_m = \frac{30,17}{15,76} \text{ l}$$

$$\rho_m = 1,914 \text{ g/cm}^3$$

- Sampel 3 dengan persentasi penguat 8% dan tekanan kompaksi 5000 Psi

Dik: $m_s = 41,81 \text{ g}$

Ditanya: $\rho m \dots ?$

$$m_g = 19,97 \text{ g}$$

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

Jawab:

$$\rho m = \frac{41,81}{(41,81 - 19,97)} 1$$

$$\rho m = \frac{41,81}{21,84} 1$$

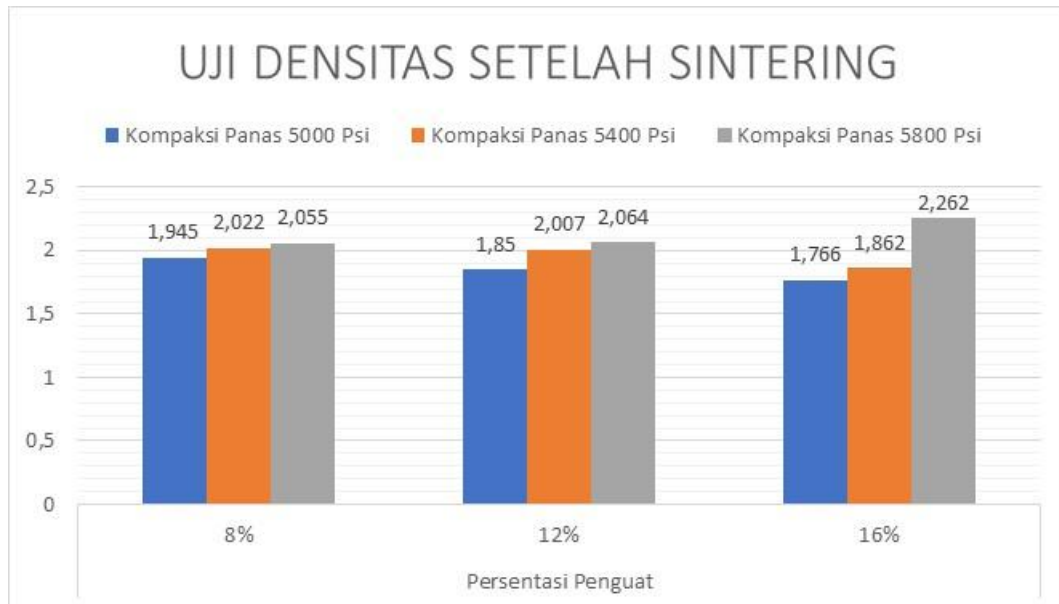
$$\rho m = 1,914 \text{ g/cm}^3$$

Berikut adalah hasil nilai densitas yang diperoleh setelah menghitung menggunakan rumus densitas dapat dilihat pada tabel 4.7 dibawah ini:

Tabel 4. 7 Hasil dari perhitungan densitas (g/cm^3)

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Nilai Densitas (g/cm³)			Rata-rata (g/cm³)
			Sampel			
			1	2	3	
1	8	5000	2,009	1,914	1,914	1,945
2	8	5400	2,104	1,930	2,033	2,022
3	8	5800	2,032	2,192	1,943	2,055
4	12	5000	1,683	1,880	1,988	1,850
5	12	5400	1,891	1,821	2,311	2,007
6	12	5800	2,004	2,187	2,003	2,064
7	16	5000	1,624	1,839	1,837	1,766
8	16	5400	1,775	1,888	1,925	1,862
9	16	5800	2,960	2,031	1,795	2,262

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



Gambar 4. 13 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
Presentasi Penguat	2	0,00956	0,004782	0,08	0,923
Kompaksi Panas	2	0,34018	0,170088	2,87	0,083
Persentasi Penguat*Kompaksi	4	0,16689	0,041723	0,70	0,599
Error	18	1,06531	0,059184		
Total	26	1,58195			

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

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

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

H_0 = Tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Tekanan pemadatan panas memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_0 = Persentasi penguat dan tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas secara signifikan.

H_1 = Persentasi penguat dan tekanan pemadatan panas 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 persentasi penguat (faktor A), nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$, sehingga H_0 gagal ditolak dan H_1 ditolak. Bisa disimpulkan bahwa persentasi penguat tidak memiliki pengaruh pada nilai densitas.
2. Ditinjau dari faktor kompaksi (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa kompaksi memiliki pengaruh pada nilai densitas.
3. Ditinjau dari interaksi faktor persentasi penguat (faktor A) dan faktor kompaksi (faktor B), nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Bisa disimpulkan bahwa interaksi antara faktor persentasi penguat (faktor A) dan faktor kompaksi (faktor B) memiliki pengaruh pada nilai densitas.

4.6. Analisis Uji Kekerasan Setelah Sintering

Setelah melakukan sintering dengan suhu 600°C selama 10 menit langkah selanjutnya adalah pengujian kekerasan Kembali untuk membandingkan nilai kekerasan sebelum dan setelah sintering. Penelitian ini melakukan uji kekerasan dengan menerapkan standar ASTM E110-14.



Gambar 4. 14 Uji kekerasan pada sampel



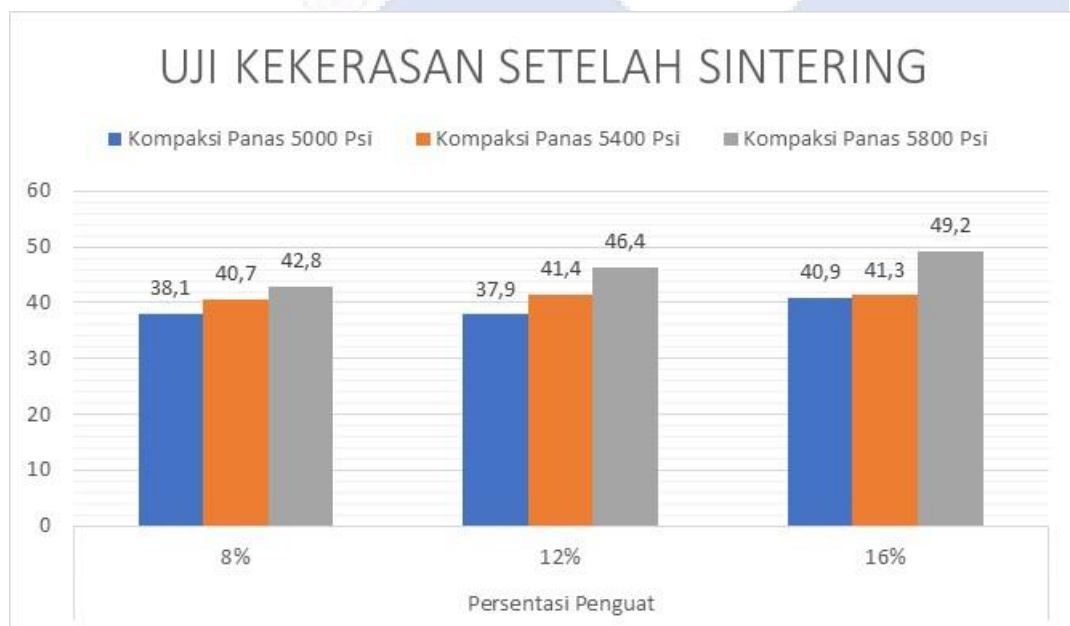
Gambar 4. 15 Hasil uji kekerasan pada sampel

Berikut adalah nilai dari uji kekerasan setelah sintering ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil uji kekerasan setelah sintering

No	Persentasi Penguat (%)	Kompaksi Panas (Psi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			Sampel			
			1	2	3	
1	8	5000	39,6	36	38,6	38,1
2	8	5400	46,3	37	39	40,7
3	8	5800	56,6	36,6	35,3	42,8
4	12	5000	35,3	40	38,6	37,9
5	12	5400	37,6	49,6	37	41,4
6	12	5800	60,6	37,6	41	46,4
7	16	5000	36	42,3	44,6	40,9
8	16	5400	42	42,6	39,3	41,3
9	16	5800	62	44,6	41	49,2

Dibawah ini adalah grafik berdasarkan hasil uji kekerasan setelah sintering dari tabel 4.9.



Gambar 4. 16 Grafik uji kekerasan setelah sintering

Berikut ini adalah hasil dari analisis variasi uji kekerasan setelah sintering yang ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Data analisis variasi uji kekerasan

Analysis of Variance					
Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Persentasi Penguat	2	48,45	24,223	0,41	0,669
Kompaksi	2	241,74	120,868	2,05	0,157
Persentasi Penguat*Kompaksi	4	30,76	7,691	0,13	0,969
Error	18	1058,95	58,831		
Total	26	1379,90			

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

H_0 = Persentasi penguat tidak memiliki pengaruh pada nilai kekerasan secara signifikan.

H_1 = Persentasi penguat memiliki pengaruh pada nilai kekerasan secara signifikan.

H_0 = Tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada nilai kekerasan secara signifikan.

H_1 = Tekanan pemadatan panas memiliki pengaruh pada nilai kekerasan secara signifikan.

H_0 = Persentasi penguat dan tekanan pemadatan panas tidak memiliki pengaruh pada nilai kekerasan secara signifikan.

H_1 = Persentasi penguat dan tekanan pemadatan panas memiliki pengaruh pada nilai kekerasan 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 kekerasan adalah sebagai berikut:

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

Setelah hasil data pengujian diperoleh, data tersebut kemudian dibandingkan dengan data dari penelitian sebelumnya. Langkah ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu. Berikut disajikan tabel perbandingan nilai antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini.

Tabel 4. 11 Perbandingan penelitian terdahulu

Nilai Uji	Kampas Rem SNI		
	Penelitian Barokah	Alfianto & Nafi	Syarat SNI
Densitas	2,262 g/cm ³	2,998 g/cm ³	1,5-2,4 g/cm ³
Kekerasan	49,2 HB	61,06 HRB	68-105 BHN

Dari tabel diatas, dapat kita ketahui nilai densitas pada penelitian ini mempunyai nilai densitas tertinggi sebesar 2,262 g/cm³ dan nilai densitas pada penelitian Alfianto dan Nafi [29]. Mempunyai nilai densitas tertinggi sebesar 2,998 g/cm³, maka pada penelitian Alfiano dan Nafi [29]. Memenuhi syarat nilai densitas dari SNI dalam membuat material kampas rem, karena syarat nilai densitas oleh

SNI sebesar 1,5-2,4 g/cm³. Sedangkan pada penelitian ini, nilai densitas yang didapatkan juga memenuhi syarat pada standar kampas rem SNI namun nilai densitas tersebut masih rendah dari penelitian yang diperoleh Alfianto dan Nafi [29]. Hal tersebut disebabkan karena tekanan kompaksi dari penelitian tersebut lebih besar yaitu 6000 Psi dan suhu sintering yang digunakan sebesar 400°C dengan waktu tahan panas 120 menit. Sedangkan pada penelitian ini, tekanan kompaksi yang digunakan sebesar 5800 Psi dengan suhu sintering 600°C dengan waktu tahan 10 menit. Dan nilai densitas juga mengalami penurunan dari nilai densitas sebelum sintering sebesar 2,945 g/cm³ turun ke 2,262 g/cm³ setelah sintering. Hal ini dikarenakan suhu sintering yang terlalu tinggi sebesar 600°C untuk serbuk aluminium daur ulang dengan kemurnian 83% hingga 84%. Menurut buku Wahyono Suprpto [19]. Temperature yang ideal dari proses perlakuan sintering ada pada 70% sampai 80% dari titik leleh serbuk utama. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian Sony Alviandra [30]. Titik leleh dari aluminium silicon alloys kurang dari 577°C. Bisa kita simpulkan bahwa suhu sintering pada penelitian ini lebih dari titik leleh serbuk aluminium, sehingga mempengaruhi penurunan densitas pada sampel.

Untuk nilai kekerasan yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 49,2 HB sedangkan pada penelitian Alfianto dan Nafi [29]. Nilai kekerasan yang didapat sebesar 61,06 HRB (120-130 HB). Maka nilai kekerasan pada penelitian Alfianto dan Nafi sudah memenuhi syarat kekerasan kampas rem SNI sebesar 68-105 BHN. Sedangkan penelitian ini belum memenuhi syarat kekerasan kampas rem SNI. Hal ini dikarenakan tekanan pada penelitian ini masih rendah yaitu 5800 Psi dengan suhu sintering sebesar 600°C dan waktu tahan 10 menit. Karena tekanan kompaksi mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan, semakin tinggi tekanan kompaksi yang diberikan, semakin meningkat pula nilai densitas dan kekerasan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat disimpulkan sebagai berikut:

Semakin tinggi persentasi penguat dan tekanan kompaksi panas yang diberikan, semakin meningkat nilai densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika dan boiler *fly-ash*. Hal ini disebabkan karena selama proses kompaksi panas sampel yang di kompaksi memperkuat ikatan antar serbuk matriks dan material penguat (interlocking). Akibatnya, sampel yang terbentuk menjadi lebih padat, mengurangi rongga atau porositas pada komposit. Suhu sintering dapat meningkatkan nilai densitas dan kekerasan pada sampel. Hal ini terjadi karena peningkatan suhu sintering mendorong penyatuan butir-butir serbuk lebih efektif, yang mengurangi porositas dan memperkuat ikatan antar partikel dalam material. Sebagai hasilnya, struktur material menjadi lebih padat dan kuat, meningkatkan densitas dan kekerasan keseluruhan sampel.

5.2. Saran

Bagi peneliti selanjutnya yang akan mengambil komposit matrik aluminium, penulis akan memberikan saran sebagai berikut:

1. Bagi peneliti yang mengambil judul metalurgi serbuk agar dapat meningkatkan suhu kompaksi panas dan menurunkan suhu saat sintering
2. Variasikan parameter dalam penelitian
3. Saat mencetak sampel harus menggunakan peralatan yang *safty* seperti sarung tangan dan sepatu *safty*.
4. Saat mencetak sampel harus dilakukan maksimal 2 orang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kennedy, E. Surojo, and W. Wisnu Raharjo, “Studi Karakteristik Kampas Rem Kendaraan Penumpang Type Oes (Original Equipment Sparepart) Dan Am (After Market) Pada Dry Dan Wet Sliding,” *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 18, no. 1, pp. 28–34, 2019, doi: 10.20961/mechanika.v18i1.35043.
- [2] 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.
- [3] P. J. Blau, “Compositions , Functions , and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives,” *Energy*, vol. 27, no. September, p. 38, 2001.
- [4] M. Perdana, M. E. Putra, H. Putra, M. Al Ikram, and A. Meidianda, “Karakteristik Komposit Cangkang Kelapa Sawit / Alumina / Epoksi sebagai Material Kampas Rem Sepeda Motor Characteristics of Palm Kernel Shell / Alumina / Epoxy Composites as Motorcycle Brake Pad Material,” vol. 13, no. 1, pp. 13–18, 2023.
- [5] B. Widodo and A. Subardi, “Pengujian sifat mekanik dan struktur mikro aluminium matrix composite (AMC) berpenguat partikel silikon karbida (SiC) dan alumina (Al₂O₃),” *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, pp. 295–303, 2019.
- [6] A. Wahyudi and D. Amalia, “Preparation of Nano Silica from Silica Sand Through Alkali Fusion,” *Indones. Min. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 149–153, 2013.
- [7] A. S. Adi, “Analisa Penggunaan Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton,” *J. Ris. Pembang.*, vol. 1, no. 1, p. 36, 2018, doi: 10.36087/jrp.v1i1.25.
- [8] Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit, “Grant Riset Sawit,” pp. 5–24, 2023.

- [9] H. Oktavianty, "Sintesis Zeolit X dari Fly Ash Boiler Pabrik Kelapa Sawit sebagai Adsorben Pemurnian Biodiesel," *Sang Pencerah J. Ilm. Univ. Muhammadiyah But.*, vol. 8, no. 2, pp. 430–443, 2022.
- [10] Subarmono, Jamasri, M.W. Wildan, and Kusnanto Kusnanto, "Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Sebagai Penguat Aluminium Matrix Composite," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 109–114, 2008.
- [11] M. G. Arrahim, W. Suprpto, and F. Gapsari, "Pengaruh Fraksi Penguat Fly Ash dan Temperatur Cetakan terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro pada MMC," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 3, pp. 725–732, 2021.
- [12] 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.
- [13] G. Guntoro, I. O. Yosephine, and S. Simanjuntak, "Pemanfaatan Serat Pelepah Kelapa Sawit Sebagai Bahan Pembuatan Kampas Rem Sepeda Motor," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 10, no. 2, p. 155, 2021.
- [14] M. K. Egbo, "A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering," *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 33, no. 8, pp. 557–568, 2021.
- [15] R. Lumintang, F. A. Rauf, and G. D. Soplanit, "Ketahanan Bending Komposit Matriks Poliester Berpenguat Serat Sabut Kelapa," *J. Tekno Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 88–94, 2019.
- [16] W. B. James, "Powder Metallurgy Methods and Applications," *Powder Metall.*, vol. 7, pp. 9–19, 2018.
- [17] Groover and M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and Systems*. 2013.

- [18] M. Milani, "Optimization of the pressing process of triangular shaped cutting tool inserts," *Master Thesis Mech. Eng.*, 2016.
- [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] F. Bintang Pradana, D. Sulistyorini, and M. A. Shulhan, "Pengaruh Pasir Silica Pada Persentase 0%, 50% Dan 100% Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton," *J. Surya Bet.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–6, 2022.
- [22] F. Rahman, G. Hidayat, and N. Bertiani, "Dan Serabut Kelapa Sawit Sebagai Substitusi Semen," *Info Tek.*, vol. 21, no. 2, pp. 227–242, 2020.
- [23] B. P. Simanjorang, Syahrul Abda, Ikhwansyah Isranuri, Bustami Syam, and M. Sabri, "Pembuatan Dan Analisa Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu (Fly Ash) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor," *Dinamis*, vol. 5, no. 1, pp. 42–50, 2017, doi: 10.32734/dinamis.v5i1.7041.
- [24] M. T. N. Fuad and H. Yudiono, "Analisa Keausan Kampas Rem Sepeda Motor Berbahan Komposit Serbuk Tempurung Buah Maja," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2022, doi: 10.23887/jptm.v10i1.44431.
- [25] ASTM E10-15, "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials," *ASTM Int.*, vol. i, no. June, pp. 1–36, 2012, doi: 10.1520/E0110-14R23.1.
- [26] 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.
- [27] N. D. Rahma, G. M. Putro, S. Sadi, and M. S. A. Khanan, "Eksperimen Optimasi Kekerasan Paduan Kuningan dengan Metode Desain Faktorial 33,"

Opsi, vol. 12, no. 2, p. 96, 2019, doi: 10.31315/opsi.v12i2.3150.

- [28] Sukanto, W. Suprpto, R. Soenoko, and Y. S. Irawan, 2022, The Effect of Milling Time on The Alumina Phase Transformation in The AMCs Powder Metallurgy Reinforced by Silica Sand-Tailing, *Eureka, Phys. Eng.*, no. 1, pp. 103–117, doi: 10.21303/2461 4262.2022.001906
- [29] D. F. Alfianto and M. Nafi, “Analisis Pengaruh Variasi Tekanan dan Persentase SiC Terhadap Nilai Densitas dan Kekerasan Pada Paduan Al-SiC Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk,” *Pros. Senakama*, vol. 3, no. September, 2023.
- [30] S. Alviandra, Jumiadi, and Mardjuki, "Pengaruh Penambahan Unsur Paduan Magnesium Pada Al-Si Menggunakan Dapur Krusibel Terhadap Sifat Kekerasan Struktur Mikro," *Transmisi*, Vol. 13, pp. 217-266, 2017.

LAMPIRAN 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama Lengkap	: Barokah Ilham
Tempat & Tanggal Lahir	: Muntok, 15 Juni 2003
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Alamat	: Pait Jaya Dusun VI, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung
No Telpon/HP	: 081279977973
Email	: Barokahilham122@gmail.com



2. Riwayat Pendidikan

SDN 13 Simpang Teritip	(2009-2015)
SMP Negeri 3 Muntok	(2015-2018)
SMK Negeri 1 Muntok	(2018-2021)

Sungailiat, 22 Juli 2024

Barokah Ilham

LAMPIRAN 2

HASIL UJI *PARTICLE SIZE ANALYZER* ALUMINIUM



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

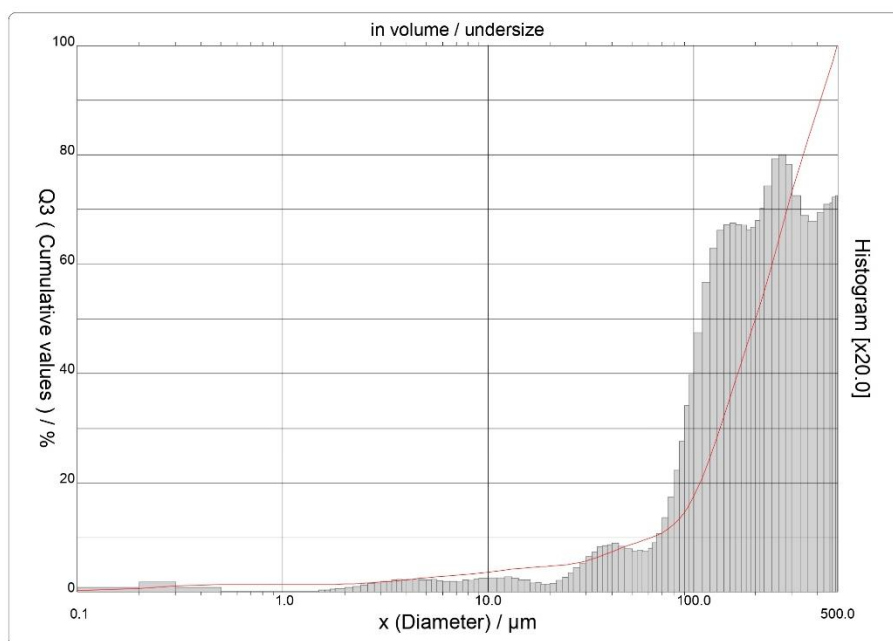
Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

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/cm^3 / 1.00
Specific surface : 1878.15 cm^2/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.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 : 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* PASIR SILIKA

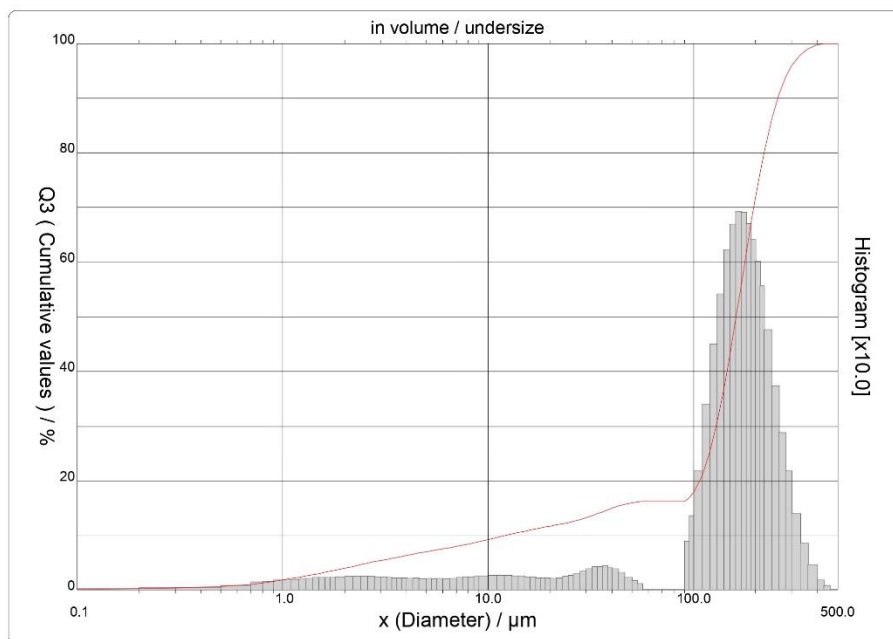


PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref.	: Sample_X_	Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]
Sample Name	: Si-125(2)	Obscuration	: 4 %
Sample type	: SERBUK	Diameter at 10%	: 12.06 μm
Comments	:	Diameter at 50%	: 160.80 μm
-----		Diameter at 90%	: 257.20 μm
Operator	: BBG	Fraunhofer	
Company	:	Density/Factor	: 2.86 g/cm ³ / 1.00
Location	:	Specific surface	: 1966.18 cm ² /g
Date : 13/02/2018	Time : 07:40:36	Meas./Rins.	: 15s/15s/0
Index meas.	: 1353	SOP name	: BBG
Database name	: CilasDB1		



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_	Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]
Sample Name	: Si-125(2)	Obscuration	: 4 %
Sample type	: SERBUK	Diameter at 10%	: 12.06 µm
Comments	:	Diameter at 50%	: 160.80 µm
-----		Diameter at 90%	: 257.20 µm
Operator	: BBG	Fraunhofer	
Company	:	Density/Factor	: 2.86 g/cm³ / 1.00
Location	:	Specific surface	: 1966.18 cm²/g
Date : 13/02/2018	Time : 07:40:36	Meas./Rins.	: 15s/15s/0
Index meas.	: 1353	SOP name	: BBG
Database name	: CilasDB1		

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* BOILER *FLY-ASH*



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

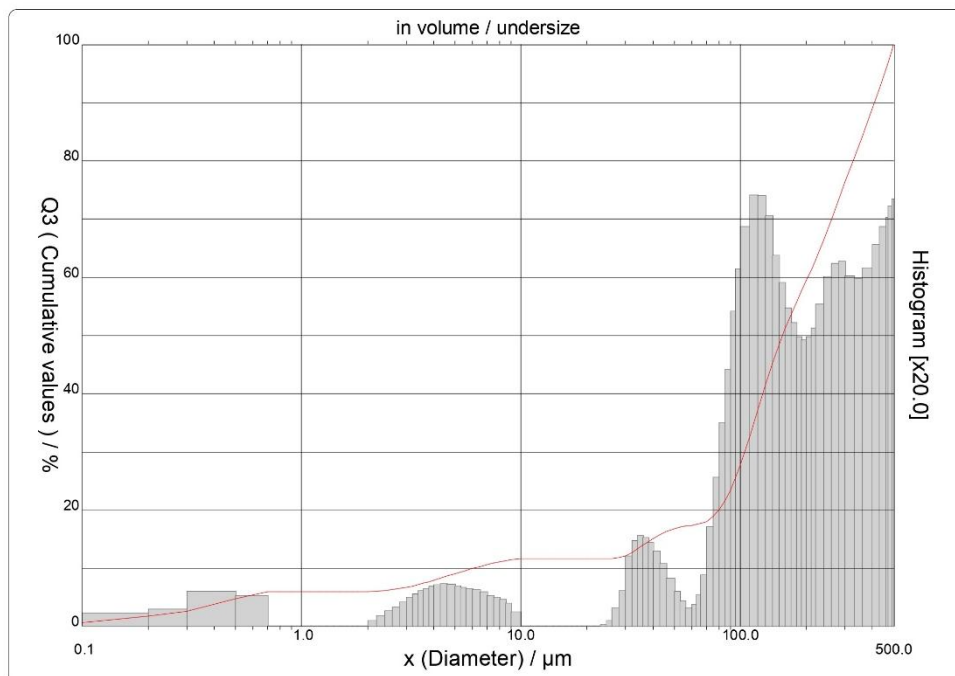
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

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

 Operator : BBG
 Company : FMIPA-KIMIA UB
 Location : MALANG
 Date : 09/04/2024 Time : 10:08:41AM
 Index meas. : 1269
 Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
 Obscuration : 0 %
 Diameter at 10% : 6.03 μm
 Diameter at 50% : 155.63 μm
 Diameter at 90% : 409.33 μm
 Mean diameter : 191.56 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Meas./Rins. : 15s/15s/0
 SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1269/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.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 : D
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:08:41AM
Index meas. : 1269
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 0 %
Diameter at 10% : 6.03 µm
Diameter at 50% : 155.63 µm
Diameter at 90% : 409.33 µm
Mean diameter : 191.56 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	0.66	1.78	2.62	4.80	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05
q3	0.03	0.11	0.14	0.30	0.26	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	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.11	6.22	6.37
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.09	0.13
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	6.54	6.74	6.97	7.21	7.46	7.71	7.96	8.33	8.68	9.11
q3	0.16	0.20	0.25	0.27	0.30	0.32	0.34	0.35	0.36	0.36
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	9.40	9.66	9.98	10.34	10.65	10.91	11.14	11.34	11.50	11.68
q3	0.34	0.33	0.32	0.31	0.29	0.26	0.25	0.23	0.19	0.12
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68	11.68
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	11.68	11.68	11.69	11.73	11.89	12.19	12.75	13.39	14.03	14.62
q3	0.00	0.00	0.01	0.05	0.15	0.30	0.60	0.73	0.77	0.76
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	15.15	15.82	16.34	16.83	17.08	17.25	17.40	17.53	17.71	18.08
q3	0.71	0.64	0.53	0.41	0.30	0.21	0.15	0.18	0.27	0.44
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	18.93	20.12	21.65	23.47	25.58	27.85	32.57	37.22	41.49	45.26
q3	0.85	1.28	1.75	2.20	2.70	3.06	3.43	3.70	3.69	3.52
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	48.43	51.18	53.57	55.72	57.66	59.48	61.23	62.95	66.42	69.89
q3	3.18	2.95	2.73	2.60	2.48	2.45	2.48	2.56	2.76	3.00
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	73.22	76.34	80.48	84.23	88.91	92.33	95.67	96.76	98.93	100.00
q3	3.11	3.13	3.01	2.98	3.07	3.27	3.43	3.51	3.60	3.66

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1269/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 PSA SERBUK DENGAN PERSENTASE 92%



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

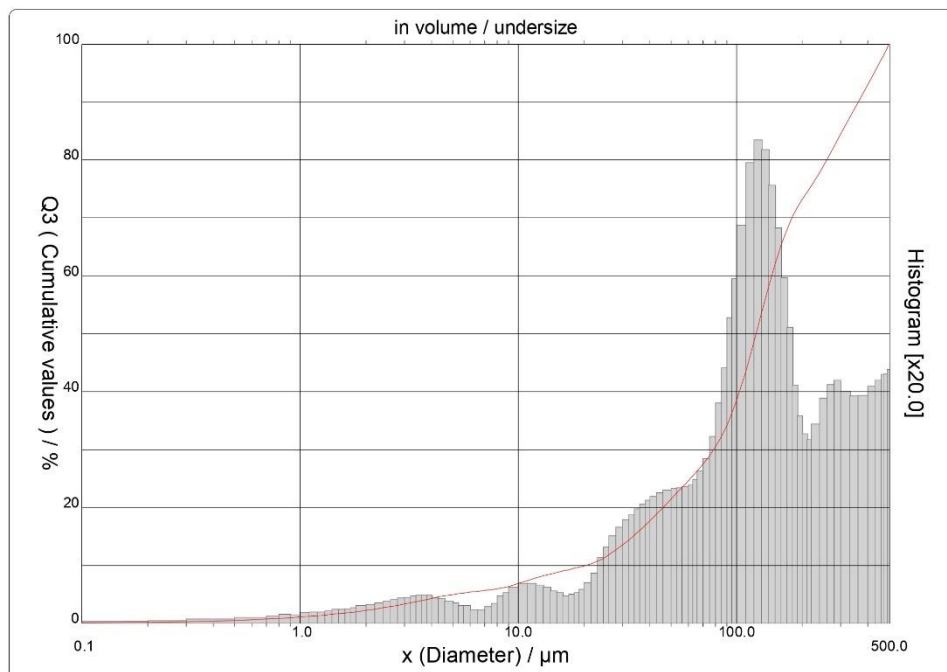
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
 Sample Name : 92
 Sample type : Serbuk
 Comments :

 Operator : BBG
 Company : FMIPA-KIMIA UB
 Location : MALANG
 Date : 09/04/2024 Time : 10:17:43AM
 Index meas. : 1274
 Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
 Obscuration : 4 %
 Diameter at 10% : 20.24 μm
 Diameter at 50% : 122.73 μm
 Diameter at 90% : 361.23 μm
 Mean diameter : 155.22 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Meas./Rins. : 15s/15s/0
 SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1274/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 : 92
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:17:43AM
Index meas. : 1274
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 4 %
Diameter at 10% : 20.24 µm
Diameter at 50% : 122.73 µm
Diameter at 90% : 361.23 µm
Mean diameter : 155.22 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	0.11	0.22	0.33	0.55	0.77	0.89	1.02	1.13	1.25	1.37
q3	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	1.48	1.59	1.71	1.82	1.93	2.04	2.27	2.49	2.71	2.93
q3	0.09	0.10	0.12	0.11	0.12	0.13	0.15	0.15	0.17	0.18
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	3.15	3.37	3.58	3.79	3.99	4.18	4.36	4.59	4.80	5.03
q3	0.20	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.21	0.21	0.18
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	5.18	5.30	5.45	5.58	5.70	5.84	6.00	6.21	6.43	6.91
q3	0.17	0.15	0.15	0.11	0.11	0.14	0.17	0.23	0.26	0.30
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	7.39	7.83	8.22	8.56	8.84	9.09	9.30	9.51	9.72	9.94
q3	0.34	0.34	0.33	0.31	0.27	0.26	0.23	0.25	0.26	0.29
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	10.31	10.74	11.27	11.85	12.68	13.53	14.39	15.24	16.08	16.91
q3	0.34	0.43	0.56	0.65	0.75	0.82	0.89	0.94	0.98	1.02
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	17.72	18.90	20.03	21.46	22.47	23.43	24.64	25.51	26.37	27.52
q3	1.05	1.09	1.12	1.15	1.16	1.16	1.17	1.19	1.23	1.30
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	28.98	30.53	32.25	34.13	36.26	38.54	43.43	48.60	53.59	58.12
q3	1.41	1.60	1.89	2.20	2.63	2.97	3.43	3.97	4.16	4.08
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	62.02	65.31	68.01	70.19	71.85	73.22	74.41	75.51	77.74	80.06
q3	3.77	3.40	2.97	2.55	2.05	1.78	1.63	1.58	1.71	1.94
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	82.34	84.50	87.35	89.90	92.99	95.20	97.31	98.00	99.34	100.00
q3	2.05	2.09	2.00	1.96	1.96	2.04	2.09	2.14	2.15	2.18

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1274/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 6

HASIL UJI PSA SERBUK DENGAN PERSENTASE 88%



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

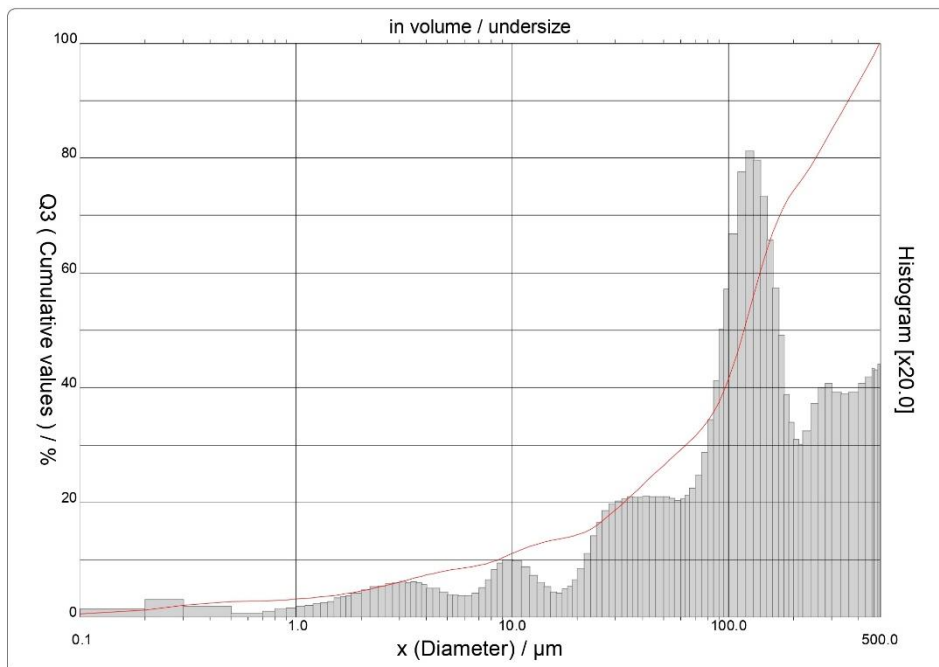
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
 Sample Name : 88
 Sample type : Serbuk
 Comments :

 Operator : BBG
 Company : FMIPA-KIMIA UB
 Location : MALANG
 Date : 09/04/2024 Time : 10:14:21AM
 Index meas. : 1272
 Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
 Obscuration : 3 %
 Diameter at 10% : 8.54 μm
 Diameter at 50% : 117.65 μm
 Diameter at 90% : 358.36 μm
 Mean diameter : 147.96 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Meas./Rins. : 15s/15s/0
 SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1272/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 : 88
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:14:21AM
Index meas. : 1272
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 8.54 µm
Diameter at 50% : 117.65 µm
Diameter at 90% : 358.36 µm
Mean diameter : 147.96 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	0.57	1.22	2.10	2.73	2.86	2.95	3.07	3.18	3.30	3.42
q3	0.03	0.06	0.15	0.08	0.03	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	3.55	3.68	3.81	3.96	4.11	4.26	4.57	4.89	5.22	5.53
q3	0.11	0.12	0.13	0.16	0.17	0.18	0.20	0.23	0.26	0.26
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	5.84	6.14	6.43	6.69	6.94	7.17	7.38	7.64	7.88	8.14
q3	0.29	0.30	0.31	0.29	0.30	0.29	0.28	0.25	0.24	0.21
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	8.30	8.45	8.63	8.84	9.06	9.31	9.61	9.97	10.36	11.12
q3	0.19	0.19	0.18	0.18	0.20	0.25	0.32	0.41	0.47	0.49
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	11.79	12.34	12.76	13.08	13.34	13.54	13.72	13.92	14.13	14.37
q3	0.48	0.43	0.36	0.29	0.26	0.21	0.20	0.24	0.27	0.32
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	14.81	15.35	16.00	16.71	17.71	18.70	19.65	20.56	21.43	22.25
q3	0.42	0.55	0.70	0.82	0.92	0.98	1.01	1.02	1.04	1.04
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	23.03	24.14	25.17	26.44	27.33	28.16	29.18	29.91	30.63	31.59
q3	1.04	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.01	1.02	1.06	1.11
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	32.83	34.18	35.70	37.42	39.40	41.54	46.19	51.12	55.87	60.18
q3	1.23	1.43	1.71	2.05	2.50	2.85	3.33	3.87	4.05	3.97
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	63.88	66.98	69.52	71.57	73.10	74.37	75.47	76.49	78.55	80.72
q3	3.66	3.28	2.86	2.45	1.93	1.69	1.54	1.50	1.62	1.85
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	82.88	84.93	87.66	90.13	93.15	95.30	97.36	98.04	99.35	100.00
q3	1.99	2.03	1.96	1.94	1.96	2.03	2.09	2.16	2.15	2.20

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1272/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 7

HASIL UJI SERBUK DENGAN PERSENTASE 84%



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

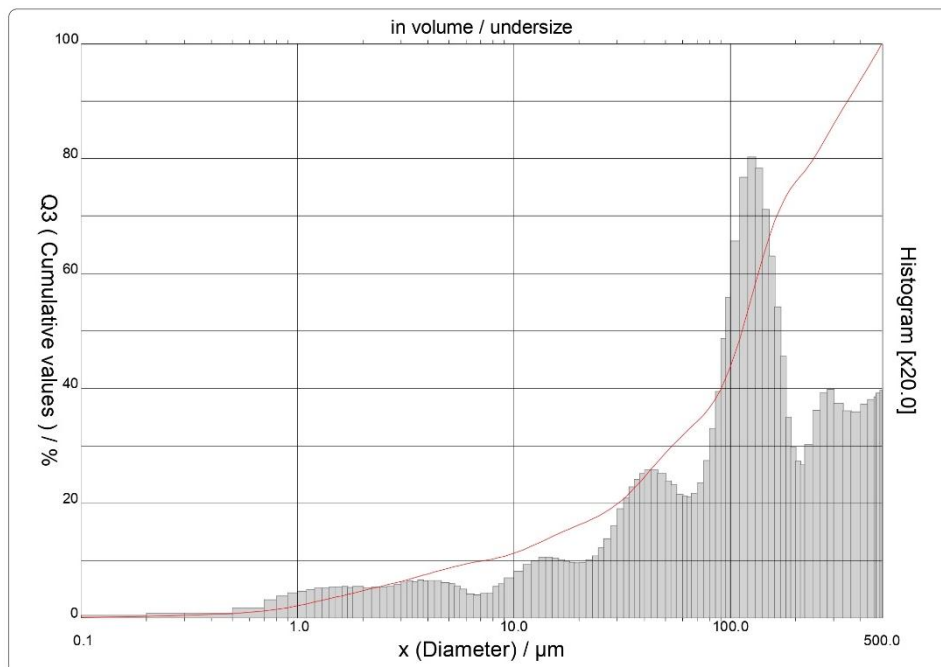
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
 Sample Name : 84
 Sample type : Serbuk
 Comments :

 Operator : BBG
 Company : FMIPA-KIMIA UB
 Location : MALANG
 Date : 09/04/2024 Time : 10:11:03AM
 Index meas. : 1270
 Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
 Obscuration : 3 %
 Diameter at 10% : 7.21 μm
 Diameter at 50% : 112.96 μm
 Diameter at 90% : 347.35 μm
 Mean diameter : 141.65 μm
 Fraunhofer
 Density/Factor : -----
 Specific surface : -----
 Meas./Rins. : 15s/15s/0
 SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1270/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 : 84
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 09/04/2024 Time : 10:11:03AM
Index meas. : 1270
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 3 %
Diameter at 10% : 7.21 µm
Diameter at 50% : 112.96 µm
Diameter at 90% : 347.35 µm
Mean diameter : 141.65 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	0.17	0.35	0.55	0.82	1.22	1.52	1.84	2.17	2.49	2.80
q3	0.01	0.02	0.03	0.04	0.08	0.15	0.18	0.21	0.23	0.24
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	3.10	3.38	3.65	3.90	4.14	4.36	4.78	5.14	5.48	5.79
q3	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	6.09	6.38	6.67	6.95	7.21	7.47	7.71	8.05	8.37	8.74
q3	0.27	0.28	0.30	0.31	0.31	0.33	0.32	0.32	0.32	0.30
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	8.99	9.21	9.46	9.70	9.91	10.12	10.32	10.56	10.81	11.34
q3	0.29	0.27	0.25	0.20	0.19	0.21	0.21	0.27	0.30	0.34
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	11.90	12.49	13.07	13.64	14.17	14.66	15.11	15.52	15.90	16.26
q3	0.40	0.46	0.49	0.52	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	16.77	17.27	17.77	18.30	19.05	19.86	20.76	21.69	22.65	23.61
q3	0.48	0.50	0.54	0.60	0.68	0.79	0.94	1.04	1.14	1.20
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	24.56	25.93	27.21	28.75	29.77	30.71	31.80	32.56	33.28	34.22
q3	1.25	1.28	1.28	1.25	1.18	1.16	1.07	1.05	1.05	1.08
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	35.41	36.71	38.18	39.84	41.78	43.89	48.50	53.42	58.16	62.44
q3	1.17	1.36	1.64	1.96	2.43	2.78	3.27	3.83	4.01	3.91
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	66.06	69.06	71.48	73.40	74.79	75.91	76.89	77.80	79.73	81.86
q3	3.55	3.15	2.70	2.27	1.74	1.48	1.36	1.32	1.50	1.80
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	84.00	86.02	88.64	90.95	93.73	95.71	97.60	98.21	99.41	100.00
q3	1.95	1.98	1.86	1.80	1.79	1.85	1.90	1.92	1.95	1.98

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1270/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

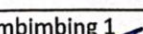
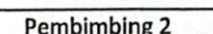
LAMPIRAN 8

FORM MONITORING PROYEK AKHIR

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

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023....1...2024	
JUDUL		Analisis komposisi & matrik aluminium komposisi resin sanda motor listrik ber beban. Rsr. Sika dan boiler F8-c8 dengan metode matrikasi. Srikut	
Nama Mahasiswa		1. Barokah Iham /NIM: 1042138 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1	8/5 2024	Bab I - Bab II draft	8/5/24
1	13/5 2024	Bab I - Bab III draft.	13/5/24

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

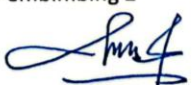
Mengetahui		
Pembimbing 1  (m. Subhan)	Pembimbing 2  (sukant)	Pembimbing 3 (.....)

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/.....	
JUDUL		Analisis Komposit Matrik Aluminium Kompos Rem Sepeda Motor Dipraktikkan Paduan Pasir Silika dan Boiler Fly-ash dengan Metode Metalurgi Serbuk	
Nama Mahasiswa		1. Barokah Ilham/NIM: 1042138 2./NIM: 3./NIM: 4./NIM: 5./NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
2	27/06/24	Bab 1-3 Sampel selesai 30%	
			
2	26/06/24	Bab 1-3 - ok Sampel selesai 30%	

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

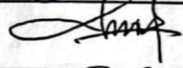
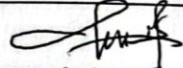
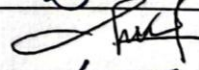
Mengetahui		
Pembimbing 1  (M. Subhan S.ST.MT)	Pembimbing 2  (Sukananto)	Pembimbing 3 (.....)

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

LAMPIRAN 9

FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

	FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2023/2024		
JUDUL	Analisis Komposit Matrik Aluminium Kampas Rem Sepeda Motor Diperkuat Paduan Pasir Silika dan Boiler Fly-Ash Dengan Metode Metalurgi Serbuk		
Nama Mahasiswa	Barokah Ilham NIM: 1042138		
Nama Pembimbing	1. Muhammad Subhan, S.S.T., M.T. 2. Dr. Sukanto M.eng		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	21 Maret 2024	Mempelajari Full Factorial	
2	21 Maret 2024	Mencari Alat dan Bahan	
3	08 Mei 2024	Pemeriksaan Bab I Sampai Bab II	
4	13 Mei 2024	Pemeriksaan Bab I Sampai Bab III	
5	14 Mei 2024	Pemeriksaan Bab I Sampai Bab III	
6	14 Mei 2024	Perhitungan Mixing	
7	27 Juni 2024	Pemeriksaan Sampel	
8	11 Juli 2024	Konsultasi Sampel	
9	22 Juli 2024	Konsultasi Sampel dan Pengujian	
10	23 Juli 2024	Konsultasi Sampel dan Pengujian	

Catatan:

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

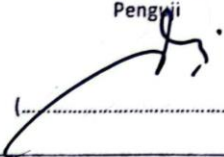
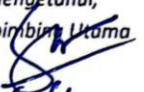
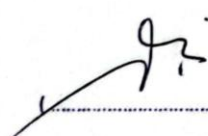
LAMPIRAN 10

FORM REVISI PROYEK AKHIR

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

FORM REVISI LAPORAN AKHIR	
TAHUN AKADEMIK 2023 / 2024	
JUDUL :	Analisis komposisi Material Aluminium Kampas Rem Sepeda motor dipertukar Paduan Pasir Silika dan Boiler Fly-Ash dengan Metode Metalurgi Serbuk
Nama Mahasiswa :	1. Barokah Ilham NIM: _____ 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
-Perbaikan data, linier failing . Ubah sawit	
Sungailiat, ...01 Agt 2024....	Penguji M. Subhan (.....)
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama (.....)	Sungailiat, ...9...9...24.... Penguji (.....)

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

 FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK/...../.....	
JUDUL :	
Nama Mahasiswa :	1. <u>Barokah Ikham</u> NIM: <u>1042138</u> 2. _____ NIM: _____ 3. _____ NIM: _____ 4. _____ NIM: _____ 5. _____ NIM: _____
Bagian yang direvisi	Halaman
- Tambahkan data kuantitatif pd latar belakang.	
-	
Sungailiat, 1 Agustus 2014	
Penguji  (.....)	
Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa	
Mengetahui, Pembimbing Utama  (M. Subhan)	Sungailiat, Penguji  (.....)

FORM REVISI LAPORAN AKHIR TAHUN AKADEMIK

JUDUL : Analisis Kompleks Matrik Aljabar Linear (K)

Nama : 1. Barokah Iham

Mahasiswa : 2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

NIM: 1042138

NIM: _____
NIM: _____
NIM: _____
NIM: _____

Bagian yang direvisi	Halaman
- Lengkapi data di latar Belakang	
- Daftar pemuliaan Media penelitian.	

Sungailiat,

Penguji

 (.....)

Sungailiat,

Penguji

 (.....)

Mengetahui,
Pembimbing Utama

 (M. Subhan)

Sungailiat,

Penguji

 (.....)

LAMPIRAN 11

HASIL TURNITIN

TA Barokah Ilham

ORIGINALITY REPORT

18%	18%	2%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	17%
2	123dok.com Internet Source	1%
3	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

LAMPIRAN 12

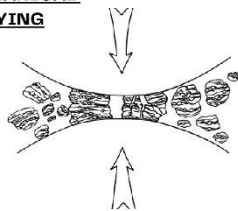
POSTER PROYEK AKHIR

Penguatan Kampas Rem Motor Dengan Komposit Al- Silika-Fly Ash Melalui Metalurgi Serbuk

TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentasi penguat dan pengaruh kompaksi panas terhadap nilai kekerasan dan densitas komposit matrik aluminium dari hasil daur ulang di perkuat Paduan pasir silika dan boiler fly-ash dengan metalurgi serbuk.

MECHANICAL ALLOYING



METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah mechanical alloying untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus. Proses penggilingan serbuk dilakukan menggunakan mesin ball mill dengan kecepatan 90 rpm dan waktu penggilingan selama 6 jam.

Nama Mahasiswa

Barokah Ilham (1042138)

Dosen Pembimbing

Muhammad Subhan, S.S.T., M.T.

Dr. Sukanto M.Eng

LATAR BELAKANG

Sampai saat ini, sekitar 60% dari bahan kampas rem masih menggunakan asbestos sebagai serat utama, Penelitian medis menegaskan bahwa penggunaan kampas rem yang mengandung serat asbestos berisiko bagi kesehatan, menyebabkan kanker paru-paru dan gangguan pernapasan.



PROYEK AKHIR TAHUN 2023/2024

POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG