

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT MATRIK PHENOLIC RESIN
DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN BOILER FLY-ASH
MENGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK**

PROYEK AKHIR

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



Disusun Oleh:

Devrin Dwiki Saputra NIM: 1042207

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

LEMBAR PENGESAHAN

PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK PHENOLIC RESIN
DIPERKUAT SERBUK ALUMINIUM DAN BOILER FLY-ASH
MENGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK

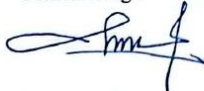
Oleh:

Devrin Dwiki Saputra NIM: 1042207

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

Menyetujui,

Pembimbing 1



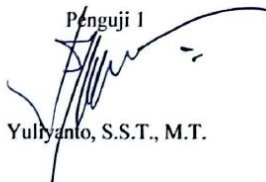
Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng.

Pembimbing 2



Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Yulhyanto, S.S.T., M.T.

Penguji 2



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

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Devrin Dwiki Saputra NIM : 1042207

Dengan Judul : Karakteristik Komposit Matrik Phenolic Resin Diperkuat Serbuk Logam Dan Boiler Fly-Ash Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk

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

Sungailiat, 7 Februari 2025



Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Devrin Dwiki Saputra

ABSTRAK

Pada umumnya pembuatan komponen kampas rem terbuat dari 60% bahan asbestos, meskipun bahan tersebut masih sering digunakan ternyata bahan tersebut tidak lah ramah lingkungan dan tidak baik pada kesehatan dikarenakan mengandung zat karsinogenik yang apabila terhirup oleh paru-paru manusia dapat menyebabkan gangguan pernapasan. Oleh sebab itu perlu dikembangkan inovasi baru salah satunya komposit matrik phenolic resin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase matrik dan suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan material komposit matrik phenolic resin dipadukan dengan aluminium, kuningan, pasir silika, dan boiler fly ash. Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metalurgi serbuk, dimana memiliki tahapan proses mixing, kompaksi, dan sintering. Proses pencampuran serbuk penguat logam dan boiler fly ash menggunakan mesin horizontal ball mill dengan parameter Ball Powder Ratio (BPR) 10:1 yang memiliki kecepatan putaran 90 rpm dan ditunggu selama 4 jam lamanya. Kemudian untuk kompaksi dinggin menggunakan 5300 Psi dan ditunggu selama 10 menit serta variasi yang digunakan adalah persentase matrik 44%, 52%, dan 60% dan variasi suhu sintering sebesar 80 °C, 90 °C, dan 100 °C dan di oven selama 10 menit. Pengujian yang dilakukan menggunakan standar ASTM B962-17 untuk uji desnitas sedangkan untuk uji kekerasan menggunakan pendekatan ASTM E110-14 menggunakan alat uji kekerasan portable. Pengujian kekerasan dengan nilai tertinggi 102 HB dengan persentase matrik 60% dengan tekanan 5300 Psi dan nilai densitas tertinggi 1,404 g/cm³ dengan tekanan kompaksi 5300 Psi sebelum perlakuan sintering. Setelah perlakuan sintering hasil kekerasan tertinggi 147 HB dengan persentase matrik 60% dengan suhu 50 °C dan nilai densitas tertinggi 1,505 g/cm³ dengan suhu 50 °C dengan masing- masing waktu penahanan 10 menit.

Kata Kunci: Kampas Rem, Komposit, Phenolic Resin, Metalurgi Serbuk, Uji Kekerasan, Uji Densitas.

ABSTRACT

In general, the manufacture of brake pad components is made of 60% asbestos material, although this material is still often used, it turns out that the material is not environmentally friendly and not good for health because it contains carcinogenic substances that if inhaled by human lungs can cause respiratory disturbances. Therefore, it is necessary to develop new innovations, one of which is phenolic resin matrix composites. This study aims to determine the effect of matrix percentage and sintering temperature on the density and hardness of phenolic resin matrix composite materials combined with aluminum, brass, silica sand, and boiler fly ash. The method applied in this study is powder metallurgy, which has stages of mixing, compression, and sintering processes. The process of mixing metal reinforcing powder and fly ash boiler uses a horizontal ball mill machine with a Ball Powder Ratio (BPR) parameter of 10:1 which has a rotation speed of 90 rpm and is waited for 4 hours. Then for cold compaction, it uses 5300 Psi and waits for 10 minutes and the variations used are the percentage of matrices of 44%, 52%, and 60% and the variation in sintering temperature of 80 °C, 90 °C, and 100 °C and in the oven for 10 minutes. The test was carried out using the ASTM B962-17 standard for density test while the hardness test used the ASTM E110-14 approach using a portable hardness test device. Hardness testing with the highest value of 102 HB with a matrix percentage of 60% with a pressure of 5300 Psi and the highest density value of 1.404 g/cm³ with a compaction pressure of 5300 Psi before the sintering treatment. After sintering treatment, the highest hardness result was 147 HB with a matrix percentage of 60% with a temperature of 50 °C and the highest density value of 1,505 g/cm³ with a temperature of 50 °C with a holding time of 10 minutes each.

Keywords: Brake Pads, Composites, Phenolic Resins, Powder Metallurgy, Hardness Test, Density Test.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur dan hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kesempatan untuk menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Proses Pembuatan Komposit Matrik Phenolic Resin Dipadukan Serbuk Logam Dan Boiler Fly-Ash Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk”**. Tidak lupa penulis mengucapkan syalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sosok yang menjadi inspirasi dan teladan bagi penulis. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Terapan dan menyelesaikan pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Penulis juga menyadari panjangnya perjalanan dari mulai ingin melanjutkan kuliah sampai pada penyusunan skripsi ini tidaklah mudah, namun dengan bantuan, dukungan, doa, dan kehendaknyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis dengan kerendahan hati ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada kedua orang tua saya yang saya sayangi yaitu, bapak yang tercinta Juhri dan ibu yang tercinta Priccela Lusiana yang telah menyayangi dan mendoakan untuk kebaikan hidup penulis bisa berdiri dengan gagah sampai pada titik ini. Semoga Allah SWT bisa memberi ke Baikan dan ke Ikhlasan kepada kedua orang tua saya yang telah melahirkan dan mendidik penulis. Amin
2. Kakak penulis Dievaya C. Caroline dan adik Tristan Ghifari Apera yang selalu menjadi penyemangat di tengah kesibukan penulis dalam mengejar gelar Sarjana. Semoga kalian mengikuti jejak yang sampai pada titik ini dan menjadi golongan anak-anak yang terpelajar.
3. Bapak Dr.Sukanto, S.S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama sekaligus wali dosen selama penulis berada di Politeknik Manufaktur Bangka Belitung yang telah banyak memberikan masukan, Ilmu, Pengalaman, menyediakan waktu, tenaga, dan bimbingan untuk penyediaan makalah penelitian.
4. Bapak Zaldy S. Suzen, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua yang telah banyak memberikan arahan, Ilmu, Pengalaman dalam sistematika penulisan makalah penelitian ini.

5. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Polman Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
8. Untuk Teman-teman yang melakukan penelitian dalam konteks yang sama Fibry Yansha, M.Fadhil, Ardiansyah yang sama-sama berjuang untuk lulus dan mendapat gelar sarjana. Kalian adalah teman-teman yang hebat semoga kalian menjadi orang-orang sukses untuk sekarang dan nanti.
9. Serta teman-teman saya Wahyu Amanah, Dimas Zuwendy, Fitra Dwianto yang telah membantu dan menyemangati saya dalam penulisan Skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman satu kelas saya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu mahasiswa Teknik Mesin Manufaktur Negeri Bangka Belitung Angkatan 2022 yang telah saling mendoakan dan mendukung satu sama lain.

Akhir kata, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan semoga Allah SWT selalu memberikan perlindungan bagi kita semua.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Sungailiat, 4 Juli 2025
Penulis



Devrin Dwiki Saputra

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan masalah	3
BAB II STUDI LITERATUR	4
2.1 Penelitian Terdahulu	4
2.2 Komposit	5
2.2.1 Definisi Komposit.....	5
2.2.2 Klasifikasi Material Komposit.....	6
2.2.3 Jenis Penguat Komposit.....	7
2.3 Phenolic Resin.....	7
2.4 Kuningan	8

2.5 Aluminium	8
2.6 Pasir silika	9
2.7 Boiler Fly Ash	9
2.8 Metalurgi Serbuk.....	10
2.8.1 Proses Pencampuran (<i>Mixing</i>)	11
2.8.2 Proses Penekanan (<i>Kompaksi</i>).....	11
2.8.3 Proses Pemanasan (<i>Sintering</i>)	13
2.9 Pengujian.....	13
2.9.1 Uji Densitas	13
2.9.2 Uji Kekerasan	14
2.10 <i>Design</i> Faktorial	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Metode Penelitian.....	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Parameter Yang Digunakan	18
3.4 Bahan dan Alat Penelitian.....	18
3.4.1 Bahan Penelitian	18
3.4.2 Alat-alat penelitian	21
3.5 Proses penelitian.....	26
3.5.1 Metalurgi Serbuk	26
3.5.2 Validasi Spesimen	27
3.6 Uji Densitas	27
3.7 Uji Kekerasan.....	28
3.8 Pengolahan Data.....	28
3.9 Analisis Data	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Pemaduan Mekanik (<i>Mechanical Alloying</i>)	32
4.2 Hasil Kompaksi Dingin Spesimen Sebelum Pengujian	34
4.3 Pengujian Densitas Sebelum Proses Sintering	35
4.3.1 Tahapan Uji Densitas Sebelum Proses Sintering	35
4.3.2 Pengolahan Data dan Analisa Data Sebelum Proses Sintering	36
4.4 Pengujian Kekerasan Sebelum Proses Sintering	41
4.4.1 Tahapan Uji Kekerasan Sebelum Proses Sintering	41
4.4.2 Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Sebelum Proses Sintering	42
4.5 Proses Sintering Sesudah Proses Kompaksi	44
4.6 Pengujian Densitas Setelah Proses Sintering	45
4.6.1 Tahapan Uji Densitas Setelah Sintering	45
4.6.2 Pengolahan Data dan Analisa Data Sesudah Proses Sintering	46
4.6.3 Uji ANNOVA Nilai Densitas Sesudah Proses Sintering	51
4.7 Uji Kekerasan Sesudah Proses Sintering	53
4.7.1 Tahapan Uji Kekerasan Setelah Proses Sintering	53
4.7.2 Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Sesudah Proses Sintering	54
4.7.3 Uji ANNOVA Nilai Kekerasan Sesudah Proses Sintering	56
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berikut merupakan sifat fisik dari logam Aluminium.[20]	9
Tabel 2. 2 Berikut merupakan kandungan kimia dari Pasir Silika.[21]	9
Tabel 2. 3 Berikut merupakan kandungan kimia dari Boiler <i>Fly Ash</i> . [22]	10
Tabel 3. 1 Tabel Pengolahan data pengujian Densitas	28
Tabel 3. 2 Tabel pengolahan data pengujian Kekerasan	29
Tabel 3. 3 Desain tabel parameter dan level pengujian	29
Tabel 3. 4 Desain tabel pengolahan data faktorial	30
Tabel 3. 5 Desain Tabel Anova	30
Tabel 4. 1 Berat spesimen kering sebelum dimasukkan kedalam cairan	37
Tabel 4. 2 Berat spesimen basah sesudah dimasukkan kedalam cairan	37
Tabel 4. 3 Hasil dari spesimen uji kekerasan sebelum proses sintering	42
Tabel 4. 4 Berat spesimen kering sesudah perlakuan sintering	47
Tabel 4. 5 Berat spesimen basah sesudah proses sintering	47
Tabel 4. 6 Hasil rata-rata Uji Densitas	50
Tabel 4. 7 ANNOVA Pengujian Densitas	52
Tabel 4. 8 Hasil uji kekerasan sesudah perlakuan sintering	54
Tabel 4. 9 ANNOVA Pengujian Kekerasan	56
Tabel 4. 10 Hasil Perbandingan dengan penelitian terdahulu	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi penguat yang diaplikasikan pada material komposit.[17].....	7
Gambar 2. 2 Proses pencampuran serbuk menggunakan pepaduan mekanik.[25]..	11
Gambar 2. 3 Tahapan proses <i>penekanan</i> terhadap serbuk logam.[9]	12
Gambar 2. 4 Ilustrasi proses penekanan satu arah dan dua arah.[8]	13
Gambar 2. 5 Ilustrasi Tahapan Proses Sintering [23]	13
Gambar 2. 6 Berikut ilustrasi dari pengujian Densitas.[27].....	14
Gambar 2. 7 Ilustrasi dari pengujian kekerasan.[28]	15
Gambar 3. 1 Perencanaan kegiatan penelitian	17
Gambar 3. 2 <i>Phenolic</i> resin.....	19
Gambar 3. 3 Serbuk Kuningan.....	19
Gambar 3. 4 Serbuk Aluminium.....	20
Gambar 3. 5 Pasir Silika	20
Gambar 3. 6 Abu <i>Boiler Fly Ash</i>	21
Gambar 3. 7 Mesin Ball Mill	22
Gambar 3. 8 Mesin Press Hidrolik.....	22
Gambar 3. 9 Timbangan Digital	23
Gambar 3. 10 Cetakan Spesimen	23
Gambar 3. 11 Mixer.....	24
Gambar 3. 12 Oven	24
Gambar 3. 13 Gelas Ukur	25
Gambar 3. 14 Alat Uji Densitas	25
Gambar 3. 15 Alat Uji Kekerasan <i>Portable</i>	26
Gambar 3. 16 Peneliti melakukan Uji Kekerasan Setelah Sintering	53
Gambar 3. 17 Angka Yang Terbaca Pada Layar Portble	54
Gambar 4. 1 Grafik <i>Particle Size Analyzer Phenolic</i> resin.....	33
Gambar 4. 2 Grafik uji <i>Particle Size Analyzer</i> Aluminium	33
Gambar 4. 3 Grafik uji <i>Particle Size Analyzer</i> Kuningan.....	33
Gambar 4. 4 Grafik uji <i>Particle Size Analyzer</i> Pasir silika.....	34
Gambar 4. 5 Grafik uji <i>Particle Size Analyzer Boiler Fly Ash</i>	34

Gambar 4. 6 Spesimen sebelum pengujian	35
Gambar 4. 7 Proses penimbangan spesimen kering.....	36
Gambar 4. 8 Proses penimbangan spesimen basah.....	36
Gambar 4. 9 Grafik Uji Densitas Sebelum Proses Sintering	40
Gambar 4. 10 Peneliti melakukan uji tekan menggunakan alat tekan <i>Portble</i>	41
Gambar 4. 11 Nilai yang terbaca pada layar uji kekerasan <i>portable</i>	42
Gambar 4. 12 Grafik Uji Kekerasan Sebelum Proses Sintering	43
Gambar 4. 13 Tahapan proses sintering.....	45
Gambar 4. 14 Spesimen sesudah proses sintering	45
Gambar 4. 15 Proses Penimbangan Spesimen Kering Setelah Sintering	46
Gambar 4. 16 Uji Densitas Sesudah Perlakuan Sintering.....	46
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengujian Densitas Setelah Sintering.....	50
Gambar 4. 18 Grafik Uji Kekerasan Setelah Sintering.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	63
Lampiran 2	64
Lampiran 3	66
Lampiran 4	68
Lampiran 5	70
Lampiran 6	72
Lampiran 7	74
Lampiran 8	75
Lampiran 9	76
Lampiran 10	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Ilmu pengetahuan dan teknologi dari hari ke-hari semakin berkembang. Khususnya dibidang indsutri otomotif dalam pembuatan komponen kendaraan bermotor. Hal ini di tandai dengan permintaan konsumen dari segi kualitas dan lamanya penggunaan suatu komponen. Salah satu komponen yang paling sering digunakan pada kendaraan bermotor yaitu kampas rem, dikarenakan komponen tersebut memiliki peranan penting pada suatu kendaraan sebab berfungsi untuk menyerap energi kinetik agar kendaraan dapat berhenti atau melambat.[1]

Umumnya material pembuatan kampas rem 60% terbuat dari bahan asbestos dimana pembuatanya menggunakan resin, *friction aditivie*, *filler*, serbuk logam, serpihan karet, dan keramik sebagai bahan serat utamanya.[2] Meskipun bahan tersebut sering digunakan ternyata asbestos tidak ramah terhadap lingkungan karena memiliki zat yang berbahaya seperti karsinogenik yang dimana terhirup oleh paru-paru manusia dapat menyebabkan gangguan pada pernapasan.[3] Akibat dari penggunaan bahan asbestos tersebut, sebanyak 67 Negara telah melarang penggunaan barang tersebut dan sudah tidak lagi di anjurkan, akan tetapi negara Indonesia masih belum melarang penggunaan terhadap bahan asbestos.[4]

Maka dari itu dibutuhkan bahan alternatif baru untuk pembuatan kampas rem non-asbestos. Phenolic resin menjadi salah satu bahan yang digunakan untuk menggantikan penggunaan bahan asbestos. Dikarenakan hingga saat ini resin phenolic banyak dikembangkan pada industri material dan telah diproduksi hampir 6 juta ton/tahun dan menjadi resin yang paling banyak digunakan pada saat ini. Sebab resin phenolic memiliki karakteristik kekuatan mekanik yang unggul, ketahanan terhadap suhu panas, serta ketahanan terhadap air dan asam. Di samping itu, resin fenolik memiliki sifat alami tahan api yang baik sebagai bahan perekat serat, kayu, komponen logam dan lain-lain sebagainya.[5]

Adapun metode yang akan digunakan dalam pembuatan komposit matrik phenolic resin yaitu metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk memiliki tiga proses utama diantaranya proses mixing atau pencampuran serbuk matrik dan serbuk penguat, proses kompaksi, dan proses sintering.[6] Metode ini juga memiliki beberapa keuntungan yaitu energi proses yang rendah, pembuatan serbuk dengan cara yang sederhana, dan proses pencetakan produk akhir dapat disesuaikan dengan bentuk yang diinginkan.[7] Selain itu metode ini jauh lebih efisien sebab 95% penggunaan bahan baku yang dimanfaatkan dapat dijadikan produk jadi sehingga bahan yang digunakan akan lebih sedikit yang tersisa atau tidak terpakai.[8]

Pembuatan komponen kampas rem biasanya dilakukan dengan cara proses penekanan cetak tertutup. Besarnya tekanan kompaksi sangat mempengaruhi pada struktur dan karakteristik komponen kampas rem komposit. Memberikan tekanan kompaksi dan persentase serbuk yang sedikit, mengakibatkan kretakan yang dapat mempengaruhi densitas pada komponen kampas rem. Ada dua faktor yang dapat mempengaruhi saat proses pencetakan yaitu tekanan kompaksi dan farian berat serbuk yang diberikan selama proses pencetakan.[9]

Oleh sebab itu pada penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit matrik *phenolic* resin diperkuat serbuk logam dan boiler *fly ash* agar dapat membuat kampas rem bebas asbestos dan ramah terhadap lingkungan.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh varian fraksi berat matrik dan suhu sintering pada komposit matrik *Phenolic* dipadukan dengan serbuk logam dan boiler *fly ash* terhadap kekerasan dan densitas pada kampas rem?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

Untuk mengetahui pengaruh varian fraksi berat matrik dan suhu *sintering* pada komposit matrik *Phenolic* dipadukan dengan serbuk logam dan boiler *fly ash* terhadap kekerasan dan densitas pada kampas rem.

1.4 Batasan masalah

Supaya tujuan yang dibuat oleh peneliti dari penelitian ini tidak menyimpang, sehingga dapat memperoleh data dan informasi lebih mudah. Maka peneliti menetapkan Batasan masalah sebagai berikut:

1. Penguat yang digunakan adalah serbuk logam dan *boiler fly ash*.
2. Pengikat (Matrik) penelitian ini menggunakan serbuk Phenolic resin.
3. Mixing serbuk penguat menggunakan mesin *ball mill* dengan waktu 4 jam.
4. Tekanan kompaksi penelitian ini yaitu 5300 Psi dengan waktu tunggu tekan 10 menit.
5. Varian volume matrik ke dalam pencetakan (penguat dan pengikat) yaitu 44%, 52%, dan 60%.
6. Varian suhu sintering 50°C, 60°C, dan 70°C dan ditunggu selama 10 menit.
7. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:
 - a. Pengujian Densitas
 - b. Pengujian Kekerasan

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1 Penelitian Terdahulu

Untuk memperkuat penelitian yang sudah dibahas pada Bab I, maka diperlukan pemahaman yang berhubungan dengan penelitian yang menggunakan prinsip, material, dan metode yang sama. Pada penelitian ini, peneliti menerapkan metode metalurgi serbuk guna menguji ketebalan dimensi serta tingkat kedataran pada permukaan spesimen. Komposit matrik *Phenolic resin* diperkuat serbuk logam dan *boiler fly-ash* untuk di aplikasikan pada kampas rem sepeda motor. Peneliti berfokus pada variasi penguat matrik komposit dan variasi tekanan yang diterapkan selama proses kompaksi panas.

Pada penelitian yang dilakukan M.Asep [8] dengan judul “Pengaruh variasi tekanan kompaksi panas terhadap densitas dan kekerasan AMC diperkuat SiO_2 ”. Penelitian ini menggunakan tahapan metode metalurgi serbuk yaitu meliputi persiapan bahan, mixing dan kompaksi penekanan dua arah. Proses pencampuran matrik dan penguat menerapkan metode pemaduan mekanik menggunakan mesin horizontal ball mill yang digiling selama 4 jam. Material matrik yang digunakan adalah aluminium daur ulang yang diperkuat pasir silika 20%wt menunjukkan nilai kerapatan atau densitas tertinggi adalah $2,147 \text{ g/cm}^3$ dan nilai kekerasannya adalah 53,11 HRB dengan besarnya tekanan kompaksi yang diberikan yaitu 4600 psi. Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah semakin besar tekanan kompaksi yang diberikan maka nilai densitas dan kekerasannya akan meningkat.

Pada penelitian yang dilakukan Nawagasari [10] memiliki tujuan untuk memilih kadar jumlah *Phenolic resin* untuk komposit bantalan rem dan proses pembuatan komposit menggunakan teknik metalurgi serbuk. Fraksi volume matrik yang diggunakan berbeda-beda diantaranya 10, 15, 20, dan 25. Tekanan kompaksi yang diberikan sebesar 47 MPa dengan suhu 150°C , serta suhu pasca pengerasan 130°C dengan waktu tunggu 6 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa densitas sampel komposit menurun dikarenakan peningkatan fraksi volume terhadap *Phenolic resin*,

hal ini disebabkan pada spesimen komposit PR-10 (hanya terisi 10% matrik resin fenolik) yang memiliki porositas tertinggi serta densitas terendah ($\rho = 1,2 \text{ gr/cm}^3$) sedangkan densitas tertinggi terlihat pada spesimen komposit PR-25 (memiliki 25% matrik resin fenolik yang terisi) yang memiliki porositas terendah serta mempunyai densitas tertinggi ($\rho = 2,15 \text{ gr/cm}^3$). Hal ini dikarenakan oleh ukuran partikel serbuk resin *phenolic* memiliki mesh (sekitar +270) sehingga mengisi ruang kosong pada material komposit saat perlakuan penekanan pemanasan sehingga memperluas kontak antar partikel serbuk meningkat sehingga menurunkan porositas pada permukaan material komposit. Keausan komposit menunjukkan hasil dari spesimen pengujian berdurasi 400 detik dengan suhu 100°C untuk PR-10 dan pengujian berdurasi 700 detik untuk PR-15 mengalami kerusakan. Hal itu disebabkan oleh matrik resin *Phenolic* tidak tersebar secara merata sehingga tidak mengikat untuk keseluruhan material komposit. Oleh karena itu, pentingnya untuk memilih jumlah komposisi pada *phenolic* resin dikarenakan dapat menjaga kestabilan struktur pada material komposit.

2.2 Komposit

2.2.1 Definisi Komposit

Komposit adalah material yang terbentuk dari dua kombinasi atau lebih bahan penyusunnya dengan sifat yang berbeda. Sifat-sifat yang dimiliki dari hasil kombinasi material yang dapat saling memperbaiki kelemahan pada bahan penyusunnya. Komposit terdiri dari dua bahan utama serat (penguat) dan matrik (pengikat) sebagai bahan pengikatnya [11]. Serat memiliki fungsi sebagai bahan dasar yang menyusun komposit sedangkan matrik memiliki fungsi untuk mengikat serat agar tidak berpindah posisinya, sifat matrik yang mudah diubah bentuknya dengan cara memotong dan dicetak sesuai dengan bentuk dan kebutuhannya. Selain itu, sifat komposit yang dibuat juga akan berubah karena perbedaan saat mengatur susunan pada seratnya dan hal itu bisa dimanfaatkan agar dapat menyesuaikan dengan faktor yang akan digunakan [12].

Adapun kelebihan dari material komposit di antaranya adalah [13].

1. Memiliki berat yang ringan

2. Memiliki sifat mekanik yang baik
3. Bahan yang kuat dan tahan terhadap korosi
4. Produk yang dihasilkan berkualitas
5. Harganya yang murah dan bahan yang mudah didapat

2.2.2 Klasifikasi Material Komposit

Komposit material terdiri dari dua komponen, yaitu matrik sebagai pengikat dan filler sebagai penguat. Berdasarkan matrik komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

1. *Metal Matrix Composite (MMC)*

Komposit matrik logam merupakan material yang terbuat dari bahan logam yang terdiri dari berupa unsur (elemen) dan paduan (*alloy*) yang digabungkan dengan bahan pengisi (*filler*) untuk menghasilkan unsur yang diharapkan. Karbon dan silikon karbida biasanya diperkuat dengan logam untuk meningkatkan atau mengurangi unsur-unsur agar dapat menyesuaikan dengan kebutuhan.

2. *Polymer Matrix Composite (PMC)*

Komposit polimer merupakan komposit tingkat lanjut yang dimana matrik (pengikat) menggunakan bahan resin polimer. Matrik polimer memiliki dua jenis matrik diantaranya matrik termoset dan termoplastik. Matrik poliester, epoksi, dan fenolik merupakan bahan umum yang digunakan pada matrik termoset dan termoplastik. Hal ini dikarenakan bahan komposit matrik polimer memiliki keunggulan seperti bahan yang relatif murah, kekuatan material komposit yang tinggi, dan proses pembuatannya yang simpel [14].

3. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

Komposit matrik keramik adalah material komposit yang terbuat dari bahan keramik seperti alumina kalsium dan alumino silikat yang dipadukan dengan serat karbon dan silikon karbida. Material komposit berbahan keramik (CMC) juga memiliki keunggulan seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi, temperature suhu yang tinggi, dan kepadatan rendah. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan bahan

keramik dapat diperkuat dengan bahan serat dan silikon karbida atau karbon yang dapat meningkatkan kekerasan serta kekuatan pada material komposit keramik.[15]

2.2.3 Jenis Penguat Komposit

Berdasarkan penguat komposit dapat di bedakan menjadi 3 bentuk diantaranya sebagai berikut:

1. Komposit Partikel

Komposit Partikel merupakan komposit partikulat dimana menggunakan partikel dan serbuk sebagai bahan penguatnya serta tersebar secara merata pada susunan matriknya.

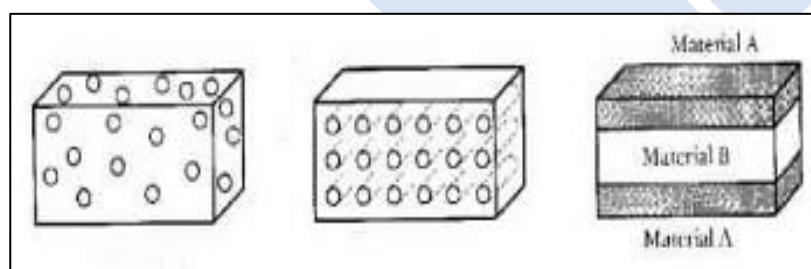
2. Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis komposit yang tersusun dari satu lapisan serta menggunakan serat (fiber) sebagai material penguat dimana terdapat matrik didalamnya. Komposit ini bisa disusun secara acak dan dibuat secara kompleks dengan cara di anyam.

3. Komposit Lapis

Komposit Lapis merupakan komposit material lapis yang terdiri dari dua bahan penyusunya yang diikat menjadi satu dan setiap lapisan bahanya memiliki sifat fisik atau karakteristiknya masing-masing [16].

Jenis komposit diatas banyak dimanfaatkan terutama pada bidang teknologi atau industri otomotif.



Gambar 2. 1 Ilustrasi penguat yang diaplikasikan pada material komposit [17].

2.3 Phenolic Resin

Resin fenolik banyak dikembangkan pada industri material maupun industri otomotif. Resin ini juga termasuk kedalam resin polimer termoset yang dimana ketika

resin diberikan perlakuan panas resin akan tetap mengeras, akan tetapi tidak dapat dibentuk ulang [5]. Resin ini juga memiliki sifat-sifat seperti perilaku termal yang baik, tingkat kekuatan yang tinggi, wujudnya yang keras, daya serap air rendah, dan dapat dicetak pada berbagai kondisi. Oleh karena itu, resin phenolic banyak di aplikasikan pada industri otomotif seperti material komposit gesekan, kampas rem, serta lapisan kopling dan baik untuk elemen rem kendaraan rel dan mesin. Ketahanan terhadap suhu hingga 250°C yang menjadi keunggulan yang diberikan *Phenolic* resin [10].

2.4 Kuningan

Kuningan merupakan campuran logam dari dua bahan seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang dapat diidentifikasi sebagai paduan tembaga. Kuningan memiliki sifat lebih kuat dan keras dari tembaga, dikarenakan sifatnya yang memiliki ketahanan terhadap korosi, penghantar panas yang baik, ulet, tahan aus, ringan, dan tidak mudah rusak. Dikarenakan sifat dari bahan kuningan kebanyakan sering diaplikasikan untuk membuat pipa, sekrup, komponen kelistrikan, dan pembuatan selongsong peluru. Dan juga densitas pada material kuningan umumnya berkisar 8,4 g/cm³, dan titik lelehnya dapat mencapai 900°C-940°C [18].

2.5 Aluminium

Aluminium merupakan unsur logam *non ferrous* atau logam ringan yang sering digunakan dalam bidang industri moderen seperti industri otomotif. Dikarenakan aluminium memiliki keunggulan seperti sifatnya yang memiliki beban yang ringan, tahan terhadap korosi, hantaran listrik dan panas yang baik, serta dapat didaur ulang dengan biayaya yang rendah. Aluminium memiliki sifat tahan terhadap karat dikarenakan pada udara bebas permukaan aluminium membentuk lapisan tipis oksida (Al₂O₃) yang memiliki ketahanan terhadap karat [19].

Tabel 2. 1 Berikut merupakan sifat fisik dari logam Aluminium [20].

Nama	Satuan
Massa jenis	2.70 gram/cm ³
Masa jenis cair	2.375 gram/cm ³
Suhu Titik Lebur	660,32°C, 1220,58°F
Titik Didih	2519°C-4566°F
Kekerasan sekala Vickers	167 Mpa
Kekerasan sekala Brinnel	245 Mpa

2.6 Pasir silika

Pasir Silika memiliki unsur kimia SiO₂ (*silicon dioxida*) yang bisa didapatkan dari silika mineral dan sintetis kristal. Silika mineral merupakan senyawa yang sering dijumpai dari hasil tambang yang berupa mineral pasir kuarsa, granit, feldspar yang terdapat kandungan kristal-kristal (SiO₂). Selain itu sifat yang dimiliki pasir silika adalah permukaan yang keras dengan (skala 7 Mohs), ketahanan terhadap korosi, berat jenis 2,65, dan titik lebur 1715°C. Oleh karena itu, penggunaan pasir silika sering digunakan industri untuk pembuatan gelas, pembuatan keramik, pengecoran beton, dan sandblasting untuk membersihkan karat pada besi [21].

Tabel 2. 2 Berikut merupakan kandungan kimia dari Pasir Silika [21].

No	Nama	Kandungan kimia	Persentase
1	Quartz	SiO ₂	81%
2	Maghemite	Fe ₂ O ₃	12%
3	Anatase	TiO ₂	5%
4	Zirconium Oxide	ZrO ₂	2%

2.7 Boiler Fly Ash

Boiler Fly Ash merupakan salah satu limbah bahan hasil dari pembakaran boiler untuk pembuatan minyak kelapa sawit. Abu Terbang (*Fly Ash*) biasanya terdiri dari cangkang kulit sawit, fiber, dan sabut kelapa sawit. Abu ini juga memiliki kandungan

silikon oksida (SiO₂) serta memiliki dua jenis pembakaran yang berbeda yaitu abu terbang (*Fly Ash*) dan abu dasar (*Bottom Ash*). Selain itu abu ini memiliki sifat fisik yang baik diantaranya memiliki porositas yang rendah, partikel abunya yang halus, dan suhu titik lebur pada suhu 190°C. Demikian bentuk dari partikel abu terbang adalah bulat dan permukaan abu yang halus, sehingga sangat bagus untuk pencampuran bahan [22].

Tabel 2. 3 Berikut merupakan kandungan kimia dari Boiler *Fly Ash* [22].

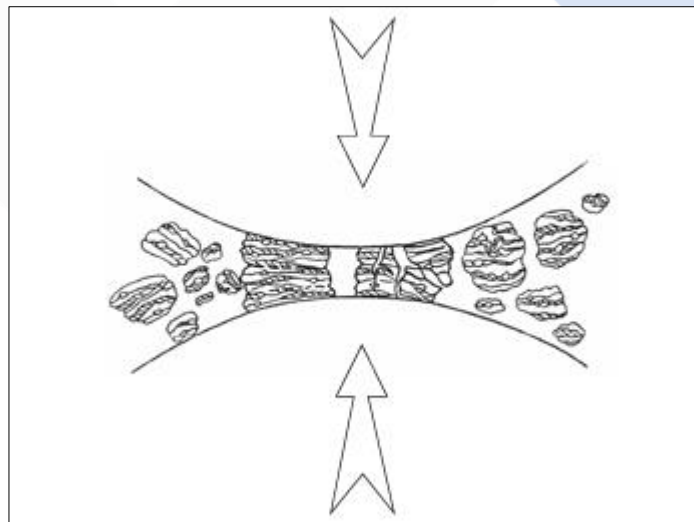
Nama	Persentase (%)
SiO ₂	50,02
Al ₂ O ₃	8,7%
Fe ₂ O ₃	2,6%
CaO	12,65%
MgO	4,23%
K ₂ O	0,72%
Na ₂ O	0,41%
H ₂ O	1,97%

2.8 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*) merupakan suatu proses pembuatan produk yang dimana menggunakan serbuk logam sebagai bahan baku utama untuk pembuatan suatu produk. Tujuan dari proses metalurgi serbuk adalah pembentukan logam dengan cara menggabungkan unsur-unsur serbuk dengan cara dipadatkan lalu dimasukkan kedalam cetakan dan pemanasan yang dilakukan secara bersamaan dibawah suhu titik lebur serbuk. Pada proses ini serbuk akan dipanaskan dan menyebabkan partikel pada serbuk saling mengikat disebabkan transformasi masa akibat dari zat atom pada permukaan partikel. Beras sisa yang merupakan hasil dari proses manufaktur dapat menurunkan efisiensi dari penggunaan bahan. Kelebihan dari metode metalurgi serbuk meliputi energi proses yang rendah, mengurangi biaya permesinan, efisiensi dalam penggunaan bahan baku, dan memiliki kemampuan untuk memproduksi produk secara masal dan cepat [23].

2.8.1 Proses Pencampuran (*Mixing*)

Proses pencampuran serbuk adalah sebuah proses pencampuran matrik (pengikat) dan material serbuk logam dengan material penguat lainnya, hal ini dilakukan agar mendapatkan pemaduan mekanik yang lebih baik [24]. Pemaduan mekanik (*mechanical alloying*) sendiri melibatkan pengulangan pada proses penggabungan, penghancuran, gaya benturan, dan pengelasan dingin berulang sehingga menghasilkan campuran yang homogen dengan bantuan media penggilingan berenergi tinggi. Proses pencampuran ini dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kering dan basah. Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi kehomogenan pada proses pencampuran serbuk meliputi ukuran partikel serbuk, jenis bahan yang digunakan, kecepatan pada saat proses pencampuran, lamanya waktu pencampuran, dan media pencampuran [25].



Gambar 2. 2 Proses pencampuran serbuk menggunakan pemaduan mekanik [25].

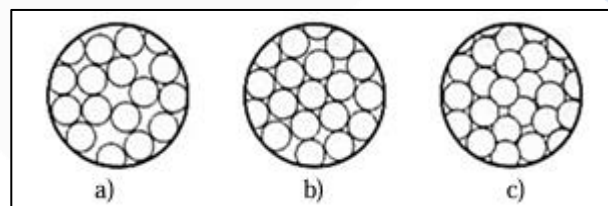
2.8.2 Proses Penekanan (*Kompaksi*)

Penekanan merupakan sebuah proses pemadatan serbuk yang dilakukan dalam cetakan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Proses penekanan dilakukan agar dapat memberikan efek tekanan terhadap serbuk, sehingga akan membuat ikatan pada partikel serbuk. Dalam proses kompaksi, terdapat dua jenis metode yang digunakan tergantung suhu kamar yang digunakan, yaitu penekanan panas (*Hot Compressing*) dan penekanan dingin (*Cold Compressing*). Penekanan panas merupakan teknik

penekanan yang dilakukan diatas suhu kamar sementara penekanan dingin dilakukan pendinginan pada suhu kamar. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses kompaksi sebagai berikut:

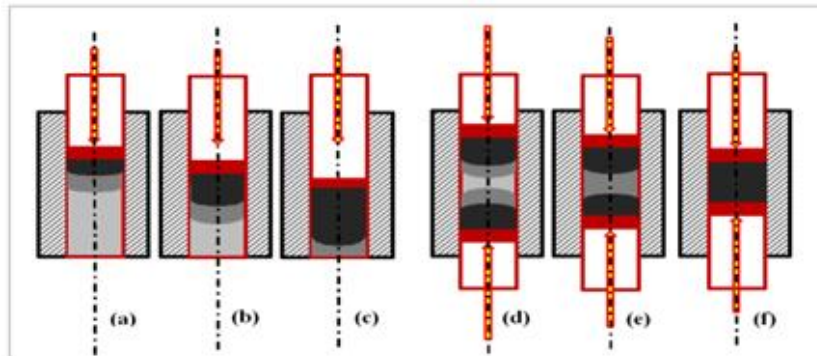
1. Ukuran partikel serbuk
2. Bentuk partikel serbuk
3. Susunan partikel serbuk
4. Distribusi ukuran serbuk

Pada saat serbuk diberikan proses penekanan, respon pada partikel serbuk akan membuat porositas yang besar akan tersusun dan terisi oleh serbuk, sehingga dapat memberikan kepadatan serbuk yang tinggi. Penekanan yang ditingkatkan dapat memberikan kepadatan yang sangat baik serta dapat menurunkan porositas yang dapat membuat susunan formasi partikel yang baru. Gambar dibawah ini menunjukan proses pemadatan serbuk logam [17].



Gambar 2. 3 Tahapan proses penekanan terhadap serbuk logam [9].

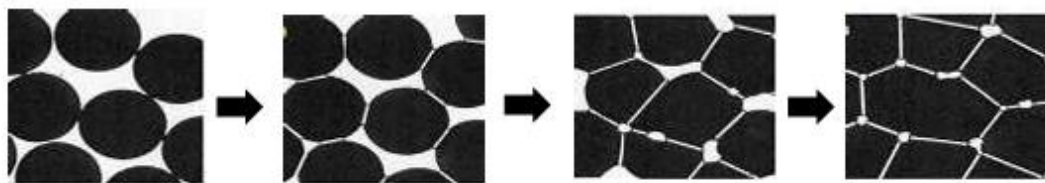
Dalam proses pemadatan dapat dilakukan dengan dua cara yang pertama menggunakan pemadatan aksi tunggal dan pemadatan aksi ganda. Dimana pemadatan aksi tunggal dilakukan untuk membentuk yang lebih sederhana dan menunjukan pemadatan serbuk di dalam cetakan dengan menggunakan penekanan tunggal. Sedangkan pemadatan aksi ganda dapat menghasilkan kepadatan yang seragam sebab dilakukan proses penekanan dua arah yang berlawanan. Dalam proses pemadatan dua arah dapat didefinisikan tekanan terendah terjadi pada bidang tengah tumpukan serbuk, sedangkan tekanan tertinggi terjadi pada bagian dinding serbuk atau arah tekanan yang dihasilkan. Berikut gambar ilustrasi pada penekanan satu arah dan dua arah [17].



Gambar 2. 4 Ilustrasi proses penekanan satu arah dan dua arah [8].

2.8.3 Proses Pemanasan (*Sintering*)

Sintering merupakan proses pemanasan yang dilakukan pada benda setelah proses kompaksi agar partikel-partikel logam dapat saling terikat yang menyebabkan nilai kepadatan (densitas) dan kekerasan meningkat pesat. Pada saat proses pemanasan, partikel-partikel pada benda dapat saling mengikat (mengumpal) karena terdapat proses kimia serta pemanasan yang dilakukan. Dengan kata lain, proses pemanasan dapat menggabungkan partikel serbuk sehingga membentuk ikatan antar serbuk dan meningkatnya nilai densitas serta mengurangi porositas pada material. Umumnya temperatur pada proses sintering berkisar 70-90% dari titik leleh serbuk utama [23].



Gambar 2. 5 Ilustrasi Tahapan Proses Sintering [23].

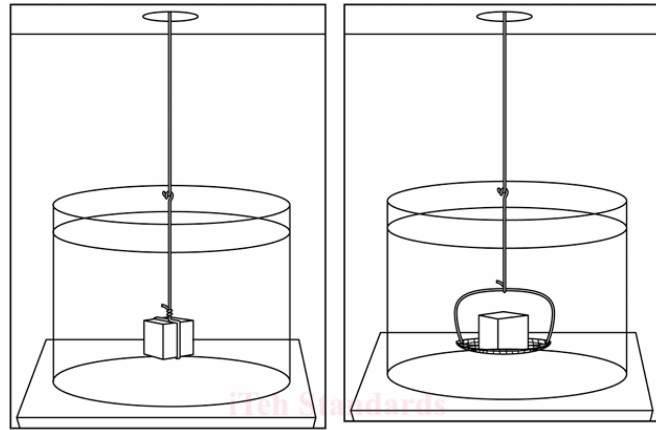
2.9 Pengujian

Penelitian ini dilakukan dengan dua pengujian yaitu uji densitas dan uji kekerasan. Dibawah ini merupakan penjelasan dari pengujian tersebut.

2.9.1 Uji Densitas

Uji Densitas merupakan pengujian yang dilakukan untuk mencari tahu masa per satuan volume pada material. Metode yang digunakan untuk pengujian densitas biasanya menggunakan hukum *Archimedes Principle* [26]. Pada penelitian ini peneliti

menggunakan metode standar ASTM B962-17.[27] Dibawah ini merupakan gambaran pengujian densitas menggunakan hukum *Archimedes*.



Gambar 2. 6 Berikut ilustrasi dari pengujian Densitas [27].

Berikut adalah rumus yang digunakan dalam pengujian Densitas.

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

Keterangan :

ρ =Densitas actual (g/cm³)

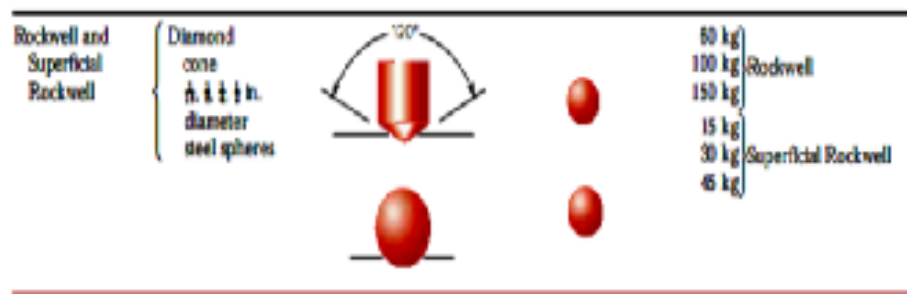
m_s = Masa spesimen kering (g)

m_g = Masa spesimen yang digantung kedalam air (g)

ρ_{H_2O} = Masa jenis air = 1 gram/cm³

2.9.2 Uji Kekerasan

Uji kekerasan (hardness test) merupakan suatu metode yang memiliki tujuan untuk mengetahui ketahanan sebuah material terhadap perubahan bentuk benda (deformasi) pada permukaan benda material yang diberikan gaya tekanaan. Deformasi sendiri merupakan keadaan sebuah material yang berubah bentuk pada struktur mikronya yang tidak bisa dibentuk kembali ke bentuk semula ketika diberikan gaya. Pengujian kekerasan yang paling umum digunakan adalah uji kekerasan Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop dan lain-lain sebagainya [28]. Pada penelitian ini peneliti menggunakan standar ASTM E110-14 untuk pengujian kekerasan [29].



Gambar 2. 7 Ilustrasi dari pengujian kekerasan [28].

2.10 Design Faktorial

Desain faktorial merupakan rancangan experiment yang dilakukan untuk menyelidiki penggunaan dua atau lebih faktor secara bersamaan. Pendekatan ini secara umum dianggap lebih efektif dalam experiment sebab bertujuan untuk mengamati dampak dari interaksi faktor dan level yang terlibat. Kedua faktor dapat saling bersinergi terhadap respon positif, namun sebaliknya keberadaan faktor lainnya dapat menghambat performa faktor lainnya. Adapun kelebihan dari desain faktorial yaitu mendapatkan informasi data yang diperoleh lebih komprehensif dikarenakan dapat mempelajari pengaruh utama dan interaksi dari beberapa kombinasi berbagai faktor-faktor tersebut. Hal tersebut dapat menjadikan hasil dari suatu penelitian lebih aplikatif dan relevan, mengingat faktor yang terlibat lebih dari satu faktor [30].

Langkah pertama dalam merancang sebuah eksperimen dengan menggunakan desain full faktorial adalah menyusun hipotesis (dugaan awal) atau melakukan analisis terhadap variasi data. Keputusan mengenai (H_0) diambil berdasarkan nilai F_{tabel} jika selama nilai statistik F_{hitung} melampaui $F_{0,05;2,27}$ (3,55) atau nilai p -value kurang dari maka H_0 dapat ditolak. Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk menentukan apakah hipotesis nol (H_0) akan ditolak atau tidak ditolaknya sebagai berikut.

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

Berikut merupakan perhitungan Anova secara umum.

1. Jumlah Kuadrat Total

$$SST = \sum_i^a = 1 \sum_j^b = 1y^2ijk - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Jumlah Kuadrat Mean

$$Adj SS : DF \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Jumlah Kuadrat Faktor

$$SS \text{ Persentase Matrik} = \frac{1}{an} \sum_i^a = 1y^2i - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$SS \text{ Suhu Sintering} = \frac{1}{bn} \sum_j^b = 1y^2j - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$SS AB = \frac{1}{n} \sum_a^a = 1 \sum_b^b = 1y^2ij - \frac{y^2}{abn} - SSA - SSB \dots\dots\dots(2.5)$$

4. Jumlah Kuadrat Error

$$SSE = SSA - SSB - SSAB \dots\dots\dots(2.6)$$

5. F-Hitung

$$Adj Ms : Error Adj Ms \dots\dots\dots(2.7)$$

6. DF

$$DF-A = a - 1 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$DF-B = b - 1 \dots\dots\dots(2.9)$$

$$DF-AB = (a - 1) (b - 1) \dots\dots\dots(2.10)$$

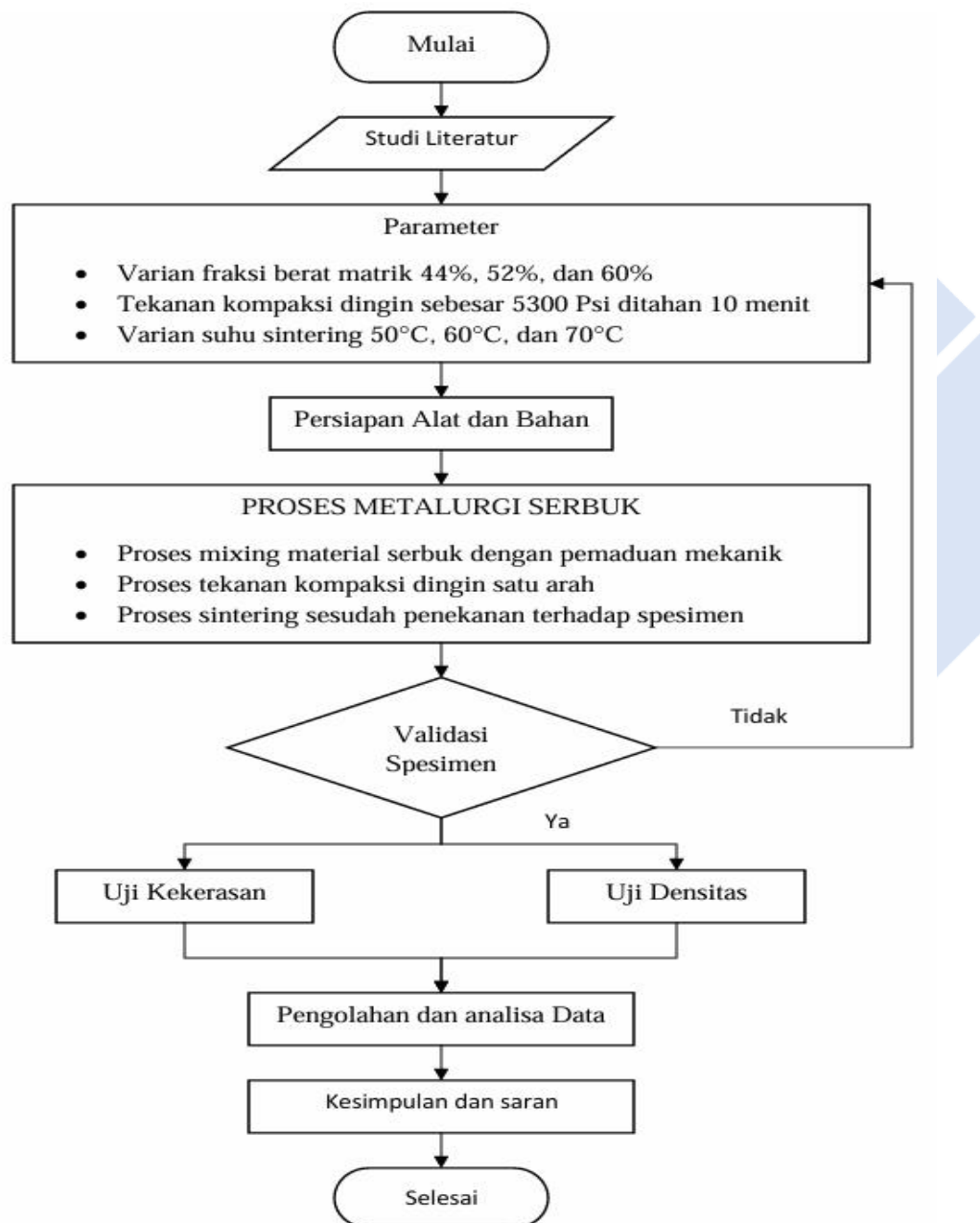
$$DF-E = ab (n - 1) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$DF-T = abn \dots\dots\dots(2.12)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Berikut ini merupakan pemaparan dari pelaksanaan penelitian dilakukan oleh peneliti.



Gambar 3. 1 Perencanaan kegiatan penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada dasarnya studi literatur adalah langkah awal untuk pelaksanaan penelitian. Disebabkan aspek yang ada pada penelitian ini sudah mencakupi beberapa informasi dan referensi literasi ilmiah yang sudah teruji termasuk dengan artikel ilmiah, buku, makalah dan lain-lain sebagainya. Studi literatur sangat berguna sebagai landasan teori dalam suatu penelitian, dikarenakan agar mendapatkan hasil yang kreatif.

3.3 Parameter Yang Digunakan

Pada penelitian ini peneliti menggunakan dua varian parameter diantaranya varian persentase matrik sebesar 44%, 52%, dan 60% dengan tekanan kompaksi sebesar 5300 Psi dan ditahan selama 10 menit lamanya. Sedangkan untuk varian suhu sintering menggunakan suhu sebesar 50°C, 60°C, dan 70°C. Tujuan dari penerapan parameter ini untuk mengetahui apakah varian persentase matrik dan suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas dan kekerasan pada spesimen uji.

3.4 Bahan dan Alat Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan untuk proses pembuatan spesimen di laboratorium bengkel permesinan tepatnya pada area laboratorium LAPALO (Las dan pabrikan logam). Sementara itu, untuk pengujian densitas dan koefisien gesek juga dilakukan pada area Laboratorium LAPALO (Las dan pabrikan logam) Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Bahan dan Alat-alat yang digunakan pada saat penelitian.

3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan dilakukan selama proses penelitian diantaranya sebagai berikut:

1. Phenolic Resin

Phenolic resin merupakan resin sintesis dari dua bahan yang berbeda yaitu fenol dan aldehida, pada penelitian ini resin yang digunakan adalah resin tipe FRJ 551, dari PT.Graha Jaya Pratama.



Gambar 3. 2 *Phenolic resin*

2. Serbuk Kuningan

Serbuk yang digunakan peneliti merupakan serbuk limbah hasil bubut yang memiliki Kandungan bahan Cu dan Zn.



Gambar 3. 3 Serbuk Kuningan

3. Serbuk Aluminium

Serbuk aluminium yang digunakan pada penelitian ini merupakan serbuk aluminium hasil daur ulang dengan komposisi kandungan AL 83,40%, FeO_2 2,674%, dan Si 10,09%.



Gambar 3. 4 Serbuk Aluminium

4. Pasir Silika

Pasir silika yang digunakan untuk penelitian ini merupakan hasil dari pencucian limbah penambangan bijih timah di Kepulauan Bangka Belitung. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sukanto dkk, Pasir silika mengandung SiO_2 81%, Fe_2O_3 12%, TiO_2 5%, dan ZrO_2 2%. Gambar dari Pasir Silika yang digunakan.



Gambar 3. 5 Pasir Silika

5. *Boiler Fly Ash*

Boiler Fly Ash yang digunakan pada penelitian kali ini adalah merupakan hasil limbah yang terdapat pada area cerobong asap hasil pengolahan minyak sawit PT. Mutiara Agro Sejahtera. Bahan *Boiler Fly Ash* merupakan hasil dari pembakaran sisa cangkang kelapa sawit dan fiber atau tandan kosong kelapa sawit. Pada

penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh P. Simanjorang, kandungan yang terdapat pada Boiler Fly Ash adalah 50,02% SiO_2 , 8,7% Al_2O_3 , 2,6% Fe_2O_3 , 12,65% CaO , dan kandungan lainnya. Dibawah ini merupakan gambar *Boiler Fly Ash* yang telah dikumpulkan.



Gambar 3. 6 Abu *Boiler Fly Ash*

3.4.2 Alat-alat penelitian

Pada penelitian yang dilakukan peneliti menggunakan beberapa alat-alat yang berbeda diantaranya:

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

Mesin *Ball Mill* digunakan untuk menggiling bahan seperti matrik (pengikat) dan serbuk logam lainnya. Terdapat bola baja di dalam tabung mesin *Ball Mill* yang berfungsi sebagai pemisah partikel-partikel serbuk dengan cara bola baja saling bertabrakan dengan serbuk yang ada didalam tabung sehingga mendapatkan campuran yang homogen dan lebih merata.



Gambar 3. 7 Mesin Ball Mill

2. Mesin Press Hidrolik

Mesin press ini digunakan untuk membantu proses penekanan pada material komposit yang terdiri dari bahan getah perca sebagai matrik dan serbuk kuning, serbuk aluminium, dan *Boiler Fly Ash* sebagai penguat. Tujuannya agar dapat memberikan efek tekanan sehingga dapat menaikkan masa jenis dan ikatan pada material komposit. Mesin press yang digunakan peneliti memiliki penekanan dua arah dan alat pembaca tekanan.



Gambar 3. 8 Mesin Press Hidrolik

3. Timbangan Digital

Alat ini digunakan untuk menimbang berat atau masa jenis serbuk matrik dan penguat sebelum masuk pada proses mixing serta untuk menimbang spesimen uji sebelum dan sesudah melakukan proses pengujian.



Gambar 3. 9 Timbangan Digital

4. Cetakan Spesimen

Cetakan memiliki fungsi sebagai alat untuk membentuk material komposit yang dilakukan dengan proses penekanan dan pemanasan secara bersamaan. Alat ini berbentuk kampas rem honda dan yamaha dengan kedalaman 5mm. Dibawah ini merupakan alat cetakan spesimen yang digunakan.



Gambar 3. 10 Cetakan Spesimen

5. Mixer (Pengaduk)

Mixer digunakan untuk mencampur matrik phenolic resin dan penguat yang sudah digiling menggunakan *Ball Mill Machine* selama 4 jam.



Gambar 3. 11 Mixer

6. Oven

Oven digunakan untuk melakukan proses sintering setelah melakukan proses kompaksi. Proses sintering bertujuan untuk membentuk kembali ikatan anatar satu partikel dengan partikel yang lain.



Gambar 3. 12 Oven

7. Gelas Ukur

Gelas Ukur digunakan sebagai wadah untuk meletakkan cairan pada saat pengujian densitas, sebelum pengujian densitas dilakukan gelas ukur harus terisi cairan atau fluida agar dapat diletakan spesimen kedalam wadah untuk di uji. Dibawah ini merupakan gelas ukur yang digunakan.



Gambar 3. 13 Gelas Ukur

8. Alat Uji Densitas

Alat pengujian Densitas berfungsi untuk mengetahui berat jenis dari spesimen yang dimasukan kedalam cairan, hal ini dilakukan agar peneliti dapat mengetahui berat jenis dari spesimen kering dan spesimen basah ketika dimasukan kedalam cairan. Berikut merupakan gambar dari alat uji densitas yang digunakan.



Gambar 3. 14 Alat Uji Densitas

9. Alat uji kekerasan *Portable*

Alat uji kekerasan *Portable* merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kekerasan yang akurat dari permukaan spesimen material komposit kampas rem dalam penelitian ini. Dibawah ini merupakan gambar alat uji *portable*.



Gambar 3. 15 Alat Uji Kekerasan *Portable*

3.5 Proses penelitian

Berikut merupakan prosedur penelitian yang menggunakan metode metalurgi serbuk yang akan diterapkan.

3.5.1 Metalurgi Serbuk

1. Proses pencampuran

Proses pencampuran ini dilakukan untuk melakukan pemaduan mekanik serbuk logam dan *boiler fly ash* menggunakan ball mill machine. Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam proses ini meliputi rasio bola baja terhadap serbuk (ball to powder ratio) BPR sebesar 10:1 dan kecepatan putaran pada mesin sebesar 90 RPM, dan proses penggilingan dilakukan selama 4 jam atau 240 menit. Proses mechanical alloying ini terdiri dari dua tahapan yang terjadi secara bersamaan yaitu pencampuran dan penggilingan serbuk. Metode ini memungkinkan proses pencampuran yang homogen dari material serbuk, menghasilkan serbuk yang lebih halus dan seragam sebelum dilakukannya pemaduan mekanis pada semua bahan. Setelah dilakukannya proses pencampuran dan pemaduan mekanik, peneliti menggunakan beberapa varian persentase matrik dan penguat dalam tiga level: 44% matrik dan 56% penguat, 52% matrik dan 48% penguat, 60% matrik dan 40% penguat. Tiap-tiap varian membutuhkan berat serbuk sebanyak 20 gr untuk setiap sampel. Berat ini ditimbang menggunakan timbangan digital dengan kecemartan 0,01 kg. Pada penelitian yang dilakukan peneliti menggunakan varian berat serbuk matrik dan penguat ke dalam alat cetakan dengan berat 20 gr. Untuk membuat sampel dengan ketebalan antara 8-10mm dan menggunakan kombinasi

mekanik dari serbuk *Phenolic* resin sebagai matrik dan serbuk logam dan *boiler fly ash* sebagai penguat bahan, dengan berat total 20 gram.

2. Proses Kompaksi dingin

Pemadatan ini dilakukan dengan cara menggunakan mesin press hidrolik yang memiliki penekan atas dan difasilitasi dengan alat pembaca tekanan. Sebelum diperlakukan penekanan dingin cetakan diletakan pada mesin press dan serbuk dimasukan ke dalam cetakan secara merata. Setelah itu cetakan besi yang berbentuk lingkaran dimasukan ke dalam bagian alat cetakan. Selanjutnya diberikan penekanan atas dengan alat pembaca ukur untuk membaca tekanan yang diberikan. Tekanan dingin yang akan digunakan adalah sebesar 5300 psi dan ditahan selama 10 menit selama waktu penekanan.

3. Sintering

Proses pemanasan yang menggunakan metode sintering berguna untuk mengikat antara unsur-unsur partikel paduan komposit berguna agar saling mengikat disebabkan adanya proses perlakuan pemanasan dan ikatan partikel yang terjadi disaat melakukan proses sintering. Pada penelitian yang dilakukan peneliti menggunakan variasi suhu 50°C, 60°C, dan 70°C dengan waktu tunggu selama 10 menit. Pada saat selesai melakukan sintering spesimen dikeluarkan dan didinginkan pada suhu luar ruangan.

3.5.2 Validasi Spesimen

Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi setiap spesimen yang telah melalui proses metalurgi serbuk apakah sudah layak di uji atau belum. Jika ada kecacatan pada spesimen seperti adanya keretakan, rapuh, dan hancur maka harus mengulangi tahapan proses metalurgi serbuk dengan cara melakukan pencetakan ulang. Akan tetapi jika spesimen sudah memenuhi syarat untuk melakukan pengujian maka dilanjutkan ke tahap proses pengujian spesimen.

3.6 Uji Densitas

Uji densitas bertujuan dengan cara mengukur berat spesimen dengan timbangan digital agar dapat mengetahui massa jenis sampel. Proses pengujian dilakukan dengan cara menimbang spesimen kering sebelum dimasukan ke dalam cairan, lalu spesimen kering yang sudah ditimbang dimasukan ke dalam cairan agar mendapatkan data

dengan cara ditimbang ulang. Proses uji pemadatan menggunakan standar ASTM B:962-17.

3.7 Uji Kekerasan

Uji kekerasan bertujuan untuk mencari tahu kekerasan atau ketahanan pada spesimen yang diberikan perlakuan penekanan pada permukaan material. Penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan *portable* yang memiliki beban tekan sebesar 1kg dan benda penekanan dengan spesimen berbentuk bola dengan ukuran diameter 2mm. Untuk uji kekerasan mengacu pada standar ASTM E110-14.

3.8 Pengolahan Data

Proses pengolahan data didapatkan dari hasil pengujian densitas dan pengujian kekerasan. Dimana akan dianalisis serta dibuat dalam bentuk grafik dan tabelnya. Tujuan dari proses pengolahan data untuk mengevaluasi hasil setelah melakukan pengujian densitas dan kekerasan. Berikut ini merupakan desain dari tabel pengolahan data.

Tabel 3. 1 Tabel Pengolahan data pengujian Densitas

No	Persentase	Suhu	Hasil pengujian (gr)			Rata-Rata
	Matrik	Sintering	Spesimen uji			
	(%)	(°C)	1	2	3	gram/cm ³
1	44					
2	44					
3	44					
4	52					
5	52					
6	52					
7	60					
8	60					
9	60					

Tabel 3. 2 Tabel pengolahan data pengujian Kekerasan

No	Persentase	Suhu	Hasil pengujian kekerasan (gr)			Rata-rata
	Matrik	Sintering				
	(%)	(°C)	Spesimen Uji			
			1	2	3	HB
1	44					
2	44					
3	44					
4	52					
5	52					
6	52					
7	60					
8	60					
9	60					

3.9 Analisis Data

Pada tahapan ini peneliti menggunakan metode desain faktorial. Peneliti menggunakan beberapa variasi volume serbuk dan kompaksi sebagai pengaruh dimana masing-masing memiliki 3 level yang berbeda. Selanjutnya, level parameter di pangkatkan dengan dua faktor mendapatkan hasil 9 sampel dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali sehingga data yang didapatkan sebanyak 27 sampel.

Berikut ini merupakan desain dari tabel pengolahan dan faktorial yang digunakan.

Tabel 3. 3 Desain tabel parameter dan level pengujian

Faktor	Level		
Fraksi Berat (%)	44	52	60
Sintering (°C)	50	60	70

Tabel 3. 4 Desain tabel pengolahan data faktorial

Eksperiment	Persentase matrik (%)	Suhu sintering (°C)
1	44	50°C
2	44	60°C
3	44	70°C
4	52	50°C
5	52	60°C
6	52	70°C
7	60	50°C
8	60	60°C
9	60	70°C

Tabel 3. 5 Desain Tabel Anova

Faktor	DF	ADJ SS	ADJ MS	F-Value	P-Value
Persentase Matrik					
Suhu Sintering					
Persentase Matrik*					
Suhu Sintering					
Error					
Total					

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

Hipotesis nol untuk eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis Persentase Matrik

$H0_1$: Varian persentase matrik komposit material kampas rem tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H0_2$: Varian persentase matrik komposit material kampas rem tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

2. Hipotesis Suhu Sintering

$H0_3$: Varian suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H0_4$: Varian suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

3. Hipotesis interaksi varian persentas matrik dan varian suhu sintering

$H0_5$: Varian persentase matrik dan varian suhu sintering berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H0_6$: Varian persentase matrik dan varian suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan hasil dari penelitian diatas, maka peneliti dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

Semakin besar persentase matrik dan semakin rendahnya suhu sintering yang diberikan dapat meningkatkan nilai densitas dan kekerasan material kampas rem. Hal ini dikarenakan matrik memiliki densitas awal yang rendah sehingga volume yang dibutuhkan menjadi lebih banyak untuk mencapai massa yang telah ditentukan akan tetapi nilai kekerasan meningkat. Kemudian untuk varian suhu sintering tidak berpengaruh signifikan untuk meningkatkan nilai densitas dan kekerasan, akan tetapi ketika matrik diberikan perlakuan panas pada saat proses sintering dapat membuat serbuk matrik membasahi serbuk penguat dan meyebar secara merata sehingga menciptakan ikatan partikel-partikel serbuk saling mengikat akibat dari mekanisme *interlocking* antara permukaan serbuk matrik dan penguat yang mengakibatkan porositas menurun serta nilai kekerasan dan nilai densitas juga meningkat. Hal ini dapat dilihat dari nilai kekerasan tertinggi sebesar 147 HB dengan persentase matrik 60% serta suhu sebesar 50°C dan nilai kekerasan terkecil sebesar 113 HB dengan persentase matrik 44% dengan suhu sebesar 50°C. Kemudian untuk nilai densitas tertinggi sebesar 1,505 gram/cm³ dengan persentase matrik 44% serta suhu sebesar 50°C dan nilai densitas terkecil sebesar 1,240 gram/cm³ dengan persentase matrik sebesar 60% serta suhu sebesar 70°C.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya lebih baik menggunakan kompaksi panas penekanan dua arah agar mendapatkan penekanan yang seragam.
2. Lebih baik ditingkatkan ketelitian saat melepaskan spesimen pada cetakan agar tidak retak atau pecah saat dikeluarkan.
3. Menambahkan parameter kedalam penelitian seperti variasi tekanan kompaksi.
4. Disarankan untuk mevariasikan serbuk matrik dengan persentase 40% kebawah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Langga, M. Sabri, A. Hamsi, S. Abda, and Indra, "Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2018 (ISSN : 0216-7492) Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Maret 2018 (ISSN : 0216-7492)," no. 1, pp. 57–70, 2019.
- [2] Suhardiman and M. Syaputra, "Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa," *J. Invotek Polbeng*, vol. 07, no. 2, pp. 210–214, 2017.
- [3] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, and S. W. Yakti, "Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [4] I. A. Wahyudie, Y. Oktriadi, and R. Irwansyah, "Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB)," vol. 10, no. 10, pp. 7696–7704, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10i10.9208.
- [5] M. Asim, N. Saba, M. Jawaaid, and M. Nasir, "A review on Phenolic resin and its Composites A Review on Phenolic Resin and its Composites," no. October, 2017, doi: 10.2174/1573411013666171003154410.
- [6] M. S. Yafiedan and Widyastuti, "Pengaruh Variasi Temperatur Sintering dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Densitas dan Kekerasan pada Mmc W-Cu Melalui Proses Metalurgi Serbuk," *Tek. Pomits*, vol. 3, no. 1, p. 6, 2014.
- [7] A. A. A. Triadi, I. G. N. K. Yudhyadi, I. M. Suartika, and N. H. Sari, "Efek suhu sintering terhadap sifat kekerasan bahan campuran Al/Cu/Sic melalui proses metalurgi serbuk," *Din. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, p. 80, 2019, doi: 10.29303/dtm.v9i2.277.
- [8] S. Muhammad Asep¹, Sugiyarto², Somawardi³, Achmad Rusdy⁴, "Kekerasan AMC diperkuat SiO₂ Teknik Mesin dan Manufaktur , Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Kawasan Industri Airkantung Sungailiat Bangka-33211- Telepon (0717) 93586 Email : sukanto@polman-babel.ac.id dan Kekerasan AMC Diperkuat SiO₂ Asep," vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [9] M. Fawaaid and S. Hamdi, "Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu," *Pros. Semin. Nas. Ind. Serv. III "Peningkatan Daya Saing Ind. Nas. Melalui Integr. Ind. Baja Berkelanjutan Menuju ASEAN Econ. Community 2015*, pp. 1–8, 2015.
- [10] I. O. P. C. Series and M. Science, "Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance as A Binder in Non-Asbestos Organic Brake Pad Effect of Phenolic Resin on Density , Porosity , Hardness , Thermal Stability , and Friction Performance," 2019, doi: 10.1088/1757-899X/547/1/012012.

- [11] M. Nurul Ihsan, D. Wicaksono, and S. Sehono, "Uji Keausan Kampas Rem Berbahan Limbah Organik Menggunakan Metode Ogoshi," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 8, no. 1, pp. 92–96, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.559.
- [12] L. Diana, A. Ghani Safitra, and M. Nabel Ariansyah, "Analisis Kekuatan Tarik pada Material Komposit dengan Serat Penguat Polimer," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 4, no. 2, pp. 59–67, 2020.
- [13] M. H. Alamsyah and G. Gundara, "Analisis Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem Dengan Penguat Serbuk Kayu Jati Dan Serbuk Kuningan," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–13, 2021, doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.870.
- [14] I. W. Widiarta, I. W. P. Nugraha, and K. R. Dantes, "Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (Hibiscus Tiliaceust) Dengan Matrik Polyester," *J. Jur. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 1–17, 2017, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20180416031047id_/https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JJTM/article/viewFile/11411/7312
- [15] *Half-title Composite Materials Mechanics of.*
- [16] R. M. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, Second Edi. Taylor & Francis Book, 2018.
- [17] E. Ricky, "Proses Metalurgi Serbuk Pada Fabrikasi Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing," *Skripsi Politek. manufaktur bangka belitung*, pp. 1–88, 2022, [Online]. Available: http://repository.polman-babel.ac.id/id/eprint/716/1/Ricky_Laporan_Projek_Akhir_Ricky_Irwansyah_1041955.pdf
- [18] G. P. S. Hutahaean, "Pengaruh Penambahan Seng (Zn) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Paduan Tembaga–Seng (Cu–Zn) Melalui Proses Pengecoran," pp. 1–4.
- [19] J. Hasil Karya Ilmiah, A. Pengaruh Kedalaman, S. Tinggi Gelombang Perairan Terhadap Olah Gerak Kapal Hafidh Ivandri, and I. Pujo Mulyatno, "Jurnal Teknik Perkapalan," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, p. 785, 2017, [Online]. Available: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [20] R. B. S. Majanasastra, "Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 dan Aluminium Al 6063," vol. 4, no. 2, pp. 15–30.
- [21] A. Penggunaan Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Ari Sasmoko Adi and A. Sasmoko Adi, "Analisa Penggunaan Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Beton Analysis of Use of Silica Sand As Replacement of Fine Aggregate on Concrete Mixture," *J. Ris. Pembang.*, vol. 1, no. 1, pp. 36–47, 2018.
- [22] K. D. Langga, M. Sabri, A. Hamsi, S. Abda, and Indra, "Pembuatan dan

- Analisa Sifat Mekanik Komposit Dengan Penguat Abu (*Fly Ash*) Cangkang Sawit Untuk Bahan Kampas Rem Sepeda Motor,” no. 1, pp. 57–70, 2019.
- [23] Wahyono Suprpto, *Teknologi Metalurgi Serbuk*. Solo: Pena Mas Publising, 2016.
 - [24] A. Junaidi, “Pengembangan Metode Pembuatan Elektroda Tembaga – Karbon Dengan Metalurgi Serbuk,” *J. Sains dan Teknol. Indones.*, vol. 15, no. 2, pp. 68–77, 2019, doi: 10.29122/jsti.v15i2.941.
 - [25] C. Suryanarayana, “Mechanical Alloying : A Novel Technique to Synthesize Advanced Materials,” vol. 2019, 2019.
 - [26] P. K. Pertiwi, A. Leny, K. Yusro, and P. M. Si, “Uji Densitas dan Porositas pada Batuan dengan Menggunakan Neraca O Houss dan Neraca Pegas,” *Fis. Lab.*, pp. 1–5, 2019.
 - [27] ASTM International, “Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes’ Principle,” *Astm B962-13*, pp. 1–7, 2013.
 - [28] K. E. Sulaeman. M, Budiman. H, “Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada Cangkul di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 10, no. 1, pp. 539–543, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/1460>
 - [29] E110-14, “Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers,” *ASTM B. Stand.*, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1520/E0110-14.2.
 - [30] Ahmad, L. L. Salomon, and Jessica, “Desain Eksperimen Untuk Meningkatkan Kualitas Kekuatan Produk Dengan Pendekatan Analisis Desain Faktorial Ahmad 1) , Lithrone Laricha Salomon 1) dan Jessica 2),” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 209–220, 2018.

Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Data Pribadi

Nama : Devrin Dwiki Saputra
Tempat Tanggal Lahir : Sungailiat, 09-18-2003
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam



Alamat :Jln. Imam Bonjol GG. Dieng 2 GG. Air Merapin,
Kecamatan Parit Padang, Kabupaten Bangka Belitung

No Telpn/HP : 081272174586

Email : devrinboy@gmail.com

2. Riwayat Pendidikan

SDN 8 Sungailiat

SMPN 5 Sungailiat

SMKN 1 Sungailiat

Sungailiat, 02 Juli 2025

Devrin Dwiki Saputra

Lampiran 2

Hasil Uji *Particle Size Analyzer (PSA) Phenolic Resin*



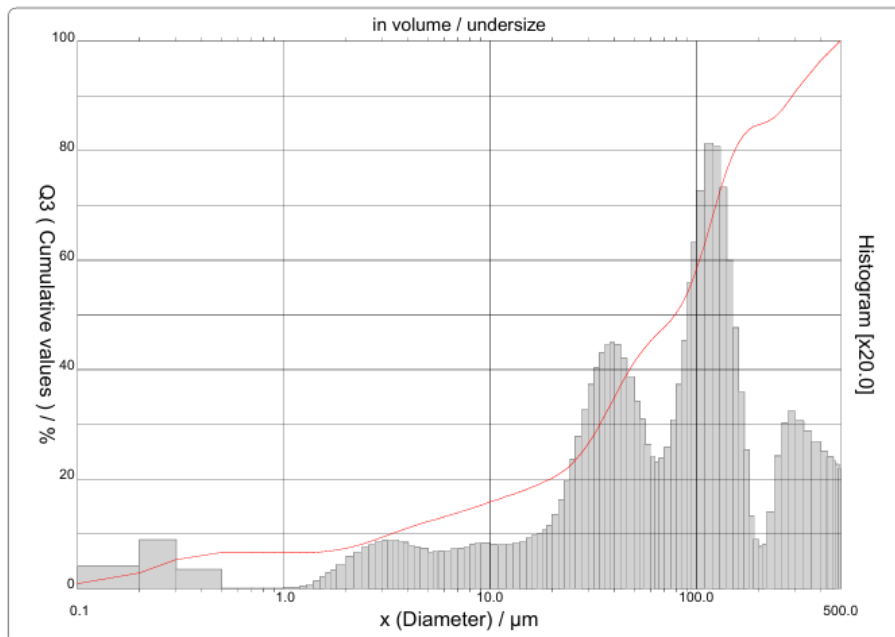
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

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

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 06/17/2025 Time : 07:40:24AM
Index meas. : 1359
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 1 %
Diameter at 10% : 3.30 μm
Diameter at 50% : 78.49 μm
Diameter at 90% : 293.18 μm
Mean diameter : 107.95 μm
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1359/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_	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Sample Name : GP	Obscuration : 1 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 3.30 µm
Comments :	Diameter at 50% : 78.49 µm
-----	Diameter at 90% : 293.18 µm
Operator : BBG	Mean diameter : 107.95 µm
Company : FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer
Location : MALANG	Density/Factor : -----
Date : 06/17/2025 Time : 07:40:24AM	Specific surface : -----
Index meas. : 1359	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Database name : CilasDB1	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	0.98	2.90	5.39	6.62	6.62	6.62	6.62	6.62	6.63	6.64
q3	0.05	0.20	0.44	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	6.66	6.69	6.75	6.84	6.96	7.09	7.40	7.78	8.18	8.60
q3	0.02	0.03	0.06	0.10	0.14	0.16	0.21	0.28	0.33	0.37
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	9.01	9.42	9.81	10.18	10.53	10.85	11.15	11.54	11.89	12.31
q3	0.39	0.42	0.43	0.44	0.44	0.42	0.42	0.38	0.37	0.36
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	12.58	12.84	13.16	13.54	13.91	14.26	14.60	14.94	15.27	15.87
q3	0.33	0.34	0.33	0.34	0.36	0.36	0.38	0.40	0.41	0.41
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	16.40	16.88	17.33	17.76	18.17	18.58	18.99	19.39	19.79	20.20
q3	0.40	0.39	0.40	0.41	0.42	0.45	0.48	0.50	0.53	0.57
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	20.88	21.64	22.51	23.49	24.93	26.50	28.18	29.89	31.61	33.29
q3	0.67	0.80	0.98	1.18	1.39	1.62	1.86	2.01	2.15	2.22
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	34.90	37.15	39.13	41.38	42.77	43.96	45.23	46.05	46.80	47.78
q3	2.24	2.22	2.09	1.92	1.70	1.54	1.31	1.20	1.15	1.19
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	49.02	50.41	51.99	53.80	55.91	58.18	63.02	67.97	72.49	76.29
q3	1.28	1.54	1.86	2.26	2.78	3.16	3.62	4.06	4.03	3.66
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	79.18	81.33	82.85	83.86	84.36	84.68	84.94	85.20	86.05	87.40
q3	2.99	2.38	1.79	1.26	0.66	0.45	0.38	0.40	0.70	1.20
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	88.96	90.52	92.56	94.31	96.28	97.55	98.68	99.03	99.69	100.00
q3	1.50	1.61	1.53	1.43	1.33	1.25	1.20	1.16	1.13	1.09

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1359/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 3

Hasil Uji Particle Size Analyzer (PSA) Aluminium (Al)



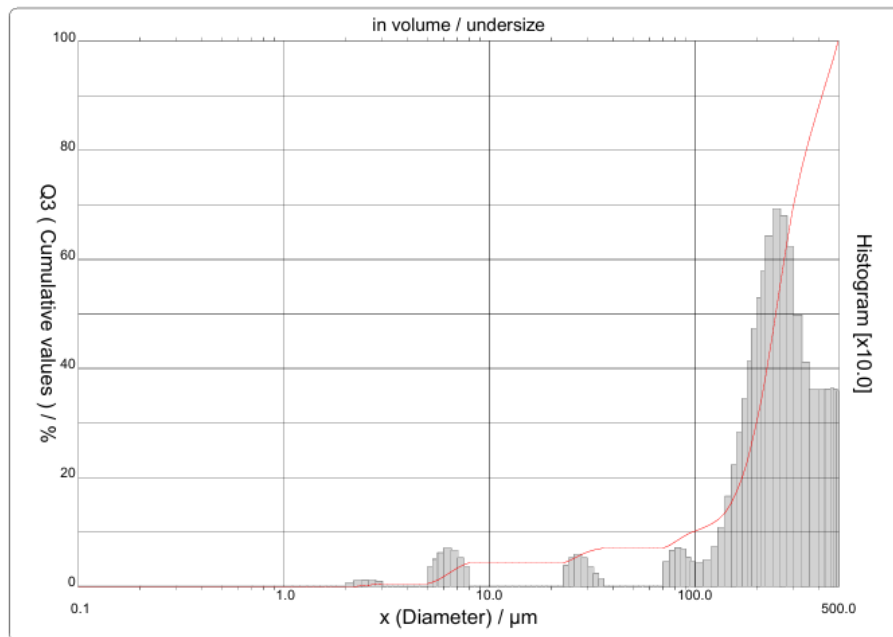
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

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

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 06/17/2025 Time : 07:18:40AM
Index meas. : 1353
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 0 %
Diameter at 10% : 96.64 μm
Diameter at 50% : 247.66 μm
Diameter at 90% : 416.70 μm
Mean diameter : 252.14 μm
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1353m41.3.0.0.1Eh.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 : AI	Obscuration : 0 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 96.64 µm
Comments :	Diameter at 50% : 247.66 µm
-----	Diameter at 90% : 416.70 µm
Operator : BBG	Mean diameter : 252.14 µm
Company : FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer
Location : MALANG	Density/Factor : -----
Date : 06/17/2025 Time : 07:18:40AM	Specific surface : -----
Index meas. : 1353	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Database name : CilasDB1	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	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	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.22	0.35
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.11
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	0.48	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
q3	0.12	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	0.88	1.29	1.93	2.78	3.52	4.06	4.40	4.40	4.40	4.40
q3	0.35	0.49	0.61	0.70	0.66	0.51	0.35	0.00	0.00	0.00
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40	4.40
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	4.40	4.40	4.76	5.23	5.89	6.43	6.77	6.98	7.10	7.10
q3	0.00	0.00	0.37	0.52	0.58	0.51	0.35	0.23	0.14	0.00
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	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	7.57	8.21	8.86	9.45	9.88	10.24	10.85	11.49	12.36	13.58
q3	0.45	0.65	0.70	0.68	0.52	0.46	0.42	0.48	0.71	1.08
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	15.31	17.49	20.09	23.08	26.48	30.17	34.09	38.18	46.69	55.12
q3	1.65	2.22	2.81	3.43	4.13	4.72	5.27	5.77	6.42	6.91
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	62.78	69.32	76.53	81.96	87.76	91.72	95.42	96.61	98.90	100.00
q3	6.78	6.22	4.96	4.10	3.61	3.59	3.60	3.63	3.61	3.57

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1353/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 4

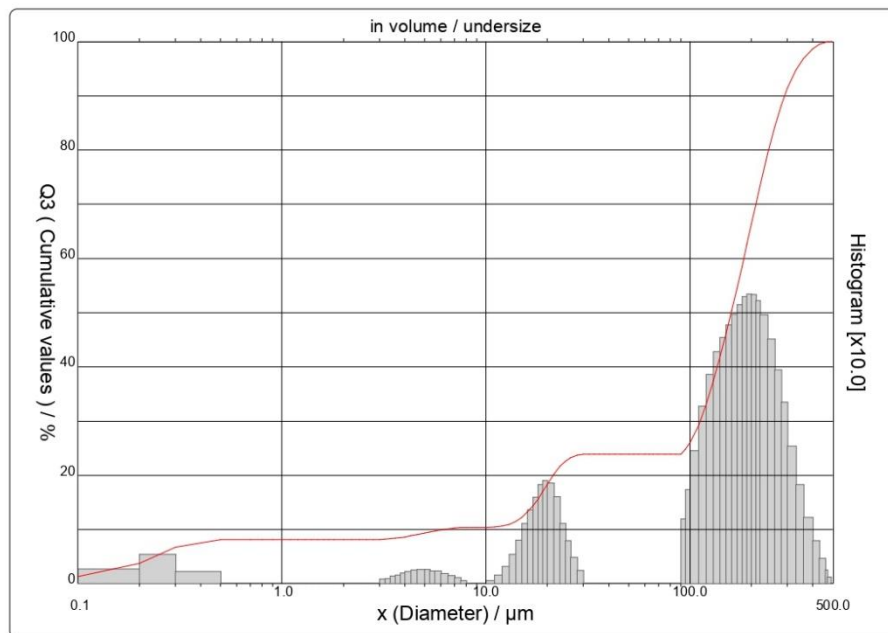
Hasil Uji Particle Size Analyzer (PSA) Kuningan (Cu-Zn)



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	: CuZn	Obscuration	: 0 %
Sample type	: Serbuk	Diameter at 10%	: 6.13 μm
Comments	:	Diameter at 50%	: 159.10 μm
-----		Diameter at 90%	: 290.96 μm
Operator	: BBG	Mean diameter	: 156.56 μm
Company	: FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer	
Location	: MALANG	Density/Factor	-----
Date : 06/17/2025	Time : 07:28:15AM	Specific surface	-----
Index meas.	: 1357	Meas./Rins.	: 15s/15s/0
Database name	: CilasDB1	SOP name	: Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1357/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhVQ-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 : CuZn	Obscuration : 0 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 6.13 µm
Comments :	Diameter at 50% : 159.10 µm
-----	Diameter at 90% : 290.96 µm
Operator : BBG	Mean diameter : 156.56 µm
Company : FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer
Location : MALANG	Density/Factor : -----
Date : 06/17/2025 Time : 07:28:15AM	Specific surface : -----
Index meas. : 1357	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Database name : CilasDB1	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	1.34	3.77	6.72	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
q3	0.07	0.25	0.53	0.21	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	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18	8.18
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	8.18	8.18	8.24	8.31	8.41	8.52	8.65	8.86	9.08	9.37
q3	0.00	0.00	0.07	0.08	0.13	0.15	0.18	0.21	0.24	0.25
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	9.57	9.74	9.95	10.14	10.28	10.37	10.41	10.41	10.41	10.41
q3	0.25	0.22	0.22	0.17	0.14	0.09	0.04	0.00	0.00	0.00
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	10.46	10.63	10.97	11.51	12.26	13.24	14.37	15.62	16.98	18.32
q3	0.04	0.14	0.31	0.53	0.79	1.10	1.35	1.58	1.82	1.89
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	20.16	21.64	22.60	23.24	23.72	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94
q3	1.84	1.59	1.10	0.78	0.47	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94	23.94
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	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	23.94	23.94	23.94	23.94	24.82	26.04	29.25	33.17	37.43	41.80
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18	1.72	2.43	3.25	3.84	4.26
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	46.12	50.37	54.53	58.59	62.54	66.32	69.91	73.26	79.22	84.20
q3	4.52	4.76	4.96	5.13	5.28	5.32	5.32	5.20	4.95	4.49
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	88.23	91.41	94.73	96.91	98.67	99.45	99.87	99.94	100.00	100.00
q3	3.93	3.33	2.52	1.81	1.21	0.78	0.45	0.24	0.10	0.00

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1357/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhvQ.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.9.45/635

Lampiran 5

Hasil Uji Particle Size Analyzer (PSA) Pasir Silika (SiO₂)



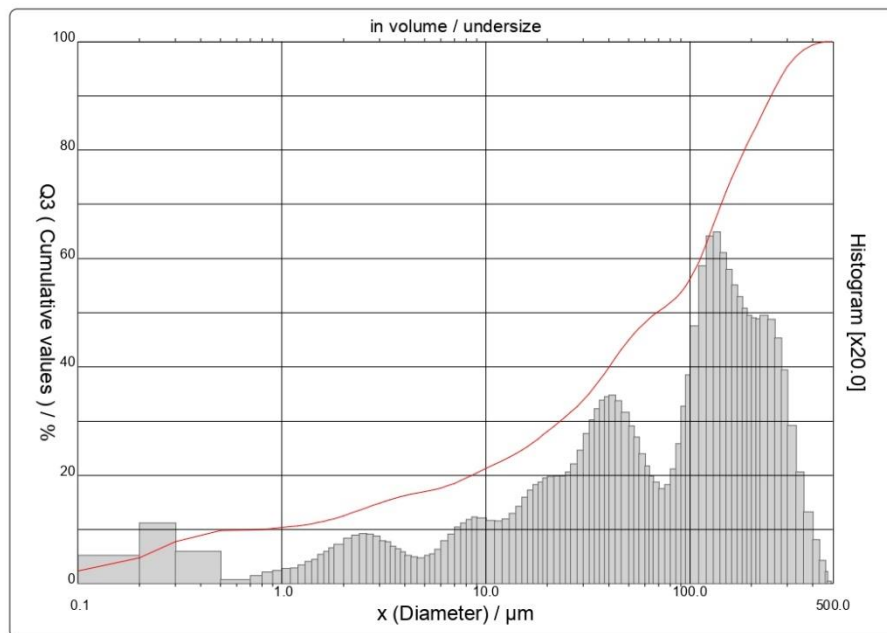
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_
Sample Name : SiO₂
Sample type : Serbuk
Comments :

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 06/17/2025 Time : 07:44:08AM
Index meas. : 1361
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 2 %
Diameter at 10% : 0.75 μm
Diameter at 50% : 68.62 μm
Diameter at 90% : 249.99 μm
Mean diameter : 101.01 μm
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1361/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhVQ-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 : SiO2	Obscuration : 2 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 0.75 µm
Comments :	Diameter at 50% : 68.62 µm
-----	Diameter at 90% : 249.99 µm
Operator : BBG	Mean diameter : 101.01 µm
Company : FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer
Location : MALANG	Density/Factor : -----
Date : 06/17/2025 Time : 07:44:08AM	Specific surface : -----
Index meas. : 1361	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Database name : CilasDB1	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	2.39	4.78	7.81	9.81	9.94	10.06	10.22	10.38	10.55	10.71
q3	0.13	0.26	0.55	0.29	0.03	0.07	0.10	0.11	0.13	0.14
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	10.89	11.09	11.29	11.52	11.76	12.01	12.52	13.05	13.57	14.06
q3	0.17	0.20	0.21	0.26	0.29	0.32	0.36	0.41	0.44	0.45
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	14.51	14.91	15.25	15.56	15.82	16.05	16.25	16.50	16.72	16.98
q3	0.45	0.43	0.39	0.38	0.34	0.31	0.29	0.26	0.24	0.23
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	17.18	17.38	17.67	18.09	18.54	19.02	19.50	19.98	20.45	21.30
q3	0.25	0.27	0.31	0.39	0.45	0.51	0.55	0.59	0.61	0.60
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	22.04	22.71	23.35	23.99	24.65	25.34	26.04	26.74	27.42	28.09
q3	0.57	0.57	0.59	0.64	0.71	0.79	0.85	0.91	0.93	0.97
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	29.05	29.95	30.79	31.61	32.71	33.85	35.05	36.28	37.52	38.75
q3	0.98	0.99	0.98	1.02	1.10	1.22	1.38	1.50	1.61	1.68
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	39.94	41.63	43.16	44.93	46.07	47.07	48.18	48.89	49.51	50.25
q3	1.72	1.73	1.68	1.57	1.45	1.34	1.19	1.08	0.99	0.93
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	51.06	51.85	52.71	53.70	54.89	56.22	59.27	62.71	66.17	69.41
q3	0.87	0.91	1.05	1.28	1.63	1.92	2.37	2.93	3.20	3.24
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	72.25	74.77	77.02	79.06	80.91	82.62	84.23	85.76	88.66	91.29
q3	3.05	2.89	2.75	2.64	2.53	2.47	2.44	2.43	2.47	2.43
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	93.55	95.38	97.25	98.45	99.38	99.77	99.96	99.99	100.00	100.00
q3	2.26	1.96	1.45	1.02	0.65	0.40	0.21	0.10	0.02	0.00

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1361/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhvQ.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 Particle Size Analyzer (PSA) *Boiler Fly Ash*



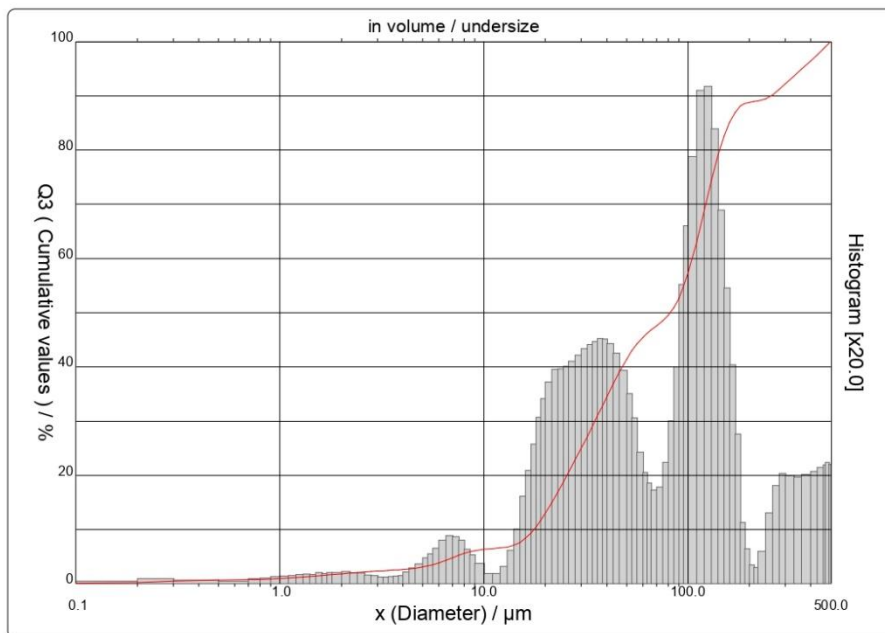
PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 μm - 500.00 μm / 100 Classes

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

Operator : BBG
Company : FMIPA-KIMIA UB
Location : MALANG
Date : 06/17/2025 Time : 07:25:27AM
Index meas. : 1356
Database name : CilasDB1

Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Obscuration : 0 %
Diameter at 10% : 17.59 μm
Diameter at 50% : 81.52 μm
Diameter at 90% : 255.45 μm
Mean diameter : 103.93 μm
Fraunhofer
Density/Factor : -----
Specific surface : -----
Meas./Rins. : 15s/15s/0
SOP name : Fraunhofer



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1356/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhvQ.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 : BFA	Obscuration : 0 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 17.59 µm
Comments :	Diameter at 50% : 81.52 µm
-----	Diameter at 90% : 255.45 µm
Operator : BBG	Mean diameter : 103.93 µm
Company : FMIPA-KIMIA UB	Fraunhofer
Location : MALANG	Density/Factor : -----
Date : 06/17/2025 Time : 07:25:27AM	Specific surface : -----
Index meas. : 1356	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Database name : CilasDB1	SOP name : Fraunhofer

Standards classes

in volume / undersize

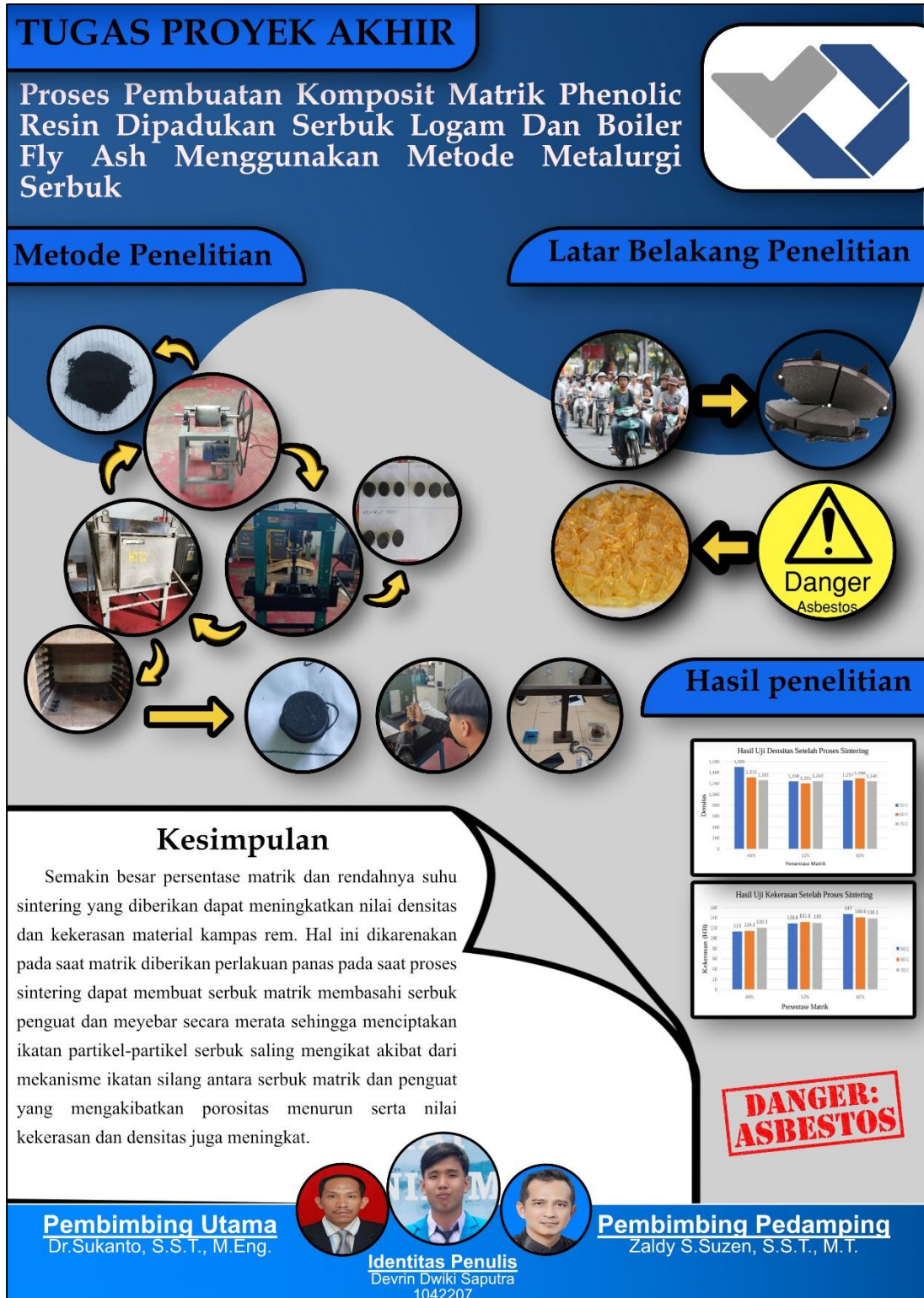
x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	0.10	0.26	0.49	0.67	0.75	0.83	0.91	1.00	1.09	1.18
q3	0.00	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	1.27	1.36	1.44	1.53	1.61	1.69	1.84	1.99	2.11	2.22
q3	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	0.09
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	2.30	2.37	2.42	2.47	2.52	2.57	2.62	2.73	2.87	3.09
q3	0.07	0.07	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.10	0.14	0.18
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	3.29	3.51	3.84	4.31	4.79	5.23	5.61	5.89	6.11	6.39
q3	0.23	0.27	0.32	0.39	0.43	0.43	0.39	0.31	0.26	0.18
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	6.51	6.62	6.80	7.13	7.64	8.41	9.35	10.44	11.67	12.97
q3	0.08	0.08	0.15	0.30	0.50	0.80	1.04	1.28	1.52	1.70
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	14.97	16.95	18.81	20.58	22.84	25.00	27.08	29.07	30.97	32.79
q3	1.85	1.97	1.97	2.00	2.04	2.10	2.16	2.20	2.23	2.25
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	34.51	36.89	39.02	41.46	42.98	44.23	45.47	46.21	46.85	47.60
q3	2.25	2.20	2.12	1.96	1.75	1.52	1.20	1.02	0.92	0.85
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	48.51	49.58	50.93	52.63	54.85	57.37	62.96	68.86	74.33	78.96
q3	0.88	1.11	1.49	1.99	2.75	3.29	3.93	4.54	4.58	4.19
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	82.50	85.12	86.94	88.11	88.56	88.80	88.92	89.02	89.40	90.17
q3	3.44	2.72	2.01	1.37	0.56	0.31	0.16	0.14	0.29	0.64
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	91.16	92.20	93.61	94.88	96.45	97.56	98.63	98.98	99.67	100.00
q3	0.89	1.01	0.99	0.98	1.00	1.03	1.06	1.09	1.11	1.09

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

Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1356/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.DhvQ.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.9.45/635

Lampiran 7

Poster Sidang Proyek Akhir



Lampiran 8

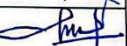
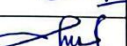
Bukti Cek Plagiasi

Skripsi Proyek Akhir Devrin dwiki saputra revisi 1.docx			
ORIGINALITY REPORT			
18%	18%	5%	3%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	10%	
2	talenta.usu.ac.id Internet Source	1%	
3	Sukanto - Wiryono. "PENGARUH VARIASI FRAKSI PENGUAT DAN SUHU SINTERING AMC TERHADAP NILAI DENSITAS DAN KEKERASAN DENGAN SiO ₂ /RHA/BA", Machine : Jurnal Teknik Mesin, 2025 Publication	<1%	
4	journal.ubb.ac.id Internet Source	<1%	
5	123dok.com Internet Source	<1%	
6	karya-ilmiah.um.ac.id Internet Source	<1%	
7	repository.its.ac.id Internet Source	<1%	
8	www.researchgate.net Internet Source	<1%	
9	adoc.pub Internet Source	<1%	
10	id.123dok.com Internet Source	<1%	
Submitted to Universitas Jember			

Lampiran 9

Lampiran form Bimbingan

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

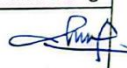
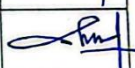
 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK/.....			
JUDUL	PROSES PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik GELAS PERCA DIPADUKAN SERBUK LOGAM DAN BOILER FLY ASH MENGGUNAKAN METODE METALURGI SERBUK		
Nama Mahasiswa	 NIM:		
Nama Pembimbing	1. <u>Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng.</u> 2. <u>Zaldu Sirwaningsih Suzen, S.S.T., M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	14/2 2025	Menyelesaikan BAB I	
2	28/2 2025	Menyelesaikan BAB II dan III	
3	14/03 2025	Mempersiapkan alat dan bahan	
4	23/05 2025	Revisi BAB I-III	
5	14/05 2025	Proses Penggilingan serbuk	
6	21/04 2025	Persiapan alat dan bahan	
7	23/05 2025	Revisi Tulisan BAB I-III	
8	24/05 2025	Revisi ^{Tulisan} BAB IV	
9			
10			

Catatan:

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

Lampiran 10

Bukti form Monitoring

 FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025			
JUDUL		Proses pembuatan komposit matrik Getah perca dipadukan Serbuk logam dan boiler Fly Ash menggunakan metode metalurgi Serbuk	
Nama Mahasiswa		1. Devin Dwiki Saputra /NIM: 1049207 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
17/ I 17/II		50% proposal	
22/ II	23/05 25	Kas 1 - 3	
II	26/06 25	70% Progres PA Makalah	

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

Mengetahui		
Pembimbing 1	Pembimbing 2	Pembimbing 3
 (Dr. Sukanto, S.S.T, M.Eng	 Zalely Sirwansyah Suran, S.S.T, M.T. (.....)	

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