

**PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK RESIN FENOLIK  
DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN RHA HYBRID  
DENGAN METODE METALURGI SERBUK**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun oleh:  
Ardiansyah NIM: 1042205

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2025**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**JUDUL PROYEK AKHIR  
PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK RESIN FENOLIK  
DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN RHA HYBRID  
DENGAN METODE METALURGI SERBUK**

Oleh:

Ardiansyah NIM:1042205

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



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

Penguji 1



Harwadi, S.S.T., M.Ed.

Penguji 2



Boy Rolastin, S.Tr., M.T.

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : Ardiansyah NIM : 1042205

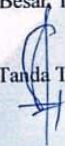
Dengan judul : **PEMBUATAN KOMPOSIT MATRIK RESIN  
FENOLIK DIPERKUAT SERBUK LOGAM DAN  
RHA HYBRID DENGAN METODE METALURGI  
SERBUK**

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

Puding Besar, 17 Februari 2025

Nama Mahasiswa  
1. Ardiansyah

Tanda Tangan



## ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi persentase matriks resin fenolik dan tekanan kompaksi terhadap sifat mekanik dan fisik komposit hibrid berbasis resin fenolik yang diperkuat serbuk logam (aluminium, kuningan, silika) serta abu sekam padi (RHA) menggunakan metode metalurgi serbuk. Persentase matriks yang digunakan adalah 46%, 54%, dan 62%, sedangkan tekanan kompaksi divariasikan pada 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi, dengan setiap kombinasi diulang sebanyak tiga kali. Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell, dan densitas diukur dengan prinsip Archimedes. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan ANOVA faktorial dua faktor untuk mengetahui signifikansi masing-masing variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan kompaksi tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan maupun densitas, sedangkan persentase matriks berpengaruh signifikan terhadap kedua sifat tersebut. Kombinasi optimal diperoleh pada matriks 54% dan kompaksi 5300 Psi dengan nilai kekerasan 154 HB. Densitas tertinggi dicapai pada tekanan 5000 Psi dan matriks 46%, dengan nilai 1,461 g/cm<sup>3</sup>. Temuan ini menunjukkan bahwa komposit yang dihasilkan berpotensi kuat sebagai material alternatif ramah lingkungan dan aman untuk kampas rem non-asbes.*

**Kata kunci:** Abu Sekam Padi, Metalurgi Serbuk, Resin Fenolik, Serbuk Logam.

## **ABSTRACT**

*This research aims to investigate the effects of variations in phenolic resin matrix percentage and compaction pressure on the mechanical and physical properties of hybrid composites based on phenolic resin, reinforced with metal powders (aluminum, brass, silica) and rice husk ash (RHA), using the powder metallurgy method. The matrix percentages used were 46%, 54%, and 62%, while the compaction pressures were varied at 5000 Psi, 5300 Psi, and 5600 Psi, with each combination repeated three times. Hardness was tested using the Brinell method, and density was measured using the Archimedes principle. The test data were analyzed using a two-factor factorial ANOVA to determine the significance of each variable. The results showed that compaction pressure had no significant effect on either hardness or density, while matrix percentage significantly affected both properties. The optimal combination was found at 54% matrix and 5300 Psi compaction, achieving a hardness value of 154 HB. The highest density was obtained at 5000 Psi and 46% matrix, with a value of 1.461 g/cm<sup>3</sup>. These findings indicate that the composite has strong potential as an environmentally friendly and safe alternative material for non-asbestos brake pads.*

**Keywords:** Rice Husk Ash, Powder Metallurgy, Phenolic Resin, Metal Powder.

## 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 **“Pembuatan Komposit Matrik Resin Fenolik Diperkuat Serbuk Logam Dan RHA Hybrid Dengan Metode Metalurgi Serbuk”**. Tidak lupa penulis mengucapkan shalawat 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 kehendak-NYA lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu penulis dengan kerendahan hati ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kepada kedua orang tua yang saya sayangi yaitu, bapak Saharul dan ibu Sumiati yang telah menyayangi dan mendoakan untuk kebaikan hidup penulis bisa berdiri dengan gagah sampai pada titik ini. Semoga Allah SWT bisa memberi kebaikan dan keikhlasan kepada kedua orang tua saya yang telah melahirkan dan mendidik penulis, Amin.
2. Kakak penulis Silvia yang selalu menjadi penyemangat di tengah kesibukan penulis dalam mengejar gelar Sarjana. Semoga Allah SWT, selalu memberi Kesehatan dan kebaikan tanpa kurang satu apapun, Amin.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Polman Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, S.S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Dr.Sukanto, S.S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing utama sekaligus wali dosen selama penulis berada di Politeknik Manufaktur

Bangka Belitung yang telah banyak memberikan masukan, Ilmu, Pengalaman, menyediakan waktu, tenaga, dan bimbingan untuk penyediaan makalah penelitian.

7. Bapak Erwanto, S.S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dua yang telah banyak memberikan arahan, Ilmu, Pengalaman dalam sistematika penulisan makalah penelitian ini.
8. Untuk Teman-teman yang melakukan penelitian dalam konteks yang sama Fibry Yansha, Muhammad Fadhil, Devrin Dwiki Saputra 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 Esty Dwi Hartini, Muhammad Diansyah, Aria Gading 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, 17 Februari 2025

Penulis



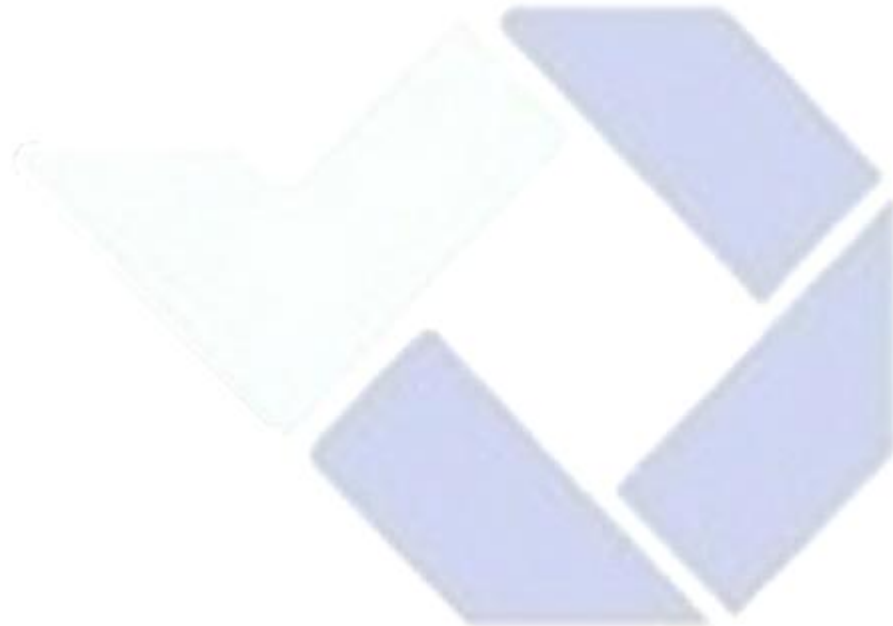
Ardiansyah

## DAFTAR ISI

|                                              |                                     |
|----------------------------------------------|-------------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                      | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| ABSTRAK .....                                | iii                                 |
| <i>ABSTRACT</i> .....                        | 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 .....                 | 3                                   |
| 1.3    Tujuan Penelitian.....                | 3                                   |
| 1.4    Batasan Masalah.....                  | 3                                   |
| BAB II DASAR TEORI.....                      | 4                                   |
| 2.1    Penelitian Terdahulu.....             | 4                                   |
| 2.2    Komposit.....                         | 6                                   |
| 2.2.1    Klasifikasi Material Komposit ..... | 7                                   |
| 2.3    Resin Fenolik .....                   | 9                                   |
| 2.4 <i>Risk Husk Ash</i> .....               | 10                                  |
| 2.5    Silika .....                          | 10                                  |
| 2.6    Aluminium .....                       | 11                                  |
| 2.7    Kuningan.....                         | 12                                  |
| 2.8    Metalurgi Serbuk.....                 | 13                                  |
| 2.8.1 <i>Mixing</i> (Pencampuran) .....      | 13                                  |
| 2.8.2    Kompaksi (Penekanan) .....          | 14                                  |
| 2.8.3    Sintering .....                     | 16                                  |
| 2.9    Uji Kekerasan.....                    | 16                                  |
| 2.10    Uji Densitas .....                   | 19                                  |

|                                  |                                                                                     |    |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.11                             | Kampas Rem .....                                                                    | 21 |
| 2.12                             | Metode Desain Full Faktorial.....                                                   | 21 |
| 2.13                             | Pengujian ANOVA .....                                                               | 22 |
| BAB III METODE PELAKSANAAN ..... |                                                                                     | 23 |
| 3.1                              | Metode Penelitian.....                                                              | 23 |
| 3.2                              | Studi Literatur .....                                                               | 24 |
| 3.3                              | Bahan Dan Alat Penelitian .....                                                     | 24 |
| 3.3.1                            | Bahan Penelitian.....                                                               | 25 |
| 3.3.2                            | Peralatan Penelitian.....                                                           | 27 |
| 3.4                              | Proses penelitian.....                                                              | 30 |
| 3.4.1                            | Metalurgi Serbuk.....                                                               | 30 |
| 3.5                              | Validasi Spesimen .....                                                             | 32 |
| 3.6                              | Pengolahan Data.....                                                                | 32 |
| 3.7                              | Analisis Data .....                                                                 | 33 |
| BAB IV PEMBAHASAN.....           |                                                                                     | 34 |
| 4.1                              | Hasil Proses Pemadatan Serbuk ( <i>mechanical aloying</i> ) .....                   | 34 |
| 4.2                              | Hasil Cetakan .....                                                                 | 35 |
| 4.3                              | Uji Kekerasan Sebelum Sintering .....                                               | 36 |
| 4.3.1                            | Proses Pengujian Kekerasan Pada Sampel Sebelum Sintering.....                       | 36 |
| 4.3.2                            | Pengolahan Data Dan Analisa Hasil Proses Uji Kekerasan Sebelum Sintering.....       | 38 |
| 4.4                              | Uji Densitas Sebelum Sintering .....                                                | 39 |
| 4.4.1                            | Proses Penujian Densitas Pada Sampel Sebelum Sintering .....                        | 39 |
| 4.4.2                            | Pengolahan Data Dan Analisa Sampel Hasil Pengujian Densitas Sebelum Sintering.....  | 41 |
| 4.5                              | Uji Kekerasan Setelah Sintering .....                                               | 43 |
| 4.5.1                            | Proses Pengujian Kekerasan Setelah Proses Sintering .....                           | 43 |
| 4.5.2                            | Pengolahan Data Dan Analisa Data Hasil Uji Kekerasan Setelah Proses Sintering ..... | 45 |
| 4.6                              | Uji Densitas Setelah Proses Sintering.....                                          | 46 |
| 4.6.1                            | Proses Pengujian Densitas Setelah Proses Sintering.....                             | 46 |
| 4.6.2                            | Pengolahan Data Dan Analisa Data Densitas Setelah Proses Sintering                  | 48 |

|                     |                  |    |
|---------------------|------------------|----|
| 4.7                 | ANOVA.....       | 51 |
| BAB V PENUTUP.....  |                  | 54 |
| 5.1                 | Kesimpulan ..... | 54 |
| 5.2                 | Saran.....       | 54 |
| DAFTAR PUSTAKA..... |                  | 55 |



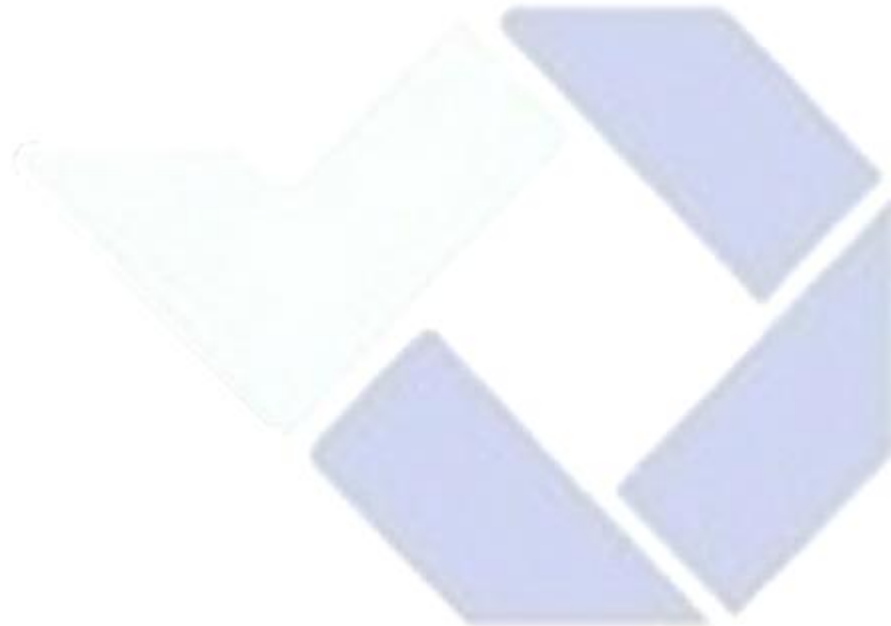
## DAFTAR TABEL

| Tabel                                                          | Halaman |
|----------------------------------------------------------------|---------|
| 2.1 Sifat Fisik Fenolik [6] .....                              | 9       |
| 2.2 Senyawa Kimia RHA[21] .....                                | 10      |
| 2.3 Kandungan Kimia Silika[24] .....                           | 11      |
| 2.4 Sifat Fisik Aluminium [25] .....                           | 12      |
| 2.5 Sifat Mekanik Aluminium[26] .....                          | 12      |
| 2.6 Titik Cair Kuningan [29] .....                             | 13      |
| 2.7 Kekerasan Rockwell, Perincian Setiap Skala[26] .....       | 17      |
| 2.8 Standar Kampas Rem[39] .....                               | 21      |
| 3.1 Pengolahan Data Uji Kekerasan.....                         | 32      |
| 3.2 Pengolahan Data Uji Densitas.....                          | 32      |
| 3.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen .....                     | 33      |
| 3.4 Faktor Dan Level Uji Penelitian .....                      | 33      |
| 4.1 Hasil Pengujian Kekerasan Sebelum Sintering.....           | 38      |
| 4.2 Nilai Penimbangan Kering Sebelum Sintering .....           | 41      |
| 4.3 Nilai Penimbangan Basah Sebelum Sintering.....             | 41      |
| 4.4 Nilai Densitas Sebelum Sintering .....                     | 42      |
| 4.5 Nilai Kekerasan Setelah Sintering .....                    | 45      |
| 4.6 Nilai Penimbangan Kering Setelah Sintering .....           | 48      |
| 4.7 Nilai Penimbangan Basah Setelah Sintering.....             | 48      |
| 4.8 Nilai Densitas Setelah Sintering .....                     | 49      |
| 4.9 Hasil Perhitungan ANOVA Uji Kekerasan .....                | 51      |
| 4.10 Hasil Perhitungan ANOVA Uji Densitas.....                 | 51      |
| 4.11 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dan Penelitian Ini..... | 53      |

## DAFTAR GAMBAR

| Gambar                                                                                                   | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 2.1 Tahapan Proses Pembentukan Serbuk[31] .....                                                          | 15      |
| 2.2 Ilustrasi Penekanan Satu Arah Dan Dua Arah [6].....                                                  | 15      |
| 2.3 Tahapan Proses Sintering[31].....                                                                    | 16      |
| 2.4 Ilustrasi Uji Densitas[35] .....                                                                     | 20      |
| 3.1 Diagram alir .....                                                                                   | 23      |
| 3.2 Serbuk Risk Husk Ash .....                                                                           | 25      |
| 3.3 Resin fenolik .....                                                                                  | 25      |
| 3.4 Serbuk Aluminium .....                                                                               | 26      |
| 3.5 Pasir Silika .....                                                                                   | 26      |
| 3.6 Serbuk Kuningan.....                                                                                 | 27      |
| 3.7 Mesin Ball mill.....                                                                                 | 28      |
| 3.8 Mesin Press Hidrolik Satu Arah.....                                                                  | 28      |
| 3.9 Timbangan Digital.....                                                                               | 28      |
| 3.10 Cetakan Spesimen .....                                                                              | 29      |
| 3.11 Oven .....                                                                                          | 29      |
| 3.12 Alat Uji Kekerasan Brinell Portable.....                                                            | 29      |
| 3.13 Aquadesh .....                                                                                      | 30      |
| 3.14 Alat Uji Densitas .....                                                                             | 30      |
| 4.1 46% Matrik Dan 54% Penguat.....                                                                      | 35      |
| 4.2 54% Matrik Dan 46% Penguat.....                                                                      | 35      |
| 4.3 62% Matrik Dan 38% Penguat.....                                                                      | 35      |
| 4.4 Gambar Spesimen Uji .....                                                                            | 36      |
| 4.5 Titik Representasi Pengujian Kekerasan Sebelum Sintering Pada sampel .....                           | 37      |
| 4.6 Proses Pengujian Kekerasan Pada Sampel Menggunakan Alat Uji Kekerasan Portable Dengan Satuan HB..... | 37      |
| 4.7 Grafik Kekerasan Sebelum Sintering.....                                                              | 39      |
| 4.8 Proses Penimbangan Kering Sampel Menggunakan Timbangan Digital .....                                 | 40      |

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.9 Proses Penimbangan Basah Pada Sampel Menggunakan Alat Timbang Yang Berpedoman Pada Hukum Archimedes .....          | 40 |
| 4.10 Grafik Nilai Uji Densitas Sebelum Sintering.....                                                                  | 43 |
| 4.11 Proses Pengujian Kekerasan Setelah Proses Sintering Menggunakan Alat Uji Kekerasan Portable Dengan Satuan HB..... | 44 |
| 4.12 Titik Representasi Uji Kekerasan Pada Sampel Setelah Proses Sintering ....                                        | 44 |
| 4.13 Grafik Uji Kekerasan Setelah Proses Sintering .....                                                               | 46 |
| 4.14 Proses Penimbangan Kering Sampel Setelah Sintering .....                                                          | 47 |
| 4.15 Proses Penimbangan Basah Pada Sampel Setelah Sintering .....                                                      | 47 |
| 4.16 Grafik Rata-Rata Nilai Uji Densitas Setelah Sintering.....                                                        | 50 |



## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2 : Particle Syze Anylyser serbuk

Lampiran 3 : Densitas Serbuk

Lampiran 4 : Form Monitoring

Lampiran 5 : Form Bimbingan

Lampiran 6 : Penimbangan Kering pada sampel

Lampiran 7 : Perhitungan Uji Densitas

Lampiran 8 : Perhitungan ANOVA Menggunakan Software Excel Uji Kekerasan Dan Densitas

Lampiran 9 : Perhitungan ANOVA Menggunakan Software Minitab Uji Kekerasan Dan Densitas

Lampiran 10 : Bukti Bukan Plagiasi

Lampiran 11 : Poster

Lampiran 12: Dokumentasi Proses Penelitian

Lampiran 13 : F-tabel 0,01

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pada tahun 2015, tercatat sekitar 155.000 kasus kanker paru-paru dan 23.000 mesothelioma akibat paparan asbes. Meskipun asbes telah dilarang di sebagian besar Eropa sejak akhir 1990-an, dampaknya masih terasa karena masa laten penyakit yang panjang. Beban kanker akibat asbes diprediksi memuncak pada 2020–2030. Di Inggris, sekitar 40% kematian kanker paru akibat kerja dan 3.500 kasus per tahun dikaitkan dengan paparan asbes dan silika[1].

Industri otomotif, khususnya pada sektor kendaraan darat, terus berkembang pesat. Kampas rem merupakan komponen vital yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan[2]. Sebagian besar kampas rem konvensional terbuat dari asbestos, yang meskipun efektif, memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia karena sifat karsinogeniknya[3]. Proses gesekan antara cakram dan kampas rem menghasilkan partikel mikroskopis yang berpotensi membahayakan kesehatan dan mencemari lingkungan[4].

Sebagai alternatif, komposit berbasis matrik polimer khususnya phenolic resin, telah dikembangkan untuk menggantikan material konvensional tersebut. Komposit adalah bahan yang terbuat dari gabungan dua atau lebih bahan yang memiliki sifat berbeda, yang menghasilkan material dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan komponen tunggalnya[5]. Dalam penelitian ini, resin fenolik digunakan sebagai matrik yang akan diperkuat dengan serbuk logam dan abu sekam padi (*Rice Husk Ash/RHA*) hybrid sebagai filler untuk meningkatkan kekuatan dan densitas komposit tersebut. Resin fenolik merupakan jenis polimer yang sangat menonjol dalam bidang komposit, terutama untuk aplikasi yang memerlukan stabilitas struktural dan stabilitas termo-struktural[6]. Serbuk logam yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara aluminium (Al), serbuk kuningan (CuZn), silika (SiO<sub>2</sub>) dan RHA (*Rice Husk Ash*). Aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak yang terdapat di dalam kerak bumi, setelah oksigen dan silikon, dengan kandungan sekitar 7,6 %. Sebagai logam ringan, aluminium

memiliki peran penting sebagai bahan baku material teknik, berkat sejumlah sifat unggul yang dimilikinya. Sifat-sifat tersebut meliputi ketahanan terhadap korosi yang tinggi serta konduktivitas listrik yang sangat baik, di samping sifat-sifat lainnya yang mendukung, penggunaannya dalam berbagai aplikasi industri[7]. Silika atau pasir kuarsa berasal dari tanah aluvial yang terbentuk akibat erosi batuan yang kaya akan mineral kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ). Pasir kuarsa memiliki tingkat kekerasan sebesar 7,0 pada skala Mohs dengan berat jenis berkisar antara 2,60 hingga 2,66. Serta titik lebur yang mencapai  $1715^\circ\text{C}$ [8]. Kuningan merupakan paduan yang terdiri dari tembaga dan seng sebagai elemen utama. Tembaga sendiri menjadi komponen utama dalam kuningan yang sering kali digolongkan sebagai jenis paduan tembaga. Warna kuningan dapat bervariasi, mulai dari coklat kemerahan hingga kuningan keperakan, tergantung pada kadar seng yang terkandung di dalamnya[9]. Sementara, *Risk Husk Ash* adalah sisa dari abu sekam padi setelah biji dipisahkan. Ketika sekam padi dibakar, akan menghasilkan abu yang di sebut *Risk Husk Ash* yang kaya akan silika memberikan sifat-sifat khas yang berguna untuk berbagai aplikasi. Selain itu, serbuk RHA juga memiliki berbagai keuntungan, seperti mengurangi biaya produksi, mengurangi pembentukan  $\text{AL}_4\text{C}_3$  (karbida alumunium) yang korosif dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti asbes[10].

Proses metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) digunakan untuk memadukan bahan-bahan ini, dengan menekan dan memanaskan hingga membentuk komposit yang homogen dan memiliki sifat unggul[11]. Keausan adalah faktor penting yang mempengaruhi performa kampas rem. Pengujian pada material dapat dilakukan dengan berbagai metode untuk menilai ketahanan material dalam kondisi operasi sesungguhnya[12].

Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan material kampas rem yang memiliki kekerasan dan densitas yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data penggunaan komposit matrik resin fenolik yang diperkuat dengan serbuk alumunium dan RHA sebagai alternatif material kampas yang ramah lingkungan, dengan mengoptimalkan metode metalurgi serbuk.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk logam dan abu sekam padi (RHA) terhadap uji kekerasan dan densitas pada komposit matrik resin fenolik dengan metode metalurgi serbuk.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan data hasil yang berpengaruh dalam penambahan serbuk logam dan abu sekam padi (RHA) terhadap nilai kekerasan dan densitas pada komposit matrik resin fenolik yang dihasilkan melalui metode metalurgi serbuk.

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar tujuan yang dirumuskan peneliti dalam penelitian ini tetap sesuai dengan fokus kajian dan tidak menyimpang, sehingga pengumpulan data dan informasi dapat dilakukan secara efektif, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Varian tekanan kompaksi penelitian ini yaitu 5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi dengan waktu tunggu tekan 10 menit.
2. Varian fraksi berat matrik ke dalam percetakan (penguat dan pengikat) pada penelitian ini yaitu 46 %, 54 %, dan 62 %.
3. Suhu sintering pada penelitian ini yaitu 60°C selama 10 menit.
4. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:
  - Pengujian kekerasan.
  - Pengujian densitas.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Agar penelitian yang telah dibahas pada penelitian ini memiliki landasan yang lebih kuat, diperlukan pemahaman yang berkaitan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan prinsip, material dan metode serupa. Dalam studi ini, peneliti mengaplikasikan metode metalurgi serbuk untuk menganalisis kekuatan dan densitas pada spesimen komposit.

Penelitian yang dilakukan [13] berfokus pada pembuatan kampas rem berbahan dasar komposit tempurung kelapa dengan matriks phenolic resin sebagai pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa gesek dan kekerasan dari kampas rem alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti asbes. Komposisi bahan penguat yang digunakan antara lain serbuk tempurung kelapa, serbuk logam (aluminium, kuningan), barium sulfat, kalsium karbonat, grafit, serta fiberglass. Proses fabrikasi dilakukan melalui metode kompaksi dengan tekanan sebesar 10 ton dan variasi temperatur sintering 120 °C, 130 °C, dan 150 °C, masing-masing dengan waktu tahan 10 menit, 8 menit, dan 5 menit. Selanjutnya dilakukan sintering lanjutan pada suhu 200 °C selama 60 menit. Uji performa dilakukan melalui pengujian gesekan dalam kondisi kering dan basah dengan beban 15 kg serta pengujian kekerasan menggunakan durometer Shore D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kampas rem dengan suhu sintering 150 °C selama 5 menit memiliki nilai keausan terendah sebesar 0,17 g/jam dalam kondisi kering. Sementara itu, kekerasan tertinggi diperoleh pada kampas rem komersial (Indopart) sebesar 89,94 HD, diikuti oleh spesimen penelitian pada suhu 120 °C selama 10 menit sebesar 87,19 HD. Penelitian ini menyimpulkan bahwa variasi suhu dan waktu sintering berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik kampas rem, terutama terhadap kekerasan dan ketahanan aus.

Penelitian oleh [14] membahas pengaruh temperatur sinter terhadap kekerasan dan keausan kampas rem berbasis komposit hibrida yang terdiri atas serbuk tempurung kelapa dan alumina dengan matriks phenolic resin. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh upaya mencari material alternatif pengganti asbes yang ramah lingkungan, mengingat asbes bersifat karsinogenik. Metode yang digunakan adalah teknik hot-press dengan variasi temperatur sinter sebesar 200 °C, 250 °C, dan 300 °C dengan tekanan 3000 N. Komposisi bahan penguat terdiri dari 40% serbuk tempurung kelapa dan 20% alumina, sedangkan matriks phenolic resin digunakan sebesar 40%. Pengujian dilakukan terhadap kekerasan (Vickers), keausan (pin-on-disk), koefisien gesek, serta analisis mikrostruktur dengan SEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sinter mampu menurunkan laju keausan dan koefisien gesek secara signifikan. Sampel yang disinter pada suhu 300 °C menunjukkan nilai kekerasan tertinggi (107 HV) dan laju keausan terendah (0.000067 gr/m<sup>3</sup>), dibandingkan dengan kontrol (bahan kampas rem asbes) dengan kekerasan 97.10 HV. Namun demikian, temperatur yang terlalu tinggi menyebabkan porositas meningkat akibat terbakarnya partikel tempurung kelapa, yang memengaruhi struktur ikatan antar partikel. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa komposit hibrida dengan kombinasi 40% tempurung kelapa dan 20% alumina berpotensi sebagai material alternatif kampas rem kendaraan bermotor yang lebih ramah lingkungan.

Penelitian oleh [15] mengkaji karakteristik mekanik kampas rem berbasis komposit hibrida dengan penguat serbuk basalt, alumina, dan kulit kerang serta matriks phenolic resin. Penelitian ini berfokus pada ketahanan impak menggunakan metode uji *Charpy impact* berdasarkan standar ASTM D6110–04. Proses pembuatan kampas rem dilakukan melalui metode *hot press* pada temperatur 150 °C selama 30 menit dengan tekanan sebesar 2 ton. Variasi dilakukan terhadap komposisi fraksi berat penguat, dengan lima jenis spesimen (HK1–HK5). Pengujian dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing variasi, dan hasil patahan dianalisis menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ketahanan impak tertinggi diperoleh pada spesimen HK2 sebesar 0,000339547 J/mm<sup>2</sup>. Meskipun nilai tersebut lebih rendah dibandingkan

kampas rem berbahan asbes (kontrol) sebesar  $0,000374867 \text{ J/mm}^2$ , komposit hibrida menunjukkan potensi sebagai bahan alternatif kampas rem. Energi serapan akibat beban dampak meningkat secara linier terhadap penurunan kandungan serbuk basalt dan peningkatan kandungan kulit kerang. Analisis mikrostruktur menunjukkan ikatan antar partikel penguat dan matriks cukup baik, meskipun terdapat mikroretakan dan porositas yang dapat memengaruhi performa mekanik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa komposit hibrida dengan matriks phenolic resin dan penguat alami memiliki potensi untuk menggantikan kampas rem berbahan asbes.

## **2.2 Komposit**

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih bahan dengan karakteristik fisika dan kimia yang berbeda. Kombinasi ini menghasilkan material baru dengan sifat yang berbeda dari masing-masing material penyusunnya [16]. Bahan komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu penguat (serat) yang berfungsi memberikan kekuatan dan kekakuan serta matriks (resin) yang berperan sebagai perekat dan pelindung serat. Serat berperan sebagai struktur utama dalam komposit, berfungsi sebagai rangka yang memberikan kekuatan dan kekakuan. Sementara itu, matriks berfungsi sebagai perekat yang menjaga serat tetap pada posisinya. Matriks memiliki sifat yang fleksibel, sehingga dapat dipotong atau dicetak sesuai kebutuhan desain.

Selain itu, pola susunan serat dalam komposit mempengaruhi sifat akhir material yang dihasilkan, sehingga dapat disesuaikan dengan parameter yang diinginkan. Matriks, yang umumnya berbahan dasar resin, tidak hanya berfungsi sebagai perekat, tetapi juga membantu mendistribusikan beban secara merata ke seluruh struktur komposit. Selain itu, resin melindungi serat dari paparan bahan kimia dan kondisi cuaca ekstrem yang dapat merusak material. Kombinasi antara serat dan matriks ini menghasilkan material baru dengan sifat dan karakteristik yang berbeda dari bahan penyusunnya [17].

Beberapa keunggulan material komposit antara lain:

1. Memiliki bobot yang ringan, sehingga lebih efisien untuk berbagai aplikasi.
2. Memiliki kekuatan tinggi serta ketahanan terhadap korosi, sehingga lebih tahan lama.
3. Produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik dengan sifat mekanik yang unggul.
4. Biaya produksi relatif rendah, dengan bahan baku yang mudah diperoleh.

### 2.2.1 Klasifikasi Material Komposit

Klasifikasi material komposit dapat dibedakan berdasarkan jenis penguat (*reinforcement*) dan bahan pengikat (*bonding agent*). Secara umum, komposit terbagi menjadi tiga bentuk dasar, yaitu:

1. Komposit Serat (*Fibrous Composite*)  
Terdiri dari serat yang tertanam dalam matriks. Contohnya: fiber glass, serat kevlar, serat karbon, dan serat grafit.
2. Komposit Berlapis (*Laminated Composite*)  
Terdiri dari material yang disusun dalam beberapa lapisan. Contohnya: *bimetal*, *clad metal*, *laminated glass*, kertas, dan kain.
3. Komposit Partikel (*Particulated Composite*)  
Mengandung berbagai partikel dalam matriks. Contohnya: partikel silikon karbida dalam matriks aluminium, serta campuran butiran seperti kerikil, pasir, dan filler.

Sementara itu, berdasarkan jenis matriks penyusunnya, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Komposit Matriks Polimer (*Polymer Matrix Composites, PMCs*)  
Menggunakan polimer sebagai matriks. Matriks polimer adalah bahan dasar atau fase kontinu dalam suatu komposit berbasis polimer, yang berfungsi untuk mengikat dan menyatukan material penguat (seperti serat atau partikel), serta mendistribusikan beban atau tegangan ke seluruh struktur komposit.

## 2. Jenis Matriks Polimer

Secara umum, matriks polimer dibagi menjadi dua kelompok besar:

### A. Termoplastik

Dapat dilelehkan dan dibentuk ulang berulang kali. Umumnya lebih ulet dan tahan terhadap retakan.

Contoh:

- *Polypropylene (PP)*
- *Polyethylene (PE)*
- *Polyamide (Nylon)*
- *Polysulfone (PSU)*
- *Polycarbonate (PC)*

### B. Termoset

Tidak dapat dilelehkan ulang setelah proses pengawetan (*curing*). Kuat, kaku, dan tahan terhadap suhu tinggi, tapi cenderung rapuh.

Contoh:

- *Epoxy*
- *Polyester*
- *Vinyl ester*
- *Phenolic resin* (resin fenolik)

## 2. Komposit Matriks Logam (*Metal Matrix Composites, MMCs*)

Menggunakan logam sebagai matriks. Contohnya: aluminium, perak, dan tembaga.

## 3. Komposit Matriks Keramik (*Ceramic Matrix Composites, CMCs*)

Menggunakan bahan keramik sebagai matriks. Contohnya: borosilikat dan grafit.

Klasifikasi ini membantu dalam memahami karakteristik dan aplikasi komposit dalam berbagai industri, termasuk otomotif, kedirgantaraan, serta konstruksi[18].

### 2.3 Resin Fenolik

Resin fenolik merupakan jenis resin pengikat yang paling umum digunakan dalam material kampas rem. Pemilihan jumlah resin fenolik yang tepat sangat penting untuk menjaga kekokohan struktural komposit kampas rem bersama dengan bahan-bahan lainnya. Resin fenolik memiliki sejumlah sifat unggul seperti stabilitas termal yang baik, kekuatan mekanik tinggi, kestabilan mekanik dan termal jangka panjang, serta efisiensi biaya yang baik. Karena keunggulan tersebut, resin ini digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, terutama pada komposit gesek, kampas rem, dan pelapis kopling di industri otomotif, serta pada komponen pengereman di kendaraan rel dan mesin-mesin industri.

Hingga saat ini, resin fenolik tetap menjadi bahan pengikat terpenting dalam komposit kampas rem komersial karena kemampuannya menahan suhu hingga 250 °C, kemampuan pembasahan yang baik, biaya produksi yang rendah, serta kombinasi yang seimbang antara sifat termal, mekanik, dan tribologinya.

Namun, resin fenolik juga memiliki keterbatasan seperti kekerasan tinggi yang dapat menyebabkan kampas rem menjadi getas, sensitif terhadap kelembaban, dan ketahanan bentur yang sangat rendah. Oleh karena itu, penentuan kadar resin fenolik yang tepat dalam formulasi kampas rem sangat penting agar komposit tetap stabil secara struktural pada berbagai suhu dan mampu menahan beban mekanis serta termal selama proses pengereman[19]. Densitas resin fenolik adalah sebesar 1,15 gr/cm<sup>3</sup>, dengan nilai Modulus Young mencapai 3 GPa serta kekuatan tarik sebesar 50 GPa. Selain itu, resin fenolik memiliki titik leleh pada suhu 160°C[14]. Berikut tabel sifat fisik fenolik :

Tabel 2.1 Sifat Fisik Fenolik [6]

|                           | Nama                          | MW    | MP°C | BP°C  | PK <sub>a</sub> 25°C |
|---------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|----------------------|
| <b>phenol</b>             | hydroxybenzene                | 94.1  | 40.9 | 181.8 | 10                   |
| <b>o-Cresol</b>           | 1-methyl-2-hydroxybenzene     | 108.1 | 30.9 | 191   | 10.33                |
| <b>m-Cresol</b>           | 1-methyl-3-hydroxybenzene     | 108.1 | 12.2 | 202.2 | 10.10                |
| <b>P-Cresol</b>           | 1-methyl-4-hydroxybenzene     | 108.1 | 34.7 | 201.9 | 10.28                |
| <b>p-tert.Butylphenol</b> | 1-tert-butyl-4-hydroxybenzene | 150.2 | 98.4 | 239.7 | 10.25                |
| <b>p-tert.Octylphenol</b> | 1-tert-octyl-4-hydroxybenzene | 206.3 | 85   | 290   | -                    |
| <b>p-N onlyphenol</b>     | 1-nonyl-4-hydroxybenzene      | 220.2 | -    | 295   | -                    |
| <b>2,3-Xylenol</b>        | 1,2-dimethyl-3-hydroxybenzene | 222.2 | 75   | 218   | 10.5                 |

## 2.4 Risk Husk Ash

Abu sekam padi (*rice husk ash* atau RHA) adalah material hasil pembakaran sekam padi yang mengandung silika amorf dalam jumlah tinggi, sehingga menjadikannya bahan *pozzolan* yang sangat reaktif. RHA banyak dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton karena mampu meningkatkan kekuatan tekan, mengurangi porositas, serta meningkatkan durabilitas dan ketahanan terhadap lingkungan agresif[20]. Selain itu, RHA juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain seperti produksi keramik, bahan isolasi termal, adsorben, dan sebagai sumber silika dalam industri kimia. Penggunaan RHA tidak hanya memberikan manfaat teknis tetapi juga berkontribusi pada pengurangan limbah pertanian dan emisi gas rumah kaca, menjadikannya solusi yang ramah lingkungan dalam industri konstruksi dan manufaktur.

Tabel 2.2 Senyawa Kimia RHA[21]

| Senyawa kimia                  | Kandungan (%) |
|--------------------------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 94,9          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,67          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,84          |
| CaO                            | 2,84          |
| K <sub>2</sub> O               | 0,69          |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,03          |
| CrO                            | 0,03          |
| MnO                            | 0,37          |
| NiO                            | 0,03          |
| CuO                            | 0,05          |

## 2.5 Silika

Silika merupakan hasil proses pelapukan alami dari batuan yang mengandung mineral utama seperti silika dan *feldspar*, yang umumnya berasal dari aktivitas pertambangan. Komposisi kimianya terdiri dari beberapa oksida logam, antara lain silikon dioksida (SiO<sub>2</sub>), aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), kalsium oksida (CaO), titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), kalium oksida (K<sub>2</sub>O), dan magnesium

oksida (MgO). Silika banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti sebagai bahan tambahan dalam pembuatan semen, bahan baku industri keramik, material utama untuk produksi kaca, serta media filtrasi dalam proses penjernihan air[22]. Silika mengandung gugus fungsional silanol ( $-OH$ ) yang menyebabkan sifatnya menjadi lebih hidrofilik atau mudah berinteraksi dengan air. Selain itu, silika juga memiliki luas permukaan yang relatif tinggi, sehingga sangat potensial untuk digunakan sebagai material adsorben dalam berbagai aplikasi, khususnya dalam proses pemisahan dan pemurnian zat. Silika merupakan material yang bersifat non-konduktif atau tidak menghantarkan listrik. Selain itu, silika juga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap proses oksidasi serta degradasi akibat suhu tinggi, sehingga menjadikannya stabil dan tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan ekstrem. Silika dapat diekstraksi dari bahan alam melalui metode ekstraksi, yang bertujuan untuk memisahkan komponen-komponen terlarut dari suatu larutan dengan memanfaatkan dua pelarut yang tidak saling bercampur. Proses ini memungkinkan pemisahan silika dari senyawa lain berdasarkan perbedaan kelarutannya dalam masing-masing fase cair[23].

Tabel 2.3 Kandungan Kimia Silika[24]

| NO | Senyawa         | Formula   | Ukuran filler 31 $\mu m$ | Ukuran filler 164 $\mu m$ |
|----|-----------------|-----------|--------------------------|---------------------------|
| 1  | Quartz          | $SiO_2$   | 81                       | 83                        |
| 2  | Zirconium Oxide | $ZrO_2$   | 2                        | 0                         |
| 3  | Magnetite       | $Fe_2O_3$ | 12                       | 12                        |
| 4  | Anatase         | $TiO_2$   | 5                        | 5                         |

## 2.6 Aluminium

Aluminium murni merupakan logam yang memiliki sifat lunak, ringan, tahan lama, dan mudah ditempa. Tampilan permukaannya dapat bervariasi dari keperakan hingga abu-abu, tergantung pada tingkat kekasaran permukaannya. Kekuatan tarik aluminium murni berada pada kisaran 90 MPa, sedangkan pada aluminium paduan dapat mencapai hingga 600 MPa. Dengan massa jenis sekitar sepertiga dari baja, aluminium tergolong logam yang mudah dibentuk, dapat diproses melalui mesin, pengecoran, penarikan (*drawing*), dan ekstrusi. Ketahanan aluminium terhadap korosi disebabkan oleh proses pasivasi, yaitu pembentukan lapisan aluminium oksida saat terpapar udara bebas, yang berfungsi melindungi logam dari oksidasi

lanjutan. Namun, ketika dipadukan dengan tembaga, aluminium cenderung memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah akibat terjadinya reaksi galvanik antara kedua logam tersebut. Secara umum, dalam bentuk murni, aluminium terlalu lunak dan memiliki kekuatan mekanik yang rendah sehingga tidak cocok digunakan dalam aplikasi teknik tanpa proses pemaduan. Walaupun pemaduan dapat meningkatkan kekuatannya, hal ini sering kali berdampak pada penurunan ketahanan terhadap korosi dan keuletan material[25].

Tabel 2.4 Sifat Fisik Aluminium [25]

| Nama                    | Satuan                      |
|-------------------------|-----------------------------|
| Massa Jenis             | 2,70 Gram/Cm <sup>3</sup>   |
| Massa Jenis Cair        | 22,375 Gram/Cm <sup>3</sup> |
| Kalor ( 20°C )          | 24,2 J/Mol K                |
| Penghantar Panas 300 K  | 2,37 W/M K                  |
| Modulus Young           | 70 Gpa                      |
| Modulus Geser           | 26 Gpa                      |
| Kekerasan Skala Brinell | 245 Mpa                     |

Tabel 2.5 Sifat Mekanik Aluminium[26]

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

## 2.7 Kuningan

Kuningan merupakan paduan logam antara tembaga (Cu) dan seng (Zn), dengan kandungan tembaga berkisar antara 55% hingga 95% dari massa total. Pembuatan logam kuningan umumnya dilakukan melalui proses pengecoran (*founndry*), yang merupakan metode utama baik dalam skala industri kecil maupun besar. Penggunaan kuningan dalam bidang industri sangat menguntungkan, terutama karena sifatnya yang tahan terhadap korosi. Namun, di balik keunggulannya tersebut, kuningan juga memiliki kelemahan, salah satunya adalah

tingginya biaya perawatan yang dibutuhkan[27]. Komponen utama kedua dalam paduan kuningan adalah seng (Zn), dengan kadar bervariasi antara 5% hingga 40% berat, tergantung pada jenis kuningannya.. Seng sendiri memiliki beberapa sifat fisik, di antaranya massa jenis berkisar antara 6,9 hingga 7,2, titik leleh sekitar 419°C, titik didih mendekati 420°C, serta ketahanan terhadap udara lembap[28].

Tabel 2.6 Titik Cair Kuningan [29]

| Komposisi bahan | Titik cair (°) |
|-----------------|----------------|
| 85% Cu - 15% Zn | 1.150 -1.200   |
| 70% Cu – 30% Zn | 1.080 -1.130   |
| 60% Cu – 40% Zn | 1.030 -1.080   |

## 2.8 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan salah satu metode produksi yang memanfaatkan serbuk logam sebagai bahan baku utama sebelum dilakukan proses pembentukan. Proses ini didasarkan pada prinsip pemadatan serbuk logam ke dalam bentuk tertentu, yang kemudian dipanaskan pada suhu di bawah titik lelehnya. Pemanasan ini memungkinkan terjadinya penyatuan antar partikel logam melalui mekanisme difusi atom akibat transportasi massa di permukaan partikel. Teknik ini memungkinkan pengendalian komposisi material secara presisi dan memungkinkan pembuatan campuran material yang sulit atau bahkan tidak mungkin diproduksi dengan metode konvensional lainnya. Dimensi akhir dari produk umumnya ditentukan oleh bentuk cetakan serta proses penyelesaian akhir yang diterapkan[30].

### 2.8.1 *Mixing* (Pencampuran)

Dalam proses metalurgi serbuk, pencampuran bertujuan untuk menggabungkan material penguat dan material pengikat agar membentuk campuran yang homogen. Untuk mencapai tingkat homogenitas yang optimal, diperlukan pencampuran dari berbagai jenis serbuk. Proses ini dapat dilakukan dalam kondisi kering maupun basah, tergantung pada karakteristik material yang digunakan. Beberapa faktor yang memengaruhi kehomogenan pencampuran antara lain jenis dan ukuran partikel serbuk, durasi pencampuran, serta temperatur selama proses berlangsung[31].

Pemrosesan material dalam kondisi non-keseimbangan dimulai dengan pemberian energi pada material, memanfaatkan kondisi tereksitasi atau berenergi tinggi tersebut untuk membentuk struktur mikro serta sifat-sifat material yang diinginkan.

Salah satu metode yang menggunakan pendekatan ini adalah teknik paduan mekanis (*Mechanical Alloying/MA*), yang dikembangkan pada era 1960-an sebagai jawaban atas tantangan industri dalam mencari material yang mampu bertahan pada kondisi suhu menengah hingga tinggi. Proses MA dilakukan dengan mencampurkan bubuk unsur tunggal atau bubuk yang telah dipre-paduan bersama media penggilingan dalam ball mill berenergi tinggi, di mana rasio berat bola terhadap bubuk biasanya dijaga minimal 10:1.

Selama proses berlangsung, terjadi pengelasan dingin berulang, pemecahan partikel, dan pengelasan kembali, yang memungkinkan terbentuknya ukuran partikel tertentu. Ukuran bubuk dapat dikontrol dengan menyeimbangkan proses rekahan dan pengelasan tersebut. Dalam praktiknya, sekitar 1–2% berat bahan tambahan yang disebut *Process Control Agent (PCA)* ditambahkan, terutama saat memproses logam-logam yang bersifat ulet. PCA bekerja dengan menempel pada permukaan partikel, mencegah terjadinya pengelasan dingin berlebih antara partikel maupun antara partikel dengan media dan wadah penggilingan, sehingga dapat menghindari penggumpalan. Seiring bertambahnya waktu penggilingan, ukuran partikel dan butiran terus menurun hingga mencapai skala nanometer[32].

### **2.8.2 Kompaksi (Penekanan)**

Kompaksi merupakan salah satu tahap penting dalam proses metalurgi serbuk yang bertujuan untuk membentuk serbuk logam menjadi bentuk tertentu dengan cara memberikan tekanan. Proses ini berfungsi untuk meningkatkan densitas material serta memperkuat kontak antar partikel serbuk, sehingga menghasilkan komponen dengan kekuatan mekanik yang lebih baik.

Pada tahap awal, serbuk dimasukkan ke dalam cetakan dan diberikan tekanan rendah agar partikel dapat tersusun dan mengisi ruang kosong. Selanjutnya, tekanan ditingkatkan untuk memperkuat ikatan antar partikel dan

mencapai kepadatan yang lebih tinggi.

Terdapat dua metode utama dalam proses kompaksi:

- Kompaksi Dingin – Proses penekanan dilakukan pada suhu ruang tanpa pemanasan tambahan. Metode ini lebih cepat dan ekonomis, meskipun kepadatannya cenderung lebih rendah dibanding kompaksi panas.
- Kompaksi Panas – Serbuk dipanaskan sebelum ditekan untuk meningkatkan plastisitas, sehingga pemadatan lebih optimal dan porositas lebih rendah.

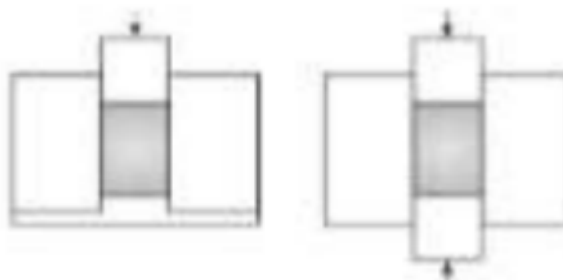


Gambar 2.1 Tahapan Proses Pembentukan Serbuk[31].

Selain itu, berdasarkan arah gaya tekan, kompaksi dibagi menjadi dua jenis:

- Aksi Tunggal – Tekanan hanya diberikan dari satu arah, yang dapat menyebabkan distribusi tekanan dan densitas tidak merata.
- Aksi Ganda – Tekanan diberikan dari dua arah secara bersamaan, menghasilkan pemadatan yang lebih seragam dan merata.

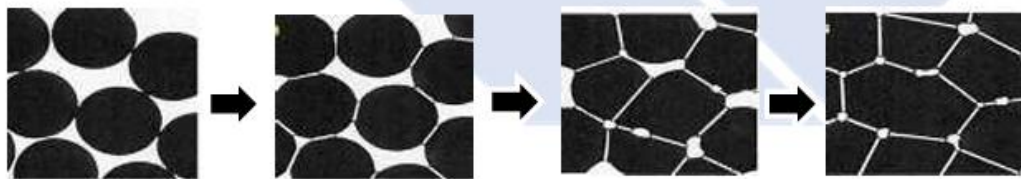
Ilustrasi dari kompaksi (penekanan) satu arah dan dua arah dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Ilustrasi Penekanan Satu Arah Dan Dua Arah [7]

### 2.8.3 Sintering

Sintering merupakan tahap lanjutan dalam proses metalurgi serbuk setelah proses pemadatan (*compacting*), yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan membentuk ikatan difusi antar partikel logam. Hasil dari proses pemadatan, yang dikenal sebagai *green compact*, masih memiliki kekuatan yang rendah dan belum layak dijadikan produk akhir. Pada tahap sintering, *green compact* dipanaskan pada suhu tinggi untuk menghasilkan ikatan permanen yang kuat antara partikel logam yang saling berdekatan. Proses ini berperan penting dalam meningkatkan kekuatan struktural dan memberikan sifat-sifat logam yang lebih baik pada produk akhir. Umumnya, suhu sintering dijaga antara 60–80% dari titik leleh logam atau paduan yang digunakan. Lama waktu sintering bervariasi antara 20 hingga 60 menit, tergantung pada jenis logam dan karakteristik titik lelehnya.



Gambar 2.3 Tahapan Proses Sintering[31]

## 2.9 Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan deformasi plastis lokal yang disebabkan oleh penetrasi pada permukaannya. Nilai kekerasan pada bahan biokomposit sangat dipengaruhi oleh karakteristik dari kedua komponen penyusunnya, yaitu penguat (*reinforcement*) dan matriks (*matrix*)[33]. Istilah kekerasan sering digunakan dalam dunia material, namun definisinya tidak selalu mudah dirumuskan secara tepat. Secara umum, kekerasan dapat diartikan sebagai suatu ukuran ketahanan suatu material terhadap deformasi yang disebabkan oleh interaksi dengan benda lain. Terdapat tiga metode utama dalam pengujian kekerasan, yaitu: (1) uji penekanan, (2) uji gores, dan (3) uji ketahanan terhadap dampak (*resilience*), yang sebagian besar bersifat non-destruktif.

Material polimer menunjukkan karakteristik kekerasan yang berbeda dibandingkan logam, karena sifat viskoelastis yang dimilikinya. Akibat deformasi elastis yang besar serta kemampuan pemulihan bentuk yang cepat, hasil pengujian kekerasan melalui metode penekanan sering kali menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan nilai kekerasan aktualnya. Salah satu metode pengujian kekerasan yang digunakan pada polimer adalah uji kekerasan Rockwell.

Dalam pengujian *Rockwell* (skala R atau L tergantung jenis polimernya), digunakan bola baja sebagai indenter. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban awal untuk menentukan kedalaman penetrasi awal, kemudian dilanjutkan dengan pemberian beban utama selama waktu tertentu (15 detik sesuai standar ASTM), sebelum akhirnya dikurangi kembali ke beban awal untuk pengukuran kedalaman akhir. Pengukuran diawali dengan menentukan kedalaman deformasi plastis ( $h$ , dalam satuan meter), yang selanjutnya disubstitusikan ke dalam rumus penghitungan kekerasan

$$H_r = 130 - 500 h$$

Skala kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 bergantung pada diameter bola penekan serta besar beban yang diterapkan selama pengujian. Menurut standar JIS, digunakan skala H dan R, sedangkan dalam standar ASTM digunakan skala K, E, L, M, dan R. Dalam pengujian kekerasan  $\alpha$ -*Rockwell* menurut ASTM, beban ditetapkan sedemikian rupa sehingga deformasi elastis turut diperhitungkan. Jika kedalaman penekanan akibat deformasi dilambangkan dengan  $h'$ , maka nilai tersebut menjadi acuan dalam penentuan kekerasan.[26]

$$\alpha-H_r = 150 - 500 h'$$

Tabel 2.7 Kekerasan Rockwell, Perincian Setiap Skala[26]

| Skala    | Beban mula $p_0$ (Kg) | Beban uji $p$ (Kg) | Diameter penekan |       |
|----------|-----------------------|--------------------|------------------|-------|
|          |                       |                    | Inchi            | Mm    |
| <b>R</b> | 10                    | 60                 | 1/2              | 12,7  |
| <b>L</b> | 10                    | 60                 | 1/4              | 6,35  |
| <b>M</b> | 10                    | 100                | 1/4              | 6,35  |
| <b>E</b> | 10                    | 100                | 1/8              | 3,175 |
| <b>K</b> | 10                    | 150                | 1/8              | 3,175 |

Pada penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Rockwell yang cukup sering digunakan, dengan memanfaatkan alat uji kekerasan portabel. Penjelasan lebih rinci mengenai tahapan pengujian tersebut disajikan di bawah ini.

1. Metode pengujian kekerasan :

- *Rockwell*: Metode *Rockwell* banyak digunakan karena prosedurnya yang praktis dan tidak memerlukan keterampilan khusus. Pada metode ini, indentor berbentuk bola dengan beban tekan sebesar 1 kg diaplikasikan ke permukaan spesimen. Nilai kekerasan dapat langsung terlihat pada layar alat uji dan dicatat sebagai hasil akhir pengujian.

2. Peralatan pengujian

- Alat uji kekerasan portabel yang digunakan dilengkapi dengan indentor berbentuk bola berdiameter 2 mm. Pemilihan ukuran dan jenis indentor yang sesuai sangat penting agar hasil pengujian kekerasan yang diperoleh sesuai dengan standar metode yang digunakan dan menghasilkan data yang akurat.

3. Standar pengujian

- Proses pengujian kekerasan dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM E110-14[34]. Dengan ketebalan sampel uji  $\geq 2-3$  mm, Penerapan standar tersebut sangat diperlukan guna menjamin proses pengujian dilakukan secara konsisten dan akurat, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan standar yang berlaku di industri.

Penerapan metode *Rockwell* menggunakan alat uji kekerasan portabel memberikan kemudahan dalam mengukur kekerasan material secara praktis dan efisien. Nilai kekerasan dapat langsung ditampilkan pada layar alat, sehingga mempermudah proses pencatatan dan analisis data. Keakuratan serta validitas hasil pengujian sangat ditentukan oleh ketepatan pemilihan metode serta penerapan standar yang sesuai selama proses pengujian berlangsung[35].

## 2.10 Uji Densitas

Densitas atau yang juga dikenal sebagai massa jenis, merupakan salah satu sifat fisik yang dapat mengalami perubahan signifikan antar berbagai jenis batuan. Perbedaan ini umumnya disebabkan oleh variasi dalam kandungan mineral dan tingkat porositas batuan. Secara umum, massa jenis didefinisikan sebagai rasio antara massa suatu benda terhadap volumenya. Densitas atau massa jenis, adalah perbandingan antara massa suatu objek dengan volumenya. Suatu material dengan densitas tinggi menunjukkan bahwa partikel-partikel penyusunnya tersusun lebih rapat. Dengan demikian, semakin padat susunan partikel suatu material, semakin besar pula nilai massa jenisnya. Parameter ini sering dimanfaatkan untuk mengidentifikasi atau menentukan jenis suatu material[36]. Adapun beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam proses pengujian densitas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran massa sampel:

- Pengukuran massa sampel dilakukan dengan timbangan digital, baik sebelum maupun sesudah perendaman dalam air, atau saat kondisi kering. Selisih antara massa sampel kering dan massa setelah perendaman digunakan sebagai dasar perhitungan densitas material.

2. Metode pengukuran dengan hukum archimedes:

- Menurut Hukum Archimedes, benda yang berada di dalam suatu cairan akan mengalami gaya apung yang besarnya setara dengan berat cairan yang dipindahkan oleh benda tersebut. Dalam pengujian ini, perendaman sampel dalam cairan menghasilkan gaya apung yang sebanding dengan berat cairan yang tergeser, yang dapat diketahui melalui perubahan massa sampel yang terukur.

3. Standar pengujian:

- Uji densitas dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM B962-17[37]. Syarat spesimen harus padat dan tidak menyerap air. Rujukan terhadap standar ini sangat penting untuk menjamin konsistensi dan keabsahan hasil pengujian, sekaligus memastikan bahwa seluruh proses pengukuran dilakukan sesuai prosedur baku dan dapat dipercaya.

Pengujian densitas berperan penting dalam mengetahui karakteristik fisik suatu material. Dengan menerapkan prinsip Hukum Archimedes serta mengikuti standar pengujian yang tepat, hasil pengukuran dapat menghasilkan data yang akurat dan bermanfaat terkait sifat fisik sampel yang diuji.

Nilai densitas dapat dihitung menggunakan rumus dibawah ini:

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

keterangan:

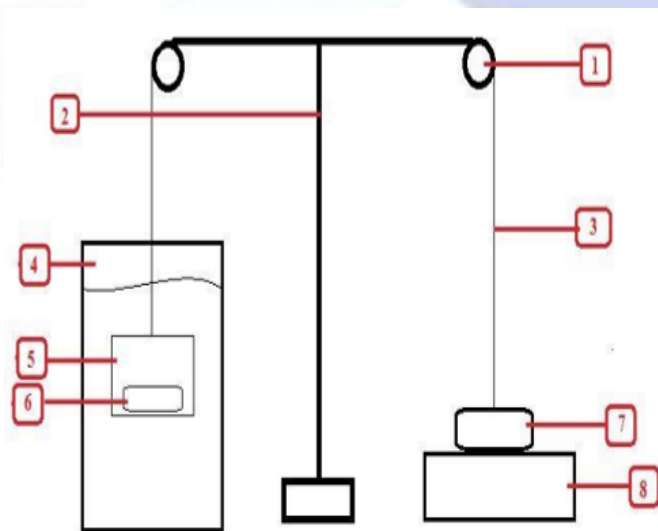
$\rho_m$  = densitas actual (gram/cm<sup>3</sup>)

$m_s$  = massa sampel kering (gram)

$m_g$  = massa sampel basah (gram)

$\rho_{H_2O}$  = massa jenis air

Uji densitas dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Ilustrasi Uji Densitas[35].

keterangan :

- |           |                      |
|-----------|----------------------|
| 1. katrol | 5. Keranjang         |
| 2. Rangka | 6. Sampel 1          |
| 3. Tali   | 7. Sampel 2          |
| 4. Wadah  | 8. Timbangan digital |

## 2.11 Kampas Rem

Rem adalah perangkat yang menggunakan gaya gesek buatan untuk memperlambat atau menghentikan putaran mesin. Energi kinetik dari komponen yang bergerak diserap dan diubah menjadi panas. Panas ini kemudian dilepaskan ke lingkungan agar suhu komponen rem tidak meningkat berlebihan[38] Syarat rem harus mengacu pada SNI 3-9370:2025. Adapun standar kampas rem komposit dapat dilihat pada tabel 2.8 dibawah ini.

Tabel 2.8 Standar Kampas Rem[39]

| No | Standar               | Nilai                                                        |
|----|-----------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1  | Kekerasan             | 65-105 BHN                                                   |
| 2  | Ketahan Panas         | 360°C                                                        |
| 3  | Keausan               | $5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{kg}$ |
| 4  | Koefisien Gesek       | 0,14 - 0,27                                                  |
| 5  | Massa Jenis           | 1,5 – 2,4 gr/cm <sup>3</sup>                                 |
| 6  | Konduktivitas Thermal | 0,12 – 0,8 W.m.°K                                            |
| 7  | Tekanan Spesifik      | 0,17 – 0,98 joule/g. °C                                      |
| 8  | Kekuatan Geser        | 1300 – 3500 N/cm <sup>2</sup>                                |
| 9  | Kekuatan Perpatahan   | 480 – 1500 N/cm <sup>2</sup>                                 |

## 2.12 Metode Desain Full Faktorial

Metode desain full faktorial merupakan jenis percobaan yang melibatkan seluruh kombinasi kemungkinan dari taraf beberapa faktor yang diuji. Dalam percobaan ini, setiap faktor memiliki taraf tertentu yang dikombinasikan secara menyeluruh, dan umumnya disebut sebagai percobaan faktorial. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah untuk mengamati adanya interaksi antara faktor-faktor yang digunakan dalam penelitian. Interaksi tersebut bisa bersifat positif, di mana dua faktor saling mendukung dalam memengaruhi respons, atau sebaliknya, satu faktor dapat menghambat kinerja faktor lainnya sehingga memberikan efek negatif. Pola interaksi seperti ini cenderung memperkuat pengaruh gabungan dari kedua faktor. Secara umum, interaksi diartikan sebagai kondisi di mana pengaruh suatu faktor berubah tergantung pada taraf faktor lainnya, atau dengan kata lain, interaksi menunjukkan kegagalan suatu faktor untuk memberikan pengaruh yang konsisten pada setiap taraf dari faktor lain[40].

Penelitian ini menggunakan rancangan faktorial  $3^k$ , di mana angka 3 menunjukkan jumlah level, dan 2 merupakan jumlah faktor yang digunakan sebagai nilai  $k$ . Dengan demikian, desain eksperimen yang digunakan adalah desain faktorial dua faktor, yaitu fraksi berat dan kompaksi, yang masing-masing terdiri atas tiga level, atau dituliskan sebagai desain  $3^2$ .

### 2.13 Pengujian ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variance*) merupakan salah satu cabang dari matematika terapan yang berfokus pada proses pengumpulan, pengolahan, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan pengambilan keputusan berdasarkan data tersebut. Metode ini digunakan untuk menguji hipotesis terkait perbedaan rata-rata antar kelompok perlakuan dalam suatu eksperimen. Hasil utama dari analisis ANOVA adalah nilai F hitung (F test), yang kemudian dibandingkan dengan nilai F tabel. Jika nilai F hitung lebih besar dari F tabel, maka hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima dan hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak, yang mengindikasikan adanya perbedaan yang signifikan antara rata-rata kelompok. Sebaliknya, jika nilai F tabel lebih besar dari F hitung, maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak[41]. Definisi secara umum anova dapat dihitung sebagai berikut.

1. Jumlah Kuadrat Total

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

2. Jumlah Kuadrat Mean

$$Jkm = n\bar{y} \dots\dots\dots (3.2)$$

3. Jumlah kuadrat faktor

$$k_f = \frac{(Total A1)^2}{n1} + \frac{(Total A2)^2}{n2} + \frac{(Total A2)^2}{n1+n2} \dots\dots\dots (4.2)$$

4. Jumlah kuadrat eror

$$jke = jkt - jkm - jkf \dots\dots\dots (5.2)$$

5. F-hitung

$$Adj MS : error Adj MS \dots\dots\dots (6.2)$$

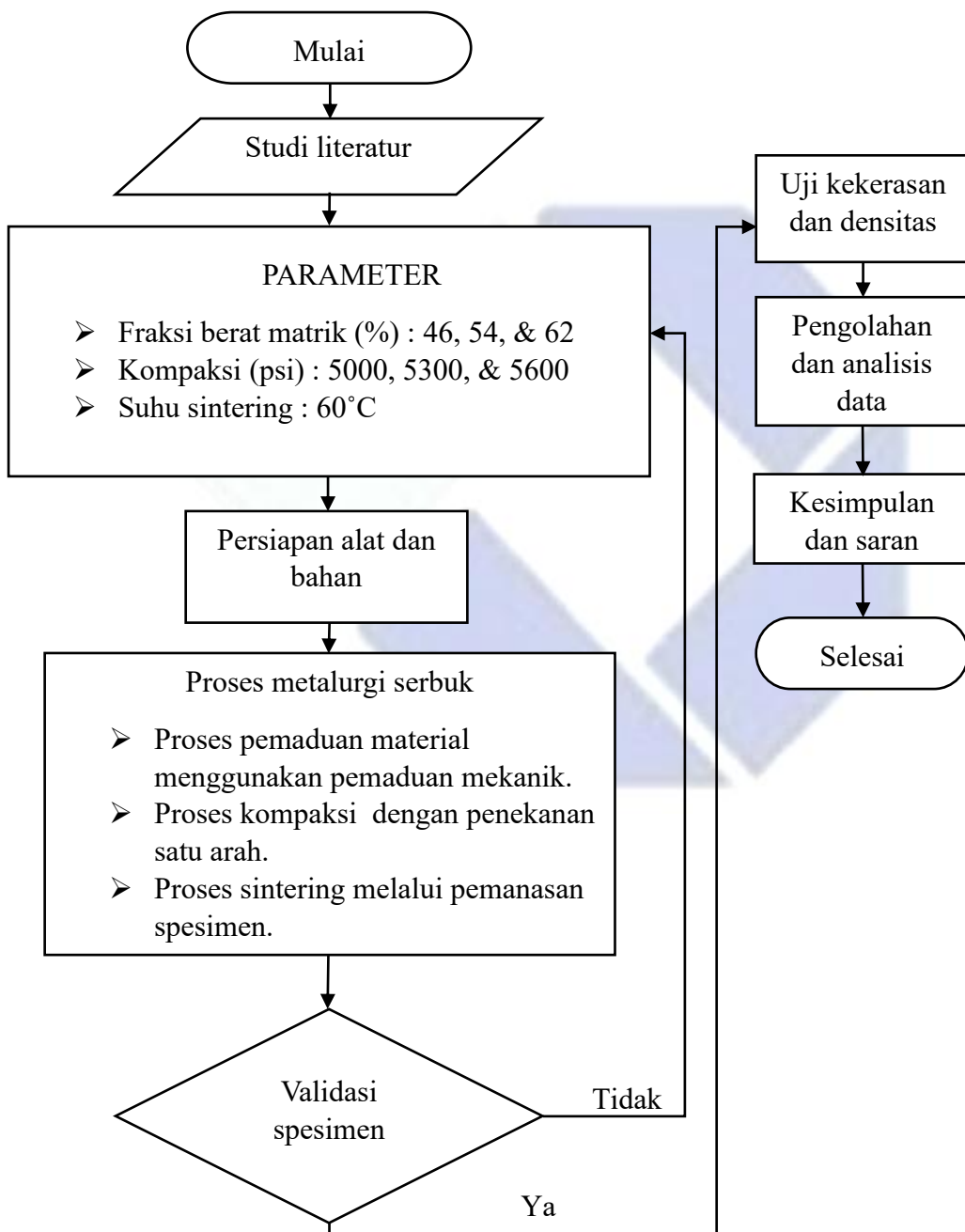
6. Derajat Kebebasan

$$DoF = jumlah level - 1 \dots\dots\dots (7.2)$$

### BAB III METODE PELAKSANAAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Berikut ini merupakan pemaparan pelaksanaan penelitian yang di lakukan oleh peneliti.



Gambar 3.1 Diagram alir

### **3.2 Studi Literatur**

Studi literatur berfungsi sebagai sumber acuan yang bermanfaat bagi peneliti dalam merancang penelitian. Proses ini mendukung perencanaan metodologi, pemilihan teknik yang sesuai, serta penentuan pendekatan yang tepat untuk proses pengumpulan dan analisis data. Literatur ilmiah juga menyajikan landasan teoritis yang esensial guna memahami berbagai konsep, prinsip, dan teori yang berkaitan dengan topik penelitian. Dengan adanya referensi tersebut, peneliti dapat membentuk pemahaman yang lebih kuat dan mendalam terhadap subjek yang dikaji.

Selain itu, studi literatur menyediakan berbagai data pendukung, termasuk hasil-hasil penelitian terdahulu, eksperimen relevan, dan temuan dari beragam sumber ilmiah. Informasi ini berguna untuk memperkuat argumentasi dalam penelitian yang sedang dilakukan maupun untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan penelitian sebelumnya. Penggunaan literatur yang relevan juga turut meningkatkan keandalan dan kredibilitas penelitian, karena menunjukkan bahwa peneliti telah mempertimbangkan hasil studi sebelumnya untuk memvalidasi temuannya.

Melalui studi literatur, peneliti juga dapat mengenali celah dalam pengetahuan yang ada atau area yang masih jarang diteliti. Hal ini berguna dalam merumuskan ide penelitian baru atau menentukan fokus kajian yang lebih terarah. Mengakses informasi dari berbagai sumber terpercaya seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, dan media daring merupakan langkah penting dalam membangun dasar penelitian yang kuat dan berkontribusi secara signifikan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan di bidang yang diteliti.

### **3.3 Bahan Dan Alat Penelitian**

Pembuatan spesimen dilakukan di area laboratorium dan bengkel mekanik, tepatnya di laboratorium LAPALO Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Sementara itu, pengujian densitas dan koefisien gesek dilakukan di laboratorium material teknik Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Penelitian ini menggunakan berbagai bahan dan alat yang relevan.

### 3.3.1 Bahan Penelitian

Beberapa bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut.

#### 1. *Rice Husk Ash*

*Rice Husk Ash* (RHA) atau abu sekam padi merupakan hasil pembakaran sekam padi yang mengandung silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam jumlah tinggi.. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [42] sekam padi atau abu sekam yang dihasilkan melalui proses pembakaran memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan karbon(C) dalam jumlah yang signifikan. Kandungan silika pada sekam padi dapat mencapai hingga 90% dari total berat sekam yang mengalami pembakaran. Gambar RHA yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Serbuk *Rice Husk Ash*

#### 2. Resin fenolik

Disini peneliti menggunakan resin fenolik sebagai matrik dalam penelitian ini. Resin fenolik yang digunakan dalam penelitian ini adalah resin fenolik FRJ 551, dari PT.Graha Jaya Pratama. Berikut gambar resin fenolik yang telah di haluskan pada gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3.3 Resin fenolik

### 3. Serbuk aluminium

Serbuk aluminium dalam penelitian ini berasal dari proses daur ulang dengan komposisi utama 83,40% Al, 2,674% Cu ( $\text{FeO}_2$ ), dan 10,09% Si, serta memiliki ukuran partikel berdasarkan *Particle Size Analyzer* D50: 282,53. Peneliti memanfaatkan serbuk aluminium sebagai penguat dalam penelitian ini. Gambar aluminium yang digunakan peneliti dapat pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Serbuk Aluminium

### 4. Pasir Silika

Pasir silika atau tailing yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah pencucian bijih timah di Kepulauan Bangka Belitung. Menurut [43] Sebagian besar tailing timah, sekitar 80-90% terdiri dari tailing pasir, sementara sisanya berupa tailing lumpur.



Gambar 3.5 Pasir Silika

## 5. Kuningan

Kuningan (CuZn) adalah logam paduan yang terdiri dari campuran Tembaga (Cu) sebagai komponen utama dan Seng (Zn). Kuningan termasuk dalam salah satu bentuk tembaga paduan. Penambahan seng bertujuan untuk meningkatkan karakteristik pengecoran tembaga, sementara elemen lain ditambahkan untuk memperbaiki sifat materialnya.



Gambar 3.6 Serbuk Kuningan

### 3.3.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini melibatkan penggunaan berbagai jenis perlengkapan, termasuk antara lain :

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

Mesin *Ball Mill* beroperasi dengan memanfaatkan pergerakan bola-bola di dalam tabung yang berputar dalam durasi yang telah ditentukan oleh operator. Mesin ini berfungsi utama untuk menghaluskan, melumatkan, atau menghancurkan material hingga menjadi partikel berukuran lebih kecil, bahkan berbentuk bubuk. Mesin ini peneliti manfaatkan untuk mencampur antara matrik dengan penguat komposit. Gambar mesin *Ball mill* yang digunakan peneliti dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.7 Mesin *Ball mill*

## 2. Mesin press hidrolik

Mesin press yang digunakan dalam penelitian ini bekerja dengan mekanisme penekanan satu arah dan dilengkapi dengan alat pembaca tekanan. Mesin press yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Mesin Press Hidrolik Satu Arah

## 3. Timbang digital

Timbangan digital digunakan sebagai alat untuk mengukur massa atau berat. Peneliti juga memanfaatkan timbang digital untuk mengukur berat komposit setelah dicetak pada mesin press dan saat uji densitas. Ketelitian timbangan digital yang digunakan peneliti dalam penelitian ini sebesar 0,01. Gambar timbangan digital dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Timbangan Digital

#### 4. Cetakan spesimen

Cetakan spesimen dimanfaatkan peneliti untuk membentuk spesimen komposit. Hasil kompaksi dengan bentuk bulat dengan diameter 30 mm dan tebal 15 mm.



Gambar 3.10 Cetakan Spesimen

#### 5. Oven

Alat perlakuan panas digunakan untuk melakukan proses sintering pada spesimen yang sebelumnya telah melewati tahap kompaksi. gambar oven yang peneliti gunakan dapat dilihat pada gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Oven

#### 6. Alat uji kekerasan *Brinell*

Pada proses pengujian Brinell, bola baja keras dengan diameter 2 mm ditekan ke permukaan material menggunakan beban tertentu. Berikut alat uji kekerasan brinell yang ditunjukkan pada gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Alat Uji Kekerasan *Brinell Portable*

### 7. Aquades

Dalam penelitian ini, aquades digunakan sebagai media perendaman atau pembersihan sampel untuk memastikan tidak ada zat asing yang memengaruhi proses pengukuran. Berikut gambar aquades pada gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3.13 Aquades

### 8. Alat uji densitas

Dalam penelitian ini, pengukuran densitas menjadi salah satu parameter penting untuk memperoleh informasi terkait sifat fisik dan komposisi material yang diuji. Alat uji densitas yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.14 di bawah ini.



Gambar 3.14 Alat Uji Densitas

## 3.4 Proses penelitian

Berikut adalah penjelasan mengenai prosedur penelitian yang akan dilakukan.

### 3.4.1 Metalurgi Serbuk

#### 1. Proses pencampuran

Proses ini dilakukan melalui pencampuran mekanis phenolic resin dan serbuk logam serta RHA menggunakan mesin ball mill. Tahapan dalam proses ini mencakup rasio bola baja terhadap bubuk (*ball to powder ratio/BPR*) sebesar 10:1, kecepatan putaran mesin 90 rpm, serta durasi penggilingan selama 4 jam.

Proses *mechanical alloying* ini berlangsung dalam dua tahap yang terjadi secara simultan, yaitu pencampuran dan penggilingan. Metode ini memungkinkan distribusi komponen bubuk yang lebih homogen, menghasilkan bubuk yang lebih halus dan seragam sebelum dilakukan pemaduan mekanis.

Setelah tahap pencampuran dan penggilingan, penelitian ini menerapkan variasi persentase antara matriks dan penguat dalam tiga level yaitu, 46 % matriks dengan 54 % penguat, 54 % matriks dengan 46 % penguat, serta 62 % matriks dengan 38 % penguat. Masing-masing variasi memerlukan berat serbuk 15 gram untuk setiap spesimen. Berat serbuk diukur menggunakan timbangan digital dengan akurasi 0,01 kg. Dalam penelitian ini, variasi berat serbuk matriks dan penguat dimasukkan ke dalam cetakan 15 gram. Untuk memperoleh spesimen dengan ketebalan 15 mm, digunakan kombinasi mekanis dari *phenolic resin* sebagai matriks serta serbuk logam dan RHA sebagai penguat, dengan total berat 630 gram.

## 2. Proses kompaksi dingin (*cold compaction*)

Proses pemadatan ini dilakukan menggunakan mesin press hidrolik yang dilengkapi dengan perangkat atas serta alat pembaca tekanan. Sebelum dilakukan penekanan, cetakan diposisikan pada alat press, lalu bubuk dimasukkan secara merata. Selanjutnya, tekanan diberikan secara simultan satu arah, dengan alat ukur digunakan untuk memantau tekanan yang diterapkan. Tekanan kompaksi yang digunakan bervariasi, yaitu 5000 Psi, 5300, dan 5600 Psi, dengan waktu tahan selama 10 menit.

## 3. Sintering

Proses perlakuan panas menggunakan teknik sintering berfungsi untuk mengikat partikel dalam paduan komposit agar saling berikatan melalui mekanisme pemanasan dan reaksi kimia yang terjadi selama proses sintering. Dalam penelitian ini, sintering dilakukan pada suhu 60°C dengan waktu tahan (*holding time*) selama 10 menit. Setelah proses sintering selesai, spesimen di biarkan didalam oven dalam keadaan oven terbuka selama 4 jam.

### 3.5 Validasi Spesimen

Proses ini dilakukan dengan pemeriksaan visual terhadap setiap spesimen yang telah melewati tahap mechanical alloying. Jika ditemukan cacat pada sampel seperti: retak, terkikis, rapuh dan pecah.

Apabila sampel hasil proses menunjukkan adanya cacat atau tidak sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan, maka diperlukan pencetakan ulang mulai dari tahap awal.

Langkah ini dilakukan untuk menjamin bahwa sampel yang akan digunakan dalam proses pengujian memiliki kualitas yang layak dan sesuai dengan tujuan pengujian. Selain itu, validasi ini juga berperan penting dalam memastikan bahwa hasil pengujian yang diperoleh bersifat akurat dan mewakili kondisi sebenarnya. maka perlu dilakukan pencetakan ulang mulai dari tahap metalurgi serbuk. Namun, jika sampel dinyatakan layak uji, maka dapat dilanjutkan ke tahap pengujian.

### 3.6 Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari kekuatan dan densitas akan dianalisis serta disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pengolahan data ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil pengujian densitas serta koefisien gesek secara lebih sistematis. Berikut tabel pengolahan data dapat di lihat pada tabel 3.1 dan 3.2 masing masing adalah tabel pengolahan data hasil kekerasan dan densitas.

Tabel 3.1 Pengolahan Data Uji Kekerasan

| No | Tekanan kompaksi<br>(psi) | Persentase<br>matrik<br>(%) | Nilai kekerasan<br>(HB) |   |   | Rata-rata<br>(HB) |
|----|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|---|---|-------------------|
|    |                           |                             | 1                       | 2 | 3 |                   |
| 1  | 5000                      | 46                          |                         |   |   |                   |
| 2  | 5000                      | 54                          |                         |   |   |                   |
| 3  | 5000                      | 62                          |                         |   |   |                   |
| 4  | 5300                      | 46                          |                         |   |   |                   |
| 5  | 5300                      | 54                          |                         |   |   |                   |
| 6  | 5300                      | 62                          |                         |   |   |                   |
| 7  | 5600                      | 46                          |                         |   |   |                   |
| 8  | 5600                      | 54                          |                         |   |   |                   |
| 9  | 5600                      | 62                          |                         |   |   |                   |

Tabel 3.2 Pengolahan Data Uji Densitas

| No | Persentase matrik (%) | Tekanan kompaksi (psi) | Nilai densitas (g/cm <sup>3</sup> ) |   |   | Rata-rata |
|----|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|---|---|-----------|
|    |                       |                        | 1                                   | 2 | 3 |           |
| 1  | 46                    | 5000                   |                                     |   |   |           |
| 2  | 54                    | 5000                   |                                     |   |   |           |
| 3  | 62                    | 5000                   |                                     |   |   |           |
| 4  | 46                    | 5300                   |                                     |   |   |           |
| 5  | 54                    | 5300                   |                                     |   |   |           |
| 6  | 62                    | 5300                   |                                     |   |   |           |
| 7  | 46                    | 5600                   |                                     |   |   |           |
| 8  | 54                    | 5600                   |                                     |   |   |           |
| 9  | 62                    | 5600                   |                                     |   |   |           |

### 3.7 Analisis Data

Peneliti menggunakan metode desain faktorial dengan variasi volume serbuk dan kompaksi sebagai faktor yang masing-masing memiliki tiga level. Selanjutnya, level parameter dipangkatkan dengan dua faktor, menghasilkan sembilan sampel, yang kemudian diuji sebanyak tiga kali, sehingga total data yang diperoleh berjumlah 27. Berikut adalah desain tabel pengolahan data faktorial yang telah digunakan dalam penelitian:

Tabel 3.3 Pengolahan Data Hasil Eksperimen

| Eksperimen | Persentase matrik (%) | Kompaksi (psi) |
|------------|-----------------------|----------------|
| 1          | 46                    | 5000           |
| 2          | 46                    | 5300           |
| 3          | 46                    | 5600           |
| 4          | 54                    | 5000           |
| 5          | 54                    | 5300           |
| 6          | 54                    | 5600           |
| 7          | 62                    | 5000           |
| 8          | 62                    | 5300           |
| 9          | 62                    | 5600           |

Tabel 3.4 Faktor Dan Level Uji Penelitian

| Faktor                  | level |      |      |
|-------------------------|-------|------|------|
| Fraksi berat matrik (%) | 46    | 54   | 62   |
| Kompaksi (psi)          | 5000  | 5300 | 5600 |

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian pembuatan komposit matrik *phenolic* resin yang diperkuat serbuk logam (aluminium, kuningan, silika) dan abu sekam padi (RHA) hybrid menggunakan metode metalurgi serbuk, dengan variasi persentase matrik (46 %, 54 %, dan 62 %) serta tekanan kompaksi (5000 Psi, 5300 Psi, dan 5600 Psi), dapat disimpulkan sebagai berikut:

Nilai tertinggi uji kekerasan ada pada tekanan 5300 Psi dan 46 % matrik yaitu 154 HB, serta nilai tertinggi uji densitas ada pada tekanan 5000 Psi dan 46 % matrik yaitu 1,461 g/cm<sup>3</sup>. Penambahan serbuk logam dan RHA hybrid pada komposit resin fenolik dengan fraksi berat 46 %, 54 %, dan 62 % sudah memenuhi SNI kampas rem sepeda motor untuk nilai kekerasannya, akan tetapi untuk nilai densitasnya belum memenuhi standar SNI kampas rem sepeda motor, karena SNI kekerasan kampas rem adalah 65-105 HB dan densitas kampas rem adalah 1,5-2,5 g/cm<sup>3</sup>.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, berikut beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya:

1. Disarankan untuk memperluas variasi parameter proses, seperti meningkatkan rentang tekanan kompaksi dan suhu sintering, guna mengoptimalkan sifat mekanik dan fisik komposit yang dihasilkan.
2. Perlu dilakukan pengujian tambahan seperti uji aus, uji struktur mikro (SEM/EDS), serta analisis termal (DSC/TGA) untuk mendapatkan pemahaman lebih komprehensif terhadap performa material.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desdiani, *Penyakit Paru Akibat Kerja*, 1st Ed. Bandung: Media Sains Indonesia, 2023.
- [2] S. Febriany And P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas Dan Kekerasan Amc Diperkuat Sic Dan Rha Metode Metalurgi Serbuk,” Vol. 02, No. 2, P. 388, 2024.
- [3] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, And S. W. Yakti, “Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati,” *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, Vol. 1, No. 1, 2019, Doi: 10.18196/Jqt.010104.
- [4] D. Widjanarko, “Karakteristik Komposit Partikel Arang Kayu Akasia Bermatrik Epoxy Sebagai Salah Satu Alternatif Kampas Rem Non-Asbestos,” 2020.
- [5] M. Nurul Ihsan, D. Wicaksono, And S. Sehonon, “Uji Keausan Kampas Rem Berbahan Limbah Organik Menggunakan Metode Ogoshi,” *Teknika Sttkd: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, Vol. 8, No. 1, Pp. 92–96, Nov. 2022, Doi: 10.56521/Teknika.V8i1.559.
- [6] M. Asim, N. Saba, M. Jawaaid, M. Nasir, M. Pervaiz, And O. Y. Alothman, “A Review On Phenolic Resin And Its Composites,” 2018, *Bentham Science Publishers*. Doi: 10.2174/1573411013666171003154410.
- [7] M. Ghazi Al Ghifari, A. Rusdi, And P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Rekayasa Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Alumina Dan Bagasse Ash Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” Vol. 02, No. 2, P. 269, 2024.
- [8] B. Tri Prasetya, “Jurnal Teslink : Teknik Sipil Dan Lingkungan Analisis Pembuatan Paving Block Menggunakan Campuran Limbah Pecahan Keramik Dan Pasir Silika Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Terhadap Kuat Tekan (Literature Review),” Vol. 6, No. 1, Pp. 76–84, 2024, Doi: 10.52005/Teslink.V1i1.Xxx.
- [9] H. M. Parhusip, Mulyadi, And A. Choliq, “Analisis Distribusi Kekerasan Logam Kuningan Dengan Jominy Test,” *Jurnal Teknik Mesin Mistek Mesin Inovasi Dan Teknologi*, Vol. 1, Pp. 57–61, 2020.
- [10] A. G. Dylan, Sugiyarto, A. Wanto, A. Budi, And Sukanto, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Silicon Carbida Dan Rice Husk Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” *Lontar Jurnal Teknik Mesin Undana*, Vol. 10, Pp. 61–68, 2023.
- [11] A. Supriyanto, S. A. Krisna, And Muh. V. Hermawan, “Eksperimen Variasi Ukuran Butir Dan Tekanan Kompaksi Campuran Al-Si Terhadap Densitas Dan Porositas Metode Metalurgi,” *Jurnal Teknika*, Vol. 7, Pp. 108–115, 2022.
- [12] B. Maryanti, M. Anggun, T. Anggono, J. Pupuk, R. Gunung, And B. Balikpapan, “Studi Ekperimental Keausan Kampas Rem Komposit Serat

- Kulit Durian Dan Serbuk Aluminium Dengan Resin Vinylester,” *Jurnal Penelitian Enjiniring (Jpe)*, Vol. 24, No. 2, 2020, Doi: 10.25042/Jpe.112020.06.
- [13] Binyamin, Siti, Anis Nurrokeyati, Bayu, Bagas Prasetyo, Fathur, Syahrul Rahman, And Waluyo, Bambang Febriantoko, “Rekayasa Pembuatan Kampas Rem Berbahan Dasar Serbuk Tempurung Kelapa Bermatriks Phenolic Resin Terhadap Performa Gesek Pengereman,” *Traksi: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, Pp. 104–120, 2019, Doi: <https://dx.doi.org/10.26714/traksi.19.2.2019.104-120>.
- [14] I. D. G. Ary Subagia, I. Adi Atmika, N. Suardana, R. Gds, And S. Fs, “Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Kekerasan Dan Keausan Kampas Rem Berbasis Komposit Hibrida Serbuk Tempurung Kelapa/Alumina/Phenolic Resin,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol. 11, No. 2, P. 42, Oct. 2018, Doi: 10.24843/Jem.2018.V11.I02.P02.
- [15] I. N. G. Suma Wijaya, I. D. G. Ary Subagia, And W. N. Septiadi, “Charpy Impact Test Pada Kampas Rem Hybrid Komposit Phenolic Resin Matrik Dengan Penguat Serbuk Basalt-Alumina-Kulit Kerang,” *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, Vol. 9, No. 2, Pp. 180–185, 2016, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem>
- [16] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, M. Yusuf, And R. Siahaan, “Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova Compressive Strength Optimization Of Cylindrical Column Concrete Reinforced Jute Laminated Composite Wrap With Anova Method,” *Jcebt*, Vol. 6, No. 1, P. 2022, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [17] L. Diana, A. Ghani Safitra, And M. Nabiel Ariansyah, “Analisis Kekuatan Tarik Pada Material Komposit Dengan Serat Penguat Polimer,” Vol. 4, No. 2, Pp. 59–67, 2020.
- [18] H. Achyadi And D. Hardianto, “Pengembangan Material Komposit Berbasis Polimer Menggunakan Serat Alami,” 2024.
- [19] P. Nawangsari, Jamasri, And H. S. B. Rochardjo, “Effect Of Phenolic Resin On Density, Porosity, Hardness, Thermal Stability, And Friction Performance As A Binder In Non-Asbestos Organic Brake Pad,” In *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, Institute Of Physics Publishing, Sep. 2019. Doi: 10.1088/1757-899x/547/1/012012.
- [20] A. E. Duke And E. E. Eno, “Rice Husk Ash Pozzolan As Valuable Supplement In Concrete For Industrial And Domestic Applications,” *Asian Journal Of Physical And Chemical Sciences*, Pp. 1–7, Apr. 2019, Doi: 10.9734/Ajopacs/2019/V7i130088.
- [21] Cut Yusnar, “Analisis Morfologi Partikel Mikrostruktur Geopolimer Abu Sekam Padi Menggunakan Pembakaran Dengan Alat Furnace Dan Pembakaran Secara Manual,” *Jse*, Vol. 9, No. 9 No. 2 (2024): Edisi Khusus April, Pp. 8629–8637, Mar. 2024.

- [22] A. Cakrawijaya *Et Al.*, “Pengaruh Substitusi Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi”.
- [23] A. Rahayu, M. Maryudi, F. F. Hanum, J. A. Fajri, W. D. Anggraini, And U. Khasanah, “Review: Pengolahan Limbah Cair Industri Dengan Menggunakan Silika A Review: Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica,” *Open Science And Technology*, Vol. 02, No. 01, Pp. 2776–169, 2021, [Online]. Available: <https://Opscitech.Com/Journal>
- [24] . S., R. Soenoko, W. Suprpto, And Y. S. Irawan, “Characterization Of Aluminium Matrix Composite Of Al-Znsifecumg Alloy Reinforced With Silica Sand Tailings Particles,” *Journal Of Mechanical Engineering And Sciences*, Vol. 14, No. 3, Pp. 7094–7108, Sep. 2020, Doi: 10.15282/Jmes.14.3.2020.11.0556.
- [25] R. Bagus And S. Majanasastra, “Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 Dan Aluminium Al 6063,” 2016. [Online]. Available: <http://Ejournal-Unisma.Net>
- [26] Tata Surdia And Shinroku Saito, *Pengetahuan & Bahan Teknik*, Vol. 4. Pt Pratnya Paramita, 1999. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: [https://Ndesoneandik.Wordpress.Com/Wp-Content/Uploads/2012/04/554\\_Pengetahuan-Bahan-Teknik.Pdf](https://Ndesoneandik.Wordpress.Com/Wp-Content/Uploads/2012/04/554_Pengetahuan-Bahan-Teknik.Pdf)
- [27] M. A. Pradana And M. Widyartono, “Pototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan Dan Seng.”
- [28] A. Ghofur, J. Akhmad Yani Km, And K. Selatan, “Penggunaan Kuningan Sebagai Bahan Catalytic Converter Terhadap Emisi Gas Buang Dan Performa Mesin Suzuki Shogun Axelo 125,” 2019.
- [29] Evi Julianti Rahayu, “Pengaruh Komposisi Kuningan (Cuzn),” 2018. Accessed: May 21, 2025. [Online]. Available: [https://Lib.Unnes.Ac.Id/36335/1/5201414008\\_Optimized.Pdf](https://Lib.Unnes.Ac.Id/36335/1/5201414008_Optimized.Pdf)
- [30] S. Achmad Dodo, “Pengaruh Variasi Tekanan Dan Suhu Pada Pengadukan Serbuk Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Dan Seng (Zn) Terhadap Sifat Mekanik Logam Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” *Jurnal Dinamis*, Vol. 8, No. 2, 2020.
- [31] M. Asep, “Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Timah Dengan Metode Metalurgi Serbuk,” 2023.
- [32] C. Suryanarayana, “Mechanical Alloying: A Novel Technique To Synthesize Advanced Materials,” *Research*, Vol. 2019, Jan. 2019, Doi: 10.34133/2019/4219812.
- [33] Aminur, M. Hasbi, And Gunawan Yuspian, “Proses Pembuatan Biokomposit Polimer Serat Untuk Aplikasi Kampas Rem,” Nov. 2015.
- [34] “Test Method For Rockwell And Brinell Hardness Of Metallic Materials By Portable Hardness Testers,” Jan. 01, 2010, *Astm International, West Conshohocken, Pa.* Doi: 10.1520/E0110-10.

- [35] “Pembuatan Komposit Amc Di Perkuat Hybrid Baggase Ash-Alumina Terhadap Variasi Kompaksi Dan Suhu Sintering Dengan Metode Metalurgi Serbuk”.
- [36] N. Rohmah, Y. Yushardi, And S. Sudarti, “Uji Densitas Dan Porositas Serta Karakterisasi Batu Andesit Letusan Gunung Semeru Di Desa Sumberuluh Kecamatan Candipuro Kabupaten Lumajang,” *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, Vol. 5, No. 2, Pp. 226–237, Dec. 2023, Doi: 10.31540/Sjpif.V5i2.2434.
- [37] “Test Methods For Density Of Compacted Or Sintered Powder Metallurgy (Pm) Products Using Archimedes Principle,” Apr. 01, 2017, *Astm International, West Conshohocken, Pa.* Doi: 10.1520/B0962-17.
- [38] A. Noor Fajri, “Analisa Pengujian Gesek, Aus Dan Lentur Pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor.”
- [39] M. Syahid, H. Arsyad, And & Pratama, *Analisa Sifat Mekanik Polimer Matriks Komposit Berpenguat Fly Ash Batubara Sebagai Bahan Kampas Rem.*
- [40] J. Arifin, “Ananalisa Full Factorial Shell And Tube Condensor Air Conditioner,” *Jurnal Teknik Mesin Uniska*, Vol. 03, No. 01, 2017.
- [41] P. Manufaktur Negeri Bangka Belitung, “Pengaruh Proses Annealing Terhadap Akurasi Dimensi Dan Kuat Tarik 3d Printing Menggunakan Filamen St-Pla,” Vol. 02, No. 1, 2024.
- [42] N. Indah Pramuningtyas, M. Toni Prasetyo, And R. Nindyo Sumarno, “Analisis Pemanfaatan Pemurnian Rice Husk Ash (Rha) Yang Mengandung Silika Dengan Metode Furnace Dalam Pembuatan Bahan Isolator Polimer Resin Silane Analysis Of The Utilization Of Purification Of Rice Husk Ash (Rha) Containing Silica By Furnace Method In Making Silane Resin Polymer Insulator Material.”
- [43] I. Inonu, D. Budianta, M. Umar Harun, And Dan Aya Wiralaga, “Ameliorasi Bahan Organik Pada Media Tailing Pasir Pascatambang Timah Untuk Pertumbuhan Bibit Karet,” Januari-Juni, 2011.

## Lampiran 1: Daftar Riwayat Hidup

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

#### 1. Data Pribadi

Nama : Ardiansyah  
Tempat, tanggal lahir : Puding Besar, 19 juli 2004  
Alamat : JL.Muntok Puding Besar  
Jenis kelamin : Laki-laki  
Agama : islam  
Telp : -  
HP : 085609123200  
Email : [ardi60394@gmail.com](mailto:ardi60394@gmail.com)



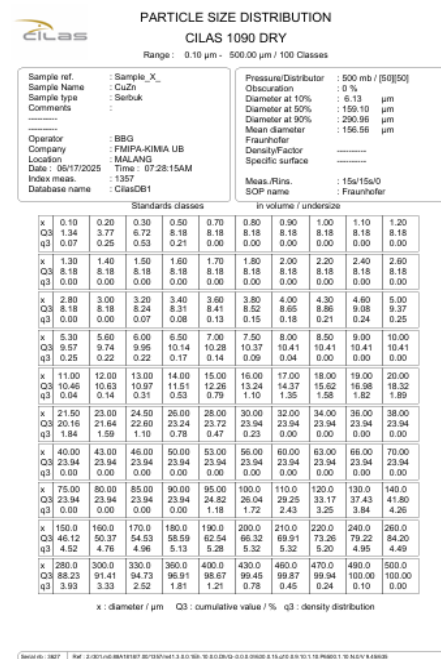
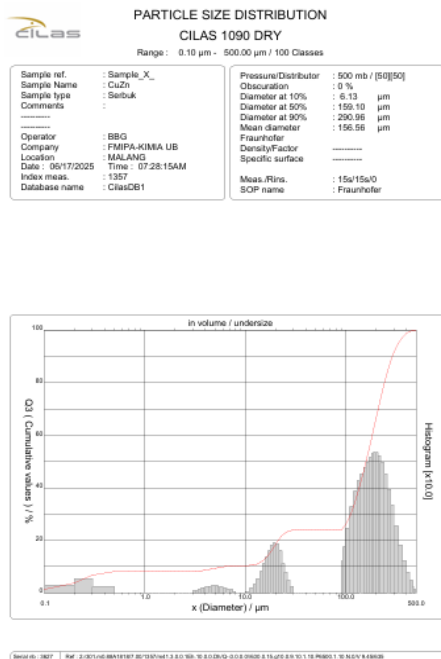
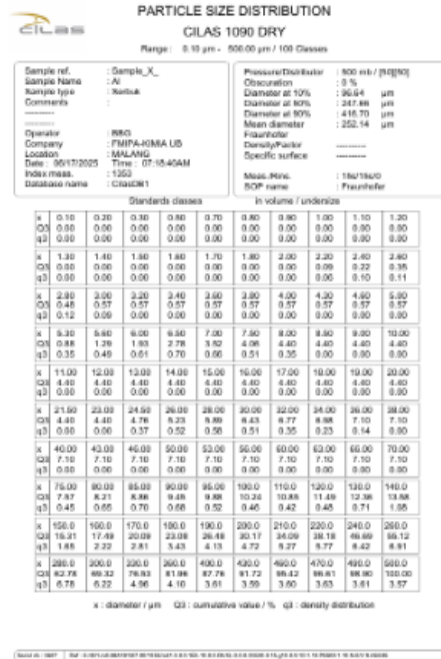
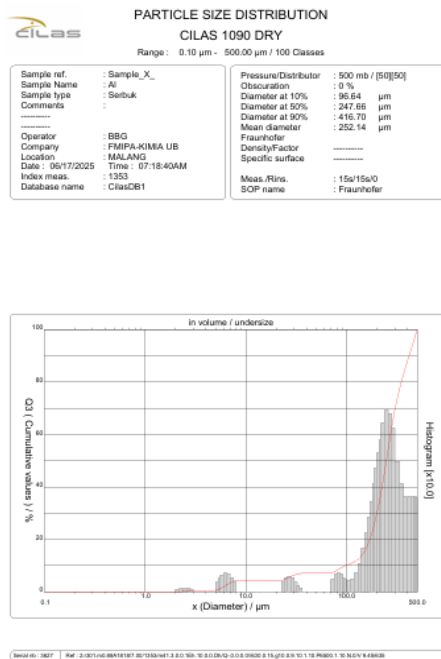
#### 2. Riwayat Pendidikan

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| SD Negeri 3 Puding Besar  | Tahun 2010-2016 |
| SMP Negeri 1 Puding Besar | Tahun 2016-2019 |
| SMA Negeri 1 Puding Besar | Tahun 2019-2022 |

Puding Besar, 03 juli 2025

Ardiansyah

## Lampiran 2 : *Particle Syze Anylyser* serbuk







### Lampiran 3 : Densitas Serbuk



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI,  
SAINS, DAN TEKNOLOGI  
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam**  
Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia  
Telp. +62341 554403, 551611  
E-mail: mipa@ub.ac.id  
<https://mipa.ub.ac.id>

SURAT PENGANTAR  
Nomor : 00739/UN10.F0922/B/TA.00.02.3/2025

Yth. Dr. Sukanto, S.ST., M.Eng.  
Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Dengan hormat,

Dengan ini kami kirimkan hasil analisis laboratorium untuk sampel **Serbuk Komposit Karbon** sebagai berikut:

| No | Kode                   | Parameter   | Hasil Analisis |        | Metode Analisis |            |
|----|------------------------|-------------|----------------|--------|-----------------|------------|
|    |                        |             | Kadar          | Satuan | Pereaksi        | Metode     |
| 1. | <b>AL</b>              | Berat Jenis | 1,6610 ± 0,01  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 2. | <b>ATK</b>             | Berat Jenis | 1,7480 ± 0,01  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 3. | <b>BAT</b>             | Berat Jenis | 0,5981 ± 0,00  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 4. | <b>BFA</b>             | Berat Jenis | 1,6146 ± 0,00  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 5. | <b>CuZn</b>            | Berat Jenis | 2,7680 ± 0,02  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 6. | <b>GP</b>              | Berat Jenis | 0,7323 ± 0,00  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 7. | <b>RHA</b>             | Berat Jenis | 1,4319 ± 0,01  | g/mL   | -               | Gravimetri |
| 8. | <b>SiO<sub>2</sub></b> | Berat Jenis | 2,2722 ± 0,02  | g/mL   | -               | Gravimetri |

23 Juni 2025  
Ketua Departemen Kimia,



Anna Safitri, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
NIP198008132005022008

Lampiran 4 : Form Monitoring

|                                                                                   |                |                                                                                                                                 |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                | <b>FORM MONITORING PROYEK AKHIR<br/>TAHUN AKADEMIK<br/>2025</b>                                                                 |                                                                                       |
|                                                                                   |                | <b>JUDUL</b><br>PEMBUATAN KOMPOST Matrik Getah Perca<br>Diperkuat Serbuk Logam dan RHA Hibrid<br>Dengan Metode Metalurgi Serbuk |                                                                                       |
| <b>Nama Mahasiswa</b>                                                             |                | 1. <u>ARDIANSYAH</u> /NIM: <u>1042205</u>                                                                                       |                                                                                       |
|                                                                                   |                | 2. .... /NIM: .....                                                                                                             |                                                                                       |
|                                                                                   |                | 3. .... /NIM: .....                                                                                                             |                                                                                       |
|                                                                                   |                | 4. .... /NIM: .....                                                                                                             |                                                                                       |
|                                                                                   |                | 5. .... /NIM: .....                                                                                                             |                                                                                       |
| <b>Monitoring ke</b>                                                              | <b>Tanggal</b> | <b>Progress Alat</b>                                                                                                            | <b>Paraf Pembimbing</b>                                                               |
| 1                                                                                 | 17/04-2025     | 50 % Proposal.                                                                                                                  |  |
| 2.                                                                                | 17-04-2025     | Bimbingan makalah BAB 3 & 4                                                                                                     |  |
| 3.                                                                                | 02/06-2025     | 100% selesai proposal                                                                                                           |  |
|                                                                                   |                |                                                                                                                                 |                                                                                       |
|                                                                                   |                |                                                                                                                                 |                                                                                       |

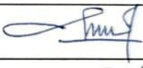
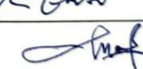
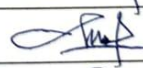
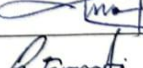
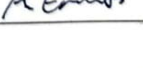
KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret yang tidak terpenuhi)

|                                                                                                                                   |                                                                                                                            |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Mengetahui                                                                                                                        |                                                                                                                            |                               |
| Pembimbing 1<br><br>Dr. (Sukanta, S.S.T.M.Eng) | Pembimbing 2<br><br>Erwanto, S.S.T.M.T. | Pembimbing 3<br><br>( ..... ) |

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

## Lampiran 5 : Form Bimbingan

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

|  <b>FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR</b><br><b>TAHUN AKADEMIK</b><br>...../..... |                                                                                                                  |                                           |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| JUDUL                                                                                                                                                        | PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik Getah Perca<br>Diperkuat Serbuk logam dan PHA Hybrid dengan<br>Metode Metalurgi Serbuk |                                           |                                                                                       |
| Nama Mahasiswa                                                                                                                                               | ARDIANSYAH NIM: 1042205                                                                                          |                                           |                                                                                       |
| Nama Pembimbing                                                                                                                                              | 1. <u>Dr. Sukanto, S.T., M.Eng</u><br>2. <u>Erwanto, S.S.T., M.T.</u><br>3.                                      |                                           |                                                                                       |
| Pertemuan Ke                                                                                                                                                 | Tanggal                                                                                                          | Topik Bimbingan                           | Paraf dan nama Pembimbing                                                             |
| 1                                                                                                                                                            | 19/02-2025                                                                                                       | Menyelesaikan Penulisan TA BAB I          |  |
| 2                                                                                                                                                            | 28/02-2025                                                                                                       | Menyelesaikan Penulisan TA BAB II dan III |  |
| 3                                                                                                                                                            | 14/03-2025                                                                                                       | Mempersiapkan alat dan bahan              |  |
| 4                                                                                                                                                            | 17/04-2025                                                                                                       | Bimbingan makalah BAB 3 & 4               |  |
| 5                                                                                                                                                            | 07/05-2025                                                                                                       | Mempersiapkan Bahan TA                    |  |
| 6                                                                                                                                                            | 27/05-2025                                                                                                       | Mencampur bahan campuran                  |  |
| 7                                                                                                                                                            | 02/06-2025                                                                                                       | Diskusi Mengganti bentuk cetakan          |  |
| 8                                                                                                                                                            | 02/07/25                                                                                                         | Pengecekan BAB IV dan V                   |  |
| 9                                                                                                                                                            | 30/06/2024                                                                                                       | Pengecekan tulisan BAB IV                 |  |
| 10                                                                                                                                                           |                                                                                                                  |                                           |                                                                                       |

Catatan:

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

Lampiran 6 : Penimbangan Kering pada sampel

2. Perhitungan uji densitas sampel 2 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5000.

*Diketahui :*

***ms*** :15,44 g

***mg*** :5,00 g

***pH<sub>2</sub>O*** :1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm =....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,44}{15,44 - 5,00} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,44}{10,44} \times 1$$

$$Pm = 1,478 \text{ g/cm}^3$$

3. Perhitungan uji densitas sampel 3 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5000.

*Diketahui :*

***ms*** :16,60 g

***mg*** :2,30 g

***pH<sub>2</sub>O*** :1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm =....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,60}{16,60 - 2,30} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,60}{14,3} \times 1$$

$$Pm = 1,160 \text{ g/cm}^3$$

4. Perhitungan uji densitas sampel 4 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5300.

*Diketahui :*

***ms*** :15,48 g

***mg*** : 4,11 g

***pH<sub>2</sub>O*** :1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm =....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,48}{15,48 - 4,11} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,48}{11,37} \times 1$$

$$Pm = 1,361 \text{ g/cm}^3$$

5. Perhitungan uji densitas sampel 5 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5300.

*Diketahui :*

*Ditanya : pm =....?*

***ms : 15,19 g***

***mg : 1,45 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,19}{15,19 - 1,95} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,19}{13,24} \times 1$$

$$Pm = 1,147 \text{ g/cm}^3$$

6. Perhitungan uji densitas sampel 6 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5300.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm = ....?***

***ms : 15,41 g***

***mg : 1,92 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,41}{15,41 - 1,92} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,41}{13,49} \times 1$$

$$Pm = 1,142 \text{ g/cm}^3$$

7. Perhitungan uji densitas sampel 7 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5600.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm = ....?***

***ms : 15,47 g***

***mg : 4,36 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,47}{15,47 - 4,36} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,47}{11,11} \times 1$$

$$Pm = 1,392 \text{ g/cm}^3$$

8. Perhitungan uji densitas sampel 8 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5600.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm = ....?***

***ms : 16,87 g***

***mg : 0,93 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,87}{16,87 - 0,93} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,87}{15,94} \times 1$$

$$Pm = 1,058 \text{ g/cm}^3$$

9. Perhitungan uji densitas sampel 9 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5600.

*Diketahui :*

***ms : 15,41 g***

***mg : 1,10 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

*Jawab :*

*Ditanya : **pm** =....?*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,41}{15,41 - 1,10} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,41}{14,31} \times 1$$

$$Pm = 1,076 \text{ g/cm}^3$$

## Lampiran 7 : Perhitungan Uji Densitas

2. Perhitungan uji densitas sampel 1 pengulangan 2 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5000 psi.

*Diketahui :*

***ms* : 14,70 g**

***mg* : 3,38 g**

***pH<sub>2</sub>O* : 1 g/cm<sup>3</sup>**

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{14,70}{14,70 - 3,38} \times 1$$

$$Pm = \frac{14,70}{11,32} \times 1$$

$$Pm = 1,298 \text{ g/cm}^3$$

3. Perhitungan uji densitas sampel 1 pengulangan 3 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5000 psi.

*Diketahui :*

***ms* : 14,70 g**

***mg* : 3,94 g**

***pH<sub>2</sub>O* : 1 g/cm<sup>3</sup>**

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{14,70}{14,70 - 3,94} \times 1$$

$$Pm = \frac{14,70}{10,06} \times 1$$

$$Pm = 1,461 \text{ g/cm}^3$$

4. Perhitungan uji densitas sampel 2 pengulangan 1 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5000 psi.

*Diketahui :*

***ms* : 15,49 g**

***mg* : 3,11 g**

***pH<sub>2</sub>O* : 1 g/cm<sup>3</sup>**

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,49}{15,49 - 3,11} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,49}{12,38} \times 1$$

$$Pm = 1,251 \text{ g/cm}^3$$

5. Perhitungan uji densitas sampel 2 pengulangan 2 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5000 psi.

*Diketahui :*

***ms* : 15,43 g**

*Ditanya : pm = ....?*

**mg : 3,61 g**  
**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,43}{15,43 - 3,61} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,43}{11,82} \times 1$$

$$Pm = 1,305 \text{ g/cm}^3$$

6. Perhitungan uji densitas sampel 2 pengulangan 3 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5000 psi.

Diketahui :

Ditanya : **pm = ....?**

**ms : 15,39 g**

**mg : 3,58 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,39}{15,39 - 3,58} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,39}{11,91} \times 1$$

$$Pm = 1,292 \text{ g/cm}^3$$

7. Perhitungan uji densitas sampel 3 pengulangan 1 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5000 psi.

Diketahui :

Ditanya : **pm = ....?**

**ms : 16,68 g**

**mg : 3,54 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,68}{16,68 - 3,54} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,68}{13,14} \times 1$$

$$Pm = 1,269 \text{ g/cm}^3$$

8. Perhitungan uji densitas sampel 3 pengulangan 2 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5000 psi.

Diketahui :

Ditanya : **pm = ....?**

**ms : 16,64 g**

**mg : 3,58 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,64}{16,64 - 3,58} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,64}{13,06} \times 1$$

$$Pm = 1,274 \text{ g/cm}^3$$

9. Perhitungan uji densitas sampel 3 pengulangan 3 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5000 psi.

*Diketahui :*

***ms*** : 16,70 g

***mg*** : 3,52 g

***pH<sub>2</sub>O*** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,70}{16,70 - 3,52} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,70}{13,18} \times 1$$

$$Pm = 1,267 \text{ g/cm}^3$$

10. Perhitungan uji densitas sampel 4 pengulangan 1 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5300 psi.

*Diketahui :*

***ms*** : 15,49 g

***mg*** : 4,05 g

***pH<sub>2</sub>O*** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,49}{15,49 - 4,05} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,49}{11,44} \times 1$$

$$Pm = 1,354 \text{ g/cm}^3$$

11. Perhitungan uji densitas sampel 4 pengulangan 2 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5300 psi.

*Diketahui :*

***ms*** : 15,43 g

***mg*** : 5,70 g

***pH<sub>2</sub>O*** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,43}{15,43 - 5,70} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,43}{9,73} \times 1$$

$$Pm = 1,585 \text{ g/cm}^3$$

12. Perhitungan uji densitas sampel 4 pengulangan 3 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5300 psi.

*Diketahui :*

***ms*** : 15,42 g

*Ditanya : pm = ....?*

***mg : 4,50 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,42}{15,42 - 3,94} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,42}{11,48} \times 1$$

$$Pm = 1,343 \text{ g/cm}^3$$

13. Perhitungan uji densitas sampel 5 pengulangan 1 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5300 psi.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm =....?***

***ms : 15,16 g***

***mg : 4,31 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,16}{15,16 - 4,31} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,16}{10,85} \times 1$$

$$Pm = 1,397 \text{ g/cm}^3$$

14. Perhitungan uji densitas sampel 5 pengulangan 2 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5300 psi.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm =....?***

***ms : 15,10 g***

***mg : 4,33 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,10}{15,10 - 4,33} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,10}{10,77} \times 1$$

$$Pm = 1,402 \text{ g/cm}^3$$

15. Perhitungan uji densitas sampel 5 pengulangan 3 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5300 psi.

***Diketahui :***

***Ditanya : pm =....?***

***ms : 15,12 g***

***mg : 4,08 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,12}{15,12 - 4,08} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,12}{11,04} \times 1$$

$$Pm = 1,369 \text{ g/cm}^3$$

16. Perhitungan uji densitas sampel 6 pengulangan 1 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5300 psi.

Diketahui :

**ms** : 15,37 g

**mg** : 4,37 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

Ditanya : **pm** =....?

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,37}{15,37 - 4,37} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,37}{11} \times 1$$

$$Pm = 1,397 \text{ g/cm}^3$$

17. Perhitungan uji densitas sampel 6 pengulangan 2 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5300 psi.

Diketahui :

**ms** : 15,35 g

**mg** : 4,06 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

Ditanya : **pm** =....?

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,35}{15,35 - 4,06} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,35}{11,29} \times 1$$

$$Pm = 1,359 \text{ g/cm}^3$$

18. Perhitungan uji densitas sampel 6 pengulangan 3 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5300 psi.

Diketahui :

**ms** : 15,42 g

**mg** : 3,89 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

Ditanya : **pm** =....?

Jawab :

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,42}{15,42 - 3,89} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,42}{11,53} \times 1$$

$$Pm = 1,337 \text{ g/cm}^3$$

19. Perhitungan uji densitas sampel 7 pengulangan 1 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5600 psi.

Diketahui :

**ms** : 15,42 g

Ditanya : **pm** =....?

**mg : 2,86 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

**Jawab :**

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,42}{15,42 - 2,86} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,42}{12,56} \times 1$$

$$Pm = 1,227 \text{ g/cm}^3$$

20. Perhitungan uji densitas sampel 7 pengulangan 2 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5600 psi.

**Diketahui :**

**Ditanya : pm = ....?**

**ms : 15,43 g**

**mg : 2,45 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

**Jawab :**

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,43}{15,43 - 2,45} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,43}{12,98} \times 1$$

$$Pm = 1,188 \text{ g/cm}^3$$

21. Perhitungan uji densitas sampel 7 pengulangan 3 dari persentase matrik 46% dengan kompaksi 5600 psi.

**Diketahui :**

**Ditanya : pm = ....?**

**ms : 15,38 g**

**mg : 2,47 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

**Jawab :**

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,38}{15,38 - 2,47} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,38}{12,91} \times 1$$

$$Pm = 1,191 \text{ g/cm}^3$$

22. Perhitungan uji densitas sampel 8 pengulangan 1 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5600 psi.

**Diketahui :**

**Ditanya : pm = ....?**

**ms : 16,82 g**

**mg : 2,85 g**

**pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>**

**Jawab :**

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,82}{16,82 - 2,85} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,82}{13,97} \times 1$$

$$Pm = 1,204 \text{ g/cm}^3$$

23. Perhitungan uji densitas sampel 8 pengulangan 2 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5600 psi.

*Diketahui :*

**ms** : 16,80 g

**mg** : 2,22 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{16,80}{16,80 - 2,22} \times 1$$

$$Pm = \frac{16,80}{14,58} \times 1$$

$$Pm = 1,152 \text{ g/cm}^3$$

24. Perhitungan uji densitas sampel 8 pengulangan 3 dari persentase matrik 54% dengan kompaksi 5600 psi.

*Diketahui :*

**ms** : 15,12 g

**mg** : 2,63 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,12}{15,12 - 2,63} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,12}{12,49} \times 1$$

$$Pm = 1,210 \text{ g/cm}^3$$

25. Perhitungan uji densitas sampel 9 pengulangan 1 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5600 psi.

*Diketahui :*

**ms** : 15,37 g

**mg** : 2,79 g

**pH<sub>2</sub>O** : 1 g/cm<sup>3</sup>

*Ditanya : pm = ....?*

*Jawab :*

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,37}{15,37 - 2,79} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,37}{12,58} \times 1$$

$$Pm = 1,221 \text{ g/cm}^3$$

26. Perhitungan uji densitas sampel 9 pengulangan 2 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5600 psi.

*Diketahui :*

**ms** : 15,30 g

*Ditanya : pm = ....?*

***mg : 2,51 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,30}{15,30 - 2,51} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,30}{12,79} \times 1$$

$$Pm = 1,196 \text{ g/cm}^3$$

27. Perhitungan uji densitas sampel 9 pengulangan 3 dari persentase matrik 62% dengan kompaksi 5600 psi.

***Diketahui :***

***ms : 15,38 g***

***mg : 2,59 g***

***pH<sub>2</sub>O : 1 g/cm<sup>3</sup>***

***Jawab :***

$$Pm = \frac{ms}{ms - mg} \times pH_2O$$

$$Pm = \frac{15,38}{15,38 - 2,59} \times 1$$

$$Pm = \frac{15,38}{12,79} \times 1$$

$$Pm = 1,192 \text{ g/cm}^3$$

***Ditanya : pm = ....?***

Lampiran 8 : Perhitungan ANOVA Menggunakan Software Excel Uji Kekerasan Dan Densitas

| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| Persentase matrik          | 24122     | 2         | 12061     | 264,754  | 4,5E-14        | 3,55456       |
| Tekanan kompaksi           | 434,889   | 2         | 217,444   | 4,77317  | 0,02172        | 3,55456       |
| Interaksi                  | 1899,11   | 4         | 474,778   | 10,422   | 0,00015        | 2,92774       |
| Error                      | 820       | 18        | 45,5556   |          |                |               |
|                            |           |           |           |          |                |               |
| Total                      | 27276     | 26        |           |          |                |               |

| ANOVA                      |           |           |           |          |                |               |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| Persentase matrik          | 0,19112   | 2         | 0,09556   | 20,4564  | 2,3E-05        | 3,55456       |
| Tekanan kompaksi           | 0,00086   | 2         | 0,00043   | 0,09258  | 0,91201        | 3,55456       |
| Interaction                | 0,02405   | 4         | 0,00601   | 1,28689  | 0,31205        | 2,92774       |
| Error                      | 0,08409   | 18        | 0,00467   |          |                |               |
|                            |           |           |           |          |                |               |
| Total                      | 0,30012   | 26        |           |          |                |               |

Lampiran 9 : Perhitungan ANOVA Menggunakan Software Minitab Uji Kekerasan Dan Densitas

|                                    |    |         |         |        |       |
|------------------------------------|----|---------|---------|--------|-------|
| Presentase matrik                  | 2  | 24122,0 | 12061,0 | 264,75 | 0,000 |
| Tekanan kompaksi                   | 2  | 434,9   | 217,4   | 4,77   | 0,022 |
| 2-Way Interactions                 | 4  | 1899,1  | 474,8   | 10,42  | 0,000 |
| Presentase matrik*Tekanan kompaksi | 4  | 1899,1  | 474,8   | 10,42  | 0,000 |
| Error                              | 18 | 820,0   | 45,6    |        |       |
| Total                              | 26 | 27276,0 |         |        |       |

|                                    |    |          |          |       |       |
|------------------------------------|----|----------|----------|-------|-------|
| Presentase matrik                  | 2  | 0,207735 | 0,103868 | 21,10 | 0,000 |
| Tekanan kompaksi                   | 2  | 0,002049 | 0,001025 | 0,21  | 0,814 |
| 2-Way Interactions                 | 4  | 0,022944 | 0,005736 | 1,17  | 0,359 |
| Presentase matrik*Tekanan kompaksi | 4  | 0,022944 | 0,005736 | 1,17  | 0,359 |
| Error                              | 18 | 0,088613 | 0,004923 |       |       |
| Total                              | 26 | 0,321341 |          |       |       |



## Lampiran 10 : Bukti Bukan Plagiasi

Page 2 of 84 - Integrity OverviewSubmission ID: 1-3290016413

### 12% Overall Similarity

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

#### Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text

#### Top Sources

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

#### Integrity Flags

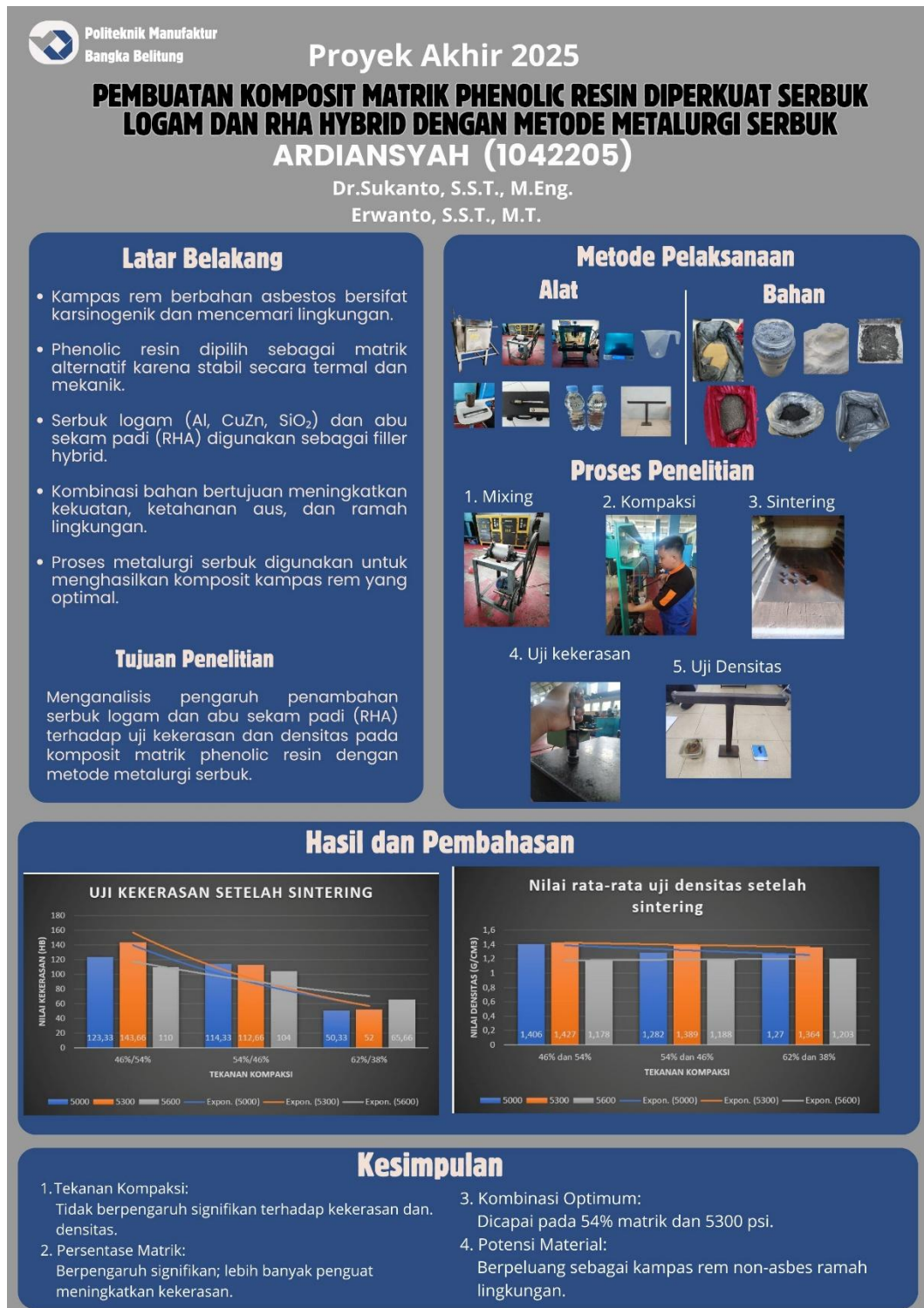
0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

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

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

Page 2 of 84 - Integrity OverviewSubmission ID: 1-3290016413



## Lampiran 12: Dokumentasi Proses Penelitian



Lampiran 13 : F-tabel 0,01

| Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,01 |                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| df untuk penyebut (N2)                                 | df untuk pembilang (N1) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                                        | 1                       | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    |
| 1                                                      | 4052                    | 4999  | 5403  | 5625  | 5764  | 5859  | 5928  | 5981  | 6022  | 6056  | 6083  | 6106  | 6126  | 6143  | 6157  |
| 2                                                      | 98.50                   | 99.00 | 99.17 | 99.25 | 99.30 | 99.33 | 99.36 | 99.37 | 99.39 | 99.40 | 99.41 | 99.42 | 99.42 | 99.43 | 99.43 |
| 3                                                      | 34.12                   | 30.82 | 29.46 | 28.71 | 28.24 | 27.91 | 27.67 | 27.49 | 27.35 | 27.23 | 27.13 | 27.05 | 26.98 | 26.92 | 26.87 |
| 4                                                      | 21.20                   | 18.00 | 16.69 | 15.98 | 15.52 | 15.21 | 14.98 | 14.80 | 14.66 | 14.55 | 14.45 | 14.37 | 14.31 | 14.25 | 14.20 |
| 5                                                      | 16.26                   | 13.27 | 12.06 | 11.39 | 10.97 | 10.67 | 10.46 | 10.29 | 10.16 | 10.05 | 9.96  | 9.89  | 9.82  | 9.77  | 9.72  |
| 6                                                      | 13.75                   | 10.92 | 9.78  | 9.15  | 8.75  | 8.47  | 8.26  | 8.10  | 7.98  | 7.87  | 7.79  | 7.72  | 7.66  | 7.60  | 7.56  |
| 7                                                      | 12.25                   | 9.55  | 8.45  | 7.85  | 7.46  | 7.19  | 6.99  | 6.84  | 6.72  | 6.62  | 6.54  | 6.47  | 6.41  | 6.36  | 6.31  |
| 8                                                      | 11.26                   | 8.65  | 7.59  | 7.01  | 6.63  | 6.37  | 6.18  | 6.03  | 5.91  | 5.81  | 5.73  | 5.67  | 5.61  | 5.56  | 5.52  |
| 9                                                      | 10.56                   | 8.02  | 6.99  | 6.42  | 6.06  | 5.80  | 5.61  | 5.47  | 5.35  | 5.26  | 5.18  | 5.11  | 5.05  | 5.01  | 4.96  |
| 10                                                     | 10.04                   | 7.56  | 6.55  | 5.99  | 5.64  | 5.39  | 5.20  | 5.06  | 4.94  | 4.85  | 4.77  | 4.71  | 4.65  | 4.60  | 4.56  |
| 11                                                     | 9.65                    | 7.21  | 6.22  | 5.67  | 5.32  | 5.07  | 4.89  | 4.74  | 4.63  | 4.54  | 4.46  | 4.40  | 4.34  | 4.29  | 4.25  |
| 12                                                     | 9.33                    | 6.93  | 5.95  | 5.41  | 5.06  | 4.82  | 4.64  | 4.50  | 4.39  | 4.30  | 4.22  | 4.16  | 4.10  | 4.05  | 4.01  |
| 13                                                     | 9.07                    | 6.70  | 5.74  | 5.21  | 4.86  | 4.62  | 4.44  | 4.30  | 4.19  | 4.10  | 4.02  | 3.96  | 3.91  | 3.86  | 3.82  |
| 14                                                     | 8.86                    | 6.51  | 5.56  | 5.04  | 4.69  | 4.46  | 4.28  | 4.14  | 4.03  | 3.94  | 3.86  | 3.80  | 3.75  | 3.70  | 3.66  |
| 15                                                     | 8.68                    | 6.36  | 5.42  | 4.89  | 4.56  | 4.32  | 4.14  | 4.00  | 3.89  | 3.80  | 3.73  | 3.67  | 3.61  | 3.56  | 3.52  |
| 16                                                     | 8.53                    | 6.23  | 5.29  | 4.77  | 4.44  | 4.20  | 4.03  | 3.89  | 3.78  | 3.69  | 3.62  | 3.55  | 3.50  | 3.45  | 3.41  |
| 17                                                     | 8.40                    | 6.11  | 5.18  | 4.67  | 4.34  | 4.10  | 3.93  | 3.79  | 3.68  | 3.59  | 3.52  | 3.46  | 3.40  | 3.35  | 3.31  |
| 18                                                     | 8.29                    | 6.01  | 5.09  | 4.58  | 4.25  | 4.01  | 3.84  | 3.71  | 3.60  | 3.51  | 3.43  | 3.37  | 3.32  | 3.27  | 3.23  |
| 19                                                     | 8.18                    | 5.93  | 5.01  | 4.50  | 4.17  | 3.94  | 3.77  | 3.63  | 3.52  | 3.43  | 3.36  | 3.30  | 3.24  | 3.19  | 3.15  |
| 20                                                     | 8.10                    | 5.85  | 4.94  | 4.43  | 4.10  | 3.87  | 3.70  | 3.56  | 3.46  | 3.37  | 3.29  | 3.23  | 3.18  | 3.13  | 3.09  |
| 21                                                     | 8.02                    | 5.78  | 4.87  | 4.37  | 4.04  | 3.81  | 3.64  | 3.51  | 3.40  | 3.31  | 3.24  | 3.17  | 3.12  | 3.07  | 3.03  |
| 22                                                     | 7.95                    | 5.72  | 4.82  | 4.31  | 3.99  | 3.76  | 3.59  | 3.45  | 3.35  | 3.26  | 3.18  | 3.12  | 3.07  | 3.02  | 2.98  |
| 23                                                     | 7.88                    | 5.66  | 4.76  | 4.26  | 3.94  | 3.71  | 3.54  | 3.41  | 3.30  | 3.21  | 3.14  | 3.07  | 3.02  | 2.97  | 2.93  |
| 24                                                     | 7.82                    | 5.61  | 4.72  | 4.22  | 3.90  | 3.67  | 3.50  | 3.36  | 3.26  | 3.17  | 3.09  | 3.03  | 2.98  | 2.93  | 2.89  |
| 25                                                     | 7.77                    | 5.57  | 4.68  | 4.18  | 3.85  | 3.63  | 3.46  | 3.32  | 3.22  | 3.13  | 3.06  | 2.99  | 2.94  | 2.89  | 2.85  |
| 26                                                     | 7.72                    | 5.53  | 4.64  | 4.14  | 3.82  | 3.59  | 3.42  | 3.29  | 3.18  | 3.09  | 3.02  | 2.96  | 2.90  | 2.86  | 2.81  |
| 27                                                     | 7.68                    | 5.49  | 4.60  | 4.11  | 3.78  | 3.56  | 3.39  | 3.26  | 3.15  | 3.06  | 2.99  | 2.93  | 2.87  | 2.82  | 2.78  |
| 28                                                     | 7.64                    | 5.45  | 4.57  | 4.07  | 3.75  | 3.53  | 3.36  | 3.23  | 3.12  | 3.03  | 2.96  | 2.90  | 2.84  | 2.79  | 2.75  |
| 29                                                     | 7.60                    | 5.42  | 4.54  | 4.04  | 3.73  | 3.50  | 3.33  | 3.20  | 3.09  | 3.00  | 2.93  | 2.87  | 2.81  | 2.77  | 2.73  |
| 30                                                     | 7.56                    | 5.39  | 4.51  | 4.02  | 3.70  | 3.47  | 3.30  | 3.17  | 3.07  | 2.98  | 2.91  | 2.84  | 2.79  | 2.74  | 2.70  |
| 31                                                     | 7.53                    | 5.36  | 4.48  | 3.99  | 3.67  | 3.45  | 3.28  | 3.15  | 3.04  | 2.96  | 2.88  | 2.82  | 2.77  | 2.72  | 2.68  |
| 32                                                     | 7.50                    | 5.34  | 4.46  | 3.97  | 3.65  | 3.43  | 3.26  | 3.13  | 3.02  | 2.93  | 2.86  | 2.80  | 2.74  | 2.70  | 2.65  |
| 33                                                     | 7.47                    | 5.31  | 4.44  | 3.95  | 3.63  | 3.41  | 3.24  | 3.11  | 3.00  | 2.91  | 2.84  | 2.78  | 2.72  | 2.68  | 2.63  |
| 34                                                     | 7.44                    | 5.29  | 4.42  | 3.93  | 3.61  | 3.39  | 3.22  | 3.09  | 2.98  | 2.89  | 2.82  | 2.76  | 2.70  | 2.66  | 2.61  |
| 35                                                     | 7.42                    | 5.27  | 4.40  | 3.91  | 3.59  | 3.37  | 3.20  | 3.07  | 2.96  | 2.88  | 2.80  | 2.74  | 2.69  | 2.64  | 2.60  |
| 36                                                     | 7.40                    | 5.25  | 4.38  | 3.89  | 3.57  | 3.35  | 3.18  | 3.05  | 2.95  | 2.86  | 2.79  | 2.72  | 2.67  | 2.62  | 2.58  |
| 37                                                     | 7.37                    | 5.23  | 4.36  | 3.87  | 3.56  | 3.33  | 3.17  | 3.04  | 2.93  | 2.84  | 2.77  | 2.71  | 2.65  | 2.61  | 2.56  |
| 38                                                     | 7.35                    | 5.21  | 4.34  | 3.86  | 3.54  | 3.32  | 3.15  | 3.02  | 2.92  | 2.83  | 2.75  | 2.69  | 2.64  | 2.59  | 2.55  |
| 39                                                     | 7.33                    | 5.19  | 4.33  | 3.84  | 3.53  | 3.30  | 3.14  | 3.01  | 2.90  | 2.81  | 2.74  | 2.68  | 2.62  | 2.58  | 2.54  |
| 40                                                     | 7.31                    | 5.18  | 4.31  | 3.83  | 3.51  | 3.29  | 3.12  | 2.99  | 2.89  | 2.80  | 2.73  | 2.66  | 2.61  | 2.56  | 2.52  |
| 41                                                     | 7.30                    | 5.16  | 4.30  | 3.81  | 3.50  | 3.28  | 3.11  | 2.98  | 2.87  | 2.79  | 2.71  | 2.65  | 2.60  | 2.55  | 2.51  |
| 42                                                     | 7.28                    | 5.15  | 4.29  | 3.80  | 3.49  | 3.27  | 3.10  | 2.97  | 2.86  | 2.78  | 2.70  | 2.64  | 2.59  | 2.54  | 2.50  |
| 43                                                     | 7.26                    | 5.14  | 4.27  | 3.79  | 3.48  | 3.25  | 3.09  | 2.96  | 2.85  | 2.76  | 2.69  | 2.63  | 2.57  | 2.53  | 2.49  |
| 44                                                     | 7.25                    | 5.12  | 4.26  | 3.78  | 3.47  | 3.24  | 3.08  | 2.95  | 2.84  | 2.75  | 2.68  | 2.62  | 2.56  | 2.52  | 2.47  |
| 45                                                     | 7.23                    | 5.11  | 4.25  | 3.77  | 3.45  | 3.23  | 3.07  | 2.94  | 2.83  | 2.74  | 2.67  | 2.61  | 2.55  | 2.51  | 2.46  |