

**PEMBUATAN KOMPOSIT MatriK ALUMINIUM  
DIPERKUAT PASIR SILIKA TAILING TIMAH  
DENGAN METODE METALURGI SERBUK**

**PROYEK AKHIR**

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



Dibuat oleh :

Muhammad Asep NIRM : 1041949

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2013/2013**

**PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM  
DIPERKUAT PASIR SILIKA TAILING TIMAH  
DENGAN METODE METALURGI SERBUK**

**PROYEK AKHIR**

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



Disusun Oleh :

Muhammad Asep NIRM : 1041949

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI**

**BANGKA BELITUNG**

**2022/2023**



# LEMBAR PENGESAHAN

## PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM DIPERKUAT PASIR SILIKA TAILING TIMAH DENGAN METODE METELURGI SERBUK

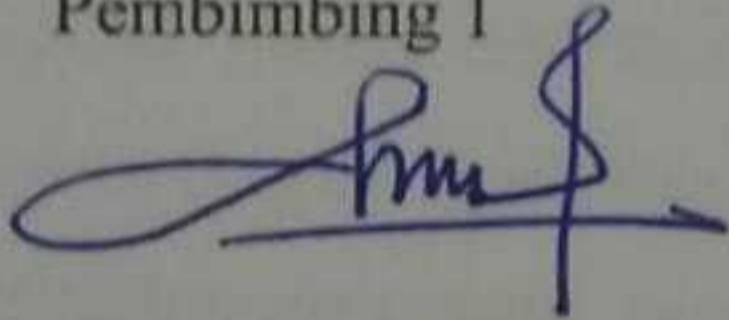
Oleh :

Muhammad Asep / 1041949

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

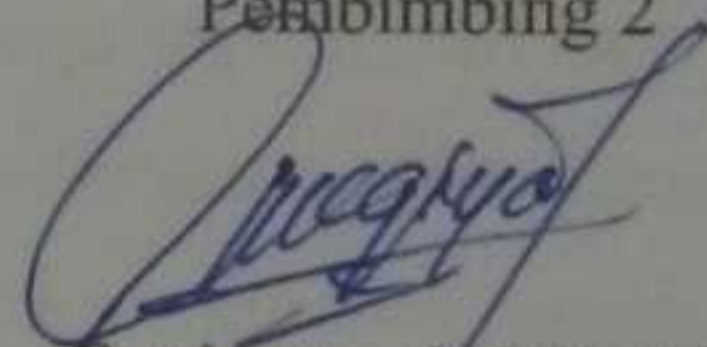
Menyetujui,

Pembimbing 1



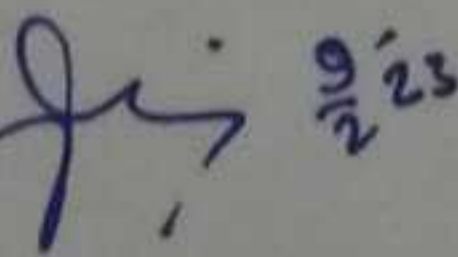
Dr. Sukanto, M.Eng

Pembimbing 2



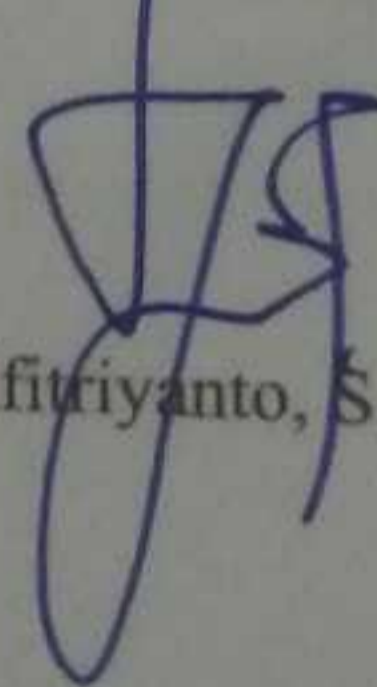
Sugiyarto, S.S.T., M.T.

Penguji 1



Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T.

Penguji 2



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

Mengetahui,

Kepala Jurusan Teknik Mesin



Pristiansyah, S.S.T., M.Eng.



## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Muhammad Asep

NIM : 1041949

Dengan Judul : **Pembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Timah Dengan Metode Metalurgi Serbuk**

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya. Jika dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku dan untuk daftar riwayat hidup penulis dapat dilihat pada lampiran 1 hal .

Sungailiat, 05 januari 2023

Nama Mahasiswa

1. Muhammad Asep



## **ABSTRAK**

*Pada umumnya pembuatan kampas rem banyak menggunakan material dari asbestos, akan tetapi kampas rem yang terbuat dari asbestos sangat berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu perlu dikembangkan inovasi yang ramah lingkungan salah satunya komposit matrik aluminium. Tujuan dari proses penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan tekanan kompaksi panas dan suhu sintering terhadap sifat densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium hasil daur ulang yang diperkuat pasir silika tailing timah. Metode yang digunakan untuk membuat komposit dari aluminium yaitu metode metalurgi serbuk, yang meliputi proses persiapan, pencampuran serbuk, kompaksi dan sintering. Pencampuran serbuk aluminium dan pasir silika tailing timah menggunakan mesin horizontal ball mill dan digunakan parameter proses yang meliputi parameter Ball Powder Weight Ratio (BPR) 10:1, kecepatan putar mesin yaitu 90 rpm dan waktu penggilingan 4 jam. Sedangkan proses kompaksi panas menggunakan metode dua-arah penekanan dengan mesin pompa hidrolis yang terdapat alat pembaca tekanan. Proses kompaksi panas dilakukan dengan suhu 500°C ditahan selama 15 menit serta variasi tekanan kompaksi dua-arah penekanan yang digunakan yaitu 4400 PSi, 4500 PSi dan 4600 PSi serta variasi suhu sintering yaitu 510°C, 560°C dan 610 °C ditahan selama 10 menit. Pengujian densitas dilakukan dengan mengacu pada hukum Archimedes dengan standar ASTM B962-17. Sedangkan pengujian kekerasan digunakan uji kekerasan Brinell portable serta mengacu pada ASTM E110-14. Hasil uji densitas dan uji kekerasan menunjukkan kecenderungan nilai semakin meningkat dengan meningkatnya tekanan kompaksi panas dengan nilai densitas tertinggi 2,162 g/cm<sup>3</sup> untuk spesimen menggunakan kompaksi sebesar 4.600 PSi dan nilai kekerasan tertinggi yaitu 53,1 HB. Sedangkan setelah dilakukan proses sintering nilai densitas dan kekerasan cenderung meningkat dengan meningkatnya suhu sintering dengan nilai densitas tertinggi 2,368 g/cm<sup>3</sup> untuk spesimen dengan menggunakan tekanan kompaksi 4600 PSi dengan suhu sintering 610 °C serta nilai kekerasan tertinggi 71,8 HB.*

*Kata Kunci: kampas rem, komposit matrik aluminium, silika, metalurgi serbuk, mechanical alloying,*

## **ABSTRACT**

*In general, the manufacture of brake linings uses a lot of materials from asbestos, but brake linings made from asbestos are very dangerous for health. Therefore, it is necessary to develop environmentally friendly innovations, one of which is an aluminum matrix composite reinforced with ceramic. The purpose of this research process was to determine the effect of differences in hot compaction pressure and sintering temperature on the density and hardness properties of recycled aluminum matrix composites reinforced with tailings silica sand. The method used to make composites from aluminum is the powder metallurgy method, which includes the processes of preparation, powder mixing, compaction, and sintering. Mixing aluminum powder and tailings silica sand using a horizontal ball mill machine and using process parameters which include the Ball Powder Weight Ratio (BPR) parameter of 10:1, the rotating speed of the machine is 90 rpm and the milling time is 4 hours. While the heat compaction process uses a two-way method of pressing with a hydraulic pump machine that has a pressure reading device. The hot compaction process was carried out with a temperature of 500°C held for 15 minutes and two-way compaction pressure variations were used, namely 4400 PSi, 4500 PSi and 4600 PSi, and sintering temperature variations of 510°C, 560°C and 610°C held for 10 minutes. Density testing was carried out by referring to Archimedes' law with ASTM B962-17 standards. While the hardness test used the convenient Brinell hardness test and refers to ASTM E110-14. The results of the density test and hardness test showed a tendency for the value to increase with increasing hot compaction pressure with the highest density value of 2.162 g/cm<sup>3</sup> for specimens using a compaction of 4600 PSi and the highest hardness value of 53.1 HB. Whereas after the sintering process, the density and hardness values tended to increase with increasing sintering temperature with the highest density value of 2.368 g/cm<sup>3</sup> for specimens using a compacting pressure of 4600 PSi with a sintering temperature of 610 °C and the highest hardness value of 71.8 HB.*

*Keywords: brake lining, aluminum matrix composite, silica, powder metallurgy, mechanical alloying.*



## KATA PENGANTAR

*Assalamau'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayahnya penyusunan tugas akhir yang berjudul “ **PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Tailing Timah dengan Metode Metalurgi Serbuk** ”, ini dapat terselesaikan guna untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada jurusan Teknik Mesin Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Perjalanan yang panjang telah penulis lalui dalam rangka untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Banyak rintangan serta hambatan yang dihadapi dalam proses penyusunannya, namun berkat kehendaknyalah sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya, bapak tercinta M.ujang, ibu tercinta Munawaroh dan kedua kakak saya Siti Jamilah dan Parli serta abang ipar saya Agus Saepuloh yang senantiasa memberikan kasih sayang dan selalu berdoa serta memberikan dukungan pada penulis.
2. Kedua ponakan saya Muhammad Awan Raffa dan Wildan Alfarizqi yang selalu menjadi penyemangat untuk penulis.
3. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. Selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
4. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T. Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

5. Bapak Dr. Sukanto, M.Eng. Selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan masukan, menyediakan waktu, tenaga dan bimbingan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini dan .
6. Bapak Sugiyarto, S.S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing kedua yang telah banyak memberikan dukungan semangat dan masukan tentang pelaksanaan makalah tugas akhir ini.
7. Bapak Yuliyanto, S.S.T., M.T. Selaku kepala Laboratorium LAPALO sekaligus dosen wali saya yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam pembuatan makalah tugas akhir ini.
8. Untuk nenek, paman, bibi dan saudara saya Dewi Febriani yang selalu mendukung dan mendoakan penulis
9. Serta teman saya Ricky Irwansyah yang telah berjuang bersama-sama sampai titik ini dan juga teman saya Deri Saputra, Dika Septayama, Sindy Muriana, Via Twoifia, L.M Syafullah, Zulfahriawan Adzan, Makhifal serta teman-teman di komunitas Ar-Rais dan semua pihak yang telah ikut membantu memberikan dukungan moral dalam penyelesaian makalah proyek akhir, yang sebagai salah satu syarat kelulusan serta.
10. Seluruh teman-teman satu kelas saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu mahasiswa Teknik Mesin Manufaktur Negeri Bangka Belitung angkatan 2019 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. 05 Januari 2023

Penulis



Muhammad Asep



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Komposit .....	7
2.2.1. Definisi Komposit.....	7
2.2.2. Klasifikasi Material Komposit.....	7
2.3. Mesin <i>Ball Mill</i> .....	8
2.4. Metalurgi Serbuk .....	9
2.4.1. <i>Mixing</i> (pencampuran serbuk) .....	9
2.4.2. Kompaksi .....	10

2.4.3. Sintering.....	12
2.5. Aluminium.....	12
2.6. Silika.....	14
2.7. Pengujian Komposit .....	15
2.7.1. Uji Densitas.....	15
2.7.2. Uji Kekerasan .....	16
2.8. Kampas Rem .....	17
2.9. Metode Desain Full Faktorial.....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1. Metode Pelaksanaan .....	19
3.2. Studi Literatur.....	20
3.3. Bahan dan alat penelitian .....	20
3.3.1. Bahan penelitian .....	20
3.3.2. Alat Penelitian.....	21
3.4. Prosedur Penelitian.....	25
3.5. Validasi Spesimen .....	27
3.6. Pengujian Densitas .....	27
3.7. Pengujian Kekerasan .....	28
3.8. Pengolahan Data.....	28
3.9. Analisa Data .....	29
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1. Hasil Pemaduan Mekanik atau <i>Mechanical Alloying</i> .....	32
4.2. Spesimen Sebelum Pengujian .....	33
4.3. Uji Densitas Sebelum Sintering.....	34
4.3.1. Proses Pengujian Densitas Sebelum Sintering.....	34

4.3.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Sebelum Sintering .....	35
4.4. Uji Kekerasan Sebelum Sintering .....	39
4.4.1. Proses Pengujian Kekerasan Sebelum Sintering .....	39
4.4.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Sebelum Sintering .....	40
4.5. Uji Densitas Setelah Sintering.....	42
4.5.1. Proses Pengujian Densitas Setelah Sintering.....	42
4.5.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Setelah Sintering .....	43
4.5.3. <i>Analysis of Variance</i> Uji Densitas .....	47
4.6. Uji Kekerasan Setelah Sintering.....	49
4.6.1. Proses Pengujian Kekerasan Setelah Sintering.....	49
4.6.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Setelah Sintering .....	50
4.6.3. <i>Analysis of Variance</i> Uji Kekerasan .....	51
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium .....	13
Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium.....	13
Tabel 2. 3 Sifat fisik dan mekanik silika.....	15
Tabel 3. 1 Data Uji densitas (g/cm <sup>3</sup> ) .....	28
Tabel 3. 2 Data Pengujian Kekerasan (HB).....	29
Tabel 3. 3 Level dan Parameter Uji .....	29
Tabel 3. 4 Desain Full Factorial .....	30
Tabel 3. 5 Uji ANNOVA .....	30
Tabel 4.1 Hasil Spesimen Di Timbang Kering (g) .....	35
Tabel 4.2 Hasil Spesimen Di Timbang Basah (g).....	36
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) .....	38
Tabel 4.4 Hasil Rata-rata Kekerasan (HB) .....	41
Tabel 4.5 Hasil Spesimen Di Timbang Kering (g) .....	44
Tabel 4.6 Hasil Spesimen Di Timbang Basah (g).....	44
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai Densitas Setelah Sintering (g/cm <sup>3</sup> ).....	46
Tabel 4.8 Data Analisis Variasi Uji Densitas.....	48
Tabel 4.9 Hasil Rata-rata Kekerasan (HB) .....	50
Tabel 4.10 Data Analisis Variasi Uji Kekerasan .....	52



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses penekanan satu arah dan dua arah [21].	11
Gambar 2. 2 Tahapan proses pembentukan kepadatan serbuk [21].	12
Gambar 2. 3 Tahapan proses sintering [9].	12
Gambar 2. 4 Diagram Fasa Al-Si [26]	14
Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujin Densitas [28].	15
Gambar 3. 1 Diagram alir.	19
Gambar 3. 2 Serbuk aluminium hasil daur ulang.	20
Gambar 3. 3 Pasir silika tailing timah.	21
Gambar 3. 4 Timbangan digital	21
Gambar 3. 5 <i>Ball mill machine</i>	22
Gambar 3. 6 Mesin press hidrolik	22
Gambar 3. 7 Cetakan.	23
Gambar 3. 8 <i>Thermocouple</i>	23
Gambar 3. 9 Alat Thermogun	24
Gambar 3. 10 Oven	24
Gambar 3. 11 Gelas ukur	24
Gambar 3. 12 Alat uji Portable	25
Gambar 3. 13 Alat uji densitas	25
Gambar 4. 1 Foto Serbuk Campuran Padatan Hasil Proses <i>Mechanical Alloying</i> 4 jam	32
Gambar 4. 2 Grafik Sebaran Ukuran Serbuk D50: 106 Hasil Proses <i>Mechanical Alloying</i> 4 Jam, Diuji dengan <i>Particle Size Analyzer</i> ( Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya )	33
Gambar 4. 3 Spesimen uji	33
Gambar 4. 4 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Kering.	34
Gambar 4. 5 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Basah	34
Gambar 4. 6 Sampel Setelah Pengujian Densitas	35
Gambar 4. 7 Grafik Nilai Densitas Sebelum Sintering	38

Gambar 4. 8 Proses Pengujian Kekerasan.....	40
Gambar 4. 9 Hasil Spesimen Uji Kekerasan.....	40
Gambar 4. 10 Grafik Nilai Kekerasan Sebelum Sintering.....	41
Gambar 4. 11 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Kering.....	42
Gambar 4. 12 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Basah .....	43
Gambar 4. 13 Sampel Setelah Pengujian Densitas .....	43
Gambar 4. 14 Grafik Nilai Densitas Setelah Sintering .....	47
Gambar 4. 15 Proses Pengujian Kekerasan.....	49
Gambar 4. 16 Proses Pengujian Kekerasan.....	50
Gambar 4. 17 Grafik Nilai Kekerasan Setelah Sintering .....	51



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN 1 Daftar Riwayat Hidup .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>LAMPIRAN 2 Analisis XRD Serbuk Aluminium .....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>LAMPIRAN 3 Analisis XRD Pasir Silika Tailing Timah .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>LAMPIRAN 4 Hasil Uji Particle Size Analyzer Serbuk Aluminium.....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>LAMPIRAN 5 Hasil Uji Particle Size Analyzer Pasir Silika Tailing Timah .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>LAMPIRAN 6 Hasil Uji Particle Size Analyzer Serbuk Setelah Dipadukan.....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>LAMPIRAN 7 Perhitungan Nilai Densitas Sebelum Sintering .....</b>	<b>- 14 -</b>
<b>LAMPIRAN 8 Perhitungan Nilai Densitas Setelah Sintering.....</b>	<b>- 25 -</b>
<b>LAMPIRAN 9 Nilai F-Tabel.....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>LAMPIRAN 10 Perhitungan ANNOVA.....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>LAMPIRAN 11 Form Bimbingan Proyek Akhir .....</b>	<b>- 44 -</b>
<b>LAMPIRAN 12 From Monitoring Proyek Akhir .....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>LAMPIRAN 13 Bukti Bukan Plagiasi .....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>LAMPIRAN 14 Bukti Publikasi .....</b>	<b>- 47 -</b>
<b>LAMPIRAN 15 From Revisi Laporan Proyek Akhir 1 .....</b>	<b>- 48 -</b>
<b>LAMPIRAN 16 From Revisi Laporan Proyek Akhir 2 .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>LAMPIRAN 17 From Revisi Laporan Proyek Akhir 3 .....</b>	<b>- 50 -</b>
<b>LAMPIRAN 18 Poster .....</b>	<b>- 51 -</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini terus berkembang pesat khususnya dibidang otomotif dalam pembuatan komponen kendaraan, sehingga kebutuhan materialnya semakin besar dan banyak. Kebutuhan material yang utama dalam kendaraan salah satunya adalah pada sistem pengereman, sistem pengereman pada kendaraan memiliki peranan yang sangat penting karena sebagai keamanan dalam berkendara, jika tidak berfungsi dengan baik maka dapat membahayakan untuk pengendara dan orang lain. Oleh karena itu, komponen rem yang bergesekan harus mempunyai kekerasan yang sesuai dengan standart seperti tahan terhadap gesekan (tahan aus), tahan panas serta tidak mudah berubah wujud pada saat temperatur tinggi [1].

Komponen utama dalam sistem pengereman yaitu kampas rem, kampas rem adalah komponen kendaraan yang sangat penting karena memiliki fungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan laju kendaraan secara nyaman. Namun selain memiliki fungsi dan sifat yang baik komponen kampas rem harus terbuat dari bahan ramah lingkungan serta tidak membahayakan bagi manusia. Pada umumnya 60% pembuatan kampas rem saat ini masih banyak menggunakan material dari komposisi asbestos sebagai serat bahan utama dan bahan campuran lainnya seperti resin, *friction additive*, *filler*, serpihan logam, karet sintetis serta keramik [2]. Dari laporan penelitian yang dilakukan *International labour Organization* (ILO) dari beberapa negara asbestos menyumbangkan 54,7 % penyakit kanker paru-paru yang disebabkan oleh asbestos, kanker paru-paru yang disebabkan oleh asbestos ini adalah Mesotheoliom, yang merupakan penyakit kanker paru-paru yang sangat berbahaya yang dapat menyebabkan kematian, efek bahaya yang disebabkan oleh asbestos sehingga di beberapa negara eropa sudah melarang penggunaan asbestos sebagai bahan material [3]. Oleh karena itu dibutuhkan alternatif baru untuk memenuhi kebutuhan material tersebut, alternatif yang sekarang banyak dikembangkan ialah komposit matriks aluminium.



Komposit matrik aluminium merupakan material komposit logam yang menggunakan aluminium sebagai matriknya serta oksida logam, karbida dan lain-lain yang digunakan sebagai bahan penguat dari matrik tersebut. Komposit matrik aluminium merupakan bahan yang digunakan untuk membuat berbagai macam bahan dibidang kontruksi, pembuatan komponen mesin serta peralatan permesinan dan alat-alat yang lainnya untuk memenuhi kebutuhan manusia [4]. Hal itu dikarenakan komposit matrik aluminium mempunyai beberapa keunggulan seperti sifat densitas rendah, tahan korosi, titik lebur relatif rendah sehingga biaya untuk daur ulang sangat rendah dan memiliki elastisitas yang sangat baik [5]. Keunggulan yang dimiliki oleh komposit matriks aluminium ini yang menjadi acuan untuk peneliti agar dapat mengembangkannya sebagai alternatif pengganti material kampas rem dari asbestos.

Adapun metode yang digunakan untuk proses pembuatan komposit matriks aluminium adalah metode *powder metallurgy* atau metalurgi serbuk. Proses utama metode metalurgi serbuk terbagi menjadi tiga tahapan yaitu tahapan proses *mixing* atau pencampuran serbuk matrik dengan serbuk penguat, proses kompaksi atau penekanan serta tahapan sintering [6]. Metode ini digunakan karena mempunyai berbagai keuntungan dibandingkan dengan proses lainnya [7]. Beberapa keuntungan pembuatan komposit menggunakan metode metalurgi serbuk adalah energi proses yang rendah [8], serta pembuatan produk yang cepat sehingga produk yang dihasilkan relatif murah, hasil produk yang diperoleh dapat langsung digunakan tanpa harus masuk keproses permesinan serta produksinya dapat dikerjakan dalam skala kecil atau massal. Selain itu, 95% penggunaan bahan baku dalam proses metalurgi serbuk ini dapat menjadi sebuah produk jadi [9].

Aluminium merupakan logam ringan yang digunakan sebagai bahan material teknik karena memiliki beberapa sifat penting yang dimilikinya, sifat-sifat penting yang terdapat pada aluminium yaitu sifat ketahanan korosi serta hantaran listrik yang sangat baik dengan sifat-sifat lainnya yang dimiliki logam. Logam aluminium dapat ditingkatkan nilai kekuatan mekaniknya, apabila logam aluminium dicampur dengan unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, Ti dan lain-lain [10]. Dengan menambah unsur-unsur tersebut dapat memperoleh sifat-sifat seperti ketahanan

korosi, ketahanan aus serta koefisien pemuaian rendah dan lain-lain [11]. Untuk memanfaatkan serta pengolahan limbah aluminium untuk diproses daur ulang hanya membutuhkan energi sekitar 5% saja, sehingga dari segi ekonomis jauh lebih murah dan bisa mengurangi konsumsi energi. Hal itu jauh berbeda dengan penggunaan aluminium primer bauksit, energi yang dibutuhkan untuk proses pengolahannya sangat banyak [12] [13].

Pasir silika merupakan salah satu senyawa kimia yang dirumuskan dengan molekul  $\text{SiO}_2$  (*Silikon dioxide*), silika diperoleh dari silika mineral, nabati, serta sintesis. Silika yang ditemukan didalam bumi adalah silika mineral yang dapat berupa pasir kuarsa, granit, dan *fledsfar* yang memiliki kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) dalam bentuk kristal. Menurut Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (2005) dalam Bambang. S. (2018). Silika memiliki sifat tahan aus, ketahanan termal, dan tingkat kekakuan yang tinggi. Sehingga mampu digunakan pada suhu operasi yang relatif tinggi jika dibandingkan dengan bahan berbasis asbestos. Selain itu, apabila silika ( $\text{SiO}_2$ ) digunakan sebagai material penguat komposit yang dipadukan dengan aluminium maka akan memperoleh hasil material komposit yang mempunyai beberapa sifat seperti sifat tahan korosi, ringan, kuat serta *machinability* yang sangat baik [14]. Oleh karena itu, pada penelitian eksperimen ini dilakukan pembuatan komposit matrik aluminium dengan menggunakan bahan serbuk aluminium hasil daur ulang dan menggunakan penguat berupa serbuk silika dari pasir silika tailing timah, dengan harapan dapat menggantikan kampas rem yang bebas dari bahan asbestos.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pembahasan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dapat disusun sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh tekanan kompaksi panas terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit matriks aluminium hasil daur ulang diperkuat pasir silika tailing timah proses metalurgi serbuk ?
2. Bagaimana pengaruh suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit matriks aluminium hasil daur ulang diperkuat pasir silika tailing timah proses metalurgi serbuk ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi panas terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit matrik aluminium hasil daur ulang diperkuat pasir silika tailing timah dengan metalurgi serbuk.
2. Untuk mengetahui pengaruh suhu sintering terhadap nilai densitas, dan kekerasan komposit matrik aluminium hasil daur ulang dipenguat pasir silika tailing timah dengan metalurgi serbuk.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar tujuan yang telah dibuat penulis dari penelitian ini tidak menyimpang, sehingga dapat memperoleh data dan informasi lebih mudah, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium daur ulang.
2. Penguat komposit yang digunakan adalah pasir silika tailing timah.
3. Variasi tekanan kompaksi panas 4400/4500/4600 PSi dengan suhu 500°C dan waktu tahan tekan 15 menit.
4. Variasi temperatur sintering yaitu 510°C/560°C dan 610°C dengan waktu tahan sintering 10 menit.
5. Pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :
  - Pengujian Densitas
  - Pengujian Kekerasan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan pembahasan latar belakang yang sudah disampaikan di Bab I, maka penelitian ini berpedoman berdasarkan pembahasan yang mengenai penerapan metode metalurgi serbuk. Pada proses penelitian ini berfokus pada penerapan pengaruh tekanan kompaksi panas dan suhu sintering terhadap kekerasan dan densitas komposit matrik aluminium hasil daur ulang diperkuat pasir silika tailing timah. Oleh sebab itu, penelitian ini harus mempunyai acuan dari berbagai sumber salah satunya penelitian sebelumnya yang telah meneliti dengan bahan yang sama.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang diteliti oleh Arrahim dkk [15], dengan judul “ Pengaruh Fraksi Penguat *Fly Ash* dan Temperatur Cetakan Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Pada MMC “ penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan serta struktur mikro material komposit MMC yang menggunakan serbuk aluminium (Al) dan diperkuat *fly ash*, penelitian ini menggunakan presentase penguat *fly ash* 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%, kemudian penguat tersebut dicampurkan dengan matrik aluminium yang mempunyai ukuran butir 3,174  $\mu\text{m}$ . Proses penelitian ini menggunakan proses metalurgi serbuk, proses penekanan dilakukan secara *hot pressing* (HIP) dengan variasi temperatur yaitu 250°C, 300 °C dan 350 °C. Proses pengujian dilakukan dengan *Rockwell Hardness Tester* dan pengamatan struktur mikro menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil dari proses uji kekerasan, nilai kekerasan pada spesimen uji dengan variasi serbuk aluminium dan *fly ash* dengan variasi 90:10% memiliki kenaikan kekerasan tertinggi pada keseluruhan temperatur pemanas (250°C, 300 °C dan 350 °C) sebesar 65,07 HRB dan kekerasan terendah pada variasi 75:25% dengan nilai kekerasan sebesar 55,64 HRB. Kenaikan kekerasan terjadi pada penambahan *fly ash* 10-15%. Sedangkan hasil pengamatan mikroskop *scanning electron microscope* (SEM) dimana partikel *fly ash* pada suhu penekanan berbeda mempengaruhi penyebaran partikel yang dihasilkan, pada suhu penekanan 300 °C



dan 350 °C menghasilkan penyebaran merata dan pori-pori yang dihasilkan kecil atau rapat. Sedangkan pada suhu penekanan 250 °C partikel *fly ash* yang tersebar masih menyisakan *porous* dan kerapatannya masih kurang maksimal.

Berdasarkan penelitian Sukanto dkk [13] tentang “Karakterisasi Komposit Matriks Aluminium Paduan Al-ZnSiFeCuMg yang Diperkuat Dengan Partikel Pasir Silika Tailing” disimpulkan bahwa penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh perbedaan ukuran butir dan persentase berat bahan pengisi matriks pada serbuk paduan aluminium daur ulang Al-ZnSiFeCuMg. Ukuran butir yang digunakan pada penelitian ini yaitu 31  $\mu\text{m}$  dan 164  $\mu\text{m}$  dengan variable pengisi 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dengan berat serbuk yang telah dicampur sebanyak 25 gram. Penelitian ini menggunakan metode metalurgi serbuk. Pada proses tekanan kompaksi panas menggunakan suhu 300°C dengan tekanan 100 MPa selama 10 menit menggunakan pompa hidrolik dua arah yang terdiri dari ram atas dan ram bawah, kemudian dilakukan proses sintering dengan suhu 550°C, selama 15 menit. Hasil pengujian densitas, kekerasan dan keausan, serta analisis struktur mikro. Peningkatan kekerasan terjadi pada spesimen AMCs-164  $\mu\text{m}$  dengan campuran 20% SiO<sub>2</sub> sebesar 67%, dari kekerasan awal 46,67 HRB menjadi 78 HRB dengan tingkat keausan 0,00041 g/m. Sedangkan pada spesimen AMCs-31  $\mu\text{m}$  hanya meningkat sebesar 63% dari kekerasan awal 46,67 HRB menjadi 76 HRB dengan keausan 0,00113 g/m. Oleh karena itu, AMC yang menggunakan serbuk dengan ukuran butir *filler* 164  $\mu\text{m}$  mempunyai ikatan yang sangat kuat antara *filler* dengan matriks serta menghasilkan AMC yang lebih keras dibandingkan AMC yang menggunakan serbuk berukuran 31  $\mu\text{m}$ .

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Azis [16] tentang analisa pengaruh kompresibilitas metalurgi serbuk terhadap karakteristik fisik pada komposit matrik aluminium diperkuat alumina. Penelitian ini menggunakan aluminium dari limbah kaleng *softdrink* sebagai matrik dengan variasi fraksi volume sebesar 60% dan sebagai penguat menggunakan alumina dengan fraksi volume sebesar 40% serta penambahan *wetting agent* sebesar 10% dari jumlah fraksi volume matrik dan penguatnya. Setelah itu dikompaksi dengan tekanan yang divariasikan yaitu 40, 45, 50 kN dan suhu sintering 450°C dengan waktu tahan 2 jam. Kesimpulan yang dapat

diperoleh dari penelitian ini adalah semakin tinggi tekanan kompaksi maka semakin tinggi densitas dan kekerasan. Densitas tertinggi sebesar  $3,644 \text{ g/cm}^3$  pada tekanan 50 Kn. Dan nilai kekerasan tertinggi sebesar 97,23 BHN pada tekanan 50 kN.

## **2.2. Komposit**

### **2.2.1. Definisi Komposit**

Komposit merupakan bahan material yang dapat disusun melalui proses kombinasi dua atau lebih material pembentuknya serta sifat yang dimiliki bahan pembentuknya berbeda-beda, baik dari sifat fisika ataupun sifat kimia dari bahan tersebut. Hasil dari proses kombinasi ini menghasilkan material komposit yang memiliki sifat mekanik serta karakteristik yang berbeda sesuai dengan material pembentuk pada komposit tersebut [17]. Selain itu, hasil proses kombinasi dari beberapa bahan yang berbeda dapat menghasilkan sifat komposit yang lebih unggul dan kuat.

Adapun keunggulan dari sifat komposit adalah sebagai berikut.

- a. Material komposit mempunyai kekakuan serta kekuatan yang tinggi.
- b. Tahan terhadap korosi.
- c. Memiliki bobot yang ringan.
- d. Biaya pembuatan material komposit yang lebih murah.

### **2.2.2. Klasifikasi Material Komposit**

Material komposit dibagi menjadi dua bagian berdasarkan matriks serta penguatnya. Berdasarkan matriks komposit dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

1. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan material komposit dari bahan logam yang digunakan sebagai matrik yang berupa unsur (elemen) atau paduan (*Alloy*) yang dikombinasikan dengan bahan pengisi (*filler*) agar dapat menghasilkan sifat-sifat yang diharapkan. MMC pada saat ini banyak dikembangkan dengan menggunakan Aluminium (Al) sebagai matrik. Bahan aluminium dipilih sebagai matrik karena aluminium memiliki sifat unggul dibandingkan dengan logam lainnya, seperti densitas rendah, ketahanan korosi yang baik, tahan terhadap gesekan dan ketahanan aus baik, hantaran listrik baik dan memiliki kemampuan penguatan dengan *presipitasi*.

2. *Polymer Matrix Composite* (PMC) adalah material komposit dari matrik yang menggunakan bahan dasar polimer seperti poliester, polietilena, polipropilen, polivinil, klorida dan lain-lain. *Polymer Matrix Composite* merupakan material komposit yang sangat banyak digunakan, hal ini dikarenakan proses pembuatan komposit polimer ini biayanya sangat murah, kekuatan material kompositnya yang lebih besar serta prinsip manufakturnya *simple*.
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) adalah material komposit dari bahan matrik keramik seperti alumina kalsium, dan alumina silikat yang dapat diperkuat menggunakan serat pendek serta serabut-serabut (*whiskers*) dari serat karbon atau silikon karbida. Material komposit jenis *Ceramic Matrix Composite* (CMC) mempunyai kelebihan seperti kekerasan yang sangat tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi, kepadatan rendah. Hal ini bisa terjadi karena jika bahan keramik yang diperkuat dengan menggunakan bahan serat dapat meningkatkan kekuatan serta kekerasan dari komposit tersebut, serat yang dapat digunakan sebagai penguatnya adalah silikon karbida serta karbon [18].

Sedangkan komposit dapat dibagi menjadi tiga berdasarkan penguatnya yaitu :

1. Komposit Serat adalah material komposit yang menggunakan fiber yang didalamnya terdapat matriks, secara alami kekuatan yang dimiliki serat panjang lebih kuat jika dibandingkan dengan serat yang berbentuk secara curah (*bulk*).
2. Komposit Partikel adalah material komposit yang menggunakan penguat dari bahan partikel serbuk dan dapat menyebar secara merata pada matriknya.
3. Komposit Lapis adalah material komposit yang dapat dibuat dari dua atau lebih lamina. Komposit jenis ini menggunakan serat yang berbentuk lamina dan komposit jenis ini banyak digunakan pada bidang teknologi atau industri otomotif.

### **2.3. Mesin *Ball Mill***

Mesin *ball mill* merupakan mesin yang digunakan untuk mencampurkan serta menghancurkan bahan material menjadi partikel-partikel yang lebih kecil atau halus. Penghancuran bahan material tersebut terjadi dikarenakan terjadinya tumbukan dari bola-bola baja yang terdapat pada mesin *ball mill*. Pada umumnya

mesin *ball mill* dapat digunakan untuk menggiling berbagai macam material seperti kuningan, silika, aluminium, dan lain-lain [19]. Mesin ball mill banyak digunakan pada proses penggilingan material karena mempunyai beberapa kelebihan yaitu terjadinya dua proses secara bersamaan pada proses penggilingan yaitu proses pencampuran dan proses penumbukan sehingga bahan material yang dihasilkan dari proses penggilingan menggunakan *ball mill* dapat tercampur dengan rata serta dapat menghasilkan partikel-partikel yang lebih halus dari sebelum dilakukan proses penggilingan.

## **2.4. Metalurgi Serbuk**

Metalurgi serbuk merupakan keilmuan yang membahas tentang metalurgi fisik serta teknologi manufaktur (fabrikasi) yang membuat suatu material atau komponen yang dihasilkan dari proses teknologi manufaktur konvensional seperti *casting, forging, dan cutting*. Oleh karena itu, proses metalurgi serbuk ini lebih efektif dan ekonomis karena dapat meminimalis *waste*, dengan demikian pada proses metalurgi serbuk 95% bahan baku yang digunakan menjadi sebuah produk jadi [9].

Adapun langkah-langkah proses metalurgi serbuk adalah sebagai berikut:

### **2.4.1. *Mixing* (pencampuran serbuk)**

Pencampuran serbuk merupakan suatu proses yang dilakukan untuk mencampurkan material logam dengan material yang lain, agar mendapatkan sifat fisik atau mekanik yang jauh lebih baik dan untuk memperoleh campuran yang homogen. Pada proses pencampuran suatu material logam dapat dilakukan dengan dua cara yaitu pencampuran basah dan kering. Pencampuran basah merupakan suatu proses pencampuran yang dilakukan dengan mencampurkan terlebih dahulu antar serbuk matrik serta *filler* menggunakan pelarut polar. Tujuan diberikannya pelarut polar ini, agar dapat mempermudah dalam proses pencampuran material. Sedangkan pencampuran kering adalah proses pencampuran tanpa menggunakan bahan pelarut, karena material tersebut tidak mudah mengalami oksidasi .

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kehomogenan distribusi partikel antara lain:

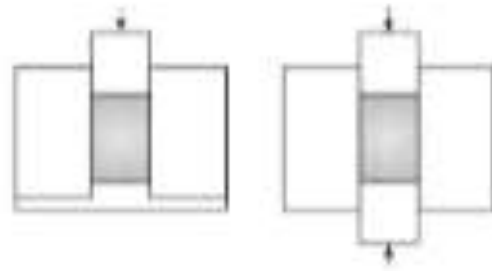
- a. Kecepatan pencampuran.

- b. Lama waktu pencampuran.
- c. Ukuran partikel.
- d. Jenis material.
- e. Temperatur.
- f. Media pencampuran.

Kehomogenan dalam proses pencampuran dapat berpengaruh ketika proses penekanan (kompaksi), hal itu dikarenakan semakin homogen pencampuran maka hasil dari proses kompaksi dapat merata dan padat sehingga menghasilkan kualitas ikatan antar partikel semakin baik.

#### **2.4.2. Kompaksi**

Proses kompaksi merupakan proses yang dilakukan untuk memadatkan serbuk agar dapat dibentuk menjadi suatu produk yang diinginkan sesuai dengan cetakan yang digunakan. Selain itu, proses pemadatan ini dilakukan untuk saling melekatkan serbuk yang digunakan sebelum ditingkatkan antara ikatannya melalui proses sintering dan mendorong rongga udara yang terdapat diantara partikel. Ketika tekanan kompaksi yang diberikan semakin besar, maka udara yang terdapat dipartikel dapat semakin kecil. Pada proses kompaksi berdasarkan sumbu dapat dilakukan dengan satu arah atau satu arah penekanan dan dua arah atau dua arah penekanan. Pada umumnya proses kompaksi satu arah digunakan pada sampel dengan bentuk yang lebih sederhana. Sedangkan proses kompaksi dengan dua arah penekanan biasanya dilakukan pada bentuk-bentuk yang rumit atau kompleks. Pada proses kompaksi dua arah penekanan, kerapatan yang dihasilkan relatif lebih seragam, karena tekanan dapat bergerak dari atas dan bawah yang saling menekan bersamaan dengan arah yang berlawanan, sehingga nilai kekuatan mekanik terendah terjadi pada titik pusat. Untuk produk dengan kompleksitas yang lebih tinggi maka tekanan dapat ditambah agar memperoleh kepadatan yang seragam [20]. Berikut gambar penekanan satu arah dan dua arah ditunjukkan gambar 2.1.



(a) *single punch*

(b) *double punch*

Gambar 2. 1 Proses penekanan satu arah dan dua arah [21].

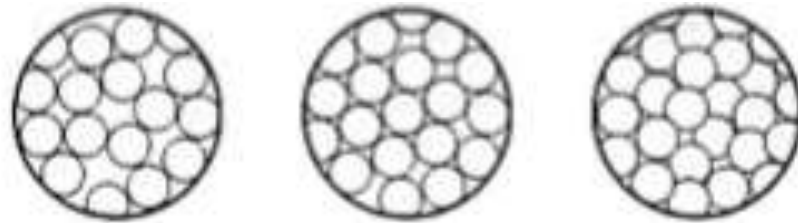
Pada proses pemadatan atau kompaksi terdapat dua metode kompaksi yang digunakan berdasarkan suhu, yaitu kompaksi panas (*Hot Compaction*) merupakan proses pemadatan yang dilakukan dengan memberikan suhu diatas temperatur kamarnya sedangkan kompaksi dingin (*Cold Compaction*) merupakan proses pemadatan yang dilakukan pada suhu kamar [22]. Proses kompaksi panas dilakukan pada suhu dibawah titik cair dari matrik sehingga serbuk penyusun akan menjadi lebih lunak atau plastis, sehingga lebih mudah memadat pada saat diberi tekanan pada proses kompaksi.

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pada proses kompaksi sebagai berikut:

- a. Ukuran partikel.
- b. Bentuk partikel.
- c. Susunan partikel.
- d. Distribusi ukuran.

Pada saat diberi tekanan, maka respon yang terjadi antar partikel-partikel yaitu tersusun serta pori-pori besar yang terdapat pada serbuk tertutup, sehingga serbuk tersebut dapat memadat. Jika tekanan ditingkatkan maka kepadatan pada serbuk jauh lebih baik dan dapat menurunkan pori-pori sehingga membentuk formasi partikel-partikel yang baru [23]. Berikut ini gambar proses pembentukan kepadatan serbuk logam.



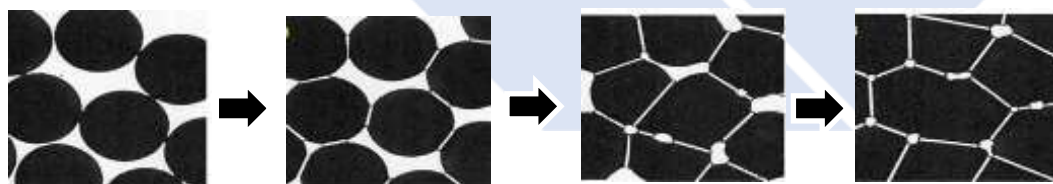


(a) *Preparation*      (b) *Star Compaction*      (c) *Completed Compaction*

Gambar 2. 2 Tahapan proses pembentukan kepadatan serbuk [21].

### 2.4.3. Sintering

Sintering merupakan suatu proses pemanasan pada material komposit yang dilakukan pada temperatur dibawah titik cair serbuk material yang digunakan dan waktu pemanasan pada setiap jenis logam berbeda-beda. Proses sinter dapat menambahkan kepadatan akibat terbentuknya ikatan-ikatan. Hal ini disebabkan oleh, suhu panas yang diberikan pada proses sinter akan mengakibatkan bersatunya suatu partikel dan efektivitas reaksi tegangan suatu permukaan meningkat. Pada proses sintering juga dapat membentuk suatu batas butir, yang merupakan tahap dari rekristalisasi. Pada umumnya proses sintering dapat dilakukan dengan suhu temperatur yang berkisar antara 70% hingga 90% berada dari temperatur cair pada serbuk utama [9]. Berikut ini gambar proses yang terjadi pada saat sintering ditunjukkan gambar 2.3.



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

Gambar 2. 3 Tahapan proses sintering [9].

### 2.5. Aluminium

Aluminium adalah unsur ketiga terbanyak yang diperoleh didalam bumi setelah Oksigen dan Silikon. Aluminium yang ada didalam bumi sekitar 7,6%. Selain itu, aluminium merupakan logam ringan yang digunakan sebagai bahan baku material teknik karena memiliki beberapa sifat penting yang dimilikinya, sifat-sifat

penting yang terdapat pada aluminium yaitu sifat ketahanan korosi serta hantaran listrik yang sangat baik dengan sifat-sifat lainnya yang dimiliki logam [11].

Adapun tabel sifat fisik serta sifat mekanik pada aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 dan tabel 2.2. Sedangkan diagram fasa ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini:

Tabel 2. 1 Sifat-sifat fisik aluminium [11]

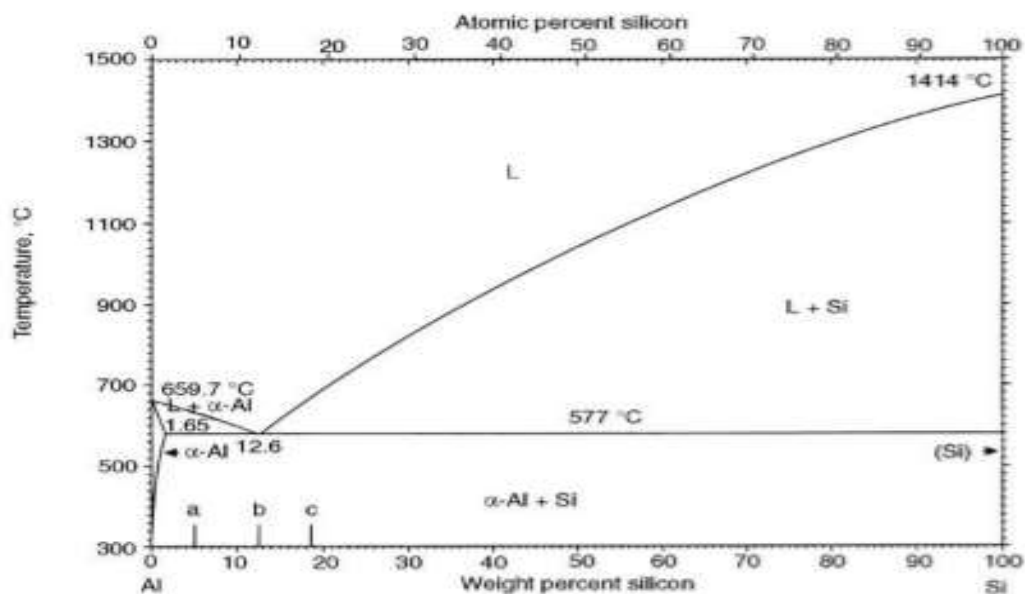
Sifat – sifat fisik	Kemurnian Al ( % )	
	99,996	>99.0
Massa jenis ( 20°C )	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis ( cal/g. °C ) ( 100°C )	0,2226	0,2297
Hantaran listrik ( % )	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperature ( /°C )	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian ( 20-100°C )	$23,86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

Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanik aluminium [11]

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

Pada penelitian ini menggunakan aluminium daur ulang, hal ini dikarenakan agar dapat mengurangi penggunaan bahan dari sumber daya alam yang sulit dicari seperti: batu bara, bauksit, gas alam, serta minyak bumi. Proses mendaur ulang

aluminium tidak perlu lagi menggunakan bahan biji bauksit, karena bahan yang digunakan adalah aluminium bekas. Oleh sebab itu, proses ini dapat menghemat penggunaan biji bauksit sebagai bahan membuat aluminium. Untuk memanfaatkan serta pengolahan limbah aluminium untuk diproses daur ulang hanya membutuhkan energi sekitar 5% saja dari pengolahan aluminium primer, sehingga dapat menghemat energi  $\pm 95\%$  dan dari segi ekonomis jauh lebih murah dan bisa mengurangi konsumsi energi [12][13]. Hal itu jauh berbeda dengan penggunaan aluminium primer bauksit, energi yang dibutuhkan untuk proses pengolahannya sangat banyak [24]. Daur ulang aluminium merupakan metode atau cara yang dapat digunakan untuk mengurangi limbah aluminium yang ada dan hal ini dilakukan karena untuk mengurangi limbah logam serta penggunaan bahan dari sumber daya alam secara terus-menerus dalam waktu jangka panjang [25].



Gambar 2. 4 Diagram Fasa Al-Si [26].

## 2.6. Silika

Pasir silika merupakan pasir yang dihasilkan dari pelapukan yang terjadi pada bebatuan yang memiliki kandungan berupa mineral utama, seperti kuarsa serta *feldspar*, proses pelapukan ini akan tercuci serta terbawa air atau angin yang terendap dibagian pesisir sungai, laut, danau dan dibawah tanah. Berikut ini tabel sifat fisik dan mekanik yang dimiliki pasir silika.

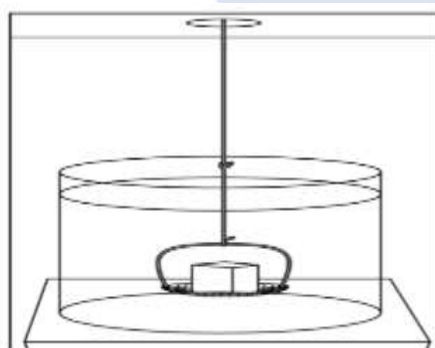
Tabel 2. 3 Sifat fisik dan mekanik silika [11]

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus molekul	SiO <sub>2</sub>
Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair (°C)	1600-1725
Titik didih (°C)	2230
Kekuatan Tarik (Mpa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	70-75
Kekerasan (kg/m <sup>2</sup> )	650

## 2.7. Pengujian Komposit

### 2.7.1. Uji Densitas

Densitas merupakan sifat yang sangat penting yang dimiliki suatu zat yaitu kerapatan atau massa jenis yang disebut dengan istilah densitas, perbandingan rapat massa (*mass density*) suatu zat ialah massa per satuan volume. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM B962-17 [27] sebagai salah satu acuan untuk prosedur pengujian. Berikut gambar ilustrasi pengujian densitas dengan sampel dimasukkan didalam air dengan posisi sampel melayang dengan menggunakan keranjang.



Gambar 2.5 Ilustrasi Pengujian Densitas [27].

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum Archimedes yang dimana hukum tersebut berbunyi benda yang dimasukkan sebagian atau seluruh kedalam fluida/air. Benda yang dimasukkan kedalam fluida/air maka dapat memiliki tiga kemungkinan yaitu mengapung, melayang, serta tenggelam. Nilai densitas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Keterangan :

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

$m_s$  = massa sampel kering (gram)

$m_g$  = massa sampel yang digantung didalam air (gram)

$\rho_{H_2O}$  = massa jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup>

### 2.7.2. Uji Kekerasan

Kekerasan merupakan sifat ketahanan suatu material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut berupa indentasi dari material keras terhadap suatu permukaan benda uji. Pengujian kekerasan dapat dilakukan dengan beberapa metode pengujian seperti *Rockwell*, *Vicker* dan *Brinell*. Metode *rockwell* merupakan metode yang banyak digunakan karena proses pengujian yang simpel serta tidak perlu keahlian khusus untuk proses pengujiannya. Sedangkan metode *vicker* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan kekerasan pada material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan piramida dengan sudut puncak 136° dan metode *brinell* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan terhadap bola baja yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Pada penelitian ini menggunakan uji kekerasan dengan alat uji kekerasan *portable* yang mempunyai beban penekanan 2 kg dengan indenter berbentuk bola berdiameter 2 mm. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM E110-14 [28].

## 2.8. Kampas Rem

Kampas rem adalah komponen yang memiliki fungsi mengurangi kecepatan serta menghentikan kendaraan. Pada umumnya kendaraan mempunyai kecepatan yang tinggi. Oleh karena itu komponen kampas rem harus dibuat menggunakan material yang memiliki kemampuan yang sangat baik serta efisien agar memperoleh pengereman yang optimal, selain itu kampas rem mempunyai peranan yang paling utama yaitu untuk keselamatan. Kampas rem komposit harus memenuhi standart agar dapat digunakan pada kendaraan khusus pada kekerasan material kampas rem tersebut. Kekerasan standar kampas rem motor komposit yaitu sebesar 68-105 (BHN) [29].

## 2.9. Metode Desain Full Faktorial

Desain full faktorial merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan dari beberapa efek faktor dan sekaligus interaksinya, metode tersebut dapat dikatakan sebagai persamaan regresi yang digunakan untuk menentukan model hubungan antara variabel respon dengan satu atau lebih dari variabel bebas, metode ini juga untuk mencari efek beberapa faktor tergantung pada kondisi hasil penelitian. Desain full faktorial memiliki beberapa kelebihan yaitu informasi yang didapatkan lebih komprehensif karena dapat mempelajari pengaruh utama interaksi dan hasil eksperimen dapat diterapkan pada kondisi yang lebih luas karena kombinasi dari berbagai faktor [30].

Pada rancangan eksperimen faktorial harus membuat hipotesis atau analisis anova. Keputusan terhadap hipotesis nol ( $H_0$ ) didasarkan pada nilai  $F_{tabel}$  yakni selama statistik  $F_{hitung}$  melebihi  $F_{0,05;2,27(3,55)}$  atau  $p$ -value kurang dari  $\alpha$ , keputusannya adalah menolak  $H_0$ . Untuk menentukan  $H_0$  yang ditolak atau gagal menolak maka ketentuan yang harus diikuti adalah sebagai berikut.

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

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



1. Jumlah Kuadrat Total

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots (2.2)$$

2. Jumlah Kuadrat Mean

$$Adj MS : DF \dots\dots\dots (2.3)$$

3. Jumlah Kuadrat Faktor

$$SS_{Suhu sintering} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_i - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$SS_{Kompaksi panas} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y^2_j - \frac{y^2}{abn} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$SS_{AxB} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^a \sum_{b=1}^b y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SS_{LP} - SS_{FV} \dots\dots\dots (2.6)$$

4. Jumlah Kuadrat Error

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

5. F-Hitung

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

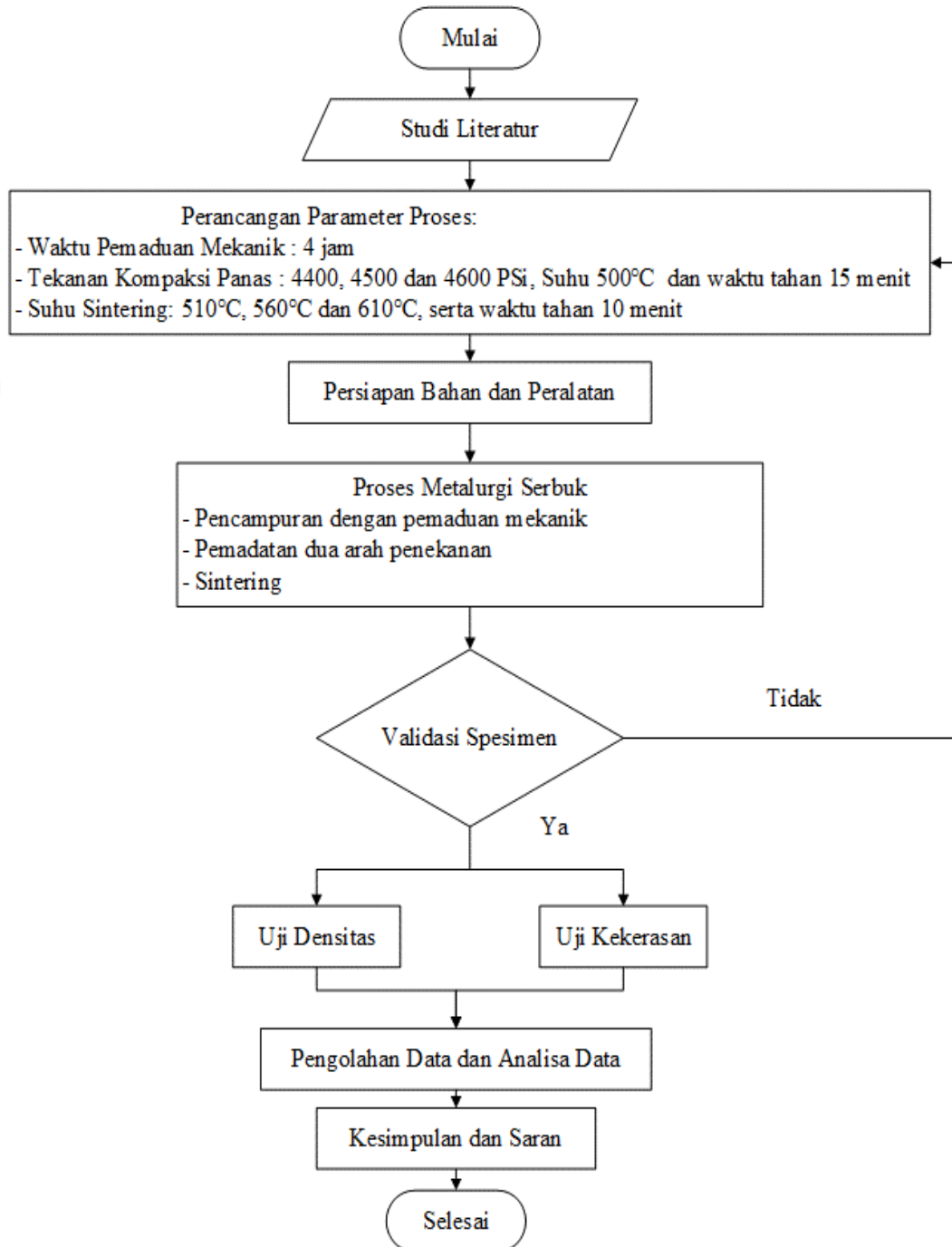
6. DF

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

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metode Pelaksanaan

Berikut ini diagram alir yang menggambarkan proses penelitian ini.



Gambar 3. 1 Diagram alir

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur ini sangat diperlukan pada proses penelitian karena sebagai pendukung untuk mengidentifikasi dan mempelajari dasar-dasar teori untuk dijadikan sebagai acuan pada proses penelitian serta mencari data-data pendukung untuk proses penelitian yang dimana panduan dan refrensinya didapatkan dari berbagai sumber seperti buku, jurnal-jurnal, artikel-artikel dan sumber-sumber lainnya baik internet ataupun majalah.

### 3.3. Bahan dan alat penelitian

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

#### 3.3.1. Bahan penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan bahan-bahan sebagai berikut:

##### 1. Serbuk aluminium hasil daur ulang

Pada penelitian ini digunakan serbuk aluminium hasil daur ulang yang mempunyai komposisi senyawa 74%Al, 23%Cu(FeO<sub>2</sub>) dan 3% Si berdasarkan hasil uji XRD di Universitas Negeri Malang. Sedangkan berdasarkan hasil uji *Particle Size Analyzer* serbuk aluminium hasil daur ulang mempunyai ukuran distribusi yaitu D50:204 µm, yang digunakan sebagai matriknya. Berikut ini gambar serbuk aluminium hasil daur ulang, ditunjukkan gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3. 2 Serbuk aluminium hasil daur ulang

## 2. Pasir Silika Tailing Timah

Serbuk silikon dioksida yang digunakan merupakan pasir silika tailing hasil dari limbah pencucian tambang timah, yang memiliki komposisi senyawa 83%  $\text{SiO}_2$ , 12%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan 5%  $\text{TiO}_2$  berdasarkan hasil uji XRD di Universitas Negeri Malang. Sedangkan berdasarkan hasil uji *Particle Size Analyzer* pasir silika tailing timah mempunyai ukuran distribusi yaitu  $D_{50}:164 \mu\text{m}$ . Berikut ini gambar pasir silika tailing timah yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3. 3 Pasir silika tailing timah

### 3.3.2. Alat Penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

#### 1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan sebagai alat untuk menimbang berat serbuk aluminium dan pasir silika tailing timah yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini gambar timbangan digital yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 Timbangan digital

## 2. *Ball mill machine*

*Ball mill machine* digunakan untuk mencampurkan serbuk aluminium dan pasir silika tailing timah, mesin ini juga dapat menghancurkan serbuk menjadi partikel-partikel yang lebih halus lagi karena didalam tabung mesin tersebut terdapat bola kecil-kecil. Berikut ini gambar *Ball mill machine* yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3. 5 *Ball mill machine*

## 3. Mesin press hidrolik

Mesin press hidrolik digunakan untuk memadatkan serbuk dengan cara menekan/mengompaksi serbuk aluminium dan pasir silika tailing timah yang sudah diaduk untuk dibentuk sesuai dengan cetakan. Mesin press hidrolik yang digunakan pada penelitian ini ialah menggunakan ram atas dan bawah yang terdapat alat ukur untuk membaca tekanan. Berikut ini gambar mesin press hidrolik yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.6 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Mesin press hidrolik

#### 4. Cetakan

Cetakan digunakan untuk proses pembentukan sampel komposit hasil dari proses kompaksi panas, sampel yang dicetak sesuai dengan bentuk cetakan yang dipakai. Pada penelitian ini hasil benda yang dicetak berbentuk cincin dengan ukuran diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Berikut ini gambar cetakan yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3. 7 Cetakan

#### 5. *Thermocouple*

Alat ini digunakan untuk memanaskan paduan serbuk aluminium dan pasir silika tailing timah dengan suhu yang telah ditentukan, proses pemanasan ini dilakukan secara bersamaan dengan proses penekanan/kompaksi panas. Berikut ini gambar *Thermocouple* yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3. 8 *Thermocouple*

#### 6. Alat pengukur suhu (*Thermogun*)

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu pada alat pemanas pada saat proses kompaksi panas. Berikut ini gambar *Thermogun* yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.9 dibawah ini.





Gambar 3. 9 Alat *Thermogun*

#### 7. Oven/furnace

Oven digunakan sebagai alat pemanas sampel komposit yang telah selesai dalam proses kompaksi panas. Berikut ini gambar oven yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3. 10 Oven

#### 8. Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi sebagai wadah menampung air yang di isi secara penuh sebelum sampel dimasukkan ke dalamnya. Berikut ini gambar gelas ukur yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3. 11 Gelas ukur

#### 9. Alat uji kekerasan *Portable*

Alat uji ini digunakan untuk menguji kekerasan sampel material komposit yang diteliti. Berikut ini gambar alat uji kekerasan *portable* yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3. 12 Alat uji *portable*

#### 10. Alat Uji Densitas

Alat uji ini digunakan untuk menimbang sampel didalam air agar dapat mengetahui berat sampel pada saat didalam air. Berikut ini alat uji densitas yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3. 13 Alat uji densitas

### 3.4. Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah proses prosedur penelitian yang dijabarkan sebagai berikut

#### 1. Melakukan proses *mixing*

Proses pencampuran serbuk aluminium hasil daur ulang dengan serbuk pasir silika tailing timah menggunakan metode pemaduan mekanik atau *Mechanical Alloying* dengan menggunakan mesin *horizontal ball mill*. Proses pemaduan mekanik dengan mesin *horizontal ball mill* ini digunakan parameter proses yang

meliputi parameter *Ball Powder weight Ratio* (BPR) 10:1, parameter kecepatan putaran mesin adalah 90 rpm dan parameter waktu penggilingan adalah 4 jam. Pada proses pencampuran menggunakan metode *Mechanical Alloying* ini terjadi dua proses secara simultan, yaitu proses pencampuran dan proses penggerusan, sehingga serbuk yang dihasilkan dari proses pemaduan mekanik ini dapat tercampur dengan rata atau mendekati homogen serta dapat menghasilkan serbuk yang lebih halus dari serbuk sebelum dilakukan proses pemaduan mekanik.

Penelitian ini menggunakan komposisi campuran serbuk aluminium hasil daur ulang dan pasir silika tailing timah dengan perbandingan fraksi volume berat 80% serbuk aluminium hasil daur ulang dan 20% pasir silika tailing timah, dengan berat serbuk campuran yang diperlukan 35 gram setiap sampel. Untuk menghasilkan tebal sampel 9-10 mm. Proses penimbangan serbuk dilakukan dengan timbangan digital yang mempunyai ketelitian 0,01, berat serbuk aluminium hasil daur ulang dan pasir silika tailing timah yang dipadukan dalam satu kali pemaduan memiliki berat 350 gram.

Setelah proses penimbangan selesai masukkan serbuk tersebut ke dalam tabung yang terdapat pada mesin *horizontal ball mill* untuk dilakukan proses pencampuran mesin tersebut mempunyai bola-bola kecil yang terdapat didalamnya yang memiliki ukuran diameter 30 mm dan diameter 25 mm serta berat dari masing-masing bola-bola tersebut adalah 111.18 gram dan 65.96 gram dan rata-rata kekerasan bola-bola tersebut adalah 61 HRC dan 58,2 HRC.

## 2. Proses Kompaksi panas

Proses kompaksi panas bertujuan untuk memadatkan serbuk yang digunakan. Proses kompaksi panas dilakukan dengan menggunakan mesin press hidrolik yang mempunyai dua hidrolik yaitu hidrolik atas dan bawah serta dilengkapi dengan alat pembaca tekanan sedangkan alat yang digunakan untuk memanaskan serbuk pada saat proses kompaksi panas menggunakan alat *Thermocouple* dan cetakan yang digunakan berbentuk cincin yang memiliki diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, sebelum proses kompaksi panas dilakukan, letakkan cetakan pada alat kompaksi masukkan serbuk yang telah dicampur kedalam cetakan secara merata, setelah itu pasang besi bulat berbentuk

cicin dibagian atas cetakan untuk menekan serbuk, cetakan ditekan dengan mesin hidrolis 2 arah penekanan yang terdiri dari ram atas serta bawah yang mempunyai alat ukur agar dapat membaca tekanan. Tekanan kompaksi panas yang diberikan yaitu sebesar 4400 PSI, 4500 PSI dan 4600 PSI selama 15 menit. Proses kompaksi panas dilakukan pada suhu kompaksi yaitu 500°C pada area dapur pemanas yang melingkupi cetakan. Setelah proses kompaksi panas selesai tunggu agar cetakan menjadi dingin dan keluarkan sampel dari cetakan.

### 3. Proses Sintering

Proses sintering dilakukan dengan tujuan agar ikatan antar partikel pada serbuk meningkat. Pada saat proses sinter dilakukan siapkan sampel yang telah dicetak, setelah itu sampel dimasukkan kedalam *furnace* atau oven. Dalam proses pemanasan sampel diberlakukan variasi suhu sintering yaitu 510°C, 560°C dan 610°C. yang kemudian diberi waktu tahan ( *Holding Time* ) selama 10 menit. Setelah selesai proses sintering, maka sampel dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan pada suhu ruangan.

### 3.5. Validasi Spesimen

Pada proses ini dilakukan validasi spesimen dengan cara melihat secara visual apakah sampel yang telah dibuat terdapat cacat seperti bentuk yang tidak sempurna (terkikis), mengalami keretakan dan pecah. Jika sampel yang telah dibuat dalam keadaan layak uji maka langsung memasuki tahap pengujian, tetapi jika sampel masih terdapat cacat dan tidak sesuai yang diharapkan maka dilakukan proses pencetakan ulang pada sampel dari tahap awal.

### 3.6. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengukur berat sampel dengan timbangan digital agar memperoleh massa pada sampel. Proses pengujian ini dilakukan dengan cara menimbang sampel sebelum dimasukkan kedalam air atau kering dan sampel yang dimasukkan kedalam air atau basah. Data yang diperoleh dari hasil proses menimbang spesimen tersebut selanjutnya dibandingkan dengan massa sampel kering terhadap massa sampel yang terdapat didalam air atau basah,

proses ini disebut dengan densitas ( $\rho$ ). Proses pengujian densitas mengacu pada ASTM B962-17.

### 3.7. Pengujian Kekerasan

Untuk memperoleh nilai kekerasan dari spesimen yang telah dicetak pada penelitian ini maka dilakukan uji kekerasan pada spesimen tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat uji kekerasan *portable* yang mempunyai beban penekanan 2 kg dengan indentor berbentuk bola berdiameter 2 mm, alat uji ini digunakan karena relatif sederhana serta nilai dari hasil pengujian kekerasan langsung dapat dibaca dilayar alat uji *portable* dan langsung dapat dicatat nilai yang telah tertera dilayar tersebut. Proses pengujian kekerasan mengacu pada ASTM E110-14.

### 3.8. Pengolahan Data

Hasil data yang diperoleh setelah melakukan proses pengujian densitas dan kekerasan, selanjutnya nilai tersebut dibuat dalam bentuk data tabel dan grafik. Pengujian dilakukan untuk melihat hasil dari uji spesimen komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika tailing timah. Berikut ini tabel pengujian densitas dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Data Uji densitas (g/cm<sup>3</sup>)

NO	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering (°C)	Nilai Densitas (g/cm <sup>3</sup> )			Rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
			Spesimen			
			1	2	3	
1	4400	510				
2	4400	560				
3	4400	610				
4	4500	510				
5	4500	560				
6	4500	600				
7	4600	510				
8	4600	560				
9	4600	600				

Berikut ini tabel pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3. 2 Data Pengujian Kekerasan (HB)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering °C	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata
			Spesimen			
			1	2	3	
1	4400	510				
2	4400	560				
3	4400	600				
4	4500	510				
5	4500	560				
6	4500	600				
7	4600	510				
8	4600	560				
9	4600	600				

### 3.9. Analisa Data

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

Tabel 3. 3 Level dan Parameter Uji

Faktor	Level		
Kompaksi Panas (PSi)	4400	4500	4600
Suhu Sintering (°C)	510	560	600



Tabel 3. 4 Desain Full Factorial

Ekperimen	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering (°C)
1	4400	510
2	4400	560
3	4400	610
4	4500	510
5	4500	560
6	4500	610
7	4600	510
8	4600	560
9	4600	610

Tabel 3. 5 Uji ANNOVA

<b>Faktor</b>	<b>DF</b>	<b>Adj SS</b>	<b>Adj MS</b>	<b>F-Hitung</b>	<b>P-Tabel</b>
Kompaksi Panas					
Suhu Sintering					
Kompaksi Panas*Suhu Sintering					
Error					
Total					

Setelah rancangan eksperimen faktorial dibuat selanjutnya membuat hipotesis. Hipotesis dalam eksperimen ini adalah faktor yang berpengaruh terhadap densitas dan kekerasan, dimana faktor tersebut dapat berinteraksi dengan faktor yang lain atau tidak berinteraksi. Hipotesis umum disebut sebagai hipotesis nol ( $H_0$ ).

Adapun hipotesis nol dari eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis Tekanan Kompaksi Panas

$H_{01}$  : Perbedaan tekanan kompaksi panas tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_{01}$  : Perbedaan tekanan kompaksi panas tidak berpengaruh terhadap kekerasan.

2. Hipotesis Suhu Sintering

$H_{03}$  : Perbedaan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_{04}$  : Perbedaan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap kekerasan.

3. Hipotesis Iteraksi Tekanan Kompaksi panas dan Suhu Sintering

$H_{05}$  : Perbedaan interaksi tekanan kompaksi panas dan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap densitas.

$H_{06}$  : Perbedaan interaksi tekanan kompaksi panas dan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap kekerasan

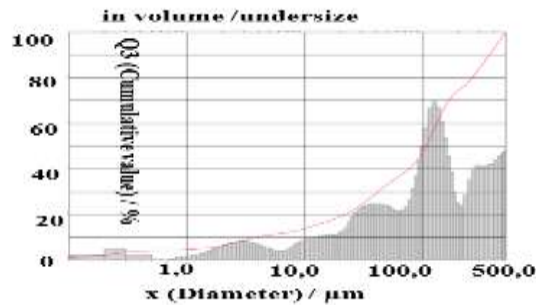
## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Pemaduan Mekanik atau *Mechanical Alloying*

Berdasarkan hasil proses *mixing* yang telah dijelaskan pada bab tiga hasil serbuk proses pemaduan mekanik dapat dilihat pada gambar 4.1, gambar tersebut merupakan foto digital hasil dari proses pencampuran yang dilakukan dengan menggunakan metode *mechanical alloying*, banyak serbuk yang digiling dalam satu kali penggilingan sebanyak 350 gram. Proses pemaduan mekanik dengan *ball mill* ini menggunakan parameter proses yang meliputi parameter *Ball Powder weight Ratio* (BPR) 10:1, parameter kecepatan putaran mesin adalah 90 rpm dan parameter waktu penggilingan adalah 4 jam. Berdasarkan hasil uji *Particle Size Analyzer* di Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya proses pemaduan dengan menggunakan metode *mechanical alloying* (dingin) dapat menghasilkan campuran padatan yang mendekati homogen hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada hasil distribusi serbuk campuran diperoleh rata-rata ukuran D50: D106  $\mu\text{m}$  dapat dilihat pada gambar grafik 4.2, ukuran tersebut lebih halus dari serbuk sebelum di *mixing*.



Gambar 4. 1 Foto Serbuk Campuran Padatan Hasil Proses *Mechanical Alloying* 4 jam



Gambar 4. 2 Grafik Sebaran Ukuran Serbuk D50: 106 Hasil Proses *Mechanical Alloying* 4 Jam, Diuji dengan *Particle Size Analyzer* ( Laboratorium Kimia MIPA Universitas Brawijaya )

#### 4.2. Spesimen Sebelum Pengujian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dan kekerasan dari komposit aluminium daur ulang yang diperkuat pasir silika tailing timah, sebagai bahan alternatif pembuatan kampas rem. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital dan pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *portable*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan nilai densitas dan kekerasan komposit aluminium yang diperkuat pasir silika tailing timah yang dipengaruhi dari variasi tekanan kompaksi panas yaitu sebesar 4400 PSi, 4500 PSi dan 4600 PSi dengan suhu 500°C selama 15 menit serta variasi suhu sintering yaitu 510°C, 560°C, dan 610°C selama 10 menit. Bentuk sampel pada penelitian ini adalah berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, dengan ketebalan rata-rata sampel antara 9-10 mm. Berikut ini gambar spesimen pada penelitian ini hasil dari proses kompaksi panas dua-arah dan proses sintering dengan jumlah spesimen 27 ditunjukkan gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Spesimen uji

### 4.3. Uji Densitas Sebelum Sintering

#### 4.3.1. Proses Pengujian Densitas Sebelum Sintering

Setelah spesimen uji dicetak dan diberi tanda selanjutnya menyiapkan peralatan yang digunakan untuk proses pengujian densitas seperti timbangan digital, gelas ukur, aquadest dan tiang besi. Setelah menyiapkan peralatan tersebut timbang spesimen tersebut dalam kondisi kering selanjutnya timbang spesimen dalam kondisi basah dengan memasukkan sampel kedalam air. Berikut gambar proses pengujian densitas pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.4 pada kondisi kering dan gambar 4.5 pada kondisi basah atau didalam air serta hasil spesimen uji yang telah di uji densitas ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4. 4 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Kering



Gambar 4. 5 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Basah



Gambar 4. 6 Sampel Setelah Pengujian Densitas

#### 4.3.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Sebelum Sintering

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital dan tiang yang digunakan untuk menggantung keranjang pada saat menimbang sampel pada kondisi basah atau didalam air. Dimana, nilai densitas didapatkan dengan menghitung secara manual menggunakan rumus pada persamaan 2.1 dengan menghitung hasil nilai spesimen ditimbang kering dan ditimbang basah. Pengujian densitas mengacu pada hukum Archimedes dengan standar uji menggunakan ASTM B962-17. Berikut ini tabel nilai spesimen ditimbang kering ditunjukkan pada tabel 4.1 dan tabel nilai spesimen ditimbang basah pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Spesimen Di Timbang Kering (g)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Pengujian Kering (g)		
		Spesimen		
		1	2	3
1	4400	32,48	32,71	32,91
2	4400	32,81	32,82	32,04
3	4400	32,22	32,24	32,51
4	4500	34,19	33,21	32,31
5	4500	32,20	32,20	31,98
6	4500	32,28	32,60	32,65
7	4600	31,51	32,53	33,13
8	4600	32,26	32,09	33,52
9	4600	32,32	31,99	32,34

Tabel 4.2 Hasil Spesimen Di Timbang Basah (g)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Pengujian Basah (g)		
		Spesimen		
		1	2	3
1	4400	17,15	17,25	17,28
2	4400	17,28	17,26	17,05
3	4400	17,06	17,10	17,15
4	4500	18,15	17,65	17,20
5	4500	17,19	17,16	17,10
6	4500	17,24	17,35	17,34
7	4600	16,98	17,35	17,58
8	4600	17,35	17,29	17,97
9	4600	17,34	17,20	17,32

Setelah mendapatkan nilai dari menimbang spesimen dalam kondisi kering dan basah, selanjutnya nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus densitas pada persamaan 2.1 pada bab dua. Berikut ini hitungan nilai densitas spesimen sebelum disintering.

- Nilai Densitas Sebelum sintering

a. Spesimen 1 Tekanan 4400 PSi

Diket :  $m_s = 32,48$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,15 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,48}{(32,48 - 17,15)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,48}{(15,33)} 1$$

$$\rho_m = 2,118 \text{ g/cm}^3$$



b. Spesimen 2 Tekanan 4400 PSi

Diket :  $m_s = 32,71$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,25$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,71}{(32,71-17,25)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,71}{(15,46)} 1$$

$$\rho_m = 2,115$$
 g/cm<sup>3</sup>

c. Spesimen 3 Tekanan 4400 PSi

Diket :  $m_s = 32,91$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,28$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,91}{(32,91-17,28)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,91}{(15,63)} 1$$

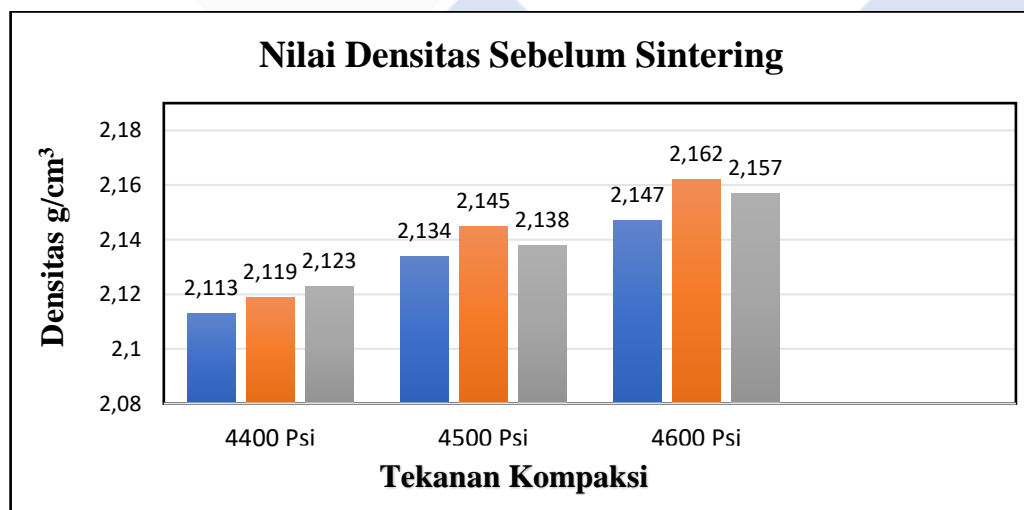
$$\rho_m = 2,105$$
 g/cm<sup>3</sup>

Berikut ini tabel nilai densitas yang didapatkan dari proses menghitung menggunakan rumus persamaan 2.1 pada bab dua ditunjukkan pada tabel 4.3. Hitungan lengkap terdapat pada lampiran 7.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Nilai Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )

No	Kompaksi Panas (PSi)	Nilai Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )			Rata-rata ( $\text{g/cm}^3$ )
		Spesimen			
		1	2	3	
1	4400	2,118	2,115	2,105	2,113
2	4400	2,112	2,109	2,137	2,119
3	4400	2,125	2,129	2,116	2,123
4	4500	2,131	2,134	2,138	2,134
5	4500	2,145	2,140	2,149	2,145
6	4500	2,146	2,137	2,132	2,138
7	4600	2,168	2,142	2,130	2,147
8	4600	2,163	2,168	2,155	2,162
9	4600	2,157	2,162	2,153	2,157

Berdasarkan tabel 4.3, jika dibuat dalam bentuk grafik maka didapat sebuah grafik seperti pada gambar grafik 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik Nilai Densitas Sebelum Sintering

Berdasarkan grafik pengujian densitas maka dapat diketahui nilai densitas pada spesimen menggunakan variasi tekanan kompaksi panas dua arah penekanan berpengaruh terhadap nilai densitas yang dimana nilai densitas tertinggi terdapat pada spesimen uji yang menggunakan tekanan kompaksi panas 4600 PSi memiliki

nilai densitas 2,162 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan nilai densitas terendah sebesar 2,113 g/cm<sup>3</sup> yang menggunakan tekanan kompaksi 4400 PSi. Berdasarkan nilai densitas tersebut maka dapat disimpulkan bahwa, tekanan kompaksi panas yang diberikan dengan tekanan tertinggi dapat menghasilkan nilai densitas yang tinggi juga, hal tersebut dikarena pada saat proses kompaksi panas berlangsung serbuk penyusun komposit yang dipanaskan dibawah titik cair dari matrik tersebut menjadi lebih lunak sehingga pada saat diberikan tekanan tinggi mengakibatkan serbuk menjadi padat dan kerapatannya semakin meningkat sehingga nilai densitas yang dihasilkan semakin tinggi dan sebaliknya jika tekanan kompaksi panas yang diberikan dengan tekanan kecil atau rendah maka serbuk tidak memadat dengan sempurna dan menghasilkan pori-pori pada spesimen yang membuat kerapatan pada spesimen rendah yang mengakibatkan nilai densitas yang dihasilkan kecil. Hal tersebut berbanding lurus dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Faridho [31]. Hasil dari penelitian tersebut yaitu nilai densitas tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 6000 PSi dengan nilai 2,877 g/cm<sup>3</sup> dan nilai terendah terendah terdapat pada tekanan kompaksi panas 5000 PSi dengan nilai 2,674 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4.4. Uji Kekerasan Sebelum Sintering**

##### **4.4.1. Proses Pengujian Kekerasan Sebelum Sintering**

Setelah spesimen uji dicetak dan diberi tanda selanjutnya menyiapkan peralatan yang digunakan untuk proses pengujian kekerasan seperti alat uji kekerasan *portable*. Setelah menyiapkan peralatan tersebut uji kekerasan pada spesimen dengan titik pengujian yang berbeda-beda dengan titik pengujian sebanyak tiga titik. Pengujian kekerasan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM E110-14. Berikut gambar proses pengujian kekerasan pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.8 serta hasil gambar spesimen yang telah di uji kekerasan ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Proses Pengujian Kekerasan



Gambar 4. 9 Hasil Spesimen Uji Kekerasan

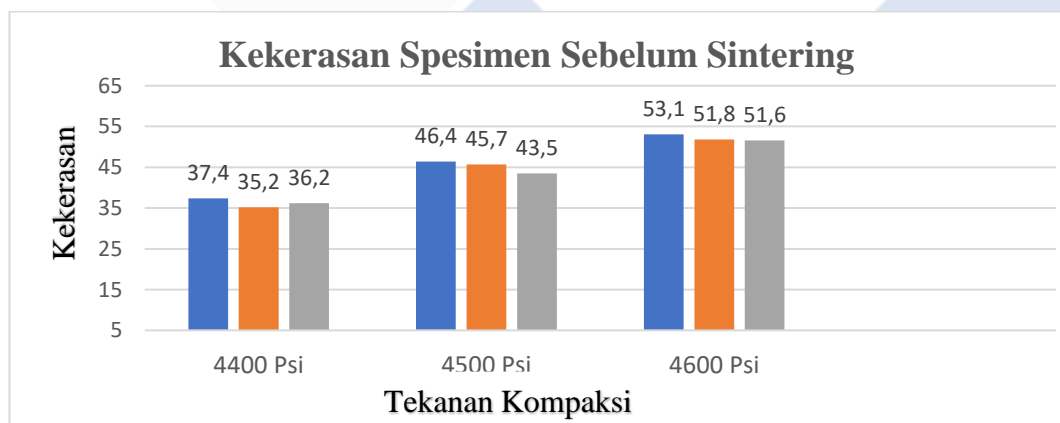
#### **4.4.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Sebelum Sintering**

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat kekerasan *portable*. Dimana nilai kekerasan didapatkan secara otomatis ketika alat uji ditekan dan nilai kekerasan langsung dapat terbaca dilayar alat uji *portable*. Nilai kekerasan ditunjukkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Rata-rata Kekerasan (HB)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
		Spesimen			
		1	2	3	
1	4400	35,33	37,6	39,3	37,4
2	4400	34	35,6	36	35,2
3	4400	36,6	38	34	36,2
4	4500	49	45,6	44,6	46,4
5	4500	43,6	43,6	44	43,7
6	4500	42,6	45	42,6	43,4
7	4600	52	52,6	54,6	53,1
8	4600	52	51,6	52	51,8
9	4600	50,6	53	51,3	51,6

Berdasarkan tabel 4.4 jika dibuat dalam bentuk grafik maka didapatkan sebuah grafik seperti pada gambar grafik 4.10 dibawah ini.



Gambar 4. 10 Grafik Nilai Kekerasan Sebelum Sintering

Berdasarkan grafik pengujian kekerasan pada hasil rata-rata nilai yang didapatkan adanya perbedaan nilai kekerasan, perbedaan ini dipengaruhi oleh variasi tekanan kompaksi panas dengan dua-arah penekanan. Perbedaan ini menghasilkan nilai kekerasan tertinggi serta terendah. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi dengan nilai kekerasan 53,1 HB dan nilai kekerasan terendah terdapat pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi

dengan nilai kekerasan 35,2 HB. Berdasarkan nilai kekerasan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa, tekanan kompaksi panas yang diberikan dengan tekanan tertinggi dapat menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi juga, hal tersebut dikarena pada saat proses kompaksi panas berlangsung serbuk penyusun komposit yang dipanas dibawah titik cair dari matrik tersebut menjadi lebih lunak sehingga pada saat diberikan tekanan tinggi mengakibatkan serbuk menjadi padat dan sebaliknya jika tekanan kompaksi panas yang diberikan dengan tekanan kecil atau rendah maka serbuk tidak dapat memadat dengan sempurna yang mengakibatkan nilai kekerasan pada spesimen tersebut kecil. Hal tersebut berbanding lurus dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Faridho [31]. Hasil dari penelitian tersebut adalah tekanan kompaksi dengan tekanan 6000 PSi memiliki nilai tertinggi dengan nilai kekerasan 59,33 HRB dan nilai kekerasan terendah terdapat pada tekanan 5000 PSi yaitu 48,67 HRB.

#### **4.5. Uji Densitas Setelah Sintering**

##### **4.5.1. Proses Pengujian Densitas Setelah Sintering**

Setelah spesimen uji dicetak dan diberi tanda selanjutnya menyiapkan peralatan yang digunakan untuk proses pengujian densitas seperti timbangan digital, gelas ukur, aquades dan tiang besi. Setelah menyiapkan peralatan tersebut timbang spesimen tersebut dalam kondisi kering selanjutnya timbang spesimen dalam kondisi basah dengan memasukkan sampel kedalam air. Berikut gambar proses pengujian densitas pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.11 pada kondisi kering dan gambar 4.12 pada kondisi basah atau didalam air serta hasil spesimen uji yang telah di uji densitas ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4. 11 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Kering



Gambar 4. 12 Proses Menimbang Spesimen Kondisi Basah



Gambar 4. 13 Sampel Setelah Pengujian Densitas

#### 4.5.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Setelah Sintering

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat timbangan digital dan tiang yang digunakan untuk menggantung keranjang untuk menimbang sampel pada kondisi basah atau didalam air. Dimana, nilai densitas didapatkan dengan menghitung secara manual menggunakan rumus pada 2.1 dengan menghitung hasil nilai spesimen ditimbang kering dan ditimbang basah. Pengujian densitas mengacu pada hukum Archimedes dengan standar uji menggunakan ASTM B962-17. Berikut ini tabel nilai spesimen ditimbang kering ditunjukkan pada tabel 4.5 dan tabel nilai spesimen ditimbang basah pada tabel 4.6



Tabel 4.5 Hasil Spesimen Di Timbang Kering (g)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering(°C)	Pengujian Kering (g)		
			Spesimen		
			1	2	3
1	4400	510	32,24	32,66	32,82
2	4400	560	33,25	29,36	32,19
3	4400	610	32,48	32,46	32,84
4	4500	510	33,43	33,05	32,10
5	4500	560	32,55	32,48	32,02
6	4500	610	32,50	32,84	32,99
7	4600	510	31,18	32,50	32,98
8	4600	560	32,41	32,41	33,54
9	4600	610	32,81	32,13	32,72

Tabel 4.6 Hasil Spesimen Di Timbang Basah (g)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering(°C)	Pengujian Basah (g)		
			Spesimen		
			1	2	3
1	4400	510	17,82	18,10	18,17
2	4400	560	18,86	15,99	18,30
3	4400	610	18,54	18,46	18,61
4	4500	510	18,67	18,50	17,91
5	4500	560	18,54	18,40	18,21
6	4500	610	18,63	18,75	18,84
7	4600	510	17,62	18,26	18,54
8	4600	560	18,56	18,57	18,99
9	4600	610	18,97	18,58	18,87

Setelah memperoleh nilai dari proses menimbang spesimen dalam kondisi kering dan basah, selanjutnya nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan

rumus densitas pada persamaan 2.1 pada bab dua. Berikut ini hitungan nilai densitas spesimen setelah disintering.

- Nilai Densitas Setelah Sintering

a. Spesimen 1 Tekanan 4400 PSi Suhu Sintering 510°C

Diket :  $m_s = 32,24$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,82$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,24}{(32,24-17,82)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,24}{(14,42)} 1$$

$$\rho_m = 2,235$$
 g/cm<sup>3</sup>

b. Spesimen 2 Tekanan 4400 PSi Suhu Sintering 510°C

Diket :  $m_s = 32,66$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,10$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,66}{(32,66-18,10)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,66}{(14,56)} 1$$

$$\rho_m = 2,243$$
 g/cm<sup>3</sup>

c. Spesimen 3 Tekanan 4400 PSi Suhu Sintering 510°C

Diket :  $m_s = 32,82$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,17$$
 g

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,82}{(32,82-18,17)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,82}{(14,65)} 1$$

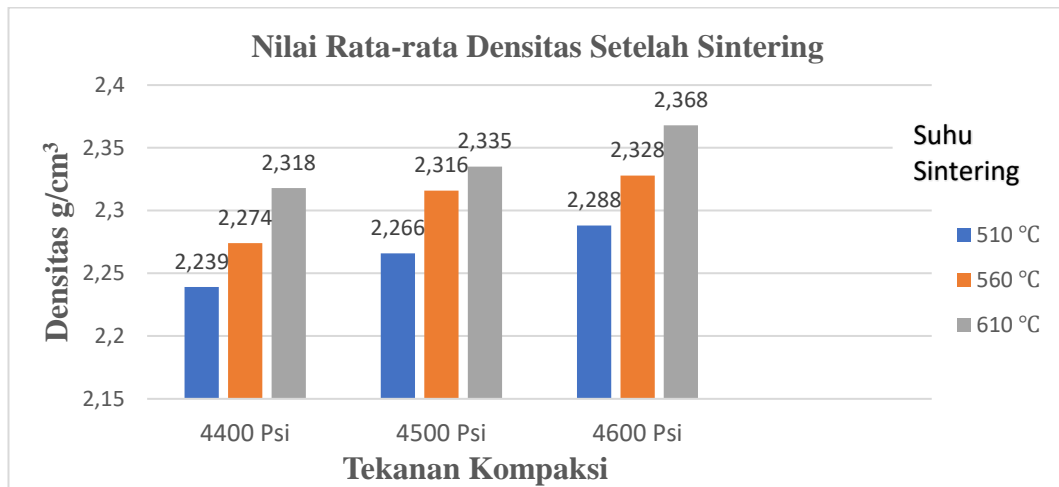
$$\rho_m = 2,240 \text{ g/cm}^3$$

Berikut ini tabel nilai densitas sesudah sintering yang telah dihitung menggunakan rumus 2.1 ditunjukkan pada tabel 4.7. Hitungan lengkap nilai densitas setelah sintering terdapat pada lampiran 8.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai Densitas Setelah Sintering ( $\text{g/cm}^3$ )

No	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering ( $^{\circ}\text{C}$ )	Nilai Densitas ( $\text{g/cm}^3$ )			Rata-rata ( $\text{g/cm}^3$ )
			Spesimen			
			1	2	3	
1	4400	510	2,235	2,243	2,240	2,239
2	4400	560	2,310	2,195	2,317	2,274
3	4400	610	2,329	2,318	2,307	2,318
4	4500	510	2,264	2,271	2,262	2,266
5	4500	560	2,323	2,306	2,318	2,316
6	4500	610	2,343	2,330	2,331	2,335
7	4600	510	2,299	2,282	2,283	2,288
8	4600	560	2,340	2,341	2,305	2,328
9	4600	610	2,370	2,371	2,362	2,368

Berdasarkan tabel 4.6 jika dibuat dalam bentuk grafik maka didapatkan sebuah grafik seperti pada gambar grafik 4.14 dibawah ini



Gambar 4. 14 Grafik Nilai Densitas Setelah Sintering

Berdasarkan grafik pengujian densitas sesudah sintering diatas maka dapat diketahui nilai densitas pada setiap spesimen dengan menggunakan suhu sintering yang divariasikan suhunya mengalami peningkatan nilai densitas pada setiap spesimen, dimana nilai densitas tertinggi peningkatannya terjadi pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi dengan suhu sintering 610°C dengan nilai rata-rata tertinggi 2,368 g/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas dengan peningkatan terendah terdapat pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi dengan suhu sintering 510°C dengan nilai rata-rata 2,239 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan nilai densitas tersebut maka dapat disimpulkan bahwa suhu sintering dapat meningkatkan nilai densitas pada spesimen, hal tersebut berbandingan lurus dengan teori wahyono suprapto [9] yang dimana pada proses sintering dapat terjadi perubahan struktur mikro seperti penurunan jumlah pori dan pengurangan ukuran pori sehingga dapat meningkatkan nilai densitas serta gas atau udara yang tejabak pada spesimen menguap sehingga nilai densitas meningkat.

#### 4.5.3. Analysis of Variance Uji Densitas

Setelah data uji densitas didapatkan maka data tersebut dihitung menggunakan *Analysis of variance* dengan menggunakan *software excel* dan diverifikasi menggunakan *software minitab 21.3 (Minitab License)*, perhitungan uji *Analysis of Variance* dapat dilihat pada lampiran 10. Berikut ini tabel hasil perhitungan uji *Analysis of Variance* dapat ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Analisis Variasi Uji Densitas

ANALYSIS OF VARIANCE					
Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Kompaksi panas	2	0,0259	0,01295	<b>20,88</b>	<b>3,55</b>
Suhu Sintering	2	0,01168	0,00584	<b>9,41</b>	<b>3,55</b>
Kompaksi Panas *Suhu Sintering	4	0,00056	0,00014	<b>0,22</b>	<b>2,93</b>
Error	18	0,01116	0,00062		
Total	26	0,0493			

Berdasarkan data uji *Analysis of Variance* diatas maka selanjutnya dibuat hipotesis awal yaitu :

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor kompaksi panas yang signifikan terhadap nilai densitas.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor kompaksi panas yang signifikan terhadap nilai densitas.

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor suhu sintering yang signifikan terhadap nilai densitas.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor suhu sintering yang signifikan terhadap nilai densitas.

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor kompaksi panas dan suhu sintering yang signifikan terhadap nilai densitas.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor kompaksi panas dan suhu sintering yang signifikan terhadap nilai densitas.

Hipotesis tersebut dilakukan kriteria Uji sebagai berikut :

$H_0$  ditolak apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dan apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_0$  gagal ditolak. Keputusan yang diambil terhadap hasil *Analysis of Variance* data eksperimen untuk nilai densitas yaitu :

1. Ditinjau dari faktor kompaksi panas (faktor A), nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , sehingga  $H_0$  ditolak dan gagal ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa kompaksi panas berpengaruh terhadap nilai densitas.

2. Ditinjau dari faktor suhu sintering (faktor B), nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , sehingga  $H_0$  ditolak dan gagal ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas.
3. Ditinjau dari interaksi faktor kompaksi panas (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B), nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , sehingga  $H_0$  gagal ditolak dan ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa interaksi faktor kompaksi panas (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B) tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

#### **4.6. Uji Kekerasan Setelah Sintering**

##### **4.6.1. Proses Pengujian Kekerasan Setelah Sintering**

Setelah spesimen uji dicetak dan diberi tanda selanjutnya menyiapkan peralatan yang digunakan untuk proses pengujian kekerasan seperti alat uji kekerasan *Portable*. Setelah menyiapkan peralatan tersebut uji kekerasan pada spesimen dengan titik pengujian yang berbeda-beda dengan titik pengujian sebanyak tiga titik. Pengujian kekerasan pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM E110-14. Berikut gambar proses pengujian kekerasan pada spesimen ditunjukkan pada gambar 4.15 serta hasil gambar spesimen yang telah di uji kekerasan ditunjukkan pada gambar 4.16.



Gambar 4. 15 Proses Pengujian Kekerasan



Gambar 4. 16 Proses Pengujian Kekerasan

#### 4.6.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Setelah Sintering

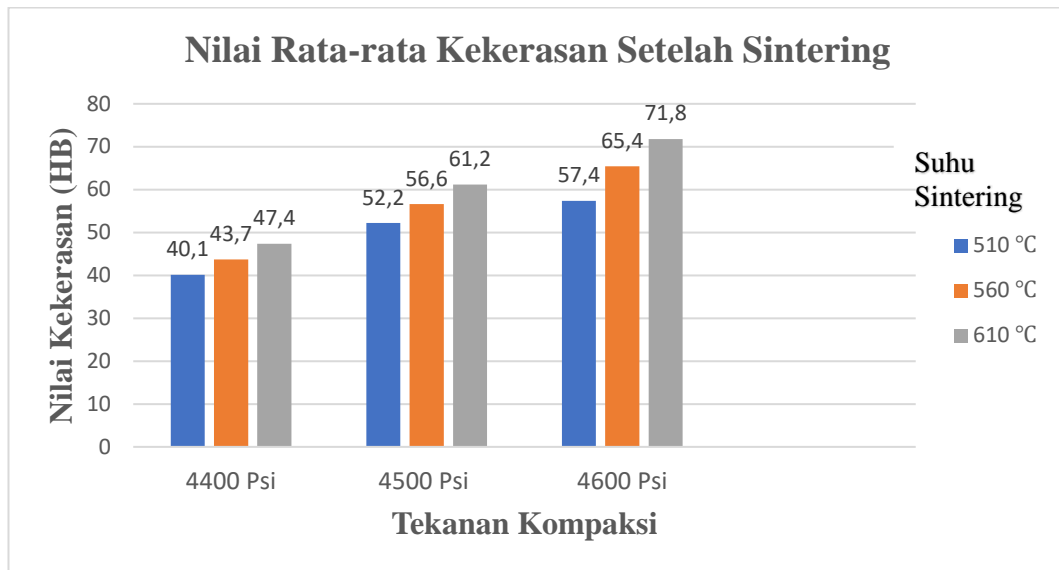
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat kekerasan *portable*. Dimana nilai kekerasan didapatkan secara otomatis ketika alat uji ditekan dan nilai kekerasan langsung terbaca dilayar alat uji *portable*. Nilai kekerasan ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Rata-rata Kekerasan (HB)

No	Kompaksi Panas (PSi)	Suhu Sintering (°C)	Nilai Kekerasan (HB)			Rata-rata (HB)
			Spesimen			
			1	2	3	
1	4400	510	40	40,3	40	40,1
2	4400	560	43	44	44,3	43,7
3	4400	610	46,3	47	49	47,4
4	4500	510	52	52,3	52,3	52,2
5	4500	560	56	56	58	56,6
6	4500	610	62	60,3	61,3	61,2
7	4600	510	58,3	57,3	56,6	57,4
8	4600	560	66,3	66,3	63,6	65,4
9	4600	610	73	70,3	72,3	71,8

Berdasarkan tabel 4.8 jika dibuat dalam bentuk grafik maka didapatkan sebuah grafik seperti pada gambar grafik 4.17 dibawah ini





Gambar 4. 17 Grafik Nilai Kekerasan Setelah Sintering

Berdasarkan grafik pengujian kekerasan setelah sintering diatas maka dapat diketahui nilai kekerasan pada setiap spesimen dengan menggunakan suhu sintering yang divariasikan suhunya mengalami peningkatan nilai kekerasan pada setiap spesimen, dimana nilai kekerasan tertinggi peningkatannya terjadi pada tekanan kompaksi panas 4600 PSI dengan suhu sintering 610°C dengan nilai rata-rata tertinggi 71,8 HB dan nilai kekerasan dengan peningkatan terendah terdapat pada tekanan kompaksi panas 4400 PSI dengan suhu sintering 510°C dengan nilai rata-rata 40,1 HB. Nilai kekerasan yang didapatkan setelah proses sintering mengalami peningkatan yang cukup signifikan hal tersebut berbanding lurus dengan teori wahyono suprpto [9] yang menjelaskan bahwa pada proses sintering dapat menambah kepadatan yang disebabkan oleh terbentuknya ikatan-ikatan antar partikel pada serbuk sehingga nilai kekerasan meningkat.

#### 4.6.3. Analysis of Variance Uji Kekerasan

Setelah data uji densitas didapatkan maka data tersebut dihitung menggunakan *Analysis of variance* dengan menggunakan *software excel* dan diverifikasi menggunakan *software minitab 21.3 (Minitab License)*, perhitungan uji *Analysis of Variance* dapat dilihat pada lampiran 10. Berikut ini tabel hasil perhitungan uji *Analysis of Variance* dapat ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Analisis Variasi Uji Kekerasan

ANALYSIS OF VARIANCE					
Faktor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Hitung	F-Tabel
Kompaksi panas	2	474,679	237,339	<b>220,78</b>	<b>3,55</b>
Suhu Sintering	2	2041,12	1020,558	<b>949,35</b>	<b>3,55</b>
Kompaksi Panas *Suhu Sintering	4	42,59	10,6481	<b>9,91</b>	<b>2,93</b>
Error	18	19,35	1,075		
Total	26	2577,73			

Berdasarkan data uji *Analysis of Variance* diatas maka selanjutnya dibuat hipotesis awal yaitu :

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor kompaksi panas yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor kompaksi panas yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor suhu sintering yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor suhu sintering yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

$H_0$  = Tidak terdapat pengaruh faktor kompaksi panas dan suhu sintering yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

$H_1$  = Terdapat pengaruh faktor kompaksi panas dan suhu sintering yang signifikan terhadap nilai kekerasan.

Hipotesis tersebut dilakukan kriteria Uji sebagai berikut :

$H_0$  ditolak apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dan apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka  $H_0$  gagal ditolak. Keputusan yang diambil terhadap hasil *Analysis of Variance* data eksperimen untuk nilai kekerasan yaitu :

1. Ditinjau dari faktor kompaksi panas (faktor A), nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  sehingga  $H_0$  ditolak dan gagal ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa kompaksi panas berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

2. Ditinjau dari faktor suhu sintering (faktor B), nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  sehingga  $H_0$  ditolak dan gagal ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa suhu sintering berpengaruh terhadap nilai kekerasan.
3. Ditinjau dari interaksi faktor kompaksi panas (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B), nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  sehingga  $H_0$  ditolak dan gagal ditolak  $H_1$ . Disimpulkan bahwa interaksi faktor kompaksi Panas (faktor A) dan faktor suhu sintering (faktor B) berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

Berdasarkan hasil data pengujian yang didapatkan maka selanjutnya data tersebut dibandingkan dengan data penelitian yang terdahulu yang berfungsi untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan penelitian ini dan penelitian terdahulu. Berikut ini tabel perbandingan nilai penelitian terdahulu dan penelitian ini.

Tabel 4.11 Perbandingan

Nilai Uji	Kampas Rem SNI		
	Penelitian ini	Faridho	Syarat SNI
Densitas	2,368 g/cm <sup>3</sup>	2,877 g/cm <sup>3</sup>	1,5-2,4 g/cm <sup>3</sup>
Kekerasan	71,8 HB	59,33 HRB	68-105 BHN

Dari tabel diatas, maka dapat diketahui nilai densitas pada penelitian ini mempunyai nilai densitas sebesar 2,368 g/cm<sup>3</sup> dan nilai densitas pada penelitian Faridho [31] mempunyai nilai densitas 2,877 g/cm<sup>3</sup>, maka pada penelitian Faridho [31] mencapai syarat nilai densitas dari SNI dalam pembuatan material kampas rem, syarat nilai densitas oleh SNI yaitu sebesar 1,5 - 2,4 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan pada penelitian ini, nilai densitas yang diperoleh memenuhi syarat nilai densitas pada standar kampas rem SNI namun nilai densitas tersebut masih rendah dari penelitian nilai densitas yang diperoleh dari penelitian Faridho [31]. Hal tersebut dikarenakan tekanan kompaksi dari penelitian tersebut lebih besar yaitu 6000 PSi dan suhu sinteringnya sebesar 525 °C. Pada penelitian ini, tekanan kompaksi yang diberikan hanya 4600 PSi dan suhu sintering 610°C.

Nilai kekerasan yang diperoleh dari penelitian ini sebesar 71,8 HB sedangkan pada penelitian Faridho [31] nilai kekerasannya sebesar 59,33 HRB atau 100 HB, maka nilai kekerasan pada penelitian ini mampu mencapai nilai kekerasan dari syarat kekerasan kanvas rem SNI yaitu sebesar 68-105 BHN. Sedangkan penelitian Faridho [31] nilai kekerasan yang diperoleh sudah memenuhi dari syarat kekerasan kanvas rem SNI. Namun nilai kekerasan yang didapatkan dari penelitian ini mempunyai nilai kekerasan terendah dari penelitian Faridho [31]. Hal tersebut dikarenakan tekanan pada penelitian ini masih rendah yaitu 4600 PSI dengan suhu sintering 610 °C sedangkan pada penelitian Faridho [31] tekanan kompaksi yang digunakan yaitu sebesar 6000 PSI dengan suhu sintering 525°C. Karena tekanan kompaksi berpengaruh terhadap nilai densitas dan kekerasan, jika tekanan kompaksi yang diberikan tinggi nilai densitas dan kekerasan semakin meningkat dan sebaliknya jika tekanan kompaksi rendah maka nilai densitas dan kekerasan kecil.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian serta pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan tekanan kompaksi panas pada komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika tailing timah hasil proses metalurgi serbuk dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan yang dihasilkan. Karena perbedaan tekanan kompaksi dapat menghasilkan ikatan antar partikel semakin kuat dan pori-pori yang dihasilkan dari proses kompaksi kecil yang meningkat kerapatan sehingga nilai densitas dan kekerasan tinggi. Hal tersebut dapat di buktikan dengan data nilai densitas tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi yaitu sebesar  $2,162 \text{ g/cm}^3$  dan nilai terendah yaitu sebesar  $2,113 \text{ g/cm}^3$  pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi yaitu sebesar 53,1 HB dan nilai terendah yaitu sebesar 35,2 HB pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi.
2. Perbedaan suhu sintering pada spesimen komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika tailing timah hasil proses metalurgi serbuk dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan yang dihasilkan. Karena hal tersebut dapat di buktikan dengan data nilai densitas tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi dengan suhu sintering  $610^\circ\text{C}$  yaitu sebesar  $2,368 \text{ g/cm}^3$  dan nilai terendah yaitu sebesar  $2,239 \text{ g/cm}^3$  pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi dengan suhu sintering  $510^\circ\text{C}$  sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada tekanan kompaksi panas 4600 PSi dengan suhu sintering  $610^\circ\text{C}$  yaitu sebesar 71,8 HB dan nilai terendah yaitu sebesar 40,1 HB pada tekanan kompaksi panas 4400 PSi dengan suhu sintering  $510^\circ\text{C}$ . Penggunaan variasi suhu sintering dapat meningkatkan nilai densitas dan nilai kekerasan sehingga suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas dan kekerasan.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian yang berkaitan dengan komposit matrik aluminium yang diperkuat pasir silika tailing timah, maka penulis memberikan saran agar dapat membantu peneliti selanjutnya untuk melakukan penelitian yaitu :

1. Untuk peneliti selanjutnya yang mengambil judul metalurgi serbuk tingkatkan tekanan kompaksinya.
2. Penelitian ini harus diteliti dengan lebih detail lagi dengan menggunakan uji SEM.
3. Menambah parameter lain kedalam penelitian seperti di variasikan waktu mixing.
4. Menggunakan alat *safty* seperti sepatu *safty*, sarung tangan, apron dada dan apron lengan pada saat proses pengangkatan spesimen dari *thermocouple*.
5. lebih berhati-hati serta teliti pada saat melakukan proses pencetakan spesimen agar memperoleh hasil yang maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Telang A K and R. A, “Alternate Materials in Automobile Brake Disc Applications with Emphasis on Al Composites- A Technical Review,” *J. Eng. Res. Stud.*, vol. I, no. I, pp. 35–46, 2010.
- [2] Suhardiman and M. Syaputra, “Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat Dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa,” *J. Invotek Polbeng*, vol. 07, no. 2, pp. 210–214, 2017.
- [3] P. Fauziah, “Seminar Asbestos : *Racun Berhambur di Negeri Bencana*,” 2019.
- [4] M. Syahid, A. Hayat, and Aswar, “Effect of Graphite Addition on Aluminum Hybrid Matrix Composite by Powder Metallurgy Method,” *Rev. des Compos. des Mater. Av.*, vol. 32, no. 3, pp. 125–132, 2022, doi: 10.18280/rcma.320303.
- [5] Z. Iqbal Pratama Abdi, Z. Fahri Risfa, and G. Alfred, “Daur Ulang Scrap Aluminium Sebagai Solusi Alternatif Untuk Mengurangi Ketergantungan ...,” *Conf. Pap.*, no. November, 2014, doi: 10.13140/2.1.3237.6006.
- [6] S. E. Susilowati, A. Fudholi, and D. Sumardiyanto, “Mechanical and microstructural characteristics of Cu–Sn–Zn/ Gr metal matrix composites processed by powder metallurgy for bearing materials,” *Results Eng.*, vol. 14, no. February, p. 100377, 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100377.
- [7] Sukanto, W. Suprpto, R. Soenoko, and Y. S. Irawan, “The Effect Of Milling Time On The Alumina Phase Transformation In The AMCs Powder Metallurgy Reinforced By Silica-Sand-Tailings,” *EUREKA, Phys. Eng.*, no. 1, pp. 103–117, 2022, doi: 10.21303/2461-4262.2022.001906.
- [8] I. Chatur Adhi WA, A. A. Alit Triadi, M. Wijana, I. M. Nuarsa, and I. M. Mara, “Kekerasan Produk Metalurgi Serbuk Berbahan Limbah Aluminium dengan Metode Kompaksi Bertahap,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, pp. 141–146, 2021, doi: 10.29303/jstl.v0i0.252.



- [9] R. Suprpto, W & Soenoko, “*Teknologi Metalurgi Serbuk*,” *Pena Mas Publ.*, vol. 192, p. 10, 2015.
- [10] I. A. Wahyudie, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, “Enhancing hardness and wear resistance of ZrSiO<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub> /Cu<sub>10</sub>Sn composite produced by warm compaction and sintering,” *Mech. Eng. Dep.*, vol. 59, no. 1, pp. 27–30, 2020.
- [11] T. Surdia and S. Saito, *Pengetahuan Bahan Teknik*. 1985.
- [12] D. Brough and H. Jouhara, “The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 1–2, 2020, doi: 10.1016/j.ijft.2019.100007.
- [13] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, “Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg Alloy reinforced with silica sand tailings particles,” *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 6971–6981, 2020, doi: 10.15282/jmes.14.3.2020.01.0546.
- [14] H. A. Prasetya, “Pengaruh Silika Dari Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Substitusi Asbes Untuk Pembuatan Kampas Rem Menggunakan Bahan Karet Alam,” *Pros. Semin. Nas. Kulit, Karet dan Plast. Ke-5*, pp. 153–162, 2016.
- [15] M. G. Arrahim, W. Suprpto, and F. Gapsari, “Pengaruh Fraksi Penguat Fly Ash dan Temperatur Cetakan Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Pada MMC,” *Rekayasa Mesin*, no. July, pp. 725–732, 2021, doi: <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.03.22>.
- [16] F. Azis, Sunardi, and A. Pramono, “Analisa Pengaruh Komperesibilitas Metalurgi Serbuk Terhadap Karakteristik Fisik Pada Komposit Matriks Logam Aluminium Berpenguat Alumina,” *Semin. Nas. Energi, Manufaktur dan Peranc. Tek. Mesin*, 2012.
- [17] Krevelen, “Properties of Polymers, Their Correlation with Chemical Structure, Their Numerical Estimated and Prediction from Additional Group Contributions”. *Threed Edition. Elsevier Science B. V. Amsterdam*.

*Nederlands*,” 1994.

- [18] A. Kaw, *Mechanic of Composite Material. Edisi kedua. Amerika Serikat: Taylor & Francis Group, LLC.* 2006.
- [19] M. Ramadhan, “Pengaruh Waktu Penggilingan Material Alumunium terhadap Bulir yang Dihasilkan dengan Menggunakan Mesin Bola Penghancur/Ball Milling,” *Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara*, pp. 1–56, 2019.
- [20] M. Milani, “Optimization of the pressing process of triangular shaped cutting tool inserts,” *Master Thesis Mech. Eng.*, 2016.
- [21] M. . Groover, “Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and System 4th edition. *John Willey & Sons, Inc. Elly, N.*,” 2010.
- [22] I. A. Wahyudie, “Hot Compaction Process Optimization For Improvement Tribology Behavior Of Zirconium Silicate Strengthened BMCs `,” *J. Southwest Jiaotong Univ.*, vol. 56, 2021.
- [23] M. Fawaid and S. Hamdi, “Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Komposit Bahan Alternatif Kampas Rem Berpenguat Serat Bambu,” *Semin. Nas. Ind. Serv.*, 2015.
- [24] P. Wong, D.S., and Lavoie, “Aluminium : Recycling and Environmental Footprint,” *JOM*, vol. 71, no. 9, 2019.
- [25] I. Bulei, C., Todor, M.P., Heput, T., and Kiss, “Recovering Aluminium for Recycling in Reuseable Backyard Foundry that Melts Aluminium Cans,” *Mater. Sci. Eng.*, 2018.
- [26] Z. Liu and K. Wu, “Introduction to Aluminum-Silicon Casting Alloys,” *SpringerBriefs Comput. Sci.*, vol. 2, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1007/978-981-16-2241-0\_1.
- [27] ASTM International, “Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes’ Principle,” *Astm B962-17*, vol. i, pp. 1–7, 2013, doi: 10.1520/B0962-17.2.

- [28] E110-14, “Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers,” *ASTM B. Stand.*, pp. 4–8, 2015, doi: 10.1520/E0110-14.2.
- [29] M. Syahid, “Analisa Sifat Mekanik Polimer Matriks Komposit Berpengut Fly Ash Batubara Sebagai Kampas Rem,” *Univ. Hasanudin Makassar*, 2011.
- [30] Ahmad, Lithrone Laricha Salomon, and Jessica, “Desain Eksprimen Untuk Meningkatkan Kualitas Kekuatan Produk dengan Pendekatan Analisis Desain Faktorial,” *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 3, pp. 209–220, 2018.
- [31] Moh Arif Faridho and M. Nafi, “Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi dan Suhu Sintering Paduan Al-SiC Terhadap Densitas dan Kekerasan Menggunakan Metode Metalurgi Serbuk,” *Publ. Online Mhs. Tek. Mesin*, vol. 5, no. Mmc, 2022.

## LAMPIRAN 1

### DAFTAR RIWAYAT HIDUP

#### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Muhammad Asep  
Tempat & Tanggal Lahir : Bogor, 09 Februari 2001  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Jln. Ahmad Yani Kampung Saber,  
Kecamatan Belinyu, Kabupaten Bangka, Kepulauan  
Bangka Belitung.  
No Telpon/HP : 0895602937584  
Email : [asepby212@gmail.com](mailto:asepby212@gmail.com)



#### 2. Riwayat Pendidikan

SD Al-Huda Belinyu (2007-2013)  
SMP YPN Belinyu (2013-2016)  
SMK YPN Belinyu (2016-2019)

Sungailiat, 08 Januari 2023

Muhammad Asep

LAMPIRAN 2

ANALISIS XRD SERBUK ALUMINIUM

X'Pert HighScore	X'Pert HighScore Report	date: 04/12/19
PANalytical		for internal use only

LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL  
MAJU  
UNIVERSITAS NEGERI MALANG

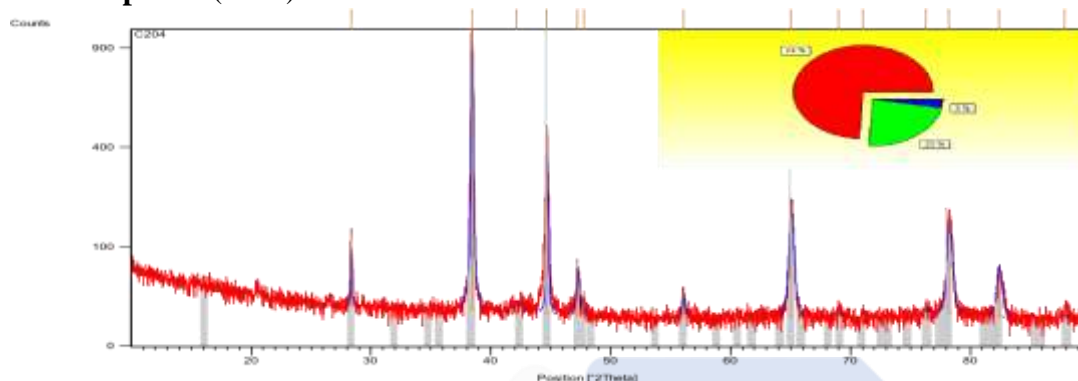
Report on  
C204 – [Aluminium Paduan 2]



Distribution:

Name	Function	0.1	0.5	1.0
N.N.-999	Mastering Group Manager (MGM)	✓		
N.N.-998	Product Ontwikkelt Manager (POM)	✓		
N.N.-1	(AS)			✓
N.N.-2	(DS)			✓
N.N.-3	(BS)			✓
T.P.	Supervisor All Coding			✓

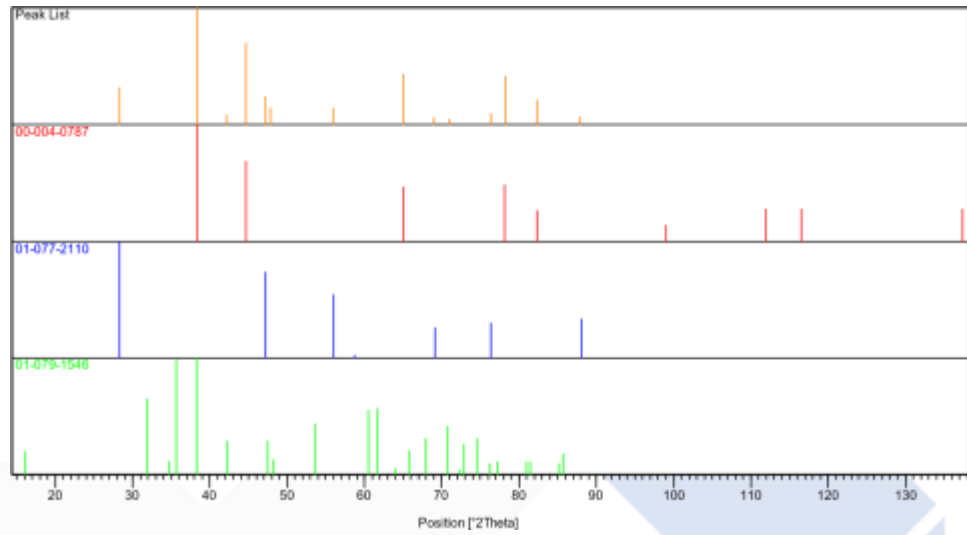
Last saved by HP	Draft	file: C204	rev: 1
© 2019 PANalytical B.V. All Rights Reserved			No. of pages: 1/3

**BAB IVGraphics: (C204)****BAB VPeak List: (C204)**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
28.3353	102.78	0.0984	3.14977	10.24	0.1181	01-077-2110
38.4088	1004.16	0.1771	2.34371	100.00	0.2125	00-004-0787; 01-079-1546
42.1592	6.90	0.9446	2.14349	0.69	1.1336	01-079-1546
44.6725	483.82	0.0984	2.02856	48.18	0.1181	00-004-0787
47.2206	60.19	0.1968	1.92487	5.99	0.2362	01-077-2110
47.7900	21.20	0.0100	1.90326	2.11	0.0120	01-079-1546
56.0492	20.67	0.2362	1.64081	2.06	0.2834	01-077-2110
65.0236	187.78	0.3542	1.43437	18.70	0.4251	00-004-0787
69.0300	4.00	0.0900	1.36058	0.40	0.1080	01-077-2110
71.0100	2.00	0.0900	1.32743	0.20	0.1080	01-079-1546
76.3300	9.00	0.0900	1.24762	0.90	0.1080	01-077-2110; 01-079-1546
78.2101	171.77	0.3149	1.22227	17.11	0.3779	00-004-0787
82.3693	46.23	0.3360	1.16980	4.60	0.4032	00-004-0787
87.8700	5.00	0.0900	1.11111	0.50	0.1080	01-077-2110

**BAB VIIdentified Patterns List: (C204)**

Visible	Ref. Code	Compound Name	Perct. (%)	Chemical Formula
*	00-004-0787	Aluminum, syn	74	Al
*	01-077-2110	Silicon	3	Si
*	01-079-1546	Copper Iron Oxide	23	Cu ( Fe O <sub>2</sub> )

**BAB VIIPlot of Identified Phases: (C204)**

LAMPIRAN 3

ANALISIS XRD PASIR SILIKA TAILING TIMAH

X'Pert HighScore	X'Pert HighScore Report	date: 01/28/19
PANalytical		for internal use only

**LABORATORIUM MINERAL DAN MATERIAL  
MAJU  
UNIVERSITAS NEGERI MALANG**

**Report on  
C46 – [Silika 125]**

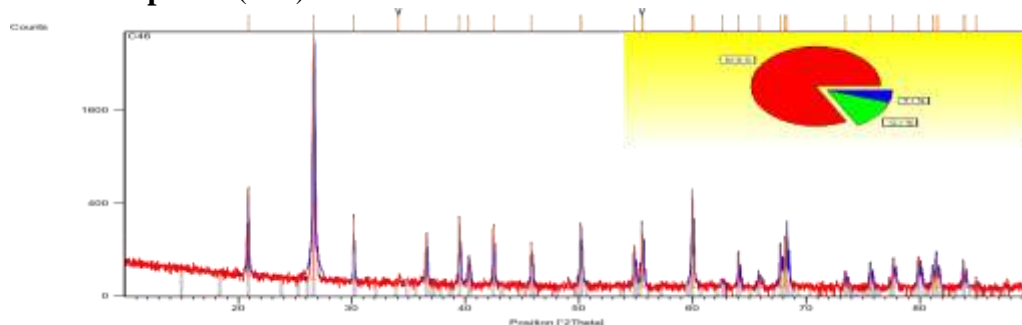


**Distribution:**

Name	Function	0.1	0.5	1.0
N.N.-999	Masterking Group Manager (MGM)	✓		
N.N.-998	Product Ontwikkelt Manager (POM)	✓		
N.N.-1	(AS)			✓
N.N.-2	(DS)			✓
N.N.-3	(BS)			✓
T.P.	Supervisor All Coding			✓

Last saved by HP	Draft	file: C46	rev: 1
© 2019 PANalytical B.V. All Rights Reserved			No. of pages: 1/3



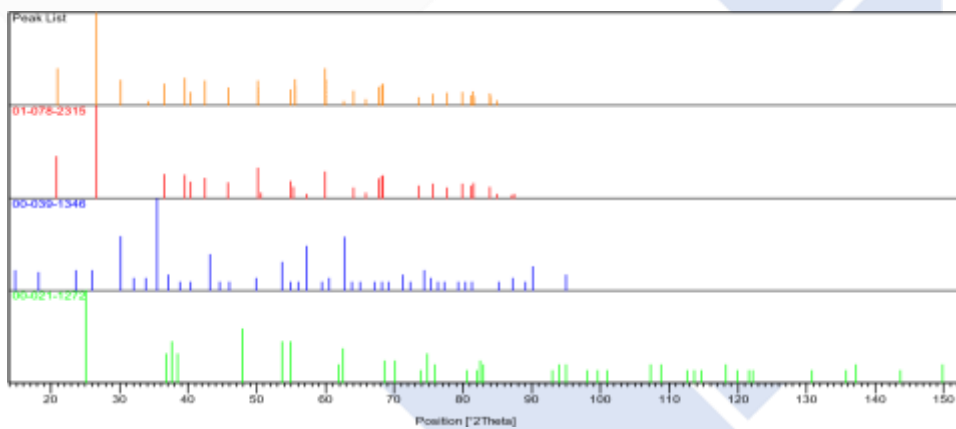
**BAB VIII**Graphics: (C46)**BAB IX**Peak List: (C46)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]	Matched by
20.8771	518.11	0.0787	4.25507	16.10	0.0945	01-078-2315
26.6481	3217.42	0.1378	3.34524	100.00	0.1653	01-078-2315
30.1577	250.70	0.0590	2.96345	7.79	0.0708	00-039-1346
36.5549	176.65	0.0984	2.45820	5.49	0.1181	01-078-2315
39.4614	279.13	0.0590	2.28359	8.68	0.0708	01-078-2315
40.2856	67.54	0.1968	2.23874	2.10	0.2362	01-078-2315; 00-039-1346
42.4659	231.32	0.0590	2.12872	7.19	0.0708	01-078-2315
45.8202	117.83	0.0984	1.98039	3.66	0.1181	01-078-2315
50.1440	237.30	0.0960	1.81779	7.38	0.1152	01-078-2315
54.8632	98.71	0.0960	1.67206	3.07	0.1152	01-078-2315; 00-039-1346
59.9670	517.79	0.0720	1.54137	16.09	0.0864	01-078-2315
62.6630	7.14	0.2880	1.48138	0.22	0.3456	00-021-1272
64.0381	84.04	0.0720	1.45284	2.61	0.0864	01-078-2315; 00-039-1346
65.8791	15.75	0.2880	1.41663	0.49	0.3456	01-078-2315
67.7603	124.39	0.0960	1.38181	3.87	0.1152	01-078-2315
68.1480	153.15	0.0720	1.37489	4.76	0.0864	01-078-2315; 00-039-1346
68.3254	179.53	0.0720	1.37175	5.58	0.0864	01-078-2315; 00-039-1346
73.4513	24.81	0.1440	1.28816	0.77	0.1728	01-078-2315
75.6657	50.81	0.1200	1.25587	1.58	0.1440	01-078-2315
77.6699	61.50	0.1440	1.22839	1.91	0.1728	01-078-2315
79.8880	68.78	0.1200	1.19977	2.14	0.1440	01-078-2315
81.1594	41.27	0.1440	1.18416	1.28	0.1728	01-078-2315

81.4773	76.54	0.1200	1.18034	2.38	0.1440	01-078-2315; 00-039-1346
83.8614	54.09	0.0960	1.15274	1.68	0.1152	01-078-2315
84.9500	9.00	0.0900	1.14073	0.28	0.1080	01-078-2315

**BAB XI** Identified Patterns List: (C46)

Visible	Ref. Code	Compound Name	Perct. %	Chemical Formula
*	01-078-2315	Quartz	83	Si O <sub>2</sub>
*	00-039-1346	Maghemite	12	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
*	00-021-1272	Anatase	5	Ti O <sub>2</sub>

**BAB XI** Plot of Identified Phases: (C46)

LAMPIRAN 4

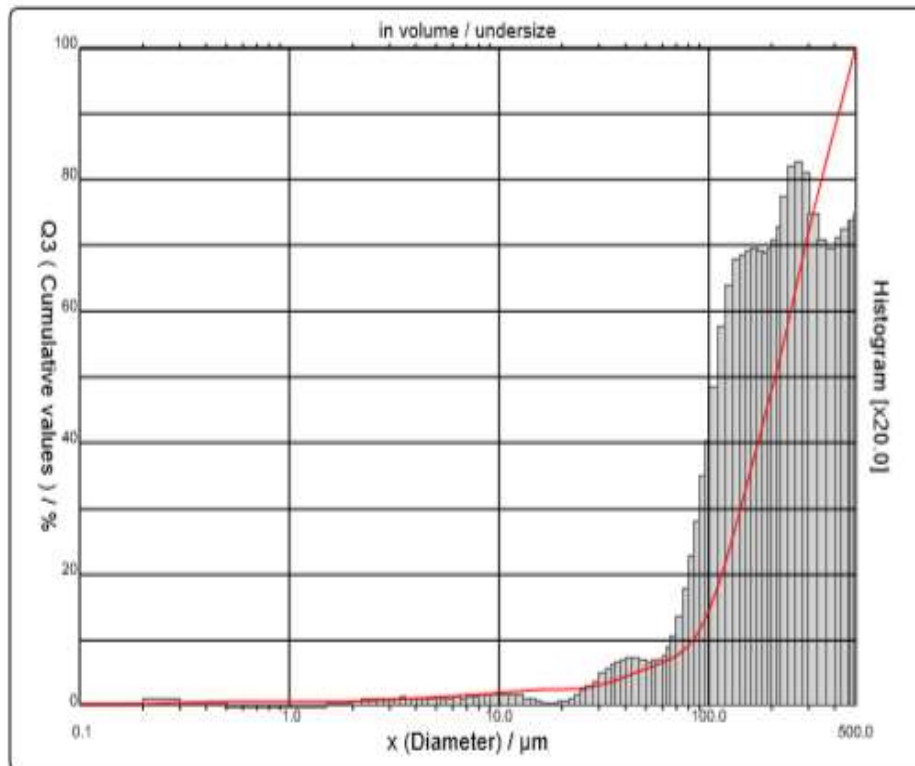
HASIL PENGUJIAN *PARTICLE SIZE ANALYZER* SERBUK ALUMINIUM



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION  
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref.	: Sample_X_	Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]
Sample Name	: AI3_200	Obscuration	: 1 %
Sample type	: SERBUK	Diameter at 10%	: 83.53 µm
Comments	:	Diameter at 50%	: 207.31 µm
-----		Diameter at 90%	: 417.16 µm
Operator	: BBG	Fraunhofer	
Company	:	Density/Factor	: 3.05 g/cm <sup>3</sup> / 1.00
Location	:	Specific surface	: 1075.62 cm <sup>2</sup> /g
Date : 24/01/2018	Time : 08:25:50	Meas./Rins.	: 15s/15s/0
Index meas.	: 1340	SOP name	: BBG
Database name	: CilasDB1		



Serial no : 3627 Ref : 2.001.m0.88A18187.001340=99.3.0.0.1Eh.10.0.0.Drv2-0.0.0.0/860.0.15.g10.0.0.10.1.10.P1800.1.10.N0V.945635



## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

<p>Sample ref. : Sample_X_          Sample Name : AI3_200          Sample type : SERBUK          Comments :          -----          Operator : BBG          Company :          Location :          Date : 24/01/2018 Time : 08:25:50          Index meas. : 1340          Database name : CilasDB1</p>	<p>Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]          Obscuration : 1 %          Diameter at 10% : 83.53 µm          Diameter at 50% : 207.31 µm          Diameter at 90% : 417.16 µm          Fraunhofer          Density/Factor : 3.05 g/cm<sup>3</sup> / 1.00          Specific surface : 1076.62 cm<sup>2</sup>/g          Meas./Rins. : 15s/15s/0          SOP name : BBG</p>
--	---

Standards classes

In volume / undersize

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	0.15	0.32	0.58	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
q3	0.01	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	0.71	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74	0.77	0.81	0.86	0.91
q3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	0.96	1.01	1.06	1.11	1.16	1.20	1.24	1.30	1.35	1.41
q3	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	1.46	1.50	1.55	1.62	1.68	1.74	1.80	1.87	1.94	2.06
q3	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.09
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	2.20	2.30	2.39	2.45	2.50	2.53	2.55	2.57	2.58	2.60
q3	0.08	0.08	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	2.64	2.69	2.76	2.86	3.02	3.21	3.45	3.70	3.97	4.24
q3	0.04	0.05	0.07	0.11	0.14	0.18	0.25	0.27	0.31	0.33
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	4.51	4.91	5.27	5.70	5.99	6.27	6.63	6.91	7.22	7.69
q3	0.35	0.37	0.35	0.34	0.33	0.34	0.34	0.38	0.44	0.53
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	8.40	9.26	10.30	11.51	12.94	14.50	17.99	21.79	25.66	29.45
q3	0.68	0.88	1.13	1.40	1.75	2.01	2.42	2.88	3.19	3.36
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	33.03	36.41	39.59	42.58	45.39	48.08	50.69	53.25	56.34	63.30
q3	3.42	3.46	3.46	3.45	3.43	3.46	3.53	3.63	3.66	4.09
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	67.94	72.16	77.54	82.20	87.74	91.63	95.33	96.53	98.66	100.00
q3	4.13	4.04	3.73	3.53	3.47	3.55	3.62	3.68	3.69	3.72

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

LAMPIRAN 5

HASIL PENGUJIAN *PARTICLE SIZE ANALYZER* PASIR  
SILIKA TAILING TIMAH

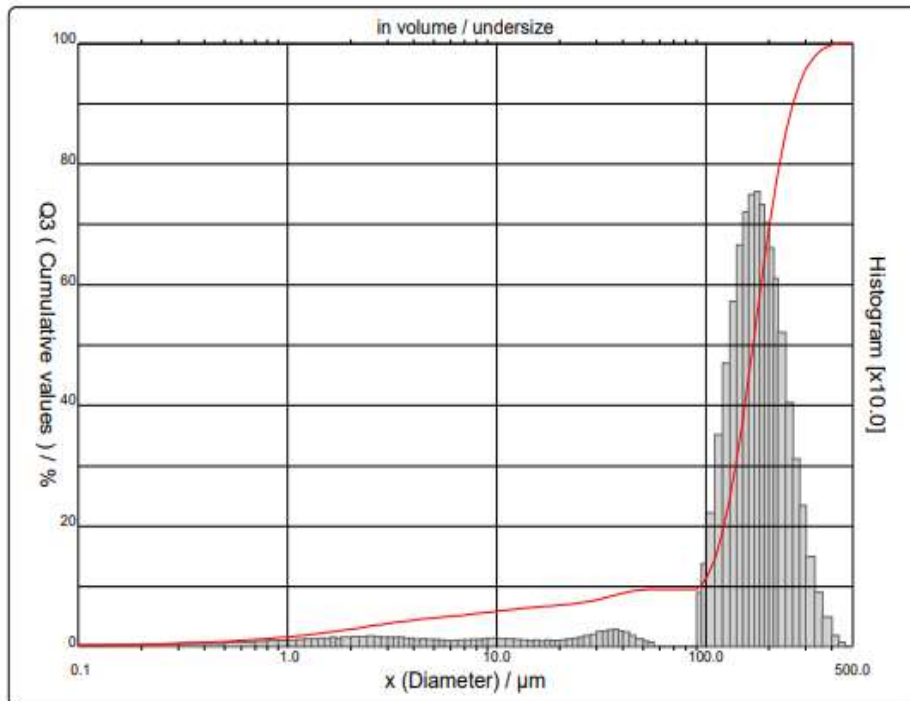


PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Sample Name : Si_125	Obscuration : 4 %
Sample type : SERBUK	Diameter at 10% : 92.93 µm
Comments :	Diameter at 50% : 167.66 µm
-----	Diameter at 90% : 260.51 µm
Operator : BBG	Fraunhofer
Company :	Density/Factor : 2.46 g/cm <sup>3</sup> / 1.00
Location :	Specific surface : 2055.05 cm <sup>2</sup> /g
Date : 24/01/2018 Time : 08:35:23	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Index meas. : 1343	SOP name : BBG
Database name : CilasDB1	



Serial nb : 3627 Ref : 2:r301.m0.88A1818/7.00/1343/m99.3.0.0.1Eh.10.0.0.DlvQ-0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V.9.45/635





## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

### CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_ Sample Name : Si_125 Sample type : SERBUK Comments : ----- Operator : BBG Company : Location : Date : 24/01/2018 Time : 08:35:23 Index meas. : 1343 Database name : CilasDB1	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50] Obscuration : 4 % Diameter at 10% : 92.93 µm Diameter at 50% : 167.66 µm Diameter at 90% : 260.51 µm Fraunhofer : Density/Factor : 2.46 g/cm <sup>3</sup> / 1.00 Specific surface : 2055.05 cm <sup>2</sup> /g Meas./Rins. : 15s/15s/0 SOP name : BBG
--	---

Standards classes

in volume / undersize

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	0.14	0.36	0.56	0.91	1.23	1.38	1.53	1.67	1.81	1.95
q3	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	2.09	2.22	2.35	2.47	2.60	2.71	2.94	3.16	3.36	3.55
q3	0.12	0.12	0.13	0.12	0.14	0.13	0.15	0.15	0.15	0.16
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	3.72	3.87	4.01	4.14	4.26	4.36	4.46	4.58	4.70	4.83
q3	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.13	0.11	0.12	0.10
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	4.92	5.00	5.09	5.20	5.31	5.41	5.51	5.61	5.71	5.91
q3	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	6.08	6.23	6.36	6.47	6.56	6.65	6.72	6.80	6.87	6.94
q3	0.12	0.12	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	7.05	7.17	7.29	7.42	7.61	7.81	8.04	8.26	8.49	8.71
q3	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.24	0.24	0.27	0.27
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	8.90	9.15	9.32	9.46	9.53	9.58	9.58	9.58	9.58	9.58
q3	0.25	0.23	0.17	0.11	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	9.58	9.58	9.58	9.58	10.29	11.34	14.48	19.04	24.65	30.98
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	1.37	2.20	3.50	4.69	5.71
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	37.83	44.77	51.55	57.98	63.89	69.27	74.08	78.32	85.08	89.91
q3	6.64	7.19	7.48	7.52	7.31	7.01	6.59	6.09	5.19	4.03
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	93.34	95.74	97.84	99.00	99.75	99.94	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	3.09	2.33	1.47	0.89	0.48	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00

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

LAMPIRAN 6

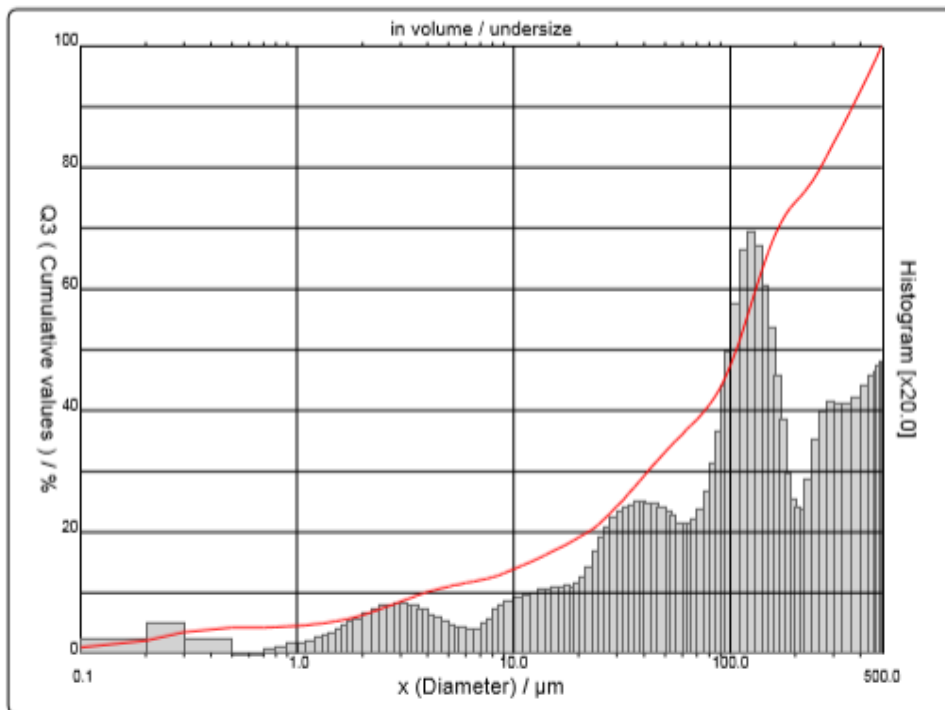
HASIL PENGUJIAN PARTICLE SIZE ANALYZER  
SERBUK SETELAH DIPADUKAN



PARTICLE SIZE DISTRIBUTION  
CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

Sample ref. : Sample_X_	Pressure/Distributor : 500 mb / [50][50]
Sample Name : 3	Obscuration : 1 %
Sample type : Serbuk	Diameter at 10% : 3.87 µm
Comments :	Diameter at 50% : 106.42 µm
-----	Diameter at 90% : 366.82 µm
-----	Mean diameter : 141.38 µm
Operator : BBG	Fraunhofer
Company : FMIPA-KIMIA UB	Density/Factor : -----
Location : MALANG	Specific surface : -----
Date : 10/28/2022 Time : 10:21:45AM	Meas./Rins. : 15s/15s/0
Index meas. : 1057	SOP name : Fraunhofer
Database name : CilasDB1	



Serial nb : 3627 Ref : 2.r301.m0.88A1818/7.00/1057/m41.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.O/V.9.45/635



## PARTICLE SIZE DISTRIBUTION CILAS 1090 DRY

Range : 0.10 µm - 500.00 µm / 100 Classes

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30%;">Sample ref.</td><td>: Sample_X_</td></tr> <tr><td>Sample Name</td><td>: 3</td></tr> <tr><td>Sample type</td><td>: Serbuk</td></tr> <tr><td>Comments</td><td>:</td></tr> <tr><td colspan="2">-----</td></tr> <tr><td>Operator</td><td>: BBG</td></tr> <tr><td>Company</td><td>: FMIPA-KIMIA UB</td></tr> <tr><td>Location</td><td>: MALANG</td></tr> <tr><td>Date</td><td>: 10/28/2022 Time : 10:21:45AM</td></tr> <tr><td>Index meas.</td><td>: 1057</td></tr> <tr><td>Database name</td><td>: CilasDB1</td></tr> </table>	Sample ref.	: Sample_X_	Sample Name	: 3	Sample type	: Serbuk	Comments	:	-----		Operator	: BBG	Company	: FMIPA-KIMIA UB	Location	: MALANG	Date	: 10/28/2022 Time : 10:21:45AM	Index meas.	: 1057	Database name	: CilasDB1	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 30%;">Pressure/Distributor</td><td>: 500 mb / [50][50]</td></tr> <tr><td>Obscuration</td><td>: 1 %</td></tr> <tr><td>Diameter at 10%</td><td>: 3.87 µm</td></tr> <tr><td>Diameter at 50%</td><td>: 106.42 µm</td></tr> <tr><td>Diameter at 90%</td><td>: 366.82 µm</td></tr> <tr><td>Mean diameter</td><td>: 141.38 µm</td></tr> <tr><td>Fraunhofer</td><td></td></tr> <tr><td>Density/Factor</td><td>-----</td></tr> <tr><td>Specific surface</td><td>-----</td></tr> <tr><td colspan="2">-----</td></tr> <tr><td>Meas./Rins.</td><td>: 15s/15s/0</td></tr> <tr><td>SOP name</td><td>: Fraunhofer</td></tr> </table>	Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]	Obscuration	: 1 %	Diameter at 10%	: 3.87 µm	Diameter at 50%	: 106.42 µm	Diameter at 90%	: 366.82 µm	Mean diameter	: 141.38 µm	Fraunhofer		Density/Factor	-----	Specific surface	-----	-----		Meas./Rins.	: 15s/15s/0	SOP name	: Fraunhofer
Sample ref.	: Sample_X_																																														
Sample Name	: 3																																														
Sample type	: Serbuk																																														
Comments	:																																														
-----																																															
Operator	: BBG																																														
Company	: FMIPA-KIMIA UB																																														
Location	: MALANG																																														
Date	: 10/28/2022 Time : 10:21:45AM																																														
Index meas.	: 1057																																														
Database name	: CilasDB1																																														
Pressure/Distributor	: 500 mb / [50][50]																																														
Obscuration	: 1 %																																														
Diameter at 10%	: 3.87 µm																																														
Diameter at 50%	: 106.42 µm																																														
Diameter at 90%	: 366.82 µm																																														
Mean diameter	: 141.38 µm																																														
Fraunhofer																																															
Density/Factor	-----																																														
Specific surface	-----																																														
-----																																															
Meas./Rins.	: 15s/15s/0																																														
SOP name	: Fraunhofer																																														

Standards classes

in volume / undersize

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	1.08	2.17	3.60	4.38	4.38	4.43	4.51	4.62	4.74	4.86
q3	0.05	0.11	0.24	0.11	0.00	0.03	0.05	0.07	0.09	0.10
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	5.01	5.17	5.34	5.53	5.73	5.94	6.37	6.83	7.29	7.74
q3	0.13	0.15	0.17	0.20	0.23	0.25	0.28	0.33	0.37	0.39
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	8.17	8.58	8.96	9.31	9.63	9.91	10.17	10.50	10.78	11.09
q3	0.40	0.41	0.41	0.40	0.39	0.36	0.35	0.32	0.29	0.26
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	11.29	11.46	11.67	11.90	12.12	12.37	12.63	12.94	13.26	13.91
q3	0.24	0.21	0.21	0.20	0.21	0.25	0.28	0.35	0.39	0.43
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	14.54	15.14	15.71	16.27	16.80	17.31	17.79	18.25	18.68	19.11
q3	0.46	0.48	0.49	0.52	0.53	0.55	0.55	0.56	0.55	0.58
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	19.76	20.45	21.22	22.03	23.14	24.25	25.34	26.39	27.39	28.36
q3	0.62	0.71	0.84	0.94	1.03	1.11	1.17	1.20	1.21	1.24
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	29.28	30.57	31.77	33.21	34.19	35.09	36.16	36.91	37.63	38.56
q3	1.24	1.23	1.23	1.19	1.16	1.13	1.07	1.06	1.07	1.09
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	39.73	40.97	42.34	43.85	45.57	47.41	51.38	55.56	59.57	63.16
q3	1.17	1.33	1.56	1.82	2.20	2.48	2.88	3.32	3.46	3.35
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	66.18	68.68	70.68	72.27	73.42	74.36	75.20	76.00	77.79	79.83
q3	3.02	2.68	2.28	1.92	1.47	1.27	1.19	1.19	1.42	1.76
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	81.96	84.03	86.85	89.43	92.63	94.93	97.15	97.87	99.30	100.00
q3	1.98	2.07	2.04	2.05	2.10	2.20	2.27	2.31	2.37	2.39

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



## LAMPIRAN 7

### Perhitungan Densitas Hasil Kompaksi

#### ➤ Tekanan Kompaksi 4400 PSI

##### a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,48$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,15$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,48}{(32,48-17,15)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,48}{(15,33)} 1$$

$$\rho_m = 2,118$$
 g/cm<sup>3</sup>

##### b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,71$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,25$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,71}{(32,71-17,25)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,71}{(15,46)} 1$$

$$\rho_m = 2,115$$
 g/cm<sup>3</sup>

##### c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,91$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,28$$
 g

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,91}{(32,91-17,28)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,91}{(15,63)} 1$$

$$\rho_m = 2,105 \text{ g/cm}^3$$

d. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,81 \text{ g}$

$$m_g = 17,28 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,81}{(32,81-17,28)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,81}{(15,53)} 1$$

$$\rho_m = 2,112 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

e. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,82 \text{ g}$

$$m_g = 17,26 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,82}{(32,82-17,26)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,82}{(15,56)} 1$$

$$\rho_m = 2,109 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

f. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,04$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,05$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,04}{(32,04 - 17,05)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,91}{(14,99)} 1$$

$$\rho_m = 2,137$$
 g/cm<sup>3</sup>

g. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,22$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,06$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,22}{(32,22 - 17,06)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,22}{(15,16)} 1$$

$$\rho_m = 2,125$$
 g/cm<sup>3</sup>

h. . Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,24$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,10$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,24}{(32,24-17,10)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,24}{(15,14)} 1$$

$$\rho_m = 2,129 \text{ g/cm}^3$$

i. . Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,51 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,15 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,51}{(32,51-17,15)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,51}{(15,36)} 1$$

$$\rho_m = 2,116 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4500 PSI**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 34,19 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,15 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{34,19}{(34,19-18,15)} 1$$

$$\rho_m = \frac{34,19}{(16,04)} 1$$

$$\rho_m = 2,131 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 33,21$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,65 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,21}{(33,21 - 17,65)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,21}{(15,56)} 1$$

$$\rho_m = 2,134 \text{ g/cm}^3$$

c . Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,31$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,20 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,31}{(32,31 - 17,20)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,31}{(15,11)} 1$$

$$\rho_m = 2,138 \text{ g/cm}^3$$

d. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,20$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,19 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,20}{(32,20-17,19)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,20}{(15,01)} 1$$

$$\rho_m = 2,145 \text{ g/cm}^3$$

e . Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,20 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,16 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,20}{(32,20-17,16)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,20}{(15,04)} 1$$

$$\rho_m = 2,140 \text{ g/cm}^3$$

f . Spesimen 3

Diket :  $m_s = 31,98 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,10 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{31,98}{(31,98-17,10)} 1$$

$$\rho_m = \frac{31,98}{(14,88)} 1$$

$$\rho_m = 2,149 \text{ g/cm}^3$$

g . Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,28 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,24 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,28}{(32,28 - 17,24)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,28}{(15,04)} 1$$

$$\rho_m = 2,146 \text{ g/cm}^3$$

h . Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,60 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,35 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,60}{(32,60 - 17,35)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,60}{(15,25)} 1$$

$$\rho_m = 2,137 \text{ g/cm}^3$$

i . Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,65 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,34 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,65}{(32,65 - 17,34)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,65}{(15,31)} 1$$

$$\rho_m = 2,132 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4600 PSI**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 31,51 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 16,98 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{31,51}{(31,51 - 16,98)} 1$$

$$\rho_m = \frac{31,51}{(14,53)} 1$$

$$\rho_m = 2,168 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,53 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,35 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,53}{(32,53 - 17,35)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,53}{(15,18)} 1$$

$$\rho_m = 2,142 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 33,13 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,58 \text{ g}$$



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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,13}{(33,13-17,58)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,13}{(15,55)} 1$$

$$\rho_m = 2,130 \text{ g/cm}^3$$

d. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,26 \text{ g}$

$$m_g = 17,35 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,26}{(32,26-17,35)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,26}{(14,91)} 1$$

$$\rho_m = 2,163 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

e. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,09 \text{ g}$

$$m_g = 17,29 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,09}{(32,09-17,29)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,09}{(14,80)} 1$$

$$\rho_m = 2,168 \text{ g/cm}^3$$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

f. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 33,52 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,97 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,52}{(33,52 - 17,97)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,52}{(15,55)} 1$$

$$\rho_m = 2,155 \text{ g/cm}^3$$

g. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,32 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,34 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,32}{(32,32 - 17,34)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,32}{(14,98)} 1$$

$$\rho_m = 2,157 \text{ g/cm}^3$$

h. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 31,99 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,20 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{31,99}{(31,99 - 17,20)} \text{ l}$$

$$\rho_m = \frac{31,99}{(14,79)} \text{ l}$$

$$\rho_m = 2,162 \text{ g/cm}^3$$

i. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,34 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 17,32 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,34}{(32,34 - 17,32)} \text{ l}$$

$$\rho_m = \frac{32,34}{(15,02)} \text{ l}$$

$$\rho_m = 2,153 \text{ g/cm}^3$$

## LAMPIRAN 8

### Perhitungan Densitas Setelah Sintering

#### ➤ Tekanan Kompaksi 4400 PSi Dengan Suhu Sintering 510°C

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,24$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,82$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,24}{(32,24 - 17,82)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,24}{(14,42)} 1$$

$$\rho_m = 2,235$$
 g/cm<sup>3</sup>

B. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,66$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,10$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,66}{(32,66 - 18,10)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,66}{(14,56)} 1$$

$$\rho_m = 2,243$$
 g/cm<sup>3</sup>

C. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,82$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,17$$
 g

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,82}{(32,82-18,17)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,82}{(14,65)} 1$$

$$\rho_m = 2,240 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4400 Psi Dengan Suhu Sintering 560°C**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 33,25 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,86 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,25}{(33,25-18,86)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,25}{(14,39)} 1$$

$$\rho_m = 2,310 \text{ g/cm}^3$$

B. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 29,36 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 15,99 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{29,36}{(29,36-15,99)} 1$$

$$\rho_m = \frac{29,36}{(13,37)} 1$$

$$\rho_m = 2,195 \text{ g/cm}^3$$

### C. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,19 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,30 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,19}{(32,19 - 18,30)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,19}{(13,87)} 1$$

$$\rho_m = 2,317 \text{ g/cm}^3$$

### ➤ Tekanan Kompaksi 4400 PSi Dengan Suhu Sintering 610°C

#### a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,48 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,54 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,48}{(32,48 - 18,54)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,48}{(13,94)} 1$$

$$\rho_m = 2,329 \text{ g/cm}^3$$

#### b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,46 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,46 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,46}{(32,46-18,46)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,46}{(14,00)} 1$$

$$\rho_m = 2,318 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,84 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,61 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,84}{(32,84-18,61)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,84}{(14,23)} 1$$

$$\rho_m = 2,307 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4500 PSi Dengan Suhu Sintering 510°C**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 33,43 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,67 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,43}{(33,43-18,67)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,43}{(14,76)} 1$$

$$\rho_m = 2,264 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 33,05 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,50 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,05}{(33,05 - 18,50)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,05}{(14,55)} 1$$

$$\rho_m = 2,271 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,10 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 17,91 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,10}{(32,10 - 17,91)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,10}{(14,19)} 1$$

$$\rho_m = 2,262 \text{ g/cm}^3$$

➤ Tekanan Kompaksi 4500 Psi Dengan Suhu Sintering 560°C

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,55 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,54 \text{ g}$$

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



Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,55}{(32,55-18,54)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,55}{(14,01)} 1$$

$$\rho_m = 2,323 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,48 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,40 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,48}{(32,48-18,40)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,48}{(14,08)} 1$$

$$\rho_m = 2,306 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,02 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,21 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,02}{(32,02-18,21)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,55}{(13,81)} 1$$

$$\rho_m = 2,318 \text{ g/cm}^3$$

➤ Tekanan Kompaksi 4500 Psi Dengan Suhu Sintering 610°C

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,50$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,63$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,50}{(32,50 - 18,63)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,50}{(13,87)} 1$$

$$\rho_m = 2,343$$
 g/cm<sup>3</sup>

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,84$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,75$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,84}{(32,84 - 18,75)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,84}{(14,09)} 1$$

$$\rho_m = 2,330$$
 g/cm<sup>3</sup>

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,99$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,84$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,99}{(32,99-18,84)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,99}{(14,15)} 1$$

$$\rho_m = 2,331 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4600 PSi Dengan Suhu Sintering 510°C**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 31,18 \text{ g}$

$$m_g = 17,62 \text{ g}$$

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

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

Jawab :

$$\rho_m = \frac{31,18}{(31,18-17,62)} 1$$

$$\rho_m = \frac{31,18}{(13,56)} 1$$

$$\rho_m = 2,299 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,50 \text{ g}$

$$m_g = 18,26 \text{ g}$$

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

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,50}{(32,50-18,26)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,50}{(14,24)} 1$$

$$\rho_m = 2,282 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,98$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,54$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,98}{(32,98 - 18,54)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,98}{(14,44)} 1$$

$$\rho_m = 2,283$$
 g/cm<sup>3</sup>

➤ **Tekanan Kompaksi 4600 PSi Dengan Suhu Sintering 560°C**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 31,41$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,56$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{31,41}{(31,41 - 18,56)} 1$$

$$\rho_m = \frac{31,41}{(13,85)} 1$$

$$\rho_m = 2,340$$
 g/cm<sup>3</sup>

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,41$  g

Ditanya :  $\rho_m$ ..... ?

$$m_g = 18,57$$
 g

$$\rho_{H_2O} = 1$$
 g/cm<sup>3</sup>

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,41}{(32,41-18,57)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,41}{(13,84)} 1$$

$$\rho_m = 2,341 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 33,54 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,99 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{33,54}{(33,54-18,99)} 1$$

$$\rho_m = \frac{33,54}{(14,55)} 1$$

$$\rho_m = 2,305 \text{ g/cm}^3$$

➤ **Tekanan Kompaksi 4600 PSI Dengan Suhu Sintering 610°C**

a. Spesimen 1

Diket :  $m_s = 32,81 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,97 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,81}{(32,81-18,97)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,81}{(13,84)} 1$$

$$\rho_m = 2,370 \text{ g/cm}^3$$

b. Spesimen 2

Diket :  $m_s = 32,13 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,58 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,13}{(32,13 - 18,58)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,13}{(13,5)} 1$$

$$\rho_m = 2,371 \text{ g/cm}^3$$

c. Spesimen 3

Diket :  $m_s = 32,72 \text{ g}$

Ditanya :  $\rho_m \dots ?$

$$m_g = 18,87 \text{ g}$$

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

Jawab :

$$\rho_m = \frac{32,72}{(32,72 - 18,87)} 1$$

$$\rho_m = \frac{32,72}{(13,85)} 1$$

$$\rho_m = 2,362 \text{ g/cm}^3$$

LAMPIRAN 9

Tabel Uji F

$\alpha =$ 0,05	$df_1^{(k-1)}$							
	$df_2^{(n-k-1)}$	1	2	3	4	5	6	7
1	161,44 8	199,500	215,70 7	224,583	230,162	233,98 6	236,768	238,883
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278

## LAMPIRAN 10

### PERHITUNGAN ANOVA

Pada proses pengolahan data dilakukan dengan uji ANOVA, pada proses pengujian ANOVA menggunakan software excel dan validasi perhitungan ANOVA menggunakan minitab 2.13 (lisensi). Pada penelitian ini terdapat 2 faktor dan 1 interaksi sehingga ad 3 hipotesis yang dirumuskan, yaitu uji hipotesis untuk mengetahui pengaruh tekanan kompaksi panas, suhu sintering dan interaksi antara tekanan kompaksi panas dan suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan. Keputusan terhadap hipotesis nol ( $H_0$ ) berdasarkan nilai Ftabel yakni selama statistic Fhitung melebihi  $F_{0,05;2,27(3,55)}$  atau p-value kurang dari  $\alpha$ , keputusannya adalah menolak  $H_0$ . Dalam penelitian ini hopotesis yang akan diuji adalah sebagai berikut:

#### 1. Kompaksi Panas

$H_{01}$  = Perbedaan kompaksi panas tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{11}$  = Perbedaan kompaksi panas berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{02}$  = Perbedaan kompaksi panas tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H_{12}$  = Perbedaan kompaksi panas berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

#### 2. Suhu Sintering

$H_{01}$  = Perbedaan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{11}$  = Perbedaan suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{02}$  = Perbedaan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H_{12}$  = Perbedaan suhu sintering berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

#### 3. Interaksi kompaksi panas dan suhu sintering

$H_{01}$  = Perbedaan interaksi kompaksi panas dan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{11}$  = Perbedaan interaksi kompaksi panas dan suhu sintering berpengaruh terhadap nilai densitas.

$H_{02}$  = Perbedaan interaksi kompaksi panas dan suhu sintering tidak berpengaruh terhadap nilai kekerasan.

$H_{12}$  = Perbedaan interaksi kompaksi panas dan suhu sintering berpengaruh terhadap nilai kekerasan.



- Perhitungan ANOVA Mengacu Pada Rumus 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2,8 dan 2.9 menggunakan excel

### ANOVA Uji Densitas Setelah Sintering

- y

Kompaksi	Suhu Sintering		
	510 °C	560 °C	610°C
4400 Psi	2,235	2,31	2,329
	2,243	2,195	2,318
	2,24	2,317	2,307
4500 Psi	2,264	2,323	2,343
	2,271	2,306	2,33
	2,262	2,318	2,331
4600 Psi	2,299	2,34	2,37
	2,282	2,341	2,371
	2,283	2,303	2,362
	Y	62,193	
	y^2	3868	
	y^2/abn	143,26	

- $\sum y^2_{ijk}$

Suhu Sintering		
510 °C	560°C	600°C
4,995225	5,3361	5,424241
5,031049	4,818025	5,373124
5,0176	5,368489	5,322249
5,125696	5,396329	5,489649
5,157441	5,317636	5,4289
5,116644	5,373124	5,433561
5,285401	5,4756	5,6169
5,207524	5,480281	5,621641
5,212089	5,303809	5,579044
	$\sum y^2_{ijk}$	143,31

➤  $\sum y^2_i$  dan  $\sum y^2_j$

Kompaksi	Suhu Sintering			$\sum y^2_i$	
	510 °C	560 °C	610°C		
4400 Psi	2,235	2,31	2,329	20,494	420,004
	2,243	2,195	2,318		
	2,24	2,317	2,307		
4500 Psi	2,264	2,323	2,343	20,748	430,4795
	2,271	2,306	2,33		
	2,262	2,318	2,331		
4600 Psi	2,299	2,34	2,37	20,951	438,9444
	2,282	2,341	2,371		
	2,283	2,303	2,362		
$\sum y^2$	20,379	20,753	21,061		1289,4
	415,3036	430,687	443,5657		1289,6

➤  $\sum y^2_{ij}$

Kompaksi	Suhu Sintering			$\sum y^2_{ij}$		
	510 °C	560 °C	610°C			
4400 Psi	2,235	2,31	2,329	6,718	6,822	6,954
	2,243	2,195	2,318			
	2,24	2,317	2,307			
4500 Psi	2,264	2,323	2,343	6,797	6,947	7,004
	2,271	2,306	2,33			
	2,262	2,318	2,331			
4600 Psi	2,299	2,34	2,37	6,864	6,984	7,103
	2,282	2,341	2,371			
	2,283	2,303	2,362			
				45,13152	46,53968	48,35812
				46,19921	48,26081	49,05602
				47,1145	48,77626	50,45261
						429,89
						143,2962

Diketahui	
a (Kompaksi)	3
b (Suhu Sintering)	3
N	3
$y^2/abn$	143,2581
$y^2_{ijk}$	143,3074
$y^2_i$	1289,428
$y^2_j$	1289,556
Y	62,193
$y^2$	3867,969
1/bn	0,111111
1/an	0,111111
SST	0,0493
SSSH	0,01168
SSKM	0,0259
SS axb	0,00056

$$\diamond SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} = 143,3074 - 143,2581 = \mathbf{0,0493}$$

$$\diamond SS_{SH} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_i - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 1289,428 - 143,2581 = \mathbf{0,1168}$$

$$\diamond SS_{KM} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y^2_j - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 1289,56 - 143,2581 = \mathbf{0,0259}$$

$$\diamond SS_{AxB} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^a \sum_{b=1}^b y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SS_{LP} - SS_{FV} = 143,296 - 143,2581 - 0,01168 - 0,0259 = \mathbf{0,00056}$$

### ANOVA Uji Kekerasan Setelah Sintering

➤ **Y**

Kompaksi	Suhu Sintering		
	510 °C	560 °C	610°C
4400 Psi	40	43	46,3
	40,3	44	47
	40	44,3	49
4500 Psi	52	56	62
	52,3	56	60,3
	52,3	58	61,3
4600 Psi	58,3	66,3	73
	57,3	66,3	70,3
	56,6	63,6	72,3
	y		1488,1
	y <sup>2</sup>		2214442
	y <sup>2</sup> /abn		82016,36

➤  $\sum y^2_{ijk}$

Suhu Sintering		
510 °C	560°C	600°C
1600	1849	2143,69
1624,09	1936	2209
1600	1962,49	2401
2704	3136	3844
2735,29	3136	3636,09
2735,29	3364	3757,69
3398,89	4395,69	5329
3283,29	4395,69	4942,09
3203,56	4044,96	5227,29
	$\sum y^2_{ijk}$	84594,09

➤  $\sum y^2_i$  dan  $\sum y^2_j$

Kompaksi	Suhu Sintering			$\sum y^2_i$	
	510 °C	560 °C	610°C		
4400 Psi	40	43	46,3	393,9	155157,2
	40,3	44	47		
	40	44,3	49		
4500 Psi	52	56	62	510,2	260304
	52,3	56	60,3		
	52,3	58	61,3		
4600 Psi	58,3	66,3	73	584	341056
	57,3	66,3	70,3		
	56,6	63,6	72,3		
$\sum y^2$	449,1	497,5	541,5	756517	
	201690,8	247506,3	293222,3	742419	

➤  $\sum y^2_{ij}$

Kompaksi	Suhu Sintering			$\sum y^2_{ij}$		
	510 °C	560 °C	610°C			
4400 Psi	40	43	46,3	120,3	131,3	142,3
	40,3	44	47			
	40	44,3	49			
4500 Psi	52	56	62	156,6	170	183,6
	52,3	56	60,3			
	52,3	58	61,3			
4600 Psi	58,3	66,3	73	172,2	196,2	215,6
	57,3	66,3	70,3			
	56,6	63,6	72,3			
				14472,09	17239,69	20249,29
				24523,56	28900	33708,96
				29652,84	38494,44	46483,36
				253724		
				84574,7		

Diketahui	
a (Kompaksi)	3
b (Suhu Sintering)	3
n	3
$y^2/abn$	82016,4
$y^2_{ijk}$	84594,1
$y^2_i$	756517
$y^2_j$	742419
y	1488,1
$y^2$	2214442
1/bn	0,111111
1/an	0,111111
SST	2577,73
SSSH	2041,116
SSKM	474,679
SS axb	42,5926

$$\diamond SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ijk} - \frac{y^2}{abn} = 84594,1 - 82016,4 = \mathbf{2577,7}$$


$$\diamond SS_{SH} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y^2_i - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 756517 - 82016,4 = \mathbf{2041,12}$$

$$\diamond SS_{KM} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y^2_j - \frac{y^2}{abn} = 0,111 \times 742419 - 82016,4 = \mathbf{474,679}$$

$$\diamond SS_{AxB} = \frac{1}{n} \sum_{a=1}^a \sum_{b=1}^b y^2_{ij} - \frac{y^2}{abn} - SS_{LP} - SS_{FV} = 84574,7 - 82016,4 - 474,68 - 2041,12 = \mathbf{42,59}$$

LAMPIRAN 11

FORM-PPR-3- 4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2022/2023			
JUDUL	Pembuatan Kompleks Makhluk Alami di Persekitar Pabrik Sisa Tailor dengan metode Melakoni Serbuk		
Nama Mahasiswa	Mohammad AICP NIM: 641719		
Nama Pembimbing	1. Dr. Suwanto, M.Eng 2. Susanto, S.T., MT 3.		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	28/09/2022	Membaca Jurnal B K&D untuk Membaca Jurnal	SR
2	5/12/2022	Mengumpulkan Hasil membaca Jurnal & REVISI	SR
3	6/12/2022	Memodifikasi Jurnal	SR
4	26/12/2022	Mengumpulkan PROSES bab IV	SR
5	30/12/2022	Mengumpulkan PROSES bab V	SR
6	5/01/2023	Mengumpulkan REVISI Bab IV & Bab V serta mengumpulkan Poster	SR
7	16/01/2023	Membaca Melengkapi untuk proses sidang & bantu untuk membuat PPT	SR
8	6/12/2022	Mengumpulkan & mengumpulkan REVISI Jurnal	f
9	5/01/2023	Mengumpulkan Bab IV & Bab V	f
10	16/01/2023	Mengumpulkan PROSES poster	f







Catatan:

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

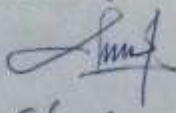
Pedoman | 41

LAMPIRAN 12

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

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK _____	
		JUDUL <u>Pembuatan Koneksi Matrik Aljabar Linear dengan Peta</u> <u>Suka Telling menggunakan Metode Matriksi Sederhana</u>	
Nama Mahasiswa		1. <u>Muhammad ASY</u> /NIM: <u>1041903</u>	
		2. _____ /NIM: _____	
		3. _____ /NIM: _____	
		4. _____ /NIM: _____	
		5. _____ /NIM: _____	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
	<u>26/12</u>	<u>Mengumpulkan Progres Bab IV</u>	
	<u>30/12</u>	<u>Mengumpulkan Progres Bab V</u>	
	<u>3/01</u>	<u>Mengumpulkan Revisi Bab IV dan Bab V serta mengesahkan Progres Poster</u>	
	<u>5/01</u>	<u>Mengumpulkan Bab IV dan Bab V</u>	
	<u>16/01</u>	<u>Mengumpulkan Progres Poster</u>	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / ~~BELUM~~ (coret salah satu)

Mengetahui		
Pembimbing 1  ( <u>Sulekha</u> )	Pembimbing 2  ( <u>Supriyanto</u> )	Pembimbing 3 ( _____ )



## LAMPIRAN 13

### BUKTI BUKAN PLAGIASI



LAMPIRAN 14

BUKTI PUBLIKASI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS BANGKA BELITUNG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
JURNAL MACHINE

Gedung Babel IV Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung  
Balunjak, Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung

**SURAT KETERANGAN**  
Nomor : 020/UN50/G 1.2-Jurnal Machine LL/2022

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

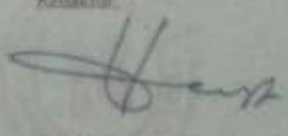
Nama	Saparin, S.T., M.Si
NIP	198612022019031009
Jabatan	Redaktur Jurnal Teknik Mesin UBB

menerangkan

Nama	1. Muhamad Asep 2. Sugiyarto 3. Sonawardi 4. Ahmad Raudi 5. Sukanto
Institusi	Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung


bahwa tulisan ilmiah yang dikirimkan oleh dosen yang bersangkutan dengan judul  
"Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas Terhadap Densitas dan Kekerasan AMC  
Diperkuat SiO<sub>2</sub>" telah kami terima dan akan kami terbitkan pada Jurnal Machine, Jurnal  
Teknik Mesin UBB dengan P.ISSN: 2502-2040 dan nomor E.ISSN 2581-0138, Volume 9  
Nomor 1 bulan April 2023. Status jurnal saat ini sedang direview oleh Mira Bestari.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bangka, 5 Desember 2022  
Redaktur,  
  
Saparin  
NIP 198612022019031009

LAMPIRAN 15

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR  
TAHLIN AKADEMIK

**JUDUL :** Pembuatan komposit Matrik Aluminium diperkuat pasir silika tailing dengan Metode metalurgi serbuk

**Nama Mahasiswa :**

1.	Muhammad Asep	NIM: 041946
2.		NIM: _____
3.		NIM: _____
4.		NIM: _____
5.		NIM: _____

Bagian yang direvisi	Halaman
Typo teks boleh ada di matrik	
Teori sintering dg diagram fase (ditambahkan)	
Gambar harus proporsional (panjang & lebar)	
Ilustrasi Gk. 2.4 harus sesuai dg standar ASTM	13
Felktungan double punch → jelaskan	10
Alasan penggunaan ball mill di mixing process (matrik)	22
Karakteristik matrik & reinforce ditambahkan	
Caracteristic / minimal kekerasan ball ditambahkan	
Kekerasan matrik lrp!	

Sungailit, 25.01.23

Penguji

*[Signature]*  
KHAM, A.W

---


Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

<p style="text-align: center;">Mengetahui, Pembimbing</p> <p style="text-align: center;"><i>[Signature]</i> Filianto</p>	<p style="text-align: center;">Sungailit, 02.02.23</p> <p style="text-align: center;">Penguji</p> <p style="text-align: center;"><i>[Signature]</i> KHAM, A.W</p>
--	---

Penyusunan Proyek Akhir | Hal. 45

LAMPIRAN 16

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR  
TAHUN AKADEMIK

JUDUL : PENBUATAN KOMPOSIT MATAH ALUMINUM  
DI PERKUAT PASIR SILIKA FALING DENGAN  
METODE MATAURSI GEBUK

Nama : 1. M. A. S. O. I. NIM: 9041046

Mahasiswa : 2. \_\_\_\_\_ NIM: \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_ NIM: \_\_\_\_\_

4. \_\_\_\_\_ NIM: \_\_\_\_\_

5. \_\_\_\_\_ NIM: \_\_\_\_\_

Bagian yang direvisi	Halaman
<u>partikel tuliran. dan</u>	
<u>Artikan Bendanya kearah</u>	
<u>Mane.</u>	
<u>dan tuliran.</u>	

Sunggaliat, 2-1-2023

Penguji  
Zulfatmizato


Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

<p>Mengetahui, Pembimbing</p> <p><u>[Signature]</u> <u>Fulana</u></p>	<p>Sunggaliat, <u>2-2-2023</u></p> <p>Penguji</p> <p><u>[Signature]</u> <u>Zulfatmizato</u></p>
---	---

Pedoman Penulisan Akhir | Hal. 45

LAMPIRAN 17

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



FORM REVISI LAPORAN AKHIR  
TAHUN AKADEMIK

1

JUDUL : Pembuatan Komprot Matrik Aluminium Diperkuat Pasir Silika Teling dengan Metode Kestakungi Serbuk

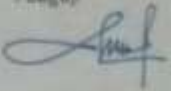
Nama Mahasiswa :

1.	Muhammad Asep	NIM: 104 1943
2.	_____	NIM: _____
3.	_____	NIM: _____
4.	_____	NIM: _____
5.	_____	NIM: _____

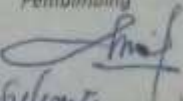
Bagian yang direvisi	Halaman
Karakteristik Silika harus dicantumkan	12
Teori miring → mechanical alloying	9
Kampak silika awal, ferrisilika + Aluminium → sintesis → diagram fase PD ke paku	20 11
→ Kekerasan → Hall paku + silika.	

Sungailiat, \_\_\_\_\_

Penguji




Menyatakan telah menyetujui revisi laporan akhir yang telah dilakukan oleh mahasiswa

<p style="text-align: center;">Mengetahui, Pembimbing</p>  <p style="text-align: center;">(Sulaksana)</p>	<p style="text-align: center;">Sungailiat, _____</p> <p style="text-align: center;">Penguji</p> <p style="text-align: center;">(_____)</p>
--	--



LAMPIRAN 18

POSTER



## SIDANG PROYEK AKHIR POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI BANGKA BELITUNG

### PEMBUATAN KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM DIPERKUAT PASIR SILIKA TAILING DENGAN METODE METALURGI SERBUK

Muhammad Asep

Dr. Sukanto, M.Eng







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

#### Latar Belakang







Pada umumnya, pembuatan komposit resin beresak menggunakan material dan adiktiva, akan tetapi komposit resin yang terbuat dari adiktiva sangat berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu perlu dikembangkan inovasi yang ramah lingkungan, salah satunya komposit matrik logam yang diperkuat dengan keramik. Metode yang digunakan untuk membuat komposit dari aluminium yaitu metode metalurgi serbuk yang meliputi proses penyaluran, pencampuran serbuk, kompaksi dan sintering.

#### Pembuatan dan Pengujian Komposit AMC Diperkuat SiO<sub>2</sub>

**SERBUK ALUMINIUM**


**PASIR SILIKA TAILING**


#### Data dan Grafik Uji Densitas dan Kekerasan

Uji Densitas				Uji Kekerasan			
No	Resin (%)	Al (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Uji Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Uji Kekerasan (HV)	Uji Kekerasan (HV)	Uji Kekerasan (HV)
1	100	0	0	2,368	10	10	10
2	90	10	0	2,368	15	15	15
3	80	20	0	2,368	20	20	20
4	70	30	0	2,368	25	25	25
5	60	40	0	2,368	30	30	30
6	50	50	0	2,368	35	35	35
7	40	60	0	2,368	40	40	40
8	30	70	0	2,368	45	45	45
9	20	80	0	2,368	50	50	50
10	10	90	0	2,368	55	55	55
11	0	100	0	2,368	60	60	60

**Nilai Kekerasan Berdasarkan Suhu Sintering**



**Nilai Kekerasan Berdasarkan Suhu Sintering**



#### Kesimpulan

Hasil uji densitas dan kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan tekanan kompaksi 4000 Psi pada suhu sintering 610°C. Nilai beratnya sebesar 2,368 gram/dm<sup>3</sup> dan nilai kekerasannya 71,8 HV. Pada tekanan kompaksi dan suhu sintering tersebut, silika paling efektif pada saat ini, hal tersebut dikarenakan pada tekanan tinggi serbuk menjadi padat dan kepekatannya semakin meningkat serta pada saat sintering terjadi pengurangan pori-pori dan terbentuknya ikatan-ikatan antar partikel sehingga densitas dan kekerasannya meningkat.

#### Metode

Serbuk matrik aluminium dengan ukuran 200 µm dan pasir silika tailing dengan ukuran 60 µm, dirampatkan menggunakan mesin horizontal ball mill dengan ukuran permukaan matrik selama 4 jam. Hasil serbuk kemudian dicampur dengan silika tailing di uji Particle Size analyzer selanjutnya dilakukan proses kompaksi panas dengan suhu 500°C. Dalam selanjutnya 15 menit setiap variasi tekanan kompaksi dan suhu sintering yang digunakan yaitu 4000 Psi, 4000 Psi dan 4000 Psi serta suhu sintering yaitu 510°C, 560°C dan 610°C. Setelah selanjutnya 15 menit, komposit matrik aluminium yang dihasilkan kemudian di uji densitas dan kekerasannya.

