

**KOMPOSIT MATRIK ALUMUNIUM UNTUK APLIKASI
PADA KAMPAS REM SEPEDA MOTOR BERPENGUAT
SILIKON CARBIDA HIBRID (SIC/BA/RHA) DENGAN
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 :

Afendy Syah Genta / NIM : 1042104

**POLITEKNIK MANUFaktur NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL PROYEK AKHIR

**KOMPOSIT Matrik ALUMINIUM UNTUK APLIKASI PADA
KAMPAS REM SEPEDA MOTOR BERPENGUAT SILIKON CARBIDA
HIBRID(SiC/BA/RHA) DENGAN METALURGI SERBUK**

Oleh:
Afendy Syah Genta / NIM 1042104

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

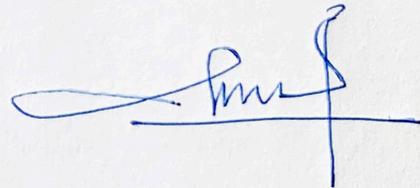
Menyetujui,

Pembimbing 1



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

Pembimbing 2



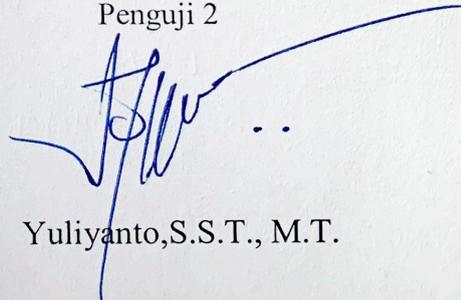
Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng

Penguji 1



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

Penguji 2



Yuliyanto, S.S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Afendy Syah Genta

NIM: 1042104

Dengan Judul : Komposit Matrik Aluminium Untuk Aplikasi pada
Kampas Rem Sepeda Motor Berpenguat Silikon Carbida Hybrid (SIC/BA/RHA)
Dengan Metalurgi Serbuk.

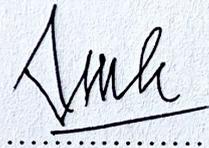
Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja saya sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 02 Desember 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

Afendy Syah Genta



.....

ABSTRAK

Perkembangan teknologi material saat ini mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam segi kampas rem sepeda motor. Seiring dengan meningkatnya permintaan, penelitian tentang berbagai jenis material terus dilakukan untuk memperoleh material dengan kualitas yang lebih baik. Pada saat ini penggunaan dari bahan asbes, menunjukkan kematian akibat asbes secara global mencapai hingga 225.000 jiwa per tahun. Saat ini kampas rem non-asbestos atau bahan alami sudah di kembangkan dari tahun 2000-an sampai saat ini, Kampas rem merupakan komponen kendaraan yang sangat penting karena memiliki fungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan laju kendaraan dengan nyaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan asbestos yang sekarang sangat marak di gunakan dan menambahkan bahan yang ramah lingkungan pada pembuatan kampas rem serta untuk mengetahui perbedaan variasi tekanan komposisi bahan dan suhu sintering terhadap uji densitas serta kekerasan komposit yang dihasilkan. Komposit ini dihasilkan dengan mencampurkan matrik aluminium dengan partikel penguat alumina (Al_2O_3), abu sekam padi (BA), dan rice husk ash (RHA) melalui teknik metalurgi serbuk. Metode ini dipilih karena dapat menghasilkan distribusi partikel penguat yang homogen serta meningkatkan sifat mekanik material. Uji mekanik yang dilakukan meliputi uji densitas dan uji kekerasan untuk mengevaluasi kinerja komposit yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Alumina, BA, dan RHA dalam matrik aluminium meningkatkan kekerasan, kedap air, dan ketahanan aus material, menjadikannya pilihan yang potensial untuk aplikasi kampas rem sepeda motor yang ramah lingkungan. Dengan demikian, komposit hibrid ini dapat memberikan solusi untuk mengurangi penggunaan kampas rem yang menggunakan bahan asbestos demikian penggunaan komposit hibrid akan meningkatkan performa dan daya tahan kampas rem sepeda motor.

Kata kunci: abu sekam padi, kampas rem, komposit matrik aluminium, metalurgi serbuk, silikon karbida.

ABSTRACT

The development of material technology is currently experiencing very rapid progress in terms of motorcycle brake linings. As demand increases, research on various types of materials continues to be carried out to obtain better quality materials. Brake pads are a very important vehicle component because they function to reduce speed and stop the vehicle comfortably. This research aims to reduce the use of asbestos materials which are now very widely used and add environmentally friendly materials to the manufacture of brake linings and to determine the differences in pressure variations of material composition and sintering temperature on the density and hardness tests of the resulting composites. This composite is produced by mixing aluminum matrix with alumina reinforcing particles (Al_2O_3), rice husk ash (BA), and rice husk ash (RHA) using powder metallurgy techniques. This method was chosen because it can produce a homogeneous distribution of reinforcing particles and improve the mechanical properties of the material. The mechanical tests carried out include density tests and hardness tests to evaluate the performance of the resulting composite. The research results show that the addition of Alumina, BA, and RHA in the aluminum matrix increases the hardness, water resistance, and wear resistance of the material, making it a potential choice for environmentally friendly applications of motorcycle brake linings. Thus, this hybrid composite can provide a solution to reduce the use of brake linings that use asbestos material, so the use of hybrid composites will increase the performance and durability of motorbike brake linings.

Key words: aluminum matrix composite, brake canvass, powder metallurgy, rice husk ash, silicon carbide.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir yang berjudul “Pengamatan Komposit Matrik Alumunium untuk Kampas Rem Sepeda Motor Berpenguat Silikon Carbida Hibrid (SIC/BA/RHA) dengan Metalurgi Serbuk” sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Diploma IV Teknik Mesin dan Manufaktur Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Sholawat serta salam selalu tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Proyek akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan Program Diploma IV (D-IV) Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Tidak dapat disangkal bahwa butuh usaha yang keras, kegigihan, dan kesabaran, dalam penyelesaian pengerjaan proyek akhir ini. Namun disadari karya ini tidak akan selesai tanpa orang-orang tercinta disekeliling saya yang mendukung dan membantu. Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada:

1. Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya, dan orang terdekat yang selalu memberikan kasih sayang serta atas kesabarannya yang luar biasa dalam meningkatkan semangat penulis, yang merupakan anugerah terbesar dalam hidup. Penulis berharap dapat menjadi anak yang dapat membanggakan orang tua.
3. Bapak Sugiyarto, S.S.T., M.T. dan Dr. Sukanto, S.S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.

4. Bapak I Made Andik Setiawan M.Eng., Ph. D selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah banyak memberikan kemudahan dalam menyelesaikan pendidikan.
5. Bapak Pristiansyah, S.S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Bapak Boy Rollastin, S.Tr., M.T selaku Kepala Program Studi D4 Teknik Mesin dan Manufaktur.
7. Teman-teman saya Hafiz Nopal Ridani, Alek, Adhe Fajarul Rahman, Fahrian Hasbi dan semuanya yang telah mengajarkan penulis arti kekeluargaan, tanggung jawab, dan kepedulian.

Terima kasih banyak atas segala kebersamaan dan waktu yang telah kalian berikan kepada penulis selama ini. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah mendidik dan memberikan ilmu yang bermanfaat selama kuliah.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
DAFTAR ISI.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu	5
2.2. Komposit.....	6
2.2.1. Definisi Komposit.....	6
2.2.2. Klasifikasi Material Komposit	6
2.3. Mesin <i>Ball Mill</i>	8
2.4. Metalurgi Serbuk.....	8
2.5. <i>Mixing</i> (Pencampuran Serbuk).....	9
2.6. Uji Densitas.....	9
2.7. Uji Kekerasan.....	10
3.3. Bahan dan Alat Penelitian.....	12
3.3.2. Alat Penelitian.....	14
BAB IV PEMBAHASAN.....	22
4.1. Hasil Pencampuran.....	22
4.2. Spesimen Sebelum Pengujian	22
4.3. Analisis Uji Densitas Sebelum Sintering	23
4.4.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Kekerasan Sebelum Sintering.....	25
4.5.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Setelah Sintering	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	30

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kering (Gram)	23
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Basah (Gr) 15 Menit	24
Tabel 4. 3 Data Kekerasan Sebelum <i>Sintering</i>	25
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kering (Gram)	27
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Basah (G) 15 Menit	27
Tabel 4. 6 Analisa Uji Kekerasan Setelah <i>Sintering</i>	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir	11
Gambar 3. 2 Serbuk Aluminium Hasil Daur.....	12
Gambar 3. 3 Alumina Hybrid.....	13
Gambar 3. 4 Rha (<i>Rice Husk Ash</i>)	13
Gambar 3. 5 <i>Bagasse Ash</i>	14
Gambar 3. 6 (Timbangan Digital).....	14
Gambar 3. 7 <i>Ball Mill Machine</i>	15
Gambar 3. 8 Mesin Press Hidrolik.....	15
Gambar 3. 9 Cetakan.....	16
Gambar 3. 10 <i>Thermocouple</i>	16
Gambar 3. 11 Alat Pengukur Suhu (Thermogun)	17
Gambar 3. 12 Oven	17
Gambar 3. 13 Gelas Ukur.....	18
Gambar 3. 14 Alat Uji <i>Portable</i>	18
Gambar 3. 15 Alat Uji Densitas	19
Gambar 4. 1 Hasil Pencampuran.....	22
Gambar 4. 2 Spesimen Sebelum Pengujian	23
Gambar 4. 3 Grafik Hasil Uji Densitas Sebelum <i>Sintering</i>	24
Gambar 4. 4 Grafik Hasil Uji Kekerasan Sebelum <i>Sintering</i>	26
Gambar 4. 5 Grafik Uji Densitas Setelah <i>Sintering</i>	28
Gambar 4. 6 Grafik Uji Kekerasan Setelah <i>Sintering</i>	29

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini perkembangan teknologi material semakin pesat dan berkembang pesat. Dengan meningkatnya permintaan, penelitian terhadap material yang berbeda terus dilakukan untuk mendapatkan material/kualitas yang lebih baik [1]. Khususnya pada bidang otomotif dalam pembuatan komponen pada kendaraan, karena meningkatnya permintaan aluminium dan mahalnya biaya Produksi aluminium primer, proses pembuatan AMC menggunakan paduan Aluminium matriks yang diperkuat dengan alumina hibrid, *bagasse ash* dan *rice Husk ash* sangat penting untuk di kembangkan, kebutuhan material pada komponen kendaraan khususnya pada motor yaitu pada sistem pengereman, dan sistem pengereman pada kendaraan mempunyai peranan yang sangat penting untuk keamanan dan keselamatan bagi pengendara, komponen rem yang saling bergesekan harus memiliki kekerasan yang sesuai dengan setandar yang sudah di tentukan seperti tahan terhadap gesekan (tahan aus), tahan panas serta tidak mudah berubah wujud pada saat temperatur tinggi [2]. Saat ini perkembangan teknologi material semakin pesat dan berkembang pesat. Dengan meningkatnya permintaan, penelitian terhadap material yang berbeda terus dilakukan untuk mendapatkan material/kualitas yang lebih baik [1]. Khususnya pada bidang otomotif dalam pembuatan komponen pada kendaraan, karena meningkatnya permintaan aluminium dan mahalnya biaya Produksi aluminium primer, proses pembuatan AMC menggunakan paduan Aluminium matriks yang diperkuat dengan alumina hibrid, *bagasse ash* dan *rice Husk ash* sangat penting untuk dikembangkan, kebutuhan material pada komponen kendaraan khususnya pada motor yaitu pada sistem pengereman, dan sistem pengereman pada kendaraan mempunyai peranan yang sangat penting untuk keamanan dan keselamatan bagi pengendara, komponen rem yang saling bergesekan harus memiliki kekerasan yang sesuai dengan setandar yang sudah di tentukan seperti tahan terhadap gesekan (tahan aus), tahan panas serta tidak mudah berubah wujud pada saat temperatur tinggi [2].

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 sintesis serta keramik [3]. Dari laporan penelitian yang dilakukan International Labour Organization (ILO) dari beberapa negara asbestos menyumbang 54,7 % penyakit kanker paru-paru yang disebabkan oleh asbestos, kanker paru-paru yang disebabkan oleh asbestos ini adalah *Mesothelioma*, 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 [4].

Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif baru untuk memenuhi kebutuhan material tersebut, alternatif yang sekarang banyak dikembangkan ialah komposit matriks aluminium. Komposit matriks aluminium merupakan material komposit logam yang menggunakan aluminium sebagai matriksnya serta oksida logam, karbida dan lain-lain yang digunakan sebagai bahan penguat dari matriks tersebut. Hal itu dikarenakan komposit matriks 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 matriks 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 ke proses 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]. Kemudian, komponen yang digunakan selanjutnya adalah ampas tebu (*Baggase Ash*) yang merupakan hasil dari proses penggilingan tebu setelah diambil airnya. Di Indonesia limbah ampas tebu sangatlah berlimpah karena dengan banyaknya pabrik gula dari tebu, baik dari yang dikelola oleh negara (PT Perkebunan Nusantara/PTPN) atau yang dikelola oleh swasta [10]. Kementerian pertanian mengatakan bahwa “Pada tahun 2023 ini pabrik gula di Indonesia sudah sebanyak 59 pabrik gula dari 24 perusahaan gula, peningkatan ini dikarenakan produktivitas tebu meningkat”. Ampas tebu yang dihasilkan dari pabrik gula dapat mencapai lebih dari 38 kuintal perhari. Jumlah pemanfaatan ini belum berbanding dengan jumlah ampas tebu yang ditampung seiring semakin meningkatnya proses produksi tebu pada musim giling [11].

Dari limbah ampas tebu yang sangat melimpah sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan dengan baik. Pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah ampas tebu sebagai alternatif baru pengganti bahan asbestos pada kampas rem. Limbah pertanian yang dihasilkan dari proses penggilingan padi disebut *Rice Husk Ash* (RHA). *Rice Husk Ash* merupakan bagian dari sekam padi yang tersisa setelah biji padi dipisahkan dari sekamnya. Sekam padi yang terbakar menghasilkan abu yang dikenal sebagai *Rice Husk Ash*, yang memiliki sejumlah besar silica sehingga membuatnya memiliki sifat yang unik dan mungkin bermanfaat dalam berbagai aplikasi [12]. Metode kompaksi panas dalam pembuatan *Aluminium Matrix Composites* (AMC) telah menjadi salah satu pendekatan yang umum digunakan. Proses kompaksi panas pada serbuk aluminium atau matriksnya memiliki sejumlah keuntungan yang signifikan seperti peningkatan sifat kelembapan pada serbuk matriks, meningkatkan ikatan mekanik antar muka serbuk, distribusi yang lebih merata, serta reduksi porositas.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengurangi bahan asbestos pada pembuatan kampas rem?
2. Bagaimana pengaruh variasi tekanan komposisi bahan dan suhu sintering terhadap nilai kekerasan dan gesek komposit matrik Alumunium?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengurangi penggunaan bahan asbestos dan menambahkan bahan yang ramah lingkungan pada pembuatan kampas rem.
2. Untuk mengetahui pengaruh perbedaan variasi tekanan komposisi bahan dan suhu sintering terhadap uji densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan.

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 pengamatan komposit matrik alumunium untuk kampas rem sepeda motor berpenguat Alumina Hibrid (Al₂O₃/BA/RHA) dengan metalurgi serbuk. Oleh sebab itu, penelitian ini harus mempunyai acuan dari berbagai sumber salah satunya penelitian sebelumnya yang telah meneliti dengan bahan yang sama. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Smith (2018) [13] dalam jurnal “*Advanced Materials in Engineering*”, Penggunaan serat Alumina dalam komposit matrik alumunium mampu meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan material. Hal ini dapat menjadi dasar untuk mengembangkan kampasrem sepeda motor yang lebih tahan lama dan efisien. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Johnson (2017) dalam jurnal “*Materials Science and Engineering*” menunjukkan bahwa penambahan BA dan RHA dalam komposit juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan keausan. Penelitian lainnya yang relevan dengan penggunaan serbuk aluminium dalam komposit untuk aplikasi kampas rem adalah penelitian yang dilakukan oleh Simbolon, Martin Adi Putra [15] yang menggunakan sepeda motor Satria Fu 150 untuk menguji karakteristik performa kampas rem yang dibuat menggunakan serbuk sabut kelapa dan serbuk alumunium. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk sabut kelapa dan serbuk alumunium dalam komposit dapat meningkatkan kekerasan dan keausan kampas rem.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Untoro H.T [16], komposisi kampas rem berubah-ubah mengikuti perkembangan teknologi, dan beberapa peneliti mencoba meneliti bahan lain yang mampu menggantikan bahan asbes yang berbahaya. Bahan seperti serbuk kulit mete dan skrap alumunium telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk meningkatkan kinerja kampas rem. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Azis [17] tentang analisa pengaruh komperesibilitas

metalurgi bubuk 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 dilakukan kompaksi 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 g/cm³ 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 [18]. 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. Memiliki bobot yang ringan.
- c. Biaya pembuatan material komposit yang lebih murah.

2.2.2. Klasifikasi Material Komposit

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 [19].

Berdasarkan bahan penguat, material komposit dapat diklasifikasikan menjadi komposit serat, komposit lamina, komposit partikel dan komposit lapis.

1. Komposit Serat

Komposit serat merupakan jenis komposit yang menggunakan serat sebagai penguat. Serat yang digunakan biasanya berupa serat gelas, serat karbon, serat aramid dan sebagainya. Serat ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman. 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

Komposit partikel merupakan komposit yang menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matrik. Komposit yang terdiri dari partikel dan matrik yaitu butiran (batu, pasir) yang diperkuat semen yang kita jumpai sebagai beton, senyawa kompleks kedalam senyawa kompleks. Dan material komposit yang menggunakan penguat dari bahan partikel serbuk dan dapat menyebar secara merata pada matriknya.

3. Komposit Lapis

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*. 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 [20]. Adapun langkah-langkah dari proses metalurgi serbuk yakni:

2.5. *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 diiberikannya 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.

2.6. Uji Densitas

Uji densitas adalah pengukuran massa per satuan volume suatu benda untuk mengetahui tingkat kerapatan atau kepadatan suatu benda seperti yang saat ini menjadi penelitian saya kampas rem. Uji densitas penting untuk menentukan kualitas bahan dalam pengujian untuk membandingkan tingkan kualitas pencetakan benda kerja, Densitas juga dapat menentukan kualitas sampel yang akan digunakan dalam penelitian. Standar pengujian ASTM B962-17 digunakan untuk menguji densitas. Hukum Archimedes mengatakan bahwa benda dapat mengapung, melayang, atau tenggelam ketika sebagian atau seluruhnya dimasukkan ke dalam fluida atau air. Ini adalah dasar pengujian densitas. Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai densitas:

Keterangan:

- ρ_m = densitas aktual (gram/cm³)
- m_s = massa sampel kering (gram)
- m_g = massa sampel yang digantung dalam air (gram)
- ρ_{H_2O} = massa jenis air = 1 gram/cm³

2.7. Uji Kekerasan

Ketahanan suatu material terhadap gaya penekanan yang lebih kuat dikenal sebagai kekerasan. Pengujian kekerasan komposit menentukan ketahanan suatu material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Ini dapat dilakukan dengan beberapa metode pengujian termasuk *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*, yang banyak digunakan karena mudah digunakan dan tidak membutuhkan keahlian khusus. Terdapat beberapa metode pengujian kekerasan seperti *Rockwell*, *Vickers*, dan *Brinell*:

1. Metode *Rockwel*: Digunakan secara luas karena prosesnya yang sederhana dan tidak memerlukan keahlian khusus.
2. Metode *Vickers*: Digunakan untuk menentukan kekerasan material dengan mengukur daya tahan material terhadap intan piramida dengan sudut puncak 136° .
3. Metode *Brinell*: Digunakan untuk menentukan kekerasan material berdasarkan daya tahan terhadap bola baja yang ditekan pada permukaan material yang diuji.

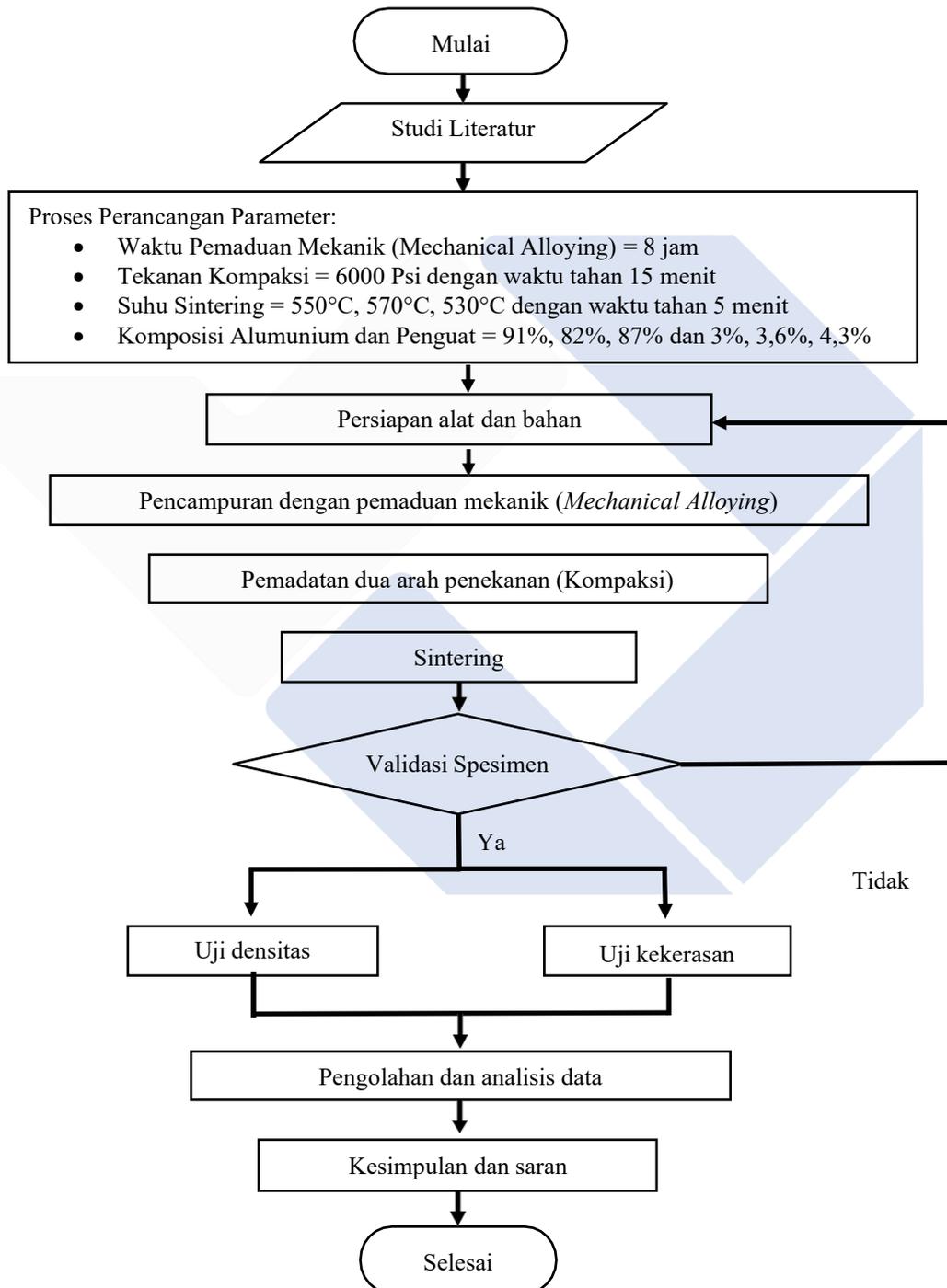
Dalam penelitian ini, kekerasan diuji dengan alat uji kekerasan yang dapat dibawa yang memiliki beban penekanan 2 kg dan indentor berbentuk bola berdiameter 2 mm. Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar pengujian ASTM E110-14.

BAB III

METODOLOGI PELAKSANAAN

3.1 Metode Pelaksanaan

Metode Pelaksanaan Di bawah ini adalah diagram alir menggambarkan tahapan dalam 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 di 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:

3.3.1.1. Alumunium

Serbuk aluminium hasil daur ulang pada penelitian ini digunakan serbuk aluminium hasil daur ulang yang mempunyai komposisi senyawa 74%Al,23% Cu Fe₂O₃ 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

3.3.1.2. Alumina

Alumina, juga dikenal sebagai oksida aluminium (Al_2O_3), atau aluminium oksida, adalah senyawa kimia yang terbentuk dari kombinasi aluminium dan oksigen. Alumina diperoleh dari biji bauksit melalui serangkaian proses ekstraksi yang melibatkan rafinasi dan pemurnian. Alumina itu sendiri memiliki keunggulan seperti kekerasan tinggi namun getas, tahan terhadap keausan, kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*) tinggi, konduktivitas termal baik, kemampuan ukuran dan bentuk yang baik, serta resistensi terhadap asam dan alkali pada temperatur tinggi, ditunjukkan gambar 3.3 dibawah ini.



Gambar 3. 3 Alumina Hybrid

3.3.1.3. RHA (*Rice Husk Ash*)

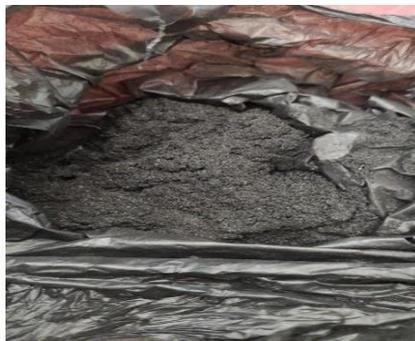
Serbuk *rice husk ash* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan 82,7% Si, 2,97% K, dan 4,74% Ca, dan 9,59% unsur lain. Berikut gambar serbuk RHA yang digunakan pada penelitian. Ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3. 4 RHA (*Rice Husk Ash*)

3.3.1.4. BA (*Bagasse Ash*)

Abu ampas tebu merupakan abu yang dihasilkan dari proses pembakaran ampas tebu. Ampas tebu sendiri merupakan hasil limbah buangan yang berlimpah dari proses pembuatan gula kurang lebih 30% dari kapasitas giling. Kandungan yang dimiliki ampas tebu berupa hemiselulosa 23-35 %, lignin sebesar 18-24 % dan selulosa sebesar 40-50%. Berikut merupakan senyawa kimia yang ada pada abu ampas tebu di tunjukkan pada Table 3.5 Berikut ini.



Gambar 3. 5 Bagasse Ash

3.3.2. Alat Penelitian

Pada proses penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut :

3.3.2.1. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan dengan ketelitian 0,01 gram sebagai alat untuk menimbang berat serbuk aluminium dan alumina yang digunakan pada penelitian ini. Berikut ini gambar timbangan digital yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.6 dibawah ini:



Gambar 3. 6 (Timbangan Digital)

3.3.2.2. *Ball mill machine*

Ball mill machine digunakan untuk pencampur bahan yaitu serbuk aluminium abu tebu (*baggage ash*, abu sekam padi (*rice husk Ash*) dan alumina, mesin ini juga dapat menghancurkan serbuk menjadi partikel partikel menjadi lebih halus lagi karena didalam tabung mesin di berikan juga bola besi kecil-kecil. Berikut ini gambar *Ball mill machine* yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3. 7 *Ball mill machine*

3.3.2.3. *Mesin Press Hidrolik*

Mesin *Press Hidrolik* digunakan untuk memadatkan serbuk dengan cara menekan/mengompaksi serbuk aluminium dan bahan lainnya yang sudah diaduk untuk dibentuk sesuai dengan cetakan. Mesin *press* hidrolik yang digunakan pada penelitian ini ialah menggunakan ram atas dan bawah yang terdapat menometer atau alat ukur tekanan. Berikut ini gambar mesin *press* hidrolik yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3. 8 *Mesin Press Hidrolik*

3.3.2.4. 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 3.9 dibawah ini.



Gambar 3. 9 Cetakan

3.3.2.5. *Thermocouple*

Alat ini digunakan untuk memanaskan paduan serbuk aluminium dan bahan lainnya dengan suhu yang telah ditentukan, proses pemanasan ini dilakukan secara bersamaan dengan proses penekanan/kompaksi panas. Berikut ini gambar *Thermocouple* yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.10 dibawah ini.



Gambar 3. 10 *Thermocouple*

3.3.2.6. Alat Pengukur Suhu (*Thermogun*)

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu pada alat pemanas/*hermocouple* pada saat proses kompaksi. Berikut ini gambar *Thermogun* yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.11 dibawah ini.



Gambar 3. 11 Alat Pengukur Suhu (*Thermogun*)

3.3.2.7. Oven/*furnace*

Oven digunakan sebagai alat pemanas sampel komposit yang telah selesai di cetak pada proses pengepresan. Berikut ini gambar oven yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3. 12 *Oven*

3.3.2.8. Gelas ukur

Gelas ukur berfungsi sebagai wadah menampung air aquades yang diisi secara penuh sebelum sampel dimasukkan ke dalamnya. Berikut ini gambar gelas ukur yang digunakan, ditunjukkan gambar 3.13 dibawah ini.



Gambar 3. 13 Gelas Ukur

3.3.2.9. Alat Uji Kekerasan *Portable*

Alat uji ini digunakan untuk menguji kekerasan sampel. Berikut ini gambar alat uji kekerasan *portable* yang digunakan pada penelitian ini, ditunjukkan gambar 3.14 dibawah ini.



Gambar 3. 14 Alat Uji *Portable*

3.3.2.10. 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 3.15 dibawah ini.



Gambar 3. 15 Alat Uji Densitas

3.4. Proses Penelitian

Berikut ini adalah proses prosedur penelitian yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Proses *Mixing*

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

2. Proses Kompaksi

Tujuan dari proses kompaksi panas adalah untuk memadatkan serbuk yang digunakan. Proses ini menggunakan mesin press hidrolik dengan dua hidrolik (atas

dan bawah) dan dilengkapi dengan alat pembaca tekanan. Serbuk dipanaskan menggunakan *thermocouple*, dan cetakan yang digunakan berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Sebelum memulai proses kompaksi panas, cetakan ditempatkan pada alat kompaksi dan serbuk yang telah dicampur dimasukkan secara merata ke dalam cetakan. Kemudian, cincin besi diletakkan di atas cetakan untuk menekan serbuk. Cetakan ditekan menggunakan mesin hidrolik dua arah yang dilengkapi dengan alat ukur tekanan. Tekanan yang diberikan selama kompaksi panas adalah 6000 Psi dengan waktu tahan selama 18 menit. Proses ini dilakukan pada suhu 400°C di area pemanas yang mengelilingi cetakan. Setelah proses kompaksi panas selesai, tunggu agar cetakan dingin setelah itu keluarkan sampel dari cetakan.

3. Proses *Sintering*

Proses *sintering* bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel pada serbuk. Pada saat proses *sintering*, sampel yang telah dicetak dimasukkan ke dalam furnace atau oven. Variasi suhu *sintering* yang digunakan adalah 595°C, 600°C, dan 605°C, dengan waktu tahan (*holding time*) selama 10 menit. Setelah proses *sintering* selesai, sampel dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan pada suhu ruangan.

3.5. Validasi Spesimen

Proses *sintering* bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar partikel pada serbuk. Pada saat proses *sintering*, sampel yang telah dicetak dimasukkan ke dalam *furnace* atau oven. Variasi suhu *sintering* yang digunakan adalah 595°C, 600°C, dan 605°C, dengan waktu tahan (*holding time*) selama 10 menit. Setelah proses *sintering* selesai, sampel dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan pada suhu ruangan.

3.6. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dengan menimbang sampel menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan massa sampel. Proses ini melibatkan dua tahap penimbangan: pertama, menimbang sampel dalam kondisi kering sebelum dimasukkan ke dalam air, dan kedua, menimbang sampel setelah dimasukkan ke dalam air (kondisi basah). Data yang diperoleh dari kedua penimbangan ini kemudian

dibandingkan antara massasampel kering dan massa sampel dalam air. Perbandingan ini digunakan untuk menghitung densitas (ρ) sampel. Pengujian densitas ini mengikuti standar ASTM B962-17.

3.7. Pengujian Kekerasan

Untuk mendapatkan nilai kekerasan dari spesimen yang telah dicetak dalam penelitian ini, dilakukan uji kekerasan pada spesimen tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan portable yang memiliki beban penekanan sebesar 2 kg dan indentor berbentuk bola dengan diameter 2 mm. Alat uji ini dipilih karena kemudahannya dalam penggunaan, serta hasil pengujian kekerasan dapat langsung dibaca pada layar alat tersebut dan segera dicatat. Proses pengujian kekerasan ini mengikuti standar ASTM E110-14.

3.8. 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, BA dan RHA.

3.9. Analisis Data

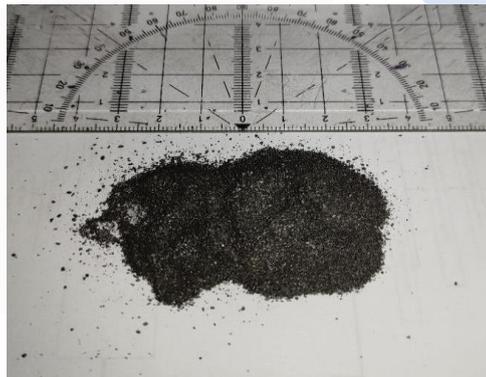
Analisis data pada penelitian ini menggunakan metode desain eksperimen faktorial. Dengan kompaksi panas dan suhu *sintering* sebagai faktor yang memiliki 3 level. Level antar parameter dapat dipangkatkan dengan banyaknya faktor sehingga didapatkan 9 kombinasi parameter dengan pengulangan sebanyak 3 kali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

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pencampuran

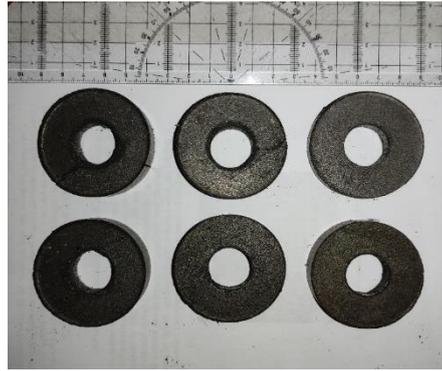
Pada proses pencampuran mekanik pada komposit matrik alumunium yang diperkuat alumina, *rice husk ash*, dan *baggage ash* terjadi pencampuran dan penghalusan di dalam tabung mesin ball mill secara simultan. Berat serbuk yang di campurkan dalam sekali penghilangan adalah 350gram dan waktu yang di perlukan untuk mendapat kehalusan serbuk di inginkan selama 6 jam penggilingan. proses pencampuran mekanik menggunakan ball mill ini menggunakan kecepatan putaran mesin adalah 90 rpm, berikut merupakan gambar hasil pencampuran mekanik di tunjukkan pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4. 1 Hasil Pencampuran

4.2. Spesimen Sebelum Pengujian

Pada penelitian ini, sampel berbentuk cincin dengan diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, serta ketebalan rata-rata 9 mm sampai 10 mm. Pengujian dilakukan dengan alat uji densitas dan kekerasan pada sampel komposit matrik alumunium yang diperkuat alumina, *rice husk ash*, dan *baggage ash*. Berikut adalah gambar sampel hasil proses komposisi panas ditunjukkan pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Spesimen Sebelum Pengujian

4.3. Analisis Uji Densitas Sebelum *Sintering*

Sebelum melakukan uji densitas, langkah pertama adalah mempersiapkan alat-alat untuk uji densitas seperti *aquadest*, gelas ukur, tiang besi dan timbang digital. Setelah peralatan disiapkan langkah selanjutnya adalah menimbang sampel dalam kondisi kering setelah itu menimbang sampel dalam keadaan basah dengan memasukkan sampel ke dalam cairan *aquadest*. Uji ini menerapkan standar ASTM B962-17 mengacu pada hukum Archimedes yang mengacu pada hukum Archimedes. Nilai massa jenis dan massa yang digunakan untuk menentukan massa jenis, dengan satuan gram per sentimeter kubik (g/cm^3) dan gram (g). Tabel uji densitas pada spesimen kering.

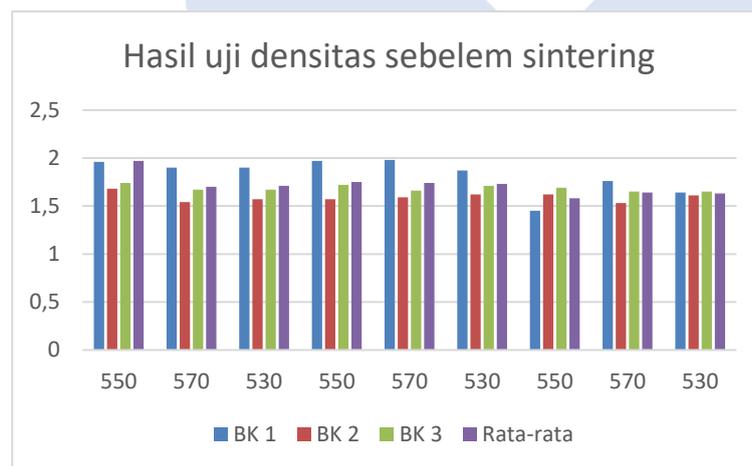
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kering (gram)

NO.	Kompaksi Panas Material				
	TEKANAN (Psi)	BK 1 (gr)	BK 2 (gr)	BK 3 (gr)	Rata-rata
1	6000	38.90	36.41	37.38	37.56
2	6000	40.00	39.87	36.94	38.93
3	6000	39.95	37.74	35.81	37.83
4	6000	38.91	37.27	37.75	37.97
5	6000	39.09	37.99	36.80	37.96
6	6000	38.83	38.19	37.43	38.15
7	6000	39.93	38.59	37.70	38.74
8	6000	40.20	39.00	36.91	38.70
9	6000	39.70	36.24	40.48	38.80

Terdapat variasi dalam nilai di setiap kategori. BK 1 menunjukkan nilai yang lebih tinggi secara keseluruhan dibandingkan dengan BK 2 dan BK 3. BK 2 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan BK 1 dan BK 3, dengan nilai terendah pada spesimen 1 (36.41) dan tertinggi pada spesimen 2 (39.87). BK 1 menunjukkan konsistensi yang baik dengan nilai yang relatif dekat satu sama lain, sedangkan BK 2 menunjukkan lebih banyak variasi.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Basah (gr) 15 Menit

NO.	Kompaksi Panas Material				Rata-rata (gr/cm ³)
	TEKANAN (Psi)	BK 1 (gr)	BK 2 (gr)	BK 3 (gr)	
1	6000	1.96	1.68	1.74	1.79
2	6000	1.90	1.54	1.67	1.70
3	6000	1.90	1.57	1.67	1.71
4	6000	1.97	1.57	1.72	1.75
5	6000	1.98	1.59	1.66	1.74
6	6000	1.87	1.62	1.71	1.73
7	6000	1.45	1.62	1.69	1,58
8	6000	1.76	1.53	1.65	1.64
9	6000	1.64	1.61	1.65	1.63



Gambar 4. 3 Grafik hasil uji densitas sebelum *sintering*

Terdapat variasi dalam nilai komposisi panas di antara spesimen yang berbeda. Nilai tertinggi untuk BK 1 adalah 1.98 (spesimen 5), sedangkan nilai terendah adalah 1.45 (spesimen 7). Untuk BK 2, nilai tertinggi adalah 1.68

(spesimen 1) dan terendah adalah 1.53 (spesimen 8). Untuk BK 3, nilai tertinggi adalah 1.74 (spesimen 1) dan terendah adalah 1.65 (spesimen 8 dan 9). Secara umum, nilai komposisi panas menunjukkan konsistensi yang baik di antara spesimen, meskipun ada beberapa outlier, seperti spesimen 7 yang memiliki nilai lebih rendah di semua kategori.

4.4. Analisis Uji Kekerasan Sebelum *Sintering*

4.4.1. Proses Pengujian Kekerasan Sebelum *Sintering*

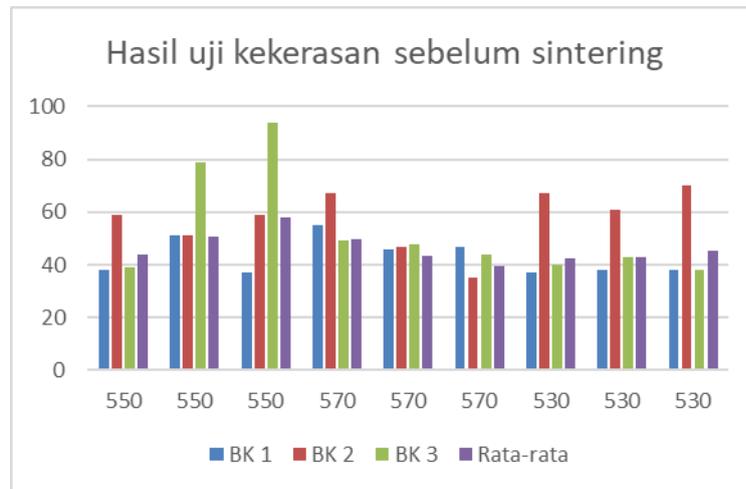
Setelah sampel dicetak langkah selanjutnya adalah mempersiapkan alat untuk pengujian kekerasan. Setelah alat pengujian disiapkan lakukan uji pada sampel dengan melakukan titik pada sampel sebanyak 3 titik setiap 1 sampel. Penelitian ini melakukan uji kekerasan dengan menerapkan standar ASTM E110- 14.6

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.

Tabel 4. 3 Data Kekerasan Sebelum *Sintering*

No.	Nilai Kekerasan (HB) Spesimen									Rata-rata (g/cm ³)
	BK 1			BK 2			BK 3			
1.	37	38	37	51	59	58	35	39	38	43.66
2.	42	51	45	51	43	46	79	52	47	50.66
3.	37	37	37	53	58	59	75	94	73	58.11
4.	55	37	34	64	61	67	49	39	40	49.55
5.	46	36	36	46	45	47	42	43	48	43.22
6.	41	42	47	34	35	34	37	40	44	39.33
7.	37	36	34	41	52	67	40	38	39	42.66
8.	38	35	38	37	52	61	41	40	43	42.77
9.	37	32	38	61	65	70	34	35	38	45.55



Gambar 4. 4 Grafik hasil uji kekerasan sebelum *sintering*

Terdapat variasi yang signifikan dalam nilai di setiap kategori. BK 1 menunjukkan nilai yang lebih rendah secara keseluruhan dibandingkan dengan BK 2 dan BK 3. BK 3 memiliki nilai tertinggi, terutama pada pengukuran spesimen 3 dan 2, yang menunjukkan nilai yang sangat tinggi (75, 94, 73 dan 79, 52, 47). BK 1 menunjukkan konsistensi yang lebih baik dengan nilai yang lebih mendekati satu sama lain, sedangkan BK 2 dan BK 3 menunjukkan lebih banyak variasi.

4.5. Analisis 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.

4.5.2. Pengolahan Data dan Analisa Data Densitas Setelah Sintering

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat timbang digital dan tiang yang digunakan untuk menggantung keranjang untuk menimbang sampel pada kondisi basah atau didalam air. Pengujian densitas mengacu pada hukum Archimedes dengan standar uji menggunakan ASTM B962-17.

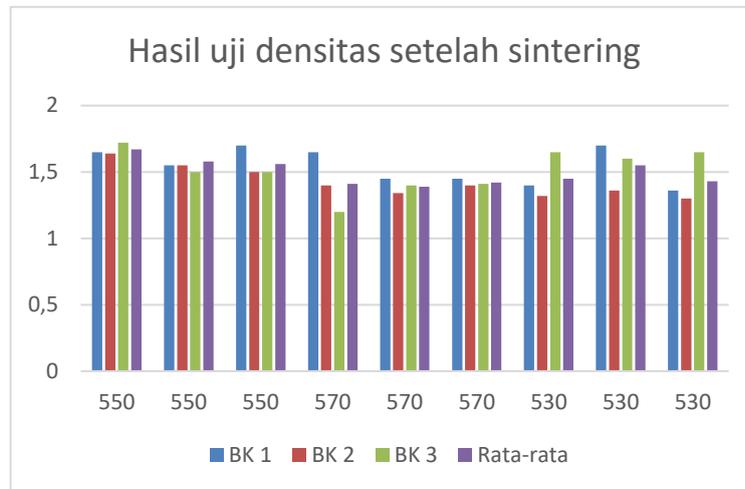
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Kering (gram)

NO.	BK. 1 (gr)	BK. 2 (gr)	BK. 3 (gr)	Suhu Sintering	Suhu Sintering
1.	37.50	30.97	32.68	33.71	550°C
2.	38.80	38.21	35.83	37.61	550°C
3.	38.55	36.84	34.42	36,60	550°C
4.	35.59	34.53	28.84	32.98	570°C
5.	37.11	31.96	31.70	33.59	570°C
6.	36.90	35.85	34.94	35.89	570°C
7.	39.10	38.21	36.43	37.91	530°C
8	39.85	38.55	35.70	38.03	530°C
9	38.55	38.75	38.29	38.53	530°C

Terdapat variasi yang signifikan dalam nilai di setiap kategori. BK 1 menunjukkan nilai yang lebih tinggi secara keseluruhan dibandingkan dengan BK 2 dan BK 3. BK 2 memiliki nilai terendah, terutama pada spesimen 1 (30.97) dan spesimen 5 (31.96), sedangkan BK 1 dan BK 3 menunjukkan nilai yang lebih konsisten. Data menunjukkan bahwa pada suhu 550°C, nilai BK 1 dan BK 2 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 570°C, di mana nilai BK 2 mengalami penurunan yang signifikan. Pada suhu 530°C, nilai BK 1 dan BK 2 menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 570°C, tetapi BK 3 menunjukkan nilai yang lebih baik pada suhu 530°C dibandingkan dengan suhu 570°C.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Basah (g) 15 menit

NO.	BK. 1 (gr)	BK. 2 (gr)	BK. 3 (gr)	Rata-rata	Suhu Sintering
1.	1.65	1.64	1.72	1.67	550°C
2.	1.70	1.55	1.50	1.58	550°C
3.	1.70	1.50	1.50	1.56	550°C
4.	1.65	1.40	1.20	1.41	570°C
5.	1.45	1.34	1.40	1.39	570°C
6.	1.45	1.40	1.41	1.42	570°C
7.	1.40	1.32	1.65	1.45	530°C
8	1.70	1.36	1.60	1.55	530°C
9	1.36	1.30	1.65	1.43	530°C



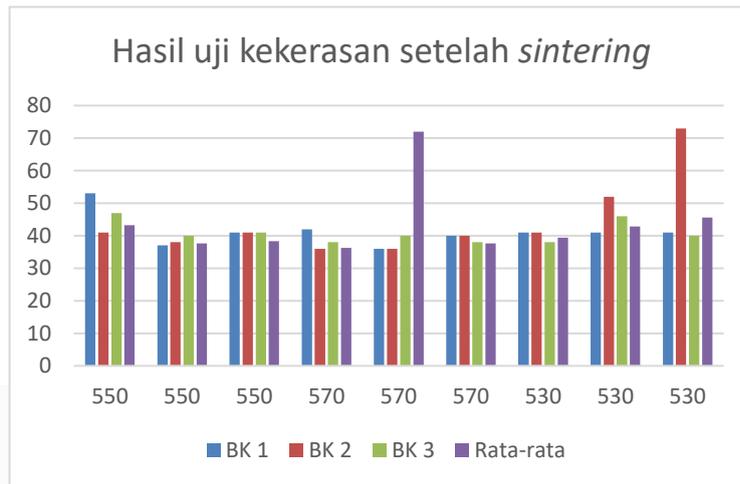
Gambar 4. 5 Grafik uji densitas setelah *sintering*

Terdapat variasi yang signifikan dalam nilai di setiap kategori. BK 1 menunjukkan nilai yang lebih tinggi secara keseluruhan dibandingkan dengan BK 2 dan BK 3. BK 2 memiliki nilai terendah, terutama pada spesimen 4 (1.40) dan spesimen 9 (1.30), sedangkan BK 1 dan BK 3 menunjukkan nilai yang lebih konsisten. Data menunjukkan bahwa pada suhu 550°C, nilai BK 1 dan BK 2 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 570°C, di mana nilai BK 2 mengalami penurunan yang signifikan. Pada suhu 530°C, nilai BK 1 dan BK 3 menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan suhu 570°C, tetapi BK 2 tetap menunjukkan nilai terendah.

Tabel 4. 6 Analisa Uji Kekerasan Setelah Sintering

No.	Nilai Kekerasan (HB) Spesimen									Suhu Sintering	
	BK 1			BK 2			BK 3				Rata-rata
1.	40	47	53	41	39	41	40	47	41	43.22	550 ⁰ C
2.	37	37	34	37	38	37	39	40	40	37.66	550 ⁰ C
3.	34	41	33	40	41	39	38	41	38	38.33	550 ⁰ C
4.	34	42	34	35	36	35	36	38	36	36.22	570 ⁰ C
5.	36	35	35	34	36	36	38	40	38	72.00	570 ⁰ C
6.	35	40	36	38	40	38	36	38	38	37.66	570 ⁰ C

7.	41	40	40	41	40	41	37	38	37	39.44	530 ⁰ C
8	39	41	39	45	52	45	46	40	39	42.88	530 ⁰ C
9.	41	40	40	39	73	60	40	37	40	45.55	530 ⁰ C



Gambar 4. 6 Grafik uji kekerasan setelah sintering

Data menunjukkan bahwa pada suhu 550°C, nilai BK 1 dan BK 2 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan suhu 570°C, di mana nilai BK 2 mengalami penurunan yang signifikan. Pada suhu 530°C, nilai BK 1 dan BK 2 menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan suhu 570°C, tetapi BK 3 tetap menunjukkan nilai yang lebih konsisten.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Perbedaan Variasi Campuran Bahan

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis simpulan yang diambil dari data dan analisis yang telah dilakukan menunjukkan konsistensi dalam hubungan tekanan kompaksi, nilai uji kekerasan, dan uji densitas pada sampel komposit yang telah diuji. Terdapat kecenderungan bahwa peningkatan tekanan kompaksi pada sampel komposit 91%, 82%, 87% matriks aluminium dengan penguat *hybrid* 3%, 3,6%, 4,3% alumina. *Baggase ash* dan *Rice husk ash* menyebabkan peningkatan nilai kekerasan. Sampel dengan tekanan kompaksi 6000 Psi menunjukkan nilai kekerasan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi campuran berkontribusi pada peningkatan kekerasan sampel.

2. Perbedaan Suhu Sintering pada Proses Komposit Matrik Aluminium

Perbedaan suhu sintering pada komposit matrik aluminium yang diperkaya dengan alumina hybrid, abu sekam padi (*rice husk ash*), dan abu ampas tebu (*bagasse ash*) dapat mempengaruhi nilai densitas dan kekerasan yang dihasilkan. Hal ini dapat dibuktikan dengan data nilai rata-rata uji densitas dan uji kekerasan sebelum dan sesudah *sintering* yang telah dilakukan, dibawah ini.

- Nilai rata-rata uji *densitas* sebelum *sintering* berkisar antara 1.45 hingga 1.98 gr/cm³.
- Nilai rata-rata uji kekerasan sebelum *sintering* dari semua spesimen adalah 34 HB hingga 94 HB, menunjukkan bahwa ada variasi yang signifikan antar pengujian.
- Nilai rata-rata uji *densitas* setelah *sintering* cenderung lebih tinggi, (Suhu 550⁰C antara 1.56 g/cm³ hingga 1.67 g/cm³), (Suhu 570⁰C antara 1.39 g/cm³ hingga 1.42 g/cm³), dan (Suhu 530⁰C antara 1.43 g/cm³ hingga 1.55 g/cm³).
- Nilai rata-rata uji kekerasan setelah *sintering* cenderung lebih tinggi,

(Suhu 550⁰C antar 43.22 HB, 37.66 HB, dan 38.33 HB),(Suhu 570⁰C antar 36.22 HB, 72.00 HB, dan 37.66 HB), (Suhu 530⁰C antar 39.44 HB, 42.88 HB, dan 45.55 HB).

5.2. Saran

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

- a. Saat mencetak sampel harus menggunakan peralatan yang *safety* seperti sarung tangan dan sepatu *safety*.
- b. Saat mencetak sampel harus dilakukan maksimal 2 orang.
- c. Lebih berhati-hati dan teliti saat melakukan pencetakan sampel agar mendapatkan hasil yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Muhammad Ngafifi (2014). Kemajuan Teknologi Dan Pola Hidup Manusia dalam Perspektif Sosial Budaya, <http://jurnal.uny.ac.id/index.php/jppfa/index>
- [2]. Muhamad, Asep (2023). Pembuatan komposit Matrik Aluminium diperkuat Pasir Silika Tailing Timah dengan Metode Metalurgi Serbuk, 1–7.
- [3]. 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.
- [4]. P. Fauziah, “Seminar Asbestos: Racun Berhambur di Negeri Bencana,” 2019.
- [5]. M. Syahid, A. Hayat, and Aswar, “Effect of Graphite Addition on Aluminum Hybrid Matrix Composite by Powder Metallurgy Method,” *Rev. Des Compos. DesMater. Av.*, vol. 32, no. 3, pp. 125–132, 2022, doi: 10.18280/rcma.320303
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [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]. A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati, Silva Kurniawan, Nalita Widya Restu, Bambang Ismuyanto, “Potensi ampas tebu sebagai alternatif bahan baku pembuatan karbon aktif,” *Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. NATURAL B*, Vol. 3, No. 4., 2016.,

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:194677973>.

- [11]. Ditjenbun “Tingkatkan Protas Tebu Menuju Swasembada Gula Nasional,” Kementerian Pertanian Direktorat Jendral Perkebunan, Rabu, 10 Mei 2023 09:05AM., <https://ditjenbun.pertanian.go.id/tingkatkan-protas-tebu-menuju-swasembada-gula-nasional/>
- [12]. Dylan, A., Sugiyarto, S., Wanto, A., Budi, A., & Sukanto, S. (2023). THE UKPembuatan Komposit Matrik Aluminium Diperkuat Silicon Carbida Dan Rice Husk Ash dengan Metode Metalurgi Serbuk. LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana, 10(02), 61-68.
- [13]. Smith, J. Et al. (2018). “Enhancing Mechanical Properties of Aluminum Matrix Composites”. *Advanced Materials in Automotive Engineering*, 45-56.
- [14]. D. S. W. Santoso, Yuyun Estriyanto, “Studi Pemanfaatan Campuran Serbuk Tempurung Kelapa-Aluminium Sebagai Material Alternatif Kampas Rem Sepeda Motor Non-Asbestos,” *J. Chem. Inf. Model.*, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [15]. Simbolon, Martin Adi Putra. 2018. Studi Eksperimental Karakteristik Performa Kampas Rem Serbuk Sabut Kelapa Dengan Menggunakan Sepeda Motor Satria Fu 150. *Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*. [16]. Untoro, H.T., 2010, Pengaruh Lingkungan Terhadap Keausan, Daya, Koefisien Gesek, Suhu Kampas Rem, dan Waktu Pengereman Kampas Rem Berbahan Fiberglass, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [17]. 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.
- [18]. 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.
- [19]. A. Kaw, *Mechanic of Composite Material*. Edisi kedua. Amerika Serikat: Taylor & Francis Group, LLC. 2006.

[20]. R. Suprpto, W & Soenoko, "Teknologi Metalurgi Serbuk," Pena Mas Publ., Vol. 192, p. 10, 2015.

