

## Pembuatan Komposit AMC Hybrid Bagase Ash dan Alumina Metode Metalurgi Serbuk

Yulia Anggreni<sup>1</sup>, Sugiyarto<sup>1</sup>, Achmad Rusdy<sup>1</sup>, Ilham Ary Wahyudie<sup>1</sup>, Rodika<sup>1</sup>, Yudi Oktriadi<sup>1</sup>,  
Sukanto<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin dan Manufaktur - Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung,  
Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat, Bangka, 33211- Telp.(0717)93586,Faks.(0717)93585

\*Email: [sukanto@polman-babel.ac.id](mailto:sukanto@polman-babel.ac.id)

Revisi 30 oktober 2023; Diterima 10 November 2023,; publikasi Online 20 Desember 2023

---

**Abstrak,** Teknologi material komponen kampas rem pada industri otomotif terus berkembang pesat akhir-akhir ini. Sementara itu, kampas rem mengandung asbestos sangat berbahaya bagi kesehatan serta tidak ramah lingkungan, karena terdapat zat Carcinogenik. Apabila partikel hasil gesekan kampas rem tersebut beterbangan dan terhirup oleh manusia maka sangat berakibat fatal. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif baru untuk memenuhi kebutuhan material sebagai pengganti asbestos tersebut seperti komposit matriks aluminium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap densitas serta kekerasan AMC diperkuat BA dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode metalurgi serbuk yang terdiri dari tahap persiapan, mixing, kompaksi, dan sintering. Proses pencampuran ini menggunakan mesin ball mill dengan parameter rasio bola 10:1 dan waktu pengadukan selama 2 jam serta dengan kecepatan putaran 90 rpm. Pada proses kompaksi dilakukan dengan penekanan dua arah menggunakan mesin press hidrolis yang terdapat alat pengukur tekanan. Parameter yang digunakan pada proses kompaksi yaitu 5600, 6000, 6400 Psi dengan waktu tahan selama 15 menit. Sedangkan parameter pada proses sintering yaitu dengan suhu 550, 580, 610 °C dengan waktu tahan selama 10 menit. Pengujian densitas dilakukan dengan berpedoman pada hukum Archimedes dengan ASTM B962-17 mendapatkan hasil dengan nilai tertinggi 1,59 gr/mm<sup>3</sup>, Sedangkan pengujian kekerasan dilakukan dengan berpedoman pada uji kekerasan Brinell Portable dengan ASTM E110-14 mendapatkan hasil tertinggi dinilai 42,76 HRB, nilai tertinggi tersebut terdapat pada tekanan kompaksi 6400 Psi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan maka semakin tinggi nilai kekerasan dan densitas sampel.

**Kata kunci :** kampas rem, metalurgi serbuk, AMC hybrid BA – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, densitas, kekerasan

---

### 1. Pendahuluan

Ampas tebu (*Bagase*) 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 [1]. 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 [2]. 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.

Asbestos merupakan bahan baku kampas rem yang memiliki beberapa kelemahan yaitu dapat membuat aus piringan rem (*disc brake*) dikarenakan material yang keras, asbestos juga tidak ramah lingkungan karena menghasilkan zat *carcinogenik* apabila partikel hasil gesekannya beterbangan dan terhirup paru-paru manusia [3].

Pada umumnya, kampas rem berbahan asbestos dan beberapa senyawa lain seperti SiC, Mn atau Co. Proses pembuatan kampas rem yang berbahan penguat (*renforseid*) didistribusikan secara merata dalam matriks yang berfungsi sebagai pengikat atau perekat. Proses pencampuran dan pencetakan dilakukan untuk menciptakan campuran yang homogen dari partikel penguat dan matriks. Selama proses pemanasan, pencetakan, dan pengerasan, bahan tersebut mengalami perubahan struktural. Pemanasan ini membantu dalam pencetakan bahan dalam bentuk yang diinginkan dan juga meningkatkan ikatan antara partikel

penguat dan matriks. Akibatnya, kampas rem yang dihasilkan memiliki kekuatan, kekerasan, dan kemampuan gesek yang ditingkatkan [4]. Alternatif baru non asbestos yang akan digunakan penelitian ini yaitu aluminium sebagai matriksnya, sedangkan sebagai penguatnya akan menggunakan *hybrid baggase ash* (abu ampas tebu) dan alumina ( $Al_2O_3$ ).

Produk AMC (Aluminium Matrix Composite) sudah banyak diterapkan di industri serta otomotif karena Rasio kekuatan terhadap beratnya yang tinggi, bahkan aluminium merupakan logam ringan kedua setelah magnesium yang paling banyak digunakan dalam industri setelah besi [5][6]. komposit matriks aluminium (AMC) merupakan jenis komposit dimana aluminium bertindak sebagai matriks atau bahan dasarnya, sementara penguat lainnya seperti serat atau partikel juga digunakan dalam campurannya. AMC juga memiliki keunggulan seperti densitas yang rendah, tahan korosi, elastisitas yang baik dan tailorability mekanis atau dapat dibentuk sesuai kebutuhan[7]. Material dengan matriks aluminium diperkuat oksidasi logam, karbida, karbon dan serat alam beberapa tahun terakhir ini sudah banyak diteliti dan dikembangkan serta diaplikasikan pada komponen otomotif salah satunya yaitu diterapkan pada kampas rem [8]. Pada proses komposit matriks aluminium ini diperkuat oleh *hybrid* dari 10% *baggase ash* dan 10% alumina. Metode proses membuat komposit matriks aluminium ini dengan menggunakan metode metalurgi serbuk.

Metode membuat komposit dengan menggunakan metalurgi serbuk pada saat ini sudah banyak dikembangkan karena memiliki beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan komposit lainnya. Keuntungan pada proses metalurgi serbuk pada proses pembuatan komposit yaitu energi proses yang rendah, dan lebih ekonomis [9]. Langkah-langkah pada proses metalurgi serbuk terdiri dari pencampuran serbuk, pemadatan dan sintering. Metalurgi serbuk merupakan metode yang paling murah dari beberapa metode lainnya [10]. Proses persiapan material penyusun komposit menjadi serbuk, baik serbuk matriks maupun serbuk penguatnya lebih optimal dilakukan dengan menggunakan mesin *Radial Ball Mill* [11] Demikian juga proses pencampuran serbuk penyusun komposit dapat dilakukan dengan mesin *Radial Ball Mill* juga dengan harapan diperoleh campuran yang lebih merata, meskipun tidak mungkin dicapai homogenitas hingga 100%. [6]. Dalam proses pembuatan komposit atau material metalurgi serbuk, proses kompaksi atau penekanan sangat penting untuk meningkatkan densitas atau kerapatan material. Proses kompaksi ini dilakukan untuk mengurangi porositas dan mencapai struktur yang lebih padat. terdapat dua metode utama dalam proses kompaksi yaitu kompaksi panas dan dingin. Dalam metode kompaksi panas yang disebutkan, pemanasan serbuk pada suhu tertentu dilakukan bersamaan dengan proses penekanan menggunakan mesin press hidrolik. Suhu yang tepat dapat mempengaruhi *viskositas* serbuk dan memungkinkan distribusi gaya yang lebih merata selama proses penekanan. Sedangkan pada kompaksi dingin melibatkan penekanan atau pemadatan serbuk logam pada suhu kamar atau suhu rendah tanpa pemanasan yang signifikan. Proses ini dapat menggunakan tekanan tinggi yang diterapkan dengan mesin penekan hidrolik atau mekanis lainnya.

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. Dengan menggunakan metode kompaksi panas dalam pembuatan AMC, kombinasi yang lebih efektif antara serbuk matriks aluminium dan serbuk penguat dapat diciptakan, meningkatkan kualitas dan kekuatan material komposit yang dihasilkan [8][12]. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit matriks aluminium dengan menggunakan serbuk aluminium, serbuk alumina dan *baggase ash* dengan metode teknologi metalurgi serbuk.

## 2. Metode penelitian

Pembuatan sampel penelitian dilakukan di Bengkel Lapalo di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Kemudian, uji densitas dan kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Laboratorium Kimia pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya yang sudah membantu dalam pengujian *Particle Size Analyzer*. Sedangkan uji komposisi unsur dilakkan di Laboratorium Sentral Material Universitas Negeri Malang.

### Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan matriks dari serbuk Aluminium dengan fraksi berat 80% , dengan kandungan Al 83,4%, Si 10,06%, Cu 2,67% dan 3,87% unsur lain. Sedangkan penguatnya digunakan bahan paduan dari serbuk Alumina dan serbuk Baggase Ash, dengan masing-masing memiliki fraksi berat 10%. Serbuk Alumina memiliki kandungan Al 95,6%, P 1,8%, Ca 1,1% dan 1,28% unsur lain. Sedangkan serbuk Baggase Ash 10% memiliki kandungan Si 61,0%, Ca 16,7%, K 8,18% dan 13,57% unsur lain. Sedangkan

peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, *horizontal ball mill machine*, mesin press hidrolik dua arah, cetakan, *thermocouple*, oven, gelas ukur, alat uji kekerasan portable, alat uji densitas, dan alat uji digital mikroskopik

#### **Pencampuran dengan pemaduan mekanik metode *mechanical alloying*.**

Metode *mechanical alloying* (*Mixing*) yang menggunakan mesin *ball mill* adalah teknik yang umum digunakan untuk memadukan serbuk logam dan membuat serbuk menjadi lebih halus serta homogen. Proses ini melibatkan pencampuran dan penggerusan serbuk dalam sebuah wadah dengan bola-bola logam atau keramik yang berputar di dalamnya. Parameter proses yang digunakan dalam proses *ball milling* (penggilingan bola) ini yaitu *Ball Powder Weight Ratio* (BPR) 10:1, Kecepatan Putaran Mesin 90 rpm, Waktu Penggilingan 2 Jam. Proses pencampuran dan penggerusan dalam metode *mechanical alloying* bekerja bersama untuk menciptakan serbuk yang lebih halus, homogen, dan tercampur dengan baik. Selama proses ini, energi kinetik yang dihasilkan oleh bola-bola penggiling menyebabkan penghancuran dan pencampuran serbuk, menghasilkan serbuk yang lebih halus dari ukuran sebelumnya serta memastikan distribusi yang merata dari komponen-komponennya [13].

#### **Pemadatan dan Penekanan dua arah.**

Setelah tahapan pencampuran / *mixing* selesai, tahap selanjutnya yaitu dilakukanlah proses pemadatan atau kompaksi pada sampel hasil *mixing*. Proses kompaksi setelah tahap *mixing* adalah langkah penting dalam pembuatan komposit. Dalam penelitian ini menggunakan variasi tekanan kompaksi 5600 PSI, 6000 PSI, dan 6400 PSI dengan waktu tahan selama 15 menit digunakan untuk mengeksplorasi perbedaan dalam densitas dan kekerasan yang dihasilkan oleh material komposit dari serbuk aluminium serta hybrid Ba dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada proses kompaksi ini menggunakan suhu kompaksi 500°C dengan dilakukan Metode Kompaksi Dua Arah menggunakan Mesin Press Hidrolik dengan *Pressure Gauge*. Penggunaan mesin press hidrolik dengan alat ukur tekanan memungkinkan kontrol yang tepat terhadap tekanan yang diterapkan. Dengan satuan PSI (*pound per square inch*), ini memungkinkan untuk mengukur dan mengatur tekanan yang tepat yang diperlukan selama proses kompaksi.

#### **Validasi Spesimen.**

Pada tahapan ini, sampel uji yang sudah dicetak akan diperiksa secara visual untuk memastikan bahwa sampel telah memenuhi persyaratan seperti bentuk yang tidak sempurna (cacat), retak, atau pecah. Jika sampel masih memiliki kekurangan, maka sampel akan dicetak ulang dengan bahan dan peralatan yang telah disiapkan sesuai dengan diagram alir yang telah disusun.

#### **Uji Densitas.**

Untuk menguji densitas, sampel ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam air atau dalam keadaan kering dan setelahnya. Timbangan digital digunakan untuk menghitung massa sampel dan membandingkannya dengan massa sampel dalam keadaan basah dan kering. Uji densitas dilakukan sesuai dengan standar ASTM B962-17 [14].

#### **Uji kekerasan.**

Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan perangkat uji kekerasan portable yang memiliki beban tekanan sebesar 2 kg dan menggunakan indentor bola dengan diameter 2 mm. Alat uji ini dipilih karena cukup sederhana dan hasil uji kekerasan dapat langsung dibaca pada layar alat uji portable serta nilai yang tertera dapat langsung dicatat. Proses pengujian kekerasan mengikuti standar ASTM E110-14 [15].

#### **Pengolahan Data**

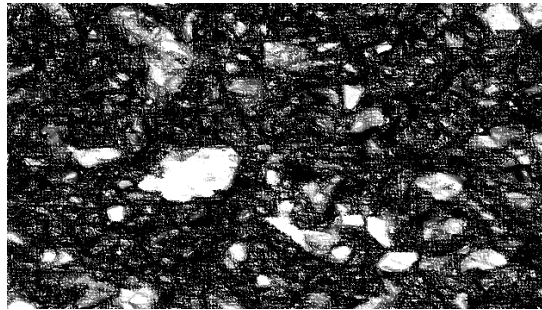
Data dari pengujian densitas dan kekerasan dimasukkan ke dalam tabel dan grafik. Untuk mengetahui bagaimana spesimen komposit matrik aluminium yang diperkuat *hybrid* Alumina dan Ba bekerja, penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial dengan 3 tingkat faktor fraksi volume dan suhu sintering untuk menganalisis data. Dengan menggunakan banyak faktor, tingkat antar parameter dapat ditingkatkan hingga mendapatkan kombinasi 9 sampel pengujian.

### **3. Hasil dan Diskusi**

Hasil dari pencampuran dengan menggunakan metode *Mechanical Alloying* selama 2 jam di tunjukkan pada gambar 1(a) dan (b) dibawah ini.

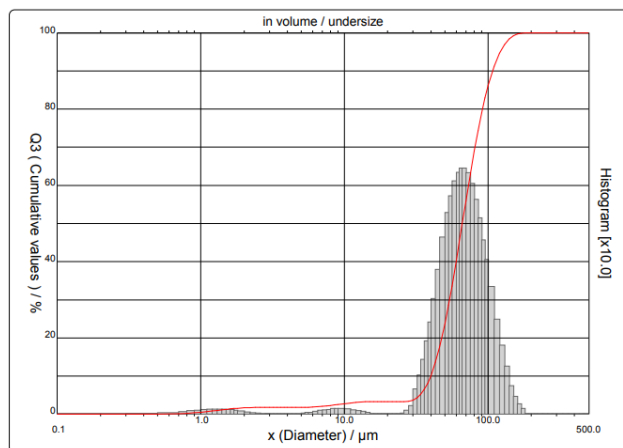


Gambar 1.(a) Serbuk hasil *mixing*



Gambar 1.(b) Pembesaran serbuk hasil *mixing* menggunakan alat digital mikroskopik.

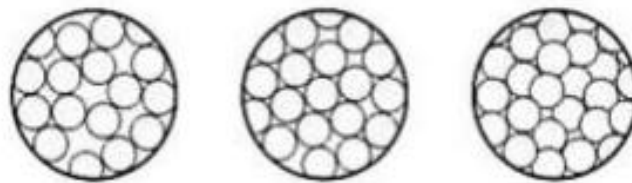
Menurut hasil pengujian *Particle Size Analyzer* (PSA) merk cilas 1173 DB 1 yang dilakukan di laboratorium FMIPA - KIMIA, Universitas Brawijaya bahwa ukuran distribusi serbuk sebanyak 10 gram didapatkan rata-rata D50:230.42  $\mu\text{m}$ . Dengan hasil pengujian bisa dilihat di gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafis sebaran hasil pencampuran serbuk (*mixing*) ukuran serbuk D50% : 230.42 dalam uji *particle size analyzer* (PSA).

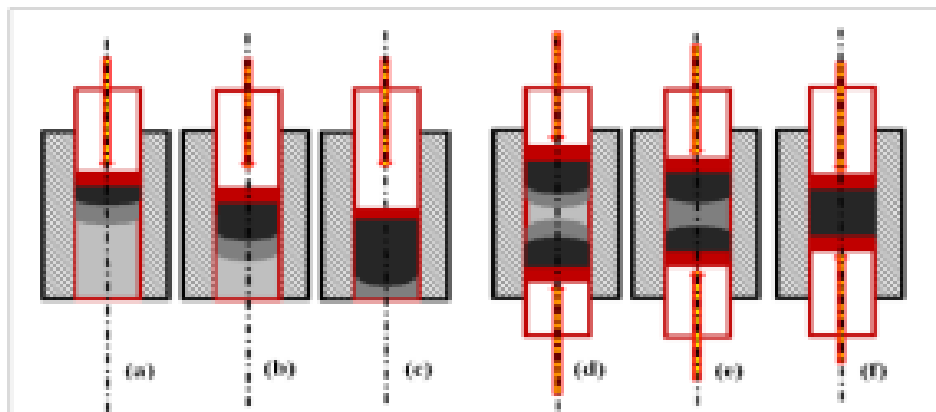
Bentuk sampel dalam penelitian ini berbentuk cincin dengan diameter luar 5 cm dan diameter dalam 2 cm serta tingginya rata-rata antara 8-9 mm. Berat sampel yaitu 35 gram. Proses selanjutnya yaitu melakukan proses kompaksi yang mana kompaksi merupakan suatu proses pada metode metalurgi serbuk dengan melakukan tekanan terhadap serbuk menjadi bentuk tertentu. Tujuan dari pemampatan/memadatkan serbuk

ini yaitu untuk memperoleh bentuk komponen tertentu, meningkatkan densitas, menurunkan porositas dan untuk memperoleh kontak antar partikel serbuk yang lebih baik lagi. Proses kontak antar partikel terjadi dimulai dari serbuk saat dimasukkan kedalam cetakan kemudian diberikan tekanan rendah sehingga partikel serbuk saling tersusun, dalam hal ini partikel serbuk akan mengisi ruang kosong antara partikel lain sehingga akan menjadi lebih padat. Akan tetapi kualitas ikatan kontak antar partikel serbuk masih terbilang lemah, oleh karenanya tekanan kompaksi kembali dinaikkan menjadi lebih tinggi sehingga akan membuat kontak antar permukaan serbuk menjadi lebih padat lagi [16] [17]. Pada gambar 3 dibawah ini merupakan ilustrasi proses partikel dalam pemadatan serbuk.



Gambar 3 Ilustrasi partikel dalam tahapan proses penekanan serbuk [16].

Penelitian ini menggunakan metode kompaksi dua arah penekanan, Dengan penggunaan metode kompaksi dua arah penekanan memungkinkan pengendalian yang lebih baik terhadap struktur dan sifat material komposit di seluruh permukaan sampel, sehingga menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang lebih konsisten.. Hal ini dapat dilihat dari gambar 4 dibawah.



Gambar 4. Ilustrasi penekanan satu arah dan dua arah proses pemadatan [16, 18].

Pada gambar ilustrasi (a), (b), (c) tersebut merupakan proses kompaksi satu arah penekanan. Sedangkan pada gambar (d), (e), dan (f) merupakan proses penekanan dua arah yaitu penekanan atas dan bawah dalam proses kompaksi. [18].

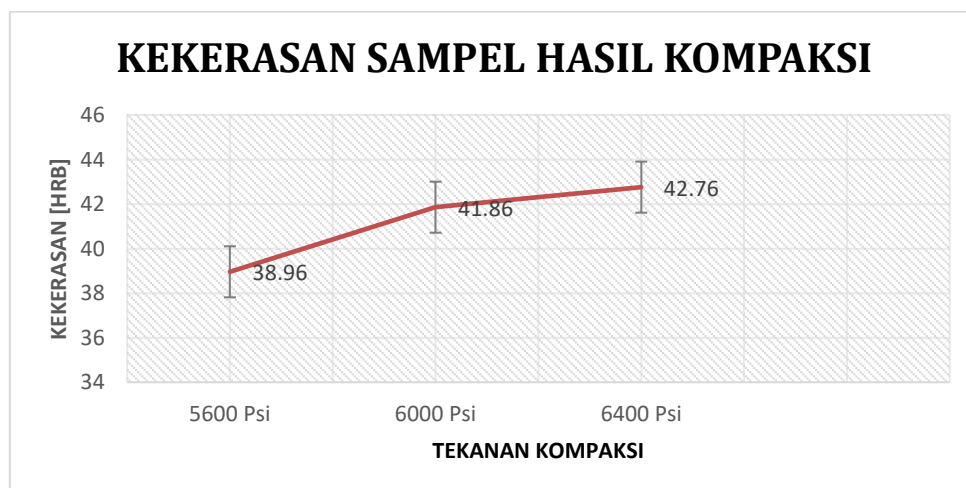
Pada gambar 5 dibawah ini merupakan hasil proses kompaksi dua-arah penekanan, dengan jumlah sembilan sampel dengan 3 variasi tekanan kompaksi yaitu pada tekanan 5800 Psi, 6000 Psi dan 6400 Psi.





Gambar 5. Foto 9 sampel hasil kompaksi dengan variasi tekanan kompaksi.

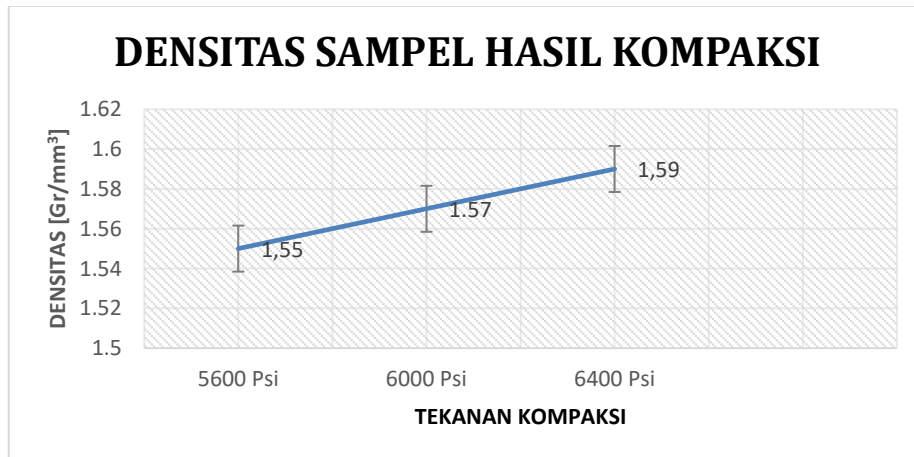
Uji kekerasan *Rockwell Brinell* dengan penggunaan standar ASTM E110-14 [15] pada sampel hasil uji terdapat pada Gambar 6 yang menampilkan pengaruh dari perbedaan tekanan kompaksi terhadap sifat kekerasan komposit. Dalam grafik tersebut, terlihat jelas perubahan nilai kekerasan komposit seiring dengan variasi tekanan yang diterapkan pada proses kompaksi.



Gambar 6. Grafik pengaruh perbedaan tekanan kompaksi terhadap sifat kekerasan komposit.

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara tekanan kompaksi dan nilai kekerasan pada sampel komposit. Artinya, ketika tekanan kompaksi meningkat, nilai kekerasan dari sampel komposit juga cenderung meningkat.

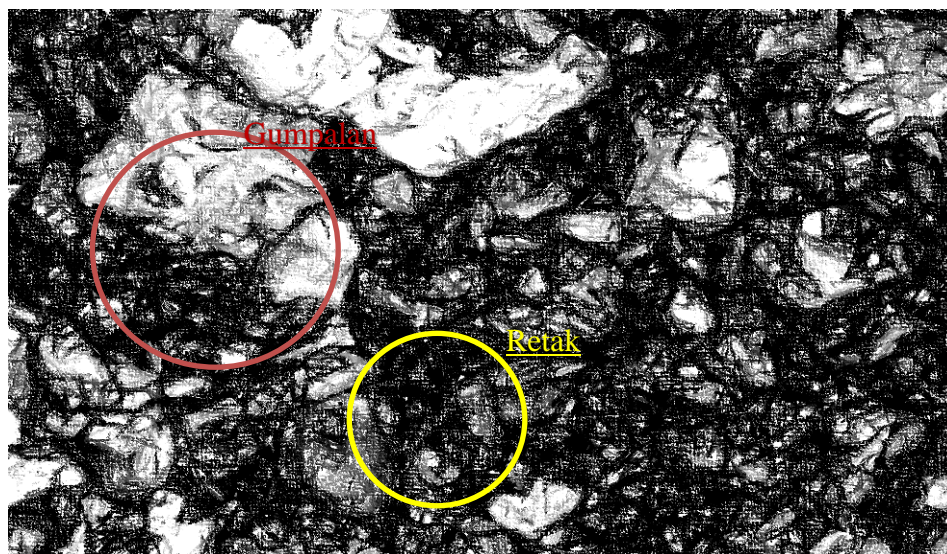
Uji densitas pada sampel komposit dengan menggunakan Standar ASTM B962-17 [14] dapat dilihat pada gambar 7 yang menampilkan bagaimana variasi tekanan kompaksi mempengaruhi sifat densitas dari sampel komposit. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bagaimana perubahan tekanan kompaksi memengaruhi nilai densitas dari material komposit.



Gambar 7. Grafik pengaruh perbedaan tekanan kompaksi terhadap sifat densitas pada komposit

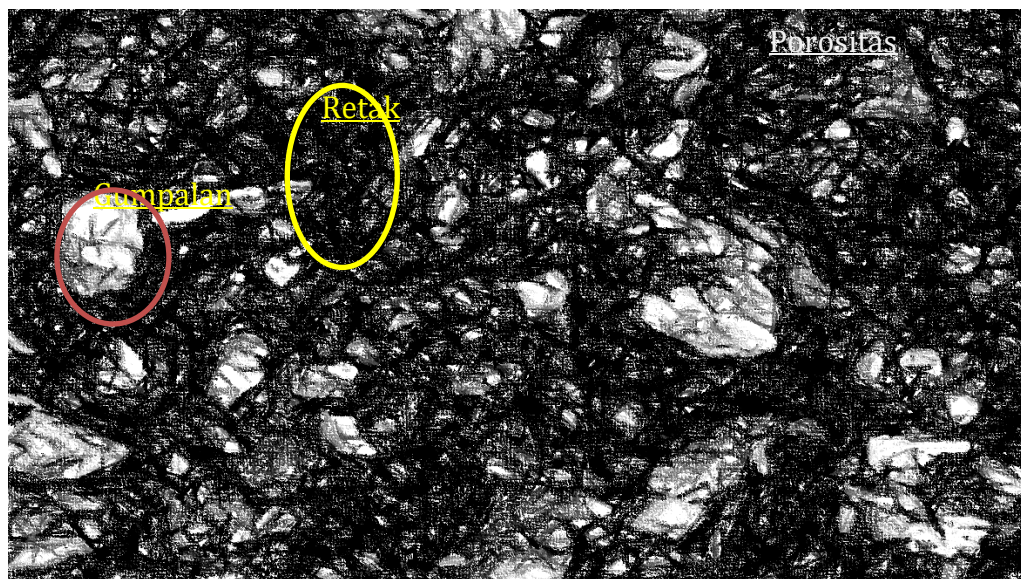
Berdasarkan grafik pengaruh perbedaan tekanan kompaksi terhadap densitas menunjukkan peningkatan yang konsisten seiring dengan peningkatan tekanan kompaksi, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi telah memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan densitas, yang juga cenderung meningkatkan nilai kekerasan pada sampel komposit yang diuji.

Berikut hasil foto *digital microscope* pembesaran 50X-1600X. pada sampel hasil kompaksi terdapat pada gambar 8, 9, dan 10 dengan variasi tekanan kompaksi yaitu pada gambar 8 ditekan kompaksi 5400 Psi, gambar 8 ditekan kompaksi 6000 Psi, sedangkan gambar 10 ditekan kompaksi pada 6400 Psi.



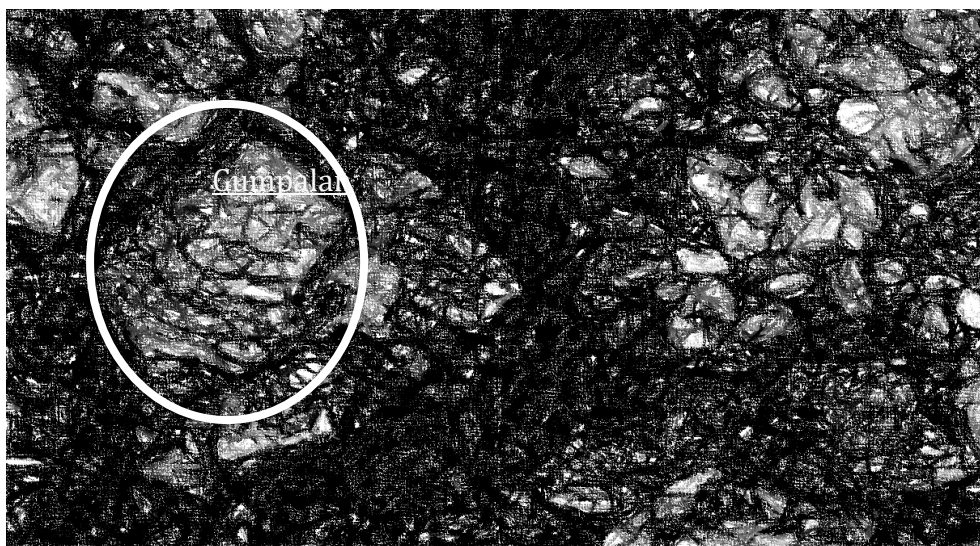
Gambar 8. Foto mikro sampel pada hasil tekanan kompaksi 5600 Psi.





Gambar 9. Foto mikro sampel pada tekanan kompaksi 6000 Psi.

Dari hasil pengujian menggunakan digital *microscope* seperti ditunjukkan pada Gambar 8, 9 dan 10 tampak jelas bahwa kerapatan paling baik pada sample yaitu pada gambar 10 dikarenakan ukuran penyebaran serbuk lebih merata, sedangkan pada sample 8 dan 9 masih terdapat banyak penggumpalan, keretakan, dan porositas.



Gambar 10. Foto mikro sampel pada tekanan kompaksi 6400 Psi.

#### 4. Kesimpulan

Simpulan yang diambil dari data dan analisis yang telah dilakukan menunjukkan konsistensi dalam hubungan antara tekanan kompaksi, nilai kekerasan, dan densitas pada sampel komposit yang telah diuji. Terdapat kecenderungan bahwa peningkatan tekanan kompaksi pada sampel komposit 80% matriks aluminium dengan penguat hybrid 10% alumina dan 10% *baggase ash* menyebabkan peningkatan nilai kekerasan. Sampel dengan tekanan kompaksi 6400 Psi menunjukkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu sebesar



42,76 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi berkontribusi pada peningkatan kekerasan sampel. Sama seperti kekerasan, nilai densitas juga menunjukkan kecenderungan yang sebanding dengan peningkatan tekanan kompaksi pada sampel. Sampel dengan tekanan kompaksi 6400 Psi memiliki densitas tertinggi, yaitu sebesar 1,59 gr/mm<sup>3</sup>. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan tekanan kompaksi berkontribusi pada peningkatan densitas sampel. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi pada sampel komposit matriks aluminium dengan penguat hybrid alumina dan baggase ash memberikan peningkatan signifikan dalam nilai kekerasan dan densitas. Simpulan ini memberikan wawasan penting untuk pengoptimalan proses kompaksi guna mencapai sifat-sifat yang diinginkan pada material komposit tersebut.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan terhadap berbagai pihak yang berjasa dan berkontribusi dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Laboratorium Kimia pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya yang sudah membantu dalam pengujian *Particle Size Analyzer*.
2. Laboratorium Sentral Material Universitas Negeri Malang yang sudah membantu dalam pengujian unsur senyawa dalam bahan baku pembuatan komposit.
3. Direktur, Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Kepala Laboratorium Teknik Material dan Pengelasan serta para Laboran di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah berkontribusi pada pembiayaan dan penggunaan sarana prasarana dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] 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>.
- [2] Ditjenbun "*Tingkatkan Protas Tebu Menuju Swasembada Gula Nasional*," Kementerian Pertanian Direktorat Jendral Perkebunan, Rabu, 10 Mei 2023 09:05 AM., <https://ditjenbun.pertanian.go.id/tingkatkan-protas-tebu-menuju-swasembada-gula-nasional/>
- [3] Ferriawan Yudhanto1, Santo Ajie Dhewanto, dan Suluh Widya Yakti., "Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati," *Jurnal Quantum Teknika*, Vol. 1, No. 1, Hal 19-27, 2019., DOI: 10.18196/jqt.010104.
- [4] Adiarta Rekha Mahendra, "Pengaruh Variasi Komposit Serat Serabut Kelapa, Plastik Pet, Serbuk Aluminium Pada Sifat Fisik Dan Koefisien Gesek bahan Kampas Rem Gesek," *Skripsi*, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010., <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:135987848>.
- [5] 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.
- [6] Witono Hardi, "Pengaruh Panjang Tabung Aluminium dengan Deformasi Maksimum, Gaya Reaksi Maksimum dan Energi Plastik pada Pembebanan Impact Kecepatan Tinggi" *Dinamika Jurnal Teknik Mesin Unkhair*, Volume 5, Nomor 1, 2020, DOI: 10.33387/dinamik.v5i1.2939
- [7] Hendri Sukma, Rini Prasetyani, Dwi Rahmalina, dan Rizal Imanuddin., "Peran Penguat Partikel Alumina dan Silikon Karbida terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium." *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta 2015*, ISSN : 2407 – 1846 e-ISSN : 2460 – 8416.
- [8] 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.
- [9] Asep, M., Sugiyarto, Somaward, Achmad Rusdy, dan Sukanto, 2023, Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat SiO<sub>2</sub>, *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 9 No. 1. DOI:10.33019/jm.v9i1.3606.
- [10] Ahmed A. Kadry, Ahmed M. Ebid Said, Abdel-salaam A. Mokhtar, Eslam N. El-Ganzoury, SaidY.

- About Haggag., "Parametric study of Unstiffened multi-planar tubular KK-Joints," 2022, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100400>.
- [11] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, "Parameter Optimization of Ball Milling Process for Silica Sand Tailing," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 494, no. 1., DOI 10.1088/1757-899X/494/1/012073
- [12] M. S. El-Eskandarany, *Mechanical Alloying, Nanotechnology, Material Science and Powder Metallurgy*. second edition, Elsevier, ISBN: 978-1-4557-7752-5, 2015., <https://www.researchgate.net>. 2015.
- [13] C. Suryanarayana, "Mechanical Alloying: A Novel Technique to Synthesize Advanced Materials," *Research*, vol. 2019, pp. 1–17, 2019, doi: 10.34133/2019/4219812.
- [13]. 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, 2017, doi: 10.1520/B0962-17.2.
- [15] ASTM E110-14, "Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers," *ASTM B. Stand.*, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1520/E0110-14.2.
- [16] M. Milani, "Optimization of the pressing process of triangular shaped cutting tool inserts," Master Thesis in Mechanical Engineering, 2016., Linnaeus University, Faculty of Technology. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114767162>.
- [17] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, "Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 7094–7108, 2020, doi: 10.15282/jmes.14.3.2020.11.0556..
- [18] Irwansyah, R., Rodika, Wanto, A, Wahyudi, M., dan Sukanto, 2023, Pengaruh Pemadatan Dua-arah Penekanan Terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat Serbuk Silikon Dioksida, *Infotekmesin* Vol.14, No.2, DOI: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1902, pp. 265-272.