

Pembuatan Komposit Hybrid Ba dan Rha Berpenguat Alumina dengan Metode Metalurgi Serbuk

Afendy Syah Genta¹, Sugiyarto¹, Sukanto^{1*}, Juanda¹, Yuliyanto¹,

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

*Email: afendisyahgenta@gmail.com

Revisi 3 Mei; Diterima 17 Juni; publikasi Online 30 Juni 2025

Abstrak, Kemajuan teknologi material saat ini berkembang dengan pesat, didorong oleh meningkatnya kebutuhan akan material berkualitas tinggi. Kampas rem, sebagai komponen penting kendaraan, berfungsi untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan secara aman dan nyaman. Penelitian ini berfokus pada pengurangan penggunaan asbestos dengan menggantinya menggunakan bahan yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan menganalisis pengaruh variasi tekanan komposisi bahan dan suhu sintering terhadap densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan. Komposit tersebut dibuat dengan mencampur matrik aluminium dengan partikel penguat seperti alumina (Al_2O_3), abu sekam padi (BA), dan rice husk ash (RHA) menggunakan metode metalurgi serbuk. Teknik ini dipilih karena mampu menghasilkan distribusi partikel yang merata serta meningkatkan sifat mekanis material. Pengujian meliputi kekerasan, kekuatan tarik, dan ketahanan aus untuk menilai kinerja komposit. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan SiC, BA, dan RHA dalam matrik aluminium berhasil meningkatkan kekerasan, kedap air, serta ketahanan aus material. Hal ini menjadikan komposit hibrid sebagai solusi potensial untuk meningkatkan performa dan daya tahan kampas rem sepeda motor, sekaligus memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Kata kunci : AMC hybrid BA-RHA – Al_2O_3 , densitas, kekerasan, kampas rem, metalurgi serbuk.

1. Pendahuluan

Ampas tebu (*Baggase*) dan sekam padi (Rice Husk Ash), Ampas tebu 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 sedangkan Sekam padi Pada saat ini kebanyakan limbah sekam yang berlimpah dimanfaatkan dengan melakukan penimbunan lahan sawah yang ada di sekitar pabrik penggilingan yang tujuan sementara mengurangi tumpukan jumlah limbah yang ada di pabrik penggilingan. Terkadang petani menggunakan limbah padi sebagai pakan ternak, atau dibakar hingga menjadi arang sekam yang menurut mereka tidak memiliki manfaat, padahal sekam padi mengandung banyak silika (SiO_2). Kandungan silika dalam sekam padi sebesar 86,7% - 97,3% SiO_2 (Putro and Prasetyoko 2007). Silika (SiO_2) adalah salah satu mineral yang terdiri dari silikon dan oksigen, silika memiliki sifat keras, tahan aus, kekakuan yang tinggi dan ketahanan termal (Arayaprane, Naranong, dan Rempel 2005). Silika dari abu sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti asbes dalam pembuatan kampas rem (Prasetya, 2016). Pada penelitian ini akan memanfaatkan limbah ampas tebu dan sekam padi 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 (*reinforced*) 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 *rice husk ash* (sabu sekam padi) dengan penguat 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 oksida 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 bahandasarnya, 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 3%-3,6%-4,3% *baggase ash* dan 3%-3,6%-4,3% *rice husk ash* dengan penguat 3%-3,6%-4,3% 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 dengan pemaduan mekanik (Mechanical Alloying), pemadatan dua arah penekanan (Kompaksi) 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 dua arah. 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 20-25 derajat celsius 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, *baggase ash* dan *rice husk 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. Sedangkan uji komposisi unsur dilakukan di Laboratorium Sentral Material Universitas Negeri Malang.

Persiapan Alat dan Bahan

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. Sedangkan penguatnya digunakan bahanpaduan dari serbuk Alumina, serbuk Baggase Ash, dan serbuk sekam padi, 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, Serbuk Baggase Ash 10% memiliki kandungan Si 61,0%, Ca 16,7%, K 8,18% dan 13,57% unsur lain, 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. Sedangkan peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, *horizontal ball mill machine*, mesin press hidrolik dua arah, cetakan, *thermocouple*, *thermogun*, oven, gelas ukur, alat uji kekerasan portable, dan alat uji densitas.

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 dengan bola logam) ini yaitu *Ball Powder Weight Ratio* (BPR) 10:1, Kecepatan Putaran Mesin 90 rpm, Waktu Penggilingan 8 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 *mixing* / pencampuran 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 6000 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,RHA dan Al₂O₃. 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 dapat di uji densitas dan uji kekerasan. Jika sampel tidak dapat di uji seperti contoh sampel tidak padat, 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 dibersihkan sisi tajam atau sisa pemadatan dengan kikir setelahnya ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam air yang telah di siapkan (*aquadest*) 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 ini sesuai dengan standar ASTM B962-17 [14].

Uji kekerasan.

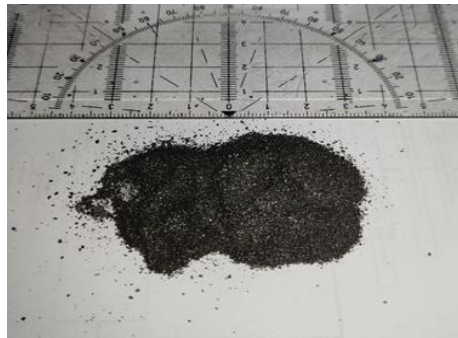
Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan perangkat uji kekerasan portable yang memiliki beban tekanan sebesar 2 kg dan menggunakan indenter bola dengan diameter 2 mm. Alat uji ini dipilih karena cukup sederhana untuk digunakan (dipermukaan yang rata) dan hasil uji kekerasan langsung keluar pada layar alat uji portable serta nilai yang tertera dapat langsung dicatat karna telah sesuai. Proses pengujian kekerasan ini mengikuti standar ASTM E110-14 [15].

Pengolahan Data

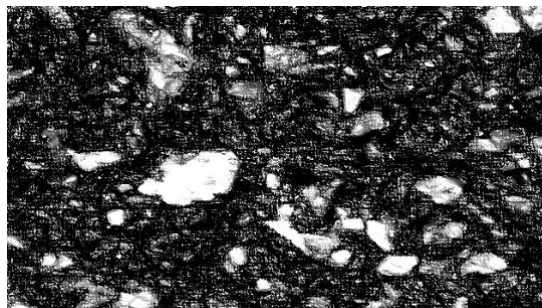
Data dari pengujian densitas dan kekerasan dimasukkan ke dalam tabel dan grafik. Untuk mengetahui bagaimana spesimen komposit matrik alumunium yang diperkuat *hybrid* Alumina, RHA, dan Ba. penelitian ini menggunakan metode eksperimen faktorial dengan 3 tingkat faktor fraksi volume dan suhu sintering untuk menganalisis data spesimen. Dengan menggunakan banyak faktor, tingkat antar parameter dapat ditingkatkan hingga mendapatkan kombinasi 27 sampel pengujian yang terdiri dari 3 perbandingan / 9 spesimen setiap 1 perbandingan.

3. Hasil dan Diskusi

Hasil dari pencampuran dengan menggunakan metode *Mechanical Alloying* selama 8 jam di tunjukkan pada gambar 1(a) dan (b) dibawah ini.

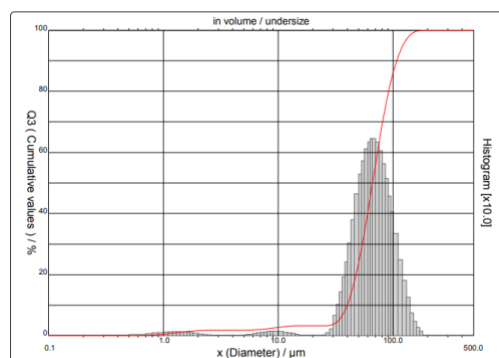


Gambar 1.(a) Serbuk hasil *mixing*



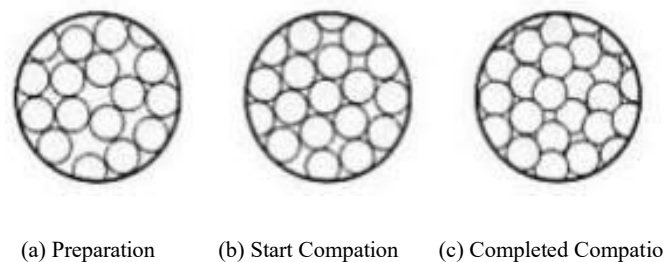
Gambar 1.(b) Pembesaran serbuk hasil *mixing* menggunakan alat digital mikroskopik.

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 μm . Dengan hasil pengujian bisa dilihat di gambar 2 dibawah ini.



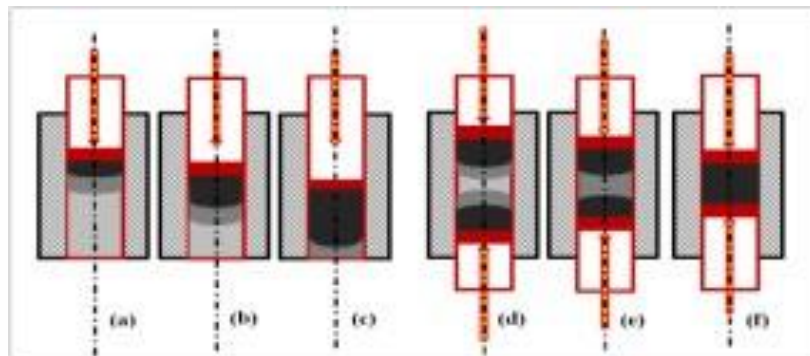
Gambar 2. Grafis sebaran hasil pencampuran serbuk (*mixing*) ukuran serbuk D50% : 230.42 dalam uji *particle size analyzer* (PSA).

Bentuk sampel dalam penelitian ini adalah berbentuk cincin dengan diameter lingkaran luar 50 mm dan diameter lingkaran dalam 20 mm serta ketebalan rata-rata antara 8-10 mm. Berat sampel yaitu 40 gram. Proses selanjutnya yaitu melakukan proses pemadatan dua arah (kompaksi) yang mana kompaksi merupakan suatu proses pada metode metalurgi serbuk dengan melakukan penekanan terhadap serbuk menjadi bentuk yang diinginkan. Tujuan dari pemampatan/memadatkan serbuk ini untuk memperoleh bentuk komponen yang diinginkan, 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 dari dua arah 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 penekana serbuk [16].

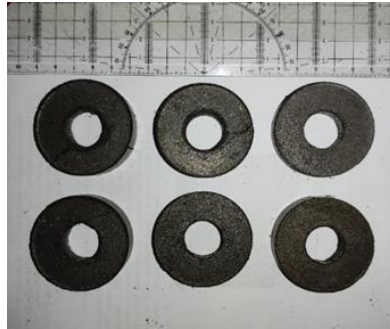
Penelitian ini menggunakan metode kompaksi dengan dua arah penekanan, Dengan penggunaan metode kompaksi dua arah penekanan memungkinkan pengendalian yang lebih baik terhadap struktur dan sifat material komposit di seluruh permukaan sampel, sehingga menghasilkan sifat fisik dan mekanik yang lebih konsisten.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



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

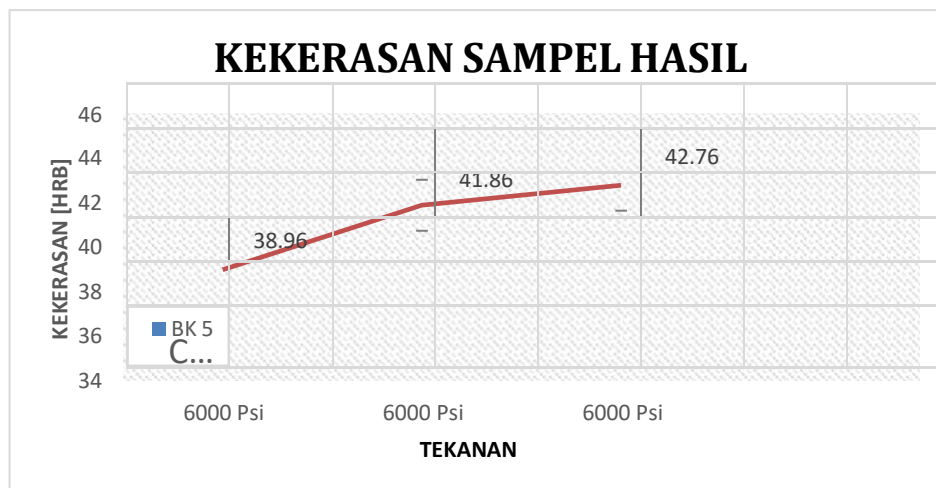
Pada gambar ilustrasi (a), (b), (c) tersebut merupakan proses kompaksi satu arah penekanan. Sedangkan pada gambar (d), (e), dan (f) merupakan proses penekanan dua arah yaitu penekanan atas dan bawah dalam proses kompaksi. [18].

Pada gambar 5 dibawah ini merupakan hasil proses kompaksi dua-arah penekanan, dengan jumlah 27 sampel dalam 3 variasi perbandingan atau 9 sampel setiap perbandingan dengan tekanan kompaksi 6000 Psi



Gambar 5. Foto 6 contoh sampel hasil kompaksi dengan variasi tekanan kompaksi.

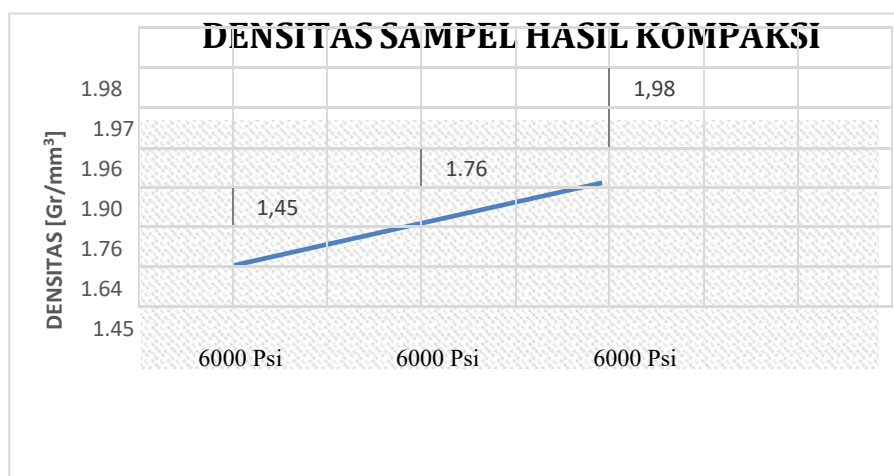
Uji kekerasan *Rockwell Brinell* dengan penggunaan standar ASTM E110-14 [15] pada sampel hasil uji terdapat pada Gambar 6 yang menampilkan pengaruh dari perbedaan variasi campuran terhadap sifat kekerasan komposit. Dalam grafik tersebut, terlihat jelas perubahan nilai kekerasan komposit seiring dengan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

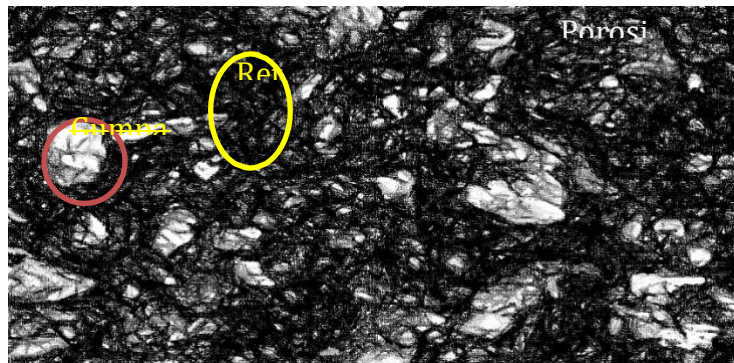
Uji densitas pada sampel komposit dengan menggunakan Standar ASTM B962-17 [14] dapat dilihat pada gambar 7 yang menampilkan bagaimana variasi campuran bahan mempengaruhi sifat densitas dari sampel komposit. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bagaimana perubahan tekanan kompaksi memengaruhi nilai densitas 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 dengan tekanan kompaksi 6000 Psi.



Gambar 8. Foto mikro sampel pada hasil tekanan kompaksi 6000 Psi.

4. Kesimpulan

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. Sama seperti kekerasan, nilai densitas juga menunjukkan kecenderungan yang sebanding dengan peningkatan tekanan kompaksi pada sampel. Sampel dengan tekanan kompaksi 6000 Psi memiliki densitas tertinggi, yaitu variasi 91% sebesar 1,98 gr/mm³, 82% sebesar 1,68 gr/mm³, dan 87% sebesar 1,74 gr/mm³. Ini mengindikasikan bahwa variasi campuran berkontribusi pada peningkatan densitas sampel. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan variasi campuran dengan tekanan kompaksi tetap pada sampel komposit matriks aluminium dengan penguat hybrid alumina, *baggase ash* dan *rice husk ash* memberikan peningkatan signifikan dalam nilai kekerasan dan densitas. Simpulan ini memberikan wawasan penting untuk pengoptimalan variasi campuran 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] 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] 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] 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] 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. 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.
- [7] 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/>
- [8] 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
- [9] 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.
- [10] Asep, M., Sugiyarto, Somawardi, Achmad Rusdy, dan Sukanto, 2023, Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat SiO₂, *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 9 No. 1. DOI:10.33019/jm.v9i1.3606.
- [11] 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.
- [12] R. Suprpto, W & Soenoko, "Teknologi Metalurgi Serbuk," *Pena Mas Publ.*, Vol.192, p. 10, 2015.
- [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] 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] 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