



Pengaruh laju pemanasan dan variasi komposisi limbah paduan aluminium dengan Fly Ash Batubara terhadap kekerasan dan kekuatan tekan produk metalurgi serbuk

Effect of heating rate and variations of aluminium alloy waste composition with coal fly ash on the harness and compressive strength of powder metalurgy products

A.A.A. Triadi*, P.D. Setyawan, I. Kurniawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia. HP. 085238883057

*E-mail: alitriadi68@unram.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 07 August 2023

Accepted 27 September 2023

Available online 01 October 2023

Keywords:

Aluminium

Coal Fly Ash

Powder metallurgy



In this study, the manufacture of composites using the powder metallurgical method used two research variables, namely the rate of heating with variations in temperature with an increase of 3°C/minute, 5°C/minute and an increase of 7°C/minute. The second variable is the mixing composition with variations in aluminium composition: Fly Ash is 100%:0%, 85%:15%, 80%:20% and 75%:25%. The highest hardness results in this study were found in the 15% fly ash composition with a heating rate of 3°C/minute where the hardness value was 66.17 HRF while the lowest hardness value was found in the 0% fly ash composition with a heating rate of 7°C/min with a hardness value of 34.84 HRF. For compressive strength test results, the highest value was obtained in the 15% Fly Ash composition with a heating rate of 3°C/minute where the compressive strength value was 106.78 MPa, while the lowest compressive strength value was in the 0% fly ash composition with a heating speed of 7°C minutes where the value was 42.71 MPa. From the hardness and compressive strength value, it can be concluded that the smaller the heating rate, the higher the hardness and compressive strength and the greater the SC mixing composition, the higher the hardness and compressive strength.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 13, No. 2, Oktober 2023, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya alam terutama pada sumber daya alam non hayati seperti air, oksigen, dan hasil tambang. Salah satu hasil tambangnya adalah aluminium yang dimana saat ini di Indonesia aluminium adalah unsur terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. Hal itu menyebabkan banyaknya limbah-limbah aluminium yang terbuang sia-sia, sehingga jika limbah tersebut dapat dikelola kembali maka dapat menghasilkan daya jual yang tinggi dan dengan harga jual yang terjangkau. Salah satu cara untuk mengelola limbah aluminium tersebut dengan cara membuat komposit dari bahan aluminium itu

sendiri. Tujuan utama dari pembuatan komposit adalah untuk menemukan kombinasi sifat yang lebih baik yang terbentuk oleh beberapa material tunggal penyusunnya dengan menggabungkan karakteristik dari setiap komponen material penyusun, Arrahim dkk (2021), Hadilaksa (2019).

Material komposit didefinisikan sebagai material hasil kombinasi makroskopis dari dua atau lebih komponen yang berbeda, dengan tujuan untuk mendapatkan material dengan sifat-sifat fisik dan mekanik tertentu yang lebih baik dari sifat masing-masing penyusunnya. Komponen penyusun dari komposit, yaitu matrik dan penguat (reinforcement), Sari (2018). Berdasarkan bahan matrik yang digunakan, maka komposit dapat dibagi ke dalam tiga kelompok, salah satu adalah metal matrix composite yaitu jenis komposit yang matrik berupa logam dan umumnya menggunakan keramik sebagai penguat, Suarsana dkk. (2021). Distribusi ukuran partikel ditentukan berdasarkan jumlah partikel setiap ukuran standar dalam bubuk. Pengaruh distribusi terhadap kemampuan aliran, densitas dan porositas produk cukup besar. Distribusi tidak dapat diubah tanpa mempengaruhi ukuran objek yang dikompresi. Kemampuan mengalir merupakan ciri yang menggambarkan sifat aliran serbuk dan kemampuan mengisi ruang cetak, Falticeanu et al. (2014). Dapat digambarkan sebagai laju aliran melalui celah tertentu. Sifat kimia menyangkut kemurnian bubuk, jumlah oksida yang diijinkan dan kandungan unsur lainnya. Kompresibilitas adalah rasio volume serbuk asal dengan volume benda yang ditekan. Nilai ini bervariasi dan dipengaruhi oleh distribusi ukuran dan bentuk butir. Kekuatan tekan pada saat pemadatan bergantung pada kompresibilitas. Massa jenis serbuk atau berat bersih dinyatakan dalam kilogram per meter kubik. Ketentuan ini harus ditetapkan agar jumlah bubuk yang mengisi cetakan setiap saat tetap sama, Montes et al. (2018).

Salah satu cara untuk membuat komposit dari bahan limbah aluminium tersebut adalah dengan menggunakan metode metalurgi serbuk (*powder metallurgy*, Triadi dkk (2019)). Metalurgi serbuk merupakan metode pencampuran dua jenis serbuk atau lebih yang dimana salah satu serbuk sebagai bahan dasar dan serbuk lain sebagai bahan penguat. Metode ini bisa menggabungkan dua jenis material yang berbeda karakteristiknya dan menumbuhkan sifat material yang baru dengan daya tahan dan kekerasan melebihi kekuatan bahan aslinya. Limbah paduan aluminium dapat ditingkatkan kekuatannya melalui metode metalurgi serbuk yang dimana aluminium sebagai matrik dan *fly ash* batubara sebagai penguat, kombinasi dari kedua material ini diharapkan untuk mendapatkan sifat fisis dan sifat mekanis yang baru dan lebih unggul, Asof dkk. (2022). Triadi dkk. (2022) juga telah melakukan penelitian metalurgi serbuk dengan matriks dari limbah paduan aluminium dan penguat serat kaca.

Penggunaan fly ash sebagai penguat juga sudah diteliti oleh Hamzah dkk. (2018) dengan memvariasikan persentase penggunaan fly ash (10%, 20% dan 30%) fraksi berat serta temperatur sintering (525°C, 550°C dan 575 °C). Fly ash (abu terbang) merupakan salah satu hasil sisa (limbah) batu bara yang diperoleh dari penyaringan gas yang dikeluarkan dari saluran pembuangan pada suatu power plant. Fly ash yang semakin menumpuk setiap tahunnya dibiarkan begitu saja sehingga menimbulkan polusi bagi lingkungan bahkan manusia. Produksi fly ash menyebabkan polusi terhadap lingkungan yang berdampak terhadap pencemaran udara. Fly ash mempunyai titik lebur sekitar 1300°C, Erol dkk. (2000) dan berdasarkan uji komposisi kimia fly ash mengandung CAS (CaO-Al₂O₃-SiO₂) dalam jumlah besar yang merupakan pembentuk utama network glass. Fly ash mempunyai precipitator dengan kerapatan massa massa (densitas) antara 2,0 – 2,8 g/cm³ yang mempunyai kandungan silika dan alumina, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis dari material yang digunakan yaitu aluminium, di antaranya kekuatan, kekakuan dan ketahanan aus. Pemanfaatan fly ash juga sangat menguntungkan dilihat dari sudut pandang lingkungan, karena banyaknya abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara akibat kecenderungan industri mulai mengalihkan sumber energi dari minyak ke batubara, sehingga akan menyebabkan polusi lingkungan berupa pencemaran udara dan air tanah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kekerasan serta kekuatan tekan pada komposit yang berbahan dasar paduan Aluminium (Al) dan bahan penguatnya adalah *Fly ash* atau abu terbang pada produk metalurgi serbuk dan tujuan utama dilakukannya penelitian ini untuk membuat suatu komposit baru dengan memanfaatkan limbah paduan aluminium yang dikombinasikan dengan limbah fly ash batubara yang memiliki karakteristik yang lebih baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan guna mengetahui pengaruh dari laju pemanasan dan variasi komposisi limbah paduan Aluminium dengan Fly Ash Batubara terhadap kekerasan dan kekuatan tekan produk metalurgi serbuk. Proses awal yang dilakukan sebelum memulai penelitian ini adalah studi literatur dimana sebelum melaksanakan penelitian harus memperbanyak membaca dan mencari informasi terkait penelitian ini sehingga pada saat penelitian berjalan tidak menemui hambatan.

2.1 Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan terlebih dahulu dipersiapkan semuanya agar tidak kebingungan dalam mencari alat dan bahan pada saat penelitian. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi gerinda duduk, gerinda potong, blender, ayakan mesh 100-120 dan 200-400, kaleng/toples, neraca digital, mesin bubut, alat kompaksi 1 arah,

cetakan spesimen, jangka sorong, spatula/sendok, *high temperature furnace*, *universal hardness tester* dan alat uji kekuatan tekan. Pada penelitian ini mesin bubut digunakan sebagai alat untuk mencampur kedua bahan menggunakan putaran spindinya dengan kecepatan 92 RPM. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian kali ini meliputi limbah paduan aluminium, serbuk *fly ash* dan oli mesin jahit sebagai pelumas. Limbah paduan aluminium terlebih dahulu dijadikan serbuk menggunakan gerinda duduk dan gerinda potong untuk serbuk kasarnya kemudian serbuk kasar tersebut diblender untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus kemudian di ayak menggunakan ayakan 100 mesh dan ayakan 120 mesh sehingga menghasilkan serbuk dengan ukuran 100-120 mesh. Serbuk *fly ash* yang digunakan yaitu jenis *fly ash* batubara dengan ukuran serbuk 200-400 mesh.

2.2 Pencampuran (*Mixing*)

Proses yang dilakukan sebelum kompaksi adalah pencampuran bahan (*mixing*) yang dimana *mixing* dilakukan dalam keadaan kering bukan basah sehingga lebih memudahkan kedua bahan tercampur secara homogen. Bahan-bahan yang akan dicampur terlebih dahulu dilakukan penimbangan massa sesuai dengan variasi komposisi masing-masing bahan. Pencampuran dilakukan dalam 3 tahap, tahap pertama yaitu dengan komposisi aluminium 85% dan *fly ash* 15% kemudian tahap kedua aluminium 80% dan *fly ash* 20% dan tahap terakhir aluminium 75% dan *fly ash* 25%. *Mixing* dilakukan dengan memanfaatkan putaran spindel mesin bubut konvensional dengan kecepatan putaran spindel 92 RPM dengan lama waktu pencampuran adalah 30 menit setiap variasi komposisi bahan yang telah ditentukan.



Gambar 1. Mesin bubut konvensional

2.3 Kompaksi

Proses kompaksi pada penelitian kali ini menggunakan kompaksi dingin (*cold compaction*) karena akan ada proses pemanasan awal sebelum dilakukan proses sintering nantinya. Kompaksi dilakukan dengan menggunakan alat kompaksi 1 arah yang alatnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Sebelum dilakukan penekanan, serbuk yang sudah dicampur dimasukkan kedalam cetakan spesimen dan dinding cetakan diolesi terlebih dahulu dengan oli mesin jahit. Hal ini dilakukan untuk mencegah spesimen nempel didalam cetakan dan mempermudah peneliti mengeluarkan spesimen dari cetakan. Proses kompaksi ini dilakukan selama 15 menit setiap spesimen dengan pemberian beban 5 ton. Cetakan spesimen yang digunakan berbeda ukurannya sesuai jenis pengujianya dan mengikuti standar yang telah ada. Cetakan spesimen untuk pengujian kekerasan berdiameter 16 mm sedangkan diameter untuk cetakan spesimen uji kekuatan tekan adalah 13 mm.



Gambar 2. Alat kompaksi satu arah

2.4 Sintering

Sintering adalah proses yang dilakukan selanjutnya setelah kompaksi pada umumnya, spesimen yang telah dicetak menggunakan cetakan masing-masing dilakukan proses pemanasan (*sintering*). Pada penelitian ini dilakukan proses sintering hingga mencapai suhu akhir yaitu 500°C kemudian dilakukan penahanan atau Holding

Time pada suhu konstan selama 60 menit didalam alat *high temperature furnace*. Untuk lebih jelas alatnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *High temperature furnace*

Proses pemanasan dilakukan 3 tahap yang dimana tahap pertama menggunakan laju pemanasan $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, tahap kedua menggunakan laju pemanasan $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ dan tahap terakhir menggunakan laju pemanasan $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$. Semua variasi tahap pemanasan tersebut dilakukan hingga mencapai titik akhir 500°C . Setelah mencapai 500°C spesimen dilakukan holding time selama 60 menit, kemudian dikeluarkan dari dalam alat pemanas dan dilakukan proses pendinginan menggunakan suhu ruangan.

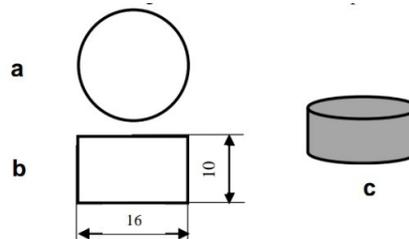
2.5 Pengujian material

Proses pengujian dilakukan guna untuk mengumpulkan dan mengelola data sesuai dengan pengujian masing-masing. Ada 2 pengujian yang akan dilakukan pada penelitian kali ini yaitu uji kekerasan dan uji kekuatan tekan. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan alat universal hardness tester dengan metode Rokwell jenis F dimana indenter yang digunakan adalah jenis bola baja diameter 1/16 inchi beban mayor 60 kg dan beban minornya 10 kg. Alat uji kekerasan diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. *Universal hardness tester*

Pengujian ini mirip dengan pengujian Brinell, yakni angka kekerasan yang diperoleh merupakan fungsi derajat indentasi. Beban dan indenter yang digunakan bervariasi tergantung pada kondisi pengujian. Berbeda dengan pengujian Brinell, indenter dan beban yang digunakan lebih kecil sehingga menghasilkan indentasi yang lebih kecil dan lebih halus. Banyak digunakan di industri karena prosedurnya lebih cepat. Pengujian kekerasan kali ini dilakukan pada 3 titik setiap spesimen yaitu titik tengah, samping kiri dan samping kanan dengan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali setiap variasi spesimen. Ukuran spesimen uji kekerasan adalah dengan diameter 16 mm dan tinggi 10 mm. Perhatikan gambar ilustrasi dimensi spesimen uji kekerasan pada Gambar 5.



Gambar 5. a. Tampak atas spesimen uji kekerasan b. tampak depan spesimen uji kekerasan c. ilustrasi spesimen uji kekerasan (satuan mm).

Pengujian selanjutnya adalah uji kekuatan tekan yaitu kemampuan suatu material bisa mampu menahan beban yang diberikan sampai terjadinya kerusakan. Sebelum dilakukan uji kekuatan tekan terlebih dahulu mengitung luas penampang dari spesimen uji guna dapat menghitung nilai dari kekuatan tekannya. Alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Alat uji kekuatan tekan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung luas penampang dan kekuatan tekan dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$A = \pi d^2 / 4 \quad (1)$$

$$P = F / A \quad (2)$$

A adalah luas penampang spesimen (mm^2), d adalah diameter spesimen (mm), P adalah kekuatan tekan (N/mm atau Mpa), dan F adalah beban maksimum (N). Dimensi spesimen uji kekuatan tekan ini mengikuti standar ASTM E9 dengan tipe pendek (short) berbentuk silinder dengan diameter 13 mm dan tinggi 25 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukannya pengujian yaitu uji kekerasan dan uji kekuatan tekan maka hasil dari pengujian yang dilakukan akan dibahas pada tahap ini. Dilakukan proses pengujian kekerasan di Lab Material Teknik Mesin Universitas Mataram dan pengujian kekuatan tekan di Lab Bahan dan Struktur Teknik Sipil Universitas Mataram.

Spesimen uji kekerasan yang dihasilkan dari proses kompaksi yang diberikan beban 5 ton yaitu berbentuk silinder dengan massa 5 gram berdimensi diameter 16 mm dan tinggi 10 mm. Spesimen lebih jelasnya lihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Spesimen uji kekerasan setelah sintering.

Sedangkan spesimen uji kekuatan tekan yang dihasilkan dari proses kompaksi dengan beban yang diberikan 5 ton menghasilkan spesimen silinder dengan dimensi diameter 13 mm dan tinggi 25 mm yang mempunyai massa 7,5 gram, diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Spesimen uji kekuatan tekan setelah sintering.

3.1 Analisa uji kekerasan

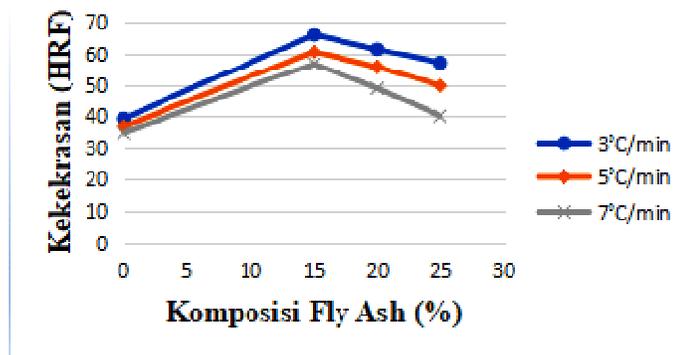
Pada tabel 1 diperlihatkan nilai kekerasan (HRF) variasi laju pemanasan 3°C/min, 5°C/min dan 7°C/min dengan variasi komposisi pencampuran yaitu 0 % fly ash, 15 % fly ash, 20 % fly ash dan 25 % fly ash.

Tabel 1. Nilai rata-rata uji kekerasan keseluruhan

Laju pemanasan (°C/min)	Kekerasan (HRF)			
	0% Fly ash	15% Fly ash	20% Fly ash	25% Fly ash
3	39.33	66.17	61.5	57.17
5	36.84	60.67	55.84	49.67
7	34.84	56.84	48.84	40.17

Dilihat dari perbandingan pada tabel 1, nilai rata-rata kekerasan tertinggi ditunjukkan oleh spesimen dengan menggunakan laju pemanasan 3°C/min dan komposisi pencampuran 15% fly ash dengan nilai kekerasan sebesar 66,17 HRF. Sedangkan nilai rata-rata kekerasan terendah ditunjukkan pada spesimen yang menggunakan laju pemanasan 7 °C/min dan komposisi pencampuran 0% fly ash dengan nilai kekerasan sebesar 34,84 HRF, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil angka laju pemanasan maka akan semakin lama proses sintering diberlakukan sehingga semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan dan semakin kecil presentasi komposisi fly ash maka semakin tinggi pula nilai kekerasan yang dihasilkan dengan kata lain seiring bertambahnya komposisi pencampuran fly ash maka nilai kekerasan akan semakin menurun pada suatu komposit yang dibuat.

Berdasarkan penelitian Arrahim dkk (2021) nilai kekerasan tertinggi dari komposit aluminium penguat fly ash yang dihasilkan adalah 71,3 HRB pada komposisi 15% fly ash dengan suhu temperatur sintering 300°C. Melalui data diatas konversi nilai kekerasan rockwell HRB ke rockwell HRF yang di mana 71,3 HRB setara dengan 94,2 HRF, maka penelitian kali ini belum bisa menyamai nilai kekerasan pada penelitian sebelumnya. Hal ini bisa disebabkan oleh kualitas fly ash yang digunakan yaitu menggunakan fly ash dengan kualitas ketiga dan waktu produksi fly ash yang sudah tergolong lama, yang menyebabkan kandungan silika pada fly ash itu sendiri menurun. Dari penelitian Hamzah dkk (2018) diketahui bahwa pada temperatur sintering 575°C dengan penambahan fraksi berat fly ash 30% nilai kekerasannya rendah, disebabkan kurang homogen pada saat proses mixing sehingga terjadi gumpalan partikel fly ash yang memungkinkan tidak terjadi ikatan antara partikel akibat proses sinter belum sempurna. Kekerasan sebuah komposit AMC sangat ditentukan oleh kekerasan partikel penguat dan proses pembuatan komposit yang dipilih. Homogenitas dari material komposit akan berpengaruh terhadap kekerasannya, tercampurnya fly ash dengan baik akan mampu meningkatkan kekerasan material serta mengurangi terjadinya porous, Arrahim dkk (2021).



Gambar 9. Perbandingan nilai rata-rata kekerasan keseluruhan.

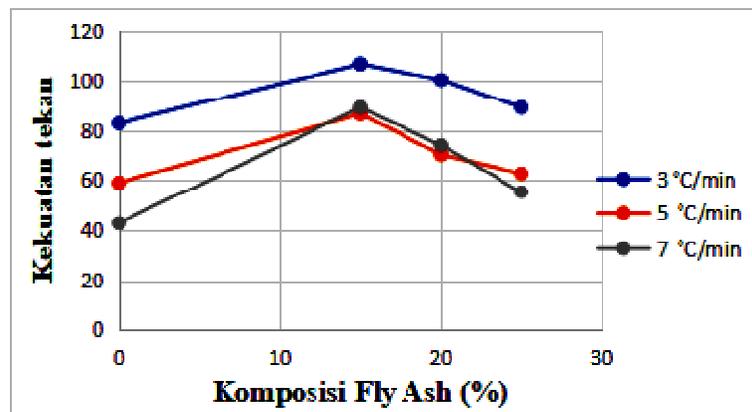
3.2 Analisis uji kekuatan tekan

Pada tabel 2 diperlihatkan nilai kuat tekan (MPa) variasi laju pemanasan 3°C/min, 5°C/min dan 7°C/min dengan variasi komposisi pencampuran yaitu 0% fly ash, 15% fly ash, 20% fly ash dan 25% fly ash.

Tabel 2. Nilai rata-rata uji kekuatan tekan keseluruhan.

Laju pemanasan (°C/min)	Kekuatan tekan (Mpa)			
	0% Fly ash	15% Fly ash	20% Fly ash	25% Fly ash
3	82,92	106,78	100,5	89,19
5	59,04	86,68	70,35	62,81
7	42,71	89,19	74,12	55,27

Dilihat dari perbandingan dan hasil pada tabel 2, nilai rata-rata uji kekuatan tekan tertinggi ditunjukkan oleh spesimen yang menggunakan laju pemanasan 3 °C/min dan komposisi pencampuran 15% fly ash dengan nilai kekuatan tekan 106,78 MPa. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan tekan terendah ditunjukkan oleh spesimen yang menggunakan laju pemanasan 7 °C/min dan dengan komposisi pencampuran 0% fly ash atau tanpa menggunakan fly ash dengan nilai kekuatan tekan 42,71 MPa, hal ini mengungkapkan bahwa semakin kecil angka laju pemanasan maka semakin tinggi pula nilai kekuatan tekan yang dihasilkan dan semakin kecil nilai presentasi komposisi pencampuran fly ash maka semakin tinggi pula nilai kekuatan tekan yang dihasilkan dari suatu komposit dengan kata lain nilai kekuatan tekan akan semakin menurun seiring bertambahnya komposisi pencampuran fly ash pada komposit yang dibuat.



Gambar 10. Perbandingan nilai rata-rata kekuatan tekan keseluruhan

Pada penelitian ini didapatkan nilai kekuatan tekan tertinggi yaitu 106.78 MPa dengan laju pemanasan 3°C/min dan komposisi fly ash 15 %. Penggunaan fly ash sebagai penguat memberikan dampak terhadap ikatan antar partikel sehingga homogenitas terbentuk antara partikel matriks dan penguat. Bentuk partikel fly ash berupa spherical/bulatan memudahkan partikel berdifusi dalam matriks dan meningkatkan sifat kekerasan spesimen MMC, Arrahim dkk (2021). Setelah penambahan fraksi berat fly ash semakin meningkat, kekerasan komposit al-fly ash akan cenderung konstan/turun. Penurunan ini disebabkan oleh semakin banyaknya porous yang terbentuk dalam komposit akibat jumlah partikel penguat yang tidak tersinter semakin besar. Selain itu partikel penguat yang tadinya diharapkan akan mengisi porous dan terikat oleh matriksnya ternyata berukuran terlalu kecil, sehingga hanya mengisi/menempati dasar porous, Hamzah dkk (2018). Kecepatan pemanasan yang tepat akan memberikan kesempatan material penguat untuk mengisi area yang porous dan dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, Sari (2018).

3.3 Anova dua arah (Analisis of variance)

Anova dua arah merupakan metode analisis statistika yang digunakan pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari variabel terhadap kekerasan dan kekuatan tekan material komposit. Perhatikan anova dibawah.

Tabel 3. Anova uji kekerasan.

Source of Variation	SS	df	MS	F_{hitung}	P-value	F_{Tabel}
Laju pemanasan	709,7639	2	354,8819	1087,298	2,86E-24	3,402826
Komposisi Fly Ash	2909,465	3	969,8218	2971,369	5,65E-31	3,008787
Interaksi	129,8472	6	21,6412	66,30496	9,4E-14	2,508189
Within	7,833333	24	0,326389			
Total	3756,91	35				

Dari hasil *analisis of varian* uji kekerasan yang dihitung menggunakan *Data Analisis* melalui *microsoft excel* dapat dilihat bahwa F_{hitung} (1087,298) > F_{tabel} (3,402826) pada laju pemanasan maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan pada variasi laju pemanasan 3°C/min, 5°C/min dan 7°C/min. Sama halnya dengan variasi komposisi *fly ash* bahwa F_{hitung} (2971,369) > F_{tabel} (3,008787) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan pada variasi komposisi *fly ash* 0%, 15%, 20% serta 25%. Dapat dilihat juga pada interaksi bahwa F_{hitung} (66,30496) > F_{tabel} (2,508189) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara dua variasi tersebut yaitu antara variasi laju pemanasan dengan variasi komposisi *fly ash*.

Tabel 4. Anova uji kekuatan tekan.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Laju pemanasan	6059,745	2	3029,873	117,5923	3,97E-13	3,402826
Komposisi Fly Ash	5469,794	3	1823,265	70,7627	4,62E-12	3,008787
Interaction	635,9975	6	105,9996	4,113948	0,005591	2,508189
Within	618,3817	24	25,7659			
Total	12783,92	35				

Dari hasil *analisis of varian* uji kuat tekan yang dihitung menggunakan *data analisis* melalui *microsoft excel* dapat dilihat bahwa F_{hitung} (117,5923) > F_{tabel} (3,402826) pada laju pemanasan maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan pada variasi laju pemanasan 3°C/min, 5°C/min dan 7°C/min. Sama halnya dengan variasi komposisi *fly ash* bahwa F_{hitung} (70,7627) > F_{tabel} (3,008787) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan pada variasi komposisi *fly ash* 0%, 15%, 20 % serta 25%. Dapat dilihat juga pada interaksi bahwa F_{hitung} (4,113948) > F_{tabel} (2,508189) maka H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan antara dua variasi tersebut yaitu antara variasi laju pemanasan dengan variasi komposisi *fly ash*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang didapatkan pada uji kekerasan dan kekuatan tekan, dapat dianalisa bahwa penggunaan laju pemanasan 3, 5, dan 7°C/min dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang dihasilkan. Hal ini dapat dibuktikan melalui analisa menggunakan anova dua arah yang dimana F_{hitung} > F_{tabel} yang artinya terdapat pengaruh yang signifikan pada variasi laju pemanasan yang digunakan. Sama halnya dengan menggunakan variasi komposisi 0%, 15%, 20% dan 25% *fly ash* yang dimana variasi komposisi *fly ash* juga dapat mempengaruhi nilai kekerasannya. Hal ini dapat dibuktikan melalui analisa menggunakan anova dua arah dimana F_{hitung} > F_{tabel} yang artinya variasi tersebut terdapat pengaruh yang signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil angka laju pemanasan maka kekerasan dan kekuatan tekan yang dihasilkan semakin tinggi begitupula sebaliknya semakin besar angka laju pemanasan maka kekerasan dan kekuatan tekan yang dihasilkan semakin kecil. Kemudian semakin kecil komposisi *fly ash* yang digunakan maka kekerasan dan kekuatan tekan yang dihasilkan semakin meningkat dan sebaliknya semakin besar komposisi *fly ash* yang digunakan maka hasil kekerasan dan kekuatan tekan yang didapatkan semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arrahim, M.G., Suprpto, W., Gapsari, F., Pengaruh fraksi penguat fly ash dan temperatur cetakan terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada MMC. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(3), 725-732, 2021.
- Arrahim, M.G., Wicaksono, L.H., Pengaruh bentuk partikel fraksi penguat fly ash pada peningkatan kekerasan pada metal matriks komposit, *Prosiding CIASTECH*, 321-326, 2021.
- Asof, M., Arita, S., Luthfia, L., Andalia, W., Naswir, M., Analisis karakteristik dan potensi logam pada limbah padat fly ash dan bottom ash di PLTU industri pupuk. *Jurnal Teknik Kimia*, 28(1), 44-50, 2022.
- Erol M., Genc A., Overcoglu M.L., Yucelen U., Kucukbayrak S., Taptik Y., Characterization of glass ceramic produced from thermal power plant fly ash, *Journal of the European Ceramic Society*, 20, 2209-2214, 2000.
- Hadilaksa, B.S., Pengaruh variasi kompaksi terhadap densitas dan foto mikro komposit Al-SiC dengan Metode metalurgi serbuk (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang), 2019.
- Hamzah, M.S., Sam, A., Mukkas, I., Pengaruh fraksi berat fly ash pada komposit matrik serbuk limbah aluminium terhadap Sifat kekerasan. *Prosiding SNITT POLTEKBA*, 3(1), 269-273, 2018.
- Falticeanu, L.C., Chang, I.T.C., Cook, R., Kearns, M.A., Flow Properties of Al based powder for powder metallurgy, *Euro PM*, 2014.
- Montes, J.M., Guevas, F.G., Clints, J., Ferraro, ES Caballero., On the compressibility of metal powders, *Powder Metallurgy*, 61(3) 219-230, 2018.
- Suarsana, K., Suardana, N.P.G., Negara, D.N.K.P., Sunu, P.W., Triadi, A.A.A., Efek gaya tekan pembuatan hibrid komposit berpenguat SiCw/Al₂O₃ dengan wetting agent Mg terhadap sifat fisik dan mekanik. *Dinamika Teknik Mesin*, 11(1). 23-31, 2021.
- Sari, N.H., *Material Teknik*, Edisi pertama, Deepublish, Yogyakarta, ISBN 9786024536718, 2018
- Triadi, A.A.A., Wangi, K.G.K., Setyawan P.D., Efek suhu sintering dan komposisi bahan terhadap karakteristik mekanik komposit berbahan limbah aluminium dan kaca menggunakan metode metalurgi serbuk. *Dinamika Teknik Mesin*, 12(1), 19-28, 2022.
- Triadi, A.A., Yudhayadi, I.G.N.K., Suartika, I.M., Sari, N.H., Efek suhu sintering terhadap sifat kekerasan dan kekuatan tekan bahan campuran Al/Cu/SiC melalui proses metalurgi serbuk. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(2), 80-85, 2019.