

Analisis Variasi Temperatur *Preheating* Serbuk Aluminium (Al) – Silikon Carbida (SiC) Pada Pembuatan Bushing Dengan Metalurgi Serbuk

Analysis of Preheating Temperature Variations of Aluminum (Al) – Silicon Carbide (SiC) Powder in the Manufacture of Bushings Using Powder Metallurgy

Julianus Risko, Salma Salu, Kristiana Pasau, *Karel Tikupadang
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar

*Email : kareltikukip2000@gmail.com

<https://doi.org/10.63365/rnw1f938>

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik campuran serbuk Aluminium (Al) dan Silikon Karbida (SiC) dalam proses pembuatan bushing menggunakan teknologi metalurgi serbuk. Variabel temperature yang digunakan yaitu 100 °C, 150 °C, dan 200 °C, dengan pengujian utama berupa uji kekerasan *Rockwell*, uji porositas, dan pengamatan struktur mikro. Proses pencampuran dilakukan selama 2 jam pada 56 rpm, kemudian dikompaksi dengan tekanan 8 metrik ton dan *sintering* pada temperatur 500 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur *preheating* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan dan penurunan porositas. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur *preheating* 200 °C sebesar 87,36 HR, sedangkan porositas terendah sebesar 8,15 %. Struktur mikro juga memperlihatkan homogenitas dan ikatan antar partikel yang lebih baik pada temperatur *preheating* yang lebih tinggi. Dengan demikian, *preheating* pada temperatur optimal dapat meningkatkan kualitas mekanik dan struktural bushing berbasis komposit Al-SiC.

Kata Kunci: Metalurgi Serbuk, *Preheating*, Al-SiC, Bushing, Kekerasan, Porositas, Struktur Mikro.

Abstract

This study aims to analyze the effect of preheating temperature variations on the mechanical properties of Aluminum (Al) and Silicon Carbide (SiC) powder mixtures in the manufacturing of bushings using powder metallurgy technology. The temperature variables used were 100 °C, 150 °C, and 200 °C, with the main tests consisting of Rockwell hardness testing, porosity testing, and microstructural observation. The mixing process was carried out for 2 hours at 56 rpm, followed by compaction under a pressure of 8 metric tons and sintering at 500 °C. The results showed that increasing the preheating temperature significantly affected the increase in hardness and the decrease in porosity. The highest hardness value was obtained at a preheating temperature of 200 °C, reaching 87.36 HR, while the lowest porosity was 8.15%. The microstructure also showed improved homogeneity and stronger interparticle bonding at higher preheating temperatures. Therefore, preheating at the optimal temperature can enhance the mechanical and structural quality of Al-SiC composite-based bushings.

Keywords: Powder Metallurgy, Preheating, Al-SiC, Bushing, Hardness, Porosity, Microstructure.

Pendahuluan

Saat ini metode yang berkembang dalam pembuatan komposit adalah metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) yang merupakan teknik

fabrikasi yang sangat luas penerapannya dalam berbagai inovasi teknologi material dalam dunia industri. Keunggulan penerapan dari teknologi berbasis serbuk antara lain dapat menggabungkan berbagai sifat material yang berbeda karakteristik,

sehingga menjadi sifat yang baru sesuai yang direncanakan. Komposit matrik logam dengan matrik aluminium dan penguat SiC berbasis serbuk atau juga dikenal dengan komposit isotropik Al/SiC merupakan material yang memiliki aplikasi serta pengembangan yang luas. (Imroatul Mufidah 2015).

Aluminium merupakan material mineral yang melimpah dipermukaan bumi, yaitu sekitar 7,6%. Aluminium merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Namun aluminium tetap menjadi logam yang berharga mahal karena pengolahannya yang sukar (Romadhonal, 2010). Aluminium mempunyai sifat mekanik, ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. Logam ini dipergunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi dapat dipakai untuk material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lainnya (Sakti, 2008).

Silikon Carbida (SiC) merupakan salah satu jenis dari keramik yang sering digunakan sebagai penguat pada pembuatan komposit. Silikon terdapat di bumi sekitar 28%. Silikon karbida memiliki kekerasan yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis dari matrik pada saat pembuatan komposit. Aplikasi silikon karbida yang paling umum adalah untuk penghalus pada gerinda dan untuk amplas (*abrasive paper*). (Zamheri, 2011).

Bushing yang baik adalah bushing yang memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekerasan, keausan, dan kekuatan. Selain itu, bushing hasil teknologi P/M juga harus memiliki porositas yang baik untuk mendapatkan nilai kekerasan mikrostruktur yang baik pula. Bushing juga harus memiliki sifat *self lubricating* (pelumas sendiri) yang handal. Pembuatan bushing dari bahan logam solid memiliki beberapa kekurangan, diantaranya: proses produksinya agak rumit, serta penggunaan bahan mentah yang kurang efisien akibat adanya logam yang terbuang di akhir proses produksinya. Oleh karena itu dilakukan pembuatan bushing dengan teknologi metalurgi serbuk untuk mengatasi kekurangan tersebut. Ketebalan dinding dari bushing juga akan berpengaruh pada distribusi kekerasan dan juga porositasnya (Arianti, Feni 2013).

Bedasarkan uraian diatas, penulis akan melakukan penelitian untuk menyelidiki variasi temperatur *preheating* serbuk Aluminium (Al)-Silikon Carbida (SiC) pada pembuatan bushing dengan metalurgi serbuk. Oleh karena itu, penulis membuat penelitian yang berjudul Analisis Variasi Temperatur *Preheating* Serbuk Aluminium (Al)-Silikon Carbida (SiC) Pada Pembuatan Bushing Dengan Metalurgi Serbuk.

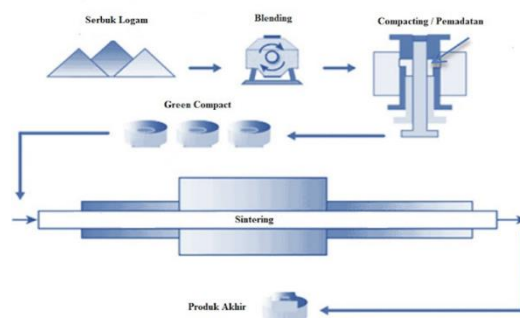
A. Metalurgi Serbuk (*Power Metallurgy*)

Metalurgi serbuk atau *powder metallurgy* (P/M atau PM) merupakan istilah umum untuk proses yang meliputi seluruh teknik manufaktur guna menghasilkan produk berbasis logam padat dari serbuk atau partikel tanpa terjadi pelelehan pada komponen utamanya. Metalurgi serbuk dapat juga termasuk proses manufaktur serbuk

non-logam menjadi produk yang menunjukkan sifat-sifat metalik (Sutanto, 2020).

Proses metalurgi serbuk merupakan metode yang efisien dalam manufaktur komponen akhir, yang melibatkan pencampuran serbuk, pengompaksian dalam cetakan, dan pemanasan di dalam *furnace* (tungku pemanasan) untuk menyinter material tersebut (Nayiroh, N. 2013).

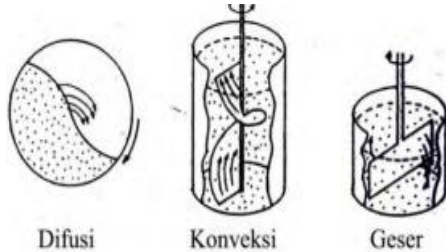
Prinsip dasar metalurgi serbuk dilakukan dengan memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian memanaskannya dibawah temperatur leleh hingga membentuk bentuk yang rigid. Partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel (Kalpakjian, 2010).



Gambar 1. Proses Metalurgi Serbuk (Etsworld, 2020)

B. Pencampuran (*Mixing*)

Tahapan pencampuran serbuk dengan berbagai tipe material mesti dilaksanakan dengan hati-hati guna mencapai homogenitas serbuk yang diinginkan. Pencampuran ini bisa dijalankan dalam keadaan kering atau basah, tergantung pada kebutuhan

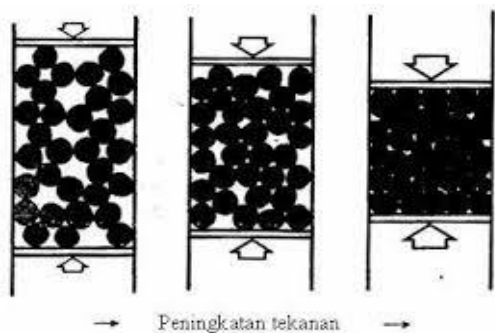


material yang digunakan. Beberapa faktor yang memengaruhi homogenitas dalam proses pencampuran serbuk antara lain jenis serbuk, ukuran partikel, kecepatan dan durasi pencampuran, media yang digunakan, serta suhu (Ricky, 2023).

Gambar 2. Proses Pencampuran (*Mixing*)

C. Penekanan (*Compaction*)

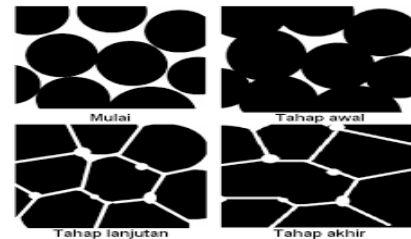
Pemadatan dalam metalurgi serbuk dilakukan melalui teknik pemadatan dingin yang memanfaatkan alat hidrolik press. Pada proses ini, serbuk campuran Aluminium (Al), dan Silikon Carbida (SiC) dimasukkan ke dalam cetakan, lalu diberi tekanan tertentu untuk memastikan partikel-partikel serbuk menyatu dengan baik. Pemadatan dilakukan dengan memberi waktu tahan tekan tertentu. Hidrolik press digunakan untuk memberikan tekanan yang konsisten, yang memungkinkan tercapainya kompaksi material yang optimal, sehingga menghasilkan bentuk yang diinginkan dan memastikan kekuatan yang sesuai (Pratama, G. Y. 2021).



Gambar 3. Penekanan (*Compaction*)

D. Pemanasan (*Sintering*)

Tahap ini ialah tahap yang penting pada metalurgi serbuk, di mana material yang telah dipadatkan akan dipanaskan dalam oven khusus atau *furnace*. Pada tahap ini, suhu yang diterapkan dijaga agar tidak melebihi titik leleh material, dengan tujuan untuk memungkinkan partikel-partikel serbuk saling bergabung dan membentuk struktur yang kokoh. Proses pemanasan ini dilakukan dalam kondisi yang sangat terkendali, di mana suhu dan durasi *sintering* ditentukan secara presisi agar hasil akhir material



memiliki sifat mekanik yang diinginkan.

Setelah proses *sintering* selesai, spesimen akan memasuki tahap pendinginan. Untuk proses pendinginan, digunakan teknik *normalizing*, di mana spesimen didinginkan dengan cara tertentu untuk memastikan kestabilan mikrostruktur dan mengurangi tegangan internal yang mungkin terbentuk selama pemanasan, sehingga menghasilkan material yang lebih homogen dan siap digunakan untuk aplikasi lebih lanjut (Ananda, T. 2023)

Gambar 4. Proses *Sintering* (Subekti, 2011)

E. Aluminium (Al)

Aluminium merupakan salah satu elemen yang masih banyak digunakan di berbagai bidang konstruksi, termasuk dalam pembuatan sepeda, kendaraan bermotor, kapal, hingga pesawat terbang. Penggunaannya secara luas didorong oleh sifatnya yang ringan, menjadikannya pilihan ideal bagi industri yang menuntut efisiensi bobot. Selain ringan, aluminium juga dapat ditingkatkan kekuatannya melalui proses paduan (*alloying*) dan perlakuan panas, sehingga sifat mekaniknya dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Melalui proses ini, aluminium dapat memperoleh karakteristik unggulan, seperti kekuatan tarik yang lebih tinggi, ketahanan terhadap korosi, dan kemampuan untuk beroperasi

dalam kondisi lingkungan yang ekstrem (Budiarto dkk., 2019).



Gambar 5. Serbuk Aluminium (Wide R, 2021)

F. Silikon Carbida (SiC)

Silikon Carbida (SiC) merupakan salah satu jenis keramik yang umum dimanfaatkan sebagai material penguat dalam pembuatan komposit. Unsur silikon sendiri melimpah di bumi, dengan jumlah sekitar 28%. SiC dikenal memiliki tingkat kekerasan yang sangat tinggi, sehingga mampu meningkatkan kekuatan mekanis dari material matriks dalam proses pembuatan komposit. Penggunaan silikon karbida yang paling umum ditemukan adalah sebagai bahan penghalus pada alat gerinda serta pada kertas amplas (abrasive paper). (Zamheri, 2011).



Gambar 6. Silikon Carbida (SiC)

G. Bushing

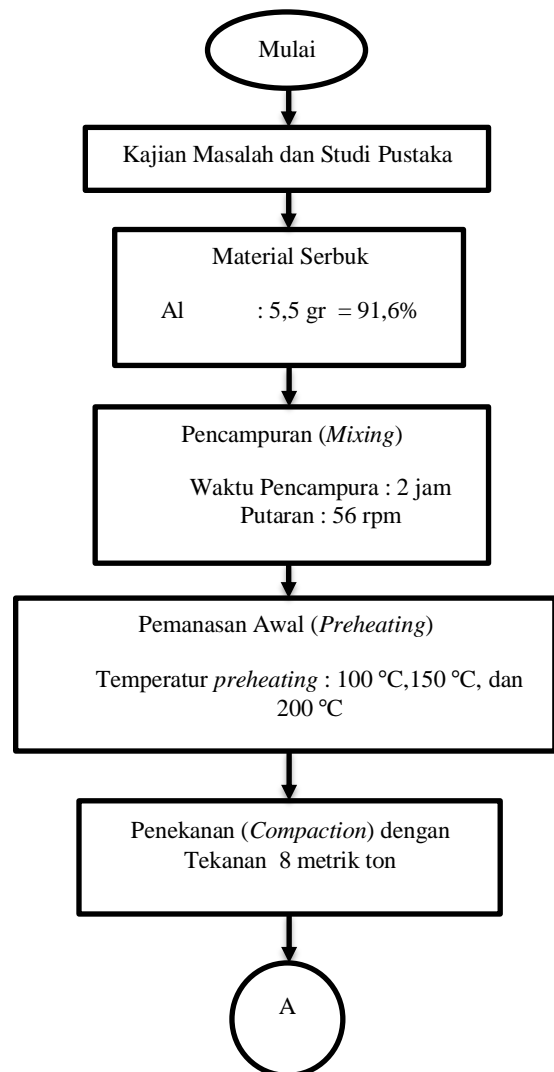
Bushing merupakan salah satu jenis *bearing* yang berbentuk silinder berlubang yang tidak menggunakan *roller* dan *ball* di dalamnya. Bushing juga bisasa disebut *plain bearing*. Fungsinya sebagai penumpu poros, mengurangi gesekan, keausan dan hilangnya tenaga akibat bagian yang saling bergesekan. Bushing biasa digunakan untuk putaran lambat dengan tingkat beban ringan sampai berat atau pada putaran sedang tetapi dengan beban yang ringan.

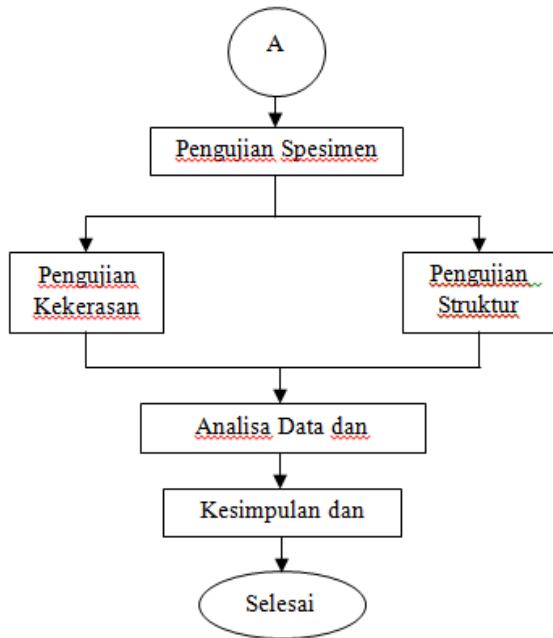
Bushing sendiri memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dibuat serta dipasang dengan mudah. Karena gesekan yang dialami sangat besar pada saat putaran awal, bushing memerlukan momen awal yang besar. Panas yang timbul dari gesekan yang besar memerlukan pendinginan khusus. Sekalipun demikian, karea adanya lapisan pelumas, bantalan ini dapat meredam tumbukan dan getaran sehingga hampir tidak bersuara.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Mei 2025 dan berakhir pada bulan Juni 2025.

Penelitian dilakukan digambarkan melalui flowchart pada gambar 4 berikut:





Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Kekerasan *Rokwell*

Tabel 1. Pengujian kekerasan Rokwell

No.	Pemanasan Awal <i>Preheating</i> (°C)	Penitikan HR					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1	Normal	70,4	69,8	70,3	70,8	70,4	70,34
2	100	75,4	71,3	75,7	73,5	72,2	73,62
3	100	73,9	75	71,8	72,4	76,8	74,14
4	150	73,9	81,2	79,6	74,4	77,6	77,34
5	150	78,3	79,3	79,6	80,2	77,5	78,98
6	200	87	85,5	89,4	88,2	89,6	87,94
7	200	88,6	86,8	84,7	84,6	89	86,74

Pengujian kekerasan spesimen pada variasi *preheating* dilakukan penitikan sebanyak 5 titik untuk masing-masing spesimen yaitu pada penitikan 1 dilakukan pada bagian atas spesimen, untuk penitikan 2, 3, 4, 5 dilakukan secara acak pada bagian spesimen yang membentuk kali (x) dan di peroleh data diatas.

B. Pengujian Porositas

Tabel 2. Pengujian Porositas

No.	Massa		Temperatur <i>Preheating</i> (°C)
	Setelah <i>Sintering</i> (m ₁) (gr)	Massa Basah (m ₂) (gr)	
1	5,96	6,59	27 (suhu ruangan)
2	5,89	6,45	100
3	5,90	6,48	100
4	5,88	6,43	150
5	5,84	6,37	150
6	5,85	6,32	200
7	5,83	6,34	200

Setelah massa kering (m₁) dan massa basah (m₂) dilakukan perhitungan nilai porositas dengan rumus sebagai berikut :

Rumus :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

erhitungan pada spesimen 2 dengan temperatur *preheating* 100 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

$$\frac{6,45 \text{ gram} - 5,89 \text{ gram}}{5,89 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,56 \text{ gram}}{5,89 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,095 \times 100 \%$$

$$= 9,5 \%$$

Perhitungan pada spesimen 3 dengan temperatur *preheating* 100 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,48 \text{ gram} - 5,90 \text{ gram}}{5,90 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,58 \text{ gram}}{5,90 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,098 \times 100 \%$$

$$= 9,8 \%$$

Perhitungan pada spesimen 4 dengan temperatur *preheating* 150 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,43 \text{ gram} - 5,88 \text{ gram}}{5,88 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,55 \text{ gram}}{5,88 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,093 \times 100 \%$$

$$= 9,3 \%$$

Perhitungan pada spesimen 5 dengan temperatur *preheating* 150 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,37 \text{ gram} - 5,84 \text{ gram}}{5,84 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,53 \text{ gram}}{5,84 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,090 \times 100 \%$$

$$= 9 \%$$

Perhitungan pada spesimen 6 dengan temperatur *preheating* 200 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

$$= \frac{6,32 \text{ gram} - 5,85 \text{ gram}}{5,85 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,47 \text{ gram}}{5,85 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,080 \times 100 \%$$

$$= 8 \%$$

Perhitungan pada spesimen 7 dengan temperatur *preheating* 200 °C :

$$\emptyset = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \%$$

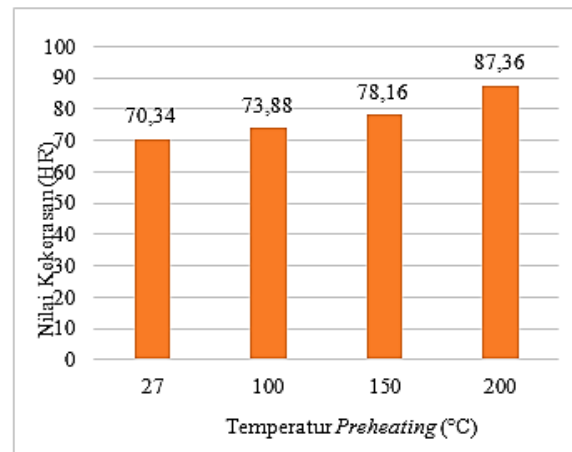
$$= \frac{6,34 \text{ gram} - 5,83 \text{ gram}}{5,83 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= \frac{0,51 \text{ gram}}{5,83 \text{ gram}} \times 100 \%$$

$$= 0,087 \times 100 \%$$

$$= 8,7 \%$$

1. Nilai Kekerasan *Rockwell*

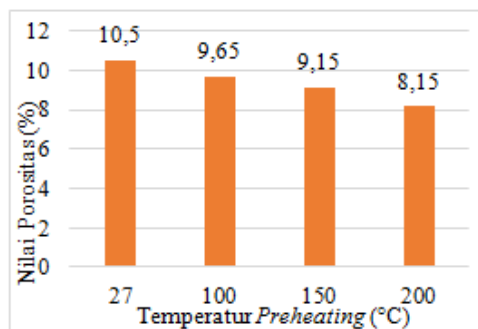


Gambar 7. Grafik Hubungan antara Nilai Kekerasan dan temperatur *Preheating*

Dari **gambar 7** dapat dilihat dengan grafik hubungan antara nilai kekerasan dan temperatur *Preheating*, pada spesimen 27 °C (suhu ruangan) memiliki nilai kekerasan 70,34 HR. Pada spesimen kedua dengan temperatur 100 °C memiliki nilai kekerasan 73,88 HR. Pada spesimen ketiga dengan temperatur 150 °C memiliki nilai kekerasan 78,16 HR. Pada spesimen keempat dengan temperatur 200 °C memiliki nilai kekerasan 87,36 HR. Dari gambar 4.1 terlihat bahwa nilai kekerasan yang paling rendah terjadi pada spesimen dengan temperatur 27 °C sebesar 70,34 HR dan nilai kekerasan yang paling tinggi dihasilkan pada spesimen dengan temperatur 200 °C sebesar 87,36 HR. Kekerasan meningkat karena ikatan antar partikel saling mengikat dan efisiensi reaksi tegangan yang tinggi, menyebabkan

partikel mengalami pertumbuhan butir dan saling berikatan sehingga terjadi kepadatan yang meningkat.

2. Nilai Porositas



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Nilai Porositas dan temperatur *Preheating* Spesimen

Berdasarkan grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai porositas dan temperatur *preheating*, terlihat bahwa pada spesimen pertama dengan suhu 27 ° (suhu ruang), nilai porositasnya mencapai 10,5 %. Spesimen kedua dengan temperatur 100 ° memiliki nilai porositas sebesar 9,65 %. Pada spesimen ketiga dengan temperatur 150 ° menunjukkan nilai porositas mencapai 9,15 %, dan spesimen keempat pada temperatur 200 ° memiliki porositas terendah yaitu 8,15 %, dengan temperatur yang lebih tinggi, partikel logam lebih homogen dan saling berikatan lebih kuat, sehingga mengurangi jumlah pori yang terbentuk. Dari Gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa nilai porositas tertinggi terjadi pada temperatur 27 ° (suhu ruang) sebesar 10,5 %, sedangkan nilai porositas terendah terjadi pada temperatur 200 ° sebesar 8,15 %.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *preheating*, semakin rendah nilai porositas. Alasannya, pada temperatur yang lebih tinggi, partikel logam menjadi lebih homogen, lebih mudah berdifusi, serta membentuk ikatan antar partikel yang lebih kuat. Kondisi ini mengurangi jumlah rongga atau pori yang terbentuk dalam material.

Jadi, hubungan antara porositas dan temperatur *preheating* bersifat berbanding terbalik: ketika temperatur *preheating* meningkat, porositas material menurun.

3. Pengujian Struktur Mikro

Berdasarkan penelitian ini dengan pengujian struktur mikro menggunakan lensa 0,25 mm dan pembesaran 200 kali, diketahui bentuk struktur mikro pada spesimen normal dapat dilihat pada gambar dibawah ini sebagai berikut :



Gambar 9. Struktur Mikro

Gambar 4.3 dengan spesimen normal yang menunjukkan, dimana partikel yang berwarna terang adalah Aluminium, dan kemudian yang berwarna hitam pekat atau abu-abu tua (menyebarkan) adalah Silikon Carbida (SiC) yang saling terikat dan menyatu dengan Aluminium. Berdasarkan pengamatan terlihat adanya ukuran partikel aluminium (Al) dan Silikon Carbida (SiC) yang berbeda-beda sehingga partikel tidak tersebar secara merata dan berpengaruh pada tingginya nilai porositas dan nilai kekerasan yang rendah. Porositas yang tinggi disebabkan spesimen 27 °C tidak mengalami pemanasan awal (*preheating*) dan *Sintering*, dan juga berpengaruh pada nilai kekerasan yang rendah. Dari hasil struktur mikro menunjukkan banyaknya porositas (ruang kosong) dimana partikel tidak saling mengikat dan belum terbentuk partikel yang homogen.

Kesimpulan

Berdasarkan pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengaruh variasi temperatur *preheating* terhadap sifat mekanik pada metalurgi serbuk Al-SiC, yaitu :

1. Temperatur *preheating* berpengaruh terhadap kekerasan material Al-SiC yaitu pada spesimen 27° C (suhu ruangan) dengan nilai kekerasan 70,34 HR, pada temperatur *preheating* 100° C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 73,88 HR, pada temperatur *preheating* 150° C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 78,16 HR, dan pada

saat temperatur *preheating* 200° C dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 87,36 HR. Dari data yang dihasilkan bahwa semakin tinggi temperatur *preheating* maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

2. Temperatur *preheating* berpengaruh terhadap porositas material Al-SiC yaitu pada spesimen 27 °C (suhu ruangan) dengan nilai porositas 10,5 %, pada temperatur *preheating* 100 °C dengan nilai porositas yaitu 9,65 %, pada temperatur *preheating* 150 °C dengan nilai porositas yaitu 9,15 %, dan pada saat temperatur *preheating* 200 °C dengan nilai porositas yaitu 8,15 %. Dari data yang dihasilkan bahwa semakin tinggi temperatur *preheating* maka semakin rendah nilai porositasnya.
3. Temperatur *preheating* berpengaruh terhadap struktur mikro material Al-SiC, pada spesimen 27 °C (Suhu Ruangan) terlihat adanya ukuran partikel Aluminium dan Silikon Karbida yang berbeda-beda sehingga partikel tidak tersebar secara merata dan banyaknya porositas (ruang kosong) dimana partikel tidak saling mengikat dan belum terbentuk partikel yang homogen. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 100 °C, struktur mikro masih menunjukkan banyaknya porositas, serta ukuran antar partikel belum seragam sehingga menyebabkan penurunan nilai kekerasan. Pada spesimen dengan temperatur *preheating* 150 °C, proses *preheating* ini menunjukkan terjadinya densifikasi, di mana partikel berukuran kecil mulai larut dan bergabung dengan partikel yang lebih besar sehingga menghasilkan pemadatan yang lebih baik. Pada spesimen temperatur *preheating* 200 °C menunjukkan bahwa partikel lebih mendekati keseragaman ukuran, meskipun masih terlihat beberapa partikel yang memiliki ukuran yang besar dan hasil dari struktur mikro menunjukkan porositas yang semakin menurun sehingga dapat dikategorikan bahwa porositas mencapai ukuran tertentu.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada orang tua, saudara, serta semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penelitian ini. Tanpa dukungan kalian, penelitian ini

tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan, doa, dan dorongan yang diberikan sangat berarti. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih banyak atas kontribusi dan bantuannya.

Daftar Pustaka

- Ananda, T. (2023). Studi Eksperimen Pengaruh Tekanan dan Suhu Sinter Paduan Al-Ti 14% Terhadap Sifat Mekanik Kekerasan Dengan Metode Metalurgi Serbuk.(Experimental Study of the Effect of Sintering Pressure and Temperature of 14% Al-Ti Alloy on Hardness Mechanical Properties Using the Powder Metallurgical Method) (Doctoral dissertation, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya).
- Ardiansyah, M. (2024). Tinjauan Skala Besaran Serbuk Aluminium Terhadap Hardness Pada Proses Metalurgi Serbuk. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik, 4(1), 52-58.
- Arianti, F. (2013). Pengaruh Ketebalan Dinding Terhadap Distribusi Kekerasan dan Porositas Bushing dari Duralumin Powder Metallurgy (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Budiarto, B., Susilo, S., & Sanjaya, U. (2019). Sintesis Paduan Alumunium (6061) Dengan Metalurgi Serbuk Dan Proses T6 Untuk Bahan Fin Roket.
- Meilani, A. Z. (2016). Pengaruh Waktu Pencampuran Dan Temperatur sintering Terhadap Komposisi Fasa Intermetalik dan Sifat Mekanik Komposit Cu-10% Wtsn Sebagai Material Peluru Frangible.
- Mufidah, I. M. R. O. A. T. U. L. (2015). Pengaruh Pemanasan Serbuk Al Pra-Kompaksi Terhadap Sifat Fisis Komposit Al/SiC Hasil Metode Metalurgi Serbuk. TUGAS AKHIR-SF, 141501, 1-69.