



ANALISA SIFAT MEKANIK DENGAN MELAKUKAN PENCAMPURAN AL-CU DENGAN METODE TEKANAN KOMPAKSI DAN VARIASI SINTERING

Hasan Basri, Maula Nafi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia

Email: albustomi833@gmail.com

ABSTRAK

Metode yang berkembang saat ini dalam pembuatan material komposit adalah metalurgi serbuk. Ini adalah teknologi manufaktur yang banyak digunakan di industri untuk inovasi berbagai teknologi material. Salah satu manfaat penerapan teknik berbasis bubuk adalah bahwa sifat material yang berbeda dapat dikombinasikan dengan sifat yang berbeda untuk menciptakan sifat baru seperti yang dirancang. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk dapat mengetahui pengaruh dari variasi tekanan kompresi dan variasi suhu sintering terhadap nilai densitas, kekerasan dan struktur mikro. Hasil dari pengujian ini mendapatkan, nilai kekerasan terbesar diperoleh pada tekanan 6200 Psi pada suhu 450°C sebesar 53,14 HRB, dan nilai kekerasan terendah diperoleh pada tekanan 6400 Psi pada suhu sintering 550°C sebesar 23,48 HRB. Dan nilai densitas terbesar berada pada tekanan 6200 Psi pada suhu 450°C sebesar 2,75. Dan nilai densitas terendah terdapat pada tekanan 6400 Psi pada suhu 550°C sebesar 2,49. Hal ini memperlihatkan bahwasannya tekanan dan suhu sintering sangat berpengaruh terhadap nilai densitas, kekerasan dan struktur mikro.

Kata kunci : Aluminium, Tembaga, Metalurgi Serbuk, Tekanan kompaksi, Suhu sintering, Kekerasan, Densitas.

ABSTRACT

The currently developing method in the manufacture of composite materials in powder metallurgy. It is a manufacturing technology that is widely used in industry for the innovation of various material technologies. One of the benefits of applying powder-based techniques is that different material properties can be combined with different properties to create new properties as designed. In this study, the purpose of this study was to determine the effect of fluctuations in compression pressure and sintering temperature fluctuations on the values of density, hardness, and microstructure. From the results of this test obtained. The highest hardness value is at a pressure of 6200 Psi at a temperature of 450°C at 53.14 HRB, and the lowest hardness value is at a pressure of 6400 Psi at a sintering temperature of 550°C at 23.48 HRB. And the greatest density value is at a pressure of 6200 Psi at a temperature of 450°C at 2.75. And the lowest density value is at a pressure of 6400 Psi at a temperature of

550°C at 2.49. This shows that the sintering pressure and temperature greatly affect the value of density, hardness, and microstructure.

keywords: *Aluminum, Copper, Powder Metallurgy, Compaction pressure, Sintering temperature, Hardness, Density.*

PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan pada bidang teknologi otomotif, diperlukan material dengan kinerja yang baik. Penelitian material komposit matrik logam saat ini sedang dikembangkan untuk mendapatkan material dengan sifat yang diinginkan dan lebih baik (Pramono, 2011).

Metode pembuatan komposit yang saat ini berkembang adalah metalurgi dengan teknik fabrikasi yang sangat luas penerapannya diberbagai inovasi teknologi material dalam dunia industri. Keunggulan dari menggunakan teknologi berbasis serbuk antara lain dapat menyatukan berbagai sifat material yang berbeda karakteristik, sehingga memperoleh sifat yang baru sesuai yang direncanakan (Mufidah, 2015). Dan menurut Totok, (2006) Manfaat dari proses metalurgi serbuk antara lain efisiensi bahan yang tinggi, kemampuan untuk membuat paduan dari bahan dengan perbedaan density dan temperatur leburnya cukup tinggi, porositas dan homogenitas produk, dan mudah dalam mengatur komposisi paduan bahan. Kelemahan dari proses metalurgi serbuk adalah keterbatasan bentuk dan ukuran benda yang dapat diproduksi.

Aluminium (Al) merupakan jenis material yang banyak diperlukan suatu bidang penerbangan, otomotif, dan konstruksi. Aluminium memiliki densitas yang rendah dibandingkan dengan baja tetapi memiliki konduktivitas termal dan listrik yang besar, ulet dan juga tahan korosi (Callister dan Rethwisch, 2009). Namun

aluminium memiliki keterbatasan disuhu titik lebur (660°), tingkat kekerasan dan ketahanan di aus yang relatif sangat rendah. Kekuatan mekanis yang dimiliki aluminium dapat ditinggikan dengan cara pencampuran antara aluminium murni dengan unsur-unsur lain. Seperti unsur tembaga, silikon, magnesium, seng dan mangan. (Callister dan Rethwisch, 2009).

Tembaga merupakan salah satu logam yang paling dekat dalam kehidupan, seperti aktifitas dalam pengisian ulang daya ponsel, menghidupkan lampu, hingga menemani kegiatan dalam berselancar di dunia maya dengan menggunakan laptop. Simbol tembaga yaitu Cu (cuprum) dengan nomor atom 29. Jenis pada logam ini yang paling banyak digunakan di berbagai industri karena sifatnya yang konduktif (menyalurkan) panas dan listrik, tahan korosi, mempunyai sifat antimikroba, serta teksturnya yang elastis dan lunak sehingga mudah dibentuk. Sifat ini lah yang membuat tembaga dipakai untuk kabel penghantar listrik dan jadi salah satu bahan utama di berbagai alat elektronik.

Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode metalurgi serbuk. Penelitian ini bertujuan untuk memahami kandungan sebuah komposit yang dianalisa dalam Al menggunakan unsur tembaga terhadap spesimen tekanan sebanyak 6000, 6200, 6400 Psi dengan waktu tekan 5 menit dan suhu sintering 450°, 500°, dan

550°. dengan menggunakan pengujian densitas, kekerasan, dan struktur mikro.

Metalurgi Serbuk

Pemadatan (Kompakt)

Proses kompaksi bertujuan untuk mendapatkan spesimen dengan bentuk yang telah dipola dalam cetakan dengan bentuk tablet. Pemadatan dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada cetakan yang telah di isi serbuk paduan. Dengan pemadatan, material akan lebih padat dan mampu melalui proses berikutnya (Kalpakjian, 1989).

Sintering

Hasil yang diperoleh dari proses kompaksi, sintering dilakukan untuk memenuhi kebutuhan sebelum spesimen melalui tahap pengujian dengan tujuan memanaskan spesimen agar atom-atom pada spesimen lebih padat, pada suhu titik lebur yang telah di tentukan (Suwanda, 2006).

Kekerasan

Dilaksanakan dengan cara menekan permukaan atas material dengan indenter yang sudah di tentukan. Penekanan pada material uji. Dan yang membuat banyak orang menggunakan pengujian kekerasan HRB (*Hardness Rockwell Brinel*). Karena mudah dan mempersingkat waktu pada saat penjujian(Suwanda, 2006).

Tabel 2. 1 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Major Load (kg)
A	Diamond	60
B	$\frac{1}{16}$ in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	$\frac{1}{8}$ in. ball	100
F	$\frac{1}{16}$ in. ball	60
G	$\frac{1}{16}$ in. ball	150
H	$\frac{1}{8}$ in. ball	60
K	$\frac{1}{8}$ in. ball	150

Tabel 2. 2 Skala Kekerasan Rockwell

Skala	Indentor	Beban (kgf)			Pemakaian
		Minor	Mayor	Total	
A	Intan 120 ⁰	10	50	60	Cabide Cementite baja tipis dan baja dengan lapisan keras yang tipis.
B	Bola baja Ø 1,588 mm (1/16")	10	90	100	Tembaga, Alumunium, baja lunak dan besi tempa

Densitas

Uji densitas merupakan pengujian mengukur kepadatan dari paduan Al-Cu dan menggunakan rumus massa (m) dengan volume (v).

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Struktur mikro

Uji mikro dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur struktur butiran partikel dalam sebuah spesimen uji. Sebelum di uji lakukan pengamplasan pada permukaan spesimen hingga halus setelah itu dilakukan zoom menggunakan mikroskop.

PROSEDUR EKSPERIMEN

Proses Penimbangan spesimen

Benda dengan komposisi yang sesuai dengan keinginan, perlu dilakukan penimbangan pada spesimen, bertujuan untuk mendapatkan komposisi yang diperlukan oleh penulis, agar bisa dilakukan proses selanjutnya.



Gambar 1. Proses penimbangan

Pencampuran dan pengadukan (Mixing)

Butiran-butiran serbuk yang telah dilakukan proses penimbangan harus terdistribusi merata, sehingga perlu dilakukan pencampuran dan dilakukan pengadukan (mixing).



Gambar 2. Proses pencampuran



Gambar 3 Proses pengadukan

Pemadatan (Kompaksi)

Tujuan dari proses tekanan kompaksi yaitu memadatkan paduan serbuk dari Al-Cu menjadi padat sesuai dengan pola cetakan yang diinginkan.



Gambar 4. Proses kompaksi

Sintering

Hasil yang diperoleh dari proses kompaksi, sintering dilakukan untuk memenuhi kebutuhan sebelum spesimen melalui tahap pengujian dengan tujuan memanaskan spesimen agar atom-atom pada spesimen lebih padat, pada suhu titik lebur yang telah di tentukan.



Gambar 5. Proses sintering

Pengujian Densitas

Pengujian densitas yaitu pengujian agar mendapatkan nilai kerapatan dari material uji yang mana perbandingan massa (m) dengan volume (V).



Gambar 6. Pengujian densitas

Pengujian Kekerasan (HRB)

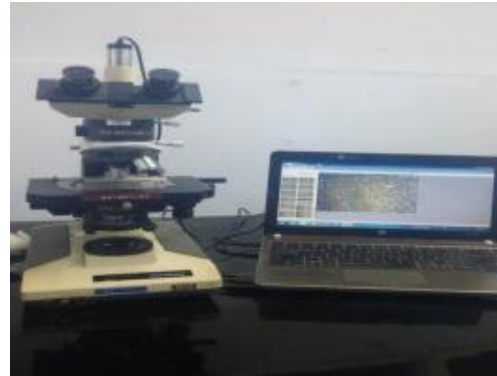
Uji Kekerasan Rockwell merupakan salah satu metode uji yang dilakukan karena cepat dan tidak merusak.



Gambar 7. Pengujian kekerasan

Pengujian Struktur Mikro

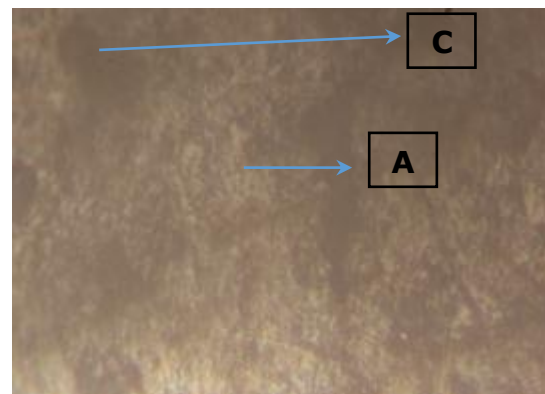
Bertujuan agar dapat memperoleh hasil struktur butiran dari unsur kandungan yang terdapat didalam benda uji Al-Cu.



Gambar 8. Pengujian struktur mikro

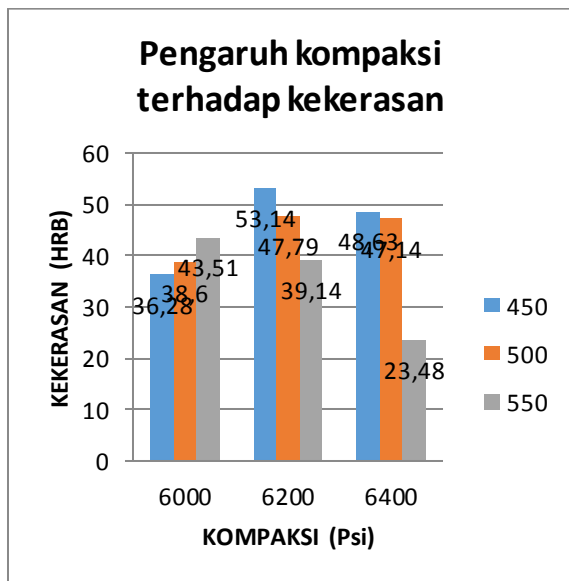
Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dalam pengamatan penulis pada struktur mikro, memperlihatkan bahwa butiran dengan berwarna hitam, memperlihatkan adanya kandungan Cu yang menyebar cukup merata, kalau untuk yang berwarna putih keabu abuan menunjukkan kandungan aluminium.



Gambar 1. Struktur mikro

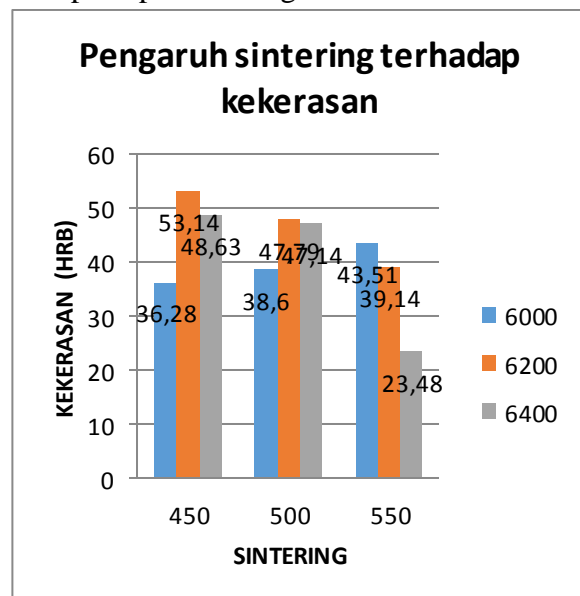
Hasil Pengujian kekerasan



Gambar 2 Grafik pengaruh variasi tekanan terhadap nilai kekerasan (HRB)

Pada grafik diatas menggambarkan variasi kompaksi terhadap kekerasan, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 36,28 HRB. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 53,14 HRB. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 48,63 HRB. pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi, dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 38,6 HRB. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 47,79 HRB. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 47,14 HRB.

pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi, dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 43,51 HRB. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 39,14 HRB. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 23,48 HRB. Hal ini terjadi dengan seiring bertambahnya tekanan kompaksi dan bertambahnya suhu dan dilakukan waktu tahan sintering selama 1 jam. Pada tekanan kompaksi 6200 dengan suhu sintering 450°C. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya tekanan kompaksi dan bertambahnya suhu sintering, dimana semakin besar tekanan kompaksi akan semakin memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat sintering.



Gambar 1 Grafik Hubungan Suhu Terhadap Kekerasan Al-CU

Pada grafik diatas mendeskripsikan variasi suhu sintering terhadap kekerasan, Pada tekanan 6000, 6200 dan 6400 Psi. Masing-masing tekanan mempunyai 3

variasi suhu sintering. Pada tekanan 6000 Psi menggunakan suhu sintering 450°C, diketahui nilai rata-rata kekerasan sebanyak 36,28 HRB. Pada tekanan 6000 Psi menggunakan suhu sintering 500°C, Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 38,6 HRB. Pada tekanan 6000 Psi menggunakan suhu sintering 550°C, Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 43,51 HRB. Hal ini memperlihatkan terjadinya kenaikan grafik yang ditimbulkan oleh kenaikan rata-rata nilai kekerasan seiring bertambahnya suhu sintering.

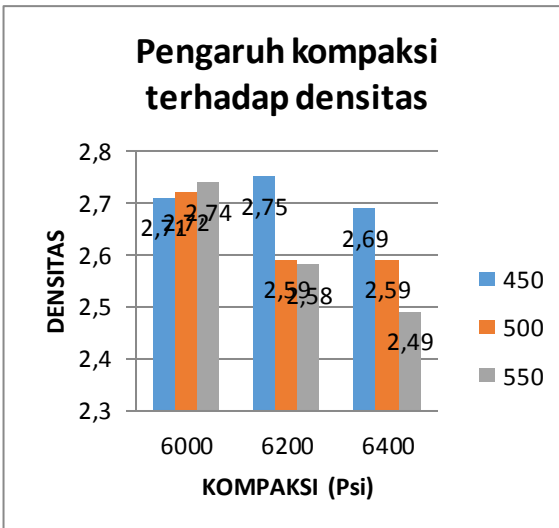
Pada tekanan 6000, 6200 dan 6400 Psi. Masing-masing tekanan mempunyai 3 variasi suhu sintering. Pada tekanan 6200 Psi menggunakan suhu sintering 450°C, diketahui nilai rata-rata kekerasan sebanyak 53,14 HRB. Pada tekanan 6200 Psi menggunakan suhu sintering 500°C, Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 47,79 HRB. Pada tekanan 6200 Psi menggunakan suhu sintering 550°C, Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 39,14 HRB.

Pada tekanan 6000, 6200 dan 6400 Psi. Masing-masing tekanan mempunyai 3 variasi suhu sintering. Pada tekanan 6400 Psi menggunakan suhu sintering 450°C, diketahui nilai rata-rata kekerasan sebanyak 48,63 HRB. Pada tekanan 6400 Psi menggunakan suhu sintering 500°C, Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 47,14 HRB. Pada tekanan 6400 Psi menggunakan suhu sintering 550°C, Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebanyak 23,48 HRB.

Hal ini disebabkan oleh bertambahnya tekanan kompaksi dan bertambahnya suhu sintering, dimana

semakin besar tekanan kompaksi akan semakin memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat sintering.

Hasil Pengujian densitas



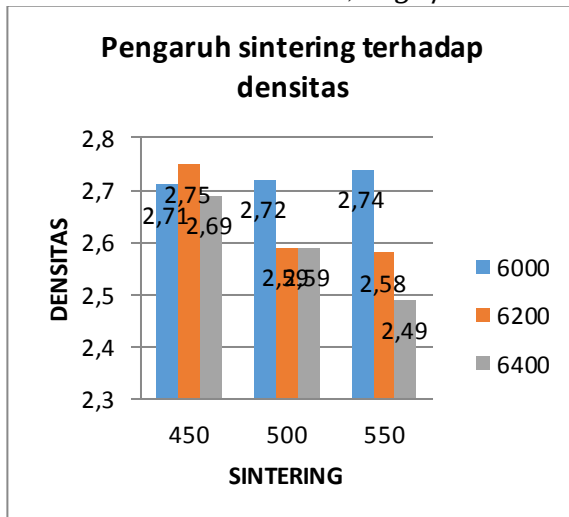
Gambar 2. Grafik Hubungan Tekanan Terhadap Densitas Al-CU

Pada grafik diatas menggambarkan variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,71 gr/ml. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 2,75 gr/ml. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 2,69 gr/ml.

Pada variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,72 gr/ml. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami

penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,59 gr/ml. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Tidak mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,59 gr/ml.

Pada variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,74 gr/ml. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,58 gr/ml. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,49 gr/ml.



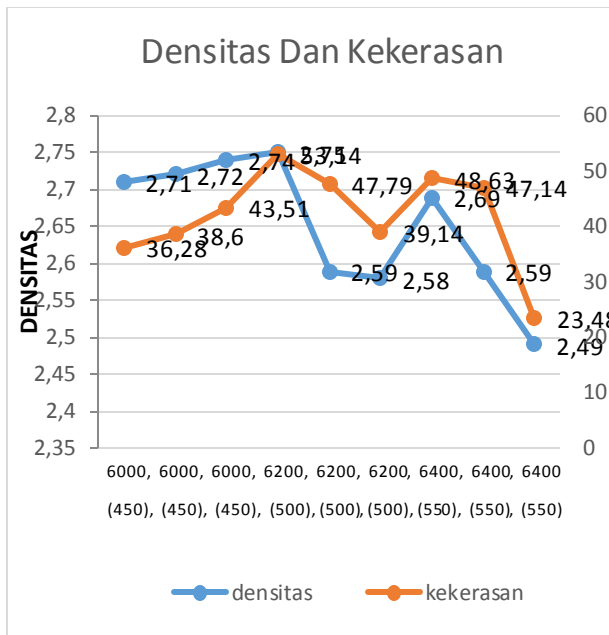
Gambar 3. Grafik Hubungan Suhu Terhadap Densitas AL CU

Pada grafik diatas menggambarkan variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,71 gr/ml.. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami kenaikan kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 2,75 gr/ml.. Pada suhu 450°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan

kekerasan dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar 2,69 gr/ml..

Pada variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,72 gr/ml.. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,59 gr/ml.. Pada suhu 500°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Tidak mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,59 gr/ml.. Pada variasi kompaksi terhadap densitas, pada suhu sintering 450°C, 500°C, 550°C. Masing-masing tekanan memiliki tiga variasi tekanan kompaksi. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6000 Psi. dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,74 gr/ml.. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6200 Psi. Mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,58 gr/ml.. Pada suhu 550°C, dengan tekanan kompaksi 6400 Psi. Mengalami penurunan densitas dengan nilai rata-rata densitas sebesar 2,49 gr/ml.

Hasil Pengujian kekerasan



Gambar 4. Hubungan Densitas Dan Kekerasan

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara densitas dan kekerasan. Artinya, nilai densitas berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Semakin tinggi nilai densitas maka sampel semakin padat dan ikatan antar partikel semakin rapat sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari melakukan sebuah penelitian dan pengamatan di atas, penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Pengaruh perubahan variasi kompaksi dan suhu sintering terhadap nilai kekerasan (HRB). Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada suhu sintering 450°C memperoleh nilai 53,14 HRB dan nilai kekerasan terendah diperoleh pada suhu sintering 550°C memperoleh nilai 23,48 HRB.
2. Pengaruh perubahan tekanan kompaksi dan suhu sintering terhadap nilai densitas. Nilai densitas tertinggi diperoleh pada suhu sintering 450°C

sebesar 2,75 dan nilai densitas terendah diperoleh pada suhu sintering 550°C sebesar 2,49.

3. Pengaruh hubungan nilai densitas dan nilai kekerasan terhadap perubahan tekanan kompaksi dan suhu sintering. Semakin tinggi nilai densitas, semakin padat benda uji, semakin rapat ikatan antar partikel, dan semakin tinggi nilai kekerasannya.

Untuk melakukan pengujian lebih lanjut, peneliti menyarankan:

1. Ketika melakukan proses pencetakan alat kompaksi di uji coba dulu kelayakannya.
2. Dalam pemilihan bahan sebaiknya lebih diperhatikan lagi kemurnian pada aluminium murninya

Daftar Pustaka

- Ahmad Junaidi. 2013. Analisa Kekasaran Dan Ketahanan Aus Terhadap Bantalan Luncur Pada Motor Starter Yang Dibuat Dengan Metode Serbuk Tembaga – Aluminium. *Jurnal Autenit*. Vol. 5. No.1
- Callister Jr, W.D. dan Rethwisch, D.G. 2009. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 8th ed., John Wiley and Sons, NewYork.
- Jhony Paiman. 2014. *Analisa Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Ikatan Antar Muka Pada Komposit Matrik Logam Cu- 10%Wtsn Dengan Metode Metalurgi Serbuk*. Tugas Akhir Department Of Materials

- And Metallurgical Engineering. Faculty of Industrial Technology Surabaya.
- Kalpakjian S. Schmid, Steven R. 2003. *Manufacturing Processes for Engineering Materials*. Fourth Edition. Illinois Institute of Technology. Chicago.
- M. Faizin Alamsyah. 2013. Pengaruh Holding Time Pada Proses Age Hardening Terhadap Kekerasan Komposit Al-Cu Yang Diperkuat Serbuk Fly Ash. *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 1, No. 1*.
- Muhammad Nur. 2015. *Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Kampas Kopling Plat Gesek*. Naskah Publikasi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pramono Agus. 2011. Karakteristik Fisik Dan Struktur Mikro Komposit Logam Aluminium-Grafit Hasil Proses Metalurgi Serbuk. *Jurnal ROTOR*. Vol (4) 1.
- Pratama N. Hendra. 2014. *Pengaruh Variasi Tekanan Dan Temperatur Warm Compaction Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Komposit Cu-10%Sn + 0,5% Zinc Stearate Sebagai Material Peluru Frangible*. Tugas Akhir Department Of Materials And Metallurgical Engineering. Faculty of Industrial Technology Surabaya.
- Setiadi Iwan. 2018. Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Komposit Aluminium/Alumina Dengan Metode Metalurgi Serbuk. *Jurnal Mekanikal*. Vol. 9 No.2: Juli 2018: 865-871.
- Totok Suwanda.2006. Optimalisasi Tekanan Kompaksi, Temperatur Dan Waktu Sintering Terhadap Kekerasan Dan Berat Jenis Aluminium Pada Proses Pencetakan Dengan Metalurgi Serbuk. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. Vol. 9, No. 2, 2006: 187 – 198.
- Widyastuti dan Anugraha V. Gestantio. 2014. Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk. *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 3, No. 1, (2014) ISSN: 2337-3539.
- G. Sweet, M. Brochu, R. Hexemer Jr, I. Donaldson, and D. Bishop, "Microstructure and mechanical properties of air atomized aluminum powder consolidated via spark plasma sintering," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 608, pp. 273-282, 2014.
- A. Aminur, K. Kadir, and S. Samhuddin, "KOMPOSIT MATRIKS ALUMINIUM SILIKON BERPENGUAT ALUMINA DENGAN PROSES METALURGI SERBUK," in *Seminar Nasional Teknologi Terapan Berbasis Kearifan Lokal*, 2018.

Mufidah, I. (2015). PENGARUH PEMANASAN SERBUK Al PRAKOMPAKSI TERHADAP SIFAT FISIS KOMPOSIT Al/SiC HASIL METODE METALURGI SERBUK [Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya]. [https://repository.its.ac.id/51904/2/1110100703-Undergraduate Thesis.pdf](https://repository.its.ac.id/51904/2/1110100703-Undergraduate%20Thesis.pdf).