

SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO KOMPOSIT ALUMINIUM/ALUMINA DENGAN METODE METALURGI SERBUK

Iwan Setiadi¹, Muhammad Sadat Hamzah², Bahtiar²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tadulako
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

Abstract: Hardness Properties and Micro Structure of Aluminum / Alumina Composites by Powder Metallurgy Method. This study aims to determine the effect of sintering temperature variations on the hardness properties of Brinell and the micro / alumina composite microstructure. The material used in this research is Nippon Light Metal's powder and alumina. with composition (% heavy fraction) Al₂O₃ 99.7%, CaO 0%, Fe₂O₃ 0.009%, MgO 0%, Na₂O 0.03%, K₂O 0%, SiO₂ 0.01%, TiO₂ 0%, H TiO 0.26% , LOI 0.03%.

In this study aluminum powder as matrix and alumina powder as reinforcement, the process of making alumina powder specimens were calcined at 2000C, then calcined alumina was sieved with a sieve shaker machine to obtain fine powder using four sieve sizes, 90, 75, 63 and 53 μm, then the aluminum / alumina powder was mixed for 180 minutes using a tube mixer with 94% aluminum composition added with 6% alumina with the addition of alcohol to homogenize it. Formation of the sample by compacting using the uniaxial method at a pressure of 260 MPa, then sintered with a temperature variation of 4500C, 4750C and 5000C, held for 30 minutes at a rate of 100C minute increase in temperature. The tests included Brinell hardness testing and microstructure.

The test results show that the lower sintering temperature will increase the hardness value of the Brinell method of Al 94% + Al₂O₃ 6% with a sintering temperature of 4500C, the highest hardness value is 1,325 BHN, the hardness value at 4750C obtained the hardness value of 0.465 BHN and the lowest hardness value at temperature 5000C which is 0.441 BHN. Besides the increase in sintering temperature will affect the aluminum material because the increase in sintering temperature then followed by cooling will slowly result in lowering the hardness value of aluminum.

Keywords: Ceramics, alumina, hardness, compacting, mixing, sintering, microstructure

Abstrak: Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Komposit Aluminium/Alumina Dengan Metode Metalurgi Serbuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur sintering terhadap sifat kekerasan Brinell dan struktur mikro komposit aluminium/alumina. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk dan alumina merek Nippon Light Metal. dengan komposisi (% fraksi berat) Al₂O₃ 99,7%, CaO 0%, Fe₂O₃ 0,009%, MgO 0%, Na₂O 0,03%, K₂O 0%, SiO₂ 0,01%, TiO₂ 0%, H₂O 0,26%, LOI 0,03 %.

Dalam penelitian ini serbuk aluminium sebagai matriks dan serbuk alumina sebagai penguat, proses pembuatan spesimen serbuk alumina di kalsinasi dengan temperatur 2000C, selanjutnya alumina yang telah dikalsinasi diayak dengan mesin sieve shaker untuk mendapatkan serbuk halus dengan menggunakan empat ukuran ayakan yaitu 90, 75, 63 dan 53 μm, selanjutnya serbuk aluminium/alumina dimixing selama 180 menit menggunakan mixer tabung dengan komposisi aluminium 94% yang ditambahkan alumina 6% dengan penambahan alkohol untuk penghomogenannya. Pembentukan sampel dengan cara kompaksi dengan menggunakan metode uniaksial pada tekanan 260 Mpa, kemudian disinter dengan variasi temperatur 4500C, 4750C dan 5000C, ditahan selama 30 menit dengan laju kenaikan suhu 100C permenit. Pengujian yang dilakukan meliputi, pengujian kekerasan Brinell dan struktur mikro.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin rendah teperatur sintering akan meningkatkan nilai kekerasan metode Brinell bahan Al 94% + Al₂O₃ 6% dengan suhu sintering 4500C diperoleh nilai kekerasan tertinggi yaitu 1.325 BHN nilai kekerasan pada suhu 4750C diperoleh nilai kekerasan 0.465 BHN dan nilai kekerasan paling rendah pada suhu 5000C yaitu 0.441 BHN. Selain itu peningkatan suhu sintering akan berpengaruh terhadap bahan aluminium karena peningkatan suhu sintering kemudian diikuti pendinginan secara perlahan akan berakibat menurunkan nilai kekerasan aluminium.

Kata kunci : Keramik, alumina, kekerasan, kompaksi, *mixing*, *sintering*, struktur mikro

PENDAHULUAN

Alumina (Al_2O_3) berbentuk kristal berwarna putih adalah salah satu material penyusun bumi, alumina murni dapat diperoleh dengan memurnikan bauxit dengan proses kalsinasi. Alumina merupakan salah satu jenis keramik yang mempunyai sifat fisik stabil, tahan panas dan tahan korosi. Keunggulan sifat-sifat alumina lainnya adalah keras, ketahanan kimia dan ketahanan listrik yang baik. Alumina diproduksi dalam skala besar dan dengan harga relatif murah. Dengan keunggulan sifat - sifat tersebut alumina banyak digunakan pada komponen permesinan seperti alat potong, pompa, turbin gas, katup-katup dan digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya pada industri metalurgi (bahan refraktori, batu tahan api, isolasi penguat) serta komponen elektronika yaitu sebagai isolator rangkaian sirkuit (Barsoum, 1997).

Aluminium (Al) adalah salah satu jenis material yang banyak dibutuhkan dan digunakan dalam berbagai bidang yaitu bidang penerbangan, otomotif, dan konstruksi. Aluminium mempunyai densitas yang rendah dibandingkan dengan baja, konduktivitas termal dan listrik yang tinggi, ulet dan tahan korosi (Callister dan Rethwisch, 2009). Namun demikian, aluminium memiliki keterbatasan yaitu suhu leleh rendah (660°C), tingkat kekerasan dan ketahanan aus yang relatif rendah. Kekuatan mekanis dari aluminium dapat ditingkatkan dengan cara pepaduan antara aluminium murni dengan unsur - unsur lain. Unsur tersebut meliputi tembaga, magnesium, silikon, mangan, dan seng (Callister dan Rethwisch, 2009).

Komposit merupakan kombinasi dua atau lebih material yang menghasilkan sebuah material baru tetapi sifat dari material tersebut tidak dapat dicapai oleh material - material penyusunnya (Gibson, 1994). AMC dapat diproses melalui beberapa cara yaitu dengan pengecoran, metalurgi serbuk dan tekanan infiltrasi (Gikunno, 2004). Untuk metode pengecoran campuran matriks dengan penguat sulit homogen karena partikel

penguat mengendap atau mengapung yang disebabkan beda berat jenis. Sedangkan dengan metode metalurgi serbuk campuran matriks dan penguatnya dapat homogen.

Metalurgi serbuk adalah ilmu yang mempelajari proses dari serbuk logam yang meliputi fabrikasi, karakteristik, pemanasan, dan deformasi dari serbuk logam yang digunakan dalam komponen teknik (German, 1994). Metalurgi serbuk merupakan proses mengubah bentuk, sifat dan struktur dari serbuk menjadi sebuah produk. Menurut German (1994) metalurgi serbuk memiliki kelebihan yaitu menghasilkan produk yang presisi, kualitas produk yang baik, pemadatan serbuk yang baik sehingga menghasilkan densitas yang baik dan struktur mikro yang homogen.

Okafor dan Aigbodion (2010) meneliti pengaruh penambahan zircon silicate (ZrSiO_4) sebanyak 5-25 % terhadap properties Al-Cu 4.5 % yang dibuat dengan proses *squeeze casting*. Komposit dibuat dengan cara memanaskan aluminium pada tungku dan menambahkan serbuk zircon sebanyak 5-25%. Setelah itu 0,01% serbuk NaNO_3 ditambahkan untuk mengurangi oksidasi dan membentuk selaput pelindung di dalam tungku. Pada pemanasan awal, temperatur di set pada 750°C , dan kemudian ditingkatkan menjadi 800°C selama 12 menit agar logam Cu lebih mudah meleleh. Setelah itu tungku diputar pada 180 rpm dan ditambahkan serbuk ZrSiO_4 berukuran 1-2 μm yang telah diberikan pemanasan awal pada temperatur 1200°C . Untuk menghasilkan distribusi yang merata, proses pengadukan dilakukan selama 15 menit. Setelah tercampur merata, proses terakhir adalah menuangkan campuran ke dalam mesin *squeeze casting* berkapasitas 10 MPa dengan tetap menjaga temperatur konstan pada $760-780^\circ\text{C}$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ZrSiO_4 akan meningkatkan kekerasan dan porositas sebesar 107,65 % dan 34,23 %, serta menurunkan kekuatan *impact* sebesar 43,16%. Selain itu, tegangan *yield* dan kekuatan tarik akan meningkat

maksimum sebesar 156,52 % dan 155,81% pada persentase penambahan $ZrSiO_4$ sebanyak 15 %.

Rusianto (2014) meneliti tentang sifat fisis dan mekanis komposit paduan Al-Si/ Al_2O_3 yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk, penelitian ini menggunakan serbuk paduan Al-Si sebagai matrik dan serbuk Al_2O_3 sebagai penguat. Serbuk Al-Si berukuran 53 – 210 μm dengan bentuk partikel tidak beraturan yang diperoleh dengan cara pengikiran. Al_2O_3 serbuk dengan ukuran partikel 63 - 200 μm produksi merek Jerman. Variasi penambahan Al_2O_3 adalah 0, 3, 6, 9, 12 dan 15% berat. Pembentukan spesimen dengan variasi tekanan kompaksi 300, 400, dan 500 MPa, suhu sinter 550°C selama 2 jam dalam lingkaran gas argon. pengujian sifat mekanis meliputi kekerasan *Vickers*, kekuatan bending, keausan dan pengujian tegangan radial pada *bushing*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya tekanan kompaksi meningkatkan densitas, kekerasan dan kekuatan bending dari komposit paduan Al-Si/ Al_2O_3 . Sedang penambahan Al_2O_3 menurunkan densitasnya. Peningkatan sifat mekanis yang optimal diperoleh pada komposit dengan kandungan 6% berat Al_2O_3 dengan tekanan kompaksi 500 MPa.

Sukma dan Prasetyani (2015) meneliti tentang peran penguat partikel alumina dan silikon karbida terhadap kekerasan material komposit matriks aluminium, penelitian ini menggunakan aluminium berpenguat alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC) dengan variasi fraksi volume alumina 10% tanpa tambahan SiC, serta dengan penambahan SiC 5% dan 10%. Proses pengecoran dilakukan dengan metode *squeeze casting*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit dengan penguat alumina silikon karbida memiliki kekerasan yang paling tinggi yaitu rata-rata 60,28 HRB, dengan harga impak 0,0383 J/mm². Penambahan silikon karbida 5% didapatkan kekerasan yang lebih rendah yaitu 43 HRB dengan harga impak tetap 0,0383 J/mm², serta untuk penambahan silikon karbida 10% didapat nilai kekerasan

41,8 HRB dengan harga impak 0,0638 J/mm².

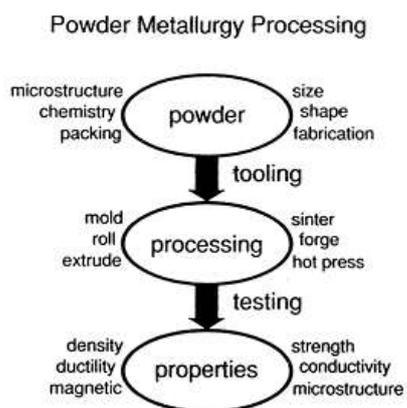
Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro terhadap AMC untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk partikel alumina dan *sintering*.

TINJAUAN PUSTAKA

Aluminium mempunyai densitas yang rendah (2,7 g/cm³) jika dibandingkan dengan baja (7,9 g/cm³), konduktivitas listrik dan termal yang tinggi serta tahan terhadap korosi. Aluminium memiliki struktur kristal FCC dan keuletannya dapat dipertahankan pada temperatur rendah. Keterbatasan utama aluminium adalah temperatur leleh yang rendah yaitu 660°C, hal tersebut membatasi temperatur maksimum penggunaannya (Callister dan Rethwisch, 2009).

Al_2O_3 (Alumina) merupakan oksida keramik yang paling banyak digunakan diantara beberapa macam oksida keramik yang ada dan seringkali dianggap sebagai pelopor keramik rekayasa modern. Alumina memiliki massa jenis 3,89 gr/cm³, titik leleh tinggi (2050°C), dan ketahanan terhadap panas atau ketahanan apinya telah lama dimanfaatkan oleh perancang tanur. Gaya pengikat inter atomiknya, sebagian ionik dan sebagian kovalen sangat kuat dan struktur kristal alumina secara fisis tetap stabil hingga temperatur sekitar 1500-1700°C. Apabila akan digunakan untuk komponen rekayasa pada temperatur lebih rendah, umumnya dipakai keramik alumina berbutir halus (0,5-20 μm) dengan porositas mendekati nol.

Menurut German (1994) metalurgi serbuk memiliki kelebihan yaitu menghasilkan produk yang presisi, kualitas produk yang baik, pemadatan serbuk yang baik sehingga menghasilkan densitas yang baik dan struktur mikro yang homogen. Tahapan dalam metalurgi serbuk seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tiga tahapan utama dalam metalurgi serbuk (German,1994)

Pencampuran (*mixing*) serbuk merupakan proses yang dilakukan sebelum serbuk dipadatkan menjadi *green body*. Pencampuran untuk menggabungkan dua atau lebih serbuk dengan geometri dan komposisi yang berbeda atau sama. Pencampuran serbuk diperlukan untuk membuat distribusi partikel homogen, mengkombinasikan serbuk untuk membuat komposisi paduan yang baru, menambahkan pelumas dan bahan pengikat untuk proses kompaksi serbuk (German, 1994).

Uniaxial *pressing* adalah metode pemadatan dan pembentukan *green body* bahan keramik dari serbuk atau butiran yang dibatasi cetakan tetap atau *fleksibel*. Pada metode ini gaya tekan untuk pemadatan (*single action* atau *double action*) umumnya diberikan searah (*axial*) sumbu *green body*. Pemadatan dilakukan menggunakan penumbuk (*punch*) yang permukaannya berkontur sesuai permukaan *green body* yang diperlukan. *Pressing* ini umumnya dilakukan secara kering sehingga lebih dikenal sebagai *dry pressing* (Barsoum, 1997).

Sintering yaitu memanaskan *green body* di dalam *furnace* (dapur pemanas) pada temperatur 2/3 dari titik cairnya supaya partikel halus tersebut beraglomerasi menjadi bahan padat. Kebanyakan bahan keramik dibuat dengan cara *sintering* dan tahapan dalam *sintering* mengacu pada urutan perubahan secara fisik yang terjadi ketika partikel-partikel saling mengikat dan porositasnya

menurun. Menurut German (1984) meskipun proses sinter merupakan proses yang penting dalam metalurgi serbuk, tetapi tidak terdapat aturan yang baku untuk diterapkan pada sebuah bahan.

Uji kekerasan berupa pembentukan lekukan pada permukaan logam memakai bola baja yang dikeraskan yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diterapkan selama waktu tertentu, biasanya 30 detik, dan diameter lekukan diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Permukaan yang akan dibuat lekukan harus relatif halus, rata dan bersih dari debu atau kerak.

Angka kekerasan *Brinell* (BHN) dinyatakan sebagai beban *F* dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya, luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diameter jejak. BHN dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$BHN = \frac{F}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana :

- BHN : Nilai kekerasan *Brinell* (BHN)
- F : Beban tekan (kgf)
- d : Diameter bekas penekanan (mm)
- D : Diameter bola baja (mm)

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

1. Ukuran dan bentuk butir
2. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
3. Pengotor yang terdapat dalam material.

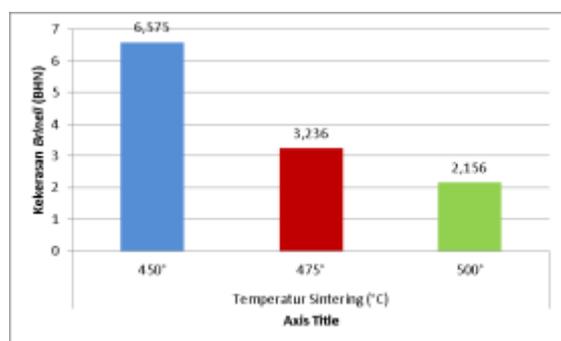
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan utama dalam penelitian ini adalah serbuk aluminium dan alumina serta menggunakan metode metalurgi serbuk. Pembuatan spesimen dilakukan

menggabungkan aluminium dan alumina dengan fraksi 94% aluminium : 6% alumina, spesimen uji dibuat dengan dimensi diameter 15 mm serta variasi temperatur sinternya 450°C, 475°C, dan 500°C selama 30 menit di dalam *furnace*. Spesimen yang telah dibentuk dilakukan pengujian kekerasan brinell dan pengujian struktur mikro.

Hasil Dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Uji kekerasan metode *Brinell* berupa pembentukan lekukan permukaan komposit dengan memakai bola baja berdiameter 2.5 mm, untuk bahan yang sangat keras digunakan paduan karbida *tungsten*. Beban diberikan selama 10 sampai 30 detik, dan diameter tekan bola baja diukur dengan mikroskop, setelah beban tersebut dihilangkan. Kemudian dicari nilai rata-rata dari 5 buah pengukuran dengan beban yang diberikan sebesar 1 kgf. Permukaan spesimen harus rata dan relatif halus, serta bebas debu atau kerak, contoh perhitungan metode *Brinell* dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 2 Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Kekerasan

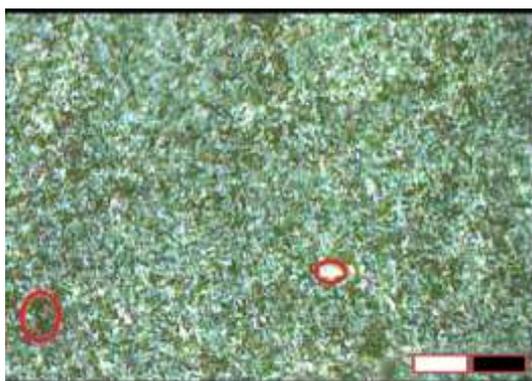
Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa hasil *sintering* komposit aluminium/alumina dengan variasi temperatur 450°C, 475°C, 500°C, nilai kekerasan yang dihasilkan oleh komposit aluminium/alumina pada temperatur 450°C terlihat bahwa pada temperatur ini memiliki kekerasan yang paling tinggi yaitu sebesar 6,575 BHN, untuk komposit aluminium/alumina temperatur 500°C didapat nilai kekerasan

yang lebih rendah yaitu sebesar 2,156 BHN.

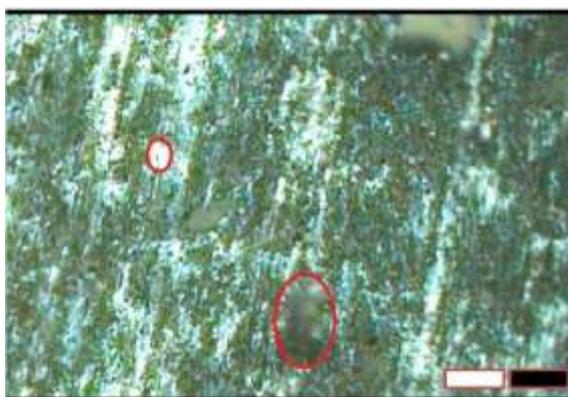
Gambar 2 juga memperlihatkan nilai kekerasan menurun dengan temperatur *sintering* 500°C, hal ini disebabkan oleh penurunan densitas komposit, jumlah porositas bertambah besar. Namun pada temperatur sinter 450°C spesimennya mengalami peningkatan densitas, dengan jumlah porositas berkurang dan mengecil. Menurut German, 1984 (dalam Hamzah, 2012) Proses penekanan juga mempengaruhi harga kekerasan komposit, pada penelitian ini penekanan dilakukan dengan satu arah sumbu yaitu *singel action pressing*, penekanan ini menyebabkan distribusi tekanan tidak merata, sehingga tekanan antar partikel belum sempurna secara keseluruhan atau untuk partikel yang tidak beraturan (*irregular*) belum terjadi *interlocking* antar partikel. Pengujian kekerasan dengan harga tertinggi diperoleh dari satu permukaan spesimen saja, yaitu permukaan yang mengalami penekanan langsung pada saat pembuatan *green body*.

Struktur Mikro

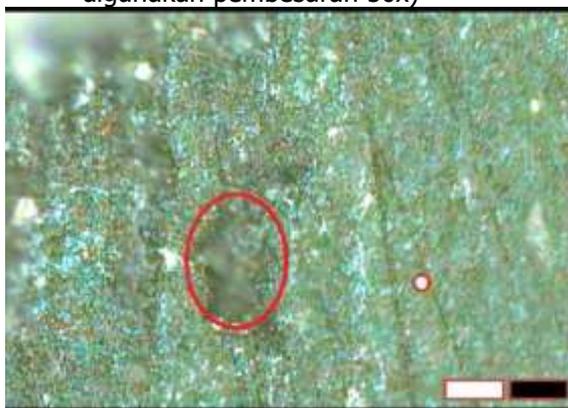
Hasil pengamatan struktur mikro dilakukan pada spesimen uji kekerasan yang berbentuk silinder dengan tekanan kompaksi 260 Mpa komposisi alumina 6% dengan temperatur *sintering* 450°C, 475°C dan 500°C yang ditahan selama 30 menit. Kemudian dilakukan pengamplasan agar permukaan spesimen yang akan diuji mikro strukturnya rata. pada setiap temperatur *sintering* sangat berpengaruh terhadap partikel aluminium/alumina, sruktur mikro pada spesimen yang telah di *sintering* dapat dilihat seperti pada Gambar 3, 4.3 dan 4.4



Gambar 3 Struktur mikro alumina temperatur sinter 450°C (pada saat pengambilan gambar digunakan pembesaran 50x)



Gambar 4 Struktur mikro alumina temperatur sinter 475°C (pada saat pengambilan gambar digunakan pembesaran 50x)



Gambar 5 Struktur mikro alumina temperatur sinter 500°C (pada saat pengambilan gambar digunakan pembesaran 50x)

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada Gambar 3 bahwa dengan temperatur sintering 450°C memperlihatkan batas butir antar partikel serbuk aluminium/alumina sudah terbentuk dan porositas yang terjadi berkurang dengan ukuran porositas yang semakin mengecil. Pada Gambar 4 dan 4.4 dengan

temperatur sintering 475°C dan 500°C tidak terlihat lagi batas butir secara signifikan antara aluminium/alumina akibat dari kedua partikel serbuk yang saling menekan, porositas yang terjadi pun cukup besar dengan ukuran porositas yang besar.

Pada proses pengujian struktur mikro ini, temperatur sintering sangat berpengaruh besar. Menurunkan temperatur sintering jumlah porositas yang terjadi berkurang dengan ukuran porositas yang semakin mengecil, dan tingginya temperatur sintering justru meningkatkan porositas yang terjadi dengan ukuran porositas yang besar.

KESIMPULAN

Dari hasil data dan pembahasan pada bab sebelumnya didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut di antaranya adalah :

1. Pada pengujian kekerasan, kekerasan tertinggi terdapat pada hasil temperatur sintering 450°C dengan nilai kekerasan rata-rata 6,575 BHN. Pada temperatur sintering 475°C dan 500°C, nilai kekerasannya semakin rendah hal ini terjadi disebabkan banyaknya porositas yang terjadi pada temperatur ini.
2. Pada pengujian struktur mikro, semakin kecil temperatur sintering jumlah porositas yang terjadi berkurang dengan ukuran porositas yang semakin kecil, dan tingginya temperatur sintering justru meningkatkan porositas yang terjadi dengan ukuran porositas yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Barsoum, M.W., 1997, "Fundamental of Ceramics", Mc Graw-Hill Book Co New York.
- Callister Jr, W.D. dan Rethwisch, D.G., 2009, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 8th ed., John Wiley and Sons, NewYork.

- German, R.M., 1994, *Powder Metallurgy Science, Metal Powder Industries Federation*, Princeton New Jersey.
- Gibson , Ronald F. 1994. *Principles of Composite Material Mechanics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Okafor, E.G. dan Aigbodion V.S., 2010, "*Efect of Zircon Silicate Reinforcments on the Microstructure and Properties of as Cast Al-4.5Cu Matrix Particulate Composites Synthesized via Squeeze Cast Route*", Departement of Metallurgical and Materials Engineering Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
- Rusianto, T., 2004, "*Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Paduan Al-Si/Al₂O₃ Yang Dibuat Dengan Metode Metalurgi Serbuk*", Pascasarjana, Universitas Gajah Mada.
- Sukma, H. dan Prasetyani, R., 2015, "*Peran Penguat Partikel Alumina dan Silikon Karbida Terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium*", Jurnal, Teknik Mesin Universitas Pancasila.