

Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Al-Cu terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Metal Matrix Composite Al-Cu+Al₂O₃

I Dewa Made Anumana Pramana Kerthanegara¹, M. Agus Sahbana² & Arief Rizki Fadhillah^{2*}

¹Mahasiswa program studi teknik mesin 1, Universitas Widyagama Malang 1

²Dosen Teknik Mesin 2, Universitas Widyagama Malang 2,

Jl. Taman Borobudur Indah No. 1, Mojolangu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65142

*E-mail: arief.rizki.f@widyagama.ac.id

Diajukan: 27 Juli 2022; Diterima: 17 Desember 2022; Diterbitkan: 23 Desember 2022

Abstrak

Salah satu dari material alternatif tersebut adalah komposit, hal ini dikarenakan material komposit memiliki kekuatan spesifik dan bobot yang cukup ringan. Salah satu material komposit yang saat banyak dikembangkan adalah Metal Matrix Composite (MMC). Aluminium (Al) salah satu material logam yang digunakan sebagai penguat/reinforcement pada Metal Matrix Composite (MMC). Al-Cu dan Al₂O₃ merupakan aluminium paduan yang dapat digunakan sebagai material matrix dan reinforcement pada Metal Matrix Composite (MMC). Dengan mengkombinasikan Al₂O₃ dan Al-Cu diharapkan mampu meningkatkan sifat mekanik dari Metal Matrix Composite (MMC). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh ukuran serbuk terhadap peningkatan sifat mekanis kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk dari variasi ukuran serbuk pada Metal Matrix Composite. Penelitian ini menggunakan variasi ukuran serbuk Al-Cu yang digunakan, antara lain: 30 mesh, 40 mesh, 50 mesh dan 100 mesh. proses pencetakan menggunakan metode hot isostatic pressing dengan tekanan sebesar 450 bar dan temperatur sebesar 400°C. sifat material dari MMC Al₂O₃ + Al-Cu yang ingin diketahui adalah nilai kekerasan dan struktur mikro. Hasil dari penelitian ini yaitu: pertama, Ukuran butir serbuk Al-Cu mempengaruhi nilai kekerasan dari Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 100 yaitu sebesar 25.38 HRB. Sedangkan, Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 30 yaitu sebesar 20.22 HRB. Kedua, Ukuran butir serbuk Al-Cu mempengaruhi struktur mikro dari Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃. Persentase porositas tertinggi yang terdapat pada Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ yaitu dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 30 sebesar 14.5%. Sedangkan, Persentase porositas terendah yang terdapat pada Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ yaitu dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 100 sebesar 8%.

Kata kunci: Metal Matrik Komposit; Matrik Al-Cu; Penguat Al₂O₃; Sintering; Ukuran Serbuk (Mesh); Kekerasan (HRB);

Abstract

One of these alternative materials is composite, this is because composite materials have specific strength and are quite light in weight. One of the composite materials currently being developed is Metal Matrix Composite (MMC). Aluminum (Al) is one of the metal materials used as reinforcement in Metal Matrix Composite (MMC). Al-Cu and Al₂O₃ are aluminum alloys that can be used as matrix and reinforcement materials in Metal Matrix Composite (MMC). By combining Al₂O₃ and Al-Cu it is expected to improve the mechanical properties of the Metal Matrix Composite (MMC). The purpose of this study was to determine the effect of powder size on increasing the mechanical properties of hardness and microstructure formed from variations in powder size in Metal Matrix Composite. This study used variations in the size of Al-Cu powder used, including: 30 mesh, 40 mesh, 50 mesh and 100 mesh. The printing process uses the hot isostatic pressing method with a pressure of 450 bar and a temperature of 400°C. The material properties of MMC Al₂O₃ + Al-Cu that you want to know are the hardness value and microstructure. The results of this study are: first, the grain size of Al-Cu powder affects the hardness value of Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃. The highest hardness value is owned by Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ with a grain size of 100 mesh Al-Cu powder which is 25.38 HRB. Meanwhile, the lowest hardness value is owned by Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ with a grain size of 30 mesh Al-Cu powder which is 20.22 HRB. Second, the grain size of Al-Cu powder affects the microstructure of the Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃. The highest percentage of porosity was found in Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ with a grain size of 14.5% Al-Cu mesh 30 powder. Meanwhile, the lowest percentage of porosity found in Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ is with a grain size of 100 mesh Al-Cu powder of 8%.

Keywords: Composite Metal Matri; Al-Cu Matrix; Al₂O₃ Reinforcement; Sintering, Mesh Size; Hardness (HRB);

1. Pendahuluan

Pengembangan material alternatif sebagai pengganti logam monolith pada saat ini sedang banyak dikembangkan oleh beberapa peneliti. Hal ini bertujuan untuk memperoleh material dengan kekuatan dan kekerasan yang optimal, akan tetapi material tersebut memiliki bobot yang ringan [1] Salah satu dari material alternatif tersebut adalah komposit, hal ini dikarenakan material komposit memiliki kekuatan spesifik dan bobot yang cukup ringan. Komposit juga dapat diaplikasikan pada bidang-bidang dengan temperatur yang tinggi, seperti: bidang kerdangantaraan, transportasi, dan peralatan-peralatan militer [2].

Material komposit merupakan material rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih penyusun berbeda yang terdiri dari *reinforcement* dan *matrix*. Dua material atau lebih tersebut dikombinasikan dalam skala makroskopis, akan tetapi *reinforcement* dan *matrix* masih dapat dibedakan secara makroskopis [3]. Salah satu material komposit yang saat banyak dikembangkan adalah *Metal Matrix Composite* (MMC)[4]. *Metal Matrix Composite* merupakan komposit dengan menggunakan logam sebagai bahan matriks [5][6]. Keunggulan dari *Metal Matrix Composite*, antara lain: kapasitas panas spesifik, konduktivitas panas tinggi, massa jenis rendah, kekuatan spesifik tinggi, kekakuan spesifik tinggi, koefisien ekspansi baik serta ketahanan aus [7][8][9]

Aluminium (Al) salah satu material logam yang digunakan sebagai penguat/*reinforcement* pada *Metal Matrix Composite* (MMC). Hal ini dikarenakan logam Aluminium memiliki sifat ulet, ringan, mudah dibentuk, harga terjangkau. Selain itu, Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah logam ferrous/besi [10][11]. Al-Cu dan Al₂O₃ merupakan aluminium paduan yang dapat digunakan sebagai material *matrix* dan *reinforcement* pada *Metal Matrix Composite* (MMC)[12].

Beberapa penelitian *Metal Matrix Composite* yang menggunakan Al-Cu dan Al₂O₃ sebagai material *matrix* dan *reinforcement* telah dilakukan. Pada tahun 2012 telah dilakukan penelitian yang membahas tentang pengaruh ukuran partikel alumina (Al₂O₃) terhadap kepadatan sinter dan kekerasan MMC. Ukuran serbuk partikel Al₂O₃ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.3 µm, 1.0 µm, 3.0 µm, 12.5 µm, dan 25.0 µm. Adapun hasil dari penelitian adalah ukuran partikel Al₂O₃ memiliki pengaruh yang kecil terhadap densitas sinter. *Reinforcement* partikel dengan ukuran partikel 25 µm dapat meningkatkan kerapatan sinter dibandingkan dengan *reinforcement* dengan ukuran partikel lainnya pada persentase berat yang sama. Komposit dengan ukuran partikel yang lebih kecil (3,0 µm) mampu meningkatkan nilai kekerasan MMC yang lebih tinggi[2].

Selanjutnya, penelitian tentang studi karakteristik sifat mekanik aluminium matrix composite (AMC) dengan paduan Al, 5% Cu, 12% Mg, 15% SiC dari hasil proses *stir casting* dengan variasi temperatur pengadukan. Variasi temperatur peleburan pada penelitian ini, antara lain: 700°C, 750°C, 800°C dengan penambahan pembasah Cu 5%, magnesium 12%, dan SiC 15% serta kecepatan pengadukan konstan 600rpm dan waktu pengadukan 10 menit. Hasil dari penelitian ini adalah menurunnya kekuatan tarik dari AMC secara berurutan mulai pada temperatur 700°C, 750°C, 800°C dengan nilai 50 N/mm, 33 N/mm dan 27 N/mm. nilai kekerasan meningkat secara berurutan mulai pada temperatur 700°C, 750°C, 800°C dengan nilai 90.73 BHN, 95.29 BHN dan 98.37 BHN. Kemudian, terjadi penurunan nilai impak secara berurutan mulai pada temperatur 700°C, 750°C, 800°C dengan nilai 3.4 Joule/cm², 2.8 Joule/cm² dan 2.8 Joule/cm². Porositas yang terdapat pada AMC berdasarkan hasil SEM sangat banyak terjadi porositas [13]

Terdapat juga penelitian yang terfokus pada penggunaan fly ash sebagai penguat yang dikombinasikan Al₂O₃ dengan variasi temperatur cetakan terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro pada MMC. Proses pembuatan spesimen dengan metode metalurgi serbuk. Fly ash sebagai penguat divariasikan pada pencampuran serbuk sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%. Proses pemadatan dilakukan dengan tekanan isostatik panas agar serbuk menjadi lebih lunak dan lebih

mudah dipadatkan. Pengaruh suhu pemanasan pada cetakan divariasikan pada 250°C, 300°C, dan 350°C untuk mendapatkan ikatan yang homogen. Pada penelitian yang dilakukan diperoleh hasil bahwa nilai kekerasan meningkat sebesar 1,7% sebesar 65,07 HRB pada variasi kadar fly ash 10%, kemudian terus menerus menurun menjadi 16,92% dengan nilai kekerasan sebesar 55,64 HRB pada variasi kadar fly ash 25%. Hasil pengamatan mikroskop elektron scanning menunjukkan bahwa pengaruh suhu pemanasan cetakan memberikan pemerataan partikel pada suhu 300°C. Partikel yang terikat antara matrik dan *reinforcement* lebih baik dan pada suhu 250°C dan 350°C menunjukkan distribusi partikel penguat yang tidak merata dan mengakibatkan terjadinya aglomerasi partikel penguat pada spesimen produk yang dihasilkan bersifat getas dan menyebabkan penurunan kekerasan pada variasi kadar *fly ash* di atas 10% [8]

Penelitian lainnya yang terfokus pada pengaruh alumina terhadap kekasaran permukaan akibat permesinan hasil pengecoran *squeeze* dengan variasi campuran alumina 5%, 10% dan 15%. Cetakan di panaskan pada temperatur 200°C dan diberi tekanan hidrolik 100 MPa. Dari hasil pengujian kekasaran permukaan campuran alumina 5%, 10% dan 15% memiliki kekasaran berturut-turut sebesar 1.10 Ra, 1.16 Ra dan 1.27 Ra. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak campuran alumina semakin tinggi nilai kekasaran, akan tetapi dari hasil foto mikro juga semakin banyak campuran alumina menunjukkan semakin banyak pula cacatnya pada komposit Al-Al₂O₃ [14]

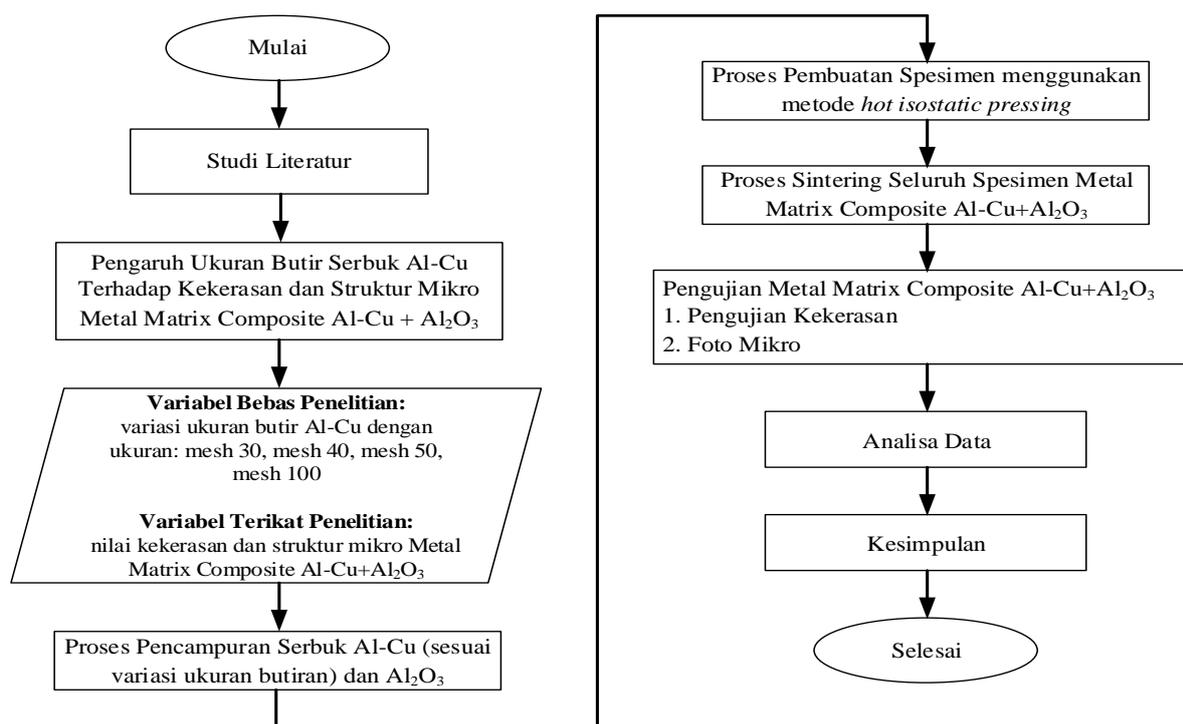
Selain itu juga terdapat beberapa penelitian yang menggunakan material Al-Cu, antara lain: penelitian yang dilakukan pada tahun 2020 oleh wahyono, dkk yang terfokus pada pengaruh *hold melt time* terhadap paduan Al-Cu kekerasan dan kekuatan impak piston daur ulang dan pengecoran tembaga. Dalam penelitian ini, tembaga ditambahkan ke pengecoran daur ulang piston untuk mendapatkan pengerasan pelarutan. Namun, titik leleh tembaga mencapai 1200°C, dua kali lebih tinggi dari titik leleh piston yang mencapai 600°C. Pada penelitian ini, piston bekas dilebur kembali, dan potongan tembaga dimasukkan ke dalam piston leleh pada suhu 600°C dan ditahan pada suhu 800°C selama 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Hasil pengujian spesimen menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan maka nilai kekerasan dan ketahanan benturan spesimen semakin meningkat, dan pembentukan fasa Al₂Cu meningkat seiring dengan bertambahnya waktu penahanan. Kekerasan maksimum dan daya tahan masing-masing 86,3 BHN dan 9,6 joule/cm², diperoleh pada tahan leleh 120 menit. Selain itu pada waktu penahanan 90 menit pembentukan fasa Al₂Cu yang terbentuk semakin meningkat sehingga fasa Al semakin berkurang (15).

Penelitian Penggunaan Al-Cu juga dilakukan oleh putra, dkk dengan fokus pada pengaruh kecepatan pengadukan proses rheocasting terhadap struktur mikro dan fluiditas paduan Al-Cu. Rheocasting adalah proses pengecoran yang memanfaatkan agitasi solidifikasi untuk mengubah struktur dendrit menjadi non dendrit (globular) dengan memberikan variasi kecepatan pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan perubahan morfologi dendrit menjadi roset menjadi globuler dengan peningkatan kecepatan pengadukan dan diameter butir mengecil dengan peningkatan kecepatan pengadukan. Peningkatan kecepatan pengadukan juga menghasilkan trend nilai fluiditas paduan Al-Cu yang positif pada setiap ketebalan cetakan (16).

Berdasarkan paparan latar belakang dan beberapa hasil penelitian tentang Al₂O₃ dan Al-Cu sebagai material *matrix* dan *reinforcement Metal Matrix Composite* (MMC), maka dapat dilihat bahwa Al₂O₃ dan Al-Cu memiliki potensi yang cukup baik untuk dikombinasikan pada material *Metal Matrix Composite* (MMC). Dengan mengkombinasikan Al₂O₃ dan Al-Cu diharapkan mampu meningkatkan sifat mekanik dari *Metal Matrix Composite* (MMC). Dari penelitian-penelitian terdahulu yang menjadi dasar penelitian ini, maka perlu adanya penelitian lanjutan dengan menfokuskan pada “Pengaruh Ukuran Butir Serbuk Al-Cu Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃”. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh ukuran serbuk terhadap peningkatan sifat mekanis kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk dari variasi ukuran serbuk pada *Metal Matrix Composite*.

2. Metodologi

Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah studi eksperimental. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Widyagama Malang. Variabel dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi ukuran butir Al-Cu dengan ukuran: mesh 30, mesh 40, mesh 50, mesh 100. Variabel Terikat dalam penelitian ini nilai kekerasan dan struktur mikro Metal Matrix Composite Al-Cu+Al₂O₃. Variabel terkontrol dalam penelitian ini, antara lain tekanan yang digunakan pada saat proses *hot isostatic pressing* sebesar 450 Bar/ 45 Mpa, temperatur *hot isostatic pressing* sebesar 400°C, waktu penekanan selama 15 menit, temperatur sintering dan waktu tahan sintering disamakan dengan temperatur dan waktu tahan penekanan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian dimulai dengan mempersiapkan semua peralatan dan bahan. Setelah itu melakukan penimbangan bahan baku seperti Al₂O₃ dengan *Wt* 32,68%, Al *Wt* 37,25%, Si *Wt* 11,86% dan Cu *Wt* 2,24%. Variasi ukuran serbuk Al-Cu yang digunakan, antara lain: 30 mesh, 40 mesh, 50 mesh dan 100 mesh. Proses selanjutnya adalah proses pencampuran Al₂O₃ dan Al-Cu yang telah ditimbang. Selanjutnya, Al₂O₃ dan Al-Cu yang telah dilakukan proses pencampuran, dilakukan proses pencetakan menggunakan metode *hot isostatic pressing*. Metode ini bertujuan untuk mengurangi porositas logam, meningkatkan densitas, meningkatkan sifat mekanik dan kemampuan kerja material. Pada proses *hot isostatic pressing*, material ditekan dengan tekanan sebesar 450 bar dan temperatur sebesar 400°C. Material MMC Al₂O₃ + Al-Cu yang telah selesai dilakukan proses *hot isostatic pressing*, maka selanjutnya dilakukan proses sintering. Dalam proses sintering, material MMC Al₂O₃ + Al-Cu diberi perlakuan panas dengan temperatur 400°C selama 15 menit. Proses selanjutnya adalah pengujian kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* pada material MMC Al₂O₃ + Al-Cu yang telah diberi perlakuan panas. Material MMC Al₂O₃ + Al-Cu yang telah dilakukan pengujian kekerasan, maka selanjutnya dilakukan foto mikro untuk mengetahui struktur dari masing-masing variasi MMC Al₂O₃ + Al-Cu dengan menggunakan *digital microscope*.



Spesifikasi Rockwell Hardness Tester:

Preload	: 98,1 N (10 kg)
Beban pengujian	: 60 kg, 100 kg dan 150 kg.
Skalah Rockwell	: 20-88 HRA, 20-100 HRB dan 20-90 HRC
Tinggi mkasimum sampel uji	: 170 mm
Kedalaman maksimum sampel uji	: 165 mm

Gambar 2. Rockwell Hardness Tester

Spesifikasi Digital Microscope:



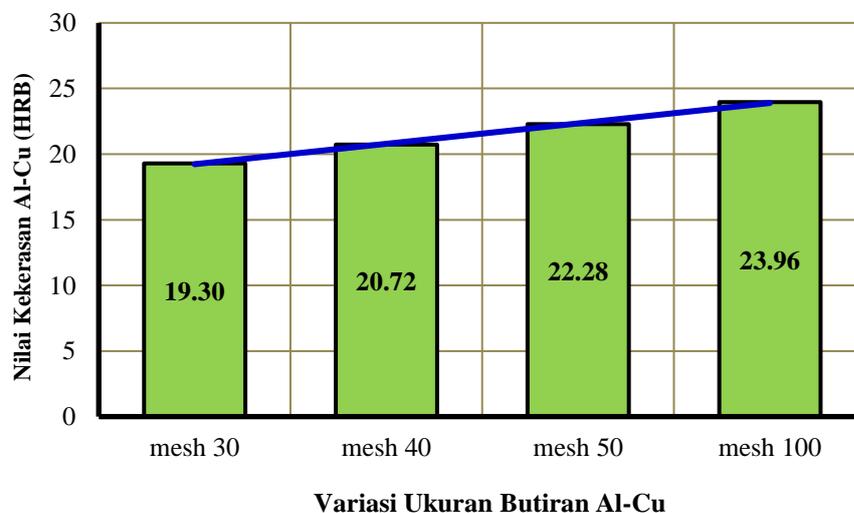
Image Sensor	: 0.3 Cmos Sensor (Interpolated To 2.0 Mpix)
Photo Resolution	: Up To 2560*1920
Video Capture Resolution	: Up To 640*480
Focus Range	: 15mm~40mm
Frame Rate	: Up To 30 Fps
Available Video Format	: Avi
Available Photo Format	: Bmp/Jpg
Adjustable Illumination	: 8 Built-In Led Diodes
Pc Interface	: Usb 3.0/2.0/1.1
Usb Powered	: 5v Direct Current
Compatible Os	: Windows Xp/Vista/8
Additional Measurement & Calibration	: Micro-Measurement Tool
Available Colour Versions	: Matt Black
Dimensions	: 112 mm x 33 mm
Weight	: 300g

Gambar 3. Digital Microscope

3. Hasil dan pembahasan

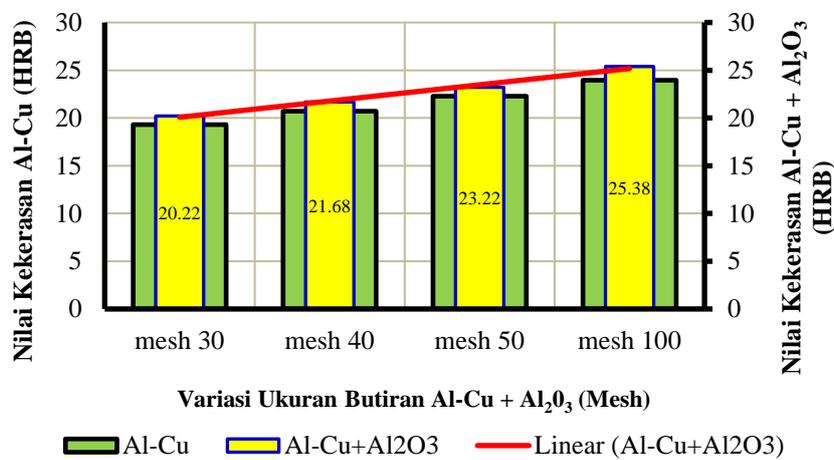
3.1. Analisa Kekerasan Metal Matrix Composite (MMC) Al₂O₃ + Al-Cu dengan Variasi Ukuran Serbuk Al-Cu

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada material MMC Al₂O₃ + Al-Cu dengan masing-masing variasi setiap spesimen, maka diperoleh nilai kekerasan yang telah digambarkan dalam sebuah grafik seperti pada gambar 4 dan 5 dibawah ini.



Gambar 4. Nilai Kekerasan Al-Cu dengan Variasi Ukuran Butiran (Mesh)

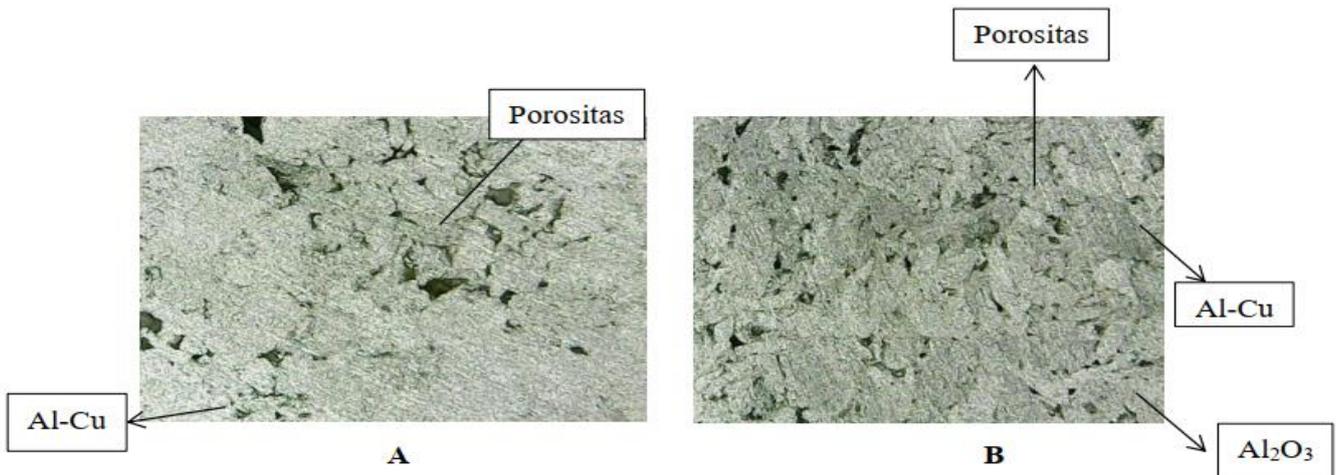
Dari data hasil uji kekerasan diatas terhadap specimen Al-Cu dapat menunjukan data pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan (Rockwell Hardness Tester) dengan satuan HRB (Hardness Rockwell Ball). Serbuk Al-Cu tanpa campuran dengan mesh 30 menghasilkan kekesaran sebesar 19,30 HRB, mesh 40 menghasilkan kekesaran sebesar 20,72 HRB, mesh 50 menghasilkan kekesaran sebesar 22,28 HRB, dan mesh 100 menghasilkan kekesaran sebesar 23,96 HRB. Untuk menentukan mesh digunakan alat sieve machine alat berupa penyaringan berlapis dan adanya nilai mesh pada saringan ini. Semakin kecil ukuran mesh pada serbuk Al-Cu maka ukuran butir yang dihasilkan besar, sedangkan ukuran mesh paling besar maka ukuran butiran kecil. Maka dari itu kekerasan mesh 30 memiliki ukuran butir yang besar sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat tetapi tidak rapat. Sedangkan pada mesh 40 memiliki ukuran butir yang sedang sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat tetapi tidak rapat, mesh 50 memiliki ukuran butir yang kecil sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat rapat, maka dari itu kekerasan meningkat. Pada mesh 100 memiliki ukuran butir lebih kecil sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya saling mengikat rapat, maka dari itu kekerasannya mesh 100 meningkat sedangkan pada mesh 30 memiliki kekerasan yang rendah.



Gambar 5. Perbandingan Nilai Kekerasan Al-Cu dengan Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃

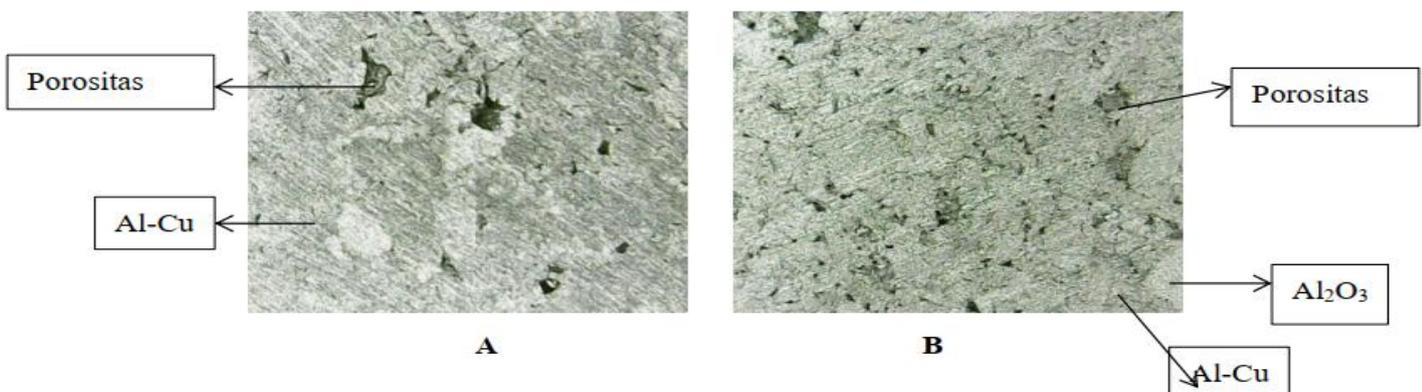
Dari data hasil uji kekerasan diatas terhadap specimen Al-Cu + Al₂O₃ dapat menunjukan data pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan (Rockwell Hardness Tester) dengan satuan HRB (Hardness Rockwell Ball). Serbuk Al-Cu + Al₂O₃ campuran dengan mesh 30 menghasilkan kekerasan sebesar 20,22 HRB, mesh 40 menghasilkan kekerasan sebesar 21,68 HRB, mesh 50 menghasilkan kekerasan sebesar 23,22 HRB, dan mesh 100 menghasilkan kekerasan sebesar 25,38 HRB. Untuk menentukan mesh digunakan alat sieve machine alat berupa penyaringan berlapis dan adanya nilai mesh pada saringan ini. Semakin kecil ukuran mesh maka butiran serbuk Al-Cu + Al₂O₃ maka hasil ukuran butirnya besar, sedangkan ukuran mesh paling besar maka ukuran butirannya lebih kecil. Mesh 30 memiliki ukuran butir yang besar dan di campuran dengan Al₂O₃ sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat tetapi tidak rapat, sedangkan pada mesh 40 memiliki ukuran butir yang sedang dan di campuran dengan Al₂O₃ sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat tetapi rapat, pada mesh 50 memiliki ukuran butir yang kecil dan di campuran Al₂O₃ sehingga kerapatan antara butir satu dengan yang lainnya mengikat rapat, sedangkan pada mesh 100 memiliki ukuran butir lebih kecil dan di campuran dengan Al₂O₃ sehingga kerapatan antara butir satu dengan lainnya lebih mengikat rapat maka dari itu kekerasan pada mesh 100 meningkat sedang mesh 30 memiliki kekerasan terendah.

3.2. Analisa Struktur Mikro Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan Variasi Ukuran Serbuk Al-Cu



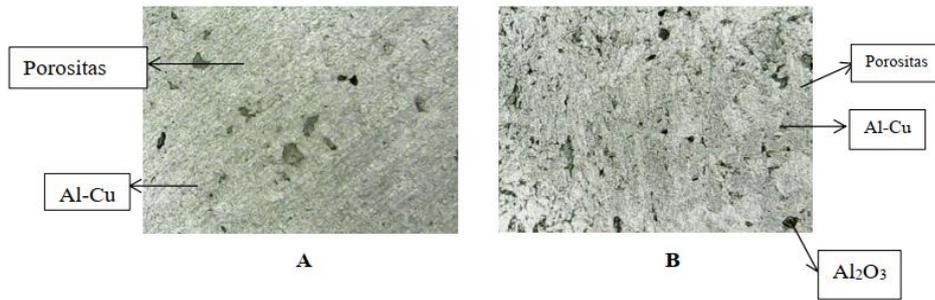
Gambar 6. Struktur Mikro (A) Al-Cu, (B) Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan Ukuran Butir Serbuk mesh 30

Dari Gambar 6 dapat dilihat struktur mikro dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 30. Perbedaan dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yang dilihat dari mikroskop 1000x yaitu adalah kerapatan butir dan porositas setiap specimen. Pada logam Al-Cu dengan ukuran butir serbuk mesh 30 terdapat porositas sebesar 14.5%. Sedangkan, pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 30 terdapat porositas sebesar 14.5%.



Gambar 7. Struktur Mikro (A) Al-Cu, (B) Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan Ukuran Butir Serbuk mesh 40

Dari gambar 7 dapat dilihat struktur mikro dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 40. Perbedaan dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yang dilihat dari mikroskop 1000x yaitu adalah kerapatan butir dan porositas setiap specimen. Pada logam Al-Cu dengan ukuran butir serbuk mesh 40 terdapat porositas sebesar 14.25%. Sedangkan, pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 40 terdapat porositas sebesar 14%.



Gambar 8. Struktur Mikro (A) Al-Cu, (B) Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan Ukuran Butir Serbuk mesh 50

Dari gambar 8 dapat dilihat struktur mikro dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 50. Perbedaan dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yang dilihat dari mikroskop 1000x yaitu adalah kerapatan butir dan porositas setiap specimen. Pada logam Al-Cu dengan ukuran butir serbuk mesh 50 terdapat porositas sebesar 13%. Sedangkan, pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 50 terdapat porositas sebesar 12.5%.



Gambar 9. Struktur Mikro (A) Al-Cu, (B) Metal Matrix Composite Al-Cu + Al₂O₃ dengan Ukuran Butir Serbuk mesh 100

Dari gambar 9 dapat dilihat struktur mikro dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 100. Perbedaan dari logam Al-Cu dan *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yang dilihat dari mikroskop 1000x yaitu adalah kerapatan butir dan porositas setiap specimen. Pada logam Al-Cu dengan ukuran butir serbuk mesh 100 terdapat porositas sebesar 8.25%. Sedangkan, pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk mesh 100, terdapat porositas sebesar 8%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian “pengaruh ukuran butir serbuk Al-Cu terhadap kekerasan dan struktur mikro *metal matrix composite* Al-Cu + Al₂O₃” yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa Ukuran butir serbuk Al-Cu mempengaruhi nilai kekerasan dari *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 100 yaitu sebesar 25.38 HRB. Sedangkan, Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 30 yaitu sebesar 20.22 HRB. Dari hasil nilai kekerasan tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran butir serbuk Al-Cu, maka semakin tinggi nilai kekerasan yang dihasilkan oleh *Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃. Sebaliknya, semakin kecil ukuran butir serbuk Al-Cu, maka semakin rendah nilai kekerasan yang dihasilkan oleh *Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃. Ukuran butir serbuk Al-Cu mempengaruhi struktur mikro dari *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃.

Persentase porositas tertinggi yang terdapat pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yaitu dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 30 sebesar 14.5%. Sedangkan, Persentase porositas terendah yang terdapat pada *Metal Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃ yaitu dengan ukuran butir serbuk Al-Cu mesh 100 sebesar 8%. Dari analisa struktur mikro tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran butir serbuk Al-Cu, maka semakin rendah porositas yang dihasilkan oleh *Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃. Sebaliknya, semakin kecil ukuran butir serbuk Al-Cu, maka semakin tinggi persentase porositas yang dihasilkan oleh *Matrix Composite* Al-Cu + Al₂O₃.

Daftar Pustaka

- [1]. Julianti IA, Susila AB, Handoko E. Sifat Mekanik dan Termal Material Komposit Logam Al-Cu-Mg/Sic melalui Proses Annealing Hasil Stir Casting. In: Prosiding SNIPS 2017 [Internet]. Serpong: Program Studi Teknik Mesin Kampus Institut Teknologi Indonesia; 2017. p. 290–5. Available from: https://ifory.id/proceedings/2017/RFdrG9aTL/snips_2017_inggit_alfiani_julianti_8lxwpsayd0.pdf
- [2]. Ahmad KR, Jamaludin SB, Hussasin LB, Ahmad ZA. The influence of alumina particle size on sintered density and hardness of discontinuous reinforced aluminum metal matrix composite. *J Teknol.* 2005;42(A):49–57.
- [3]. Nayiroh N. Teknologi Material Komposit [Internet]. 2013. p. 1–21. Available from: <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wpcontent/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>.
- [4]. Nuruzzaman DM, Kamaruzaman FFB. Processing and mechanical properties of aluminium-silicon carbide metal matrix composites. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng.* 2016;114(1):1–8.
- [5]. Arrahim MG, Wicaksono LH. Pengaruh bentuk partikel fraksi penguat fly ash pada peningkatan kekerasan dalam pembuatan metal matrik komposit. In: *CIASTECH.* 2021. p. 321–6.
- [6]. Vani VV, Chak SK. The effect of process parameters in Aluminum Metal Matrix Composites with Powder Metallurgy. *Manuf Rev.* 2018;5(7):1–13.
- [7]. Prabowo TA, Sidharta I. Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Al₂O₃ Terhadap Kekuatan Tarik Pada Aluminium Matrix Composite. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2017.
- [8]. Arrahim MG, Suprpto W, Gapsari F. Pengaruh Fraksi Penguat Fly Ash dan Temperatur Cetakan Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro pada MMC. *Rekayasa Mesin.* 2021;12(3):725–32.
- [9]. Bukhari MZ, Hashmi MSJ, Brabazon D. The Effects of Sintering Parameter to the Microstructure and Thermal Properties of CuSiC Composite for Electronic Packaging Application Republic of Ireland. 2013;7(5):350–65. Available from: http://doras.dcu.ie/20534/1/_Zaman_AusJBAS_2013_Effects_of_sintering_parameters_for_CuSiC.pdf
- [10]. Widodo B, Subardi A. Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Matrix Composite (Amc) Berpenguat Partikel Silikon Karbida (SiC) dan Alumina (AL₂O₃). In: *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019.* 2019. p. 295–303.
- [11]. Arsyad H, Wardana ING, Suprpto W, Purnowidodo A. Size effect on deformation characteristic of aluminum under impact loading condition. *Int J Appl Eng Res.* 2014;9(20):7821–33.
- [12]. Pramono A, Zulfia A, Alhamidi A, Alfirano A, Suryana S, Milandia A. Characteristics of aluminum-based

composites reinforced of Al₂O₃/B₄C by accumulative roll bonding (ARB). Tek J Sains dan Teknol. 2021;17(2):119–24.

- [13]. Saefuloh I, Pramono A, Hikmatullah R. Studi Karakteristik Sifat Mekanik Alumunium Matrix Composite (AMC) Paduan AL, 5%Cu, 12%Mg, 15% SiC Hasil Proses Stir Casting dengan Variasi Temperatur Pengadukan. Teknika. 2018;12(2):151–64.
- [14]. Nafili AI, Respati SMB, Santoso B. Pengaruh kandungan alumina terhadap kekasaran permukaan dan foto mikro permesinan pada komposit Al-Al₂O₃. J Tek Mesin Indones. 2017;12(2):94–7.
- [15]. Suprpto W, Arrahim MG, Setyawan PE. The Effect Of Hold Melt Time Against Al-Cu Alloy Hardness And Impact Strength On Recycled Piston And Copper Casting. J SOUTHWEST JIAOTONG Univ. 2020;55(3):1–7.
- [16]. Putra MRF, Suprpto W, Sonief AA. Pengaruh Kecepatan Pengadukan Proses Rheocasting Terhadap Struktur Mikro dan Fluiditas Paduan Al-Cu. Rekayasa Mesin. 2019;10(3):257–63.