



PENGUJIAN SECARA MEKANIK KOMPOSIT ALUMINIUM SETELAH DITAMBAHKAN SERBUK BESI MENGGUNAKAN METODA *MECHANICAL ALLOYING*

Kusdi Priyono*, Muhammad Awwaluddin, Fifit Astuti

*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang
Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia*

Email : dosen00656@unpam.ac.id

Masuk : 19 Agustus 2022

Direvisi : 12 September 2022

Disetujui : 29 September 2022

Abstrak: Telah dilakukan pembuatan paduan Al – Fe dengan variasi suhu *Sintering* 400°C, 500 °C dan 600 °C. Sebagai bahan pengaplikasian untuk pipa boiler dengan metode pemaduan mekanik. Paduan dibuat dari aluminium dan serbuk besi dengan bantuan mesin *High Energy Milling (HEM)*. Tabung vial dan bola yang digunakan untuk proses *milling*. Rasio berat bola yang digunakan dengan jumlah 6 bola dengan berat bola 12 gram. Serbuk yang sudah melalui proses *milling* dikompaksi dengan tekanan 20 ton dengan ketebalan bahan 5 milimeter. Selanjutnya pelet yang dihasilkan *disintering* menggunakan tungku pemanas (*Muffle Furnace*) pada suhu 400°C, 500 °C dan 600 °C dengan waktu penahanan (*Holding Time*) selama 10 menit. Sampel yang sudah melalui proses *sintering* dilakukan pengujian *X – Ray Diffraction (XRD)* menggunakan metode pengujian difraksi serbuk dan dianalisis menggunakan *Software Material Analysis Using Diffraction (MAUD)* untuk mengamati unsur – unsur fasa yang terbentuk. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan bertambahnya suhu *sintering* tidak terjadinya fasa lain selain unsur paduan pada suhu 400°C = Al 97,27%, Fe 2,72%, suhu 500°C = Al 66,09%, Fe 33,90% dan suhu 600°C = Al 26,00%, Fe 73,99% . Densitas tertinggi di suhu 400°C dengan unsur Al nilai 6,99 g/cm³ dan unsur Fe nilai 4,40 g/cm³. Kekerasan tertinggi sebesar 63 HB dicapai pada sampel dengan suhu *sintering* 500°C. Dampak variasi ukuran butiran dapat memberikan pengaruh tingkat densifikasi dan kekerasan yang signifikan.

Kata kunci : *High Energy Milling, Ball Milling, Sintering, Densitas, Maud, Hardness*

Abstract: *Al-Fe alloys have been made with variations in sintering temperature of 400oC, 500oC and 600oC. As an application material for boiler pipes with mechanical alloying methods. The alloy is made from aluminum and iron powder with the help of a High Energy Milling (HEM) machine. The vials and balls are used for the milling process. The ratio of the weight of the ball used to the number of 6 balls to the weight of the ball is 12 grams. Powder that has gone through the milling process is compacted with a pressure of 20 tons with a material thickness of 5 millimeters. Furthermore, the resulting pellets were sintered using a Muffle Furnace at temperatures of 400oC, 500oC and 600oC with a holding time of 10 minutes. Samples that have gone through the sintering process are tested for X-Ray Diffraction (XRD) using the powder diffraction test method and analyzed using Software Material Analysis Using Diffraction (MAUD) to observe the phase elements formed. The results showed that with increasing sintering temperature there was no phase other than alloying elements at a temperature of 400oC = Al 97.27%, Fe 2.72%, temperature 500oC = Al 66.09%, Fe 33.90% and temperature 600oC = Al 26.00%, Fe 73.99% . The highest density at a temperature of 400oC with element Al value 6.99 g/cm³ and Fe element value 4.40 g/cm³. The highest*

hardness of 63 HB was achieved in the sample with a sintering temperature of 500oC. The impact of particle size variations can have a significant effect on the level of densification and hardness.

Keywords : *High Energy Milling, Ball Milling, Sintering, Density, Maud, Hardness*

PENDAHULUAN

Di Indonesia sangat banyak berdiri industri-industri besar dan kecil, dalam usaha pengembangan teknologi banyak upaya yang dilakukan yaitu menciptakan karya baru dengan biaya terjangkau, memiliki daya guna yang tinggi dan ekonomis, serta berupaya menghasilkan produk dalam jumlah yang besar sehingga mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Namun penggunaan dan pemahaman cara penanganannya masih sangat kurang, sehingga seringkali banyak scrap yang dibuang dan terbuang percuma. Jadi kita terikat untuk menjadi kreatif melalui pikiran atau ide. Salah satunya adalah penggunaan bahan logam bekas atau tidak terpakai (rijek) yang diolah menjadi serbuk logam. Dan dapat mendaur ulang serbuk logam dengan proses pengepresan menggunakan peralatan pemanas atau sintering menjadi benda logam padat.

Proses metalurgi serbuk relatif lebih baru dan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan proses pengecoran logam. Metalurgi adalah bidang ilmu yang menggunakan prinsip-prinsip ilmiah yaitu fisika, matematika dan kimia serta proses untuk menjelaskan secara rinci dan mendalam fenomena pengolahan, mineral, ekstraksi.

Produksi logam dan paduan, hubungan antara aksi mekanis, sifat-sifat logam dan strukturnya, fenomena penguatan logam dan fenomena lainnya, fenomena fraktur dan degradasi logam. Namun, proses ini tidak dapat sepenuhnya menggantikan fungsi dari proses pengecoran. Setiap proses memiliki kelebihan dan kekurangan. Keuntungan dari metalurgi serbuk meliputi: efisiensi bahan yang tinggi, kemampuan untuk membuat paduan dari bahan kepadatan tinggi dan perbedaan suhu leleh, porositas terkontrol dan keseragaman produk, Mudah untuk menyesuaikan komposisi paduan. Kekurangan metalurgi serbuk antara lain: keterbatasan bentuk dan ukuran benda yang dapat difabrikasi. Banyak pertanyaan yang dapat diajukan mengenai proses metalurgi serbuk ini [1].

Komposit terbuat dari bahan matriks aluminium disebut dengan metal matrix composite (MMC) dapat diproses melalui teknik high energi milling . Komposit adalah suatu gabungan anatra material yang satu dengan material lainnya melalui proses milling dibentuk dalam skala makroskopis dan secara fisik menyatu menjadi suatu jenis material rekayasa baru yang terdiri dari dua atau lebih material di dalamnya. sifat dan sifat kimia dan fisik, dan tetap berbeda dari produk akhir. Unsur-unsur yang membentuk campuran disebut penguat (serat atau partikel) dan pengikat (substrat). Matriks mengisi ruang dalam komposit, mengikat serat untuk menahannya pada tempatnya, meneruskan tegangan ke serat, melindungi permukaan serat dari erosi, dan melindungi serat dari pengaruh lingkungan luar. Metal Matrix Composite (MMC) adalah material rekayasa yang dibentuk dengan menggabungkan dua atau lebih material, untuk mendapatkan material baru dengan sifat yang lebih baik. Metal matrix composite (MMC) paling sedikit terdiri dari dua komponen yaitu metal matrix dan reinforcement berupa powder, vane, antenna, short fiber atau continuous fiber. Dibandingkan dengan satu logam [2].

Kemampuan gabungan material Fe -Al menjadi bahan yang memiliki kekuatan dan tahan terhadap korosi suhu tinggi, karena penyatuan keduad material ini dapat terbentuk dengan pelapisan oksida pelindung didaerah pengoksidasi, sulfida, garam cair dan tahan korosi Korosi karbon dalam kondisi suhu tinggi. Babungan material Fe dan Al mempunyai kerapatan lebih kecil dibandingkan baja crom. Pada suhu 600°C paduan Fe-Al mempunyai kelemahan diantaranya kekuatannya menurun demikian punya dengan kemampuan daktilitasnya ini dikarenakan kemampuan material Al berada pada suhu dibawah 600°C, akibat dari bertambahnya paduan Fe-Al maka dikategorikan sebagai material pelapis baja. Besi umumnya banyak digunakan dalam berbagai macam keperluan di dunia industri seperti

industri tambang, minyak, otomotif dan lain-lain. Penggunaan baja menempati urutan teratas dalam pemenuhan kebutuhan di dunia industri dibandingkan dengan bahan lainnya. Dengan proses pembuatan baja yang cukup cepat ditunjang dengan bahan baku yang murah maka baja menjadi pilihan utama pelaku industri logam. Namun, kekuatan korosi baja karbon suhu tinggi kurang memenuhi keinginan pelaku industri. Baja karbon hanya bisa ada pada suhu 600 ° C dan di atas suhu ini baja karbon mudah teroksidasi.[3]

METODOLOGI

Didalam proses pembuatan gabungan antara bubuk Fe dan Al masing masing mempunyai kemurnian 90% agar diperoleh paduan Fe-Al yang baik dicampur dengan komposisi Al-70%, Fe-30at.% . Bubuk digiling menggunakan High Energy Milling (HEM E3D). Perangkat gerinda berenergi tinggi dengan bejana gerinda yang digerakkan oleh motor tiga dimensi. HEM-E3D adalah alat yang dibuat oleh Pusat Penelitian Fisika LIPI. Waktu penggilingan untuk serbuk yang akan dipelajari adalah 1 jam. Rasio bola/abrasif adalah 1:2. Kekerasan diperiksa dengan alat echotype. Hal ini dilakukan agar karakterisasi ketahanan material Fe – Al dapat diketahui.

Alat dan Bahan yang dipergunakan

Butiran serbuk yang digunakan ukuran butirnya semakin kecil maka dapat berakibat semakin efisien dan efektif sintesis mekanisnya. Hasil paduan yang terbentuk dengan baik tidak terlepas dari bahan awalnya, dimana kemurnian dari material tersebut harus tinggi minimal 90% . , menghindari pembentukan paduan lain yang tidak diinginkan. Bahan baku yang dapat digunakan dalam sintesis mekanik dapat berupa campuran serbuk lempung halus, serbuk lempung dengan campuran serbuk dengan sifat sangat getas

Bola giling

Bola dihancurkan dalam proses paduan mekanis yang bertindak sebagai penggiling dan campuran bubuk untuk membentuk paduan baru. Material poles setelah digiling diharapkan menjadi material yang memiliki ketahanan secara mekanik yang cukup tinggi dan memiliki ketahanan terhadap porositas yang baik pula.

Tabung Pengaduk

Langkah pulverizing belum efisien dan efektif apabila bahan dari grinding bucket sama dengan bahan bubuk yang akan dimilling, karena kedua bahan tersebut memiliki kekerasan yang sama. Selama waktu ini, jika kedua bahan yang digunakan berbeda, bahan bubuk akan terkontaminasi. Bahan bejana gerinda harus memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari bahan serbuk agar tidak terjadi kontaminasi selama proses penggilingan. Bahan yang dapat digunakan sebagai bejana gerinda antara lain: baja perkakas, baja kromium dan baja tahan karat.

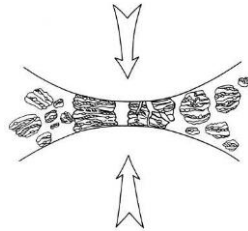
Perbedaan jenis bahan yang digunakan antara kotak gerinda dan bola gerinda juga dapat menyebabkan kontaminasi serbuk. Untuk mencegah hal ini terjadi, bahan antara kapal gerinda dan ball mill yang digunakan terbuat dari bahan yang sama. Jika Anda menggunakan bahan lain, kekerasan harus diperhitungkan. Kami merekomendasikan bahwa kekerasan kedua bahan tidak boleh terlalu berbeda[4]



Gambar 1. Bola giling dan wadah penggilingan [5]

a. Langkah Pertama

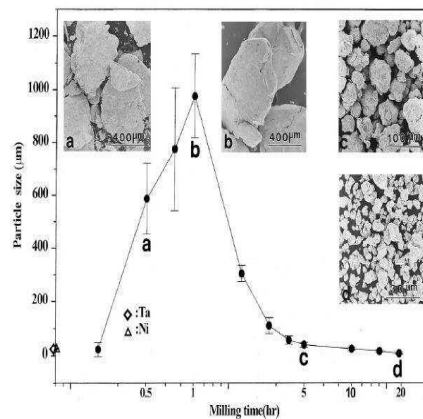
Dampak dari bola yang berfungsi sebagai penghancur mengakibatkan butiran bubuk mengalami gaya tekan. Gaya tekan yang tinggi mengakibatkan luas permukaan butiran serbuk yang besar. Butiran bubuk fleksibel mudah berubah bentuk oleh resin menjadi lapisan tipis serpihan. Jika menggunakan butiran plastis getas, deformasi akan lebih kecil, karena butiran ulet akan berikatan dengan butiran getas.



Gambar 2. Mekanisme tumbukan serbuk–bola.[6]

b. Langkah Kedua

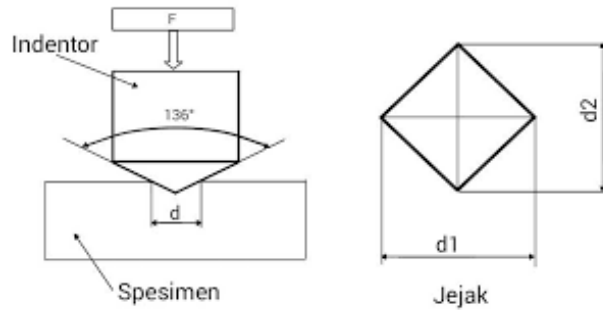
Pemurnian ukuran butiran menjadi tahap akhir dari mekanosintesis. Pada tahap ini akan terbentuk paduan mekanik. Keseimbangan antara penggilingan dan pengelasan dingin membuat butiran seragam. Butiran yang lebih kecil karena penghancuran dan butiran yang menggumpal karena pengelasan dingin[7]



Gambar 3. Perubahan ukuran serbuk terhadap waktu *milling* .[8]

Pengujian Mekanik (Hardness)

Kekerasan adalah sifat material yang memungkinkannya menahan deformasi plastis, biasanya karena penetrasi. Definisi kekerasan juga tahan terhadap tekukan, goresan, abrasi atau pemotongan[9]



Gambar 4. Idendor uji Vickers

Formula untuk menghitung nilai kekerasan

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ approximately} \quad (1).$$

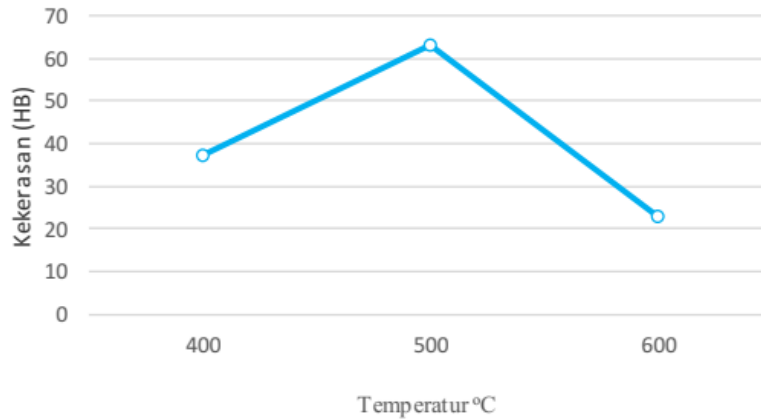
Di mana, F adalah Beban (kgf), d adalah rataaritmatis dari dua diagonal, d1 dan d2 (mm).

Prinsip Kerja HEM–E3D

Dalam mechanical alloying, HEM bekerja dengan menggiling campuran serbuk melalui aksi penggilingan bola yang mengikuti pola gerakan wadah yang berbentuk elips tiga dimensi. Pembentukan butiran serbuk berukuran nano disebabkan oleh pola gerak elips tiga dimensi yang berdampak tinggi. Dalam hal ini, wadah juga berputar hingga 500 rpm.[10]

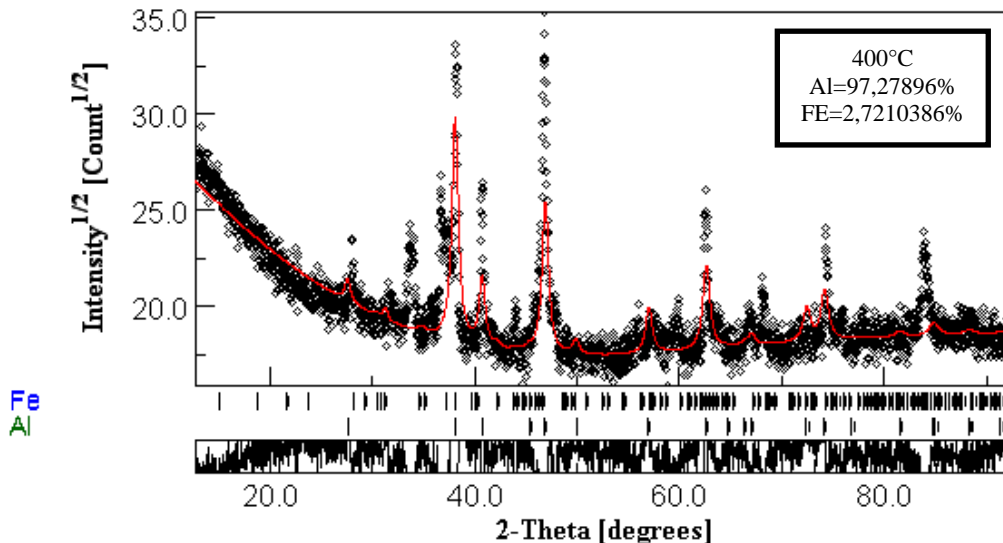
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang sudah dilakukan oleh Eri Kuswanto dengan waktu milling 10 jam menghasilkan tingkat kekerasan yang paling rendah pada struktur lapisan Fe 50%Al. Sedangkan pada kekerasan paduan Al dapat dilihat pada gambar 5 dimana dengan penambahan Fe-30% kekerasan pada paduan ini terlihat meningkat dengan bertambahnya waktu sintering namun terjadi penurunan kekerasan pada suhu 600°C, Penurunan kekerasan pada suhu 600°C kemungkinan disebabkan paduan mengalami fase penghancuran saat bola bola giling menumbuk paduan. Jika kita bandingkan waktu sintering 400,500 dan 600 terlihat ada peningkatan nilai yakni dari 37 HB, 63 HB dan 23 HB .Hal ini menunjukkan ikatan antar atomnya makin kuat sehingga tidak mudah mengalami deformasi plastik. Penentuan Suhu sintering berpedoman pada melting point Al yaitu sekitar yaitu sekitar 663°C , sehingga suhu dibawahnya yang diijinkan untuk dilakukan.



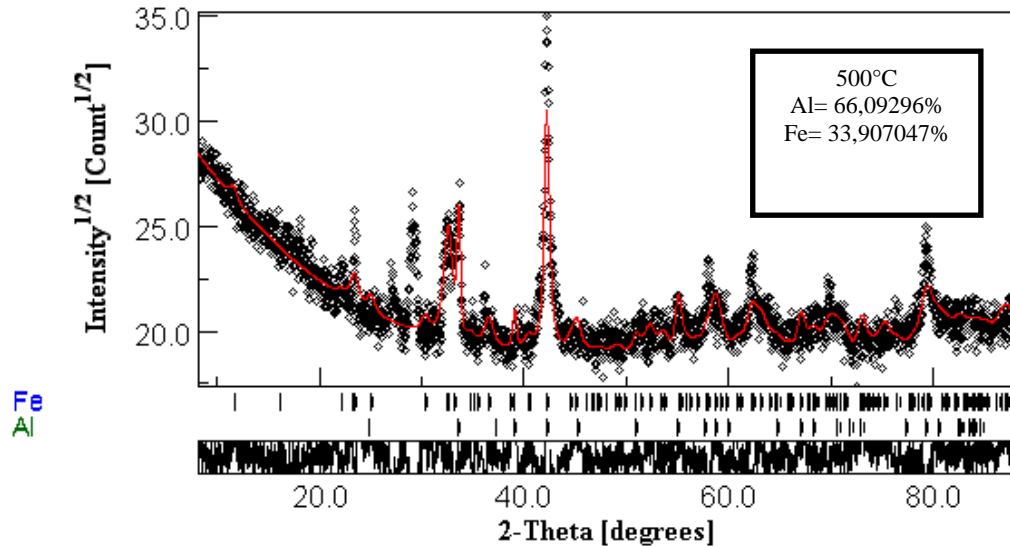
Gambar 5. Kekerasan material setelah dilakukan variasi suhu sintering

Dari gambar 5 grafik diatas didapatkan hasil kekerasan pada suhu 400°C dengan nilai 37 HB, sedangkan pada suhu 500°C didapatkan nilai kekerasan sebesar 63 HB, dan nilai kekerasan terendah diperoleh pada suhu 600°C dengan nilai kekerasan sebesar 23 HB. Pada pengujian kali ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh terhadap paduan serbuk Al dan Fe setelah proses *milling* dan *sintering* dengan variasi suhu 400°C, 500°C, dan 600°C berbeda, yaitu nilai kekerasan pada suhu 500°C lebih besar dibandingkan suhu 400°C dan 600°C. Kenaikan kekerasan yang terjadi dipengaruhi oleh semakin solid paduan Al dan Fe sedangkan penurunan kekerasan yang terlihat dalam grafik diakibatkan titik Aluminium mendekati suhu melting point yang berkisar 657°C .



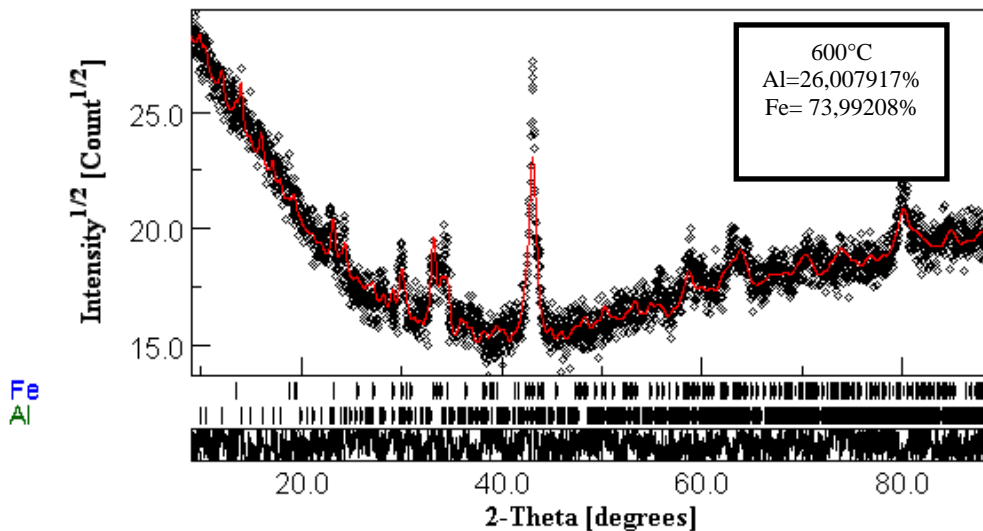
Gambar 6. Bentuk fase setelah dilakukan sintering 400°C

Dari hasil proses *sintering* yang pertama dengan tahanan 400°C butiran menjadi terikat serta mengikatkan fasa berikutnya. Pada sesi ini selisih aluminium (Al) lebih dominan dari besi (Fe) yaitu 97,27%.



Gambar 7. Bentuk fase setelah dilakukan sinteing 500°C

Dari hasil proses *sintering* yang kedua dengan tahanan 500°C selama 17 menit butiran menjadi terikat untuk mengikatkan fasa berikutnya. Pada sesi ini selisih aluminium (Al) lebih dominan dari besi (Fe) yaitu 66,09%.



Gambar 8. Bentuk fase setelah dilakukan sinteing 600°C

Dari hasil proses *sintering* yang ketiga dengan tahanan 600°C selama 21 menit butiran menjadi terikat untuk mengikatkan fasa berikutnya. Pada sesi ini selisih besi (Fe) lebih dominan dari Alumunium (Al) yaitu 73,99%.

Gambar 6, 7, dan 8 masih terlihat background berwarna hitam cukup jelas hal ini diakibatkan karena pada proses pepaduan material kandungan masing masing material tidak dilakukan pengecekan kemurnian dari masing masing material, sehingga pada saat proses running menggunakan software MAUD terjadi / terbaca sebagai cacah bacgroun oleh software MAUD. Pengamatan spektrum secara global, dimana secara kasat mata terlihat masing masing puncak yang dihasilkan hampir berada pada jarak bidang (d_{hkl}) yang sama untuk sampel pada suhu sintering 400,500 dan 600°C. Akan tetapi perbedaan dari ketiga sampel tersebut akan terlihat jelas apabila dilakukan pemfokusan terhadap satu puncak tertentu. Seperti pada gambar 6,7 dan 8. Yang merupakan hasil pola difraksi sinar X (*CuK α radiation*) sampel dengan proses sintering 400,500 dan 600°C mempunya intensitas 28,9 , sudut Θ 35,1⁰ (400°C), intensitas 31,1, sudut Θ 42,2⁰ (500°C), intensitas 23,5 , sudut Θ 43,6 (600°C). Spektrum tersebut memperlihatkan pergeseran puncak dimana harga d_{hkl} untuk sampel yang disintering pada suhu 400°C lebih besar dibandingkan dengan sampel 500°C dan 600°C. Penurunan puncak pada spektrum pada gambar 6, 7 dan 8 secara umum setiap puncak memperlihatkan puncak yang tajam hal ini mengindikasikan bahwa sampel sudah mengkristal dengan baik.

KESIMPULAN

1. Hasil Penelitian Menggunakan XRD kemudian dimasukkan kedalam software MAUD, dari gambar 6,7 dan 8 terlihat dan dapat disimpulkan bahwa pada suhu 500°C fasa Al Fe sudah terbentuk dengan hasil Al = 66,09w% dan Fe = 33,9w%.
2. Nilai kekerasan yang paling tinggi diperoleh setelah dilakukan proses sintering pada suhu 500°C yaitu sebesar 63HB, hal ini terjadi akibat dari struktur lapisan Al Fe semakin mengecil akibat dari proses milling dan sintering dibawah melting poin yang diijinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Suwanda, "Dan Waktu Sintering Terhadap Kekerasan Dan Berat Jenis Aluminium Pada Proses," *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 9, pp. 187–198, 2006.
- [2] S. Sumpena, "Pengaruh Paduan Serbuk Fe12% pada Aluminium terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode Gravity Casting," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 1, no. 1, p. 20, 2017, doi: 10.30588/jeemm.v1i1.225.
- [3] D. Abrini, S. Ardhy, and H. Putra, "Uji Kekerasan pada Paduan Fe-50 % atAl dengan Penambahan Nikel Menggunakan Metode Mechanical Alloying," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 7, no. 1, pp. 45–49, 2017.
- [4] Y. Zahara, A. Fauzi, and M. Fisika, "Pengaruh Waktu Milling Terhadap Ukuran Butir Quartz Dari Nagari Saruaso Kabupaten Tanah Datar," *Pillar Phys.*, vol. 8, pp. 113–120, 2016.
- [5] M. Sanctis *et al.*, "Mechanical Characterization of a Nano-ODS Steel Prepared by Low-Energy Mechanical Alloying," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 8, 2017, doi: 10.3390/met7080283.
- [6] S. Dan, K. Logam, and J. Fisika, "Skripsi Siti Rachmatul Jannah," 2019.
- [7] K. Prijono and A. Suhadi, "Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Kekerasan Paduan Mikro Fe-Cr Hasil Metode Ultrasonik," *J. Kaji. Tek. Mesin* vol. 3, pp. 89–97, Aug. 2018, doi: 10.52447/jktm.v3i2.1420.
- [8] A. Bahan, "Pengaruh Penambahan 10at .% Ni dan Waktu Alloying dan Sintering," vol. 2, no. 1, pp. 57–62, 2013.

- [9] Gunawan Dwi Haryadi, “Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan Struktur Mikro Dan Kekuatan Tarik Pada Baja K-460,” *Rotasi*, vol. 7, no. 3, pp. 1–10, 2005.
- [10] G. Tj Sulungbudi dan Mujamilah, “Aplikasi High Energy Milling Dalam Metalurgi Serbuk,” *J. Sains Mater. Indones. Indones. J. Mater. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 6–10, 2005.