



Sifat Mekanik Produk Metalurgi Serbuk dari Proses *Ball Milling* dengan Bahan Baku Al7075 Terhadap Variasi Temperatur Sinter dan Tekanan Kompaksi

Hizkia Alpha Dewanto¹, Muhammad Zaini Abdi¹, Achmad Maulana¹, Ainun Zulfikar¹, Gusti Umindya Nur Tajalla¹

¹Program Studi Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: hizkia.ad@lecturer.itk.ac.id

Abstract

Powder metallurgy samples, made from Al7075 powder from ball milling, were produced and investigated. Samples were subjected to two different variables, those were compaction pressure and sintering temperatur. Compaction pressure variables were 250, 300, and 350 MPa with constant sintering temperatur of 505°C. Sintering temperatur variations were 425, 465, and 505°C with constant compaction pressure of 350 MPa. The results of density measurement and hardness test were directly proportional to both of research variables, whereas the porosity was inversely proportional. The properties of sample with variables of 350 MPa compaction pressure and 505°C sintering temperatur were the closest one to conventional Al7075, with density of 2.173 g/cm³, 22.2% porosity, and 12.56 VHN hardness. The properties of conventional Al7075 sample were 2.8 g/cm³ density, 0.26% porosity, and 12.68 VHN hardness. The abrupt increase of hardness between 465°C and 505°C sintering temperatur was similar in pattern of its porosity decrease. This means optimum porosity decrease was started between 465°C and 505°C which affecting hardness increase. Highest hardness of powder metallurgy Al7075, which was 99% of conventional Al7075 and porosity of 22.2%, suggested wide application potential of Al7075 produced by powder metallurgy.

Keywords: Powder metallurgy, Al7075, ball milling, hardness

Abstrak

Sampel metalurgi serbuk, dibuat dari serbuk Al7075 dengan ball milling, diproduksi dan diselidiki. Sampel diberi perlakuan dua variabel berbeda, yaitu tekanan kompaksi dan temperatur sintering. Variabel tekanan kompaksi adalah 250, 300, dan 300 MPa dengan temperatur sintering konstan 505°C. Variabel temperatur sintering adalah 425, 465, dan 505°C dengan tekanan kompaksi konstan 350 MPa. Hasil pengukuran densitas dan uji kekerasan menunjukkan hubungan berbanding lurus dengan kedua variabel penelitian, dan berbanding terbalik dengan porositas. Sifat sampel dengan variabel tekanan kompaksi 350 MPa dan temperatur sinter 505°C adalah yang paling mendekati Al7075 konvensional, yaitu densitas 2.173 g/cm³, porositas 22.2%, dan kekerasan 12.56 VHN. Sifat sampel Al7075 konvensional adalah densitas 2.8 g/cm³, porositas 0.26%, dan kekerasan 12.68 VHN. Peningkatan kekerasan mendadak antara temperatur sinter 465°C dan 505°C adalah senada dengan penurunan porositasnya. Ini menunjukkan penurunan porositas optimum dimulai dari antara 465°C dan 505°C, yang mempengaruhi kenaikan kekerasan. Kekerasan tertinggi Al7075 dari metalurgi serbuk, sebesar 99% dari kekerasan Al7075 biasa, memberi kesan potensi luas aplikasi Al7075 yang diproduksi lewat metalurgi serbuk.

Kata Kunci: Metalurgi serbuk, Al7075, ball milling, kekerasan

1. Introduction

Aluminium merupakan logam ringan dan unsur kedua paling melimpah di permukaan bumi setelah silicon. Konsumsi terbanyak aluminium adalah pada bidang transportasi, sistem kelistrikan, dan konstruksi bangunan. Konsumsi aluminium global pada 2025 diproyeksikan sebesar 120 Megaton, yang memerlukan bahan baku sebanyak 570 Megaton bauksit atau 230 Megaton alumina untuk produksi, sehingga memunculkan kekhawatiran terhadap ketersediaan cadangan tambang dan pencemaran lingkungan dari proses produksi aluminium (Menzie et. al., 2010). AA7075 merupakan paduan aluminium yang dipasarkan pertama kali oleh Alcoa pada tahun 1943, meskipun telah dikembangkan secara rahasia oleh Kekaisaran Jepang pada 1936 sebagai “Duralumin Super Ekstra” dan digunakan untuk industri penerbangan Jepang (Yoshio, 1989). Sejak pascaperang, AA7075 menjadi bahan baku utama industri penerbangan karena sifat mekaniknya yang unggul, terutama pada kekuatan spesifik, ketangguhan, dan ketahanan lelah atau fatik (Li et. al., 2008).

Metalurgi serbuk merupakan metode produksi logam tanpa meleburkan material logam. Metode produksi ini memungkinkan penggunaan energi lebih rendah untuk produksi dengan meniadakan fasa cair, maupun produksi benda kerja dengan tingkat ketepatan atau presisi tinggi (Black, 2012). Metode produksi ini sudah diterapkan pada titanium (Fang et. al., 2018), baja (Azevedo et. al., 2018), dan aluminium (Rojaz-Diaz et. al., 2019). Tidak terbatas dalam penggunaan satu jenis bahan, metalurgi serbuk mulai diterapkan untuk memproduksi material komposit, seperti komposit AA7075 dan *carbon nanotube* (Zhang et. al., 2020) serta AA7075 dan kaca metalik berbasis Ti (Zhang et. al., 2018). Kendala dalam adaptasi proses produksi metalurgi serbuk, terutama di negara berkembang, adalah produksi serbuk logam, yang mengandalkan proses atomisasi maupun *hydride-dehydride* (HDH), yang ketersediaannya masih terbatas di negara-negara berkembang (McCracken et. al., 2010; Froes, 2012).

Beberapa penelitian menggunakan metode mekanik, seperti gergaji logam (Rojaz-Diaz et. al., 2019) maupun beragam alat *milling* seperti *jet mill* dan *ball mill* (Afsari dan Ghambari, 2016) untuk menghasilkan serbuk logam. Produksi serbuk logam dengan metode mekanik dilakukan untuk menekan biaya produksi (Wan et. al., 2017). Fuziana et. al. (2015) menggunakan AA7075 hasil *ball milling* untuk memproduksi spesimen uji tarik dengan proses sintering pada temperatur 550, 600, dan 650°C dan tekanan kompaksi 50 ton. Spesimen hasil sintering temperatur 650°C memiliki kekerasan dan elongasi tertinggi, sementara kekuatan tarik tertinggi dihasilkan spesimen sinter 600°C. Rojaz-Diaz et. al. (2020) menggunakan *ball mill* untuk memproduksi serbuk paduan aluminium AA6061 dengan parameter 55 rpm dan periode proses 18, 24, 30, 56, 78, 84, dan 96 jam, serta sintering dengan temperatur 620°C selama 1 jam. Dalam penelitian Rojaz-Diaz, ditemukan bahwa waktu ideal proses *ball milling* dengan parameter 55 rpm adalah antara 30 dan 56 jam, dengan periode *milling* berlebih menghasilkan serbuk dengan ukuran seragam dan memunculkan fenomena *cold welding* yang menurunkan kualitas serbuk sebelum kompaksi.

Dalam penelitian ini, dilakukan eksperimen produksi metalurgi serbuk dengan variabel temperatur sinter 425, 465, dan 505°C dengan *muffle furnace* selama 40 menit dan variabel tekanan kompaksi 250, 300, dan 350 MPa dengan bahan baku AA7075. Melalui penelitian ini, diharapkan parameter optimal untuk produksi benda kerja berbahan AA7075 dengan metode metalurgi serbuk dengan peralatan industri biasa (*ball mill*, penekan hidrolik, dan *muffle furnace*) dapat diperoleh.

2. Metode

2.1. Preparasi Bahan Baku

Sampel AA7075 didapatkan dari PT. Mita Jaya Mandiri, DKI Jakarta. Sampel kemudian dikikis dengan mesin *milling* dengan *depth of cut* sebesar 1 mm untuk menghasilkan serpihan (*chips*). Serpihan dikirim ke LIPI Lampung untuk proses *ball mill* dengan parameter proses 500 rpm selama 24 jam. Serbuk yang dihasilkan disaring dengan filter ukuran 100 mesh, lalu dicampurkan dengan *zinc stearate* sebanyak 1 wt% sebagai pelumas kompaksi. Kemudian serbuk AA7075 dikompaksi pada cetakan berdiameter 13 mm dengan tekanan 250, 300, dan 350 MPa. Lalu, hasil kompaksi disinter

dengan *muffle furnace* di Laboratorium BLKI, Balikpapan, Kalimantan Timur, pada temperatur 425, 465, dan 505°C selama 40 menit. Spesimen dengan variasi tekanan disinter pada temperatur tunggal, yaitu 505°C. Spesimen dengan variasi temperatur ditekan pada tekanan tunggal, 350 MPa.

2.2. Pengukuran Porositas

Porositas diukur dengan persamaan berikut (Fasya dan Iskandar, 2015):

$$P = \frac{D_{teoritis} - D_{aktual}}{D_{teoritis}} \times 100 \% \quad (1)$$

Yang mana:

P adalah porositas dalam persen

$D_{teoritis}$ adalah densitas teoritis sampel, dalam satuan g/cm^3 .

D_{aktual} adalah densitas aktual sampel, dalam satuan g/cm^3 .

Adapun rumus untuk densitas teoritis adalah:

$$\rho_{th} = \rho_{s1} \cdot V_{s1} + \rho_{s2} \cdot V_{s2} \quad (2)$$

Yang mana:

ρ_{th} adalah densitas teoritis dalam g/cm^3 .

ρ_{s1} adalah densitas standar dari material padat yang digunakan, dalam hal ini AA7075, dalam g/cm^3 .

ρ_{s2} adalah densitas standar dari material padat yang digunakan, dalam hal ini zinc stearate, dalam g/cm^3 .

V_{s1} adalah fraksi massa AA7075 dalam campuran sampel, dalam bentuk pecahan decimal.

V_{s2} adalah fraksi massa zinc stearate dalam campuran sampel, dalam bentuk pecahan decimal.

Adapun untuk rumus untuk densitas aktual adalah:

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_f \quad (3)$$

Yang mana:

ρ_m adalah densitas aktual dalam g/cm^3 .

ρ_f adalah massa jenis fluida celup dalam pengukuran, dalam satuan g/cm^3 .

m_s adalah massa sampel kering dalam gram.

m_g adalah massa sampel tergantung di dalam air dalam satuan gram.

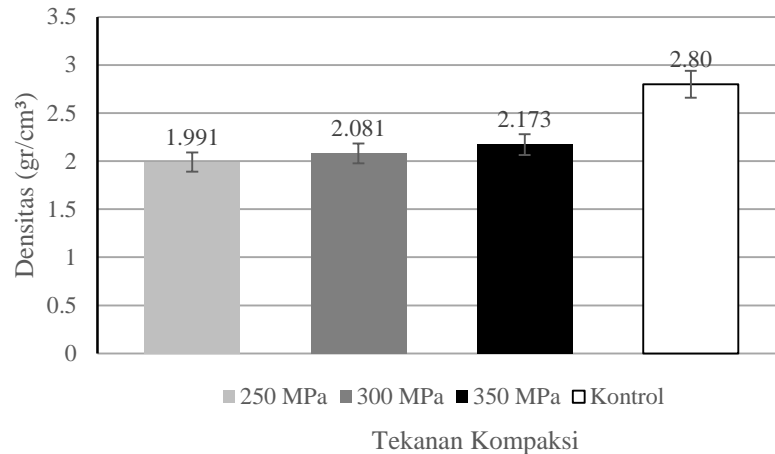
Pengukuran densitas dilakukan dengan neraca analitik, dengan prinsip Archimedes, di Laboratorium Teknologi Material, Institut Teknologi Kalimantan, Kalimantan Timur.

2.3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers sesuai standar ASTM E92. Pengujian dilakukan di Balai Latihan Kerja Industri (BLKI) Balikpapan, Kalimantan Timur. Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen aluminium kontrol (aluminium utuh yang tidak diubah menjadi serbuk dan tanpa perlakuan panas), spesimen variabel sintering, dan spesimen variabel tekanan kompaksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Densitas dan Porositas dengan Variasi Tekanan Kompaksi

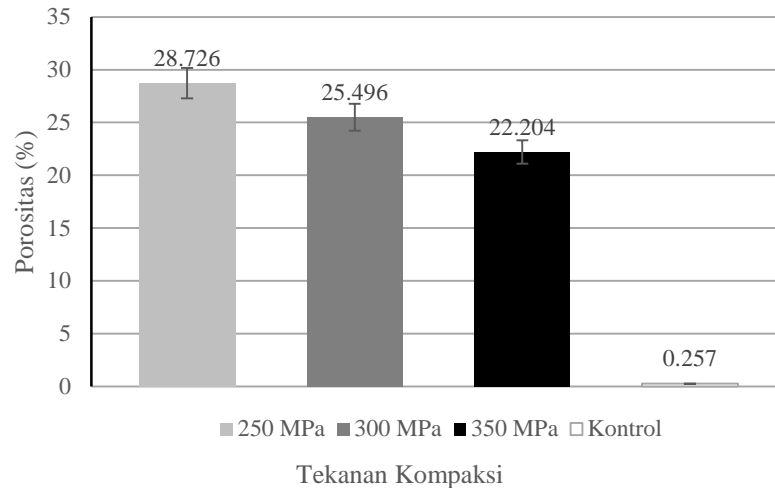


Gambar 1. Grafik perbandingan nilai densitas spesimen Al 7075 metalurgi serbuk dengan variabel tekanan kompaksi, dibandingkan dengan densitas Al 7075 hasil metode produksi konvensional (pengecoran).

Pengukuran densitas berdasarkan variasi tekanan kompaksi menunjukkan kecenderungan hubungan yang berbanding lurus antara densitas spesimen dan tekanan kompaksi (Gambar 1). Meskipun demikian, peningkatan densitas tidak signifikan. Dari tekanan kompaksi 250 hingga 350 MPa, perubahan nilai densitas sebesar 0.182 g/cm^3 atau 6.5% dari nilai densitas Al 7075 utuh (bulk) yang diukur sebagai nilai kontrol, yaitu 2.80 g/cm^3 . Nilai densitas terbesar dari spesimen dengan variabel kompaksi didapatkan pada spesimen dengan kompaksi 350 MPa, sebesar 2.173 g/cm^3 , atau lebih rendah 22.4% dari densitas spesimen utuh tanpa perlakuan. Hal ini berimbas pada porositas spesimen, yang mana semua spesimen dengan variabel tekanan kompaksi memiliki porositas lebih dari 20 persen (Gambar 2). Spesimen tanpa perlakuan memiliki nilai porositas 0.257 persen, disebabkan oleh porositas yang timbul dari proses produksi, terutama pada tahap pengecoran. Meskipun tidak signifikan, perubahan densitas dan porositas sesuai dengan landasan teori mengenai proses yang terjadi selama kompaksi material serbuk sebelum sintering. Peningkatan tekanan kompaksi menurunkan volume void (ruang kosong, porositas) di antara butir serbuk logam (Mahdi, 2016). Porositas ini berisi udara dengan densitas jauh lebih rendah dari aluminium. Volume void yang menurun terhadap volume butir logam berkontribusi terhadap peningkatan densitas aluminium hasil kompaksi, yang berbanding lurus dengan peningkatan tekanan kompaksi (El-Katatny, 2015).

3.2. Kekerasan Spesimen dengan Variasi Tekanan Kompaksi

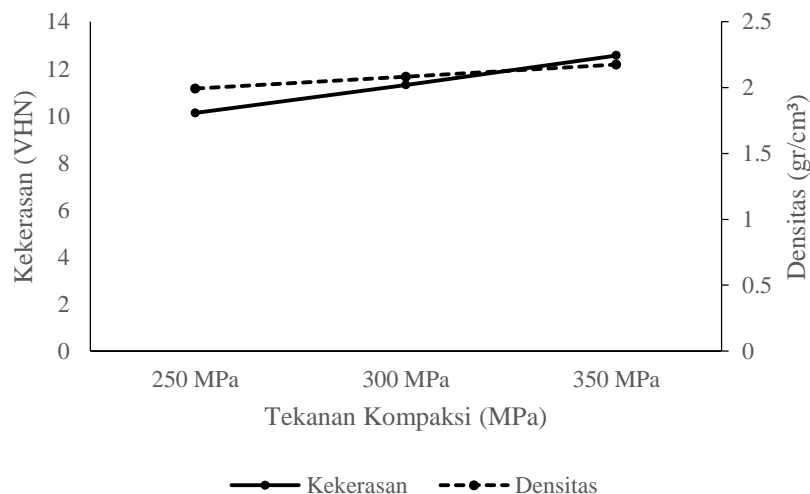
Uji kekerasan spesimen dengan variabel tekanan kompaksi menunjukkan hubungan yang berbanding lurus dengan peningkatan tekanan kompaksi (Gambar 3). Spesimen dengan nilai kekerasan terendah adalah tekanan kompaksi 200 MPa dengan nilai kekerasan VHN 10.12, atau 79.8% dari kekerasan hasil cor (VHN 12.68). Nilai kekerasan tertinggi didapati pada spesimen dengan tekanan kompaksi 350 MPa, dengan nilai kekerasan VHN 12.56, atau 99% kekerasan spesimen cor. Adapun tekanan kompaksi 250 MPa menghasilkan nilai kekerasan spesimen 11.31 VHN. Nilai tekanan kompaksi dan nilai kekerasan spesimen berbanding lurus, mengkonfirmasi hasil penelitian Mahdi (2016). Penurunan porositas berkontribusi terhadap peningkatan kekerasan, karena penurunan porositas meningkatkan persentase keberadaan padatan dalam volume benda kerja, sehingga ketahanan terhadap deformasi saat indentasi meningkat (El-Katatny, 2015).



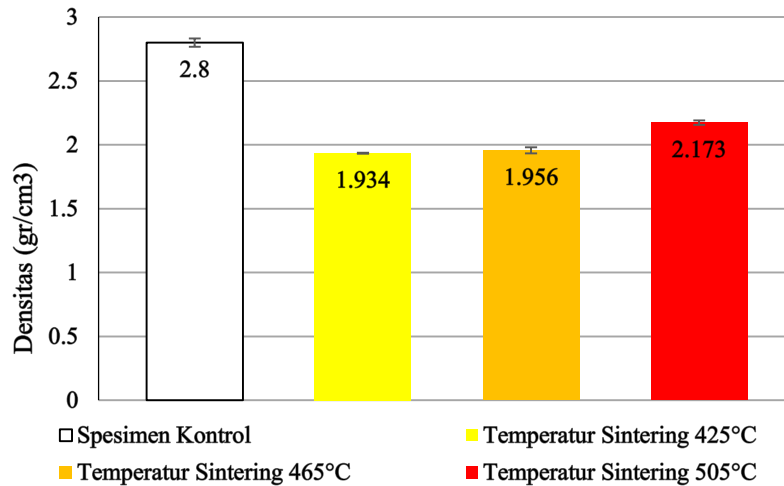
Gambar 2. Grafik perbandingan nilai porositas spesimen Al 7075 metalurgi serbuk dengan variabel tekanan kompaksi, dibandingkan dengan porositas Al 7075 hasil metode produksi konvensional (pengecoran).

3.3. Densitas dan Porositas dengan Variasi Temperatur Sintering

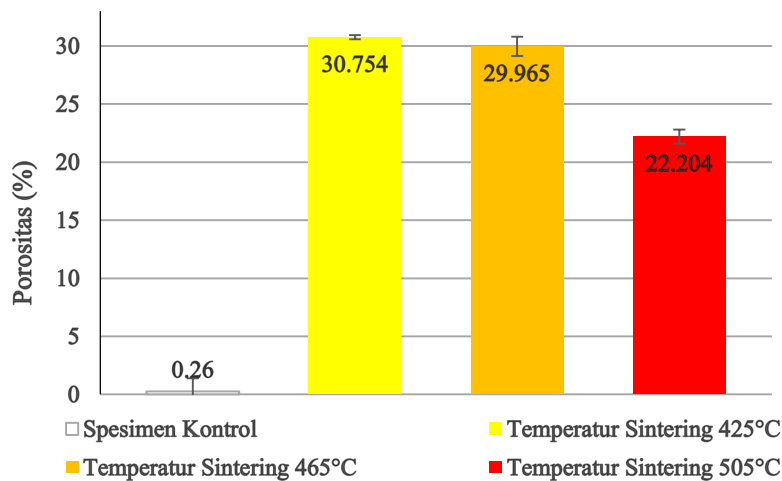
Densitas spesimen metalurgi serbuk Al7075 berbanding lurus terhadap peningkatan temperatur sintering (Gambar 4). Namun, peningkatan densitas sangat kecil pada temperatur 425°C menuju 465°C. Peningkatan densitas mulai tampak pada temperatur 505°C. Densitas terukur sebesar 2.173 g/cm³, peningkatan sebesar 11.1% dari densitas pada temperatur sintering 465°C dan 12.4% dari densitas pada 425°C. Nilai densitas ini masih lebih rendah 28.8% dari nilai densitas Al7075 hasil pengecoran, yaitu 2.8 g/cm³. Sementara itu, hasil penghitungan porositas yang didapatkan dari analisis data densitas menunjukkan perbandingan terbalik terhadap peningkatan temperatur sintering. Ada kecenderungan menarik yang diamati dari nilai porositas, di mana perubahan nilai porositas antara temperatur sintering 425°C (30.754%) dan 465°C (29.965%) lebih rendah daripada perubahan nilai porositas antara 465°C dan 505°C (22.204%) (Gambar 5). Porositas terendah pada sampel Al7075 metalurgi serbuk didapatkan pada sampel dengan temperatur sintering 505°C, yaitu 22.2 persen.



Gambar 3. Grafik perbandingan peningkatan kekerasan dan densitas spesimen Al7075 serbuk dibandingkan dengan peningkatan tekanan kompaksi.



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai densitas spesimen Al7075 metalurgi serbuk terhadap temperatur sintering, dengan pembandingan spesimen Al7075 hasil metode produksi konvensional (pengecoran).

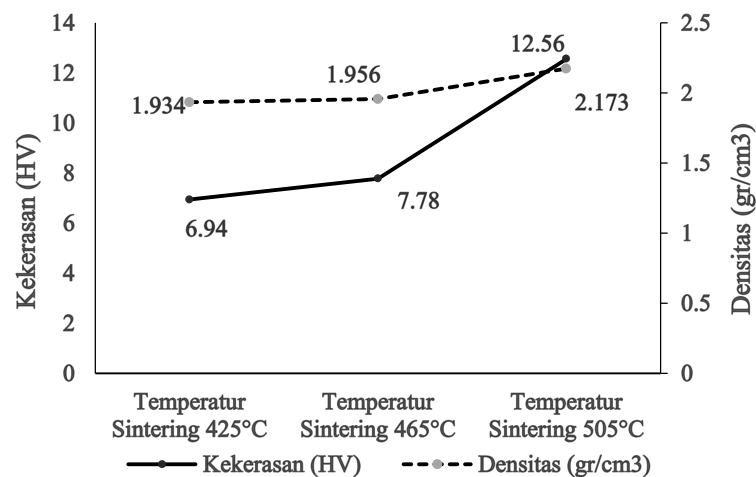


Gambar 5. Grafik perbandingan nilai porositas spesimen Al7075 metalurgi serbuk terhadap temperatur sintering, dengan pembandingan spesimen Al7075 hasil metode produksi konvensional (pengecoran).

3.4. Kekerasan Spesimen dengan Variabel Temperatur Sintering

Nilai kekerasan spesimen dengan variabel temperatur sintering menunjukkan hubungan berbanding lurus (Gambar 6). Namun, ada perubahan tingkat peningkatan kekerasan seiring dengan peningkatan temperatur sintering. Nilai kekerasan spesimen dengan temperatur sintering 425°C dan 465°C masing-masing adalah 6.94 dan 7.98 VHN. Nilai kekerasan tersebut hanya 54.7% dan 63% dari nilai kekerasan spesimen Al7075 yang diproduksi dengan metode konvensional, yaitu pengecoran (12.68 VHN). Sementara itu, nilai kekerasan tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan temperatur sintering 505°C dengan nilai kekerasan 12.56 VHN, atau meningkat 61.4% dari nilai kekerasan pada temperatur 465°C.

Hasil pengujian kekerasan ini, bila dibandingkan dengan nilai porositas (Gambar 6), menunjukkan hubungan erat antara perubahan porositas (dan lebih lanjut, perubahan densitas) terhadap perubahan nilai kekerasan spesimen. Hal ini berkaitan dengan tujuan proses sintering itu sendiri, yaitu memunculkan difusi antarbutir yang dipacu oleh energy dari penambahan temperatur, yang berlanjut pada fenomena *necking*, dan pada kenaikan temperatur yang berlanjut, hilangnya porositas secara permanen akibat *necking* yang semakin lebar (Kalpakjian, 2014). Gabungan antara dua mekanisme ini, yaitu difusi antarbutir dan hilangnya porositas, menjadi mekanisme utama penguatan material serbuk lewat sintering.



Gambar 6. Grafik perbandingan peningkatan kekerasan, dibandingkan dengan peningkatan densitas terukur pada spesimen Al7075 metalurgi serbuk dengan variabel temperatur sintering.

3.5. Analisis Keseluruhan

Pada penelitian ini, tampak bahwa baik peningkatan tekanan kompaksi dan temperatur sintering meningkatkan densitas, dan kemudian porositas, dari spesimen material serbuk Al7075 yang telah disinter. Namun, ada kecenderungan menarik yang ditemui pada peningkatan kekerasan pada kedua variabel. Kekerasan terendah didapatkan pada dua variabel temperatur terendah, yaitu 425°C dan 465°C, masing-masing sebesar 6.94 dan 7.78 VHN. Densitas terendah juga ditemui pada variabel temperatur sinter ini, yaitu sebesar 1.934 dan 1.956 g/cm³, meskipun tidak jauh berbeda dari nilai densitas pada dua nilai terendah variabel tekanan kompaksi, yaitu 1.991 dan 2.081 g/cm³. Sementara itu, ada peningkatan sebesar 61.4% dari nilai kekerasan dari temperatur sintering 465°C menuju hasil temperatur sintering 505°C. Pada variabel tekanan kompaksi, perbedaan antara nilai terendah dan tertinggi kekerasan spesimen sebesar 2.44 VHN, atau peningkatan kekerasan sebesar 24% dari nilai kekerasan pada tekanan kompaksi 250 MPa. Patut diingat bahwa pada variabel tekanan kompaksi, temperatur sintering dibuat tetap pada 505°C, dan pada variabel temperatur sintering, tekanan kompaksi dibuat konstan sebesar 350 MPa, masing-masing adalah nilai terbesar dari variabel dalam penelitian ini. Dapat disimpulkan, untuk mendapatkan benda kerja dengan sifat mekanik yang mendekati hasil produksi konvensional, temperatur yang disarankan untuk material serbuk Al7075 adalah temperatur 505°C ke atas. Adapun pola kenaikan kekerasan pada variabel temperatur sintering senada dengan pola penurunan porositas pada variabel tersebut.

4. Kesimpulan

Proses produksi material serbuk Al7075 dari serbuk hasil *ball milling* berhasil dilakukan. Peningkatan tekanan kompaksi dan temperatur sintering berbanding lurus terhadap peningkatan densitas dan kekerasan spesimen material serbuk, serta berbanding terbalik terhadap porositas spesimen. Nilai kekerasan dan densitas tertinggi serta porositas terendah didapatkan dari sampel dengan tekanan kompaksi 350 MPa dan temperatur sintering 505°C, dengan nilai kekerasan 12.56 VHN, densitas 2.173 g/cm³, serta porositas 22.204%. Penurunan porositas optimal terjadi mulai antara 465°C dan 505°C. Nilai kekerasan spesimen serbuk dengan porositas 22.2% yang sebesar 99% dari kekerasan spesimen Al7075 konvensional menunjukkan potensi aplikasi untuk Al7075 lewat metalurgi serbuk, terutama untuk benda kerja dengan kebutuhan porositas tinggi atau densitas rendah dan kekerasan atau sifat mekanik unggul.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghormatan sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Kalimantan (LPPM-ITK) yang telah mendukung dan

membantu penulis dalam penelitian dan publikasi hasil penelitian ini, baik secara moral maupun material.

References

- Acevedo J. M. C., CabreraSerrenho A., and Allwood J. M. (2018), 'Energy and Material Efficiency of Steel Powder Metallurgy', *Powder Technology*, Vol. 328, pp: 329-336.
- Afshari, E. and Ghambari, M., 'Characterization of Pre-alloyed Tin Bronze Powder Prepared by Recycling Machining Chips Using Jet Milling
- Black, J. T., and Kohser, R. A. (2012) *Materials and Processes in Manufacturing* (11th Edition), Hoboken: John Wiley and Sons.
- El-Katatny, S. M., Nassef, A. E., El-Domiatty, A., El-Gharaihy, W. H. (2015) 'Fundamental Analysis of Cold Die Compaction of Reinforced Aluminium Powder', *International Journal of Engineering and Technical Research*, Volume 3, Issue 3, pp. 180-184.
- Fasya, F. dan Iskandar, N. (2015) 'Melt Loss Dan Porositas Pada Aluminium Hasil Daur Ulang', *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 3, No. 1, pp. 44-50.
- Froes F. H. (2012) 'Titanium Powder Metallurgy: A Review – Part 1', *Adv Mater Process*, Volume 170, Issue 9, pp: 16–22.
- Kalpakjian, S., and Schmidt, S. R. (2014) *Manufacturing Engineering and Technology* (7th edition), London: Pearson plc.
- Li, J. F., Peng, Z. W., Li, C. X., Jia, Z. Q., Chen, W. J., and Zheng, Z. Q. (2008) 'Mechanical Properties, Corrosion Behaviors and Microstructures of 7075 Aluminium Alloy with Various Aging Treatments', *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, Vol 18, pp: 755-762.
- Mahdi, A. S., Mustapa, M. S., Iajis, M. A., Rashid, M. W. A. (2016) 'Effect Of Compaction Pressure On Mechanical Properties Of Aluminium Particle Sizes AA6061A1 Alloy Through Powder Metallurgical Process', *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. Volume 11, No. 8, pp: 5155-5160.
- McCracken C. G., Motchenbacher C., Barbis D. P. (2010) 'Review of Titanium Powder-Production Methods', *Int J Powder Metall*. Volume 46, Issue 5, pp: 19–26.
- Menzie, W. D., Barry, J. J., Bleiwas, D. I., Bray, E. L., Goonan, T. G., and Matos, Gracia (2010) *The Global Flow of Aluminium from 2006 Through 2025*, Reston: U.S. Geological Survey.
- Rojaz-Diaz, L. M., Verano-Jimenez, L. E., Munoz-Garcia, E., Esguerra-Arce, J., and Esguerra-Arce, A. (2019) 'Production and characterization of aluminium powder derived from mechanical saw chips and its processing through powder metallurgy', *Powder Technology*, Volume 360, pp: 301-311.
- Wan, B., Chen, W., Lu, T., Liu, F., Jiang, Z. (2017) 'Review of Solid State Recycling of Aluminium Chips', *Resour. Conserva, Recy.*, Volume 125, pp: 37-47.
- Yoshio, Baba. (1989) 'Extra Super Duralumin and Successive Aluminium Alloys for Aircraft', *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Volume 39, Issue 5, p. 378.
- Zhang, H. B., Wang, B., Zhang, Y. T., Li, Y., He, J. L., Zhang, Y. F. (2020) 'Influence of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of CNTs/7075 Al composites', *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 814.
- Zhang, W. W., Hu, Y., Wang, Z., Yang, C., Zhang, G. Q., Prashanth, K. G., and Suryanarayana, C. (2018) 'A Novel High-Strength Al-Based Nanocomposite Reinforced with Ti-Based Metallic Glass Nanoparticles Produced by Powder Metallurgy', *Materials Science and Engineering: A*, Volume 734, pp: 34-41.