

ANALISIS HASIL PENGECORAN PASIR RODA GIGI LURUS BERBAHAN ALUMINIUM 1100 DAN 6063 TERHADAP SIFAT MEKANIK

ANALYSIS OF SAND-CASTING SPUR GEAR FROM ALUMINUM 1100 AND 6063 TOWARDS MECHANICAL PROPERTIES

Ilham Azmy¹⁾, Dinar Dwi Rachmadi²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

²⁾Program Studi Proses Manufaktur, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

email: ilham.azmy@polban.ac.id¹⁾*, dinar.dwi.pmf19@polban.ac.id²⁾

Received:
11 Mei 2024

Accepted:
3 Juli 2024

Published:
19 Juli 2024



Abstrak

Roda gigi lurus merupakan komponen mesin berbentuk gerigi yang bekerja saling bergesekan mentransmisikan gerakan rotasi antar poros berefisiensi tinggi. Kondisi tersebut mengharuskan roda gigi lurus memiliki sifat mekanik yang mumpuni. Teknik pengecoran pasir dikenal sebagai proses manufaktur produk mekanikal yang cukup sederhana dengan hasil berkualitas tinggi dan minim kegagalan. Di sisi lain, aluminium merupakan logam paduan yang memiliki sifat mekanik, ketahanan korosi dan sifat mampu cor yang baik. Maka, penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses manufaktur roda gigi lurus menggunakan teknik pengecoran pasir berbahan aluminium 1100 dan 6063 sehingga didapatkan perbandingan karakteristik mekanik kekerasan dan ketahanan ausnya. Proses pengecoran diawali dengan perancangan dan pembuatan pola, lalu menyiapkan cetakan dan pasir silika, hingga proses peleburan aluminium pada temperatur 600 °C pada tungku, kemudian diakhiri dengan penuangan aluminium cair pada cetakan pasir. Setelah produk roda gigi lurus didapatkan, lalu dilakukan pengujian mekanik untuk mengevaluasi nilai kekerasan dan ketahanan ausnya. Dari hasil penelitian ini, didapatkan bahwa produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 memiliki nilai kekerasan yang tinggi (58,4 HV) dan penurunan laju aus terendah (0,000827 mm³/menit). Dengan demikian, produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 memiliki karakteristik mekanik yang paling baik sehingga berpengaruh pada umur pakainya yang lebih lama.

Kata Kunci: pengecoran, roda gigi, sifat mekanik

Abstract

Spur gear is a toothed-shaped machine component which works by friction each other to transmit high efficiency rotational movement on shafts. This requires spur gear to possess robust mechanical properties. The sand-casting technique is widely known as a simple manufacturing process to produce high quality mechanical products with less failure. Moreover, aluminium is an alloy which owns good mechanical properties, corrosion resistance and castability. Hence, the research aims to conduct manufacturing process of spur gear using sand-casting technique made from 1100 and 6063 aluminium which followed by comparing mechanical characteristics of hardness and wear resistance. The

casting process initially begins by designing and fabricating patterns, then preparing the mold and silica sand along with the aluminium melting process at temperature 600 °C in a furnace, which ends by pouring the molten aluminium into the sand mold. After the spur gear was obtained, mechanical testing was examined to evaluate its hardness and wear resistance values. From the results, it was clearly found that spur gear product made from aluminium 6063 possess high hardness value (58.4 HV) and the lowest wear rate reduction (0.000827 mm³/minute). Thus, spur gear made from 6063 aluminium has the best mechanical characteristics which affects long lifespan.

Keywords: casting, spur gear, mechanical properties

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v9i2.310

How to cite: Azmy, I., & Rachmadi, D.D., "Analisis Hasil Pengecoran Pasir Roda Gigi Lurus Berbahan Aluminium 1100 dan 6063 Terhadap Sifat Mekanik". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 9(2), 107-116, 2024.

PENDAHULUAN

Roda gigi lurus (*spur gear*) merupakan salah satu komponen mekanikal utama untuk transmisi gaya dan beban pada suatu instrumen mesin agar dapat beroperasi secara optimal[1,2]. Ukuran roda gigi lurus sendiri bervariasi dari skala kecil (nanometer) hingga besar (meter) untuk aplikasi yang luas pada industri otomotif, pembangkit listrik, hingga medis[3,4]. Proses manufaktur roda gigi lurus yang efisien sangat diharapkan untuk dapat menghasilkan karakteristik mekanik yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan. Hal tersebut sangat penting karena bila ada cacat (*defect*) pada roda gigi lurus maka akan sangat berakibat fatal pada kerusakan suatu sistem mesin[5,6].

Secara umum, proses manufaktur roda gigi lurus berbahan logam dapat digolongkan ke dalam 3 metode seperti proses *machining* dengan pemotongan dan *milling*, lalu proses pembentukan dengan ekstrusi dan *stamping*, kemudian yang terakhir dengan proses *additive manufacturing* seperti metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) dan pengecoran (*casting*)[7,8]. Teknik pengecoran pasir (*sand casting*) merupakan salah satu metode yang menjanjikan dalam proses manufaktur logam yang berbiaya hemat, konsumsi energi yang efisien, dan mudah untuk dikerjakan[9]. Untuk memperoleh hasil produk yang berkualitas baik, proses pengecoran pasir (*sand casting*) harus memperhatikan beberapa poin utama seperti perencanaan pola dan cetakan, hingga pemilihan jenis pasir yang digunakan[10].

Dalam proses pembuatan produk roda gigi lurus, material baja umumnya digunakan sebagai bahan baku karena keberadaannya melimpah dan harga yang relatif terjangkau. Namun demikian, produk roda gigi lurus dari material baja cenderung memiliki sifat mekanik dan *durability* yang rendah serta rentan terhadap korosi[11,12]. Di sisi lain, logam paduan (*alloy*) seperti aluminium dipandang menawarkan ketahanan korosi dan sifat mekanik yang lebih unggul karena adanya lapisan oksida tipis yang menempel sangat kuat di permukaannya yang berbentuk aluminium oksida (Al₂O₃)[13].

Secara khusus, aluminium 1100 merupakan paduan *hypereutectic* Al-Cu-Sn yang memiliki ketahanan aus, ketahanan korosi, dan sifat mampu mesin yang tinggi[14]. Sementara itu, aluminium 6063 tergolong paduan Al-Mg-Si yang memiliki keistimewaan seperti massa jenis yang kecil, kekuatan tarik dan *yield* yang tinggi, serta kemampuan tahan terhadap korosi yang baik[13]. Salah satu teknik yang sederhana dan berbiaya murah untuk dapat mengolah paduan aluminium 1100 dan aluminium 6063 tersebut menjadi produk roda gigi lurus yaitu dengan memanfaatkan proses pengecoran pasir.

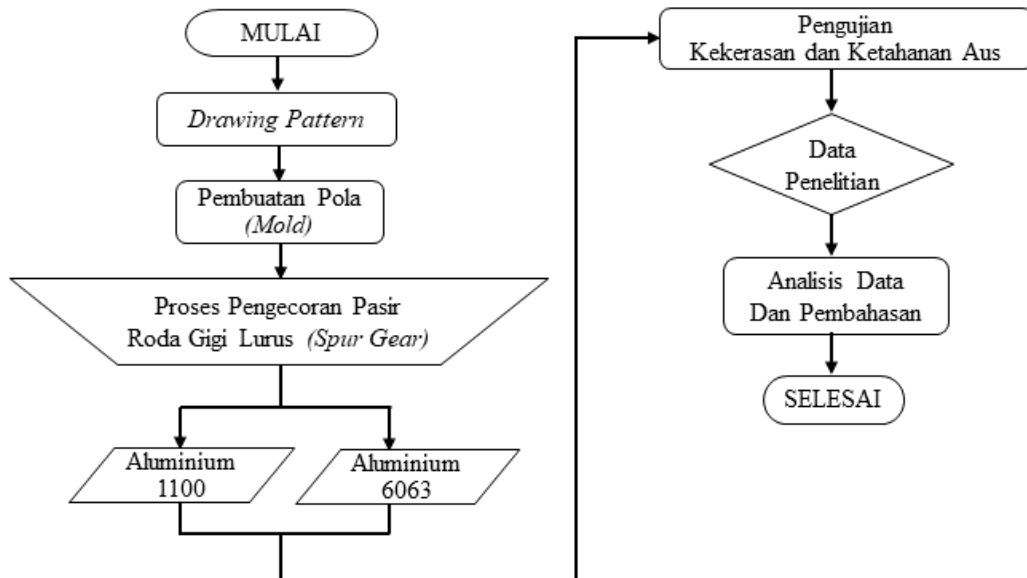
Maka dari itu, pada penelitian ini dilakukan proses manufaktur roda gigi lurus (*spur gear*) menggunakan teknik pengecoran pasir dengan variasi paduan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Analisis perbandingan sifat mekanik yang dilakukan mencakup sifat kekerasan dan ketahanan aus dari hasil pengecoran pasir berbahan aluminium 1100 dan

aluminium 6063 karena karakteristik tersebut menjadi parameter keandalan utama dari produk roda gigi lurus[4].

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian

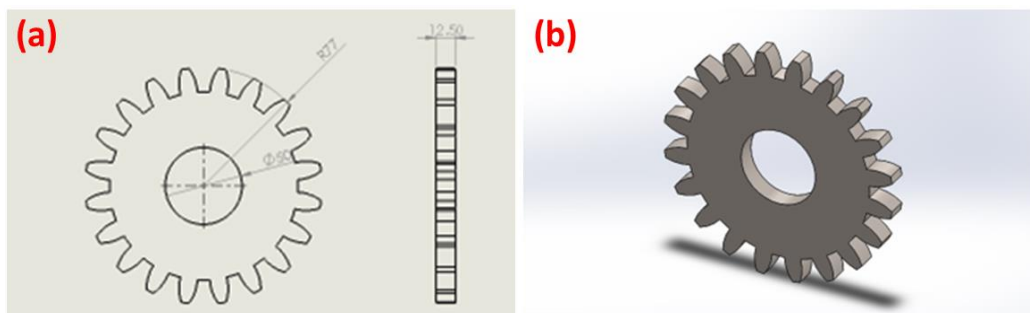
Gambar 1 memperlihatkan diagram alir penelitian proses manufaktur roda gigi lurus (*spur gear*) dengan teknik pengecoran pasir yang meliputi beberapa tahapan yaitu studi literatur, perancangan pola (*drawing pattern*), pembuatan pola, pengecoran pasir roda gigi lurus, pengujian kekerasan, pengujian ketahanan aus, hingga analisis data dan pembahasan mengenai hasil penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perancangan Pola (*Drawing Pattern*)

Pada tahap *drawing pattern* ini dilakukan proses perancangan dengan aplikasi *Computer-Aided Design (CAD)* Solidworks untuk desain pola (*pattern*) roda gigi lurus sekaligus menghitung rasio gigi yang sesuai standar dan *feasible* untuk dibuat pada penelitian ini. Gambar 2 memperlihatkan dimensi dan model yang dirancang untuk penelitian pengecoran pasir roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Model roda gigi lurus terbilang sederhana jika dibandingkan dengan jenis roda gigi lainnya. Untuk dimensi roda gigi lurus sendiri memiliki diameter 50 mm, diameter tusuk 77 mm, tebal 12,5 mm dengan jumlah gigi sebanyak 20 buah.



Gambar 2. (a) Dimensi desain roda gigi lurus, (b) Model 3D roda gigi lurus

Pembuatan Pola

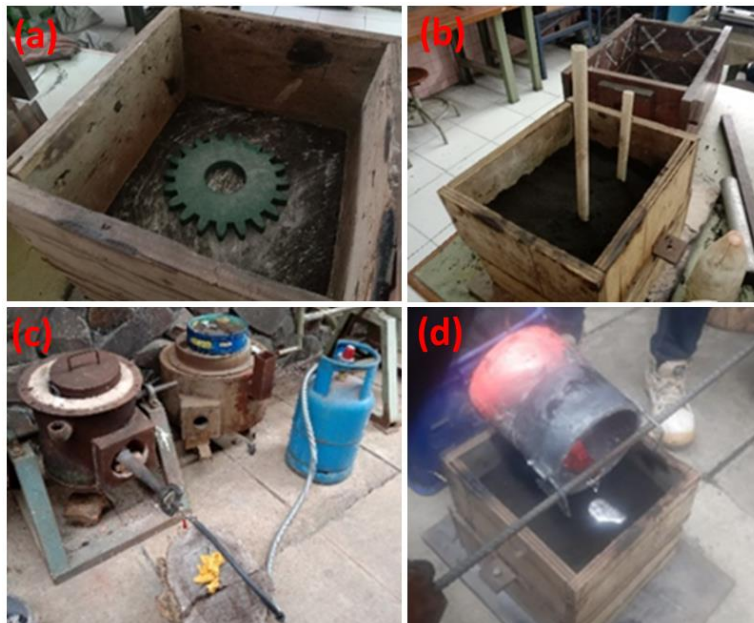
Pembuatan pola (*pattern*) dilakukan sebagai dasar dalam proses manufaktur roda gigi lurus. Proses pembuatan pola tersebut dilakukan menggunakan mesin FFF 3D printer Sindoh 3DWOX 1 dengan bahan *polyactic acid (PLA)*. Gambar 3 menunjukkan hasil pembuatan pola dengan bentuk roda gigi lurus yang berlangsung selama 8 jam.



Gambar 3. Hasil 3D *print* pola pengecoran roda gigi lurus

Pengecoran Pasir Roda Gigi Lurus

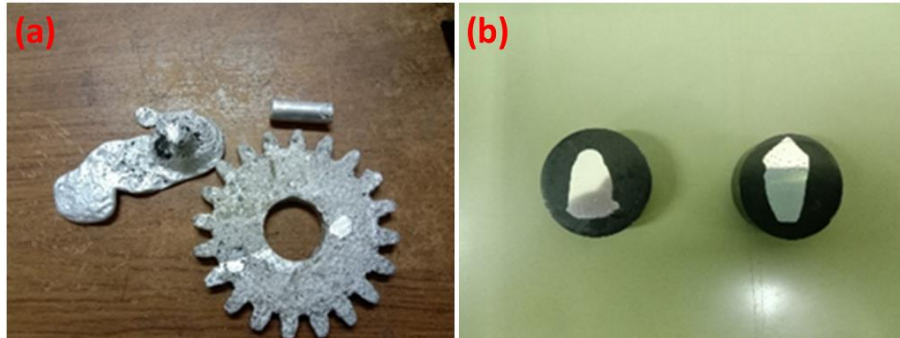
Proses pengecoran pasir roda gigi lurus dilakukan dalam beberapa tahapan yang terdiri dari peletakan pola pada cetakan, penuangan pasir pada cetakan, peleburan aluminium, dan penuangan aluminium cair ke dalam cetakan pasir. Gambar 4(a) memperlihatkan proses peletakan pola roda gigi lurus ke dalam cetakan yang terbuat dari kayu. Setelah itu, pada Gambar 4(b) tampak pasir dituangkan ke dalam cetakan hingga pola terbenam. Pasir cetakan sendiri merupakan pasir silika (SiO_2) yang dipadatkan dengan air.



Gambar 4. (a) Peletakan pola pada cetakan, (b) Penuangan pasir pada cetakan, (c) Peleburan aluminium, (d) Penuangan aluminium cair ke dalam cetakan pasir

Bersamaan dengan itu, pada Gambar 4(c) tampak proses peleburan aluminium dilakukan dengan memanaskan *scrap* aluminium 1100 dan 6063 menggunakan tungku pada temperatur 600 °C. Bila logam aluminium telah melebur secara homogen, maka dilanjutkan proses penuangan aluminium cair ke dalam cetakan pasir. Pada Gambar 4(d) menunjukkan

proses penuangan aluminium cair yang dilakukan menggunakan *ladle*. Proses penuangan ini harus dilakukan dengan hati-hati dan waktu yang cepat untuk mencegah terjadinya *initial solidification* pada aluminium cair. Setelah itu, cetakan pasir akan didiamkan beberapa saat lalu kemudian dibongkar sehingga didapatkan produk roda gigi lurus hasil pengecoran pasir. Pada Gambar 5(a) memperlihatkan produk roda gigi lurus yang merupakan hasil pengecoran pasir.

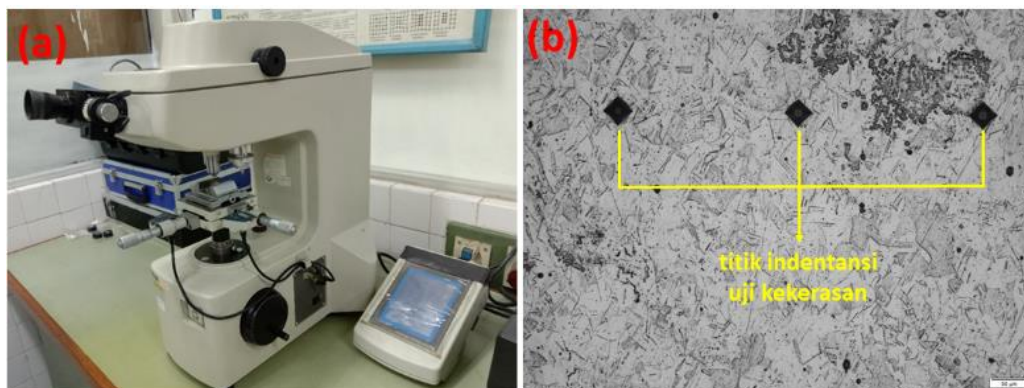


Gambar 5. (a) Hasil proses pengecoran pasir, (b) spesimen untuk pengujian

Adapun pada Gambar 5(b) merupakan produk roda gigi lurus yang telah dipotong dan dilakukan proses *mounting* menggunakan bakelit dengan alat *press hydraulic* sehingga memudahkan untuk pengujian sifat mekaniknya (kekerasan dan ketahanan aus).

Pengujian Kekerasan

Untuk mengevaluasi nilai kekerasan dari produk roda gigi lurus hasil pengecoran pasir berbahan aluminium 1100 dan 6063, maka dilakukan pengujian kekerasan Vickers (ASTM E384, indentor intan piramida) dengan menggunakan alat uji kekerasan. Gambar 6(a) memperlihatkan jenis mesin uji kekerasan dengan spesifikasi *Hardness Testing Machine* Mitutoyo HM-122. Kemudian, pada Gambar 6(b) menunjukkan lokasi pengujian spesimen yang dilakukan sebanyak 3 kali indentasi pada titik yang berbeda. Indentasi yang dilakukan tersebut berfungsi untuk menentukan parameter nilai kekerasan yang akurat pada spesimen roda gigi lurus hasil pengecoran pasir.



Gambar 6. (a) Alat uji kekerasan, (b) Lokasi titik indentansi

Pengujian Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus dilakukan pada produk roda gigi lurus hasil pengecoran pasir yang berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bahan aluminium yang paling baik dalam pengecoran pasir berdasarkan sifat ketahanan aus yang didapatkan. Pengujian ketahanan aus dilakukan untuk menilai seberapa besar tingkat keausan permukaan material terhadap gesekan atau goresan pada permukaan. Pengujian

keausan dilakukan dengan metode *Pin-on-Disc* (ASTM G99-17) sehingga dapat diketahui ketahanan aus produk roda gigi lurus terhadap gesekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

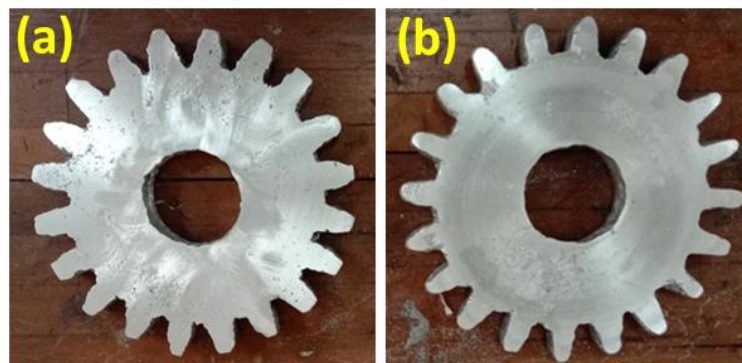
Analisis Hasil Pengecoran

Proses pengecoran pasir yang telah dilakukan menghasilkan produk roda gigi lurus (*spur gear*) berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Keberhasilan proses pengecoran pasir tersebut tidak lepas dari pengaturan parameter pemilihan temperatur tuang, laju pendinginan (*cooling rate*), hingga penuangan logam cair ke dalam cetakan pasir[15]. Gambar 7(a) dan 7(b) memperlihatkan produk roda gigi lurus hasil proses pengecoran pasir sebelum dilakukan proses *finishing* dengan penggerinda. Dari hasil proses pengecoran pasir tersebut masih menyisakan kekasaran permukaan yang relatif rendah sehingga masih dibutuhkan proses *finishing* lebih lanjut sehingga produk roda gigi lurus dapat memiliki dimensi yang lebih presisi dengan kualitas permukaan yang lebih baik.



Gambar 7. Hasil pengecoran pasir sebelum proses *finishing*; (a) Aluminium 1100, (b) Aluminium 6063

Sejalan dengan itu, proses *finishing* pun dilanjutkan dengan proses *grinding* sehingga menghasilkan produk roda gigi lurus yang lebih baik secara dimensi dan kualitas permukaannya. Pada Gambar 8(a) dan 8(b) memperlihatkan kualitas produk roda gigi setelah proses *finishing* yang lebih halus dan minim porositas.

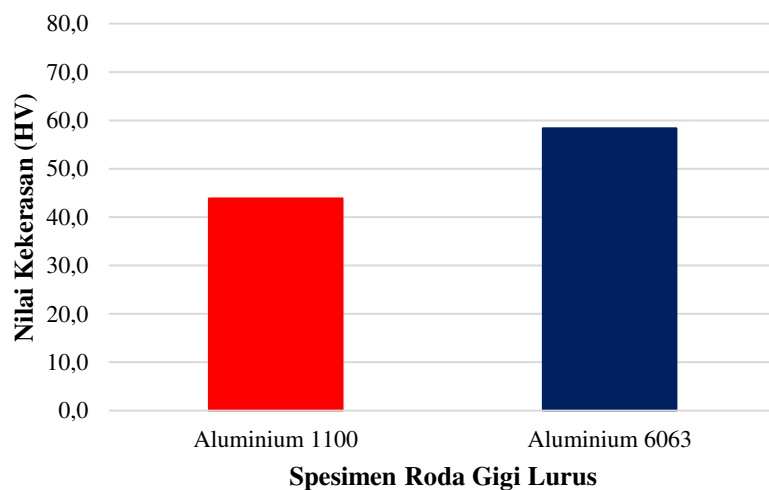


Gambar 8. Hasil pengecoran pasir setelah proses *finishing*; (a) Aluminium 1100, (b) Aluminium 6063

Proses *finishing* tersebut memberikan efek perataan permukaan dan peningkatan dimensi yang lebih presisi sehingga produk roda gigi lurus telah sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang pada penelitian ini. Dengan demikian, proses pengecoran pasir (*sand casting*) merupakan teknik yang sangat relevan, sederhana, dan hemat energi dalam memproduksi roda gigi lurus.

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan parameter sifat mekanik yang perlu diperhatikan pada penelitian ini karena produk roda gigi lurus bekerja dengan saling bergesekan sehingga memerlukan nilai kekerasan yang baik. Sifat kekerasan dapat diartikan sebagai ketahanan suatu bahan terhadap gaya deformasi, goresan, hingga tusukan/indentasi. Proses pengujian kekerasan pada produk roda gigi lurus (*spur gear*) berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063 ini dilakukan sebanyak 3 (tiga) kali pengujian pada lokasi titik yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi perbedaan nilai kekerasan dari setiap lokasi pengujian. Nilai kekerasan yang didapat dari lokasi indentasi yang berbeda tersebut selanjutnya akan diolah untuk diambil rerata dari nilai kekerasan yang akan menggambarkan nilai kekerasan umum pada produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Nilai kekerasan didemonstrasikan dalam satuan *Hardness Vickers (HV)* karena metode pengujian kekerasan yang dilakukan ialah metode Vickers.

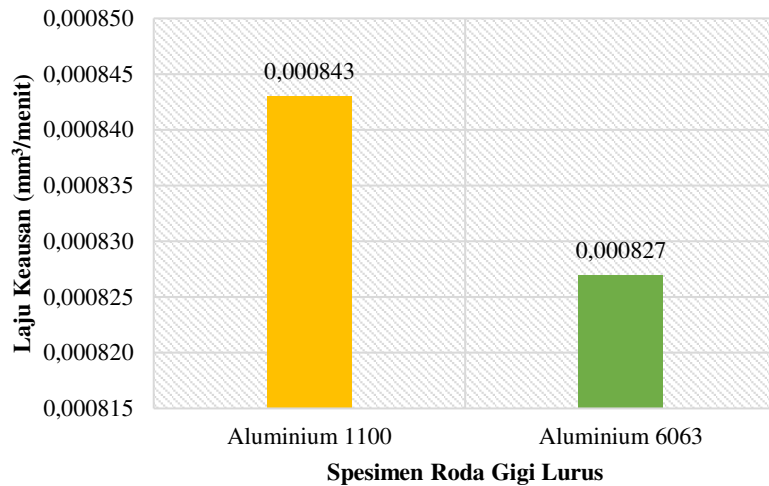


Gambar 9. Grafik hasil pengujian kekerasan produk roda gigi lurus

Pada Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan nilai kekerasan produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063 berturut-turut memiliki nilai kekerasan sebesar 43,9 HV dan 58,4 HV. Roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi daripada roda gigi lurus berbahan aluminium 1100. Hal ini terjadi karena butiran Al pada paduan Al-Mg-Si (aluminium 6063) cenderung lebih efektif untuk berubah menjadi butiran α -Al yang memiliki ukuran butir kecil sehingga efeknya dapat meningkatkan sifat kekerasan[15,16]. Maka, produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 mampu menahan beban gesekan yang lebih baik dibandingkan dengan gigi lurus berbahan aluminium 1100.

Analisis Hasil Pengujian Ketahanan Aus

Ketahanan aus (*wear resistance*) menjadi tolok ukur penting untuk dievaluasi sehingga dapat menentukan produk roda gigi lurus mampu menahan beban gesekan yang mumpuni. Untuk memperoleh nilai ketahanan aus dari produk roda gigi lurus hasil pengecoran pasir tersebut, uji keausan (*wear test*) telah dilakukan. Gambar 10 memperlihatkan grafik perbandingan laju keausan dari produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063.



Gambar 10. Grafik laju keausan produk roda gigi lurus

Produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 memperlihatkan laju keausan tertinggi sebesar 0,000843 mm³/menit yang menandakan bahwa roda gigi lurus tersebut mudah aus dan tidak tahan terhadap gesekan[18]. Di sisi lain, produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 memperlihatkan laju keausan terendah sebesar 0,000827 mm³/menit yang berarti roda gigi lurus tersebut memiliki ketahanan aus yang lebih baik. Fenomena tersebut disebabkan karena unsur Al pada roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 memiliki *interfacial bonding* yang lebih tinggi sehingga mendorong penguatan partikel (*reinforcement*) paduan Al-Mg-Si yang meningkatkan ketahanan aus[17,18]. Maka dari itu, telah didapatkan bahwa sifat ketahanan aus terbaik dimiliki oleh produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063.

KESIMPULAN

Proses manufaktur produk roda gigi lurus berbahan aluminium 1100 dan aluminium 6063 telah berhasil dilakukan menggunakan teknik pengecoran pasir (*sand casting*) pada penelitian ini. Produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dengan nilai kekerasan tertinggi (58,4 HV) dan laju keausan rendah (0,000827 mm³/menit). Dengan demikian, produk roda gigi lurus berbahan aluminium 6063 lebih mumpuni untuk dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan hibah penelitian dengan no. B/6.15/PL1.R7/PG.00.03/2024 sehingga penelitian ini dapat berjalan optimal. Selain itu, penulis juga mengungkapkan rasa terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin melalui Laboratorium Bahan dan Metalurgi yang telah memberikan fasilitas selama kegiatan eksperimen pengerjaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] J. Zheng, X. Zhou, Y. Yu, J. Wu, W. Ling, and H. Ma, "Low carbon, high efficiency and sustainable production of traditional manufacturing methods through process design strategy: Improvement process for sand casting defects," *J. Clean. Prod.*, vol. 253, p. 119917, 2020.
- [2] Y. Yang, Y. An, X. Liu, and Z. Jiang, "A novel process for manufacturing spur gear with uniform microstructure and excellent strength-ductility synergy by warm mold

- continuous casting,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 306, p. 117626, 2022.
- [3] S. Khalilpourazary and S. S. Meshkat, “Investigation of the effects of alumina nanoparticles on spur gear surface roughness and hob tool wear in hobbing process,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 71, no. 9, pp. 1599–1610, 2014.
- [4] V. Vijayakumar, P. Johnson, R. Whenish, A. Rajan, and V. Wilson, “Investigations into microstructure and mechanical properties of Al 6061/SiCp metal matrix composite spur gear produced via powder metallurgy,” *J. Ceram. Process. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 57–59, 2020.
- [5] M. K. Choudhary, V. Dhinakaran, and T. Jagadeesha, “Wear Behaviour of Duplex Stainless Steel Spur Gear Produced by CNC Wire Electro-discharge Machining Under Wet Lubrication—An Experimental Approach BT - Advances in Industrial Automation and Smart Manufacturing,” in *ICAIASM: International Conference on Advances in Industrial Automation and Smart Manufacturing*, 2021, pp. 397–406.
- [6] H. Purwanto, D. Darmanto, N. Kholis, and W. Mufidin, “Pengaruh Variasi Temperatur Tuang pada Pengecoran Daur Ulang Al-Si terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dengan Pola Styrofoam,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 5, no. 1, pp. 43–51, 2021.
- [7] S. Sumpena and W. Wardoyo, “Pengaruh Variasi Temperatur Hardening dan Tempering Paduan AlMgSi-Fe12% Hasil Pengecoran terhadap Kekerasan,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 2, no. 1, pp. 26–32, 2018.
- [8] A. Taufik and Ma’ruf, “Uji Kekerasan Pada Al-Cu Hasil Pengecoran Metode Die Casting Dengan Variasi Temperatur Tuang Dan Tekanan,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 6, no. 1, pp. 33–42, 2021.
- [9] W. Anderson, H. Rudianto, and D. Haryadi, “Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik Dan Stuktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si,” *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 23, no. 2, pp. 146–154, 2018.
- [10] D. Andriani, W. Suprpto, Y. S. Irawan, and A. Sunarso, “Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Piston Hasil Pengecoran Menggunakan 3D Printing,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 171–179, 2023.
- [11] W. Feng, X. Jia, B. Liu, and M. Gao, “Material flow characteristics and deformation law during dual directional hot forging of the steel-aluminium spur gear,” *Procedia Manuf.*, vol. 50, pp. 425–428, 2020.
- [12] H. Isworo and N. Rahman, “Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Dan Media Pendinginan Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja ST 41 Metode Hardening,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 5, no. 1, pp. 37–50, 2020.
- [13] P. Paramasivam and S. Vijayakumar, “Mechanical characterization of aluminium alloy 6063 using destructive and non-destructive testing,” *Mater. Today Proc.*, vol. 81, pp. 965–968, 2023.
- [14] K. Premvrat and K. Sandeep, “Effect of Mechanical Mould Vibration on the Properties of Sand Casting Aluminium (A-1100) Alloy,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 07, no. 06, pp. 370–374, 2018.
- [15] T. Hidayat and M. Tamjidillah, “Pengaruh Temperatur Tuang Dengan Jenis Material Al Paduan (Rongsok Wajan) Terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran Evaporative,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 1, no. 1, pp. 47–58, 2016.
- [16] W. Ding *et al.*, “A new modifier for microstructure and mechanical properties of 6063 aluminum alloy,” *Mater. Res. Express*, vol. 7, no. 10, p. 106522, 2020.
- [17] S. Rahman and R. Siswanto, “Pengaruh Temperatur Tuang Dengan Jenis Material Paduan Al Rongsok (Kampas Rem Panci) Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Evaporative,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 4, no. 1, pp. 87–94, 2019.

- [18] K. J. Al-Fadhalah, M. K. Alyazidi, and M. Rafiq, “Effect of Microstructure Refinement on Hardness Homogeneity of Aluminum Alloy 1100 Processed by Accumulative Roll Bonding,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 28, no. 8, pp. 4693–4706, 2019.
- [19] D. Kumar, S. Angra, and S. Singh, “Mechanical Properties and Wear Behaviour of Stir Cast Aluminum Metal Matrix Composite: A Review,” *Int. J. Eng.*, vol. 35, no. 4, pp. 794–801, 2022.
- [20] R. Siswanto, Ma’ruf, and G. Aprianto, “Uji Kekerasan Paduan Al-6,7% Cu Dengan Variasi Temperatur Tuang Dan Tekanan Hasil Proses Squeeze Casting,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 6, no. 2, pp. 174–181, 2021.