

KARAKTERISASI PENGECORAN POROS BERULIR (SCREW) DENGAN VARIABEL PADUAN UNSUR TITANIUM BORON DAN MAGNESIUM

Andika Wisnujati

Dosen
Program Studi D3 Teknologi Mesin,
Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
andikawisnujati@umy.ac.id

Mirza Yusuf

Dosen
Program Studi D3 Teknologi Mesin,
Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
mirza@umy.ac.id

Azhar Hudiatma

Mahasiswa
Program Studi D3 Teknologi Mesin,
Program Vokasi
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Aluminum is a non-ferrous metal that is widely used in everyday life, both on a large and small industrial scale as well as a household scale. In this research, used diesel motor piston material for casting screw. The addition of 0.1%, 0.3% Titanium Boron (Ti-B) and 0.1%, 0.3% Magnesium (Mg) for screw making by casting is expected to improve the physical and mechanical properties of the material. Tests carried out in this research are to wear testing and microstructure. The analysis of the results of this wear test shows that the aluminum alloy for making screws with the addition of 0.1% Titanium-Boron (TiB) and 0.1% Magnesium (Mg) has a better wear resistance, which is 1.154 mm² / kg compared to the addition of the element 0.3% Titanium-Boron (TiB) and 0.3% Magnesium (Mg) and without the addition of any elements which have wear resistance values of 1.252 mm² / kg and 1.596 mm² / kg, respectively. Microstructure testing shows the grain structure in aluminum alloy from casting results with the addition of Ti-B and Mg elements getting smaller and denser. This proves that the more elements of Ti-B and Mg added to the casting of aluminum alloys, the smaller the structure of the grain will be and will affect the mechanical properties of the screw.

Keywords: Aluminum Alloy, Screw, Titanium-Boron, Magnesium

1. PENDAHULUAN

Aluminium dapat diklasifikasikan sebagai salah satu logam bukan logam yang sangat luas cakupannya di bidang industri. Aluminium memiliki sifat ringan, tahan terhadap korosi, dan sebagai penghantar panas yang baik, sehingga menyebabkan aluminium menjadi salah satu bahan untuk membuat komponen-komponen mesin yang mempunyai sifat yang ringan seperti piston, *velg*, dan lain sebagainya [1]

Pengembangan material maju sedang berlangsung seiring dengan perkembangan teknologi saat ini. Untuk menyediakan properti spesifik untuk memenuhi kebutuhan spesifik dalam berbagai bidang. Aplikasi rekayasa material ringan berskala besar diterapkan di industri pesawat terbang untuk mengurangi berat pesawat saat dalam penerbangan. Paduan Mg banyak digunakan dalam industri manufaktur karena penggunaannya sebagai pengganti besi dan baja, dibandingkan dengan bahan lainnya. Paduan magnesium memiliki sifat yang lebih unggul, antara lain ringan, tahan korosi, dan konduktivitas yang baik. [2]. Aluminium banyak digunakan dengan memadukan unsur lain sehingga tidak kehilangan sifat utamanya, serta mampu cornya dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur-unsur lain. Penambahan magnesium hingga 15,35% dapat mengurangi titik leleh paduan logam dalam jumlah yang signifikan, dari 660 ° C menjadi 450 ° C. Karena dengan adanya magnesium, paduan tersebut bekerja dengan baik hingga suhu di mana banyak logam akan failure. [3]. Paduan aluminium silikon umumnya digunakan pada komponen mobil dan industri. Tujuan utama elemen silikon adalah untuk membantu menjaga paduan aluminium agar tidak mengalami peningkatan panas sebanyak yang seharusnya pada saat pengecoran. [4].

Pengecoran pada umumnya dilakukan oleh pelaku industri-industri kecil dan menengah dengan menggunakan peralatan dapur sederhana yaitu tungku api atau tungku *crucible* berbahan bakar minyak tanah, oli bekas atau gas. Metode pengecoran yang digunakan menggunakan pengecoran tuang (*grafity casting*) [5].

Pada titik leleh, bahan padat telah dicairkan. Supaya materialnya berkualitas, dapat ditambahkan campuran material seperti *chrome*, silikon, titanium, aluminium, dan lain-lain. [6]. Proses pengecoran merupakan salah satu cara pembuatan produk, yang melibatkan peleburan logam dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang menyerupai bentuk asli produk tuang yang akan dibuat. Beberapa faktor yang mempengaruhi atau merupakan karakteristik dari proses pengecoran, seperti: aliran logam cair masuk ke dalam rongga cetakan, perpindahan panas selama pembekuan dan pendinginan logam dalam cetakan menyebabkan pembekuan logam dari keadaan cair, dan pengaruh bahan cetakan. Umur cetakan digunakan untuk menentukan klasifikasi pengecoran. [7].

Tabel 1: Kecepatan pendinginan proses pengecoran [8]

PROSES PENGECORAN	KECEPATAN PENDINGINAN (C/S)	JARAK <i>DENDRITE</i> - ARM (M)
Pasir cetak	0,05-0,2	$(0,1-2).10^{-3}$
Pasir cetak, kulit	0,1-0,5	$(0,05-0,5).10^{-3}$
Cetakan permanen	0,3-1	$(0,03-0,07).10^{-3}$
Cetakan pola	50-500	$(0,005-0,00115).10^{-3}$
Kontinu	0,5-2	$(0,03-0,07).10^{-3}$

Beberapa penelitian tentang pengecoran aluminium dengan penambahan unsur paduan telah dilakukan oleh Fadly dan Ikhwansyah [3] meneliti perlakuan paduan Al-Mg dibuat melalui proses pengecoran. Komposisi paduan yang telah digunakan adalah 98% -2%, 96% -4%, dan 94% -6%. (perbandingan Aluminium - Magnesium). Hasil uji tarik menunjukkan bahwa modulus elastisitas paduan Al-Mg (komposisi: 98% Al-2% Mg) adalah 4,44 GPa. Untuk paduan 96% -4%, nilainya 4,46 GPa, dan untuk paduan 94% -6% 3,56 GPa. Hasil terbaik dicapai dengan campuran 96% -4%, yaitu 4,46 GPa. Abdul Qohar dkk., telah menemukan, porositas aluminium-silikon (Al-Si) memiliki nilai minimum 0,0147 atau 1,47 persen, pada permeabilitas 31,62 cm³/menit dan suhu 680°C, dan nilai maksimum 0,0614 atau 6,14%, pada Permeabilitas 22,29 cm³/menit dan suhu 780°C. Densitas terpadat adalah 2,633 g/cm³, yang terletak pada permeabilitas 31,62 cm³/menit dan suhu 680°C, sedangkan massa jenis paling ringan adalah 2,509 g/cm³, yang memiliki permeabilitas 22,29 cm³/menit dan suhu 780°C. Susri, dkk., menyelidiki pengaruh memasukkan unsur magnesium terhadap kekerasan, kekuatan tumbukan, dan struktur mikro paduan Al-Si (Al-Si), yang mengakibatkan peningkatan kekerasan dan kekuatan tumbukan. Struktur mikro 100% Mg Al-Si dipengaruhi oleh perkembangan Mg, yang menyebabkan perubahan struktur menjadi genap dan terbentuknya senyawa intermetalik Mg₂Si, yang menghasilkan kekuatan mekanik yang lebih besar.

Raza, *et al.*, [10] melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh konfigurasi cetakan atas dan bawah terhadap sifat mekanik paduan aluminium 6063-T5 pada proses pengecoran pasir, menghasilkan kekuatan tarik *ultimate* (UTS) 4,08% –18,78% lebih tinggi dan persentase perpanjangan lebih tinggi 5,98% – 20,60%. Temperatur penuangan dan luas *ingate* telah diidentifikasi sebagai parameter proses paling signifikan yang mempengaruhi kekuatan tarik *ultimate* dan persentase perpanjangan. Penelitian yang dilakukan oleh Rodriguez, *et al.*, [11] menghasilkan perbandingan antara teknik pengecoran pasir tradisional dan teknologi manufaktur aditif dengan teknik *InkJet 3D Printing* (3DP), membandingkan waktu pembuatan, laju pendinginan, deviasi dimensi, kualitas permukaan, porositas permukaan dan cacat. Dengan cara ini, kelayakan dan keuntungan dari pembuatan aditif diteliti sebagai alternatif yang baik untuk pengecoran pasir paduan non-ferrous.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik hasil pengecoran piston bekas motor diesel untuk pembuatan poros berulir (*screw*) dengan variable penambahan unsur Titanium-Boron (Ti-B) dan Magnesium (Mg).

2. METODE DAN BAHAN

2.1. Alat-alat dan bahan

Metode yang digunakan pada pengecoran ini adalah *sand casting*. Pengecoran *sand casting* adalah jenis pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir. Jenis pengecoran ini paling banyak dipakai karena biaya produksinya rendah dan dapat membuat benda coran yang berkapasitas berton-ton. Cetakan yang digunakan dalam proses pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir basah. Struktur mikro dari aluminium paduan dipengaruhi oleh komposisi paduan dan pemilihan proses pengecoran. Struktur mikro dapat dirubah dengan

penambahan elemen tertentu pada paduan Al-Si yang mana dapat memperbaiki mampu cor (*castability*), sifat mekanis dan mampu mesin yang baik (*machinability*).



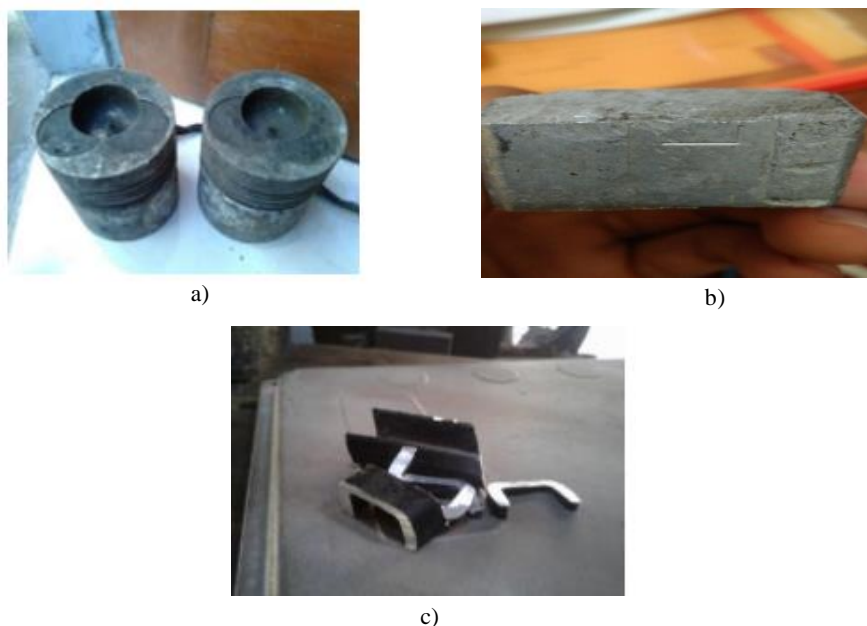
Gambar 1: Pola cetakan pasir basah a) cetakan atas (*cup*), b) cetakan bawah (*dreg*)

Pasir silika yang digunakan dalam pengecoran ini menggunakan jenis pasir silika kasar seperti yang tertera pada table 1 dibawah ini:

Tabel 2: Jenis-jenis pasir silika [12]

KRITERIA	JENIS	KETERANGAN
Kasar	50% butiran >0,2 mm	Silika (SiO_2), digunakan di hampir seluruh pengecoran logam dengan pasir cetak.
Medium	45% butiran 0,1-0,2 mm	Zirkon (ZrO_2), digunakan sebagai <i>facing-sand</i> atau campuran dengan silika pada pengecoran baja.
Halus	40% butiran 0,06-0,1 mm	Chromit ($\text{FeO.Cr}_2\text{O}_3$), umumnya digunakan sebagai <i>facing-sand</i> atau campuran dengan silika pada pengecoran baja.

Cetakan pasir dikatakan basah karena pada pasir yang digunakan masih mengandung air sehingga menjadi lembab pada saat logam cair di tuang kedalam cetakan. Istilah dari cetakan ini adalah *green sand mold*. Cetakan pasir basah (*green sand mold*) memerlukan pengikat agar membentuk pondasi yang kokoh dalam menahan aliran lelehan logam [13]. Batas penggunaan cetakan pasir basah untuk besi tuang, paduan logam tembaga dan aluminium beratnya tidak lebih dari 100 kg. Pada penelitian ini material atau bahan baku yang digunakan adalah piston bekas mesin diesel, titanium-boron (Ti-B) dan magnesium (Mg).



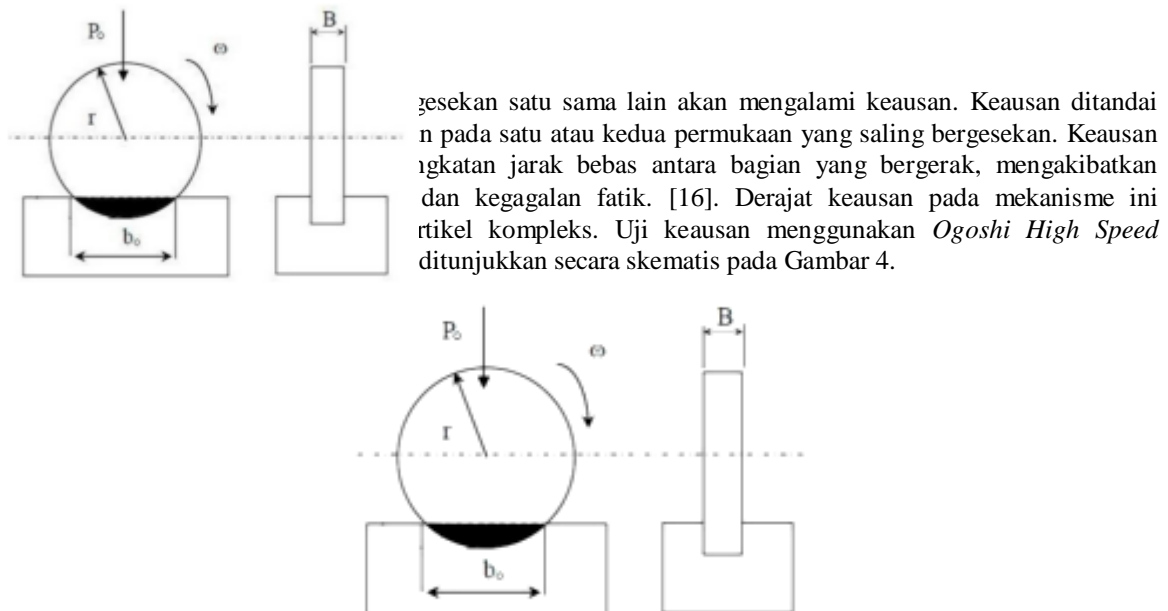
Gambar 2: Bahan-bahan pengecoran *screw* a) Piston bekas, b) Titanium-Boron (Ti-B), c) Magnesium (Mg)

2.2. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk memeriksa sifat fisik material yaitu: bentuk dan komposisi mikrostruktur material cor aluminium. [14]. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji diratakan terlebih dahulu menggunakan mesin milling dan dipoles. Dua permukaan atas dan bawah tegak lurus saat diletakkan di atas duduk mikroskop optik. Pengujian struktur mikro dilakukan dengan mikroskop metalurgi Olympus, menggunakan standar ASTM E3, meliputi pemotongan sampel, pemasangan, pengamplasan, pemolesan, dan pengetsaan untuk mengambil foto mikro. [15].



Gambar 3: Metallurgical Microscope Invertigo Type



Gambar 4: Skema pengujian keausan

Pembebanan gesekan ini akan mengakibatkan kontak berulang antar permukaan, yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material di permukaan spesimen. Jumlah jejak permukaan bahan gesekan adalah dasar untuk menentukan keausan pada material [16].

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengecoran screw

Pada proses peleburan ini, unsur Ti-B dan Mg digunakan sebagai unsur tambahan pada saat peleburan piston bekas untuk mengetahui pengaruh keausan dan struktur mikro antara poros berulir (*screw*) dengan penambahan 0,1% Ti-B dan 0,1% Mg, poros berulir (*screw*) dengan penambahan unsur 0,3% Ti-B dan 0,3% Mg dan poros berulir (*screw*) dengan tidak ada penambahan unsur apapun. Pada proses finishing ini dilakukan proses pemesinan untuk memotong saluran masuk dan keluar serta meratakan permukaan spesimen benda kerja dengan menggunakan amplas kasar sampai amplas halus. Mg merupakan material yang memiliki *wetability* sangat bagus yang diperlukan pada saat proses pengecoran sedangkan TiB sebagai grain refinement yang bertindak sebagai memperhalus butir dan unsur TiB dapat menjadi inti dari paduan

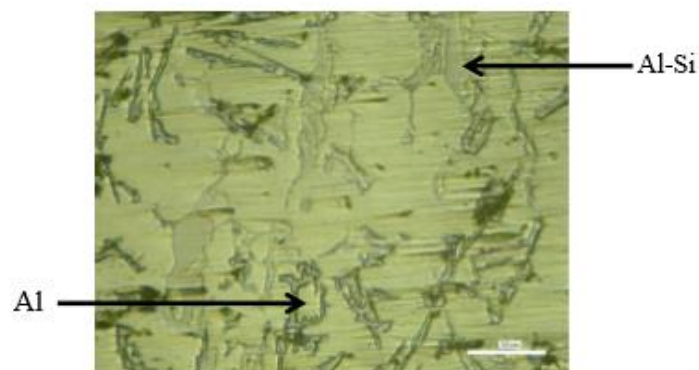
aluminium sehingga dapat menghambat laju dislokasi pada saat terjadi perambatan retak ketika dilakukan pengujian mekanik pada material logam paduan Al-Si.



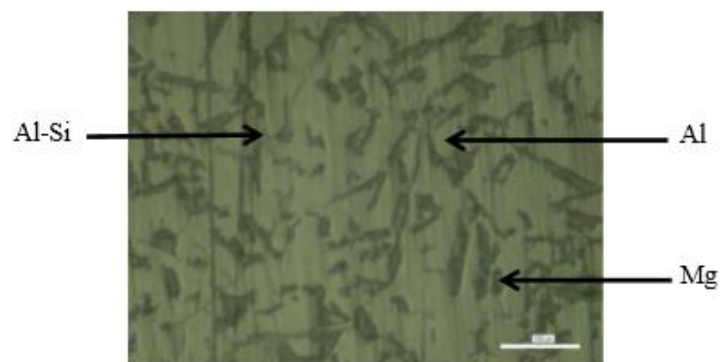
Gambar 5: Hasil coran poros berulir (*screw*)

3.2. Pengamatan struktur mikro

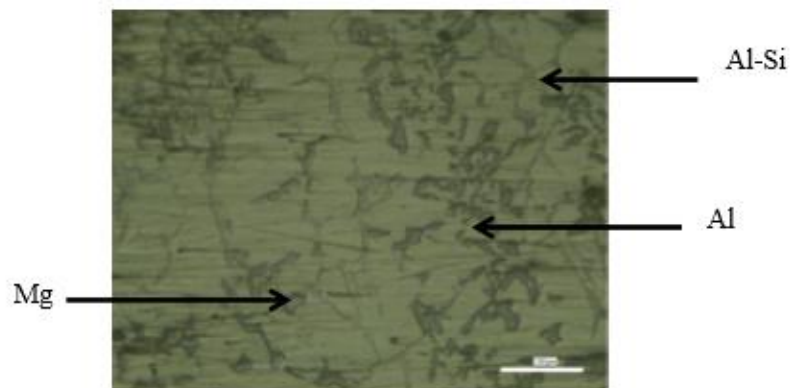
Pengamatan perubahan struktur mikro dari hasil peleburan diamati dengan pengujian metalografi yang dilakukan pada daerah permukaan logam sesuai dengan standar ASTM E3. Data hasil pengamatan spesimen menggunakan mikroskop optik dengan skala perbesaran 100x dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 6: Struktur mikro *raw material*



Gambar 7: Struktur mikro spesimen Al-Si + 0.1% Ti-B + 0.1% Mg



Gambar 8: Struktur Mikro Spesimen Al-Si + 0.3% Ti-B + 0.3% Mg

Variasi penambahan elemen Ti-B dan Mg dari sampel pengecoran logam menggunakan cetakan pasir untuk pembuatan poros berulir (*screw*) pada gambar di atas ada beberapa fase, diantaranya fase Al (berwarna terang) merupakan larutan padat primer. Fase Al-Si (abu-abu terang), fase ini terbentuk karena persentase jumlah Si (silikon) yang lebih signifikan dibandingkan Mg (magnesium). Penambahan elemen tersebut secara umum akan merubah struktur mikro dan memperbaiki hasil akhir pada permukaannya (*surface treatment*) serta lebih tahan terhadap retak panas (*hot cracking*). Proses pendinginan yang lambat juga akan mengurangi kekuatan produk hasil pengecoran karena diperoleh struktur eutektik berbentuk *lamellar*. Berikutnya adalah fase Mg (abu-abu kehitaman). Fase ini akan meningkatkan kekuatan aluminium dan kemampuan las yang baik. Struktur mikro paduan aluminium yang diamati dengan mikroskop optik perbesaran 100 kali menunjukkan bahwa struktur butir paduan aluminium dengan penambahan unsur Ti-B dan Mg semakin kecil dan rapat serta akan berpengaruh pada sifat mekanik poros berulir. (*screw*). Unsur TiB sangat signifikan mempengaruhi sifat fluiditas logam cair pada paduan Al-Si, terutama pada rongga cetakan yang sangat tipis. Penambahan Mg membentuk senyawa intermetalik yang meningkatkan sifat mekaniknya. Struktur mikro paduan Al-Si terutama terdiri dari fasa primer (α -Al) dan campuran eutektik Al-Si, jumlah varietas eutektik tergantung pada tingkat Si, keberadaan Mg dalam paduan mengarah ke pembentukan senyawa intermetalik pada struktur mikro paduan fasa intermetalik yang terbentuk adalah Mg_2Si [17].

3.3. Pengujian keausan

Hasil pengujian keausan spesimen benda uji aluminium untuk pembuatan poros berulir (*screw*) dengan menggunakan waktu 60 detik, tebal pada *revolving disk* 3 mm, jari-jari *revolving disk* 14 mm, gaya tekan pada proses keausan berlangsung 2,12 kg. didapatkan data pengujian sebagai berikut (Tabel 3):

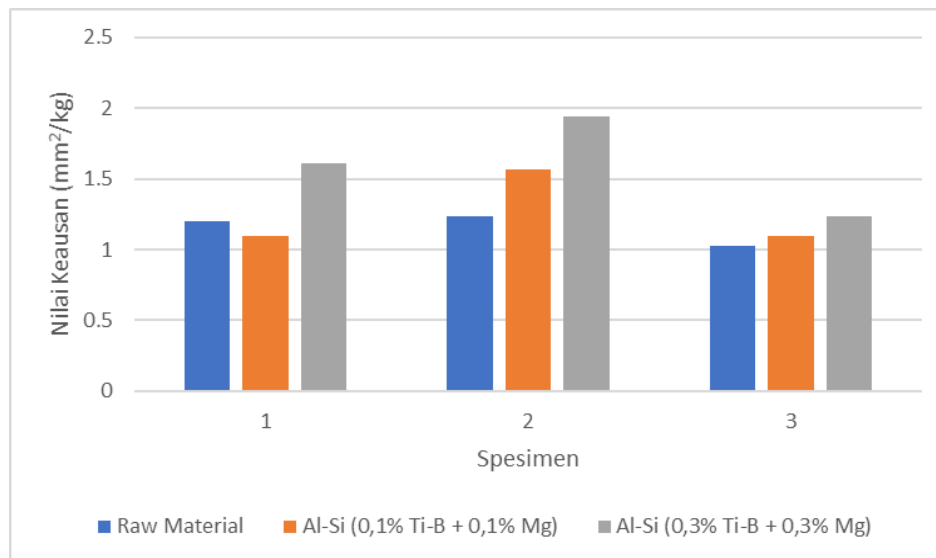
Tabel 3: Hasil pengujian keausan

MATERIAL	bo (mm)	bo ³ (mm)	B (mm)	r (mm)	P _o (Kg)	L _o (mm)	W _s (mm ² /kg)
Raw material	0,859	0,633	3	14	2,12	66,6	1,2
	0,868	0,653	3	14	2,12	66,6	1,238
	0,815	0,541	3	14	2,12	66,6	1,026
Al-Si (0,1% Ti-B + 0,1% Mg)	0,833	0,578	3	14	2,12	66,6	1,096
	0,807	0,825	3	14	2,12	66,6	1,565
	0,833	0,578	3	14	2,12	66,6	1,096
Al-Si (0,3% Ti-B + 0,3% Mg)	0,947	0,849	3	14	2,12	66,6	1,610
	1,008	1,024	3	14	2,12	66,6	1,942
	0,868	0,653	3	14	2,12	66,6	1,238

Tabel 4: Rerata hasil pengujian keausan

MATERIAL	SPESIMEN 1 (mm ² /kg)	SPESIMEN 2 (mm ² /kg)	SPESIMEN 3 (mm ² /kg)	RERATA (mm ² /kg)
Raw material	1,2	1,238	1,026	1,596
Al-Si (0,1% Ti-B + 0,1% Mg)	1,096	1,565	1,942	1,154
Al-Si (0,3% Ti-B + 0,3% Mg)	1,610	1,942	1,238	1,252

Dari Tabel 3 dan Gambar 9 tentang data dan grafik pengujian keausan diatas dapat dilihat bahwa nilai rata-rata keausan yang dihasilkan pada spesimen aluminium dengan penambahan unsur 0,1% Titanium-Boron (Ti-B) dan 0,1% Magnesium (Mg) adalah 1,154 mm²/kg sedangkan pada spesimen Aluminium dengan penambahan unsur 0,3 % Titanium-Boron (Ti-B) dan 0,3% Magnesium (Mg) adalah 1,252 mm²/kg dan pada spesimen Raw Material adalah 1,596 mm²/kg. Dari hasil data pengujian tersebut menunjukkan ketahanan aus pada spesimen Aluminium dengan penambahan unsur 0,1% Ti-B dan 0,1% Mg untuk pengecoran poros berulir (*screw*) memiliki ketahanan terhadap keausan yang lebih baik yaitu sebesar 1,154 mm²/kg dibandingkan dengan dengan penambahan unsur 0,3% Ti-B dan 0,3% Mg dan tanpa penambahan unsur apapun yang masing-masing memiliki nilai daya tahan aus sebesar 1,252 mm²/kg dan 1,596 mm²/kg.

**Gambar 9:** Grafik pengujian keausan spesimen

4. KESIMPULAN

Pada proses pengecoran dengan metode cetakan pasir, tahapan proses pendinginan mengalami laju yang relatif lambat, sehingga diperoleh struktur eutektik berbentuk *lamellar* yang mana mengurangi kekuatan produk yang dihasilkan. Penambahan unsur Mg pada pengecoran poros berulir (*screw*) dikarenakan unsur tersebut memiliki *wetability* sangat bagus yang diperlukan pada saat proses pengecoran, sedangkan TiB sebagai *grain refinement* yang bertindak sebagai memperhalus butir dan unsur TiB dapat menjadi inti dari paduan aluminium sehingga dapat menghambat laju dislokasi pada saat terjadi perambatan retak ketika dilakukan pengujian mekanik pada material *screw* tersebut. Sifat mekanik pada dasarnya dikontrol oleh struktur mikro dari logam coran tersebut. Oleh karena itu, untuk mendapatkan suatu komposisi dari aluminium cor sangat dimungkinkan dengan mengoptimasi ukuran butir, struktur eutektik, ukuran sel, serta ukuran dan distribusi dari fase intermetalik sehingga didapatkan sifat mekanik yang diinginkan. Penurunan kekerasan terjadi pada poros berulir (*screw*) dengan meningkatnya ukuran butir (*grain size*). Semakin besar ukuran butir, nilai kekerasannya semakin menurun. Sifat mekanik aluminium juga dipengaruhi oleh ukuran sel dendrit (*dendrite cell size*). Ketahanan aus dengan penambahan unsur 0,1% Ti-B dan 0,1% Mg untuk pengecoran poros berulir (*screw*) memiliki ketahanan terhadap keausan yang lebih baik yaitu sebesar 1,154 mm²/kg. Semakin kecil ukuran butir, maka ketahanan ausnya akan menjadi semakin besar.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ADHI, K.I.Y., SUGITA, I.K.G., KOMALADEWI, A.A, “Pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap kekuatan dampak dan struktur mikro hasil coran aluminium silikon (Al-7%Si)”, *Jurnal Teknik Desain Mekanika*, Vol. 6, No. 3, pp 266-271, Juli 2017.
- [2] IBRAHIM, G.A., HARUN, S., “Mekanisme aus pahat putar pada pemesian magnesium AZ31”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 11, No. 2, pp. 143-149, Feb. 2020.
- [3] KURNIAWAN, F.A., ISRANURI, I., “Penyelidikan karakteristik mekanik tarik paduan aluminium magnesium (Al-Mg) dengan metode pengecoran konvensional”, *Jurnal Inotera*, Vol. 1, No.1, pp 1-4, Des. 2016.
- [4] MIZHAR, S., FAUZI, R., “Pengaruh penambahan magnesium terhadap kekerasan, kekuatan dampak dan struktur mikro pada aluminium paduan (Al-Si) dengan metode lost foam casting”, *Jurnal Ilmiah Mekanik Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 2, pp 77-84, Nov. 2016.
- [5] MANDALA, M., SIRADJ, E., DJAMIL, S., “Struktur mikro dan sifat mekanis aluminium (Al-Si) pada proses pengecoran menggunakan cetakan logam, cetakan pasir dan cetakan castable”, *Jurnal Poros*, Vol. 14, No. 2, pp. 88-98, Nov. 2016.
- [6] WISNUJATI, A., SEPRIANSYAH, C., “Analisis sifat fisik dan mekanik paduan aluminium dengan variabel suhu cetakan logam (dies) 450°C dan 500°C untuk manufaktur poros berulir (*screw*)”, *Jurnal Turbo*, Vol. 7, No. 2, pp 159-165, Des. 2018.
- [7] SLAMET S., QOMARUDDIN, “Karakterisasi pasir silika bekas inti cor melalui proses daur ulang dengan pengikat senyawa resin alami (Studi kasus: Produk Manifold di IKM Budi Jaya Logam-Juwana)”, *Jurnal Sintek*, Vol. 10, No. 1, pp. 41-47, Juni. 2016.
- [8] ANTONIUS, D., BUDIARTO, B., ATMADI, P., PRATAMA, R.A., “Analisa perkembangan struktur aluminium (AC2B) dengan pengaruh penambahan stronsium pada part transmisi sub assy menggunakan metode pengecoran gravity dies casting”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 10, No. 3, pp. 235-243, Okt. 2019.
- [9] QOHAR, A., SUGITA, I.K.G., LOKANTARA, I.P., “Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) Menggunakan Sand Casting”, *Jurnal Teknik Desain Mekanika*, Vol. 6, No. 1, pp. 1-6, Jan. 2017.
- [10] RAZA, M.H., WASIM, A., SAJID, M., HUSSAIN, S., “Investigating the effects of gating design on mechanical properties of aluminum alloy in sand casting process”, *Journal of King Saud University*, Vol. 33, No.3, pp. 201-212, Mar. 2021.
- [11] GONZALEZ, P.R., FERNANDEZ-ABIA, A.I, CASTRO-SASTRE, M.A., ROBLES, P.E., BARREIRO, J., LEO, P., “Comparative Study of Aluminum Alloy Casting obtained by Sand Casting Method and Additive Manufacturing Technology,” *Procedia Manufacturing*, Vol. 41, No. 1, pp. 682-689, Juni 2019.
- [12] WIDODO, R., Komunitas praktisi pengecoran logam. <https://hapli.wordpress.com/foundry/teknik-perancangan-pengecoran>. Diakses: Sept. 2020.
- [13] NABUNOME, V., SANTOSO, A., WIDIANTO, E., MARNO, “Synthesis and Characterization of Mechanical Properties of Sand Mold Metal Casting Based on Recycle Sand with Addition of Resin”, *In: Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XVII*, pp. 78-81, Kupang, Okt. 2018.
- [14] ALFIANA, F., MUJIARTO, S., WIDODO, S., “Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Remelting Piston”, *Jurnal Teknik Mesin MERC*, Vol.2, No.2, Nov. 2019.
- [15] ASTM E3-11(2017), Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org. Diakses: Sept. 2020.
- [16] WARDOYO, SUMPENA, “Pengaruh variasi temperatur quenching pada aluminium paduan Al-Mg-Si – Fe 12% terhadap keausan”, *Jurnal Engine*, Vol. 2, No. 1, pp. 33-39, Mei 2018.
- [17] MIZHAR, S. FAUZI, R., "Pengaruh penambahan magnesium terhadap kekerasan, kekuatan dampak dan struktur mikro pada aluminium paduan (Al-Si) dengan metode lost foam casting", *Mekanik: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 2, pp. 77-84, Nov. 2016.