

PENGARUH PERLAKUAN PANAS T6 TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIS MATERIAL MODEL *PROPELLER SHAFT* BERBAHAN DASAR ALUMINIUM SERI 6063 HASIL PENGECORAN HPDC

*Farid Abdul Rahman¹, Athanasius Priharyoto Bayuseno²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rahmanfaridabdul@gmail.com

Abstrak

Propeller shaft merupakan salah satu bagian terpenting dari instalasi penggerak kapal. Model *propeller shaft* dibuat dengan material dasar paduan aluminium 6063 melalui proses pengecoran. HPDC (*High Pressure Die Casting*) merupakan salah satu metode dalam proses pengecoran yang memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode pengecoran yang lain. *Heat treatment* dilakukan untuk memperbaiki sifat mekanis dengan proses *precipitation hardening*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data nilai porositas, kekuatan tarik, kekerasan, struktur mikro, dan ketahanan korosi sehingga dapat dibandingkan sifat mekanis antara produk model *propeller shaft* perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas. Dalam penelitian ini, HPDC dilakukan pada tekanan konstan 7 MPa dan variasi penambahan unsur silikon (Si) 0 wt%, 1 wt%, 2 wt%, dan 3 wt%. Perlakuan panas yang dilakukan yaitu *age hardening* dengan *solution treatment* 525°C selama 3 jam dan *artificial aging* 195°C selama 3 jam. Uji porositas dilakukan dengan menimbang massa basah dan kering spesimen uji. Uji tarik menggunakan *Universal Testing Machine*, uji kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester*, dan uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X. Hasil pengujian menunjukkan sifat mekanis material hasil penelitian sudah memenuhi standar BKI dalam penggunaan material sebagai *propeller shaft* kapal laut yaitu untuk kekuatan tarik. Nilai porositas terendah ditunjukkan pada penambahan 3 wt% Si yaitu sebesar 1,15%. Nilai kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada penambahan 3 wt% Si perlakuan panas yaitu 163,613 MPa. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada penambahan 3% Si perlakuan panas, yaitu 77,35 HB. Pada uji mikrografi didapatkan ukuran butir (*grain size*) terendah pada penambahan 3% Si perlakuan panas, yaitu 33,78 µm. Laju korosi terendah ditunjukkan pada penambahan 0 wt% Si, yaitu sebesar 2,49 mm/y.

Kata kunci: *Propeller Shaft*, HPDC, *Precipitation Hardening*.

Abstract

Propeller shaft is one of the most important part of propulsion system of ship. *Propeller shaft* model was made with AA6063 through the casting process using HPDC (*High Pressure Die Casting*) which has many advantages over other casting methods. *Heat treatment* was performed to improve mechanical properties with *precipitation hardening* process. This research aimed to obtain value of porosity, tensile strength, hardness, microstructure, and corrosion resistance so that can be compared between material with and without heat treatment. In this research, the HPDC was performed at a constant pressure of 7 MPa and the composition variation of addition silicon of 0 wt%, 1 wt%, 2 wt% and 3 wt% were collected. *Heat treatment* was performed by *age hardening* with *solution treatment* at 525°C for 3h and *artificial aging* at 195°C for 3h. Porosity test performed using mass of wet and dry specimens. Tensile Strength test using an *Universal Testing Machine* was employed, Hardness test using *Rockwell hardness tester*, and test of the microstructure using an optical microscope with a magnification of 200X were used. The results shows that mechanical properties of this research as well as BKI standard for tensile strength. The lowest value of porosity was shown in addition of 3 wt% Si was 1,15%. The highest value of tensile strength was shown in addition of 3 wt% Si with heat treatment was 163,613 MPa. The highest value of hardness was shown in addition of 3 wt% Si with heat treatment was 77,35 HB. On the micrography test, the lowest grain size was shown in addition of 3 wt% Si with heat treatment was 33,78 µm. The lowest value of corrosion rate was shown in addition of 0 wt% Si was 2,49 mm/y.

Keywords: *Propeller Shaft*, HPDC, *Precipitation Hardening*

1. Pendahuluan

Propeller shaft merupakan salah satu komponen paling penting dalam sistem penggerak kapal. Dalam prinsip kerjanya *propeller shaft* memindahkan torsi yang dihasilkan dari mesin penggerak ke baling-baling (*propeller*) dan juga gaya aksial dari *propeller* ke *thrust bearing*. Dengan adanya *thrust bearing*, gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* dapat diteruskan ke badan kapal. Untuk dapat menghasilkan *propeller shaft* yang baik harus memperhatikan beberapa parameter dalam proses perancangannya. Pemilihan material untuk *propeller shaft* merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam merancang *propeller shaft*. Material yang digunakan harus memiliki kekuatan puntir dan ketahanan lelah yang baik, serta mempunyai ketahanan korosi yang baik. Sekarang ini *propeller shaft* untuk kapal bermuatan besar banyak terbuat dari baja karbon sedang (*medium carbon steel*) dan *stainless steel*. Baja AISI 1045 ialah salah satu jenis baja karbon sedang yang banyak digunakan sebagai *propeller shaft*, selain karena sifat-sifat mekanis yang dimilikinya cocok untuk dijadikan sebagai poros, juga material ini banyak dipasarkan karena sudah cukup banyak digunakan di dunia industri [1]. Contoh *propeller shaft* dapat dilihat pada Gambar 1.



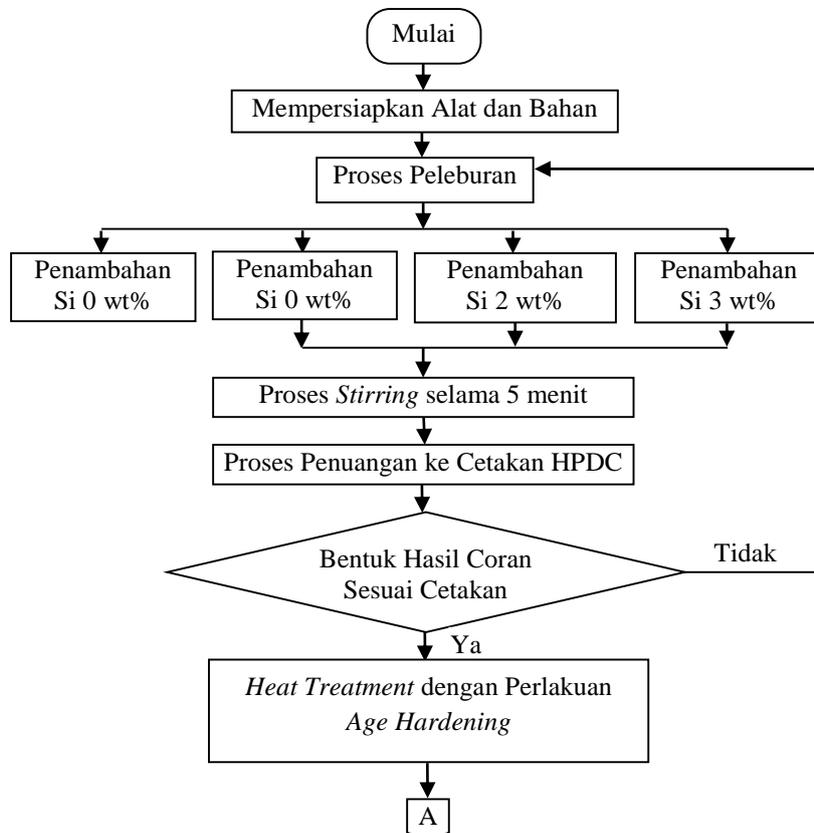
Gambar 1. *Propeller Shaft* [2].

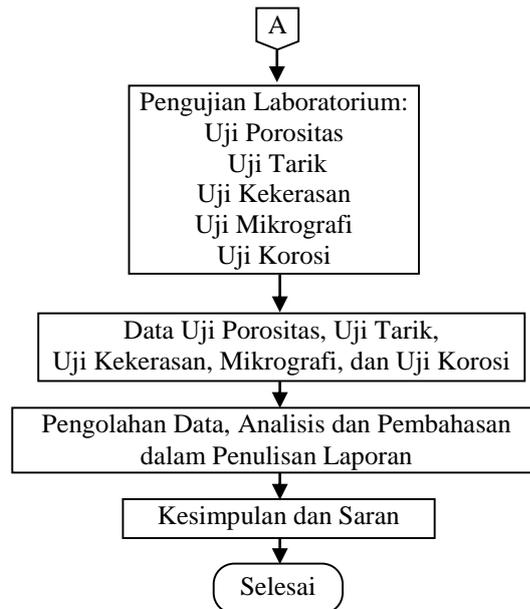
Tujuan penelitian ini adalah membandingkan sifat fisis dan mekanis *propeller shaft* hasil proses HPDC (*High Pressure Die Casting*) dengan perlakuan panas dan tanpa perlakuan panas.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian

Persiapan yang diperlukan antara lain, memotong Aluminium ingot supaya dapat masuk ke dalam kowi, menimbang potongan Aluminium ingot sesuai dengan massa yang dibutuhkan, menyambung tungku, tabung gas LPG dan selang krusibel, menyiapkan alat HPDC, kowi, pengaduk, *thermocouple* dan *display*.





Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Proses pengecoran dilakukan di kampus Teknik Mesin UNDIP menggunakan tungku krusibel dengan bahan bakar LPG. Proses peleburan dilakukan hingga batangan Aluminium ingot mencair dan mencapai suhu sekitar 680°C. Selanjutnya proses pencampuran silikon dilakukan pada saat temperatur cairan aluminium ingot turun mencapai suhu 600 °C. Proses pencampuran Silikon dilakukan pada 3 variasi yang berbeda yaitu 1 wt%, 2 wt%, dan 3 wt%. Setelah silikon dimasukkan ke dalam cairan aluminium bersuhu 600°C, kemudian dilakukan proses *stirring* menggunakan alat *stir casting* dengan kecepatan 65 RPM selama 5 menit.

Proses penuangan dilakukan ke dalam cetakan (*mold*) pada mesin HPDC dengan tekanan 7 Mpa. Spesimen hasil pengecoran diteliti apakah layak untuk diuji atau tidak. Kelayakan hasil coran ini dilihat dari kesempurnaan produk hasil coran sesuai dengan bentuk cetakan. Proses *heat treatment* yang dilakukan yaitu *solution heat treatment* pada temperatur 525°C selama 3 jam diikuti dengan *quenching* dengan media air. Setelah itu dilakukan proses *artificial aging* pada temperatur 195°C selama 3 jam diikuti dengan pendinginan udara [3]. Pengujian yang dilakukan meliputi uji densitas, uji tarik, uji kekerasan, uji korosi, dan uji mikrografi.

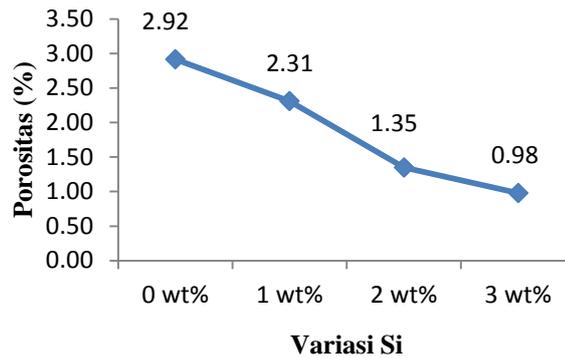
2.2 Material Pengujian

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah aluminium ingot dan serbuk silikon. Aluminium ingot yang digunakan merupakan aluminium dengan paduan utamanya ialah unsur magnesium dan silikon. Aluminium tersebut diperoleh dari HP Metal Indonesia, Surabaya, Jawa Timur. Serbuk silikon digunakan untuk ditambahkan pada saat proses peleburan aluminium ingot berlangsung yang selanjutnya akan dilakukan proses *stirring* terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam cetakan. Serbuk silikon yang ditambahkan ke dalam leburan adalah dengan variasi 1, 2, dan 3 wt %.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Porositas

Pengujian densitas dilakukan untuk mendapatkan nilai porositas. Pengujian densitas dilakukan dengan standar ASTM C373[4]. Peralatan yang digunakan adalah *density meter* merk *Satorius* dengan ketelitian 0.001 gram dan fluida yang digunakan adalah air. Perhitungan porositas dimaksudkan untuk melihat seberapa besar porositas yang dihasilkan pada pengecoran *propeller shaft*. Semakin banyak persen porositas yang dihasilkan semakin buruk material pengecoran yang dibuat karena dapat menurunkan sifat mekanik material tersebut. Bagian spesimen yang diambil untuk perhitungan porositas sama dengan pengujian densitas yaitu mewakili daerah hasil pengecoran pada daerah kiri, tengah, dan kanan pada spesimen dengan berbagai variasi penambahan unsur silikon yaitu 0 wt%, 1 wt%, 2 wt%, serta 3 wt%. Dengan melakukan perhitungan maka didapatkan nilai porositas pada masing-masing spesimen. Spesimen dengan penambahan unsur silikon 0 wt% mempunyai porositas sebesar 2,92%, pada spesimen dengan penambahan unsur silikon 1 wt% mempunyai porositas sebesar 2,31%, pada spesimen dengan penambahan unsur silikon 2 wt% mempunyai porositas sebesar 1,35%, sedangkan pada spesimen dengan penambahan unsur silikon 3 wt% mempunyai porositas sebesar 0,98%. Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

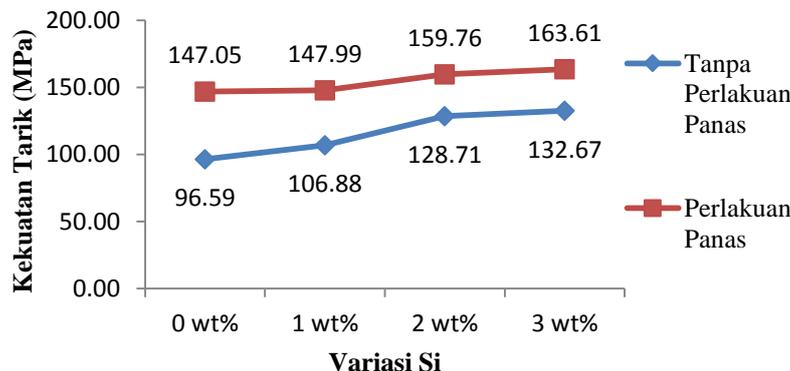


Gambar 3. Porositas dengan berbagai variasi Si.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada penambahan unsur silikon yang lebih banyak maka porositas akan semakin menurun. Penurunan nilai porositas pada penambahan unsur silikon yang lebih banyak disebabkan karena semakin banyak silikon yang ditambahkan, maka laju pembekuan akan semakin merata karena peranan silikon yang dapat memperbaiki fluiditas pengecoran.

3.2 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan standar ASTM E08[5]. Dengan melakukan pengujian maka didapatkan nilai kekuatan tarik pada masing-masing spesimen. Spesimen tanpa perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai kekuatan tarik berturut-turut sebesar 96,59 MPa, 106,88 MPa, 128,71 MPa, dan 132,67 MPa. Kemudian untuk spesimen perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai kekuatan tarik berturut-turut sebesar 147,05 MPa, 147,98 MPa, 159,75 MPa, dan 163,61 MPa. Kekuatan tarik untuk *shaft propeller* oleh BKI sebesar 147 - 254 MPa. Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.

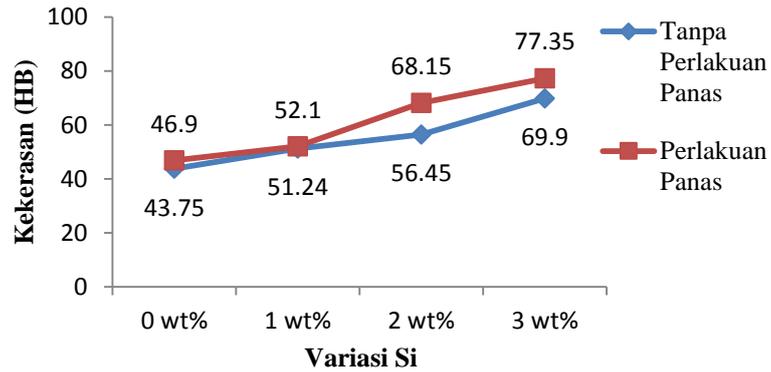


Gambar 4. Perbandingan kekuatan tarik spesimen dengan dan tanpa perlakuan panas.

Dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik spesimen model *shaft propeller* dengan variasi Si 3 wt% perlakuan panas memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu sebesar 163,61 MPa. Untuk spesimen dengan variasi penambahan silikon dengan perlakuan panas yang lain juga mengalami peningkatan kekuatan tarik dibandingkan spesimen tanpa perlakuan panas. Kenaikan variasi penambahan silikon mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik, hal ini terjadi karena semakin banyak silikon akan meningkatkan fluiditas pengecoran, sehingga kualitas pengecoran akan semakin baik dengan ditandai penurunan nilai porositas pengecoran. Perlakuan panas yang diberikan juga menghasilkan fasa presipitat Mg_2Si semakin merata sehingga meningkatkan kekuatannya.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar ASTM E18[6]. Dengan melakukan perhitungan maka didapatkan nilai kekerasan rata-rata pada masing-masing spesimen. Spesimen tanpa perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% Si mempunyai nilai kekerasan rata-rata berturut-turut sebesar 43,75 HB, 51,24 HB, 56,45 HB, dan 69,90 HB. Spesimen perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% Si mempunyai nilai kekerasan rata-rata berturut-turut sebesar 46,9 HB, 52,1 HB, 68,15 HB, dan 77,35 HB. Nilai kekerasan untuk *shaft propeller* oleh BKI yakni 110- 270 HB. Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.

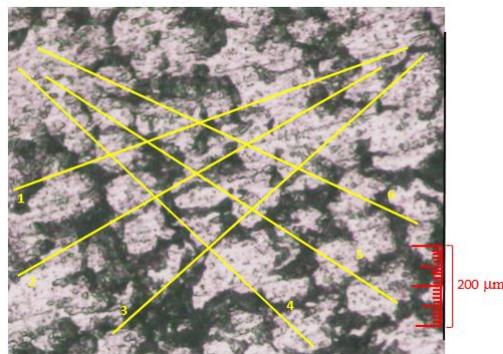


Gambar 5. Perbandingan nilai kekerasan spesimen dengan dan tanpa perlakuan panas.

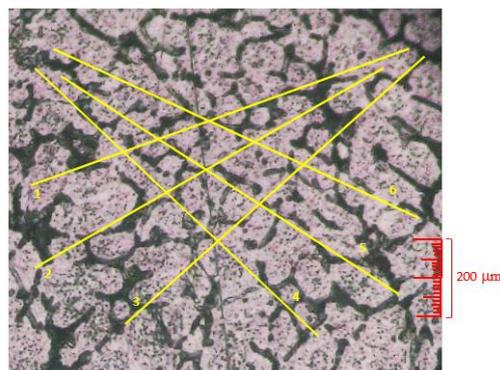
Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan spesimen tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen perlakuan panas. Hal ini terjadi karena akibat *heat treatment* yang diberikan, fasa presipitat menjadi lebih homogen. Peningkatan nilai kekerasan tersebut disebabkan oleh adanya presipitat atom-atom Mg dan Si dalam matriknya (Al). Atom-atom Mg dan Si tersebut pada kondisi *artificial aging* akan cenderung memposisikan diri terhadap atom pelarutnya sehingga terjadi koherensi (kesamaletakan). Untuk presipitat yang bertambah kecil dan jumlahnya yang bertambah banyak menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang bertindak sebagai penghalang yang menyebabkan pergeseran dislokasi semakin sulit ketika terjadi deformasi. Akibatnya spesimen dengan perlakuan panas mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi.

3.4 Hasil Pengujian Struktur Mikro

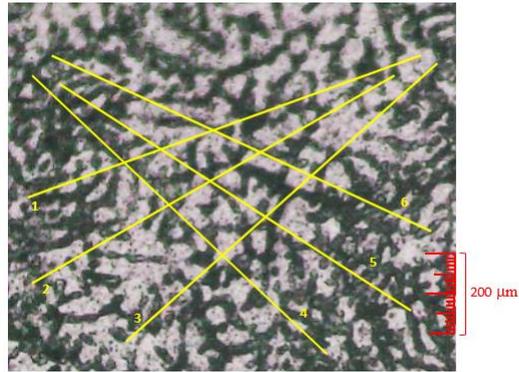
Pengujian struktur mikro model *propeller shaft* hasil pengecoran HPDC dengan perlakuan panas bertujuan untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada variasi penambahan unsur silikon 0 wt%, 1 wt%, 2 wt%, dan 3 wt% pada posisi kanan, tengah, dan kiri model *propeller shaft*. Hasil dari pengujian struktur mikro ini diharapkan dapat memperkuat hasil dari pengujian kekerasan, karena dengan pengamatan struktur mikro dapat terlihat susunan dan ukuran butir yang terbentuk menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200X.



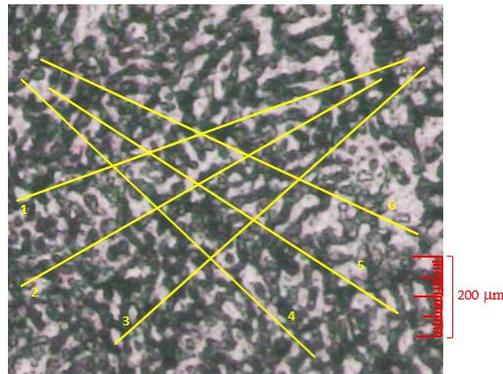
Gambar 6. Struktur mikro variasi 0 wt% Si.



Gambar 7. Struktur mikro variasi 2 wt% Si.



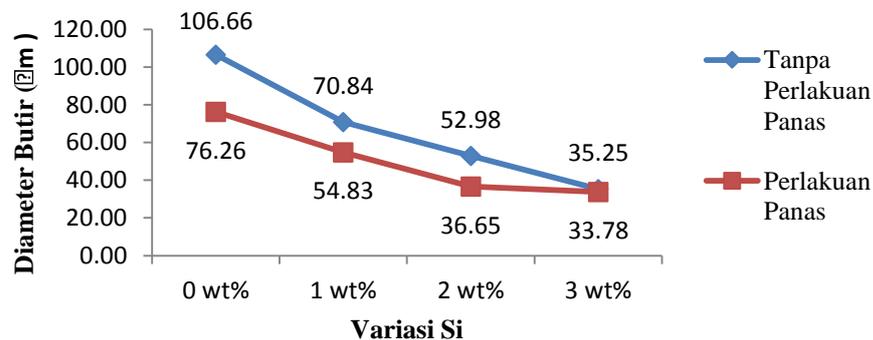
Gambar 8. Struktur mikro variasi 2 wt% Si



Gambar 9. Struktur mikro variasi 3 wt% Si

Dari pengujian mikrografi dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya unsur silikon yang ditambahkan sebagai penguat, fasa presipitat yang dihasilkan juga semakin banyak. Hal ini diharapkan dapat memperkuat data hasil pengujian tarik dan kekerasan.

Perhitungan ukuran butir rata-rata dilakukan dengan standar ASTM E112[7]. Dengan melakukan perhitungan maka didapatkan diameter butir pada masing-masing spesimen. Spesimen tanpa perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai diameter butir rata-rata berturut-turut sebesar 106,66 μm , 70,84 μm , 52,98 μm , dan 35,25 μm . Kemudian untuk masing-masing spesimen dengan perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai diameter butir rata-rata berturut-turut sebesar 76,26 μm , 54,83 μm , 36,65 μm , dan 33,78 μm . Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 10.

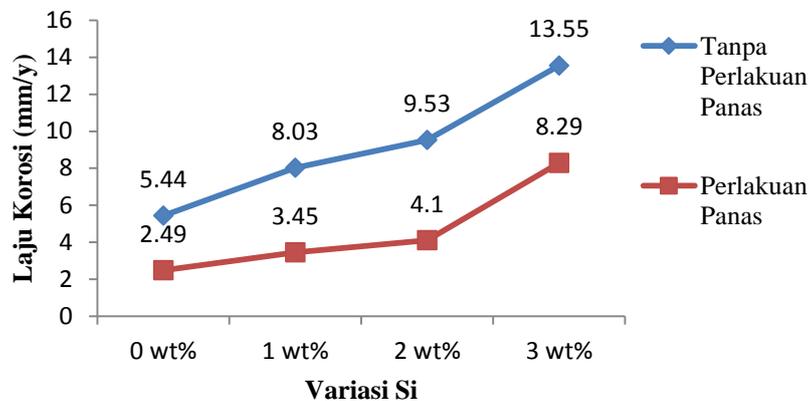


Gambar 10. Perbandingan diameter butir rata-rata dengan dan tanpa perlakuan panas.

Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada variasi penambahan 3 wt% Si ukuran butir menunjukkan hasil yang paling kecil. Semakin kecil besar butir, maka susunan butir menjadi lebih rapat dan lebih sulit terjadi dislokasi pada butir, sehingga kekerasan material akan meningkat. Pada variasi penambahan 0 wt%, 1 wt% dan 2 wt% Si menunjukkan nilai ukuran butir yang lebih besar dari ukuran butir pada variasi penambahan 3 wt% Si. Hal ini menyebabkan nilai kekerasannya menjadi lebih rendah karena struktur butir lebih mudah terjadi dislokasi.

3.4 Hasil Pengujian Ketahanan Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan standar ASTM G31[8]. Dengan melakukan pengujian maka didapatkan laju korosi pada masing-masing spesimen. Spesimen tanpa perlakuan panas dengan variasi penambahan silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai laju korosi berturut-turut sebesar 5,44 mm/y, 8,03 mm/y, 9,53 mm/y, dan 13,55 mm/y. Kemudian untuk spesimen perlakuan panas dengan penambah silikon 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai laju korosi berturut-turut sebesar 2,49 mm/y, 3,45 mm/y, 4,10 mm/y, 8,29 mm/y. Sebagai penjelasan lebih lanjut data yang dihasilkan dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan laju korosi dengan dan tanpa perlakuan panas.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sifat mekanis material hasil pengujian sudah memenuhi standar BKI untuk kekuatan tarik. Hasil pengujian porositas, kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro material model *propeller shaft* hasil proses HPDC (*High Pressure Die Casting*) dipengaruhi oleh variasi penambahan unsur silikon (Si) dan perlakuan panas yang diberikan. Porositas akan menurun seiring dengan penambahan unsur Si dalam paduan aluminium. Tingkat porositas terendah terdapat pada penambahan 3% Si yaitu sebesar 0,98 %, sedangkan pada variasi penambahan 0%, 1% dan 2% sebesar 2,92%, 2,31% dan 1,35%. Tegangan tarik aluminium meningkat seiring perlakuan panas yang diberikan. Kekuatan tarik tertinggi didapatkan pada penambahan 3% Si dengan perlakuan panas yaitu sebesar 163,61 MPa, sedangkan tanpa perlakuan panas hanya 132,67 MPa atau terjadi peningkatan kekuatan tarik sebesar 23%. Kekerasan aluminium akan meningkat seiring dengan perlakuan panas yang diberikan. Kekerasan paling tinggi terdapat pada penambahan 3% Si dengan perlakuan panas, yaitu sebesar 77,35 HB. Sedangkan tanpa perlakuan panas hanya sebesar 69,9 HB atau terjadi peningkatan sebesar 10,6%. Dari struktur mikro terlihat adanya perbedaan struktur butir, material tanpa variasi Si dengan variasi Si dan memiliki ukuran butir yang berbeda. Mg₂Si banyak terbentuk pada material tanpa variasi Si. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa pada penambahan unsur Si 3 wt% memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi. Hal ini terjadi karena struktur mikro paduan semakin kecil dan rapat sehingga akan semakin sulit untuk mengalami dislokasi. Dari pengujian ketahanan korosi terlihat peningkatan laju korosi seiring dengan penambahan variasi Si. Laju korosi terendah diperoleh pada penambahan unsur Si 0 wt% dengan perlakuan panas yaitu sebesar 2,49 mm/y. Sedangkan pada penambahan 1%, 2%, dan 3% sebesar 3,54 mm/y, 4,10 mm/y, dan 8,29 mm/y. Sehingga diperoleh bahwa penambahan unsur silikon pada paduan aluminium menyebabkan penurunan ketahanan korosi paduan tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] Bielawski, P., 2011, *Diagnostic of Marine Propeller Shafts*, Journal of Polish CIMAC, The Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology, Gdansk University of Technology.
- [2] <http://telegraph.co.uk/>, “*Forged Steel Propeller Shaft for Ship*”, (diakses pada Oktober 2015).
- [3] Gupta, A.K., et al. 2012, *Effects of T6 Heat Treatment on Mechanical, Abrasive and Erosive-Corrosive Wear Properties of Eutectic Al-Si Alloy*, Trans. Nonferrous Met. Soc. Elsevier, Pp 1041-1050.
- [4] ASTM C373. 1999. “*Standard Test Method for Water Absorbtion, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products*”.
- [5] ASTM E 8M-04,2004, “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*”.
- [6] ASTM E18-11, 2012, “*Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metalic Material*”.
- [7] ASTM International, 200, “*Standard Test Methods for Determining Average Grain Size*”, Designation E 112 - 96, Unites States.
- [8] ASTM G31-72, 1999, “*Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*”.