

# Pengaruh Temperatur Proses Semi-solid Casting pada Paduan Magnesium AZ91D terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro

Kusharjanto<sup>1a</sup>, Sutarno<sup>1b</sup> dan R. Henny Mulyani<sup>1c</sup>

Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Ahmad Yani (UNJANI)  
Bandung Jl. Jenderal Gatot Subroto PO BOX 807 (PINDAD) Bandung 40285, Tlp. (022) 7320920,

<sup>a</sup>kusharjanto@lecture.unjani.ac.id

<sup>b</sup>hartosuwarno@gmail.com

<sup>c</sup>rhennym@gmail.com

## Abstrak

Penelitian ini menginvestigasi pengaruh temperatur proses semi-solid casting untuk paduan magnesium AZ91D dalam upaya meningkat sifat mekanik untuk aplikasi struktur ringan. Dalam percobaan proses semi-solid casting ini divariasikan temperatur mulai dari 500, 510, 520, 530 dan 540 °C. Hasil pengujian kekerasan rata-rata tertinggi diperoleh adalah 64,4 HB pada temperatur 500 °C lebih tinggi dibanding dengan as-cast (bakalan) yaitu 42,56 HB (atau meningkat 33,9%). Peningkatan kekerasan terjadi karena adanya perubahan struktur mikro dari struktur dendritik menjadi butir yang globular, yang memiliki fasa  $\alpha$ -Mg dan  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>. Bentuk butir bulat dan kecil yang tersebar merata dengan ukuran 40,08  $\mu$ m diperoleh pada temperatur 500 °C dan ukuran 77,2  $\mu$ m untuk 540 °C.

Kata kunci: paduan magnesium, semi-solid casting, kekerasan, struktur mikro.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan akan kendaraan yang ringan saat ini menjadi pilihan masyarakat. Sifat ringan akan memberikan dampak pada peningkatan kecepatan. Selain itu, bidang transportasi menggunakan 60% konsumsi energi sehingga diperlukan suatu kendaraan yang dapat menghemat energi dan menurunkan pencemaran lingkungan[1]. Sehingga pengembangan material pengganti yang lebih ringan diperlukan untuk mempercepat laju kecepatan kendaraan sehingga membantu efisiensi waktu, mengurangi penggunaan bahan bakar dan meminimalisasi polusi.

Penggunaan untuk material pengganti komponen kendaraan dikembangkan untuk memperbaiki sifat material sehingga didapatkan hasil yang lebih baik dari sifat sebelumnya baik dari sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia dan sifat teknologi.

Salah satu pengembangan penggunaan material yang digunakan adalah magnesium yang memiliki massa jenis rendah, tahan terhadap korosi dan memiliki keuletan yang baik. Namun kekurangan magnesium adalah memiliki kekuatan dan kekerasan rendah. Penambahan unsur lain dan pemilihan proses manufaktur dapat memperbaiki sifatnya, baik sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia dan sifat teknologi[2].

Aplikasi material paduan magnesium umumnya digunakan pada rangka dan badan kendaraan karena berat kendaraan secara umum dipengaruhi oleh mesin (28%), badan (28%) dan rangka kendaraan (27%)[3].

Produk komponen otomotif relatif mempunyai bentuk yang kompleks atau rumit, sehingga proses pengecoran menjadi pilihannya. Di dalam proses pengecoran sendiri, terdapat berbagai jenis proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan komponen. Kriteria dan fungsi komponen menjadi perhatian penting dalam memilih proses pembuatan suatu komponen. Salah satu proses pengecoran untuk pembuatan komponen yang digunakan adalah *semi-solid casting*.

Proses *semi-solid casting* digunakan sebagai jenis metode pembentukan logam yang baru karena hasilnya lebih baik dari proses pengecoran lainnya. *Semi-solid casting* mempunyai banyak keuntungan yaitu viskositas yang lebih tinggi

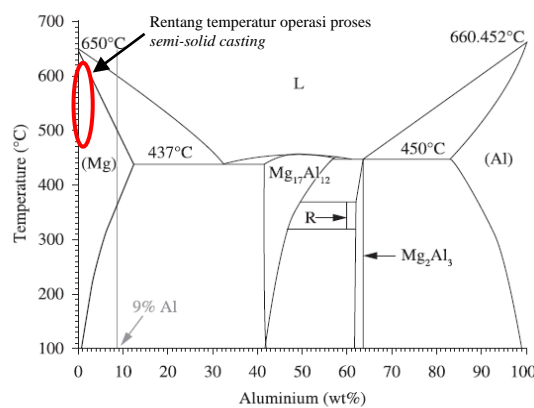
dibandingkan logam cair, penyusutan saat pembekuan rendah, dimensi produk lebih presisi, menghasilkan panas laten yang rendah sehingga tidak terjadi *thermal shock* pada cetakan dan material dapat mengisi rongga cetakan yang berbentuk rumit dan tipis[4].

Temperatur operasi *semi-solid casting* sangat menentukan struktur mikro akhir paduan magnesium. Pada diagram Mg-Al[5], temperatur proses *semi-solid casting* berada dalam rentang 500-600°C (daerah padat-cair). Besarnya rentang temperatur padat-cair, maka perlu diketahui temperatur *semi-solid casting* yang akan berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro dan sifat mekanik paduan magnesium.

## TEORI DAN EKSPERIMEN

### Teori Semi-solid casting

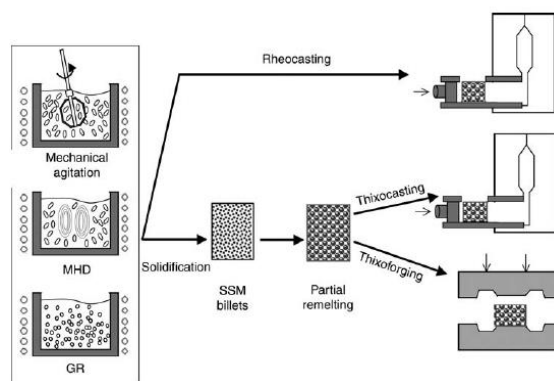
Proses *semi-solid casting* dengan menggunakan rentang temperatur di daerah yang mempunyai 2 fasa padat-cair (*mushy zone*) merupakan parameter penting yang ditetapkan sebagai temperatur operasi. Rentang temperatur operasi dapat ditentukan dengan merujuk pada diagram fasa biner Mg-Al seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram fasa Mg-Al[5].

Proses *semi-solid casting* sebagai jenis metode pembentukan logam yang baru, telah menarik perhatian diseluruh dunia sejak pertama kali digagas oleh *David Spencer* pada tahun 1970-an dan *M.C. Fleming* tahun 1991. Dibandingkan dengan pengecoran konvensional, *semi-solid casting* mempunyai banyak keunggulan, yaitu viskositas yang lebih tinggi dibandingkan logam cair, aliran logam laminar menuju ke rongga cetakan, penyusutan saat pembekuan rendah, dimensi produk lebih presisi. Dibandingkan dengan proses pembentukan konvensional yang dilakukan dalam keadaan padat, *semi-solid casting* memerlukan gaya pembentukan yang lebih rendah, dapat mengisi rongga cetakan yang berbentuk rumit dan tipis. Berkaitan dengan sifat-sifat mekanik yang dihasilkan, proses *semi-solid casting* mendekati produk hasil proses tempa.

*Semi-solid casting* telah menjadi terobosan teknologi proses dalam pembuatan komponen yang memerlukan kepresisian tinggi (*net-shape product*) dan memiliki sifat mekanik yang tinggi. Dapat dikatakan *semi-solid casting* merupakan gabungan 2 proses yaitu pengecoran dan pembentukan. Secara skematik proses *semi-solid casting* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



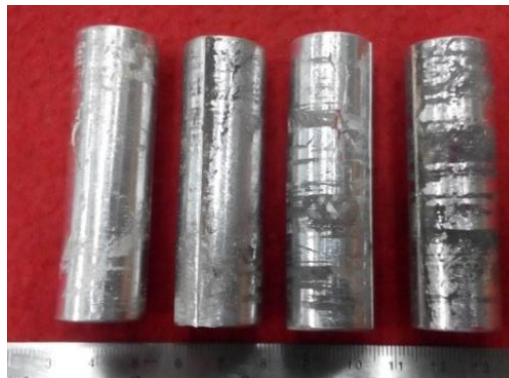
Gambar 2.2. Skematik proses dan jenis *semi-solid casting*[6].

## Eksperimen

Percobaan dilakukan menggunakan magnesium murni, aluminium murni dan seng murni. Pembuatan paduan Mg-Al-Zn dilakukan dalam tungku tahanan listrik sebanyak 2kg dengan komposisi 90% Mg, 9% Al dan 1% Zn. Temperatur pelelehan ditetapkan 750°C. Selama proses pelelehan dialiri gas Argon untuk menghindari terjadinya oksidasi. Dilakukan pengadukan selama 30 detik untuk menghomogenkan paduan magnesium. Setelah itu dituangkan dalam cetakan logam yang berukuran  $\varnothing 20 \times 200$  mm (*as-cast*) menjadi bakalan untuk proses *semi-solid casting* (Gambar 2.3). Sampel hasil pengecoran kemudian dipotong menjadi ukuran  $\varnothing 20 \times 60$  mm (Gambar 2.4). Selanjutnya sampel yang telah dipotong dimasukkan ke dalam kontainer mesin *semi-solid casting* dan dipanaskan kembali pada temperatur yang telah ditetapkan (variasi temperatur 500, 510, 520, 530 dan 540°C). Setelah temperatur tercapai ditahan selama 10 menit agar sampel memiliki temperatur yang seragam dipermukaan dan bagian tengah, selanjutnya dilakukan proses *semi-solid casting* (sampel diinjeksi ke dalam rongga cetakan dengan gaya 100kN). Sampel bakalan (*as-cast*) dan hasil *semi-solid casting* dikarakterisasi struktur mikro dengan menggunakan mikroskop metalurgi Olympus BX-60M, kekerasan diuji dengan menggunakan metode kekerasan Brinell Wolpert Dia Testor 2n, pengukuran besar butir dengan metode Jeffries dan pemeriksaan SEM/EDS dengan JEOL tipe JSM-6360LA.



Gambar 2.3. Bakalan hasil proses pengecoran (*as-cast*) berukuran  $\varnothing 20 \times 200$  mm.



Gambar 2.4. Bakalan untuk proses *semi-solid casting* dengan ukuran  $\varnothing 20 \times 60$  mm.

## HASIL DAN DISKUSI

### Pemeriksaan Komposisi Kimia

Pemeriksaan komposisi kimia paduan Mg-Al-Zn dilakukan dengan menggunakan metoda *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil pemeriksaan komposisi kimia *as-cast* paduan Mg-Al-Zn.

Unsur	Komposisi kimia (% berat)	
	Hasil pemeriksaan	Standar AZ91D (ASTM B94-03)
Aluminium (Al)	9,49	8,3-9,7
Seng (Zn)	1,2	0,35-1,0
Magnesium (Mg)	88,75	sisa
Silikon (Si)	-	0,01 maks.
Mangan (Mn)	-	0,15-0,5
Besi (Fe)	-	0,005
Tembaga (Cu)	-	0,03 maks.
Nikel (Ni)	-	0,002 maks.

### HASIL PROSES SEMI-SOLID CASTING

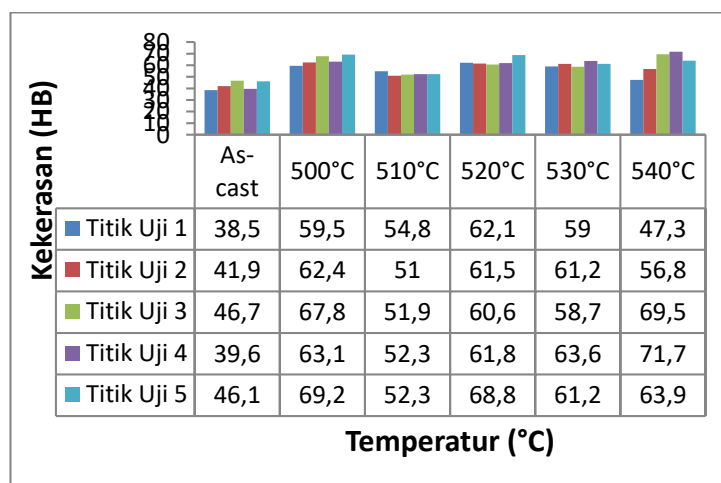
Sampel hasil proses *semi-solid casting* ditunjukkan pada Gambar 3.1.



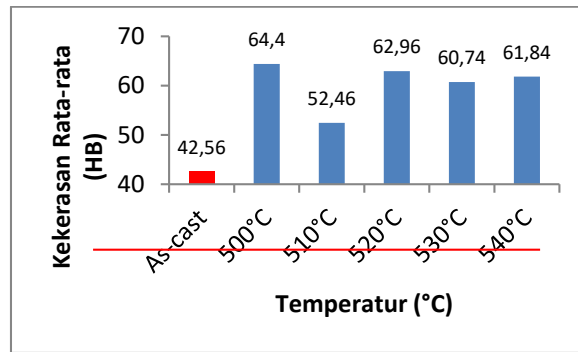
Gambar 3.1. Hasil proses *semi-solid casting*.

### Pengujian Kekerasan

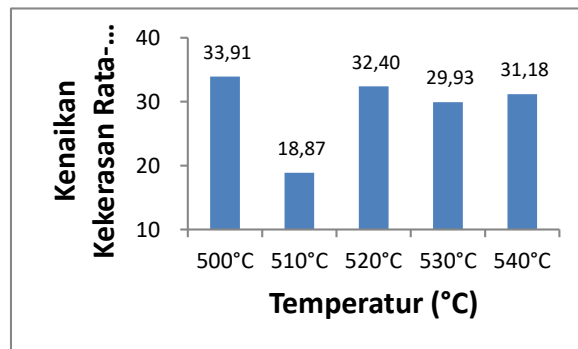
Hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Brinell (indentor bola baja berdiameter 2,5mm dan beban 62,5kg) pada sampel *as-cast* dan hasil *semi-solid casting* ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3. Sedangkan persentase kenaikan kekerasan rata-rata hasil *semi-solid casting* dibandingkan *as-cast* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.2. Harga kekerasan hasil *semi-solid casting* terhadap perbedaan temperatur dibandingkan *as-cast*.



Gambar 3.3. Harga kekerasan rata-rata hasil *semi-solid casting* dibandingkan dengan *as-cast*.




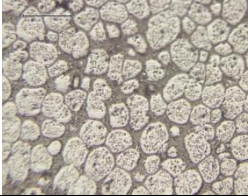
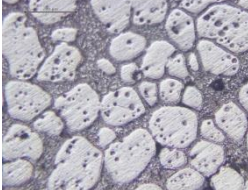
Gambar 3.4. Harga kenaikan kekerasan rata-rata hasil *semi-solid casting* terhadap *as-cast*.

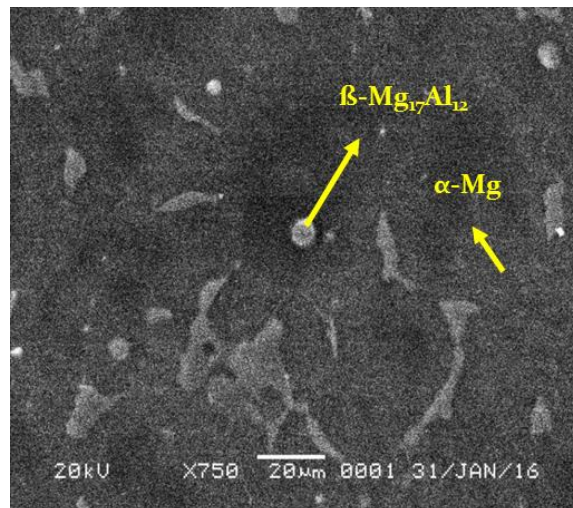
### Pemeriksaan Struktur Mikro

Untuk melihat perubahan dan perbedaan yang terjadi pada sampel antara *as-cast* dan setelah proses *semi-solid casting*, dilakukan pemeriksaan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop metalurgi dan *Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive Spectrometry* (SEM/EDS). Hasil pemeriksaan struktur mikro ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan hasil SEM/EDS ditunjukkan pada Gambar 3.5, 3.6 dan 3.7.

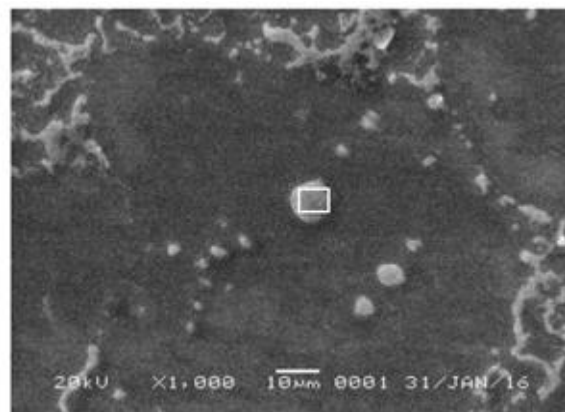
Tabel 3.2. Struktur mikro paduan magnesium AZ91D *as-cast* dan hasil *semi-solid casting*.

No.	Kondisi sampel	Struktur mikro
1	As-cast  α-Mg  β- Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub>	
2	Struktur mikro hasil proses <i>semi-solid casting</i> T=500°C (100X)  α-Mg  β- Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub>	
3	Struktur mikro hasil proses <i>semi-solid casting</i> T=510°C (100X)	

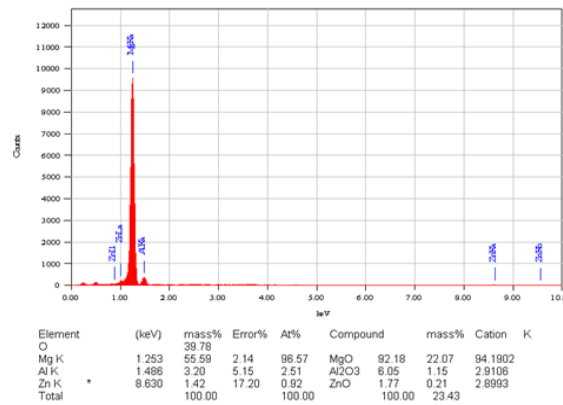
4	Struktur mikro hasil proses <i>semi-solid casting</i> $T=520^{\circ}\text{C}$ (100X)	
5	Struktur mikro hasil proses <i>semi-solid casting</i> $T=530^{\circ}\text{C}$ (100X)	
6	Struktur mikro hasil proses <i>semi-solid casting</i> $T=540^{\circ}\text{C}$ (100X)	



Gambar 3.5. Pemeriksaan SEM, terdapat fasa  $\alpha\text{-Mg}$  dan senyawa intermetalik  $\beta\text{-Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ .

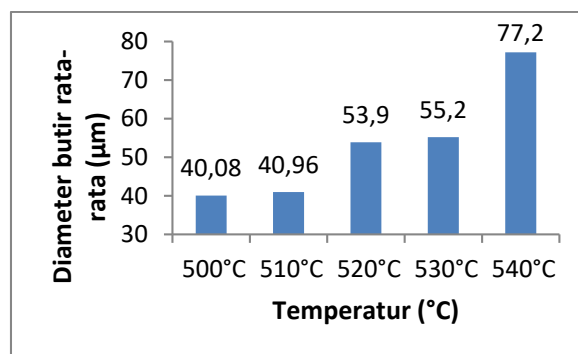


Gambar 3.6. Tanda kotak putih merupakan daerah pemeriksaan EDS.



Gambar 3.7. Hasil pemeriksaan EDS, terdapat fasa  $\alpha$ -Mg dan senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>.

Pengukuran besar butir dengan menggunakan metode Jeffries ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Perbandingan harga rata-rata besar butir hasil *semi-solid casting*.

Hasil pemeriksaan komposisi kimia yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 memperlihatkan bahwa komposisi kimia paduan magnesium AZ91D hasil peleburan berada dalam rentang komposisi kimia standar ASTM B94-03.

Proses *semi-solid casting* dengan variasi temperatur dari 500 sampai 540°C telah berhasil dilakukan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1. Terisinya rongga cetakan menyebabkan sebagian logam keluar dari cetakan membentuk sirip dibagian ujung akhir cetakan.

Dari pengujian kekerasan yang dilakukan memperlihatkan bahwa sampel paduan magnesium hasil *semi-solid casting* memiliki harga kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan bakalan hasil peleburan (*as-cast*). Kekerasan hasil *semi-solid casting* berada dalam rentang 47,3-71,7 HB (Gambar 3.2 dan 3.3), lebih tinggi dibandingkan bakalan yang berada dalam rentang kekerasan 38,5-46,7 HB. Kenaikan kekerasan rata-rata hasil *semi-solid casting* dibandingkan bakalan berada dalam rentang 18,87-33,91% (Gambar 3.4).

Peningkatan kekerasan hasil *semi-solid casting* terjadi karena adanya perubahan struktur mikro seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2. Fasa yang terbentuk pada paduan magnesium AZ91D baik *as-cast* maupun *semi-solid casting* memiliki fasa yang sama yaitu  $\alpha$ -Mg dan senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>, namun susunan dan mekanisme pembentukannya berbeda. Pada *as-cast*, struktur mikro terbentuk dari pendinginan yang lambat. Proses pembekuan logam cair diawali dengan terbentuknya struktur dendrit yang terus tumbuh menghasilkan butir-butir  $\alpha$ -Mg besar yang tak beraturan dan dikelilingi oleh senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> (berbentuk seperti cacing) sehingga memiliki kekerasan yang rendah. Struktur mikro hasil *semi-solid casting* pada semua variasi temperatur menunjukkan bentuk butir yang sama yaitu fasa  $\alpha$ -Mg bulat dengan ukuran yang berbeda-beda dan disekitar butir  $\alpha$ -Mg terdapat senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>. Pembulatan butir  $\alpha$ -Mg disebabkan oleh gaya injeksi yang terjadi selama proses *semi-solid casting*. Aliran logam dalam keadaan *semi-solid* yang bergerak dengan kecepatan tinggi menyebabkan terpecahnya struktur dendrit.

Temperatur yang relatif masih tinggi menyebabkan pecahan dendrit membentuk butir-butir bulat yang tersebar merata. Temperatur *semi-solid casting* sangat berpengaruh terhadap besar-kecilnya (halus atau kasar) butir yang terbentuk. Semakin rendah temperatur proses butir akan semakin kecil, karena pada temperatur yang lebih rendah butir tidak dapat tumbuh kembali. Ini dibuktikan dengan pengukuran besar butir dengan menggunakan metode Jeffries bahwa pada temperatur 500°C memiliki ukuran butir yang paling kecil yaitu sebesar 40,08µm (Gambar 3.8).

Pemeriksaan SEM pada Gambar 3.5 dan 3.7 menunjukkan bahwa pada bakalan bentuk dari senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> terlihat tidak beraturan. Pemeriksaan EDS menunjukkan adanya senyawa-senyawa oksida yang terbentuk dalam paduan magnesium. Ini dimungkinkan karena proteksi gas pelindung Argon tidak sempurna melindungi logam cair paduan Mg-Al-Zn dari oksigen sehingga terjadi reaksi oksidasi di permukaan.

## KESIMPULAN

1. Proses *semi-solid casting* dapat meningkatkan kekerasan paduan magnesium AZ91D.
2. Kekerasan rata-rata yang dihasilkan berada dalam rentang 52,46-64,4 HB. Kekerasan rata-rata tertinggi diperoleh pada temperatur 500°C sebesar 64,4 HB.
3. Persentase kenaikan kekerasan rata-rata tertinggi diperoleh pada temperatur 500°C sebesar 33,91%.
4. Struktur mikro yang terbentuk dari hasil *semi-solid casting* adalah bulat dan tersebar merata yang terdiri dari fasa  $\alpha$ -Mg dan senyawa intermetalik  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>.
5. Ukuran butir terkecil sebesar 40,08  $\mu\text{m}$  diperoleh pada temperatur 500°C.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang baik ini, kami penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM, Dekan Fakultas Teknik, Ketua Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Jenderal Achmad Yani terkait dengan dukungan finansial untuk penelitian ini yang tercantum pada SKEP dengan Nomor: 225/UNJANI/XI/2015 tanggal 5 November 2015.

## REFERENSI

1. Watarai, H., (2006): Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Material in Motor Vehicles, *Science and Technology Trends*, quarterly review, 18.
2. Kojima, Y., (2001): Project of Platform Science and Technology for Advanced Magnesium Alloys, *Materials Transactions*, the Japan Institute of Metals, 42, 7, 1154-1159.
3. Mutua, J., Kihui, M., Rading, G.O., Kimotho, J.K., (2011): Use of Magnesium Alloys in Optimizing the Weight of Automobile: Current Trends and Opportunities.
4. Xie, S., He, Y.F., Mi, X.J., (2007): *Study on Semi-solid Magnesium Alloys Slurry Preparation and Continuous Roll-casting Process*, Magnesium Alloys - Design, Processing and Properties.
5. ASM Handbook, (1992): *Phase Diagrams*, Metals Park.
6. ASM Handbook, (2008): *Semi-solid Casting*, Metals Park.