

## Variasi temperatur pada proses *squeeze casting* berbahan magnesium semi solid terhadap hasil kekerasan

Tri Cahyo Wahyudi<sup>1</sup>, Eko Budiyanto<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia  
\*Corresponding author: eko\_budiyanto99@yahoo.com

### Abstract

*Squeeze casting is a casting in which the process uses high pressure with a die-punch mold applied to the molten metal when it is solidified. In semi-solid casting, the temperature of the pouring greatly affects the hardness of the material itself. In the research process to be carried out, the squeeze casting tool is modified in such a way by adding a heating element (coil heater) to the mold so that the casting process is carried out in the mold. With magnesium material, a pressure of 350 MPa and temperature variations of 350<sup>o</sup>C, 400<sup>o</sup>C, 450<sup>o</sup>C and 500<sup>o</sup>C for a long pressing time of 1 minute, with a holding time of 5 minutes and 1 bar of argon gas pressure and one sample without treatment which aims to determine the value of material hardness and microstructure. Existing in the specimen so that later the results of this test can be applied according to the expected needs. The results obtained from this study show that the higher the temperature, the greater, the more melting in the sample, seen at a temperature of 500<sup>o</sup>C so that it increases the hardness value by 49.5 HRV, and affects the results of the microstructure compared to the initial material without processing, at SEM results show that at 1000 times enlargement, the size of the material structure changes to be more homogeneous as the temperature increases during the squeeze casting process.*

**Keywords:** *Squeeze casting, Magnesium, semi-solid, hardness.*

### Abstrak

Pengecoran *squeeze* merupakan pengecoran yang dimana dalam proses tersebut menggunakan tekanan tinggi dengan cetakan berbentuk *die-punch* diberikan pada logam cair saat terjadi pemadatan. Pada pengecoran semi solid temperatur tuang sangat berpengaruh pada hasil kekerasan material itu sendiri. Pada proses penelitian yang akan dilakukan, alat *squeeze casting* dimodifikasi sedemikian rupa dengan penambahan elemen pemananas (*coil heater*) pada cetakan sehingga proses pengecoran dilakukan di dalam cetakan tersebut. Dengan material Magnesium, tekanan 350 MPa serta variasi temperatur 350<sup>o</sup>C, 400<sup>o</sup>C, 450<sup>o</sup>C dan 500<sup>o</sup>C untuk lama waktu penekanan 1 menit, dengan *holding time* 5 menit serta tekanan gas argon 1 bar dan satu sampel tanpa perlakuan yang bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan bahan serta struktur mikro yang ada pada spesimen tersebut sehingga nantinya hasil dari pengujian ini dapat diaplikasikan sesuai kebutuhan yang diharapkan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini terlihat semakin tinggi temperatur, semakin besar, semakin banyak pula *melting* pada sampel, terlihat pada temperatur 500<sup>o</sup>C sehingganya meningkatkan nilai kekerasan sebesar 49,5 HRV, serta berpengaruh pada hasil struktur mikro bandingkan dengan material awal tanpa proses, pada hasil SEM memperlihatkan pada pembesaraan 1000 kali, Ukuran dari struktur material berubah menjadi lebih homogen seiring naiknya temperatur selama proses *squeeze casting*.

**Kata kunci:** *Squeeze casting, Magnesium, semi-solid, kekerasan.*

## Pendahuluan

Pengecoran *squeeze* merupakan pengecoran yang dimana dalam proses tersebut menggunakan tekanan tinggi dengan cetakan berbentuk *die-punch* diberikan pada logam cair saat terjadi pemadatan. Pengecoran ini pertama kali diperkenalkan pada tahun 1878 di Rusia [1], berdasarkan cara pengisian logam cair ke dalam cetakan, pengecoran *squeeze* dikelompokkan menjadi dua, yaitu: *direct squeeze casting* (DSC) dan *indirect squeeze casting* (ISC). Penelitian ini menggunakan proses *direct squeeze casting* [2]. Semi solid merupakan bahan yang diproses dalam kondisi antara fasa cair dan padat dan metode pengerjaannya menggunakan metode pengecoran atau pembentukan, sifat magnesium yang ringan dan juga memiliki kekuatan yang relatif baik memiliki potensi besar pada industri dalam hal proses *semi solid* [3].

Pada pengecoran *semi solid* temperatur tuang sangat berpengaruh pada hasil struktur mikro serta hasil kekerasan pada material tersebut [4]. Dimana hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan yang diberikan pada benda uji maka nilai kekerasan semakin meningkat [5]. Begitupun juga seiring dengan kenaikan temperature cetakan [6].

Dalam proses pengujian sifat mekanik pengujian kekerasan adalah salah satu pengujian yang dapat dilakukan untuk mengetahui nilai atau hasil suatu material yang telah dilakukan proses pengecoran *semi solid*. Hasil struktur mikro memperlihatkan nilai kekerasan material meningkat seiring kenaikan temperatur cetakan [7]. Dimana kekerasan pada permukaan tekan dipengaruhi oleh temperatur, penuangan, tekanan, waktu dan gaya penekanan [8].

Pada proses penelitian yang akan dilakukan, alat *squeeze casting* dimodifikasi sedemikian rupa dengan penambahan elemen pemanasan (*coil heater*) pada cetakan sehingga proses pengecoran dilakukan di dalam cetakan tersebut, dengan memberikan variasi temperatur, yang

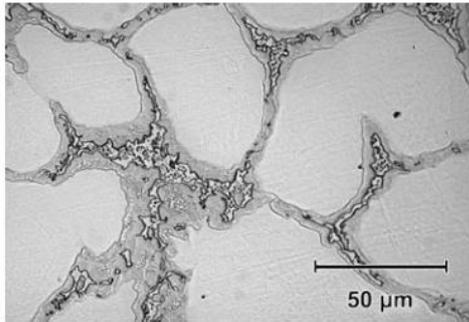
bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan bahan serta struktur mikro yang ada pada spesimen tersebut sehingga nantinya hasil dari pengujian ini dapat diaplikasikan sesuai kebutuhan yang diharapkan.

## Tinjauan Pustaka

### *Semi Solid Casting*

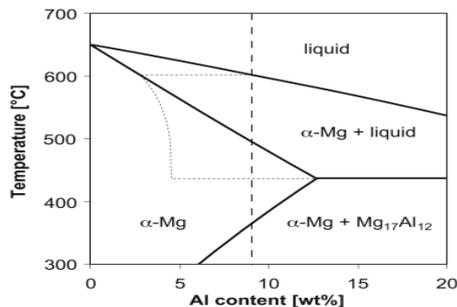
*Semi solid* merupakan suatu proses pengecoran dimana bahan yang diproses dalam kondisi fasa antara cair dan padat (*semisolid* atau *semi liquid*), serta metode pengerjaannya menggunakan metode pengecoran atau pembentukan diperoleh dengan cara memanaskannya di atas temperatur solid. Kelebihan proses ini yaitu kompleksitas bentuk produk dan kecepatan produksi yang relatif tinggi seperti halnya proses *die casting*, cacat porositas dan segregasi makro yang relatif rendah sehingga kekuatan dan keuletannya relatif tinggi, pada saat dipanaskan di atas temperatur *solid*, bahan baku terdiri atas fasa padat berbentuk *globular (spheroidal)* dan fasa cair yang berada di antara fasa padat, dengan istilah fase *dendrit*, dan logam yang berfasa cair berada diantara *dendrit* atau lengan dendrit. Selanjutnya, fasa cair bertransformasi menjadi fasa *eutektik* ketika pendinginan mencapai temperatur solidus atau eutektik. Secara umum, struktur *dendrit* ini merupakan ciri produk proses pengecoran logam.

Pada temperatur proses yang lebih rendah menyebabkan gas hidrogen yang terlarut ke bahan baku menjadi lebih rendah sehingga dengan proses semisolid forming cacat porositas yang disebabkan gas hidrogen dapat dikurangi. Temperatur pemanasan yang terlalu tinggi menghasilkan viskositas logam semisolid yang terlalu rendah viskositasnya, oleh karena itu pada proses semisolid [9]. menjelaskan salah satu alasan untuk berbagai penelitian dan pengembangan SSM (*semi solid metal*) untuk Aluminium dan Magnesium mungkin merupakan perbedaan metalurgi mendasar dari Aluminium dan paduan *Magnesium casting*.



Gambar 1. Struktur mikro SSM yang diproses AZ91 menunjukkan *eutektik non-ekuilibrium* antara partikel Al-Mg [9].

Diagram fase *biner* pada gambar 2 adalah dasar untuk memperkirakan kesesuaian paduan yang berbeda untuk pemrosesan SSM. Fraksi cair yang memadai adalah syarat dalam pengolahan SSM.



Gambar 2. Diagram fase biner Mg-Al, garis putus-putus mewakili solidifikasi non-ekuilibrium paduan Mg-9% Al [9].

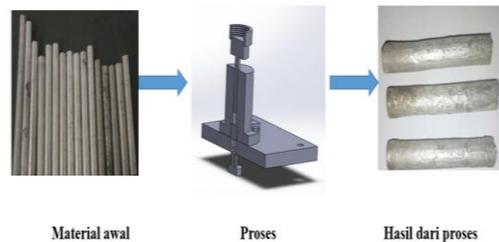
### **Squeeze Casting**

Merupakan proses pengecoran, dimana logam cair dituang dan diberikan tekanan sampai proses pematatan selesai dengan menggunakan tekanan hidrolik, teknik ini mampu meningkatkan sifat fisis dan mekanis terutama pada material paduan dasar aluminium dan magnesium [10]. Perlakuan tekanan yang diberikan akan kontak langsung terhadap logam cair dengan dinding cetakan serta menyebabkan perpindahan panas yang akan mempengaruhi kepadatan struktur mikro logam tersebut, alat *squeeze casting* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Alat *squeeze casting*.

Pada penelitian [8] menggunakan teknik *direct squeeze casting* dengan cara material aluminium cair dituang ke dalam dies/cetakan kemudian ditekan. Proses ini mampu menghasilkan kekerasan permukaan dengan presentase sampai 22%, dimana kekerasan permukaan tekan dipengaruhi oleh suhu penuangan, tekanan waktu dan gaya penekan.



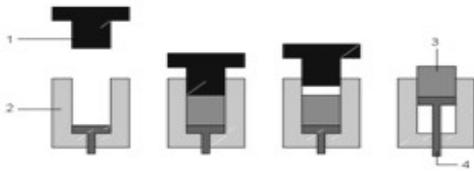
Gambar 4. Alur pembuatan *squeeze casting*.

Pada Gambar 4 merupakan alur pembuatan material *squeeze casting*, dimana material awal ketika sudah berbentuk silinder dimasukkan ke dalam dies lalu di-*squeeze*, selama proses tersebut material dalam kondisi *semi solid*, setelah proses selesai barulah material dikeluarkan dari *dies*.

### **Direct Squeeze Casting (DSC)**

*Direct squeeze casting* merupakan sebuah proses bisa dikatakan sebuah proses *liquid metal forging*, *squeeze forming*, *extrusion casting* dan *pressure crystallisation*, (DSC) adalah proses dimana logam cair didinginkan dengan memberikan tekanan secara langsung yang bertujuan untuk mencegah terjadinya porositas gas serta

penyusutan pada sebuah material. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme (DSC) *Direct Squeeze Casting*.

Proses *Direct Squeeze Casting* (DSC) mempunyai keuntungan yaitu memperkecil terjadinya porositas gas dan penyusutan, menghilangkan *gating system*, sehingga tidak terjadi pembuangan material. Sifat mekanik hasil pengecoran menggunakan komposisi yang sama dapat menghasilkan coran yang baik bahkan lebih baik bila dibandingkan dengan produk coran teknik yang lain melalui perilaku isotropik, untuk itu faktor pengecoran dianggap satu kesatuan.

Sifat leleh pada *squeeze cast* magnesium *alloy* secara signifikan dapat ditingkatkan dibandingkan bahan yang lain dengan metode yang sama, pada proses melalui *squeeze cast* dapat membuat bentuk yang rumit serta menghemat biaya pembuatan [11]. Pada proses pengecoran *squeeze* menghasilkan produk akhir dengan kualitas yang baik. Hasil dari proses cor dilihat dengan struktur mikro lebih dan homogen serta memiliki sifat mekanik yang baik.

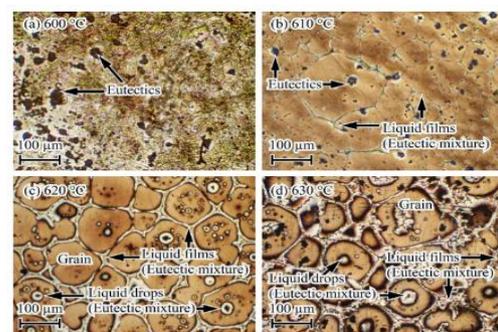
### Pengujian *Microhardness*

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi, pengujian kekerasan merupakan cara yang paling umum digunakan karena beberapa alasan yaitu, tidak bersifat merusak memiliki keuntungan dan kemudahan mengkonversikan kekerasan dengan perhitungan menggunakan skala, pengujian yang paling banyak dipakai adalah dengan menekan penekan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan dengan mengukur ukuran bekas penekanan yang terbentuk di atasnya.

### Pengujian Metalografi.

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur dan makrostruktur suatu logam, paduan logam dan material lainnya serta hubungannya dengan sifat-sifat material atau biasa juga dikatakan suatu proses mengukur suatu material bahan secara kualitatif maupun kuantitatif berdasarkan informasi-informasi yang didapatkan dari material yang diamati, dalam ilmu metalurgi struktur mikro merupakan hal yang sangat penting untuk dipelajari karena struktur mikro sangat berpengaruh pada sifat-sifat mekanik suatu logam. Struktur mikro yang kecil akan membuat kekerasan logam meningkat dan juga sebaiknya, struktur mikro yang besar akan membuat logam menjadi ulet atau kekerasannya menurun, struktur mikro itu sendiri dipengaruhi oleh komposisi kimia dari logam tersebut, metalografi bertujuan mendapatkan struktur makro dan mikro dari suatu logam sehingga dapat dianalisa sifat mekanik dari suatu logam tersebut.

Menurut penelitian [12] pada Gambar 6 yaitu struktur mikro dari spesimen AZ31 didinginkan dengan berbagai suhu setelah menahan isothermal selama 1800 detik pada gambar (a).



Gambar 6. Struktur mikro Dari spesimen AZ31 didinginkan dengan berbagai suhu setelah menahan isothermal selama 1800 detik.

Untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk pada logam yang diamati biasanya memakai mikroskop optik, sebelum benda uji diamati dengan mikroskop optik, benda uji tersebut harus melewati tahap-tahap preparasi, tujuannya agar pada saat mengamati benda yang diuji, struktur mikronya terlihat dengan

jelas, semakin sempurna preparasi benda yang akan diuji, semakin sempurna gambar yang akan diperoleh, pada skala pengamatan mikro yaitu pengamatan 100 kali atau lebih besar yang diamati pada fasa, besar butir dan endapan, pada metalografi yang diperoleh dengan suatu analisa kimia dan metalografi logam atau paduannya dan potongannya disebabkan oleh logam tersebut. Pembawaan ketidak homogenan dalam suatu logam lebih ditentukan dengan *macroetching* dan pemasarannya dapat dilakukan dengan menggunakan luas power mikropis, ini dinotasikan oleh jenis metalografi data yang diperlukan atau dibutuhkan.

### Metode Penelitian

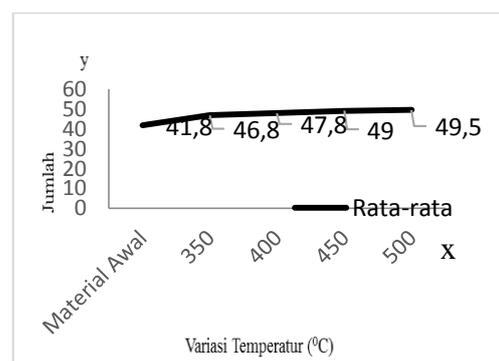
Alur Penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Menyiapkan material atau bahan yang akan di lakukan proses *squeeze casting*, dimana material tersebut sudah di bubut sesuai dimensi cetakan.
2. Menyalakan stop kontak untuk memanaskan cetakan atau *dies*.
3. Memasang *ejector* pada lobang cetakan di bagian bawah lalu kencangkan menggunakan baut.
4. Mengatur temperatur cetakan sesuai yang diperlukan.
5. Ketika temperatur sudah sesuai, memasukan spesimen ke dalam cetakan lalu mengencangkan *punch*.
6. Selama proses tersebut gas argon diarahkan ke bagian cetakan disertakan mengatur *holding time*, lama *holding time* disesuaikan dari penelitian.
7. Ketika semua proses sudah dilakukan kemudian ditekan, setelah itu dibuka baut *ejector* nya untuk menarik *ejector*, kemudian material dikeluarkan.
8. Lakukan proses berulang ulang tersebut sampai sesuai keutuhan.
9. Melakukan uji kekekerasan.
10. Melakukan uji struktur mikro.

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil Uji *Mikrohardness*

Di dalam proses penelitian untuk pengujian mikrohardness, material yang digunakan terdiri dari material yang sudah di lakukan proses *squeeze casting* dengan tekanan 350 MPa serta variasi temperatur 350<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup>C, 450<sup>0</sup>C dan 500<sup>0</sup>C untuk lama waktu penekanan 1 menit, dengan *holding time* 5 menit serta tekanan gas argon 1 bar dan satu sampel tanpa perlakuan diuji untuk membandingkan hasil dari material yang sudah dilakukan proses *squeeze casting* yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari temperatur terhadap hasil kekerasan material yang sudah dilakukan proses tersebut. Adapun data setelah pengujian terdapat pada tabel dan grafik Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hasil uji *mikrohardness* tekanan 350 MPa variasi temperatur.

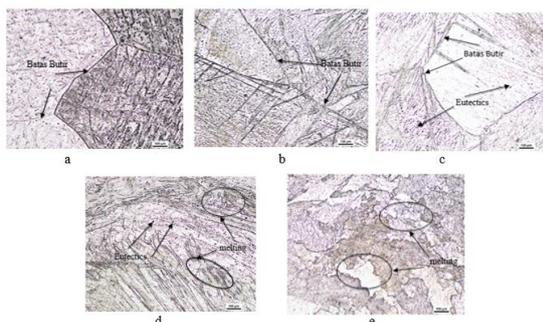
Hasil uji variasi temperatur maupun tanpa perlakuan di perhatikan pada gambar grafik 7 di atas, nilai rata-rata pada uji mikrohardness tidak terlalu jauh pada temperatur 350<sup>0</sup>C nilai kekerasannya 46,8 HRV nilai tersebut kemudian naik pada temperatur 400<sup>0</sup>C dengan nilai 47,8 HRV selanjutnya di temperatur 450<sup>0</sup>C nilai rata-rata kekerasannya 49, dan puncak dari nilai kekerasan berada pada temperatur 500<sup>0</sup>C dengan nilai 49,5 HRV dari keempat variasi temperatur tersebut menunjukan nilai kekerasan cukup baik di bandingkan pada sampel yang tanpa perlakuan yaitu sebesar 41,8 HRV.

Pada temperatur 350<sup>0</sup>C, merupakan temperatur rendah, serta nilai kekerasannya

belum begitu terlihat naik secara signifikan, berbeda dengan temperatur 400<sup>0</sup>C, 450<sup>0</sup>C nilai kekerasanyapun naik dan mencapai puncaknya pada temperatur 500<sup>0</sup>C, hal ini disebabkan mungkin pada suhu tersebut perubahan dari struktur material mulai terlihat, sehingga dalam hubungan antara temperatur dengan kekerasan terlihat bahwa semakin besar temperatur yang diberikan pada saat *squeeze casting* maka semakin tinggi pula nilai dari kekerasan materialnya.

### Hasil Pengujian Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi, struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop, pengujian struktur mikro yang menggunakan *micro hardness tester* dengan pembesaran 100  $\mu$ m dan 500  $\mu$ m. Hasil pengujian yang telah dilakukan dari hasil pengujian sampel dari *squeeze casting* magnesium AZ31 dengan variasi temperatur dengan tekanan, adapun sampel yang tanpa perlakuan dilakukan pengujian struktur mikro, hal ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan struktur mikro yang dilakukan variasi, apakah hasil tersebut mempunyai kesamaan atau ada unsur yang lain, hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Struktur mikro tekanan 350 MPa dengan variasi temperatur.

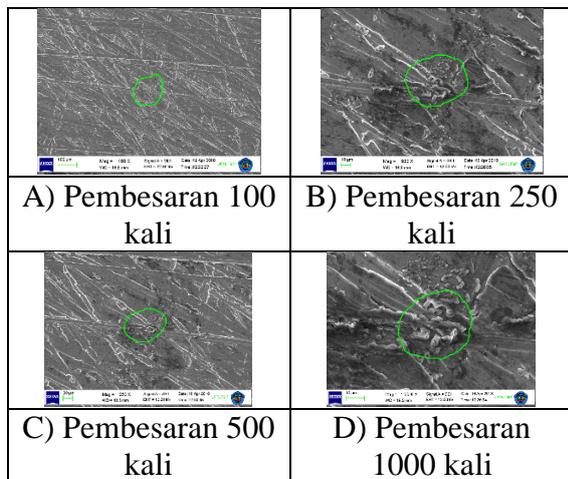
Pada pengujian metalografi struktur mikro material awal pada gambar 8a tidak mengalami perlakuan panas dan terlihat masih berupa batas butir dan masih dalam keadaan *solid*, berbeda sedikit pada temperatur 350<sup>0</sup>C gambar 8b masih terlihat batas butir nya walaupun tidak terlalu jelas,

kemudian pada struktur mikro temperatur 400<sup>0</sup>C pada Gambar 8c, terlihat lebih rapi dan halus berbeda dengan sampel yang sebelumnya,, serta terdapat titik-titik eutectics. Perbedaan bentuk butiran disebabkan karena sampel telah menerima perlakuan panas yang memperbaiki bentuk butirannya tersebut, titik –titik *eutectics* pada foto tersebut terlihat sedikit berkurang serta unsur-unsur lainnya sudah tercampur dengan Magnesium seiring bertambahnya temperatur, dan lebih cenderung banyaknya cairan putih yang asumsikan unsur Magnesium serta masih ada juga batas butirnya walaupun tidak terlihat jelas. Berbeda dengan temperatur sebelumnya, pada gambar 8d temperatur 450<sup>0</sup>C juga dimana pada temperatur ini struktur mikro sudah mulai berubah bentuk, perubahan tersebut disebabkan hubungan temperatur yang semakin naik, terlihat bahwa ada beberapa tempat yang sudah mengalami *fase remelting* dimana perubahan tersebut terjadi pada batas butir, walaupun demikian unsur yang tercampur belum seutuhnya, perubahan unsur sangat terlihat jelas pada gambar 8e temperatur 500<sup>0</sup>C dimana peleburan lebih lanjut meningkat sehingga mengakibatkan struktur mikronya terlihat lebih membesar serta lebih kasar, pada temperatur tersebut sampel uji menjadi berubah bentuk seperti meleleh tetapi tidak mencair atau *remelting*, titik *melting* ini lebih banyak terjadi di setiap bagian, ini membuktikan bahwa *melting* terjadi tidak hanya pada batas butir tapi juga di dalam batas butir saat spesimen dipanaskan, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi. Proses temperatur dapat mempengaruhi bentuk struktur mikro dari setiap variasi temperturnya dan sangat berbeda jika dibandingkan dengan kondisi awal tanpa proses pemanasan.

### Hasil Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Uji metalurgrafi dilakukan untuk menganalisa permukaan dengan skala pembesaran yang ditentukan. Pada penelitian ini pengujian metalografi

menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM) hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil SEM material tekanan 350 MPa dengan temperatur 500°C.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan SEM memperlihatkan hasil bahwa *pengecoran squeeze casting* pada tekanan 350 MPa pada temperatur 500°C, pada gambar 9A dengan pembesaran 100 kali belum nampak butiran-butiran namun terlihat jelas hanya seperti goresan begitupun pada gambar 9B dengan pembesaran 250 kali, namun pada pembesaran 500 kali yang terlihat pada gambar 9C terlihat perbedaan pada permukaan, dimana terlihat perubahan bentuk, itu terjadi karena selama proses tersebut material sudah berada dalam kondisi mendekati *melting*, sehingga butiran pada permukaan terlihat berbeda dari pada permukaan di sekitarnya. Nampak jelas hasil permukaan terlihat pada gambar 9D pada pembesaran 1000 kali, ukuran dari struktur material berubah menjadi lebih *homogen* seiring naiknya temperatur selama proses *squeeze casting*.

Penerapan tekanan 350 MPa pada perlakuan temperatur 500°C yang diberikan secara langsung menyebabkan berpengaruh terhadap kepadatan struktur mikro, sehingga mempengaruhi kekerasan permukaan pada material tersebut. Fenomena ini jelas sekali bahwa dengan meningkatnya temperatur berpengaruh pada hasil serta perubahan

struktur ini disebabkan semakin tinggi temperatur cetakan maka perbedaan dengan temperatur logam semakin rendah yang mengakibatkan laju pembekuan yang semakin lambat.

### Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa temperatur sangat mempengaruhi hasil dari struktur mikro pada pengujian ini terlihat semakin tinggi temperatur, semakin besar, semakin banyak pula melting pada sampel, hal ini terlihat terlihat pada temperatur 5000C sehingganya meningkatkan nilai kekerasan, nilai kekerasan pada variasi temperatur berada pada 5000C sebesar 49,5 HRV. Proses temperatur dapat mempengaruhi bentuk struktur mikro dari setiap variasi temperturnya dan sangat berbeda jika di bandingkan dengan kondisi awal tanpa proses pemanasan. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan SEM memperlihatkan hasil pada pembesaran 1000 kali. Ukuran dari struktur material berubah menjadi lebih homogen seiring naiknya temperatur selama proses *squeeze casting*.

### Referensi

- [1] Soejono Tjitro dan Firdaus., 2002. *Pengecoran Squeeze*. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- [2] T.M, Yue. and G.A. Chadwick., 1996. *squeeze casting of light alloys and their composites*. *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 58 No. 2 – 3.
- [3] H.R, Abedi, al., 2010. *The semi-solid tensile deformation behavior of wrought AZ31 magnesium alloy*. *Materials and Design* 31, 4386–4391.
- [4] M, Chambali, dkk., 2013. *Pengaruh Temperatur Bahan Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Pada Proses Semi Solid Casting Paduan Aluminium Daur Ulang*. Vol. 9, No. 1, Hal 6-12.

- [5] Muhammad Syaiful Nurkholiq, dkk., 2013. Analisa Pengaruh Variasi Tekanan Dan Pada Pengecoran Squeeze Terhadap Kekerasan Produk Sepatu Kampas Rem Dengan Bahan Alumunium (Al) Silicon (Si) Daur Ulang. Universitas Wahid Hasyim.
- [6] Nur Wakhid., 2018. Rancang bangun perangkat *squeeze casting* untuk pembuatab bahan dasar material baut tulang berbasis magnesium AZ31. Universitas lampung. Lampung.
- [7] Eddy, Djatmiko, Dan Budianto., 2011. Analisis Sifat Mekanis Dan Struktur mikro Pada Produk Paduan Al78Si22 Metode *Squeezing Casting*. Universitas pancasila. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, 2011.
- [8] Taufikurrahman. et al., 2013. Effect Of The Squeeze Process On The Hardness And Micro Structure Of Recyled Alumunium Materials. Journal Of Mechanical Science And Engineering. Vol.1 no.1 October.
- [9] Horst, E, Friedrich, Mordike, B. L. 2006. Magnesium Technology Metallurgy, Design Data, Applications. Germany. 665 hlm.
- [10] Zhi-hong GUO, et al., 2012. Optimiz ation of AZ80 Magnesium Alloy Squeeze Cast Process Paramete rs Using Morphological Matrix. *Tran s.nonferrous Met.Soc. China*. 22. 411-418.
- [11] M, Horynová, rt al., 2013. Evaluation of fatigue life of AZ31 magnesium alloy fabricated by squeeze casting. *Material and Design*. 45. 253-264.
- [12] Y, Men, Fukushima, et al., 2015. Cold Formability Of AZ31 Wrought Magnesium Alloy Undergoing SemisolidSpheroidization Treatment, *Materials Science & Engineering A* 624 148-156.