

Planning and Heating Analysis of Squeeze Casting Die Devices for Preparation of Basic Materials for Magnesium AZ31 Bone Bolts

Yanuar Burhanuddin^{1,*}, Nur Wakhid², Irza Sukmana, Tarkono³, A. Yudi Eka Rosano⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

*Corresponding author: yanuar.burhanuddin@eng.unila.ac.id

Abstract. *Squeeze casting* is one of the techniques of casting, where liquid metal formed under mechanical high pressure, so it get advantages combination of two processes at the same time, that from process of forging and casting. To get a good *squeeze casting* result, it is required a correct *squeeze casting* device. This study contains the descriptions design and fabrication of *squeeze casting* device to preparation of magnesium AZ31 based *bone screw* material. *Squeeze casting* device used Stainless Steel AISI 304 as mold materials which can be up to 710 °C according to heater capacity. However in this study the working temperature is limited to 650 °C coinciding with the melting temperature of Magnesium AZ31. Analysis was performed based on the working temperature range between 300 °C to 650 °C. The initial diameter of the cylinder at the start of squeeze is 11 mm which is carried out at a temperature of 300 °C and an inner diameter of 11.05 mm. Then the temperature was increased to 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C which respectively produced cylindrical diameters of 11.06 mm, 11.07 mm, 11.09 mm, 11, 10 mm, 11.11 mm and 11.13 mm. Then in analysis of heat waiting time, to raise mold temperature be 300 °C required waiting time 2.9 minutes, then to raise temperature to 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C required waiting time 3.5 minutes, 4.1 minutes, 4.7 minutes, 5.3 minutes, 5.9 minutes, 6.5 minutes, and 7.2 minutes.

Abstrak. *Squeeze Casting* merupakan salah satu teknik pengecoran dimana logam cair dibentuk dibawah tekanan mekanis yang tinggi, sehingga didapatkan kombinasi keuntungan dari dua proses sekaligus, yaitu dari proses tempa dan proses pengecoran. Untuk mendapatkan hasil *Squeeze Casting* yang bagus diperlukan perangkat cetakan *Squeeze Casting* yang benar. Makalah ini berisi uraian perencanaan perangkat *squeeze casting* untuk pembuatan bahan dasar material baut tulang berbasis magnesium AZ31. Perencanaan perangkat *squeeze casting* ini dilakukan dengan analisis perhitungan dan simulasi. Beberapa analisis yang dilakukan yaitu analisis pemuaian silinder dies/cetakan dan analisis waktu tunggu pemanasan silinder dies/cetakan. pada beberapa variasi temperatur kerja. Material cetakan *squeeze casting* menggunakan SS AISI 304 dengan suhu kerja pemanas sampai dengan 710°C. Namun dalam penelitian ini suhu kerja dibatasi sampai 650 °C bertepatan dengan suhu magnesium AZ31 mencair. Semua analisis yang dilakukan berdasarkan pada rentang temperatur kerja antara 300 °C sampai 650 °C. Diameter dalam awal silinder pada analisis pemuaian cetakan adalah 11 mm ketika dilakukan pemanasan pada temperatur 300 °C dan menyebabkan perubahan diameter dalam menjadi 11,05 mm. Kemudian temperatur dinaikkan menjadi 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C dan 650 °C yang masing-masing menyebabkan diameter dalam silinder menjadi 11,06 mm, 11,07 mm, 11,09 mm, 11,10 mm, 11,11 mm dan 11,13 mm. Kemudian dalam analisis waktu tunggu pemanasan, untuk mencapai suhu cetakan menjadi 300 °C diperlukan waktu tunggu 2.9 menit, kemudian untuk mencapai 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C diperlukan waktu 3.5 menit, 4.1 menit, 4.7 menit, 5.3 menit, 5.9 menit, 6.5 menit, and 7.2 menit.

Kata kunci: Squeeze Casting, Heating, Magnesium AZ31, Stainless Steel AISI 304

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Magnesium merupakan salah satu jenis logam yang dikategorikan logam ringan. Permintaan magnesium paduan untuk keperluan industri telah meningkat selama beberapa dekade terakhir ini. Magnesium memiliki sifat umum yaitu, ringan,

mudah bereaksi dengan logam lain, dan juga mudah terbakar. Oleh karena itu magnesium tidak cukup kuat dalam bentuk yang murni, sehingga diperlukan paduan dengan berbagai elemen lain untuk mendapatkan sifat yang lebih baik, terutama untuk mendapatkan kekuatan dengan rasio berat yang rendah [1]. Selain digunakan dalam bidang industri,

sekarang ini magnesium banyak diteliti dan dikembangkan untuk bidang biomaterial.

Biomaterial adalah semua jenis material yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan yang rusak pada tubuh [2]. Material plate dan screw yang sekarang umum digunakan adalah logam baja tahan karat, seperti Stainless, cobalt alloy dan titanium [3]. Tetapi harus dilakukan operasi pengangkatan kembali karena material tersebut tidak dapat terdegradasi oleh tubuh.

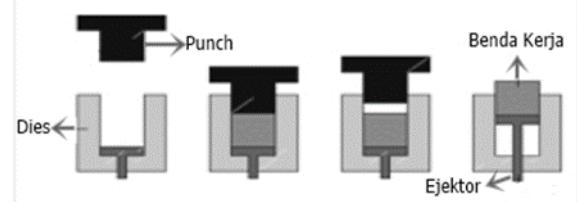
Dari kekurangan biomaterial yang ada inilah magnesium dapat dikembangkan menjadi bahan implan biomaterial, karena magnesium (Mg) merupakan logam yang memiliki potensi dalam aplikasi implan jaringan keras, hal ini dikarenakan kemampuannya untuk biodegradasi dalam lingkungan biologis secara ilmiah [4].

Tetapi sampai saat ini penggunaan magnesium sebagai biomaterial implan masih terganjal oleh isu yang paling utama, yaitu laju kecepatan biodegradasi yang terlalu cepat, sehingga menyebabkan magnesium tersebut terdegradasi terlalu cepat dan kehilangan sifat mekanisnya padahal jaringan yang akan disembuhkan belum pulih [5]. Oleh karena itu diperlukan suatu metode perlakuan untuk menurunkan dan mengontrol kecepatan biodegradasi sesuai dengan kecepatan penyembuhan jaringan tubuh sekaligus untuk meningkatkan sifat mekanis magnesium implan.

Terdapat beberapa metode perlakuan untuk mengatasi kekurangan pada sifat magnesium tersebut agar bisa dijadikan biomaterial, yaitu dengan cara grain refinement (perbaikan butir) proses ini terbukti dapat meningkatkan sifat mekanis dan resistansi korosi pada logam magnesium paduan [6]. Selain itu magnesium memiliki sifat mudah terbakar jika terkena panas dan terkontaminasi udara luar [7]. Oleh karena diperlukan proses penggerjaan magnesium yang dilakukan tidak pada kondisi cair tetapi pada kondisi hampir cair (semi solid).

Salah satu proses perlakuan atau penggerjaan terhadap logam magnesium yang bisa menghasilkan perbaikan butir adalah dengan cara *Squeeze casting* [8]. *Squeeze casting* atau yang lebih dikenal dengan high pressure casting, merupakan teknik kombinasi dari proses casting dan forging, molten metal yang terdapat dalam cetakan dibentuk dan dibekukan dengan diberi tekanan mekanis yang tinggi [9]. Proses ini memiliki hasil sifat mekanis, permukaan, kepadatan, dan keakuratan dimensi yang sangat baik, teknik *Squeeze casting* merupakan teknik

pengecoran yang efektif [10]. Mekanisme proses *Squeeze casting* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Squeeze Casting

Dalam proses ini tekanan diberikan dan terjadi kontak langsung antara logam dengan cetakan yang menyebabkan perpindahan panas secara cepat sehingga memungkinkan tercipta produk cor dengan ukuran butir yang halus dan porositas rendah sehingga mendekati produk tempa pada umumnya.

Makalah ini menerangkan proses perencanaan perangkat *squeeze casting* die untuk pembuatan bahan dasar baut tulang berbasis magnesium AZ31 tanpa melibatkan struktur mesin pres hidrolik. Selain itu ddalam makalah ini lebih ditekankan pada aspek termal yaitu pemanasan perangkat cetakan.

Metode Perancangan

Perancangan perangkat *Squeeze casting* ini dikerjakan dengan beberapa tahapan yaitu pemilihan proses dan subproses, pembuatan konsep desain, pemilihan konsep desain, pemilihan material perangkat, arsitektur perangkat, detail desain dan analisis pemanas

Pemilihan Proses dan Subproses. Proses yang dipilih untuk menyiapkan bahan dasar baut tulang adalah *Squeeze Casting*. Proses *Squeeze casting* memiliki beberapa metode atau subproses. Pemilihan jenis subproses *Squeeze casting* dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan operasi, fabrikasi alat dan biaya fabrikasi. Jenis subproses yang dipilih adalah metode Direct *Squeeze casting* (DSC) sebagai subproses. Pada Metode DSC, cetakan yang tertutup oleh penekan diberikan pemanasan secara langsung menggunakan pemanas elektrik, kemudian setelah temperatur kerja yang diinginkan tercapai langsung diberikan proses penekanan (*squeeze*). Dan untuk memberikan perlindungan tambahan pada magnesium, diberikan gas argon.

Pemilihan Material Cetakan Bone screw. Syarat-syarat yang harus dipenuhi agar peralatan yang dibuat bisa berfungsi sebagaimana tujuan

awalnya, syarat cetakan *Squeeze casting* diantaranya, mampu menahan tekanan pada temperatur tinggi, tidak mudah korosif, pemanasan berjalan cepat, dan mudah dalam pemasangan maupun pengambilan raw meterial.

Konsep Desain Perangkat. Konsep desain adalah pernyataan masalah dan membuat solusi yang luas dalam bentuk skema atau sketsa. Pada tahap ini perkiraan mengenai teknologi, prinsip kerja dan bentuk akan dibuat [11]. Mekanisme proses *Squeeze casting* dijabarkan terlebih dahulu dalam konsep desain perangkat. Pada tahap ini dituntut imajinasi dan kreatifitas perancang untuk membuat berbagai alternatif mekanisme. Kemudian dilakukan pemilihan konsep yang terbaik berdasar kriteria yang telah ditetapkan.

Perencanaan Arsitektur Perangkat. Pada tahap ini susunan komponen-komponen utama perangkat ditentukan berdasarkan konsep desain yang telah dipilih. Arsitektur perangkat direncanakan adalah memuat bagian utama (komponen) dari desain perangkat yang direncanakan.

Perancangan Detail. Dalam tahap perancangan detail, rancangan perangkat *squeeze casting* dibuat secara lengkap, tahap ini berisi gambar-gambar 2 dimensi beserta dimensinya, dan juga gambar 3 dimensi yang dilengkapi dengan nama-nama komponen penyusun beserta fungsinya. Tahap ini dibagi menjadi 2 detail perancangan, yaitu detail dari unit casting dan detail lengkap perangkat *squeeze casting*.

Analisis Pemanasan Cetakan (Dies). Analisis waktu pemanasan dilakukan untuk mencari waktu pemanasan dies pada temperatur kerja yang diinginkan, sehingga dapat diketahui waktu tunggu untuk melakukan proses *squeeze casting* sesuai dengan setting temperatur yang akan digunakan. Untuk menghitung waktu pemanasan perlu diketahui berapa besar daya dan kalor energi listrik yang diperlukan.

a. Daya dan Kalor Energi Listrik

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan watt, yang merupakan perkalian dari tegangan (volt) dan arus (ampere) [12]. Sehingga besarnya daya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Dengan P adalah Daya (watt), V adalah Tegangan (volt) dan I adalah Kuat Arus (ampere).

$$Q = V \cdot I \cdot t \quad (2)$$

Dengan Q adalah Kalor (Joule), V adalah Tegangan (Volt), I adalah Kuat Arus (Ampere) dan t adalah Waktu (Detik).

b. Perpindahan Kalor

Kalor pada beberapa fase dapat ditentukan berdasarkan proses perubahan yang dialami benda. Misalnya bila terjadi perubahan suhu, dan tanpa terjadi perubahan wujud (Fatkh, 2016). Kalor yang diserap atau diterima dapat dihitung dengan persamaan:

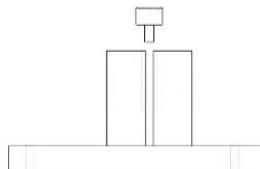
$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

Dengan Q adalah banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan (Joule), m adalah massa (kg), C_p adalah kalor jenis zat ($J/(kg \cdot ^\circ C)$), ΔT adalah perubahan suhu ($^\circ C$).

Hasil Dan Pembahasan

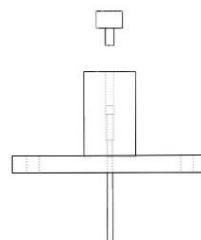
Pemilihan Konsep Desain Perangkat *Squeeze Casting Die*. Hasil pembuatan konsep desain perangkat *Squeeze casting Die* dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4.

a. Konsep 1



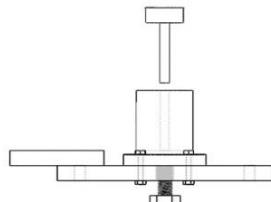
Gambar 2. Konsep 1

b. Konsep 2



Gambar 3. Konsep 2

c. Konsep 3



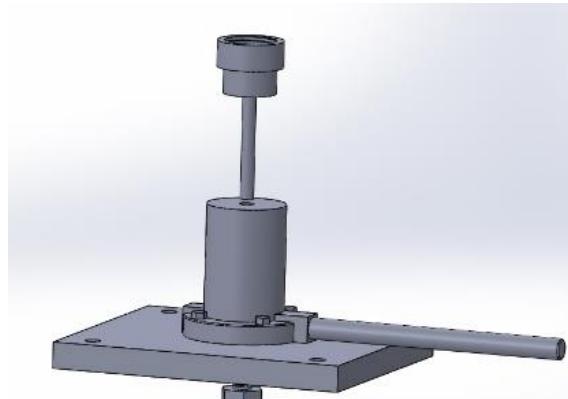
Gambar 4. Konsep 3

Untuk memenuhi tujuan menyiapkan bahan dasar baut tulang menggunakan *Squeeze casting* Die maka onsep-konsep yang telah dibuat harus dipilih. Pemilihan konsep mengikuti metode Matrik berdasar kriteria yang ditetapkan [11]. Kriteria yang ditetapkan yaitu kemudahan loading dan unloading, kemudahan fabrikasi, biaya fabrikasi, kemampuan dirakit, pengoperasian dan perawatan. Matrik keputusan yang dibuat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrik keputusan Seleksi Konsep

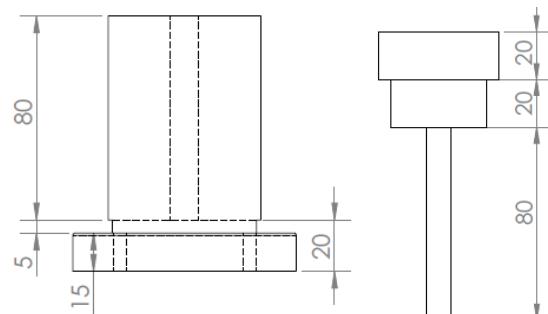
No	Kriteria	Matrik Keputusan		
		1	2	3
1	Masuk dan keluar material	+	+	+
2	Fabrikasi	0	0	0
3	Biaya pembuatan komponen	-	-	+
4	Kemampuan dirakit	-	+	+
5	Pengoperasian	-	0	+
6	Perawatan	+	-	0
jumlah +		2	2	4
jumlah 0		1	3	2
jumlah -		3	2	0
Jumlah keseluruhan		-1	0	4
Apakah dilanjutkan		Tidak	Tidak	Iya

Berdasarkan matrik keputusan diatas konsep 1 mempunyai jumlah nilai keseluruhan -1, kemudian pada konsep 2 mempunyai nilai keseluruhan 0, dan konsep 3 mempunyai nilai keseluruhan 4, sehingga konsep 3 adalah yang mempunyai nilai paling tinggi, atau dengan kata lain merupakan konsep yang terbaik dari segi masuk keluarnya material, biaya pembuatan, kemampuan dirakit dan juga pengoperasiannya. Maka konsep nomor 3 dipilih dan dilanjutkan dengan pembuatan model 3-D konsep 3 seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan 3-D konsep terpilih

Penentuan Dimensi Dies dan Punch. Dimensi dari dies merujuk pada salah satu dimensi baut tulang jenis cortex screw ukuran 4,5 mm sesuai dengan standar ASTM F543 [13] dengan dimensi diameter ulir 4,5 mm, pitch ulir 1,75 mm, diameter kepala baut 8,0 mm. Akan tetapi untuk membuat *bone screw* tersebut tentunya diperlukan proses pemesinan, sehingga dimensi silinder dibuat lebih besar, dengan dimensi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Dimensi dies dan punch

Pemilihan Material. Tabel 2 menunjukkan alternatif-alternatif yang akan dipilih untuk material cetakan perangkat Squeeze Casting. Material yang dipilih adalah Stainless Steel AISI 304 karena telah memenuhi beberapa kriteria penerimaan yang ada.

Heater dan Controller. Heater yang digunakan adalah jenis heater elektrik, dengan bentuk yang dapat dilihat pada Gambar 7. Spesifikasi pemanas dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Alternatif-alternatif Pemilihan Material

Jenis Bahan	Kriteria penerimaan							
	α	Cp	Fy	E	Harga/ kg (ribu)	Ketersediaan	Fabrikasi	Ketahanan korosi
SS AISI 304	17,3	477	290	193	65	Mudah	Mudah	Baik
Tungsten Carbide	4,3	132	550	450	650	Sulit	Sulit	Baik
Tembaga	19	385	70	117	125	Sulit	Mudah	Baik
Kuningan	18,7	380	83	102	100	Sulit	Mudah	Baik

Keterangan :

α = Koefisien Muai bahan ($x10-6m/m^{\circ}C$)

Cp = Panas Spesifik (J/kg $^{\circ}C$)

Fy = Yield Strength (MPa)

E = Modulus Elastisitas (GPa)

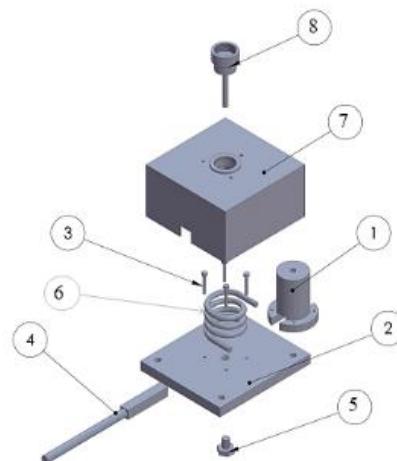


Gambar 7. Heater dan Controller a). *Coil Heater*, b). *Glass wool* c). *Cover heater*, d). *Controller*

Tabel 3. Spesifikasi pemanas.

No	Spesifikasi Unit	
1	Daya	1500 Watt
2	Tegangan	230 Volt
3	Kuat Arus	6,5 Ampere
4	Temperatur Kerja	27°C – 710°C
5	Toleransi Temperatur	$\pm 5^{\circ}C$
6	Tipe Controller	Autonics EP-KE-03-0320H

Susunan Unit Lengkap. Susunan unit lengkap *squeeze casting die* yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 8. Fungsi dari masing-masing komponen pada unit *casting* dapat akan dijelaskan pada Tabel 4.



Gambar 8. Detail Unit *Squeeze Casting Die*.

Tabel 4. Nama dan fungsi Komponen.

No	Nama Komponen	Fungsi Komponen
1	<i>Dies</i>	Tempat Material dilakukan <i>squeeze casting</i>
2	Plat dudukan	Dudukan semua komponen unit casting
3	Baut M 8x1,5	Pengikat <i>Dies</i> dengan plat dudukan
4	Slider Ejektor	Mengeluarkan material <i>squeeze casting</i>
5	Baut ejektor	Mengunci slider ketika dilakukan <i>squeeze casting</i>
6	<i>Coil heater</i>	Memanaskan <i>dies</i> pada temperatur kerja
7	<i>Cover heater</i>	Menahan panas supaya tidak keluar kelingkungan
8	<i>Punch</i>	Menekan material <i>squeeze casting</i>

Analisis Waktu Pemanasan. Dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3, waktu pemanasan dihitung dengan suhu kerja awal yaitu 300 °C

Mencari Volume dies

$$\begin{aligned}
 r_i &= 5.5 \text{ mm} = 5.5 \times 10^{-3} \text{ m} \\
 r_o &= 30 \text{ mm} = 30 \times 10^{-3} \text{ m} \\
 L &= 80 \text{ mm} = 80 \times 10^{-3} \text{ m} \\
 V &= (\pi r_o^2 L) - (\pi r_i^2 L) \\
 &= (\pi (30 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 80 \times 10^{-3} \text{ m}) - (\pi (5.5 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \cdot 80 \times 10^{-3} \text{ m}) \\
 &= 2,262 \times 10^{-4} - 7,603 \times 10^{-6} \\
 &= 2,186 \times 10^{-4} \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Mencari waktu pemanasan

$$\begin{aligned}
 Q &= V \cdot I \cdot t \\
 t &= \frac{Q}{V \cdot I} \\
 V &= 230 \text{ V} \\
 Q &= 259936,11 \text{ J} \\
 I &= 6.5 \text{ A} \\
 t &= \frac{259936,11}{230 \cdot 6,5} \\
 &= 173,87 \text{ detik} \\
 &= 2,9 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Mencari massa

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{m}{v} \\
 m &= \rho \cdot v \\
 p &= 7900 \text{ kg/m}^3 \\
 v &= 2,186 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 m &= 7900 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,186 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 &= 1,727 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Mencari Energi Pemanasan

$$\begin{aligned}
 Q &= m \cdot C_p \cdot (T_f - T_i) \\
 m &= 1,727 \text{ kg} \\
 C_p &= 551,33 \text{ J/kg.K} \\
 T_f &= 300^\circ \text{C} = 573 \text{ K} \\
 T_i &= 270^\circ \text{C} = 300 \text{ K} \\
 Q &= 1,727 \text{ kg} \cdot 551,33 \text{ J/kg.K} \cdot (573 - 300 \text{ K}) \\
 &= 259936,11 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan pada semua temperatur kerja dijelaskan pada Tabel 5. Waktu tunggu pemanasan pada temperatur kerja 300 °C selama 2,9 menit, temperatur kerja 350 °C selama 3,5 menit, temperatur kerja 400 °C selama 4,1 menit, temperatur kerja 450 °C selama 4,7 menit, temperatur kerja 500 °C selama 5,3 menit, temperatur kerja 550 °C selama 5,9 menit, temperatur kerja 600 °C selama 6,5 menit, dan temperatur kerja 650 °C waktu tunggunya selama 7,2 menit.



Gambar 9. Cetakan pada suhu 600 °C

Tabel 5. Hasil Perhitungan Waktu Pemanasan Die sampai suhu 650°C

No	Temperatur Kerja (°C)	Koefisien muai (m/m° C)	Diameter awal (mm)	Selisih diameter (mm)	Diameter akhir (mm)
1	300	16,75 x 10^-6	11	0,05	11,05
2	350	17,03 x 10^-6	11	0,06	11,06
3	400	17,28 x 10^-6	11	0,07	11,07
4	450	17,53 x 10^-6	11	0,08	11,08
5	500	17,76 x 10^-6	11	0,09	11,09
6	550	17,99 x 10^-6	11	0,10	11,10
7	600	17,20 x 10^-6	11	0,11	11,11
8	650	17,41 x 10^-6	11	0,13	11,13

Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil rancang bangun Perangkat Squeeze Casting, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsep desain cetakan yang terbaik adalah konsep 3, karena konsep ini merupakan yang terbaik dari segi masuk keluarnya material, biaya

pembuatan, kemampuan dirakit dan juga pengoperasiannya.

2. Waktu pemanasan yang paling cepat adalah pada temperatur kerja 300 °C, yang membutuhkan waktu pemanasan 2,9 menit, sedangkan waktu pemanasan yang paling lama adalah pada temperatur kerja 650 °C, yang membutuhkan waktu tunggu pemanasan selama 7,2 menit.

Ucapan Terimakasih

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemenristekdikti atas bantuan dana penelitian melalui program penelitian Hibah tahun 2017. Yang ketiga penulis juga mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

Daftar Notasi

P	= Daya (Watt)
V	= Tegangan (Volt)
I	= Kuat Arus (Ampere)
Q	= kalor (Joule)
t	= Waktu (Detik)
m	= Massa (Kg)
C_p	= Kalor jenis zat (J/kg.K)
ΔT	= Perbedaan Temperatur (K)

Referensi

- [1] Andriansyah. 2007. Perancangan Mesin Press Sederhana Sistem Hidrolik Dengan Gaya Tekan 500 N Untuk Membuat Pin Dengan Proses Deep Drawing. Skripsi. Teknik Mesin. Universitas Mercu Buana, Jakarta
- [2] Supriadi, S. Latief, B.S. Sulistyani, L.D. Rahayu, E.F. Rhaka, S.M. Kahari, A.R. dan Didi, S. 2015. Simulasi Fabrikasi Bio-Degradable Implant Untuk Aplikasi Tulang Wajah Dengan Menggunakan Material Magnesium. Departemen Teknik Mesin dan Departemen bedah Mulut Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Indonesia, Depok.
- [3] Badeges, A. 2012. Analisis Proses Biodegradasi Magnesium Yang Telah Melalui Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Dalam Cairan Fisiologis (In Vitro). Tesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [4] Karayan, A.I. Prasetya, Y. Ashari, A. Fadli, E. Nurjana, D.M. 2011. Corrosion Resistance Improvement of ECAP-Processed pure magnesium in Ringer's Solution. Departement of metallurgy Engineering. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [5] Wang, H and Shi, Z. 2010. In vitro biodegradation behavior of magnesium and magnesium alloy. Elsevier. Volume 98B. Edisi 2.
- [6] Syaflida, R. 2012. Analisis Sifat Mekanis Magnesium Setelah Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Melalui uji tarik dan uji kekerasan dalam cairan Fisiologis (In Vitro). Tesis. Fakultas Kedokteran Gigi .Universitas Indonesia . Depok.
- [7] Setiawan, F. 2014. Karakterisasi Penyalaan Magnesium AZ31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi. Teknik Mesin. Fakultas Teknik.Universitas Lampung. Lampung.
- [8] Elfendri. 2010. Analisa Pengaruh Temperatur Tuang Dan Temperatur Cetakan Terhadap Kemungkinan Munculnya Cacat Retak Makro Pada Pengecoran Squeeze Benda Tipis Aluminium Daur Ulang. Skripsi. Universitas pasir pengairan. Riau.
- [9] Tjitro, S. Firdaus. 2001, Pengecoran Squeeze. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- [10] Hardianto, A. 2014. Efek Aging Treatment pada Squeeze Casting Terhadap porositas dan kekuatan tarik Produk Silinder Al-Mg-Si. Skripsi. Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- [11] Cross, Nigel. 2000. Engineering design methods: strategies for product design. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- [12] Ewen, D. Schurter, N. Gunderson, P.E. 2012. Applied Physics Tenth Edition. New Jersey. USA.
- [13] ASTM Designation: F 543 – 02. 2002. Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws. West Conshohocken. Amerika.