

**RANCANG BANGUN PERANGKAT *SQUEEZE CASTING* UNTUK
PEMBUATAN BAHAN DASAR MATERIAL BAUT TULANG BERBASIS
MAGNESIUM AZ31**

(Skripsi)

Oleh

NUR WAKHID



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN PERANGKAT *SQUEEZE CASTING* UNTUK PEMBUATAN BAHAN DASAR MATERIAL BAUT TULANG BERBASIS MAGNESIUM AZ31

Oleh
Nur Wakhid

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. Tugas akhir ini berisi uraian rancang bangun perangkat *squeeze casting* untuk pembuatan bahan dasar material baut tulang berbasis magnesium AZ31. Perancangan perangkat *squeeze casting* ini dilakukan dengan analisis perhitungan dan simulasi. Beberapa analisis yang dilakukan yaitu analisis pemuaihan silinder *dies*/cetakan, analisis waktu tunggu pemanasan silinder *dies*/cetakan, analisis kekuatan silinder *dies*/cetakan, dan analisis kekuatan batang *punch*/penekan yang terjadi 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 pemuaihan 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, dan 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 pada analisis waktu tunggu pemanasan, untuk menaikkan temperatur cetakan menjadi 300 °C membutuhkan waktu tunggu selama 2,9 menit, lalu untuk menaikkan temperatur menjadi 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C dan 650 °C membutuhkan waktu tunggu selama 3,5 menit, 4,1 menit, 4,7 menit,

5,3 menit, 5,9 menit, 6,5 menit, dan 7,2 menit. Pada analisis kekuatan cetakan, ketika dilakukan pada temperatur 300 °C beban maksimal cetakan adalah 36,3 ton, kemudian pada temperatur 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C dan 650 °C beban maksimal cetakan 34,5 ton, 33,1 ton, 32,1 ton, 30,9 ton, 29,5 ton, 28,1 ton, dan 26,1 ton.

Lalu pada analisis kekuatan batang penekan, pada temperatur 300 °C beban maksimal yang mampu ditahan adalah 7,86 ton, kemudian pada temperatur 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C dan 650 °C, beban maksimal yang mampu ditahan adalah 7,65 ton, 7,44 ton, 7,24 ton, 7,01 ton, 6,81 ton, 6,61 ton, dan 6,42 ton. Setelah diketahui beban maksimal cetakan dan penekan, kemudian menentukan tekanan maksimal *squeeze casting* yang mampu diberikan. Pada temperatur 300 °C adalah 925,54 MPa, kemudian pada temperatur 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C dan 650 °C tekanan maksimal *squeeze casting* yang mampu diberikan adalah 900,00 MPa, 875,30 MPa, 852,57 MPa, 825,57 MPa, 802,22 MPa, 778,61 MPa, dan 755,42 MPa.

Kata kunci: *Squeeze Casting*, pemuaiian, kekuatan *dies*, kekuatan *punch*, Magnesium AZ31, Stainless Steel AISI 304.

ABSTRACT

DESIGN AND FABRICATION OF SQUEEZE CASTING DEVICE IN PRODUCTION OF RAW MATERIAL BONE SCREW BASED MAGNESIUM AZ31

**By
Nur Wakhid**

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 final project contains the descriptions design and fabrication of squeeze casting device in production of bone screw material based magnesium AZ31. Design of squeeze casting device is accomplished by analysis calculation and simulation. The analysis including, analysis of expansion dies/mold cylinder, analysis of holding time heating dies/mold cylinder, analysis of strength dies/mold cylinder, and analysis strength of rod/suppressor. Which occured in some variation of working temperature.

Squeeze casting device used SS AISI 304 as mold/die 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 magnesium melting temperature of AZ31. All analysis were performed based on the working temperature range between 300 °C to 650 °C. The inner diameter of the cylinder in the mold expansion analysis was 11 mm when heated at 300 °C and caused change inner diameter to 11.05 mm. Then the temperature is raised to 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C, and causes inner diameter of cylinder can be 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. In analysis strength of mold, when carried out at 300 °C the maximum mold load is

36.3 tons, then at 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C maximum load of mold 34.5 tons , 33.1 tons, 32.1 tons, 30.9 tons, 29.5 tons, 28.1 tons and 26.1 tons.

Then analysis strength of pressure rod, at temperature 300 °C maximum load can be detained is 7.86 tons, then at 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C, maximum load can be detained were 7.65 tons, 7.44 tons, 7.24 tons, 7.01 tons, 6.81 tons, 6.61 tons, and 6.42 tons. After known the maximum load of mold and suppressor, then determine the maximum squeeze casting pressure that can be given. At a temperature 300 °C is 925.54 MPa, then at temperatures 350 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C and 650 °C the maximum squeeze casting pressure that can be given were 900.00 MPa, 875.30 MPa, 852.57 MPa, 825.57 MPa, 802.22 MPa, 778.61 MPa, and 755.42 MPa.

Keywords: Squeeze casting, expansion, strength of dies, strength of punch, Magnesium AZ31, Stainless Steel AISI 304.

**RANCANG BANGUN PERANGKAT *SQUEEZE CASTING* UNTUK
PEMBUATAN BAHAN DASAR MATERIAL BAUT TULANG BERBASIS
MAGNESIUM AZ31**

Oleh

Nur Wakhid

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018**

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN PERANGKAT *SQUEEZE*
CASTING UNTUK PEMBUATAN BAHAN
DASAR MATERIAL BAUT TULANG BERBASIS
MAGNESIUM AZ31**

Nama Mahasiswa : **Nur Wakhid**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215021062

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.
NIP. 19640506 200003 1 001

Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.
NIP. 19700812 200112 1 001


2. Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ahmad Su'udi, S.T., M.T.
NIP. 19740816 200012 1 001

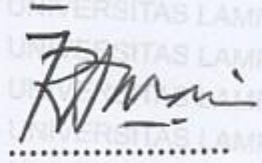
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

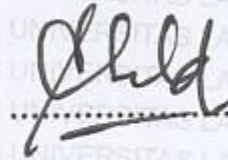
Ketua : Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin, M.T.



Anggota Penguji : Dr. Irza Sukmana, S.T., M.T.



Penguji Utama : Tarkono, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Februari 2018

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Wakhid
NPM : 1215021062
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam Peraturan Rektor Universitas Lampung Nomor: 06 Tahun 2016 tentang Peraturan Akademik Universitas Lampung yang dijelaskan pada pasal 36.

Bandar Lampung, Februari 2018

Yang Menyatakan



Nur Wakhid
NPM. 1215021062

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di desa Landoh Kabupaten Rembang Provinsi Jawa Tengah pada 4 Maret 1994, yang merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Aguswanto dan Siti Romlah. Penulis menyelesaikan pendidikan taman kanak-kanak di TK Sentana Landoh Kabupaten Rembang pada tahun 2000. Kemudian penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Landoh pada tahun 2006, lalu penulis melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 1 Sulang dan lulus pada tahun 2009. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK N 1 Rembang Provinsi Jawa Tengah dengan menempuh Jurusan Teknik Kendaraan Ringan (Otomotif) dan diselesaikan pada tahun 2012. Pada tahun yang sama penulis mengikuti Ujian Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tulis dan diterima sebagai Mahasiswa Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif dalam organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai staff bidang Penelitian dan Pengembangan (2013 - 2014), dan staff bidang Dana dan Usaha (2014 - 2015), lalu sebagai Kepala Biro Kesekretariatan UKPMF Cremona FT (2014 - 2015). Penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium Teknik Produksi (2015 - 2017) dan asisten laboratorium Komputasi Mekanik (2016 - 2017). Pada tahun 2015 penulis juga telah melakukan kerja praktek di PT. Daya Radar Utama Unit 3, Panjang, Bandar Lampung. Dan mengambil topik bahasan “Perencanaan dan Pelurusan Poros (*Shafting Alignment*) Pada Sistem Propulsi Kapal *Fast Patrol Boat*”. Kemudian Penulis juga melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode Januari 2016 dan ditempatkan di desa Kekatung, kecamatan Dente Teladas, Kabupaten Tulang Bawang. Dan pada Tugas Akhir penulis melakukan penelitian dengan judul “**Rancang Bangun Perangkat *Squeeze Casting* untuk Pembuatan Bahan Dasar Material Baut Tulang Berbasis Magnesium AZ31**”.

Persembahan



*Segala Puji Bagi Allah SWT, Dzat Yang Maha Sempurna
Sholawat serta Salam Selalu Tercurah Kepada Uswatun Hasanah
Muhammad Rasulullah SAW.*

*Kupersembahkan karya kecil ini sebagai tanda cinta & kasih
sayangku kepada:*

*Ibu (Siti Romlah) dan Bapak (AgusWanto), serta saudara-
saudaraku (Abdur Rouf), (Ahmad Farid) dan (Abdul Jamil)*

Para Pendidik di Lingkungan Teknik Mesin Universitas Lampung

Semua Sahabat-sahabatku

Almamater kebanggan Universitas Lampung

Motto

“Dan bahwasannya seorang manusia tidak memperoleh selain apa yang telah diusahakannya”

(QS. An-Najm [53]: 39)

Kudu Wani Tirakate

(Alm. Ust. H. M Nasir Khatifi)

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar.
Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang
senantiasa berusaha”

(B.J. Habibie)

COBALAH! KALO TIDAK MENCOBA KITA TIDAK AKAN
PERNAH TAHU APA HASILNYA NANTI

KALAU BISA DIKERJAKAN SEKARANG, JANGANLAH
MENUNGGU ESOK UNTUK MENERJAKANNYA

KEMALASANMU MENUNDA KEBERUNTUNGANMU

SANWACANA

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada manusia panutan yang akhlaknya paling mulia, yang telah membawa perubahan luar biasa, dan menjadi uswatun khasanah di muka bumi ini, yaitu Muhammad Rasulullah SAW.

Skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Perangkat *Squeeze Casting* untuk Pembuatan Bahan Dasar Material Baut Tulang Berbasis Magnesium AZ31” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, dan do’a berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku, Bapak (Aguswanto) dan Ibu (Siti Romlah) yang telah menjadi inspirasi dan motivasi kehidupanku. Terima kasih atas perhatian dan kasih sayang yang telah diberikan serta doa yang terus dilantunkan selama ini.
2. Bapak Prof. Suharno, M.S.,M.Sc.,Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Ahmad Su’udi, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Ir. Yanuar Burhanuddin., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan perhatian, dan memotivasi selama ini sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak Dr. Irza Sukmana. S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan sumbangan pemikiran, kritik, dan saran kepada penulis demi terselesaikannya skripsi ini.
6. Bapak Tarkono, S.T., M.T., selaku Dosen pembahas yang telah memberikan masukan baik kritik maupun saran yang sangat bermanfaat untuk penulis.
7. Ibu Ir. Arinal Hamni, M.T. Selaku dosen pembimbing akademik, terima kasih atas bimbingannya selama ini.
8. Seluruh Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis.
9. Adik-adikku, Abdur Rouf, Ahmad Farid dan Abdul Jamil, terima kasih atas bantuan, dukungan, serta doanya selama ini.
10. Teman – teman Tim Squeeze Casting, M Iqbal dan Pak Tri Cahyo terimakasih atas bantuan, semangat, dan kerjasamanya, sehingga terselesaikannya skripsi ini.
11. Sahabat-sahabat saya Iqbal, Bagus, Ajito, Ipin, Rifa'i, Muhdi, Komang, Raziz, Wahyu, Aziz, Iwan, Alvian yang selalu memberikan hiburan dan memotivasi agar tidak putus asa dan selalu bersemangat.
12. Teman-teman Teknik Mesin 2012, Dedi, Suef, Faris, Usup, Purnadi, Agus, Faris, Imam, Opi, Alex, Anggun, Aldi, Rizki, Fahmi, Farid Ijal, Bima, Cristian, Faisal, Arif, Imron, Sidiq dan lain – lain yang tidak dapat disebutkan semuanya. Terima kasih atas kebersamaannya dan semua bantuan yang telah

diberikan selama ini. Semoga kebersamaan kita selalu menjadi memori positif yang tidak terlupakan. “Salam Solidarity M Forever”.

13. Kakak-kakak tingkat Teknik Mesin angkatan 2010, dan 2011 serta adik-adik tingkatku angkatan 2013, 2014, 2015, 2016 dan 2017 terima kasih atas kebersamaannya.

14. Mas Agus, Mas Pono, Pak Joko, Mas Marta, Mas Dadang, Mas Nanang, terima kasih atas bantuan yang telah diberikan selama ini.

15. Dan Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga dengan kebaikan, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan pada penulis mendapat balasan pahala yang berlipat ganda dari Allah SWT dan semoga skripsi ini bermanfaat. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu’alaikum Wr. Wb.

Bandar Lampung, Februari 2018

Penulis

Nur Wakhid

NPM. 1215021062

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
HALAMAN MOTTO	x
HALAMAN PERSEMBAHAN	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	vix
DAFTAR TABEL	xxii
DAFTAR NOTASI	xxiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	5
1.3. Batasan Masalah	6

1.4 Sistematika Penulisan	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Magnesium	8
2.1.1. Sifat-sifat Magnesium	9
2.1.2. Penandaan Paduan Magnesium.....	11
2.2. Biomaterial.....	12
2.3. <i>Dynamic Compression Plate</i> (DCP)	15
2.4. Baut Tulang (<i>Bone Screw</i>).....	16
2.4.1 Berdasarkan dimensi dan Kegunaannya	17
2.4.2 Berdasarkan Cara Pemasangannya	19
2.5. <i>Squeeze Casting</i>	20
2.5.1 <i>Direct Squeeze casting</i> (DSC).....	21
2.5.2 <i>Indirect Squeeze casting</i> (ISC).....	23
2.5.3 Parameter Proses <i>Squeeze Casting</i>	24
2.6. Mesin Pres Hidrolik	26
2.7. Pemuaiian Zat Padat	27
2.8. Daya dan Kalor Energi Listrik.....	28
2.9. Perubahan Wujud Zat.....	29
2.10. Bejana Tekan (<i>Pressure Vessel</i>).....	30
2.11. Tegangan Tekuk.....	33
2.12. Stainless Steel AISI 304.....	36
III. METODE PENELITIAN	39
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2. Diagram Alir Penelitian	40

3.3. Desain Penelitian	42
3.3.1 Analisa Persiapan Pembuatan Baut Tulang	42
3.3.2 Penjelasan Mengenai Proses <i>Squeeze Casting</i>	42
3.3.3 Menentukan Jenis SC yang sesuai untuk Magnesium	43
3.3.4 Mekanisme Pemberian gas Argon	44
3.3.5 Persyaratan Peralatan Pembuatan Cetakan <i>Bone Screw</i>	44
3.4. Konseptual Desain	44
3.4.1 Pembuatan Konsep desain.....	44
3.4.2 Pemilihan konsep desain	44
3.4.3 Pengembangan desain	45
3.5. <i>Embodiment Desain</i>	45
3.5.1 Perencanaan komponen utama	45
3.5.2 Pemilihan material	46
3.5.3 Analisis Pemuaiian pada Dies	46
3.5.4 Analisis Waktu Pemanasan Dies.....	47
3.5.5 Analisis Gaya Tekan maksimal dinding Dies	47
3.5.6 Analisis beban Buckling Pada Punch.....	47
3.6. Perancangan Detail	48
3.7. Proses Fabrikasi dan Perakitan	48
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Pemilihan Konsep Desain <i>Squeeze Casting</i>	49
4.1.1 Evaluasi Konsep.....	49
4.1.2 Pemilihan konsep solusi	50
4.1.3 Pemodelan konsep desain	55

4.2 <i>Embodiment</i> Desain.	56
4.2.1 Perencanaan komponen Utama	56
4.2.2 Pemilihan material	64
4.2.3 Analisis Pemuaiian Pada Dies.....	65
4.2.4 Analisis Waktu Pemanasan	76
4.2.5 Analisis Tekanan <i>dies</i>	81
4.2.6 Analisis <i>Buckling</i> pada <i>Punch</i>	95
4.2.7 Analisis Tekanan Kerja Perangkat Squeeze Casting	107
4.3 Perancangan Detail.	109
4.3.1 Unit Casting	110
4.3.2 Unit Perangkat <i>Squeeze Casting</i>	112
4.4 Proses Fabrikasi dan Asembli.....	113
V. SIMPULAN DAN SARAN	117
5.1. Simpulan	117
5.2. Saran	118

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Penamaan paduan magnesium.....	12
2. <i>Dynamic Compression Plate</i>	15
3. Fiksasi eksternal dan fiksasi internal.....	16
4. Skematik bagian – bagian baut tulang	16
5. <i>Cortex screw</i>	17
6. <i>Malleolar Screw</i>	17
7. <i>Cancellous Bone Screws</i>	18
8. <i>Epiphyseal Screws</i>	18
9. <i>Threaded bolts with 2 nuts</i>	19
10. <i>Self tapping Screw</i>	20
11. <i>Non-Self tapping Screw</i>	20
12. Mekanisme <i>Direct Squeeze</i>	22
13. Mekanisme <i>Indirect Squeeze</i>	23
14. Mesin Press Hidrolik	26
15. Jenis bejana.....	30
16. Tegangan Tekuk	33
17. Kondisi tumpuan	34
18. Diagram Alir Penelitian.....	41
19. Skema perangkat <i>Squeeze Casting</i>	43

20. Konsep 1 Cetakan <i>Squeeze Casting</i>	51
21. Konsep 2 Cetakan <i>Squeeze Casting</i>	52
22. Konsep 3 Cetakan <i>Squeeze Casting</i>	53
23. Konsep desain nomor 3	55
24. Pengembangan konsep 3 dalam bentuk 3D.....	56
25. Dies.....	57
26. Bagian – bagian baut tulang	58
27. Dimensi bagian utama dies.....	60
28. Dimensi bagian utama Punch	61
29. Mesin Pres hidrolik.....	62
30. Unit Heater	63
31. Mekanisme pemberian argon	64
32. Membuat Model 3D	69
33. Memilih jenis simulasi	70
34. Memilih material dies.....	70
35. Menentukan kondisi batas	71
36. Memberikan beban <i>thermal</i>	72
37. Melakukan <i>running</i> simulasi	72
38. Hasil simulasi pemuaiian.....	73
39. Tekanan Internal dies	81
40. <i>Hoop Stress</i>	82
41. Membuat Model 3D	88
42. Memilih jenis simulasi	88
43. Memilih material dies.....	89

44. Menentukan kondisi batas	89
45. Memberikan beban tekanan internal	90
46. Melakukan <i>running</i> simulasi	91
47. Hasil Simulasi <i>Hoop Stress</i>	91
48. Kondisi Tumpuan <i>Punch</i>	97
49. Membuat Model 3D	101
50. Memilih jenis simulasi	101
51. Memilih material dies.....	102
52. Menentukan kondisi batas	102
53. Memberikan beban gaya tekan kritis.....	103
54. Melakukan <i>running</i> simulasi	103
55. Hasil Simulasi <i>Buckling</i>	104
56. Unit Casting.....	110
57. Dimensi komponen unit casting	111
58. Perangkat <i>Squeeze Casting</i>	112
59. Hasil Fabrikasi Cetakan.....	114
60. Pemasangan heater dan cover heater	115
61. Hasil rancang bangun perangkat <i>squeeze casting</i>	116

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat Atom Magnesium.....	9
2. Sifat Fisik Magnesium.....	10
3. Konstanta Kondisi Tumpuan.....	35
4. Sifat Mekanik Stainless Steel AISI 304	37
5. Sifat Fisik Stainless Steel AISI 304.....	38
6. Jadwal Kegiatan Penelitian.....	39
7. Matrik keputusan metode konsep <i>screening</i>	54
8. Dimensi baut tulang jenis <i>cortex screw</i>	58
9. Spesifikasi dari unit pemanas	63
10. Pemilihan material.....	65
11. Nilai Interpolasi Koefisien muai tiap variasi temperatur kerja	67
12. Hasil perhitungan pemuaian yang terjadi pada dies	68
13. Pemuaian hasil simulasi	73
14. Nilai error pemuaian perhitungan dan simulasi.....	75
15. Nilai Kalor jenis pada tiap variasi temperatur kerja.....	77
16. Hasil perhitungan waktu pemanasan cetakan.....	79
17. Hasil Interpolasi Nilai Yield Strength	83
18. Hasil Perhitungan analisis tekanan maksimal pada dies	86

19. Nilai hoop stress hasil simulasi	92
20. Nilai error hoop stress antara teoritis dengan simulasi.....	94
21. Nilai Modulus Elastisitas tiap variasi temperatur kerja.....	96
22. Hasil analisis tekuk buckling.....	99
23. Nilai tegangan kritis permukaan.....	104
24. Nilai error tegangan kritis permukaan.....	106
25. Tekanan Kerja Perangkat <i>Squeeze Casting</i>	108
26. Nama dan fungsi komponen dari unit casting	111
27. Nama dan fungsi komponen.....	113

DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Satuan
r_f	Jari-jari akhir lingkaran	m
r_o	Jari-jari awal lingkaran	m
α	Koefisien muai panjang zat padat	(10^{-6} m/m.K)
r_f	jari – jari akhir lingkaran	m
Δd	Selisih diameter	m
d_f	diameter akhir lingkaran	m
d_i	diameter awal lingkaran	m
T_k	Temperatur Kerja	$^{\circ}\text{C}$
T_{sb}	Temperatur sumber nilai bawah	$^{\circ}\text{C}$
T_{sa}	Temperatur sumber nilai atas	$^{\circ}\text{C}$
α_k	Koefisien muai kerja	$(10^{-6} \text{ m/ m.}^{\circ}\text{C})$
α_{sb}	Koefisien muai sumber nilai bawah	$(10^{-6} \text{ m/ m.}^{\circ}\text{C})$
α_{sa}	Koefisien muai sumber nilai atas	$(10^{-6} \text{ m/ m.}^{\circ}\text{C})$
P	Daya	<i>watt</i>
V	Tegangan	<i>volt</i>
I	Arus	<i>ampere</i>
Q	Kalor	Joule
t	Waktu	Detik
m	Massa zat	kg
Cp	Kalor jenis zat	$(\text{J/kg } ^{\circ}\text{C})$
ΔT	Perubahan suhu	$^{\circ}\text{C}$

C_{pk}	Kalor jenis kerja	(J/Kg.K)
C_{psb}	Kalor jenis sumber nilai bawah	(J/Kg.K)
C_{psa}	Kalor jenis sumber nilai atas	(J/Kg.K)
P_{max}	Tekanan internal maksimal	(N/mm ²)
F_y	<i>Yield Strength</i>	(N/mm ²)
S	Nilai tegangan	(N/mm ²)
E	Efisiensi sambungan	-
t	Tebal dinding silinder	mm
R_{in}	Jari-jari dalam silinder	mm
F_{max}	Gaya tekan internal maksimal	N
A	Luas dinding dalam silinder	mm ²
σ_{hoop}	Tegangan <i>hoop</i> / tegangan arah <i>circumferential</i>	N/mm ²
R_{out}	Jari-jari luar silinder dies	mm
F_{yk}	<i>Yield Strength</i> kerja	MPa
F_{ysb}	<i>Yield Strength</i> nilai bawah	MPa
F_{ysa}	<i>Yield Strength</i> nilai atas	MPa
I	Momen Inersia	mm ⁴
d	Diameter punch	mm
C	Konstanta Kondisi Tumpuan	-
E	Modulus Elastisitas	N/mm
L	Panjang <i>Punch</i> maksimum	mm
σ_{cr}	Tegangan kritis (buckling)	N/mm ²
P_{cr}	Gaya tekan /beban kritis	N
A	Luas permukaan penampang	mm ²
P_{izin}	Gaya tekan /beban yang diizinkan	N
Fs	Faktor keamanan	-
E_k	Modulus Elastisitas kerja	GPa
E_{sb}	Modulus Elastisitas nilai bawah	GPa
E_{sa}	Modulus Elastisitas nilai atas	GPa

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Magnesium merupakan salah satu jenis logam yang dikategorikan logam ringan. Permintaan magnesium paduan untuk keperluan industri telah meningkat selama beberapa dekade terakhir ini, dimana hal tersebut tidak lepas dari perkembangan dalam proses pengerjaannya yang semakin maju pesat. Magnesium merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Mg dengan nomor atom 12 serta berat atom 24,31 gr/mol. Magnesium merupakan salah satu unsur yang paling luas penyebarannya serta merupakan unsur penyusun 2% dari kerak bumi dan juga unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut (Padmanaban et al, 2011).

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 (Andriansyah, 2014). Magnesium banyak digunakan dalam komponen peralatan industri, produk otomotif, maupun pertanian. Magnesium juga digunakan sebagai bahan untuk membuat rudal karena sifatnya yang ringan (Padmanaban et al, 2011).

Selain digunakan dalam bidang – bidang tersebut sekarang ini magnesium banyak diteliti dan dikembangkan untuk bidang biomaterial, khususnya dalam dunia orthopedi, karena didalam tubuh manusia dewasa mengandung sekitar 24 gram magnesium, dengan 60% berada dalam tulang, (39% intraseluler, 20% di otot rangka, dan 1% ekstraseluler) (Supriadi dkk, 2015). Asupan rata-rata harian manusia dewasa adalah 300 – 400 mg, dan ion magnesium dapat dengan aman dan efisien diekskresi oleh ginjal melalui urin (Song, 2007), kemudian magnesium juga merupakan elemen penting dalam berbagai reaksi metabolisme dalam tubuh. Oleh karena itu, magnesium dan paduannya memiliki potensi yang besar untuk menjadi bahan biomaterial implan yang dapat terdegradasi, sehingga tepat untuk aplikasi biomedis (Waizy et al, 2012). Biomaterial adalah semua jenis material yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan yang rusak pada tubuh (Supriadi dkk, 2015), sebuah material dapat digunakan sebagai biomaterial harus memenuhi beberapa persyaratan yang utama dan terpenting adalah biomaterial tersebut harus biokompatibel, artinya biomaterial ini harus tidak menyebabkan respon yang merugikan pada tubuh, seperti tidak beracun atau tidak karsinogenik (Xin et al, 2011).

Secara umum persyaratan material implan harus memiliki kekuatan mekanis yang mencukupi dalam jangka waktu tertentu sampai penyembuhan jaringan tersebut selesai. Material *plate* dan *screw* yang sekarang umum digunakan adalah logam baja tahan karat, seperti *cobalt alloy*, titanium, dan material *resorbable* berbahan dasar polimer (Badeges, 2012). Dari material – material tersebut tentu memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing, pada

material implan tahan karat titanium dan *cobalt alloy* memiliki sifat resistansi korosi dan sifat mekanik yang baik, tetapi harus dilakukan operasi pengangkatan kembali karena material tersebut tidak dapat terdegradasi oleh tubuh, sedangkan material *resorbable* polimer dapat terdegradasi dalam tubuh, tetapi mempunyai sifat mekanis yang rendah sehingga tidak cocok untuk implan jaringan keras seperti tulang (Wang *and* Shi, 2011).

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. (Karayan *dkk*, 2011), kemudian logam ini juga memiliki beberapa kelebihan yaitu magnesium termasuk dalam golongan logam ringan dengan densitas 1.74 sampai 2 g/cm³ mendekati densitas tulang (1.8 – 2.1 g/cm³) dan lebih rendah dari titanium alloy (4.4 – 4.5 g/cm³) kemudian memiliki *fracture toughness* lebih tinggi bila dibandingkan dengan biomaterial keramik, serta memiliki modulus elastisitas (41- 45 GPa) yang mendekati tulang sehingga dapat mencegah efek *stress shielding* (Song, 2007). Selain itu bahan baku dari magnesium jauh lebih ekonomis dibandingkan bahan lain seperti titanium dan baja tahan karat, oleh karena berbagai kelebihan itulah magnesium berpotensi besar untuk dapat digunakan sebagai biomaterial implan (Gu *and* Zheng, 2010).

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 (Wang *and* Shi, 2011). Oleh karena itu diperlukan 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 (Syafliida, 2012). Salah satu proses perlakuan atau pengerjaan terhadap logam magnesium yang bisa melakukan perbaikan butir adalah dengan cara *Squeeze Casting* (Elfendri, 2007).

Squeeze Casting adalah proses pengecoran dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan tinggi diantara cetakan (*dies*) dan batang pendorong (*punch*) dengan tenaga hidrolis. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan dari proses tempa dan pengecoran (Tjitro dan Firdaus, 2001). Pengecoran *squeeze* sering juga diidentikkan dengan *extrusion Casting*, *liquid pressing*, *pressure crystallisation*, dan *squeeze forming* (Elfendri, 2010).

Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa proses *Squeeze Casting* dapat meningkatkan sifat mekanis, perbaikan struktur mikro, maupun resistansi korosi. Penelitian Budiarto dan Djatmiko Eddy (2011), menyebutkan bahwa setelah dilakukan proses *Squeeze Casting* pada produk paduan Al₇₈ Si₂₂, hasil analisis struktur mikro memperlihatkan bahwa paduan Al₇₈ Si₂₂ cukup homogen, kemudian hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan

meningkat seiring dengan kenaikan temperatur dies dari 74,1 – 87,5 kg/mm². Lalu penelitian Respati dkk (2010), menunjukkan hasil bahwa pengecoran *squeeze* mampu mengurangi cacat penyusutan, struktur butir silikon semakin halus, dan juga dapat meningkatkan dan meratakan distribusi nilai kekerasan Brinell, penurunan temperatur cetakan menyebabkan struktur silikon semakin halus dan kekerasan naik. Kemudian penelitian yang dilakukan Abdillah (2009), menunjukkan bahwa laju pendinginan material aluminium akibat pengaruh tekanan dan temperatur die sangat signifikan pengaruhnya terhadap perbaikan sifat benda uji. Dari hasil pengamatan, proses ini mampu menurunkan porositas sampai 83,00 % dan memperbaiki kekerasan sebesar 5.42 %.

Dari beberapa penelitian tentang *squeeze casting* yang telah dilakukan tersebut, maka terdapat peluang untuk meningkatkan karakteristik dan sifat mekanik terhadap material magnesium, sehingga perlu dilakukan rancang bangun perangkat *squeeze casting* untuk pembuatan bahan dasar baut tulang berbasis magnesium AZ31 agar nantinya magnesium tersebut bisa digunakan untuk membuat baut implan biomaterial.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat perangkat *squeeze casting* untuk pembuatan bahan dasar baut tulang berbasis magnesium AZ31.
2. Menentukan spesifikasi perangkat *squeeze casting* yang telah dibuat, berdasarkan data analisis pemuaian, analisis waktu pemanasan, analisis kekuatan cetakan, dan analisis beban *buckling* yang terjadi.

1.3. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat *Squeeze Casting* disesuaikan dengan salah satu dimensi baut tulang jenis *cortex screw*.
2. Analisis yang dilakukan adalah pada bagian cetakan dan penekan.
3. *Heater* yang digunakan adalah jenis *heater* listrik.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 bab dengan rincian sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Menguraikan mengenai Latar Belakang, Tujuan Penelitian, Batasan Masalah dan Sistematika Penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Menguraikan mengenai Magnesium (Mg), Biomaterial, *Dynamic Compression Plate* (DCP), Baut Tulang (*Bone Srew*), *Squeeze Casting*, Mesin Pres Hidrolik, Pemuai Zat Padat, Daya dan Kalor Energi Listrik, Perubahan Wujud Zat, Bejana Tekan (*Pressure Vessel*), Tegangan Tekuk (*buckling*), dan Stainless Steel AISI 304.

3. Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini menjelaskan mengenai Tempat dan waktu penelitian, Diagram Alir Penelitian, Desain Penelitian, Konseptual Desain, *Embodiment Desain*, Perancangan Detail, Proses Fabrikasi dan Perakitan.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini menguraikan Pemilihan Konsep Desain *Squeeze Casting*, *Embodiment Desain*, Perancangan Detail, Proses Fabrikasi dan Asembli.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Magnesium (Mg)

Pada tahun 1808 Sir Humphrey Davy menemukan Magnesium untuk pertama kalinya, memerlukan waktu sekitar 100 tahun lebih sebelum permintaan kebutuhan pada magnesium dikembangkan dan mulai digunakan secara massal sebagai unsur paduan pada paduan aluminium (Purnomo, 2017). Magnesium merupakan suatu logam yang mempunyai sifat-sifat sama dengan aluminium. Logam ini diperoleh dengan cara elektrolisis dari magnesit (MgCO_3), dolomit ($\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$) atau karnalit ($\text{MgCl}_2 \times \text{KCl}$). Magnesium terutama dipakai sebagai bagian campuran untuk aluminium. Akan tetapi ada pula paduan kepal magnesium atau paduan tuang magnesium, dengan Al (sampai 11 %), Zn (sampai 4,5 %), dan Si (sampai 2 %).

Magnesium tidak tahan terhadap asam, tetapi berlawanan dengan aluminium. Magnesium tahan terhadap alkali dan tahan pula terhadap kebanyakan zat organik, jadi terutama dipakai di industri kimia (Amanto dan Daryanto, 2003). Pada tahun 1930 logam magnesium dapat diproduksi untuk pembuatan produk cor, paduan logam magnesium sangat kuat namun beratnya ringan sehingga logam magnesium banyak digunakan untuk industri pesawat terbang dalam perang dunia II dan setelahnya (Padmanaban, 2011).

Magnesium merupakan logam yang paling ringan dari semua logam yang umum digunakan sebagai logam struktural, magnesium merupakan elemen berlimpah, yang terdiri dari 2 % dari kerak bumi, dan tersedia secara komersial dengan kemurnian melebihi 99,8 %. Magnesium memiliki temperatur leleh yang relatif rendah dan spesifik panas yang tinggi. Oleh karena itu, magnesium dan paduannya dapat dengan mudah dibentuk dengan metode pengecoran konvensional (Nie, 2012).

Magnesium biasa dicampur dengan bahan lain seperti Aluminium, Mangan, dan juga Zinc untuk meningkatkan sifat fisik, namun tetap dengan beberapa persentase yang berbeda (Buldum, 2011).

2.1.1.Sifat-sifat Magnesium

2.1.1.1. Sifat Murni Magnesium

Magnesium diklasifikasikan sebagai logam alkali tanah. Hal ini dapat dilihat dalam tabel periodik yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Sifat Atom Magnesium (Sumber: Friedrich *and* Mordike, 2006).

Simbol Unsur	Mg
Nomor Atom	12
Berat Atom	24,3050
Diameter Atom	0,320
Volume Atom	14,0 cm ³ / mol

Logam alkali tanah ini digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran magnesium- aluminium yang sering disebut "*magnalium*" atau "*magnelium*".

Seperti halnya pada aluminium, magnesium juga sangat mudah bersenyawa dengan udara (Oksigen). Dibanding dengan aluminium, magnesium memiliki permukaan yang keropos, ini disebabkan oleh kelembaban udara karena *oxid film*. Terbentuknya *oxid film* pada permukaan magnesium hanya mampu melindungi dari udara yang kering. Ketahanan lapisan *oxid* pada magnesium dalam melindunginya dari gangguan korosi dipengaruhi oleh unsur air dan garam pada kelembaban udara. Untuk itu benda kerja yang menggunakan bahan magnesium ini diperlukan lapisan tambahan perlindungan, misalnya cat dan lain – lain.

2.1.1.2. Sifat Fisik Magnesium

Daftar sifat fisik magnesium ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisik Magnesium (Sumber: Purnomo, 2017)

Sifat Fisik	Magnesium Paduan
Titik cair, K	922 K
Titik didih, K	1380 K
Energi ionisasi 1	738 kJ/mol
Energi ionisasi 11	1450 kJ/mol
Kerapatan massa (ρ)	1,74 g/cm ³
Jari-jari atom	1,60 A

Kapasitas panas	1,02 J/gK
Potensial ionisasi	7,646 Volt
Konduktifitas kalor	156 W/mK
Entalpi penguapan	127,6 kJ/mol
Entalpi pembentukan	8,95 kJ/mol

2.1.1.3. Sifat Mekanik

Magnesium memiliki kekuatan tarik murni sebesar 110 N/mm^2 dalam bentuk hasil pengecoran (*Casting*). Untuk meningkatkan angka kekuatan tarik ini dapat dilakukan melalui proses pengerjaan. Magnesium memiliki modulus elastis yang sangat rendah dan bersifat lembut. Dalam sifat pengerjaannya magnesium memiliki struktur yang berada di dalam kisi *hexagonal* sehingga tidak mudah terjadi slip. Disamping itu, presentase perpanjangannya hanya mencapai 5 % dan hanya mungkin dicapai melalui pengerjaan panas (Andriyansyah, 2013).

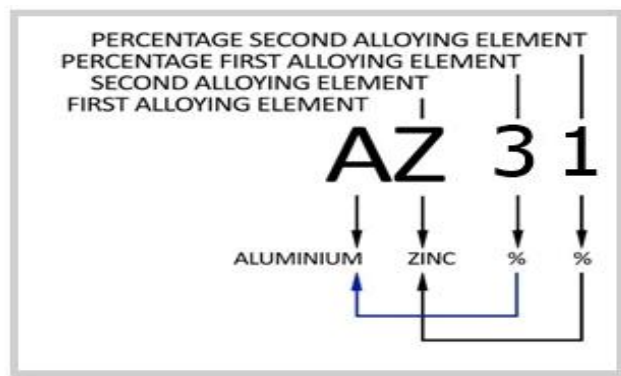
2.1.2. Penandaan paduan magnesium

Paduan Magnesium ditetapkan sebagai berikut :

1. Satu atau dua huruf awalan, menunjukkan elemen paduan utama.
2. Dua atau tiga angka, menunjukkan persentase unsur paduan utama dan dibulatkan ke desimal terdekat.
3. Huruf abjad (kecuali huruf I dan O) menunjukkan standar paduan dengan variasi kecil dalam komposisi.

4. Simbol untuk sifat material, mengikuti sistem yang digunakan untuk paduan aluminium.
5. Sebagai contoh, Pada Magnesium paduan AZ31.

Unsur-unsur paduan utama adalah aluminium (Al sebesar 3%, dibulatkan) dan seng (Zn sebesar 1%). Untuk detail lebih jelasnya dijelaskan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Penamaan paduan magnesium (Sumber: Riyadi, 2015)

2.2. Biomaterial

Biomaterial adalah semua jenis material organik atau non organik, alami ataupun sintesis yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan yang rusak pada tubuh (Supriadi dkk, 2015), Biomaterial secara umum dapat diartikan sebagai material yang ditanam di dalam tubuh manusia untuk pengganti jaringan atau organ tubuh yang terserang penyakit ataupun yang rusak atau cacat.

Biomaterial mempunyai peranan penting dalam banyak aspek bagi proses penyembuhan, terapi dan pencegahan dalam dunia kesehatan. Mereka memainkan peranan yang penting dalam dunia medis, seperti, pendistribusi

obat (*drug delivery system*), perbaikan jaringan (*tissue*), teknik diagnostik, dan *replacement technology*. Karena memiliki potensi yang besar dalam peningkatan kualitas hidup, biomaterial merupakan salah satu fokus utama pada bidang riset / penelitian di seluruh dunia. (Syatur, 2016).

Sebuah material dapat digunakan sebagai biomaterial harus memenuhi beberapa persyaratan yang utama dan terpenting adalah biomaterial tersebut harus biokompatibel, artinya biomaterial ini harus tidak menyebabkan respon yang merugikan pada tubuh, seperti tidak beracun atau tidak karsinogenik (Xin et al, 2011). Persyaratan inilah yang mengeliminasi berbagai material teknik lainnya, selain itu biomaterial harus memiliki sifat mekanik dan fisik agar bisa berfungsi sebagai pengganti atau pengganti pada jaringan tubuh (Badeges, 2012). Untuk aplikasi secara klinis, biomaterial harus dapat dengan mudah dibentuk atau dilakukan proses pemesinan kedalam beberapa bentuk, bahan bakunya banyak tersedia di pasaran, dan memiliki harga yang relatif lebih murah (Davis, 2003).

Berikut adalah jenis-jenis biomaterial yang telah diaplikasikan :

Terdapat berbagai macam jenis biomaterial yang digunakan saat ini, dari berbagai macam jenis tersebut biomaterial diklasifikasikan menjadi empat, yaitu (Syatur, 2016) :

1. Biomaterial polimer (*biopolymer*)

Selulosa adalah biopolimer yang paling umum dan juga merupakan senyawa organik yang paling banyak di bumi. Jenis biomaterial ini ini biasanya digunakan untuk implan jaringan lunak. Kelebihan dari jenis ini adalah kenyal dan mudah diproduksi, sedangkan kekurangannya yaitu tidak

kuat, mudah terdeformasi. Contoh : Benang bedah, pembuluh darah, sel-sel yang halus, sendi pinggul

2. Biomaterial keramik (*bioceramic*)

Keramik yang digunakan sebagai biomaterial berfungsi untuk mengisi cacat pada gigi atau tulang, untuk melengkapi grafit tulang, patahan, atau *prostheses* pada tulang dan untuk menggantikan jaringan yang rusak. Biokeramik dapat diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu: bioinert keramik, bioaktif keramik dan bioresorbable keramik. Kelebihan dari jenis ini adalah biokompatibilitas tinggi, kekurangannya yaitu rapuh, tidak kenyal, tidak kuat ditekan, contoh biomaterial keramik yaitu gigi buatan dan tulang buatan.

3. Biomaterial komposit

Merupakan kombinasi dari beberapa jenis material yang direkayasa sedemikian rupa untuk mendapatkan sifat – sifat yang diinginkan agar dapat memenuhi kriteria sebagai biomaterial. Kelebihan jenis ini adalah kuat dan dapat disesuaikan bentuknya, sedangkan kekurangannya yaitu proses pembuatan yang sulit , contohnya *Bone Cement* dan dental resin.

4. Biomaterial logam (*biometals*)

Pada saat ini, biomaterial logam yang banyak diteliti dan dikembangkan adalah biomaterial logam mampu terdegradasi. Biomaterial logam mampu luruh merupakan paduan logam yang ditanamkan ke dalam jaringan tubuh yang diharapkan mampu terdegradasi secara alami karena keberadaannya tidak diperlukan secara permanen dalam tubuh, contohnya seperti *stent* jantung. Sejauh ini telah dikembangkan dua jenis biomaterial logam yaitu

paduan magnesium dan paduan besi. Kelebihan dari biomaterial ini adalah kuat, tangguh, dan *ductile*, sedangkan kekurangannya adalah dapat terkorosi, berat jenis besar, proses pembuatannya sulit. Contoh dari biomaterial logam yaitu Tulang sendi, akar gigi buatan, pelat dan baut tulang.

2.3. *Dynamic Compression Plate (DCP)*

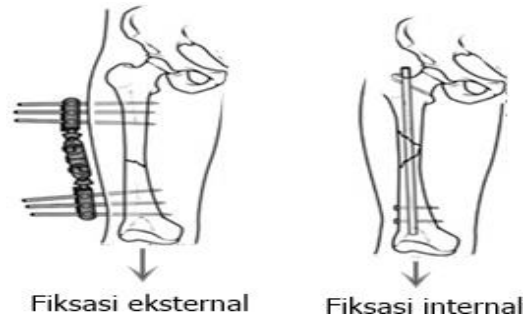
Dynamic Compression Plate (DCP), adalah nama lain dari plat penyambung tulang, nama plat ini berasal dari desain lubang sekrup atau bautnya, yang dikombinasikan dengan tekanan dinamis dalam satu unit plat (Fauzi, 2014). Salah satu DCP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Dynamic Compression Plate*

(Sumber: www.indiamart.com/balaji-ortho-tools/orthopedic-implants)

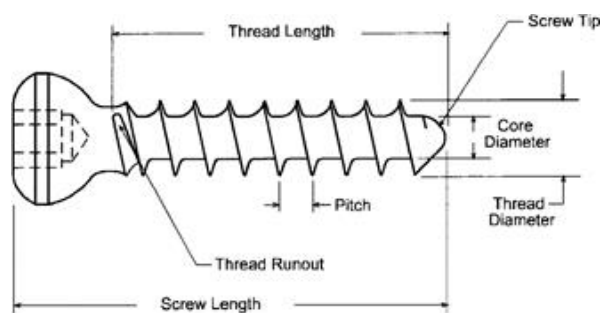
Pelat DCP terdiri dari dua bagian utama, yaitu pelat yang berlubang dan baut tulang yang berfungsi untuk mengikat pelat dan tulang. Teknik pemasangannya, pelat DCP dapat dibagi dua bagian, yaitu secara internal dimana pelat dipasang langsung ke tulang atau di dalam kulit, dan external atau dipasang di luar kulit (Sukmana, dkk, 2016). Proses fiksasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Fiksasi eksternal dan fiksasi internal (Sumber: Hermanto, 2016).

2.4. Baut Tulang (*Bone Screw*)

Sekrup atau baut tulang merupakan salah satu implan yang mempunyai peran penting dalam menghubungkan serta mengikat plat implan (DCP) dengan tulang agar plat implan tetap terpasang rapat pada tulang dan pada sambungan tulang yang patah. Pentingnya peranan baut tulang pada penggunaan DCP mengakibatkan sekrup implan harus memiliki kekuatan yang baik untuk menahan beban pasien ketika sedang bergerak. *American Standard for Testing and Materials* (ASTM) adalah standar uji untuk semua material teknik termasuk sekrup implan biomaterial (Fauzi, 2014). Bagian-bagian dari baut tulang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik bagian – bagian baut tulang (Sumber: ASTM *Designation: F 543 – 02. Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws*).

Baut tulang memiliki berbagai macam jenis yang berbeda, jenis- jenisnya akan dijabarkan berikut ini.

2.4.1. Berdasarkan dimensi dan kegunaannya

Ada beberapa macam baut penyambung tulang, berdasarkan dimensi dan kegunaannya, maka baut tulang dibagi atas 5 macam, dari kelima baut tersebut mempunyai nama dan fungsi sebagai fiksasi pengencangan berdasarkan posisi fragmen patah pada region klasifikasi pada tulang (Hasriani, 2014).

1. Cortex Screws



Gambar 5. *Cortex screw* (Sumber:

http://www.orthocareandcure.com/userfiles/Cortical_Screw_3.5_mm_20_TP.jpg)

Cortex Screw ditunjukkan pada Gambar 5. Sekrup yang besar berdiameter 4,5 mm, panjang *thread* atau dradnya mulai dari kepala sekrup sampai ke ujung ada yang mulai dari 24 mm sampai 70 mm.

2. Malleolar Screws



Gambar 6. *Malleolar Screws* (Sumber: Hasriani, 2014)

Malleolar Screws ditunjukkan pada Gambar 6. Sekrup jenis ini hanya berdiameter 4,5 mm dan mempunyai panjang mulai dari 25 mm sampai 70 mm dan panjang *thread* hanya setengah dari panjang total.

3. *Cancellous Bone Screws*



Gambar 7. *Cancellous Bone Screws*

(Sumber: Hasriani, 2014).

Gambar 7 adalah gambar *Cancellous Bone Screws*. Sekrup jenis ini ada yang *fully thread* dan ada yang *short thread*. Sekrup yang besar *threadnya* berdiameter 6,5 mm sedangkan yang kecil berdiameter 4 mm.

4. *Epiphyseal Screws*



Gambar 8. *Epiphyseal Screws*

(Sumber: Hasriani, 2014).

Epiphyseal Screws ditunjukkan pada Gambar 8. Sekrup jenis ini mempunyai kepala yang berdiameter 10 mm, dan

berdiameter *thread* 6,5 mm, dan panjang total sekrup mulai dari 50 sampai 90 mm, panjang *thread* hanya kira-kira seperempat dari panjang total.

5. *Threaded bolts with 2 nuts*

Gambar 9 adalah *Threaded bolts with 2 nuts*. Diameter *thread* 3 mm dan diameter Nut (mur) 11 mm. Panjangnya ada yang 70 mm, 100 mm dan 120 mm.



Gambar 9. *Threaded bolts with 2 nuts*

(Sumber: Hasriani, 2014)

2.4.2. Berdasarkan cara pemasangannya.

Baut tulang mempunyai perbedaan dalam proses pemasangannya, diantaranya adalah (Gilley *and* Gold, 2006) :

1. *Self tapping Screw*

Sekrup dirancang agar setelah plot lubang tulang dibor sekrup bisa langsung dimasukkan dalam tulang tanpa perlu dilakukan pretapping, sehingga pemasangan lebih mudah dan cepat. *Self tapping Screw* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar10. *Self tapping Screw* (Sumber: Gilley and Gold. 2006).

2. *Non-Self-Tapping Screws*

Pada jenis ini sebelum Sekrup dimasukkan ke dalam tulang diperlukan pre-tapping terlebih dahulu. Jenis ini memungkinkan untuk hasil yang lebih presisi dalam fiksasi dan biasanya digunakan untuk jaringan tulang keras. *Non-Self-Tapping Screws* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. *Non-Self-Tapping Screws* (Sumber: Gilley and Gold. 2006).

2.5 *SQUEEZE CASTING*

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. Proses ini memiliki hasil sifat mekanis, permukaan, kepadatan, dan keakuratan dimensi yang sangat baik, teknik *Squeeze casting* merupakan teknik pengecoran yang efektif (Hardianto, 2014).

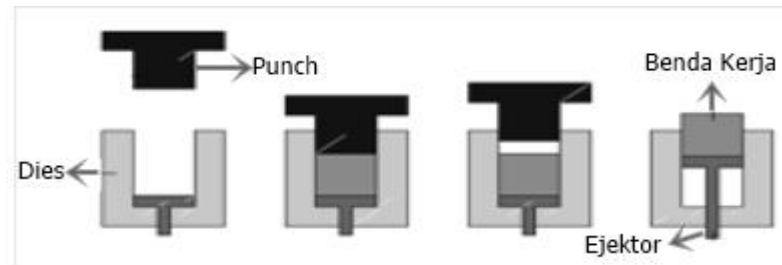
Die atau cetakan dalam proses *Squeeze casting* umumnya dapat digunakan kembali, meskipun *Squeeze casting* menjadi istilah yang umum digunakan saat ini, istilah *extrusion casting*, *pressure cristalisation*, *liquid pressing*, dan *squeeze forming* merupakan nama lain dari proses ini. Dalam proses 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.

Squeeze casting pertama kali dilakukan di negara Rusia oleh Chernov pada tahun 1878, proses ini pada dasarnya adalah untuk mengkombinasikan keuntungan – keuntungan pada proses casting dan forging (Tjitro dan Firdaus, 2001). Setelah beberapa abad dari penemuan ini, *squeeze casting* digunakan secara komersial di beberapa negara, termasuk Eropa dan Jepang. Sejalan dengan komersialisasi, terdapat beberapa pusat penelitian di seluruh dunia yang aktif meneliti perkembangan publikasi lebih lanjut. Hal ini dibuktikan dengan lebih dari 700 tulisan dalam berbagai jurnal teknik dan ilmiah lainnya, terutama yang berkaitan dengan aluminium dan paduan magnesium (Dianegara, 2010). Dalam pengecoran *Squeeze*, mekanisme pengisian logam dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting* (Taufiqurrahman, dkk. 2013).

2.5.1. Direct Squeeze casting (DSC)

DSC merupakan istilah yang diberikan untuk proses pengecoran, dimana logam cair didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung sehingga diharapkan mampu mencegah munculnya porositas

gas dan penyusutan. Proses ini biasanya juga dikenal dengan sebutan *liquid metal forging*, *squeeze forming*, *extrusion casting* dan *pressure cristalisation*. Mekanisme DSC dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Mekanisme *Direct Squeeze Casting*

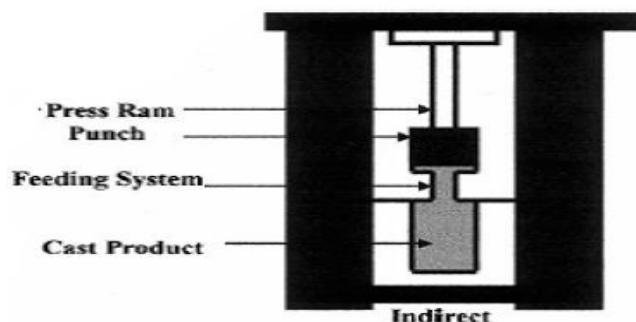
(Sumber: Taufikurrahman, dkk. 2013).

Keuntungan utama dari proses DSC adalah :

1. Tidak memerlukan gating sistem, sehingga tidak terjadi pembuangan material.
2. Mampu menghasilkan produk tanpa porositas gas dan penyusutan.
3. Tidak terlalu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
4. Mikrostruktur produk dapat dimanipulasi dengan mudah melalui beberapa proses kontrol yang baik.
5. Sifat mekanik hasil produk coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain.
6. Merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit atau paduan *ferrous* maupun *non ferrous* dengan bentuk mendekati kesempurnaan.

2.5.2 *Indirect Squeeze casting (ISC).*

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan lubang berdiameter kecil (*gating system*) dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Mekanisme ISC dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Mekanisme *Indirect Squeeze Casting*

(Sumber: Taufikurrahman, dkk. 2013)

Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks. Proses ini sebetulnya merupakan proses perpaduan antara *low pressure* dan *high pressure die casting* (Dianegara. 2010). Proses ISC ini tidak sebaik proses DSC. Secara khusus ada dua kelemahan ISC dibanding dengan DSC:

1. Bahan baku yang digunakan tidak efisien, karena adanya kebutuhan pembuatan *runner* dan *gating system*. Efisiensi pemakaian bahan hanya 28%. Sebagai contoh untuk menghasilkan piston dengan berat 0,62 kg diperlukan bahan cor seberat 2,2 kg.
2. Sulit untuk mendapatkan permukaan coran yang memiliki kekuatan tinggi, karena permukaan dies tidak menyentuh material secara

langsung, sehingga masih memungkinkan untuk terjadinya cacat pada produknya.

2.5.3. Parameter proses *squeeze casting*

Dalam proses pengecoran *squeeze* untuk memperoleh produk yang memenuhi syarat – syarat ideal, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan (Tjitro dan Firdaus, 2001), diantaranya adalah :

1. Volume cairan Logam (*melt volume*)

Ketika logam cair dituangkan kedalam rongga cetak (*dies*) volume cairan memerlukan kontrol yang akurat.

2. Temperatur tuang (*casting temperature*)

Temperatur tuang yang digunakan pada umumnya 6-55°C diatas temperatur liquiditus, akan tetapi temperatur tersebut menyesuaikan pada jenis paduan yang digunakan.

3. Temperatur perkakas (*tooling temperatur*)

Temperatur perkakas merupakan salah satu parameter yang penting untuk diperhatikan, karena dengan adanya perubahan temperatur maka dimensi dari Perkakas *squeeze casting* akan berubah karena terjadi pemuaian, sehingga *clearance* antara *punch* dengan *dies* akan ikut berubah juga, nilai *clearance* yang terlalu rendah akan menyebabkan gesekan yang besar pada *punch* dengan *dies*, sedangkan *clearance* yang terlalu besar akan menyebabkan material keluar melalui kelonggaran yang ada.

4. Waktu tunggu (*time delay*)

Bentuk permukaan yang kompleks memerlukan beberapa waktu untuk mengisinya logam cair ke dalam rongga cetakan, maka dari itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum punch melakukan penekanan

5. Batas tekanan (*pressure level*).

Bentuk geometri dan komponen serta sifat mekanis dapat mempengaruhi besar tekanan yang dibutuhkan sehingga terdapat beberapa perbedaan penekanan untuk jenis – jenis paduan yang akan dilakukan proses ini.

6. Durasi penekanan (*pressure duration*).

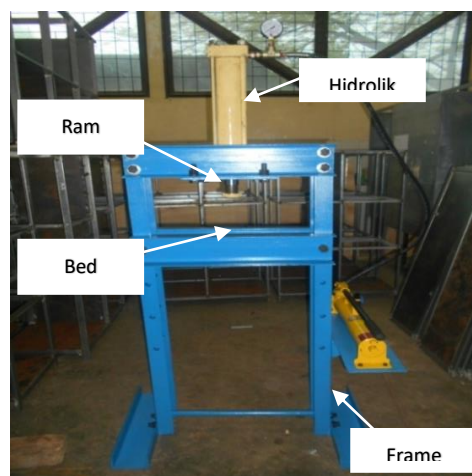
Durasi penekanan mulai dihitung dari saat punch di titik terendah sampai penekanan dilepaskan. Produk coran dengan berat 9 Kg, durasi penekanan bervariasi dari 30-120 detik. Lama waktu yang dibutuhkan menyesuaikan besar geometri produk yang akan dibuat.

7. Pelumasan (*Lubrication*).

Pelumasan bertujuan untuk mempermudah proses pengeluaran produk coran, pada jenis material *ferros casting* umumnya dilapisi dengan sejenis bahan keramik yang bertujuan menghindari terjadinya efek pengelasan antara produk dan cetakan, sedangkan pada material jenis aluminium, magnesium dan tembaga pada umumnya disemprotkan pelumas *colloidal graphite*.

2.6. Mesin Press Hidrolik

Mesin pres hidrolik adalah mesin yang dipakai untuk memproduksi barang-barang sheet metal menggunakan satu atau beberapa press dies dengan meletakkan sheet metal diantara punch dan dies dengan menggunakan tenaga hidrolik. Mesin press hidrolik dan sistem mekanismenya akan menggerakkan slide (ram) yang diteruskan ke press dies dan mendorong sheet metal sehingga membentuk sheet metal tersebut sesuai dengan fungsi press dies yang digunakan. Ketelitian dari produk yang dihasilkan akan sangat tergantung pada kualitas dari press dies dan sheet metal, tetapi kecepatan produksi tergantung pada kecepatan turun naik dari slide (ram) dari mesin press atau sering disebut *stroke per minute* (Permana, 2010). Konstruksi utama mesin pres dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Mesin Press Hidrolik (Sumber: Ramadhan, 2016).

Fungsi dari masing-masing komponen dari mesin pres hidrolik adalah sebagai berikut :

1. *Frame Machine* (Rangka Mesin), yang berfungsi menyangga mesin secara keseluruhan, khususnya ram dan bed.

2. *Ram/Slide*, bagian mesin yang dapat bergerak translasi dan berfungsi memberikan gaya tekan pada benda kerja ke arah bed mesin pres.
3. *Bed*, bagian mesin sebagai tempat meletakkan benda kerja dan menahan gaya tekan.
4. Mekanisme penggerak ram (Hidrolik).

2.7. Pemuaiian Zat Padat

Pemuaiian pada zat padat terjadi akibat peningkatan temperatur sehingga mengakibatkan panjang, luas atau volume zat bertambah, sehingga menyebabkan perbedaan dimensi antara sebelum dan setelah dilakukan pemanasan (Fatkhi, 2016). Untuk menghitung pemuaiian panjang yang terjadi pada diameter lingkaran dapat menggunakan persamaan dibawah ini.

$$r_f = r_o (1 + \alpha (T_f - T_i)) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

r_f = Jari-jari akhir lingkaran (m)

r_o = Jari-jari awal lingkaran (m)

α = Koefesien muai panjang zat padat (10^{-6} m/(m.K))

Untuk mencari selisih diameter lingkaran dapat menggunakan persamaan berikut.

$$d_f = 2 \times r_f \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

d_f = diameter akhir lingkaran (m)

r_f = jari – jari akhir lingkaran (m)

Sedangkan untuk mengetahui selisih diameter dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\Delta d = d_f - d_i \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

Δd = Selisih diameter (m)

d_f = diameter akhir lingkaran (m)

d_i = diameter awal lingkaran (m)

Koefisien Muai dari suatu material logam dalam setiap temperatur mempunyai nilai yang berbeda, nilai ini dapat dilihat pada beberapa sumber yang ada, tetapi jika temperatur kerja yang diinginkan tidak ada dalam sumber tersebut maka untuk mencarinya dapat menggunakan metode interpolasi linier dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{T_k - T_{sb}}{T_{sa} - T_{sb}} = \frac{\alpha_k - \alpha_{sb}}{\alpha_{sa} - \alpha_{sb}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

T_k = Temperatur Kerja ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sb} = Temperatur sumber nilai bawah ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sa} = Temperatur sumber nilai atas ($^{\circ}\text{C}$)

α_k = Koefisien muai kerja ($10^{-6}\text{m/ m.}^{\circ}\text{C}$)

α_{sb} = Koefisien muai sumber nilai bawah ($10^{-6}\text{m/ m.}^{\circ}\text{C}$)

α_{sa} = Koefisien muai sumber nilai atas ($10^{-6}\text{m/ m.}^{\circ}\text{C}$)

2.8. 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*) (Ewen, 2012). Sehingga besarnya daya dapat dinyatakan dengan persamaan (5) :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

P = Daya (*watt*)

V = Tegangan (*volt*)

I = Arus (*amphere*)

Energi panas yang dihasilkan oleh sebuah pemanas listrik (*heater electric*)

dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = V \cdot I \cdot t \text{ (joule)} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

Q = Kalor (Joule)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

t = Waktu (Detik)

2.9. Perubahan Wujud Zat

Kalor pada beberapa fase dapat ditentukan berdasarkan proses perubahan yang dialami benda. Misalnya bila terjadi perubahan suhu, dan tanpa terjadi perubahan wujud (Fatkhi, 2016). Kalor yang diserap atau diterima dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

Q = Banyaknya kalor yang diserap atau dilepaskan (J)

m = Massa zat (kg)

C_p = Kalor jenis zat (J/(kg °C))

ΔT = Perubahan suhu (°C)

Kalor Jenis dari suatu material logam pada setiap variasi temperatur mempunyai nilai yang berbeda, nilai ini dapat dilihat dari beberapa sumber yang ada, tetapi jika nilai kalor jenis pada temperatur yang diinginkan tidak ada, maka dapat dicari menggunakan metode interpolasi linier dengan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{T_k - T_{sb}}{T_{sa} - T_{sb}} = \frac{Cp_k - Cp_{sb}}{Cp_{sa} - Cp_{sb}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

T_k = Temperatur Kerja ($^{\circ}C$)

T_{sb} = Temperatur sumber nilai bawah ($^{\circ}C$)

T_{sa} = Temperatur sumber nilai atas ($^{\circ}C$)

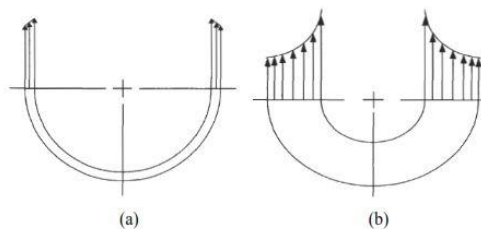
Cp_k = Kalor jenis kerja (J/Kg.K)

Cp_{sb} = Kalor jenis sumber nilai bawah (J/Kg.K)

Cp_{sa} = Kalor jenis sumber nilai atas (J/Kg.K)

2.10. Bejana Tekan (*pressure vessel*).

Bejana tekan merupakan suatu wadah untuk menyimpan fluida yang bertekanan. Fluida yang disimpan dapat mengalami perubahan keadaan pada saat berada di dalam, seperti pada kasus bejana untuk boiler yang mengalami perubahan keadaan tekanan pada temperatur yang tinggi. Secara umum bejana tekan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Jenis bejana. a) bejana dinding tipis, b). Bejana Dinding tebal

Bejana tekan dirancang dengan pertimbangan yang perlu diperhatikan karena pecahnya bejana tekan berarti terjadinya ledakan yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa dan kerusakan luar biasa terhadap lingkungan sekitar (Aziz dkk, 2014)

Persamaan dalam bejana tekan adalah sebagai berikut (Megyesy, 2001).

$$P_{max} = \frac{S.E.t}{R_{in}+0,6.t} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

P_{max} = Tekanan internal maksimal (N/mm²)

F_y = Yield Strength (N/mm²)

S = Nilai tegangan (66% - 90% dari yield strength) (N/mm²)

E = Efisiensi sambungan

t = Tebal dinding silinder (mm)

R_{in} = Jari-jari dalam silinder (mm)

Untuk Mencari gaya tekan maksimum yang terjadi pada dinding dalam silinder bejana dapat menggunakan persamaan berikut.

$$F_{max} = P_{max} \cdot A \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

F_{max} = Gaya tekan internal maksimal (N)

P_{max} = Tekanan internal maksimal (N/mm²)

A = Luas dinding dalam silinder (mm²)

Dalam bejana tekan yang berbentuk silindris maupun bentuk yang lain, tentunya terdapat tegangan-tegangan yang bekerja pada dinding-dinding bejana tersebut, yaitu tegangan longitudinal dan tegangan

circumferensial/*hoop stress*. Untuk mencari *hoop stress* dapat menggunakan persamaan seperti berikut (Shigley et al, 2008).

$$\sigma_{hoop} = P_{max} \cdot \frac{R_{out}^2 + R_{in}^2}{R_{out}^2 - R_{in}^2} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

σ_{hoop} = Tegangan *hoop*/ tegangan arah circumferential (N/mm²)

P_{max} = Tekanan internal maksimal (N/mm²)

R_{out} = Jari-jari luar silinder dies (mm)

R_{in} = Jari-jari dalam silinder dies (mm)

Yield Strength pada suatu material logam pada setiap temperatur mempunyai nilai yang berbeda, dan nilainya turun seiring naiknya temperatur, nilai ini dapat dilihat dari beberapa sumber yang ada, tetapi jika nilai temperatur yang diinginkan tidak ada maka untuk mencarinya dapat menggunakan metode interpolasi linier dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{T_k - T_{sb}}{T_{sa} - T_{sb}} = \frac{F_{yk} - F_{ysb}}{F_{ysa} - F_{ysb}} \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan :

T_k = Temperatur Kerja (°C)

T_{sb} = Temperatur sumber nilai bawah (°C)

T_{sa} = Temperatur sumber nilai atas (°C)

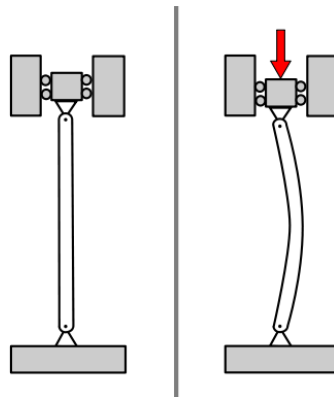
F_{yk} = *Yield Strength* kerja (MPa)

F_{ysb} = *Yield Strength* nilai bawah (MPa)

F_{ysa} = *Yield Strength* nilai atas (MPa)

2.11. Tegangan Tekuk

Buckling stress atau tegangan tekuk adalah ketidakstabilan yang mengarah ke modus kegagalan. Secara teoritis, tegangan tekuk disebabkan oleh bifurkasi dalam solusi untuk persamaan keseimbangan statis. Adapun definisi lain mengenai tegangan tekuk adalah suatu proses dimana suatu struktur tidak mampu mempertahankan bentuk aslinya. Konsekuensi buckling pada dasarnya adalah masalah geometrik dasar, dimana terjadi lendutan besar sehingga akan mengubah bentuk struktur. Fenomena tekuk atau buckling dapat terjadi pada sebuah kolom, lateral buckling balok, pelat dan cangkang (shell) gambaran buckling dapat dilihat pada Gambar 16, berikut adalah beberapa persamaan yang berhubungan dengan tegangan tekuk pada suatu kolom/batang (Ardiansyah, 2007).



Gambar 16. Tegangan Tekuk (Sumber: Ardiansyah, 2007).

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

I = Momen Inersia (mm⁴)

d = Diameter punch (mm)

$$P_{cr} = \frac{C \pi^2 E I}{L^2} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

P_{cr} = Gaya tekan / beban kritis (N)

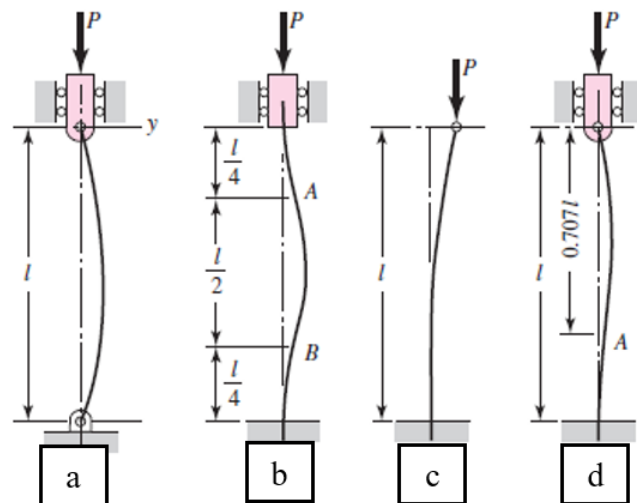
C = Konstanta Kondisi Tumpuan

E = Modulus Elastisitas (N/mm²)

I = Momen Inersia bahan (mm⁴)

L = Panjang Punch maksimum (mm)

Dalam buckling pada batang terdapat beberapa kondisi tumpuan yang ada yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Kondisi tumpuan a) *Fixed-free*. b) *Rounded –rounded*

c). *Fixed Rounded* d). *Fixed-fixed* (Sumber: Shigley et al, 2008)

Untuk nilai dari konstanta kondisi tumpuan dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Konstanta Kondisi Tumpuan (Sumber: *Shigley's Mechanical Engineering Design Eight Edition*, 2006).

No	Konstanta Kondisi Tumpuan (C)		
	Kondisi tumpuan kolom	Nilai Teoritis	Nilai Konservatif
1	<i>Fixed - Free</i>	1/4	1/4
2	<i>Rounded - Rounded</i>	1	1
3	<i>Fixed - Rounded</i>	2	1
4	<i>Fixed - Fixed</i>	4	1

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} \dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

σ_{cr} = Tegangan kritis (buckling) (N/mm²)

P_{cr} = Gaya tekan /beban kritis (N)

A = Luas permukaan penampang (mm²)

Faktor keamanan digunakan untuk menjauhi nilai beban kritis dari hasil perhitungan, dan juga dalam keadaan aktualnya masih banyak faktor yang mempengaruhi desain tersebut, seperti kondisi tumpuan yang berubah, posisi kolom yang tidak lurus, dimensi yang berubah, sifat fisik dan mekanik bahan yang berbeda dengan referensi, dan faktor-faktor lainnya. Untuk mencari beban yang diizinkan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$P_{izin} = \frac{P_{cr}}{F_s} \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan :

P_{izin} = Gaya tekan /beban yang diizinkan (N)

P_{cr} = Gaya tekan /beban kritis (N)

F_s = Faktor keamanan

Modulus Elastisitas pada suatu material logam pada setiap temperatur mempunyai nilai yang berbeda, dan nilainya turun seiring naiknya temperatur, nilai ini dapat dilihat dari beberapa sumber yang ada, tetapi jika nilai temperatur yang diinginkan tidak ada maka untuk mencarinya dapat menggunakan metode interpolasi linier dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\frac{T_k - T_{sb}}{T_{sa} - T_{sb}} = \frac{E_k - E_{sb}}{E_{sa} - E_{sb}} \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan :

T_k = Temperatur Kerja ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sb} = Temperatur sumber nilai bawah ($^{\circ}\text{C}$)

T_{sa} = Temperatur sumber nilai atas ($^{\circ}\text{C}$)

E_k = Modulus Elastisitas kerja (GPa)

E_{sb} = Modulus Elastisitas nilai bawah (GPa)

E_{sa} = Modulus Elastisitas nilai atas (GPa)

2.12. Stainless Steel AISI 304.

Stainless Steel AISI 304 adalah baja paduan dengan kandungan besi dengan kadar 10,5 % - 18 % krom yang membentuk lapisan pasif sebagai pelindung dari oksidasi sehingga menyebabkan material ini mempunyai sifat utama yaitu tahan terhadap korosi (Mulyaningsih dkk, 2014).

Baja ini termasuk baja austenitik sehingga juga bersifat ulet, setiap baja austenitik hanya bisa dikeraskan melalui proses pengerjaan dingin, material ini mempunyai kekuatan tinggi di lingkungan yang mempunyai suhu tinggi dan bersifat cyogenic (Priyotomo, 2008). Sifat – sifat mekanik dari Stainless Steel AISI 304 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat Mekanik Stainless Steel AISI 304 (Sumber: *A Designer Handbook Series N 9004*).

REPRESENTATIVE MECHANICAL PROPERTIES								
(Annealed sheet unless noted otherwise)								
Test Temperature		Yield Strength 0.2% Offset		Tensile Strength		Elongation in 2" (50.80mm)	Reduction of Area	Hardness Rockwell
°F	°C	ksi	MPa	ksi	MPa	%	%	B
80	27	42	290	84	579	55	-	80
300	149	26.4	182	68.4	472	50	77	-
500	260	21.8	150	64.1	442	42	75	-
700	371	19.5	134	61.9	427	38	73	-
900	482	18.1	125	60	414	36	69	-
1100	593	16.4	113	53.2	367	35	65	-
1300	704	13.8	95	35	241	35	51	-
1500	816	9.9	68	18	124	38	42	-
1700	927	-	-	8.9	61	45	45	-
1900	1038	-	-	4.8	33	88	69	-
2000	1093	-	-	3.4	23	95	75	-

Stainless steel tipe 304 mempunyai Komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang relatif terjangkau. *Stainless steel* tipe 304 ini banyak digunakan dalam dunia industri skala besar maupun skala kecil. Penggunaannya antara lain untuk tanki dan *container* untuk berbagai macam cairan dan padatan, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi (Sumarji, 2011). Sifat fisik dari *Stainless Steel* AISI 304 dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Tabel Sifat Fisik Stainless Steel AISI 304 (Sumber: *A Designer Handbook Series N 9004*).

Modulus of Elasticity				
Temperature		Modulus	Psi(x10⁶)	Gpa
°F	°C			
80	27	Tension	28.0	193
		Shear	12.5	86
200	93	Tension	27.9	192
		Shear	11.1	77
300	149	Tension	27.1	184
		Shear	10.8	74
400	204	Tension	26.6	183
		Shear	10.5	72
500	260	Tension	26.0	179
		Shear	10.2	70
600	316	Tension	25.6	177
		Shear	9.9	68
700	371	Tension	24.7	170
		Shear	9.7	67
800	427	Tension	24.1	166
		Shear	9.5	66
900	482	Tension	23.2	160
		Shear	9.2	63
1000	538	Tension	22.5	155
		Shear	8.9	61
1100	593	Tension	21.1	150
		Shear	8.3	59
1200	649	Tension	21.1	145
		Shear	8.3	57
1300	704	Tension	20.4	141
		Shear	8.0	55
1400	760	Tension	19.4	134
		Shear	7.7	53
1500	816	Tension	18.1	125
		Shear	7.4	51

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode perancangan, simulasi, perbandingan data, fabrikasi dan assembly untuk merancang dan membuat perangkat *Squeeze Casting* untuk material magnesium AZ31 sebagai bahan implan biodegradable. Secara rinci metode yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini dijelaskan dibawah ini.

3.1. Tempat Dan Waktu Penelitian

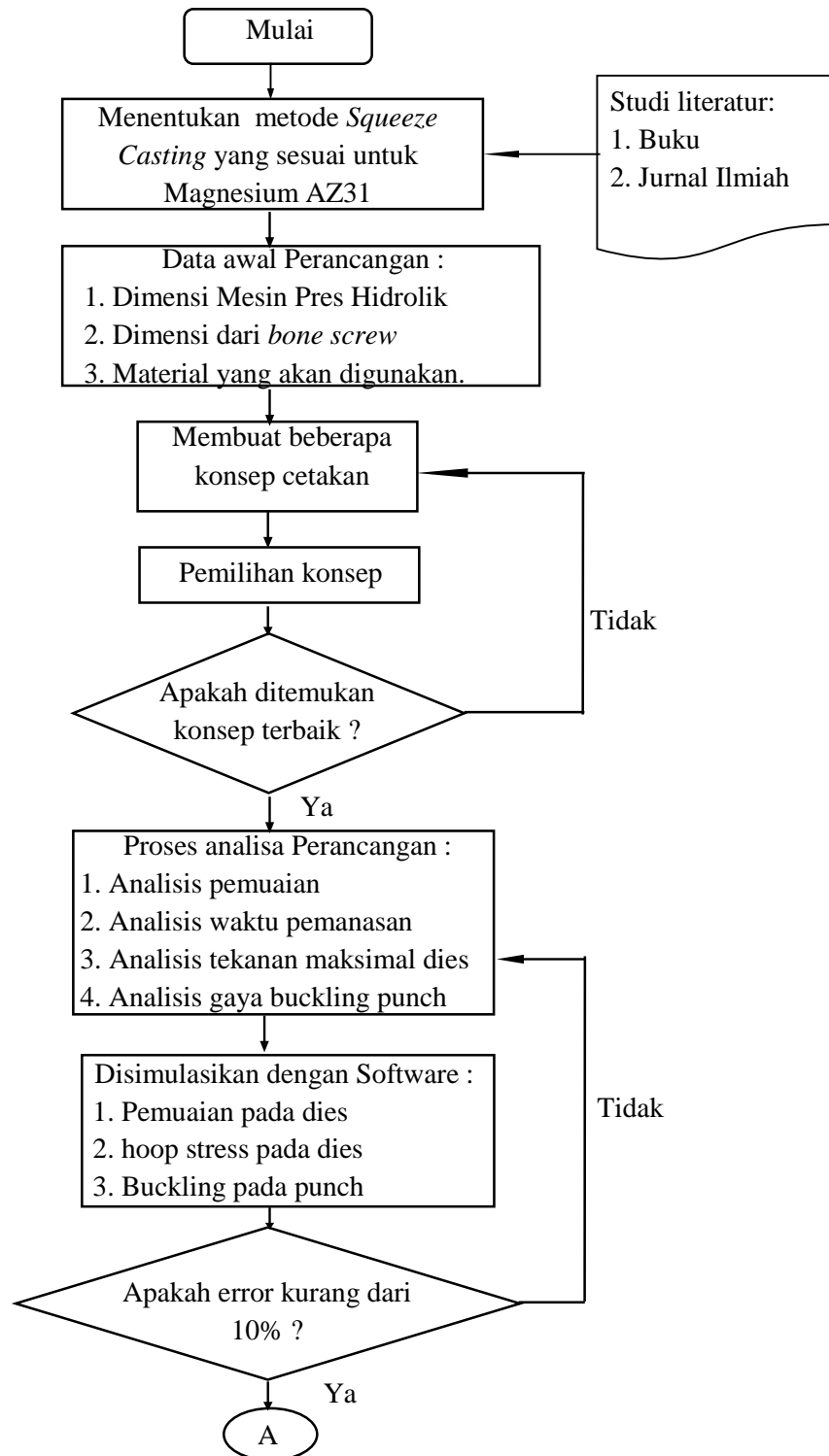
Proses perancangan perangkat *Squeeze Casting* dan proses fabrikasi dilakukan di Laboratorium Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Penelitian ini dimulai pada bulan September 2017 – Januari 2018. Berikut adalah rencana jadwal kegiatan yang dapat dilihat pada Tabel 6.

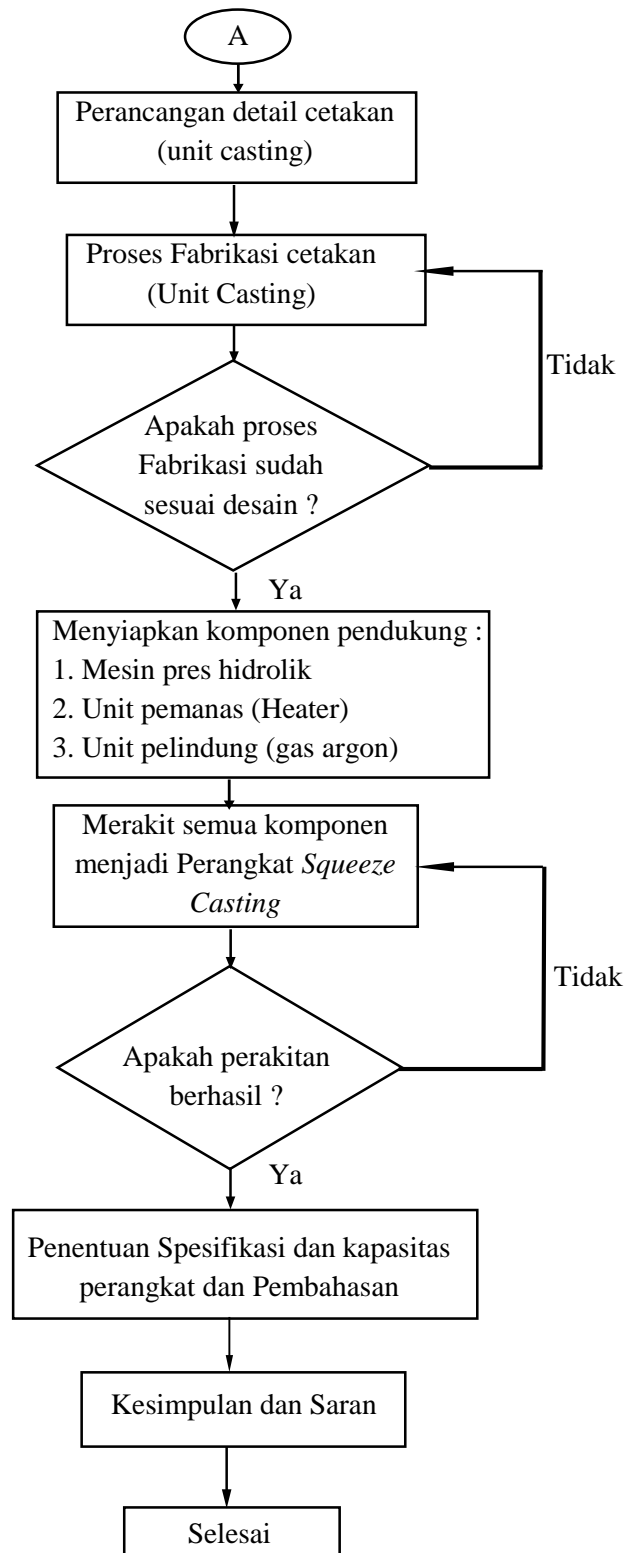
Tabel 6. Jadwal kegiatan penelitian.

No	Kegiatan	September				Oktober				November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■	■	■																
2	Seminar proposal					■															
3	Perancangan alat					■	■	■	■												
4	Proses Simulasi							■	■	■	■										
5	Proses Fabrikasi									■	■	■	■								
6	Pengolahan data											■	■	■	■						
7	Penulisan laporan											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8	Seminar hasil																				■

3.2. Diagram Alir Penelitian

Urutan langkah - langkah pelaksanaan yang dilakukan dari mulainya penelitian sampai pembuatan kesimpulan dalam penelitian ini dijabarkan secara makro dalam *flowchart* pada Gambar 18 sebagai berikut :





Gambar 18. Diagram Alir Penelitian.

3.3. Desain Penelitian

Agar penelitian ini dapat berjalan sebagaimana mestinya, maka sebelum melakukan penelitian, hendaknya dibuat sebuah perencanaan yang matang terlebih dahulu sehingga dalam penelitian bisa mengurangi masalah yang akan menghambat proses penelitian ini.

3.3.1. Analisa Persiapan pembuatan Baut tulang berbasis Magnesium.

Sekrup atau baut tulang merupakan salah satu implan yang mempunyai peran penting untuk menghubungkan serta mengikat plat implan (DCP) dengan tulang agar plat implan tetap terpasang rapat pada tulang dan pada sambungan tulang yang patah (Fauzi, 2014).

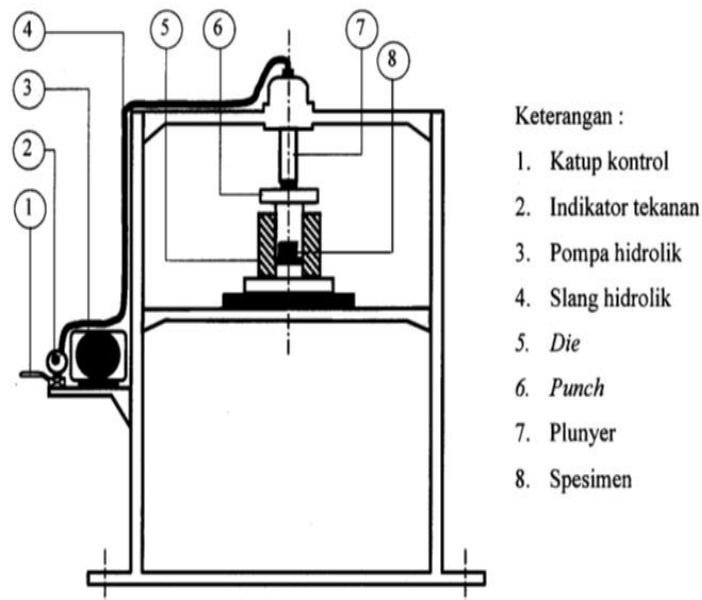
Pengembangan baut tulang biodegradable berbasis logam magnesium masih terkendala oleh laju kecepatan biodegradasi yang terlalu cepat, sehingga menyebabkan magnesium tersebut terdegradasi terlalu cepat dan kehilangan sifat mekanisnya padahal jaringan yang akan disembuhkan belum pulih (Wang *and* Shi, 2011).

Oleh karena itu sebelum magnesium diaplikasikan untuk implan biodegradable perlu dilakukan proses perlakuan awal untuk memperbaiki sifat tersebut, salah satunya dengan metode *Squeeze Casting*.

3.3.2. Penjelasan Mengenai Proses *Squeeze Casting*.

Squeeze Casting adalah proses pengecoran dimana logam cair dibekukan dibawah tekanan tinggi diantara cetakan (*dies*) dan batang pendorong (*punch*) dengan tenaga hidrolik ataupun mekanik. Proses ini pada dasarnya mengkombinasikan keuntungan dari proses tempa dan

pegecoran (Tjitro dan Firdaus, 2001). Skema dari proses *squeeze casting* dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Skema perangkat *Squeeze Casting* (Sumber: Djatmiko dan Budiarto, 2011).

3.3.3. Menentukan Jenis *Squeeze Casting* yang sesuai untuk Magnesium.

Magnesium memiliki sifat mudah terbakar jika terkena panas dan terkontaminasi udara luar (oksigen) hal ini dikarenakan bahwa suhu penyalaan magnesium pada tekanan atmosfer berada dibawah titik cairnya yaitu 623 °C (Setiawan, 2014). Oleh karena itu diperlukan metode *Squeeze Casting* yang bisa menanggulangi permasalahan terbakarnya logam magnesium pada saat proses dilakukan. Sehingga dipilihlah metode *Direct Squeeze Casting* (DSC). Kemudian ditambahkan gas pelindung yaitu gas Argon.

3.3.4. Mekanisme Pemberian gas Argon

Dalam proses *Squeeze Casting* untuk logam magnesium, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah kontaminasi udara luar (oksigen) yang menyebabkan magnesium terbakar ketika proses *Squeeze Casting* sedang dilakukan, hal ini dapat di minimalisir dengan cara menambahkan gas argon, oleh karena itu diperlukan mekanisme pemberian argon yang sesuai, agar tidak menimbulkan magnesium terbakar ketika dilakukan proses *Squeeze Casting*.

3.3.5. Persyaratan Peralatan Pembuatan Cetakan *Bone Screw*.

Dalam proses pembuatan cetakan *Squeeze Casting* terdapat 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, mudah dalam pengoperasian, dan mudah dalam pemasangan maupun pengambilan *raw* meterial.

3.4. Konseptual Desain

3.4.1. Pembuatan Konsep desain

Pada fase ini beberapa konsep produk dibentuk, konsep ini dibentuk berdasarkan pada daftar persyaratan yang telah didapat dari fase perencanaan dan penjelasan tugas. Konsep tersebut merupakan solusi dari masalah perancangan yang harus dipecahkan.

3.4.2. Pemilihan konsep desain.

Pemilihan konsep ini bertujuan untuk melanjutkan ketahap *embodiment design*, konsep yang dipilih adalah konsep yang paling baik dari konsep

yang lainnya, dari segi kemudahan masuk dan keluarnya material, fabrikasi, biaya pembuatan komponen, kemampuan diassembly/dirakit, pengoperasian, dan perawatannya.

3.4.3. Pengembangan desain

Setelah melalui beberapa tahap perencanaan diatas, maka tahap selanjutnya adalah mengembangkan konsep yang telah dipilih berdasarkan persyaratan awal yang telah ditentukan, kemudian dibuat menjadi model desain 3 dimensi menggunakan aplikasi CAD (*Computer Aided Design*) yaitu Solidwork 2014.

3.5 Embodiment Desain

Tahap ini merupakan fase lanjutan dari fase konseptual desain, tujuan dari fase ini adalah untuk memperbaiki dan mengembangkan konsep yang telah terpilih pada tahap sebelumnya. Keluaran dari fase ini berupa skema gambar difinitif yang disertai ukuran, dan material yang digunakan dalam proses manufaktur nantinya. Data tersebut didapat berdasarkan analisis perhitungan dan fenomena – fenomena yang terjadi pada setiap komponen pada masing – masing parameter kerja perangkat *squeeze casting*.

3.5.1. Perencanaan komponen utama

Pada tahap ini dimensi dari komponen – komponen utama ditentukan berdasarkan persyaratan dan kondisi yang ada, dan dimensi yang direncanakan adalah dimensi bagian utama dari setiap komponen yang direncanakan.

3.5.2. Pemilihan material

Pemilihan material dilakukan untuk mencari material yang sesuai dengan persyaratan utama yang telah ditentukan, pemilihan material berdasarkan dari sifat fisik, sifat mekanik dan sifat thermal seperti Koefisien muai, panas spesifik, *yield strength* dan modulus elastisitasnya. Kemudian juga berdasarkan fungsi komponen tersebut, kemudahan fabrikasi, harga material, dan ketersediaan di pasaran. Sehingga setelah dilakukan tahap perancangan dapat dilakukan proses manufaktur untuk mewujudkan rancangan menjadi perangkat *squeeze casting*.

3.5.3. Analisis Pemuaiian pada Dies

Setiap material logam yang terkena panas maka akan menyebabkan panjang, luas atau volume logam tersebut bertambah, sehingga menyebabkan dimensi antara sebelum dan setelah dilakukan pemanasan berbeda, pemuaiian pada logam terjadi akibat peningkatan temperatur yang diberikan. Sehingga dimensi dari dies selalu berubah setiap variasi temperatur kerja yang diberikan nantinya.

Persamaan untuk menghitung pemuaiian yang terjadi pada diameter, dan selisih diameter sebelum dan sesudah pemanasan dapat menggunakan persamaan (1), (2), (3) dan (4). Kemudian data hasil perhitungan disimulasikan dengan solidwork simulation 2014, untuk melihat kondisi pemuaiian yang terjadi pada dies tersebut.

3.5.4. Analisis Waktu Pemanasan Dies.

Analisis waktu pemanasan dilakukan untuk mencari waktu pemanasan dies pada temperatur kerja yang diinginkan, sehingga dapat diketahui waktu tunggu agar dies siap untuk melakukan proses *squeeze casting* sesuai dengan *setting* temperatur yang akan digunakan. Untuk menghitung waktu pemanasan, dapat menggunakan persamaan (5), (6), (7) dan (8) yang sudah dijelaskan pada bab tinjauan pustaka.

3.5.5. Analisis Gaya Tekan maksimal dinding Dies

Dalam analisis gaya tekan maksimal yang mampu ditahan oleh dies persamaan yang digunakan adalah persamaan pada perancangan bejana tekan, dimana dalam silinder dies ini terdapat tekanan internal yang terjadi akibat dari proses *squeeze casting*, maka dilakukan analisis ini untuk mencari tekanan maksimal yang mampu ditahan, dan gaya tekan maksimalnya, agar ketika proses *squeeze casting* dilakukan silinder dies tetap aman dan tidak terjadi kegagalan. Dalam analisis ini dapat menggunakan persamaan (9), (10), (11) dan (12). Kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software* solidwork 2014, untuk melihat Tegangan Circumferensial/*hoop stress* yang terjadi.

3.5.6. Analisis beban *Buckling* Pada *Punch*.

Buckling stress atau tegangan tekuk adalah ketidakstabilan yang mengarah ke modus kegagalan. Secara teoritis, tegangan tekuk disebabkan oleh bifurkasi dalam solusi untuk persamaan keseimbangan statis. Dalam perangkat *squeeze casting* ini terdapat komponen *punch*, yang berfungsi untuk menekan material, pada batang *punch* ini rawan

akan *buckling* yang menyebabkan kegagalan, maka dilakukan analisis ini untuk mencari beban kritisnya, sehingga dalam pengoperasian nantinya dapat diketahui beban maksimal pada setiap variasi temperatur kerja. Dalam analisis beban *buckling* menggunakan persamaan (13), (14), (15), (16) dan (17). Kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software* Solidwork 2014, untuk melihat tegangan permukaan dan defleksi yang terjadi akibat beban kritis yang diberikan.

3.6. 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*.

3.7. Proses Fabrikasi dan Perakitan.

Setelah proses perancangan selesai dikerjakan, maka tahapan selanjutnya yaitu proses Fabrikasi komponen dan perakitan komponen – komponen tersebut, proses ini dimulai dengan membuat *dies* dan *punch* beserta komponen – komponen cetakan yang telah dirancang. Kemudian memasang unit *heater*, lalu unit cetakan beserta *heater* diasembli/dipasang pada mesin pres hidrolis, kemudian memasang unit argon beserta komponen – komponennya. Sehingga tercipta perangkat *squeeze casting*.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan pada bab IV dan mengacu pada metode penelitian, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Konsep desain cetakan yang digunakan adalah konsep nomor 3, karena konsep ini merupakan yang terbaik dari segi masuk keluarnya material, biaya pembuatan, kemampuan dirakit dan juga pengoperasiannya.
2. Pemuaihan yang terjadi pada temperatur kerja maksimal 650 °C menyebabkan perubahan *clearance* menjadi 0,4 mm tetapi nilai ini masih dalam batas aman untuk standar *clearance dies* dan *punch*, sehingga tidak mempengaruhi kinerja perangkat *squeeze casting* pada temperatur kerja yang lainnya.
3. 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 pemanasan selama 7,2 menit.
4. Tekanan kerja maksimal *squeeze casting* pada temperatur kerja 300 °C sebesar 925,54 MPa, pada temperatur kerja 350 °C sebesar 900,00 MPa, pada temperatur kerja 400 °C sebesar 875,30 MPa, pada temperatur kerja

450 °C sebesar 852,57 MPa, pada temperatur kerja 500 °C sebesar 825,57 MPa, pada temperatur kerja 550 °C sebesar 802,22 MPa, pada temperatur kerja 600 °C sebesar 778,61 MPa dan pada temperatur kerja maksimal 650 °C sebesar 755,42 MPa.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal maka disarankan untuk :

1. Melakukan analisa lanjutan mengenai pengaruh proses terhadap hasil *squeeze casting*.
2. Ditambahkan metode pelumasan, supaya mengurangi kemungkinan material menempel pada dinding *dies*.
3. Menggunakan mesin press hidrolik dengan pompa elektrik, supaya lebih mudah dalam pengoperasiannya.
4. Mekanisme pemberian gas argon dibuat tertutup, sehingga penggunaan gas argon tidak boros, dan dapat memberikan perlindungan yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F. 2009. *Pengaruh Tekanan, Temperatur Die Pada Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Piston Berbasis Material Bekas*. Skripsi. Teknik Mesin. Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang.
- Amanto, H. dan Daryanto. 2003. *Ilmu Bahan*. Penerbit PT Bumi Aksara. Jakarta. Indonesia.
- American Iron And Steel Institute. 2004. *A Designer Handbook Series N 9004, High Temperature Characteristics of Stainless Steel. USA*
- Andriyansyah, A. 2014. *Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Kekasaran permukaan Dalam Pengefreisan Magnesium Tersuplai Udara Dingin*. Tugas Akhir. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ardiansyah. 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
- ASTM Designation: F 543 – 02. 2002. *Standard Specification and Test Methods for Metallic Medical Bone Screws*. West Conshohocken. Amerika.
- Aziz, A. Hamid, A. Imam, H. 2014. *Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) Untuk Separasi 3 Fasa*. Skripsi. Teknik Mesin. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- 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.

- Buldum, Aydin, S.I.K. and Iskander, O. 2011. *Infestigation of Magnesium Alloys Machinability. International Journal of Electronics, Mechanical and Mechatronic Engineering*. Volume 3. Edisi 3.
- Davis, J.R. 2003. *International of materials for medical devices : ASM International*. USA.
- Dianegara, M, A. 2010. *Review Squeeze Casting : An Overview*. Universitas Indonesia.
- Djarmiko. Eddy, dan Budianto. 2011. *Analisis Sifat Mekanis Dan Struktur mikro Pada Produk Paduan Al₇₈Si₂₂ Metode Squeezing Casting*. Universitas pancasila. Pusat Pengembangan Energi Nuklir. Jakarta.
- 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.
- Ewen, D. Schurter, N. Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics Tenth Edition*. New Jersey. USA.
- Fatkhil, M. 2016. *Perancangan Alat Uji Kekentalan Plastik dengan Kapasitas 4 cm³ dengan kapasitas maksimal 300 °C*. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. DIY.
- Fauzi, M. 2014. *Perancangan Dan Pembuatan Prototype Mesin Whirling Untuk Membuat Baut Penyambung Tulang*. Skripsi. Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Friedrich, H.E. and Mordike. B.L. 2006. *Magnesium Tecnology. Profesor Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik TU Clausthal Agricolastrasse 638678 Clausthal-Zellerfeld*. Germany.
- Gilley, R. and Gold, R. 2006. *Compute Aided Learning : Instrumentation of Srew and Method of Fixation*. University of Pennsylvania School of Veterinary Medicine. Amerika Serikat.
- Gu, X.N. and Zheng, Y.F. 2010. *A review on magnesium alloys as biodegredeable materials*.Heidelberg. Allemagne.

- Hardianto, A. 2014. *Efek Aging Treatment pada Squeeze Casting Terhadap porositas dan kekuatan tarik Produk Silinder Al-Mg-Si*. Skripsi. Teknik. Universitas Brawijaya. Malang.
- Hasriani. 2014. *Makalah Alat Kesehatan Alat Bedah Tulang*. Jurusan Farmasi Politeknik Kesehatan Kemenkes Makassar. Makassar.
- Hermanto, A. 2017. *Pemanfaatan Bahan Limbah Permesinan Magnesium Untuk Aplikasi Baut Tulang Mampu Terdegradasi (Biodegradable Bone Screw) Dengan Metodologi Serbuk Logam (Powder Metallurgy)*. Tesis. Magister Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Incropera, F.P. Dewitt. Bergman. Lavine. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer seventh Edition*. United State of America.
- 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 metalurgy Engineering. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Megyesy, E.F. 2001. *Pressure Vessel Handbook Twelve Edition*. Oklahoma. USA.
- Mulyaningsih, N. Salahudin, X. dan Soekrisno, P.T. 2014. *Analisis Pengaruh Laju Korosi Material SS 304 Lapis Ni- Cr Dengan SS 316 L Terhadap Pengaruh Cairan Tubuh*. Teknik Mesin Universitas Tidar Magelang. Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Nie, J.F. 2012. *Precipitation and Hardening in Magnesium Alloys*. Professor, is with the Department of Materials Engineering, Monash University, Clayton, VIC 3800, Australia.
- Padmanaban, G. Balasubramanian, V. and Reddi, G. M. 2011. *Fatigue crack growth behaviour of pulsed current gas tungsten arc, friction stir and laser beam welded AZ31B magnesium alloy joints*. Department of Manufacturing Engineering, Annamalai University, Annamalai Nagar 608002, India.
- Permana, D.A. 2010. *Rancang Bangun Mesin Pres Semi Otomatis*. Skripsi. Teknik Mesin Produksi. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Priyotomo, G. 2008. *Korosi Retak Tegang Material Stainless Steel AISI 304 Di Lingkungan $MgCl_2$* . Skripsi. Jurusan Ilmu Material FMIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Purnomo, B. 2017. *Analisa Nilai Kekasaran Permukaan Magnesium AZ31 yang Dibubut Menggunakan Pahat Putar dan Udara Dingin*. Skripsi. Teknik Mesin. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Setiawan, F. 2014. *Karakterisasi Penyalaan Magnesium Az31 Pada Proses Bubut Menggunakan Aplikasi Thermografi*. Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Lampung. Lampung.
- Shigley. Budynas and Nisbett. 2008. *Mechanical Engineering Design*, Mc Graw Hill Companies. USA.
- Song, G. 2007 . *Control of biodegradation of biocompatible magnesium alloys* CAST Cooperative Research Centre, School of Engineering, The University of Queensland, Australia.
- Sukmana, I. Hermanto, A. Burhanuddin, Y. 2016. *Peluang dan tantangan baut tulang mampu terdegradasi berbasis logam magnesium*. Magister Teknik Mesin. Fakultas Teknik .Universitas Lampung .Bandar Lampung.
- Sumarji. 2011. *Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan Ph*. Jurnal Rotor. Volume 4. Nomor 1.
- 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.
- 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.

- Syanur, F.N. 2016. *Preparasi Dan Karakterisasi Mekanik Paduan Logam Mg-Ca-Zn Berpori Di (P2MM) Pusat Penelitian Metalurgi Dan Material Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Serpong, Tangerang Selatan*. Laporan Kerja Praktek. Teknik Mesin, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Taufikurrahman. 2013. *Effect of The Pressure of the Squeeze Process on the Hardness and Micro Structure of Recycled Aluminum Materials*. Thesis. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Tjitro, S. Firdaus. 2001, *Pengecoran Squeeze*. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Waizy, H. Seitz, J.M. Reifanrath, J. Weizbauer, A. Batch, F.W. Lindenberg, A.M. Denkana, B. Windhagen, H. 2012. *Biodegradable magnesium implants for orthopedic applications*. Springer Science + Business Media. Volume 48. Edisi 1.
- Wang, H and Shi, Z. 2010. *In vitro biodegradation behavior of magnesium and magnesium alloy*. Elsevier. Volume 98B. Edisi 2.
- Xin, Y. Hu, T. and Chu, P.K. 2011. *In vitro studies biomaterial magnesium in simulated phisiological environtment*. Elsevier. Volume 7. Edisi 4.