

Analisis Cacat Proses Pengecoran pada Pembuatan Sekrup Penyambung Tulang dengan Menggunakan Metode Cetakan *Lost Wax Casting*

Moh. Nor Ali Aziz^{1*}, Edi Santoso¹, Ninik Martini¹, Rusnaldy²
¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya,
Jl. Semolowaru No. 45, Surabaya
²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang

*E-mail: aliaziz@untag-sby.ac.id

Diajukan: 05 September 2022; Diterima: 17 Desember 2022; Diterbitkan: 23 Desember 2022

Abstrak

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menerbitkan data bahwa Indonesia masih tergantung produk ortopedi impor hingga mencapai 92% pada Oktober 2017. Oleh sebab itu, inovasi pada proses manufaktur diperlukan untuk mengurangi ketergantungan Indonesia impor produk ortopedi. Sekrup penyambung tulang termasuk dalam kategori produk ortopedi yang dimana produknya tidak boleh terkorosif, tidak boleh mengalami distorsi dan memiliki akurasi dimensi yang lebih tinggi daripada sekrup pada umumnya. Salah satu proses manufaktur yang berpotensi baik dalam inovasi ini adalah *lost wax casting*. Berdasarkan kajian literatur proses *lost wax casting* mampu menghasilkan sekrup dengan hasil yang baik, oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui setiap tahap prosesnya dan menganalisis cacat yang terjadi pada proses *lost wax casting*. Bahan utama untuk Sekrup penyambung tulang yang aman bagi tubuh manusia adalah paduan magnesium. Namun, untuk proses pengecoran bahan ini diperlukan alat khusus karena magnesium mudah teroksidasi dan terbakar jika proses penuangan dilakukan diruang terbuka. Oleh sebab itu, untuk menghindari hal ini bahan sementara yang dipertimbangkan adalah timah pewter. Pembahasan dalam penelitian ini meliputi: proses manufakturnya dan pengamatan cacat produk. Penelitian ini dimulai dari metode experimental dengan menggunakan proses *investment casting*. Pembuatan cetakan *pattern wax* menggunakan bahan dari *silicon rubber* dengan pecampuran katalis 2,6% dan pengencer 10%. Sedangkan pembuatan cetakan *ceramic slurry* adalah campuran antara air dan *gypsum* dengan perbandingannya 1:1,25.

Kata kunci: Cacat Pengecoran; Sekrup Penyambung Tulang; *Lost Wax Casting*

Abstract

In October 2017; The Ministry of Health of the Republic of Indonesia publishes data where Indonesia still relies on imported orthopedic products reaching 92%. Therefore, innovation in the manufacturing process is needed to maximize the use of Indonesian orthopedic products. Orthopedic screws include in special product categories where the product must not be corrosive, not be distorted and must have a higher dimensional than the screw in general. One of the manufacturing processes for this practice is lost wax casting. Based on the study of the literature review; the lost wax casting process can produce screws with good dimensional accuracy. Besides, the main alloying substances for orthopedic screws that are safe to the human body is magnesium alloy. However, for the casting process, this material requires a special tool as magnesium is easily oxidized and burns if the pouring process is carried out openly. Then, to avoid this the temporary material being considered is tin alloy. The discussion in this study includes: the manufacturing process and the observation of product defects. This research starts from the experimental method using the investment casting process, making wax molds using materials from silicone rubber with a mixture of 3 to 4% catalyst and 10% thinner while the manufacture of ceramic pulp molds is a mixture of water and gypsum with a mixture of 1: 1.25.

Keywords: Casting defect; Orthopedic screw; *Lost Wax Casting*

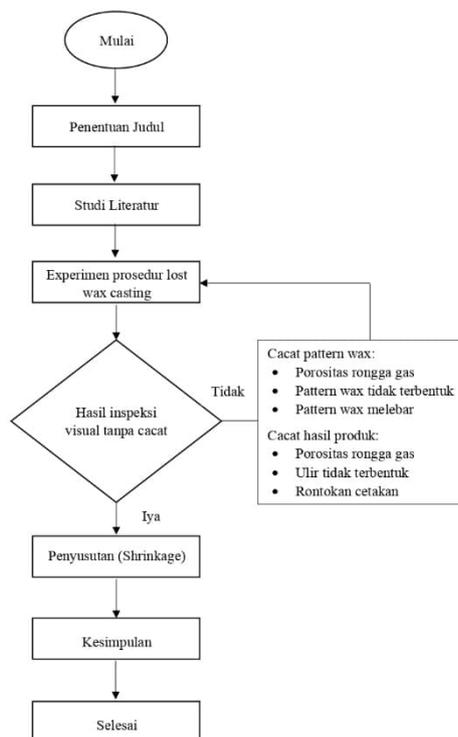
1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya teknologi saat ini sekrup sering digunakan untuk berbagai aplikasi yaitu dalam peralatan mekatronik semikonduktor, robot industri, dan printed circuit boards, atau lainnya [1]. Umumnya sekrup yang berdimensi kecil memiliki keakurasian tinggi. Sekrup mempunyai berbagai ukuran yang tergantung kebutuhan contohnya adalah sekrup pada komponen jam, komponen hp, penyambung tulang dll. Kasus fraktur tulang terus meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2006 Reksoprawiro memaparkan data penderita yang dirawat di Staf Medis Fungsional (SMF) Ilmu Bedah Rumah Sakit Umum Dr. Soetomo Surabaya tahun 2001-2005, menunjukkan bahwa

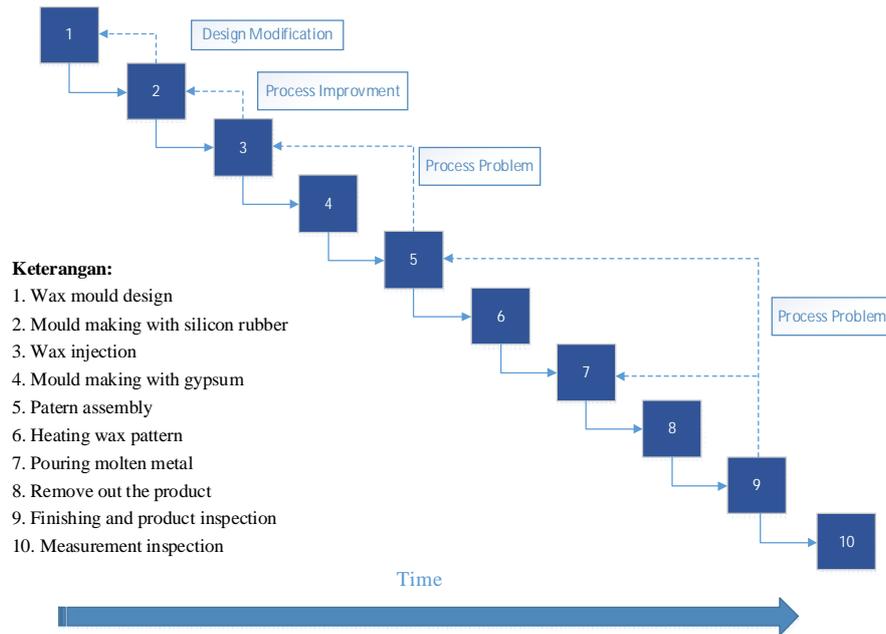
penderita fraktur tulang akibat kecelakaan lalu lintas sekitar 64,38% [2]. Dari data tersebut, angka kejadian fraktur pada mandibula (rahang bawah) dan maksila (rahang atas) menempati urutan terbanyak yaitu sebesar 29,85%, fraktur zigoma (rangka wajah) 27,64% dan fraktur nasal (hidung) 12,66%[2]. Peningkatan yang sama juga terjadi di dunia, dimana patah tulang pangkal paha atau punggul (hip bone) diseluruh dunia mencapai angka 1,66 juta kasus ditahun 1990 dan diperkirakan terus meningkat hingga angka 6,26 juta kasus pada tahun 2050 [2]. Data lain yang diterbitkan kementerian kesehatan bahwa Indonesia masih tergantung produk ortopedi import hingga mencapai 92% pada Oktober 2017 [3]. Oleh sebab itu, untuk mengatasi tantangan ini perlu dicari proses manufaktur lain.

Salah satu proses yang berpotensi untuk hal ini adalah proses *lost wax casting*. Pengecoran ini merupakan proses manufaktur yang membutuhkan jenis cetakan permanent dan expendable. *Lost wax casting* termasuk jenis expendable yang terbuat dari lilin atau jenis material polimer lainnya [4]. Jenis teknologi pengecoran ini dapat menghasilkan suatu produk coran yang memiliki bentuk geometri yang kompleks, misalnya: kemiringan, tipis, kehalusan permukaan produk cor dan kelengkungan dengan variasi radius yang kecil [5]. Umumnya sekrup penyambung tulang yang tersedia berbahan non-degradable. Namun, bahan ini memberikan dampak rasa sakit dan patah kembali, jenis material tersebut adalah titanium, stainless steel, paduan Co-Cr dan platina [6]. Adapun material yang memiliki sifat mekanis *biocompatibility* dan *biogeredable* yang tidak berbahaya (*non-toxic*) bagi tubuh manusia serta waktu korosinya (*corrosion time*) dapat dimanipulasi sesuai dengan komposisi unsur penambahnya adalah paduan magnesium. [7]. Akan tetapi dalam kasus *lost wax casting* pembuatan sekrup dengan bahan magnesium membutuhkan alat vakum yang dirancang khusus saat proses penuangannya, sebab bahan tersebut sangat mudah teroksidasi atau terbakar jika proses penuangannya diruangan terbuka. Oleh karenanya metode tersebut belum digunakan dalam penelitian ini. Fokus utama dalam penelitian ini adalah pengamatan cacat pada hasil pengecoran. Jadi, penggunaan bahan sementara yang dipakai adalah timah. Metode *lost wax casting* pada eksperimen ini dapat dianggap sebagai *dummy* dalam pembuatan sekrup penyambung tulang.

2. Metodologi



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Design and manufacturing cycle

2.1 Wax mould design

Master pattern yang digunakan adalah sekrup penyambung tulang berbahan platina yang memiliki panjang 16 mm. Sekrup penyambung tulang mempunyai ketelitian yang lebih baik daripada sekrup pada umumnya. Dimensi kerumitan pada sekrup yang kecil menjadikan tantangan untuk proses *lost wax casting*. Dasar cetakan terbuat dari kayu dengan tebal 0,5 mm, panjang 7 cm dan lebar 5 cm. Saluran masuk menggunakan jarum suntik dengan ukuran mata jarum 1,5 mm.

2.2 Mould making with silicon rubber

Cetakan *silicon rubber* terbuat dari kayu yang dibentuk sesuai dimensi yang dibutuhkan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan cetakan part atas yaitu pemakaian plastisin dan penempatan posisi *master pattern*. Plastisin dibuat berlubang bertujuan sebagai penghubung antara cetakan part atas dan part bawah. Sedangkan penempatan posisi kepala *master pattern* masuk kedalam plastisin, jadi posisi *master pattern* miring kedalam. Sehingga pada cetakan part bawah posisi kepala *master pattern* akan menonjol yang berfungsi sebagai saluran masuk.

Master pattern dioles menggunakan Pol-ease 2300 agar *silicon rubber* dan *master pattern* tidak lengket saat pemisahan [8]. Pemilihan *silicon rubber* yang sesuai dengan karakteristik produk harus mempunyai kualitas yang baik dan mudah ditemukan. Beberapa tipe *silicon rubber* secara kualitas yang sesuai dengan karakteristik produk terdapat 2 tipe yaitu RTV 683 dan RTV 52. RTV 52 mempunyai tekstur yang lebih lunak dibandingkan dengan RTV 683. RTV 52 digunakan pada benda-benda yang sempit dan kelebihan RTV 52 adalah dari elastisitasnya. Namun kekurangannya agak mudah sobek, sedangkan kegunaan RTV 683 digunakan pada produk yang kecil dan detail. Kelebihan dari RTV 683 adalah dari segi kekuatan, kekerasan dan tidak mudah sobek [9]. RTV 683 cocok pada penggunaan produk sekrup dengan detail yang rumit. RTV 683 memiliki tekstur yang kental. Oleh sebab itu, untuk mengatasi hal ini dibutuhkan pengencer *silicon rubber* dengan pemakaian bahan sekitar 10%. Bahan campuran lainnya *silicon rubber* adalah katalis yang berfungsi untuk mempercepat pengeringan *silicon rubber*. Semakin banyak katalis akan membuat cetakan lebih cepat kering. Namun mengurangi kualitas cetakan. Pemakaian katalis yang dianjurkan adalah 38:1 atau sekitar 2,6% [10].

Pengeringan cetakan *silicon rubber* part atas membutuhkan waktu ± 24 jam. Selanjutnya, pemasangan saluran masuk dengan menggunakan jarum suntik yang berdiameter 0,8 mm. Sebelum penuangan, *silicon rubber* diolesi menggunakan *Pol-ease 2300* dan *PVA glue blue*.

2.3 Wax Injection

Proses injeksi pada *pattern wax* menggunakan alat suntik medis dengan modifikasi khusus agar mempermudah proses injeksi. Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan ± 1 jam. Semakin banyak cetakan *silicon rubber* semakin banyak pula hasil yang didapatkan.

2.4 Mould Making with Gypsum

Ceramic slurry terbuat dari campuran air dan *gypsum* dengan perbandingan 1 : 1,25. Takaran untuk sekali pemakaian dalam pembuatan *sekrup penyambung tulang* adalah air 180 ml + *gypsum* 225 ml [7]. *Gypsum* merupakan mineral sulfat yang paling umum di bumi dan terbanyak dalam batuan sedimen. Material cements umumnya digunakan dengan cara dicampur air (H^2O). Jumlah air sangat berpengaruh dalam campuran ini dan akan membentuk padatan lunak seperti tanah liat dengan tingkat kelembekan seperti yang dikehendaki. Ada bermacam-macam *gypsum* dengan tingkat kekuatan yang berbeda dengan campuran air yang diijinkan yang berbeda pula. *Gypsum* yang digunakan untuk *casting slip* harusnya mempunyai daya resap yang lebih kuat daripada *gypsum* untuk keperluan *jigging*. Semakin banyak air yang dimasukkan kedalam bubuk *gypsum* semakin kuat daya resapnya, tetapi kekuatan dan kekerasan cetakan *gypsum* semakin lemah dan rapuh [11]. *Gypsum* pada proses *lost wax casting* digunakan sebagai pembuatan cetakan.

2.5 Pohon Assembly

Pohon *assembly* dibuat dari hasil *pattern wax*. *Pattern wax* dipoles menggunakan *ceramic slurry* dengan menggunakan kuas kecil, tujuannya adalah meminimalisir gelembung udara yang terperangkap pada bagian-bagian sekrup. Setelah memastikan polesan merata keseluruhan bagian sekrup, sisa *ceramic slurry* dituangkan kedalam cetakan. Proses pembuatan batang *pohon assembly* dibuat berlubang agar sebagai penghubung saluran masuk *pattern wax*. Terdapat 5 atau 6 buah *pattern wax* dalam satu cetakan *pohon assembly*. *Drat ulir pattern wax* sangat rapuh dan harus hati-hati saat dipegang.

Pada proses *problem* cetakan *gypsum* dan *pohon assembly* terdapat berbagai cacat produk yaitu porositas rongga gas dan rontokan cetakan. Rontokan cetakan memiliki bentuk kerusakan yang tak menentu hal tersebut terjadi disebabkan pecahnya cetakan dan pecahan *gypsum* yang menyebabkan inklusi *gypsum* ditempat lain. Porositas rongga gas terjadi karena adanya gelembung udara yang terjebak dibagian-bagian sekrup. Cacat porositas rongga gas dapat diantisipasi menggunakan 2 cara yaitu penggunaan alat vakum dan pemolesan *pattern wax*. Kedua faktor tersebut berfungsi untuk meminimalisir gelembung gas yang terjebak dalam cetakan.

2.6 Heating wax pattern

Heating adalah pemanasan untuk mencairkan *pohon assembly* agar menghasilkan rongga cetakan. Pemanasan awal membutuhkan dengan temperatur 110 °C untuk melelehkan lilin, selanjutnya temperatur dinaikan hingga 250 °C dengan waktu 120 menit [12], tujuannya adalah untuk memperkuat rongga cetakan agar tidak terjadi kerusakan saat penuangan logam cair.

2.7 Pouring molten metal

Alat penuangan berfungsi untuk menuangkan logam cair. bahan utama yang dipakai adalah timah pewter dengan titik lebur 231,89°C dan titik didih 2.260°C [13]. Timah adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol (Sn). Ada beberapa jenis material timah yang dapat digunakan yaitu jenis timah solder, timah pewter 2 dan timah pewter 3. Timah pewter adalah jenis timah paduan dengan kandungan tembaga (Cu) dan antimon (Sb). Tujuan kandungan paduan tembaga berfungsi agar lebih jernih atau berkilau sedangkan kandungan antimon berfungsi agar lebih menggeraskan. Perbedaan jenis dari timah tersebut adalah: Timah solder: Sn 40 % dan Ag 60 % , Timah pewter 2: Sn 92 %, Sb 6 % dan Cu 2 % dan Timah pewter 3: Sn 97 %, Sb 2 % dan Cu 1 % [14].

2.8 Remove out the product

Pengeluaran produk menggunakan pisau dan dimasukan kedalam bak air. Pengeluaran harus berhati-hati agar tidak merusak bagian-bagian terpenting.

2.9 Finishing

Pemotongan dan pemerataan saluran masuk menggunakan Gerinda mini. Gerinda ini sangat cocok pada pengerjaan kecil yang butuh ketelitian karena memiliki kecepatan tanpa beban 1000 rpm.

2.10 Perhitungan penyusutan

Secara teori perhitungan penyusutan terdapat 2 cara yaitu pertama, perhitungan volume menggunakan alat ukur, lalu didesain menggunakan software Solidwork. Kedua, perhitungan volume aktual menggunakan pipet ukur. Cara pertama mempunyai banyak kesulitan dalam proses pengukuran dimensi, sebab produk berdimensi kecil dan ketelitian tinggi jadi sedikit salah pengukuran akan mempengaruhi hasil perhitungan volume. Maka dalam studi ini menggunakan cara yang kedua yaitu perhitungan volume aktual. Dalam perhitungan penyusutan terdapat 2 hasil yaitu hasil *pattern wax* dan hasil akhir produk. Perhitungan volume aktual menggunakan pipet ukur yang berukuran 2 ml hasil *pattern wax* dan 10 ml untuk hasil akhir produk.

3. Hasil dan pembahasan

Pengecekan pada hasil produksi mempunyai peran penting dalam menentukan kualitas produk dengan mengacu standar yang ditentukan. Pengecekan secara menyeluruh dan mendetail terhadap hasil produk terdapat tiga jalur atau tiga tempat untuk menyimpan hasil sortir.

- Jalur pertama adalah jalur untuk material atau hasil produksi yang lolos.
- Jalur kedua adalah jalur untuk hasil produksi yang tidak lolos dengan kegagalan dibawah 50%, dalam artian, produk ini bisa diperbaiki dalam waktu yang singkat.
- Jalur ketiga adalah jalur untuk material dan hasil produksi yang kegagalannya diatas 50%. Produk bisa di daur ulang atau bila diperbaiki akan memakan waktu yang cukup lama.

Hasil *lost wax casting* terbagi menjadi 2 yaitu dari hasil *pattern wax* dan hasil akhir produk. Pada inspeksi visual hasil *pattern wax* terdapat cacat produk yang meliputi: porositas rongga gas, *pattern wax* tidak terbentuk dan *pattern wax* melebar. Sedangkan inspeksi visual hasil akhir produk terdapat cacat yang meliputi: porositas rongga gas, rontokan cetakan dan ulir yang tidak terbentuk. Selanjutnya menghitung penyusutannya (*shrinkage*). Analisis proses manufaktur bertujuan agar perhitungan dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Secara umum hanya ada 2 hasil pensortiran produk yaitu saat pensortiran *pattern wax* dan hasil akhir produk. Kedua proses tersebut memiliki tingkat kelolosan

produksi diatas 50% hingga mencapai 80%. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kelolosan dibagi beberapa proses dan akan dijelaskan detail pada sub bab berikutnya.

3.1 Pengamatan hasil *pattern wax*

Dalam prosedur *lost wax casting* terdapat 3 tahapan untuk menghasilkan *pattern wax*. Tahapan tersebut meliputi *wax mould design*, *mould making with silicon rubber* dan *wax injection*. Dari hasil *pattern wax* sebagian terdapat cacat yaitu antara lain: porositas rongga gas, *pattern wax* tidak terbentuk dan *pattern wax* melebar. Pengamatan cacat ditemukan dari beberapa analisis yaitu pada pembuatan cetakan *silicon rubber* dan analisis injeksi lilin.

3.1.1 Analisis cetakan *silicon rubber*

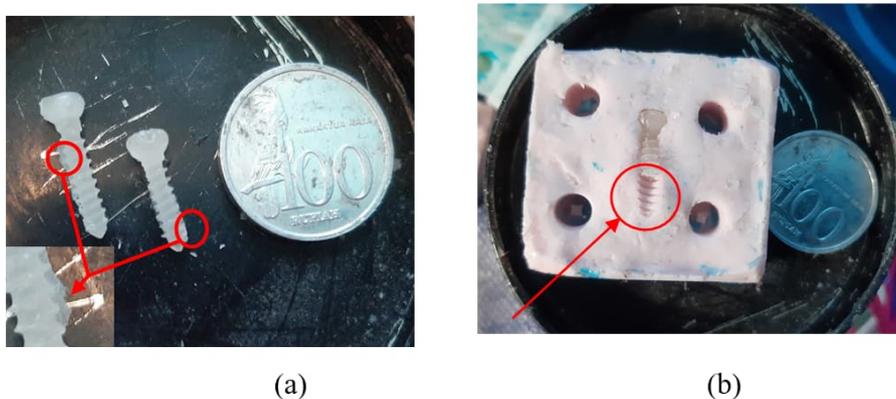
Porositas rongga gas terjadi karena adanya gelembung udara terjebak diarea *master pattern*. Dari hasil eksperimen porositas rongga gas disebabkan oleh 2 faktor yaitu pertama, *Silicon rubber* yang terlalu kental mengakibatkan gelembung udara tidak bisa keluar. Jadi takaran yang dianjurkan adalah 2,6% katalis [10] dan 10% pengencer. Kedua, penggunaan alat vakum dengan cara kerjanya menggunakan sistem getaran. Tujuannya adalah mempermudah gelembung udara agar dapat keluar.



Gambar 3. Porositas rongga gas

3.1.2 Analisis injeksi lilin

- Kontrol tekanan injeksi harus baik jika tekanannya terlalu besar maka cairan lilin akan melebar (Gambar 3a).
- Pattern wax* tidak terbentuk sempurna (Gambar 3b) disebabkan oleh 2 faktor yaitu pertama, jarum suntik berukuran sama atau lebih kecil dari lubang saluran masuk. Jadi, penggunaan jarum suntik harus lebih besar dari saluran masuk agar rongga dapat terisi penuh. Diameter jarum suntik yang dianjurkan adalah 1,5 mm. Kedua, *pattern wax* tidak dalam kondisi kering saat dibuka. Hal ini mengakibatkan hasil *pattern wax* rusak. Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan adalah ± 1 jam.



Gambar 4. (a) *Pattern wax* tidak terbentuk (b) *Pattern wax* melebar

3.2 Pengamatan hasil produk

Proses akhir produk *difinishing* dengan cara memotong dan meratakan saluran masuk. Terdapat beberapa cacat produk yang ditemukan dalam proses *visual inspection* yaitu antara lain: porositas rongga gas luar, ulir yang tidak terbentuk dan rontokan cetakan. Pengamatan cacat ditemukan dari beberapa analisis yaitu pada analisis cetakan *gypsum* dan pohon *assembly* serta analisis bahan.

3.2.1 Analisis cetakan *gypsum* dan pohon *assembly*

Cacat porositas rongga gas:

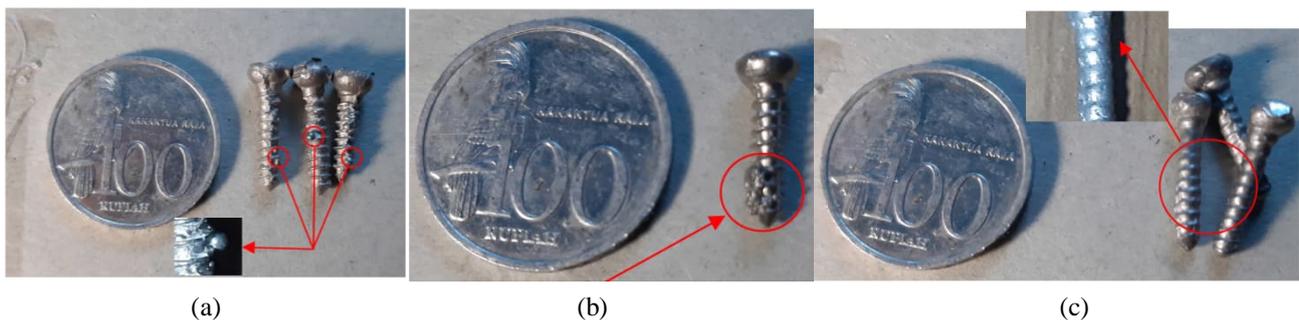
- Pemolesan *ceramic slurry* harus menyeluruh ke semua bagian *pattern wax* agar tidak ada gelembung udara. Proses pemolesan menggunakan kuas, semakin kecil ukuran kuas semakin baik hasil pemolesan karena dapat masuk dalam celah ulir sekrup. Lebar kuas yang dianjurkan berukuran 0,1 mm.
- Penggunaan alat vakum pada proses *lost wax casting* digunakan dua kali yaitu pada proses pembuatan cetakan *silicon rubber* dan proses pembuatan cetakan *ceramic slurry*. Proses vakum berlangsung sekitar ± 15 menit hingga gelembung gas dapat dipastikan keluar.

Cacat rontokan cetakan:

- Takaran antara air dan *gypsum* adalah 1:1,25. jika terlalu kental maka cetakan mengalami rontokan cetakan dan jika terlalu encer *pattern wax* tidak dapat dipoles.
- Jarak waktu proses pengeringan pemolesan dan pembuatan cetakan *ceramic slurry* terlalu lama.

3.2.2 Analisis bahan

Faktor tidak terbentuknya ulir pada hasil *lost wax casting* disebabkan oleh jenis material yang dipakai. Dari percobaan timah pewter 2 dan 3 memiliki sifat yang berbeda. Pewter 3 memiliki sifat lebih lama mencair ketika dipanaskan, pengeringannya lebih cepat dan sukar dibentuk. Sedangkan sifat timah pewter 2 lebih cepat mencair ketika dipanaskan, pengeringannya lebih lama dan mudah dibentuk. Sedangkan timah solder lebih cepat cair ketika dipanaskan dan juga pengeringannya lebih cepat. Dari pengamatan sifat timah pewter 2 memiliki sifat yang baik dalam experiment ini. Jadi semakin lama pengeringan semakin besar tekanan yang dihasilkan maka cairan timah dapat masuk kedalam celah-celah kecil. Sedangkan timah pewter 3 dan timah solder lebih cepat kering ketika proses penuangan, hal ini mengakibatkan ulir tidak terbentuk (Gambar 4c).



Gambar 5. (a) Hasil cacat cetakan porositas rongga gas (b) Rontokan cetakan (c) Ulir tidak terbentuk

3.3 Analisis perhitungan penyusutan

Dari data yang didapat hasil pengukuran dan perhitungan volume aktual *master pattern* adalah 0,23 ml. Sedangkan hasil pada proses *lost wax casting* terdapat 2 tipe proses penyusutan yaitu pada hasil *pattern wax* dan hasil akhir produk. Pada perhitungan penyusutan hasil *pattern wax* menggunakan alat ukur pipet berkapasitas 2 ml $\pm 0,02$, sedangkan pada perhitungan penyusutan hasil akhir produk menggunakan alat ukur pipet berkapasitas 10 ml $\pm 0,05$. Teknik perhitungan volume yaitu dengan cara memasukkan hasil produk kedalam pipet ukur yang sebelumnya sudah terisi air. Tujuannya

adalah untuk menentukan selisih nilai hasil setiap produk, sehingga dapat mengetahui dampak dari penyusutan terhadap keakurasian dimensinya. Sampel yang digunakan pada percobaan ini adalah masing-masing 10 buah sekrup. Selanjutnya, hasil pengukuran dihitung untuk menentukan persentase penyusutan yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S = (V_{asli} - V_{produk}) / V_{asli} \times 100\%$$

Tabel 1. Standar persentase penyusutan material [15]

Metal	Crystal structure	Melting point, °C	Solidification shrinkage (%)	Total shrinkage (%)
Si	diam	1410	-9.6 ÷ -2.9	-6.26
Sn	tetrag	232	2.51 ÷ 2.6	4.1
Zn	hcp	420	4.08 ÷ 4.3	7.9

*Calculated from data collected from [28-31].

Tabel 2. Hasil pengukuran volume produk *casting*

Produk	Volume <i>pattern wax</i> (ml)	Volume produk (ml)
1	0,23	0,18
2	0,21	0,23
3	0,23	0,23
4	0,23	0,23
5	0,23	0,23
6	0,21	0,23
7	0,23	0,18
8	0,23	0,23
9	0,23	0,23
10	0,23	0,18
\bar{X}	0,226	0,215

Perhitungan persentase penyusutan:

$$V_{master\ pattern} = 0,23\ ml$$

$$V_{patten\ wax} = 0,226\ ml\ (Pipet\ 2\ ml \pm 0,02)$$

$$S = (0,23\ ml - 0,226\ ml) / 0,23\ ml \times 100\% = 1,74\%$$

$$V_{hasil\ produk} = 0,215\ ml\ (Pipet\ 10\ ml \pm 0,05)$$

$$S = (0,23\ ml - 0,215\ ml) / 0,23\ ml \times 100\% = 6,52\%$$

Jadi hasil penyusutan timah adalah $6,52 - 1,74 = 4,78\%$. Sedangkan standar penyusutan timah (sn) yang terdapat pada Tabel 2 menunjukkan angka 4,1%. Jadi hal ini menunjukkan bahwa selisih perbandingan antara perhitungan penyusutan hasil produk dengan standar penyusutan memiliki persentase yang hampir sama.

4. Kesimpulan

Menurut banyak literatur proses *lost wax casting* mampu menghasilkan produk dengan keakurasian dimensi yang baik. Penelitian ini membahas tentang pembuatan sekrup penyambung tulang dari bahan timah yang meliputi: proses manufaktur dan mengamati cacat produknya. Pada proses pembuatan cetakan *pattern wax* bahan yang digunakan adalah *silicon rubber* dengan campuran katalis 2,6% dan pengencer 10%. Pembuatan *pattern wax* mengharuskan proses *improvement* pada kontrol *injection*. Salah satu faktor untuk mengontrol tekanan *injection* adalah menggunakan jarum suntik yang diameternya lebih besar dari lubang saluran masuk. Pembuatan cetakan *ceramic slurry* adalah campuran antara air dan *gypsum* dengan perbandingannya 1:1,25. Hasil pengamatan proses manufaktur terdapat 2 proses cacat yaitu pada proses pembuatan *pattern wax* dan cacat hasil akhir produk. Dalam pengamatan pembuatan *pattern wax* terdapat cacat yang antara lain: porositas rongga gas, *pattern wax* tidak terbentuk dan *pattern wax* melebar. Sedangkan pengamatan hasil akhir produk terdapat cacat yang antara lain: porositas rongga gas, rontokan cetakan dan ulir tidak terbentuk. Sedangkan hasil maksimal penyusutan yang terjadi pada proses *lost wax casting* adalah 6,52%.

Daftar Pustaka

- [1] Moh. N. A. Aziz, Rusnaldy, Patrick Munyensanga, Susilo A. Widyanto, Paryanto. Application of lost wax casting for manufacturing of orthopedic screw: a review, *Procedia CIRP* 78 (2018) 149–154
- [2] A. Hermanto, Y. Burhanudin, I. Sukmana. Peluang dan tantangan aplikasi baut tulang mampu terdegradasi berbasis logam magnesium *Dinamika Teknik Mesin* (2016) 6: 93-98
- [3] Arif Permana Yudha. Inovasi Alat Kesehatan Era Transformasi Digital, Ditjen PEN/MJL/66/IX/2018
- [4] Suherman K. Mold production for wax pattern in investment casting for Francis turbine runner's blade. (2008) 5–25
- [5] Hafid. Penelitian Bahan Substitusi Import Untuk Pembuatan Cetakan Keramik Pada Teknologi Proses Investment Casting, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*, (2012) ISSN 1411-2213
- [6] Hunt LB. The long history of lost wax casting - Over five thousand years of art and craftsmanship. *Gold Bull*; (1980) 13(2):63–79
- [7] Moh. N. A. Aziz, Rusnaldy, Paryanto, Patrick Munyensanga Aplikasi Lost Wax Casting untuk Pembuatan Screw Ortopedi, *Jurnal Metalurgi dan Material Indonesia (JMMI)*. (2019) Vol. 2, No. 3
- [8] Mold Making Methods. Polytek® - Concrete Exchange. <https://www.concreteexchange.com/pdfs/info/Polytek.pdf>. Polytek® Development Corp. (Diakses pada tanggal 8 Oktober 2022)
- [9] Membedakan silicone rubber rtv 52 trv 683. <http://resin-bekasi.blogspot.com/2014/04/membedakan-silicone-rubber-rtv-52-trv.html>. (Diakses pada tanggal 8 Oktober 2022)
- [10] Peter Prayogo P. Pengaruh Jumlah Putaran Dan Silicon Terhadap Variasi Persentase Katalis Pada Cetakan Silicon Rubber. Universitas Gadjah Mada. (2018)
- [11] Membuat cetakan gypsum. <http://keramik88.com/keramik/membuat-cetakan-gypsum.html>. Keramik88.com. 2009 (Diakses pada tanggal 8 Oktober 2022)
- [12] Puji Widi Rahayu. Kerajinan Logam Timah “Pewter” Muntok Kabupaten Bangka Barat Provinsi Bangka Belitung. Universitas Negeri Yogyakarta (2013)
- [13] Guler KA, Cigdem M. Casting quality of gypsum bonded block investment casting molds. *Adv Mater Res*. (2012) 445:349–54.

- [14] Firlya Rosa, Suhdi. Analisa Lanjut Perubahan Sifat Mekanik Bahan Pewter Dengan Reduksi 50% Pada Proses Pengerolan Bahan. SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin (2016) VOL 10 NO 1. ISSN 2088-9038
- [15] Natalia Sobczak, Artur Kudyba, Rafal Nowak, Waldemar Radziwill, and Krystyna Pietrzak. Factors affecting wettability and bond strength of solder joint couples. (2007) Vol. 79, No. 10, pp. 1755–1769