

ANALISIS TEMPERATURE CHAMBER PADA PROSES PRODUKSI INTERFERENCE SCREW BERBAHAN PLA/PCL/HA DENGAN METODE CASTING

Juli Eri Wijayanto, Rifky Ismail, Athanasius Priharyoto Bayuseno

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: uijuli22@gmail.com

Abstrak

Proses produksi *casting* merupakan proses manufaktur yang ada sejak lama, dengan menggunakan *molding* permanen berbahan polimer dapat digunakan untuk pembuatan *interference screw* dengan geometri yang terbentuk penuh. Parameter pencetakan menjadi hal yang harus diperhatikan untuk menghasilkan *interference screw* dengan sifat fisik dan mekanik yang baik. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah biokomposit (85% PLA, 15% PCL, dan 5% HA) Variabel tetap pada penelitian ini adalah suhu cetakan 30°C dan tekanan pada alat *vertical heating chamber* sebesar 3bar. Variasi parameter pada penelitian ini adalah *temperature chamber* sebesar 165°C, 170°C, 175°C, dan 180°C. Pada penelitian ini pembuatan dengan nilai *temperature chamber* 165°C tidak dapat terbentuk sempurna sehingga tidak dapat dilakukan pengujian karakterisasi lebih lanjut. Untuk variable *temperature chamber* 175°C memiliki sifat fisik dan mekanik terbaik, dari hasil karakterisasi yang dilakukan yaitu pengujian densitas, pengujian torsi, pengujian kekerasan, dan pengujian biodegradable. Berdasarkan pada penelitian ini disimpulkan bahwa nilai *temperature chamber* berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik pada *screw* yang dihasilkan. Titik leleh material yang digunakan juga harus diperhatikan karena sangat berpengaruh pada karakterisasi *screw* yang dihasilkan. Variasi *temperature chamber* menghasilkan nilai densitas terbesar yaitu 1,26 gr/cm³ dan terkecil adalah sebesar 1,11 gr/cm³ dimana nilai tersebut masuk dalam nilai densitas tulang manusia.

Kata kunci: hidroksiapatit (ha); *interference screw*; policaprolactone (pcl); polilactic acid (pla)

Abstract

The casting production process is a long-standing manufacturing process, using polymer permanent molding can be used to manufacture interference screws with fully formed geometry. Printing parameters must be considered to produce interference screws with good physical and mechanical properties. The material used in this study was biocomposite (85% PLA, 15% PCL, and 5% HA) The fixed variables in this study were the mold temperature of 30 ° C and the pressure in the vertical heating chamber of 3 bar. The parameter variations in this study are temperature chambers of 165°C, 170°C, 175°C, and 180°C. In this study, the manufacture with a temperature chamber value of 165 ° C could not be fully formed so that further characterization testing could not be carried out. For variable temperature chamber 175°C has the best physical and mechanical properties, from the results of characterization carried out, namely density testing, torque testing, hardness testing, and biodegradable testing. Based on this study, it was concluded that the value of the temperature chamber affects the physical and mechanical properties of the resulting screw. The melting point of the material used must also be considered because it greatly affects the characterization of the resulting screw. Variations in chamber temperature produce the largest density value of 1.26 g / cm³ and the smallest is 1.11 g / cm³ where the value is included in the value of human bone density.

Keywords: hidroksiapatit (ha); *interference screw*; policaprolactone (pcl); polilactic acid (pla)

1. PENDAHULUAN

Lutut merupakan sendi terbesar dan paling kompleks dalam tubuh manusia, di mana tiga tulang ekstremitas bawah bertemu: femur, tibia, dan patella. Selain tulang-tulang ini, sendi lutut juga melibatkan kartilago, otot, tendon, dan ligamen. Salah satu ligamen yang menghubungkan tulang-tulang lutut, yaitu *Anterior Cruciate Ligament* (ACL), yang berfungsi untuk mencegah tibia bergerak ke depan dan membatasi rotasi lutut, yaitu menstabilkan kaki dalam gerakan rotasi. Kebutuhan untuk menahan berat badan saat berdiri, berjalan, berlari, atau melompat, membuat lutut sangat rentan

terhadap cedera. Belakangan ini, terjadi peningkatan operasi rekonstruksi ACL, dan oleh karena itu, banyak peningkatan dan inovasi yang diusulkan. Selama rekonstruksi ACL, diperlukan sistem fiksasi yang baik yang mampu menjaga cangkok di dalam terowongan tibia tanpa gerakan sampai terintegrasi sepenuhnya dan terfiksasi dalam jaringan tulang. Pada saat yang sama, rekonstruksi harus cukup kaku dan kuat untuk menahan beban yang biasanya diterima oleh ACL [1]. Selain itu, juga terdapat kasus kerusakan pada ligamen yang membutuhkan *screw* sebagai implan untuk menahan dan mengunci ligamen otot (*graft*) yang baru. *Interference screw fixation* adalah salah satu metode paling umum untuk rekonstruksi ligamen. Yang mana keuntungan dan hasil klinis dari prosedur ini telah dilaporkan secara luas [2] [8].

Data dari Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, pada awal tahun 2022 lebih dari lebih dari 1.300 *screw* medis diimpor dari berbagai negara demi memenuhi kebutuhan *screw* medis di Indonesia [3]. Hal ini menunjukkan bahwa saat ini Indonesia masih mengandalkan *biodegradable interference screw* impor. Sekarang ini, di Indonesia masih belum ada produk *biocomposite interference screw* buatan lokal. Penelitian oleh [4] yang dilakukan di CBIOM3S UNDIP telah melakukan penelitian mengenai *interference screw* berbahan PLA murni. Dari penelitian tersebut berhasil diproduksi *interference screw* menggunakan metode FDM 3D Printing, namun hasil dari *screw* tersebut masih memiliki kekurangan pada sifat mekaniknya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *screw* berbahan biokomposit memiliki sifat mekanik hanya memenuhi 34% kekuatan mekanis dari *screw* komersil. Dengan melihat kebutuhan yang begitu besar, mengawali pemikiran untuk memproduksi *interference screw* dalam negeri dengan kualitas *screw* komersial. Pengembangan yang dilakukan oleh [5], dengan menggunakan metode 3D print dan filamen biokomposit berbahan (HA/PLA/PCL) pada suhu nozzle 190°C, 195°C, 200°C, dan 205°C. Mendapatkan hasil nilai *efficient clamping* masih kecil yang masuk dalam kualifikasi *clamping* pada saat uji torsi.

Menurut [6] dari semua kelebihan yang dimiliki metode 3D print FDM, terdapat kelemahan pada metode produksi ini, yaitu permukaan produk yang dihasilkan tampak memiliki garis yang menampilkan batas antar layer karena teknik ini menggunakan proses *building* per layer. Metode 3D print jenis FDM sangat baik digunakan untuk produk *prototype* yang bersifat *custom design* dimana proses pembuatannya hanya membuat satu atau beberapa produk tidak untuk produksi dengan skala besar atau masal. Hal tersebut disebabkan karena untuk pembuatan *biodegradable interference screw* dengan 3D print memerlukan filamen yang untuk sekarang belum terdapat dipasaran yaitu filamen biokomposit (PLA/PCL/HA) yang diproduksi oleh CBIOM3S UNDIP. Hal ini yang memunculkan pemikiran untuk mencari metode proses pembuatan *interference screw* dengan waktu yang lebih efektif dengan hasil *screw* yang dapat di sejajarkan dengan *screw* komersil berdasarkan kualitasnya.

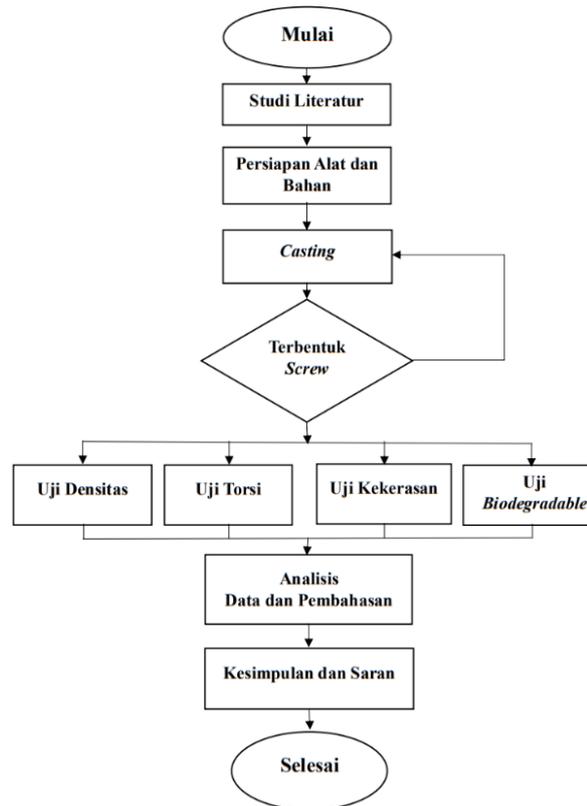
Menurut [12] yang telah berhasil mencetak filamen untuk *screw* dengan metode 3D print menyatakan bahwa pada dasarnya metode 3D print adalah alternatif dari metode *casting*. Sehingga metode *casting* dipilih dalam pengembangan *interference screw* yang akan dilakukan pada penelitian ini. Dengan memberikan variasi suhu *chamber* pada metode *casting* yang memiliki persamaan cara kerja dengan *nozzle* pada metode 3D print, maka dapat dilihat hal-hal yang dipengaruhi oleh temperatur tuang pada sifat fisik dan mekanik *screw* yang terbentuk [14]. Melihat temperatur merupakan salah satu faktor penting pada proses *casting* dalam mempengaruhi hasil, maka diperlukan riset lebih mendalam tentang pengaruh temperatur pada produk yang dihasilkan. Metode *casting* memerlukan cetakan, dimana cetakan permanen dalam penggunaannya mendahului jenis cetakan yang lain seperti cetakan pasir dan lainnya. Jenis cetakan permanen secara bertahap muncul, tetapi terbatas dalam aplikasi pada material logam saja. Cetakan permanen dapat didefinisikan hanya sebagai penuangan material cair ke dalam cetakan yang telah dipanaskan sebelumnya.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk membuat dan menguji *interference screw* berbahan *Poly lactid Acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan *Hydroxyapatite* (HA) cangkang kerang hijau yang dibuat menggunakan metode *casting* menggunakan alat *vertical heating system*. Bahan biokomposit ini dibuat melalui proses *chemical blending* dengan variabel tetap dalam penelitian kali ini yaitu pada saat proses percetakan *interference screw* menggunakan material biokomposit berbahan 85% PLA, 15% PCL, dan 5wt% HA cangkang kerang hijau yang telah dibuat melalui proses *chemical blending*. Pada proses pembuatan membutuhkan tekanan untuk mendorong material dalam *chamber* menuju *molding negative* dengan nilai tekanan yang diberikan silinder *pneumatic* terhadap *plunger* sebesar 3 bar dengan kecepatan 68 mm/s. Sedangkan untuk temperatur dari *molding* adalah 30°C.

2.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian *interference screw*, dimana berisikan langkah-langkah yang saling berkaitan satu dengan yang lain dan berurutan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1



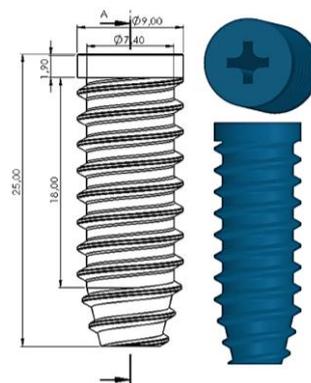
Gambar 2. 1 Diagram alir penelitian

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium yang bertujuan untuk memperoleh atau memperluas fakta yang sudah ada sebelumnya. Proses pembuatan *interference screw* adalah sebagai berikut.

2.2.1. Desain *Interference Screw*

Berisikan desain *interference screw* yang digunakan dalam penelitian kali ini. Desain *interference screw* ini dibuat menggunakan metode *revers engineering* dari *interference screw* komersial. Desain yang didapat ditunjukkan Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Desain *interference screw*

2.2.2. *Molding Negative (Cetakan)*

Pembuatan *moulding negative* menggunakan material polimer dengan jenis *thermoset*. *Molding* ini dibuat dengan membagi tiga bagian yaitu dua sisi untuk bagian samping dan bagian bawah untuk kepala *screw* dengan menambahkan *screwdriver* dengan bentuk sesuai pada desain yang telah dibuat.

2.2.3. Heating Chamber

Chamber pemanas digunakan untuk melelehkan material biokomposit dan mengatur *temperature* yang diperlukan.

2.3 Karakterisasi Interference Screw

2.3.1 Pengujian Torsi

Pengujian torsi sesuai dengan ASTM F2502 tentang standar spesifikasi dan metode pengujian untuk *bioabsorbable plates* dan *screws for internal fixation implants*. Pengujian ini bertujuan untuk mendapat kan nilai *Threshold Torque* (TT) dan *Peak Failure Torque* (PFT).

2.3.2 Pengujian Densitas

Pengujian Densitas dilakukan dengan menggunakan alat *densitymeter* yang berada di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP. Alat ini kemudian diisi air terlebih dahulu sebanyak 500 ml. Cairan menggunakan air karena sesuai dengan standar yang digunakan adalah ASTM 792-08. Setelah itu massa *interference screw* di udara ditimbang pada wadah yang tersedia di alat *densitymeter*. Kemudian *interference screw* dimasukkan ke dalam wadah yang telah terisi air untuk mengetahui nilai massa di dalam air.

2.3.3 Pengujian Biodegradable

Pengujian *biodegradable* dilakukan untuk mengetahui *degradation rate* dari *interference screw*. Pengujian dilakukan dengan menghitung massa *interference screw* sebelum dan sesudah direndam didalam larutan yang terdiri dari 8,75 gram NaCl dan 250 ml *aquades*. Pengujian dilakukan dengan waktu perendaman 6 hari[11].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Densitas

Hasil pengujian densitas *interference screw* berbahan biokomposit memiliki densitas pada suhu 170°C dengan nilai 1,11 gr/cm³. *Interference screw* berbahan biokomposit yang memiliki densitas dihasilkan masuk kedalam nilai densitas *cortical bone* yang dimana dijelaskan oleh Ismail, dkk. (2022) bahwa *cortical bone* manusia memiliki densitas 1,1 gr/cm³ hingga 1,3 gr/cm³. Perbedaan *temperature chamber* ketika proses pencetakan material biokomposit menghasilkan perbedaan densitas produk yang dihasilkan. Penentuan *temperature chamber* pengujian ini disesuaikan dengan penelitian yang dilakukan oleh [7] yang menjelaskan bahwa komposit PLA/PCL/5HA memiliki nilai *melting point* pada *temperature* 173,88°C.

3.2. Pengujian Torsi

Pengujian torsi menggunakan ASTM F2502 tentang standar spesifikasi dan metode pengujian untuk *bioabsorbable plates* dan *screws for internal fixation implants*. Hasil pengujian uji torsi dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Hasil pengujian torsi *interference screw*

Spesimen	Surface Area	Threshold Torque (N.mm)	Peak Failure Torque (N.mm)	Peak Clamping Torque (N.mm)	Peak Clamping Torque Normalize (N/mm)	CTL (1,5 TT-2,25 TT)
Spesiman penelitian ini	471,00	489,00	548,00	518,50	1,100	733,50 - 1100,25
Penelitian (Jamari, dkk., 2023)	390,18	306,00	479,00	392,50	1,006	409,00 – 688,50
Penelitian (Fahrizal, dkk. 2023)	471,00	345,00	1090,00	717,50	1,523	517,50 – 776,25

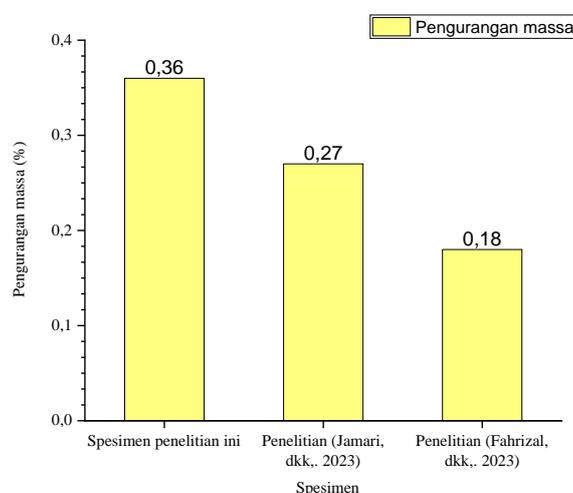
Dari hasil pengujian torsi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan nilai torsi *screw* berbanding lurus dengan kenaikan nilai densitas. mengungkapkan bahwa meningkatnya densitas spesimen berbanding lurus dengan meningkatnya nilai *peak failure torque* suatu spesimen. Pada Tabel 3.1 juga dapat dilihat terdapat nilai Clamping Torque Limit (CTL). CTL merupakan nilai yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan kategori *interference screw* tersebut termasuk kategori Clamping, Good Clamping, atau Clamping Failure. Yang dimana semakin besar nilai Clamping Torque Limit (CTL) maka semakin besar torsi yang dapat ditahan oleh *interference screw*, sehingga kualitas clamping force yang dimiliki oleh *interference screw* akan semakin baik. Apabila nilai PCT mampu berada diantara nilai CTL sebesar 1,5TT sampai 2,25TT maka *interference screw* termasuk dalam kategori good clamping. Dapat dilihat hasil perbandingan visualisasi efisiensi *interference screw* pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Hasil perbandingan visualisasi efisiensi *interference screw*

Spesimen	PCT	CTL	Kategori
Spesimen penelitian	518,50	733,5 - 1100,25	Clamping
Penelitian (Jamari, dkk., 2023)	392,50	409,00 – 688,50	Clamping
Penelitian (Fahrizal, dkk. 2023)	717,50	517,50 – 776,25	Good Clamping

3.3. Pengujian *Biodegradable*

Hasil pengamatan tingkat *biodegradable* dari *interference screw* dapat dilihat dari berkurangnya massa *interference screw* setelah direndam dalam larutan NaCl[5]. Pengurangan massa spesimen *interference screw* dihitung dari selisih hasil penimbangan spesimen sebelum perendaman dan setelah perendaman. Hasil pengujian *biodegradable interference screw* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Grafik nilai laju degradasi *interference screw*

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat data besaran pengurangan berat pada pengujian yang direndam dengan larutan NaCl. Spesimen yang di cetak dengan temperature chamber 170°C yang memiliki nilai laju degradasi yang paling tinggi. Dari hasil perbandingan pada pengujian ini dapat diketahui bahwa densitas berpengaruh pada laju degradasi. Hal ini dikarenakan semakin rendah nilai densitas maka akan lebih kecil nilai kepadatan terbentuk[10]. Dengan demikian spesimen yang memiliki nilai densitas lebih kecil akan lebih banyak menyerap air lewat pori yang berada pada permukaan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [9] yang melakukan pengujian material PLA/PCL menunjukkan spesimen dengan nilai kerapatan kecil akan menyerap air lebih sedikit. [13] [15]. Dengan demikian, pada spesimen biokomposit yang memiliki nilai densitas yang lebih kecil akan lebih mudah terdegradasi

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan hasil setelah dilakukan pengujian densitas, pengujian torsi, dan pengujian *biodegradable* adalah *interference screw* variasi *temperature chamber* 170°C (SC2). Dari ketiga variasi spesimen yang dapat diuji, spesimen ini memiliki nilai densitas yaitu 1,11 gr/cm³. Pengujian torsi *interference screw* dari spesimen memiliki nilai efisiensi torsi pada area *clamping*, dengan nilai (PFT) yaitu 548,00 N.mm dan nilai (PCT) adalah 518,5 N.mm. Kriteria terbaik dari efisiensi torsi adalah area *good clamping* dikarenakan pada area tersebut memiliki penjepitan yang bagus pada *graft* dan juga tidak mengakibatkan pelebaran *graft* tulang pada saat pemasangan dilakukan. Sedangkan syarat paling penting untuk *bioabsorbable interference screw* adalah bisa terdegradasi dalam tubuh dan spesimen SC3 mendapatkan hasil laju degradasi yaitu 0,36% dalam pengujian *biodegradable* yang dilakukan selama 6 hari. Dimana hal tersebut menyatakan bahwa *screw* tersebut dapat terdegradasi dalam larutan tubuh manusia.

Daftar Pustaka

- [1] Opinião G, Sardinha M, Ribeiro NA, Vaz MF, Reis L. Development of a fused filament fabricated bioabsorbable interference screw for anterior cruciate ligament regeneration. *Procedia Struct Integr* 2022;42:1266–73.
- [2] Hu B, Shen W, Zhou C, Meng J, Wu H, Yan S. Cross Pin Versus Interference Screw for Femoral Graft Fixation in Hamstring Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Clinical Outcomes. *J Arthrosc Relat Surg* 2018;34:615–23.
- [3] Badan Pusat Statistik. Data Impor Bone Screw 2017-2020. 2022.
- [4] Ismail R, Fitriyana DF, Bayuseno AP, Munanda R, Muhamadin RC, Nugraha FW, et al. Design, Manufacturing and Characterization of Biodegradable Bone Screw from PLA Prepared by Fused Deposition Modelling (FDM) 3D Printing Technique. *J Adv Res Fluid Mech Therm Sci* 2023;103:205–15. <https://doi.org/10.37934/arfmts.103.2.205215>.
- [5] Jamari J, Fitriyana DF, Ramadhan PS, Nugroho S, Ismail R, Bayuseno AP. Interference screws 3D printed with polymer-based biocomposites (HA/PLA/PCL). *Mater Manuf Process* 2022.
- [6] Fauzi Hanafi A, Finali A, Rochmad Eko dan P, Mesin T, Negeri Banyuwangi P, Raya Jember JK, et al. Analisa perubahan temperature extruder dan heat bed terhadap sifat mekanik material produk 3d printer tipe fused deposition modelling (fdm) menggunakan filament pla+ esun. *Semin Nas Terap Ris Inov Ke-6 ISAS Publ Ser Eng Sci* 2020;6:457–65.
- [7] Pitjamit S, Thunsiri K, Nakkiew W, Wongwichai T, Pothacharoen P, Wattanutchariya W. The Possibility of Interlocking Nail Fabrication from FFF 3D Printing PLA/PCL/HA Composites Coated by. *Materials (Basel)* 2020;13.
- [8] Nitz AJ. Bone Injury and Repair. In *Orthopaedic Physical Therapy Secrets* 2017:28–34.
- [9] Moura CS, Ferreira FC, Bártolo PJ. Comparison of Threedimensional Extruded Poly (ϵ -Caprolactone) and Polylactic acid Scaffolds with Pore size Variation. *Procedia CIRP* 2016:209–12.
- [10] Hidroksiapatit DAN, Cangkang D, Terhadap R, Mekanik S, Filamen DANK. *Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059* 2023;11:1–6.
- [11] Almeir MF, Ismail R, Bayuseno AP, Fitriyana DF, Mesin DT, Teknik F, et al. PENGARUH FLOW EXTRUSION 3D PRINTING PADA PEMBUATAN INTERFERENCE SCREW MENGGUNAKAN FILAMEN BIODKOMPOSIT (PCL / PLA / HA) TERHADAP 2023;11:181–6.
- [12] Assalam MR, Ismail R, Bayuseno AP, Fitriyana DF, Mesin D, Teknik F, et al. Online : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm> Online : <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm> 2023;11:11–6.
- [13] Bagaskara IF, Priharyoto Bayuseno A, Ismail R, Soedarto JH, +62247460059 T. Pengujian Densitas Dan Biodegradable Material Filament 3D Print Bio-Komposit Berbahan Pcl, Pla Dan Hidroksiapatit Cangkang Rajungan. *J Tek Mesin S-1* 2020;10:13–8.
- [14] Ismail R, Cionita T, Lai YL, Fitriyana DF, Siregar JP, Irawan AP, et al. Characterization of PLA / PCL / Green Mussel Shells. *Materials (Basel)* 2022.
- [15] Mubarak MH, Priharyoto Bayuseno A, Ismail R. Pengaruh Suhu Ekstrusi Terhadap Densitas Dan Laju Degradasi Pada Filamen 3D Print Berbahan Pla, Pcl, dan HA. *J Tek Mesin S-1* 2022;10:53–8.