

## Analisis Parameter Fisik Filamen Biokomposit PLA PCL HA Hasil Proses Ekstrusi

Wahyu Hidayat<sup>a,b</sup>, Athanasius Priharyanto Bayuseno<sup>a</sup>, Rifky Ismail<sup>a,b\*</sup>, Deni Fajar Fitriyana<sup>c</sup>, Tezara Cionita<sup>d</sup>  
Hartanto Prawibowo<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH., Tembalang-Semarang 50275

<sup>b</sup>Center for Biomechanics, Biomaterials, Biomechatronics and Biosignal Processing, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH., Tembalang-Semarang 50275

<sup>c</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
Kampus UNNES Sekaran Gunungpati Semarang 50229

<sup>d</sup>Faculty of Engineering and Quantity Surveying, INTI International University  
Negeri Sembilan, 71800, Nilai, Malaysia

\*E-mail: ismail.rifky@gmail.com

### Abstract

This research focuses on the challenges of metal implants that require a second operation, as well as the risks of infection, inflammation, and corrosion that may occur within the body. To address these issues, this research develops a biocomposite material consisting of PCL (Polycaprolactone), PLA (Polylactic Acid), and HA (Hydroxyapatite), which can naturally biodegrade within the body. The proposed system is capable of significantly enhancing user control, as well as serving as the foundation for a complete control system in the production of biodegradable filaments. This is done by adjusting the motor parameters to achieve a consistent filament diameter with minimal deviation and controlling the extrusion rate on the printer to improve filament instability. This study will also compare the produced filament with the commercial PLA filament of the SUNLU brand. The comparison will include the evaluation of physical parameters such as the diameter of the extrusion result, the density of the filament after the addition of PCL and HA, and whether the cross-section of the filament forms a perfect circle. The results of this research provide an understanding of the effect of speed in motor the puller process on the diameter size, density, and cross-section of the filament.

**Keywords:** Biocomposite filament, filament extrusion, physical parameters filament

### Abstrak

Penelitian ini berfokus pada tantangan implan logam yang memerlukan operasi kedua, serta risiko infeksi, peradangan, dan korosi yang mungkin terjadi di dalam tubuh. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini mengembangkan material biokomposit yang terdiri dari PCL (*Polycaprolactone*), PLA (*Polylactic Acid*), dan HA (Hidroksiapatit), yang dapat terbiodegradasi secara alami di dalam tubuh. Sistem yang diusulkan mampu meningkatkan kontrol pengguna secara signifikan, serta menjadi fondasi untuk sistem kontrol lengkap dalam pembuatan filamen *biodegradable*. Hal ini dilakukan dengan mengatur parameter motor untuk mencapai diameter filamen yang konsisten dengan deviasi minimal serta mengontrol laju ekstrusi pada printer guna memperbaiki ketidakstabilan filamen. Penelitian ini juga akan membandingkan filamen yang dihasilkan dengan filamen komersial PLA merek SUNLU. Perbandingan tersebut meliputi evaluasi parameter fisik seperti ukuran diameter hasil ekstrusi, densitas filamen setelah penambahan PCL dan HA, serta apakah penampang filamen membentuk lingkaran sempurna. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh kecepatan pada proses penarik terhadap ukuran diameter, densitas dan penampang filamen.

**Kata kunci:** filamen biokomposit, filamen ekstrusi, parameter fisik filamen

## 1. Pendahuluan

*Open Reduction and Internal Fixation* (ORIF) adalah operasi untuk memperbaiki tulang patah dengan implan logam seperti stainless steel. Meski efektif, implan bisa mengganggu hasil X-ray dan MRI, serta memerlukan operasi kedua untuk pengangkatan implan yang juga bisa menimbulkan trauma tambahan dan berisiko menyebabkan resiko patah tulang baru[1]. Para peneliti dan ahli bedah selalu mencari cara baru untuk memperbaiki jaringan tulang yang rusak, dan salah satu cara tersebut adalah melalui pengembangan terus-menerus dari biokomposit dengan sifat terurai secara alami [2]. Karena sifat implan yang dapat terurai secara alami, pasien tidak perlu menjalani operasi kedua untuk mengeluarkannya karena implan tersebut akan larut secara bertahap dalam tubuh. Ini mengurangi risiko komplikasi setelah operasi serta trauma tambahan yang sering dihasilkan dari teknik pengangkatan implan standar.

Sebuah transformasi signifikan di bidang manufaktur oleh kemunculan teknologi pencetakan 3D, yang bernilai secara ekonomis mampu memproduksi barang-barang yang dirancang secara kompleks dengan cepat dan akurat [3]. *Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah teknologi pencetakan 3D yang banyak digunakan. Untuk membuat barang 3D, FDM bekerja dengan mencairkan plastik dan menumpuknya lapis demi lapis untuk membentuk objek 3D, plastik tersebut harus terlebih dahulu dilelehkan melalui nozzle panas printer dan kemudian dilapisi satu lapisan di atas lapisan lainnya. Objek ini dimulai dari pemodelan menggunakan *Computer Aided Design* (CAD) yang kemudian diubah menjadi *file stereolithografi* (STL) menggunakan printer 3D [4]. Perkembangan pesat pencetakan 3D telah memungkinkan untuk membuat perangkat ortopedi yang secara tepat meniru tulang atau sendi yang rusak [5]. Karena setiap pasien dengan patah tulang memiliki kebutuhan yang berbeda dalam hal ukuran, bentuk, dan kompleksitas tulang yang rusak, metode pencetakan 3D sangat masuk akal untuk memproduksi implan tulang karena memungkinkan kustomisasi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Dengan penggunaan teknologi ini, implan dapat dibuat khusus untuk membantu proses penyembuhan pasien dengan lebih akurat dan efektif.

Fakta bahwa printer tidak akan mengkompensasi perbedaan dari ukuran diameter filamen dan akan terus mencetak adalah salah satu keterbatasan dari FDM [6]. Hal ini disebut sebagai ekstrusi yang tidak konsisten. Pencetakan 3D mencetak berdasarkan jumlah teoretis tertentu yang sudah ditentukan dalam *file* dan tidak akan menyesuaikan ekstrusi untuk memperbaiki variasi yang tidak terduga dari filamen selama pencetakan. Setelah lapisan tertentu dicetak, platform bangunan turun dengan jarak yang sama dengan ketebalan lapisan potongan. Dengan platform bangunan yang diturunkan, lapisan berikutnya dibangun di atas lapisan sebelumnya [7]. Diameter filamen yang tidak konsisten dapat menyebabkan komplikasi serius selama ekstrusi. Diameter yang tiba-tiba lebih kecil akan menyebabkan mekanisme tidak dapat mencengkeram filamen karena kurangnya tegangan, menyebabkan kegagalan ekstruder karena tidak ada plastik yang akan meleleh untuk impresi. Sebaliknya, jika filamen tiba-tiba mengalami peningkatan diameter, plastik tidak akan dapat masuk ke dalam pembukaan nozzle dan meleleh dengan benar. Standar emas di industri untuk toleransi filamen adalah  $\pm 0,05\text{mm}$  (atau deviasi yang dapat diterima sebesar  $0,1\text{mm}$ ) [8].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian dari produksi filamen menggunakan (PCL, PLA dan HA) dengan metode single screw extruder. Motor stepper sebagai penarik dilakukan pada penelitian ini dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Hasil penelitian ini akan dibandingkan dengan filamen komersial. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan motor stepper terhadap diameter filamen. Penelitian ini diharapkan menghasilkan filamen yang memiliki diameter mendekati dengan produk komersial.

## **2. Material dan metode penelitian**

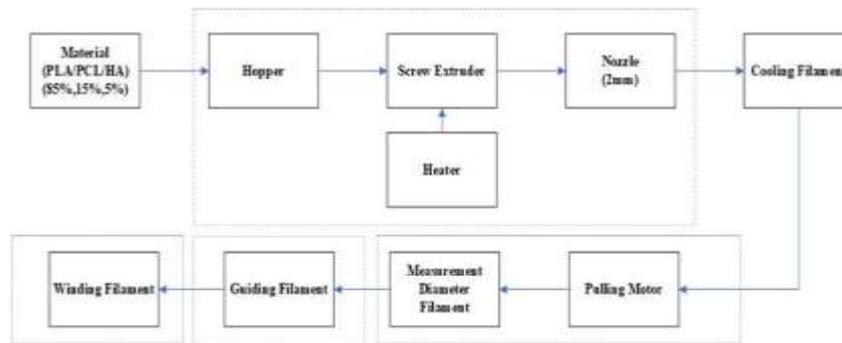
### **2.1 Material Biokomposit**

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa PLA adalah bahan yang cocok untuk aplikasi medis karena sifatnya yang biokompatibel dan terurai secara hayati [9]. PLA dapat dirancang dan memiliki kualitas mekanik yang baik juga. Namun, karena kemampuannya yang rendah untuk membentuk ikatan kuat dengan jaringan tubuh, PLA murni menunjukkan respons sel yang lemah dalam uji *in vitro* [10]. PCL dapat ditambahkan ke PLA untuk meningkatkan karakteristik mekaniknya [11]. Penambahan HA dapat membantu mengatasi masalah biokompatibilitas rendah pada kombinasi PLA/PCL [12]. Penelitian sebelumnya juga menyelidiki sintesis biokomposit menggunakan polimer sintesis PLA/PCL dan serbuk HA yang diperoleh dari cangkang kerang hijau. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi dari ketiga komponen ini menghasilkan biokomposit yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan implan manusia [13].

Proses pembuatan bahan biokomposit dimulai dengan perendaman campuran PLA/PCL (dengan rasio 85:15 dan 60:40) dalam larutan kloroform selama 30 menit, diikuti dengan pengadukan selama 30 menit tambahan pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  dan 300 rpm menggunakan pengaduk magnetik. Kemudian, berbagai persentase HA (5% dari total berat campuran PLA/PCL) ditambahkan dan diaduk selama satu jam pada suhu  $65^{\circ}\text{C}$  dan 100 rpm untuk mencapai campuran HA dan polimer yang homogen. Campuran biokomposit yang dihasilkan dituangkan ke dalam cetakan kaca sesuai dengan standar ASTM D790 [14].

### **2.2 Sistem Block Diagram Extruder**

Sistem blok diagram extruder, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, memberikan gambaran lengkap mengenai alur kerja mesin extruder dari awal hingga akhir.



**Gambar 1** Alur Proses Ekstrusi

Proses dimulai dengan memasukkan material PLA/PCL dan HA yang berbentuk serpihan ke dalam hopper, yang berfungsi sebagai wadah penyimpanan material mentah sebelum diproses. Material ini kemudian dipindahkan menuju zona ekstrusi menggunakan sekrup ekstruder yang digerakkan oleh motor. Motor ekstruder berputar, menyebabkan sekrup mendorong material sepanjang barrel, di mana material mengalami pemanasan bertahap hingga mencapai suhu lelehnya. Selama proses ekstrusi, material PLA/PCL dan HA melewati beberapa zona seperti feed zone, compression zone dan metering zone yang dirancang untuk memastikan bahwa material meleleh secara merata dan homogen [15]. Setelah material mencapai kondisi leleh yang optimal, material tersebut didorong keluar melalui nozzle, membentuk filamen dengan diameter awal yang lebih besar dari ukuran akhir yang diinginkan.

Pada tahap ini, fan pendingin diaktifkan untuk menurunkan suhu filamen secara perlahan. Proses pendinginan ini disertai dengan proses penarikan menggunakan motor stepper yang menarik filamen keluar dari nozzle dengan kecepatan yang dikontrol sesuai dengan ukuran filamen yang terlihat oleh dial gauge. Pada penelitian ini menggunakan kecepatan penarikan diangka 10,5 rpm -12 rpm. Tujuan dari penarikan ini adalah untuk meregangkan filamen, sehingga diameter filamen dapat mengecil hingga ukuran 1,75mm sesuai umumnya yang digunakan dalam pencetakan 3D.

Setelah pendinginan dan penarikan, filamen kemudian diarahkan melalui serangkaian pengarah untuk menjaga kelurusan dan kestabilan bentuknya sebelum memasuki proses penggulungan agar lebih rapi. Filamen yang telah didinginkan dan distabilkan ini digulung secara otomatis pada spool untuk penggunaan lebih lanjut.

**Tabel 1** Hasil pengujian diameter filamen

Titik Pengukuran	Spesimen 1	Spesimen 2	Filamen komersial
1 cm	1,84 mm	1,76 mm	1,75 mm
2 cm	1,82 mm	1,79 mm	1,76 mm
3 cm	1,79 mm	1,75 mm	1,76 mm
4 cm	1,80 mm	1,77 mm	1,75 mm
5 cm	1,77 mm	1,76 mm	1,75 mm
6 cm	1,76 mm	1,77 mm	1,75 mm
7 cm	1,80 mm	1,80 mm	1,76 mm
8 cm	1,81 mm	1,79 mm	1,75 mm
9 cm	1,83 mm	1,80 mm	1,75 mm
10 cm	1,80 mm	1,80 mm	1,75 mm
Rata-rata	1,802 mm	1,78 mm	1,753 mm

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Diameter Filamen

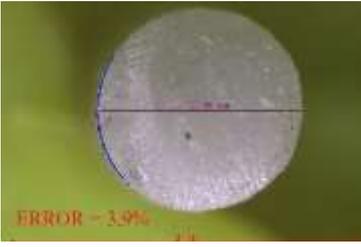
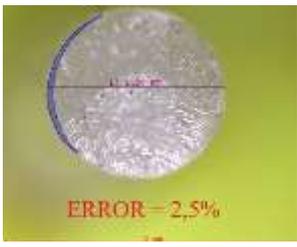
Mikrometer sekrup merek Mitutoyo yang telah dilakukan kalibrasi dengan akurat digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur diameter filamen, memastikan validitas data yang dikumpulkan, hasil ini akan dianalisis dan dibandingkan secara menyeluruh. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi area potensial yang dapat ditingkatkan serta meningkatkan kualitas filamen yang dihasilkan, dengan mengevaluasi dimensi dan kestabilan filamen dari penelitian ini dibandingkan dengan filamen komersial dibuat oleh SUNLU Industrial Co., Ltd., (Zhuhai, Tiongkok). Hasil pengukuran filamen pada spesimen dapat dilihat pada Tabel 1. Dimana spesimen 10 cm filamen dilakukan pengujian sebanyak 10 kali atau tiap 1 cm. Hal ini dilakukan untuk memahami perubahan diameter filamen secara lebih mendalam dan teliti, sehingga dapat mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi variasi tersebut.

#### 3.2 Pengujian Penampang Filamen

Pengukuran menggunakan mikroskop stereo berfungsi sebagai langkah validasi penting untuk memastikan apakah filamen yang dihasilkan oleh *extruder* memiliki bentuk lingkaran yang sempurna atau mengalami deformasi. Melalui pengamatan penampang melintang filamen secara detail, mikroskop stereo memungkinkan identifikasi cacat atau penyimpangan bentuk yang mungkin terjadi selama proses ekstrusi. Setelah hasil pengamatan diperoleh, data tersebut akan diimpor ke dalam aplikasi SolidWorks untuk dilakukan analisis lebih lanjut, termasuk perhitungan kuantitatif terhadap tingkat *error* atau deviasi dari bentuk lingkaran yang ideal. Dengan memanfaatkan fitur-fitur analisis pada SolidWorks, hasil perhitungan ini akan memberikan informasi mendalam mengenai kesesuaian filamen dengan standar yang diharapkan dan membantu dalam melakukan perbaikan pada parameter proses jika diperlukan.

Pada pengujian *error* terhadap luas penampang filamen, data diambil pada interval panjang tertentu, yaitu pada 1 cm, 5 cm, dan 10 cm dapat dilihat pada Tabel 2. Tujuan dengan membandingkan hasil pengukuran luas penampang keseragaman dan konsistensi filamen dapat dievaluasi secara lebih akurat. Dalam tabel tersebut, filamen komersial memiliki kecenderungan nilai yang lebih baik, diikuti dengan spesimen 1 dan spesimen 2.

**Tabel 2** Hasil *Error* Luas Penampang Filamen

	Titik Pengukuran		
	1 cm	5 cm	10 cm
Spesimen 1			
Spesimen 2			
Filamen Komersial			

### 3.3 Pengujian Densitas Filamen

Uji densitas atau massa jenis adalah suatu ukuran massa per unit volume oleh suatu benda pada suhu dan tekanan tertentu [16]. Pada penelitian ini pengujian densitas yang dilakukan menggunakan standar ASTM D 792-08. ASTM D 792-08 membahas tentang pengujian densitas dengan cairan menggunakan air. Pada pengujian ini, dilakukan pengujian densitas menggunakan dua spesimen, di mana kedua spesimen tersebut memiliki pengaturan mesin dan bahan baku yang sama pengujian sebelumnya, hasil pengujian densitas rata-rata dapat dilihat dari tabel 3.

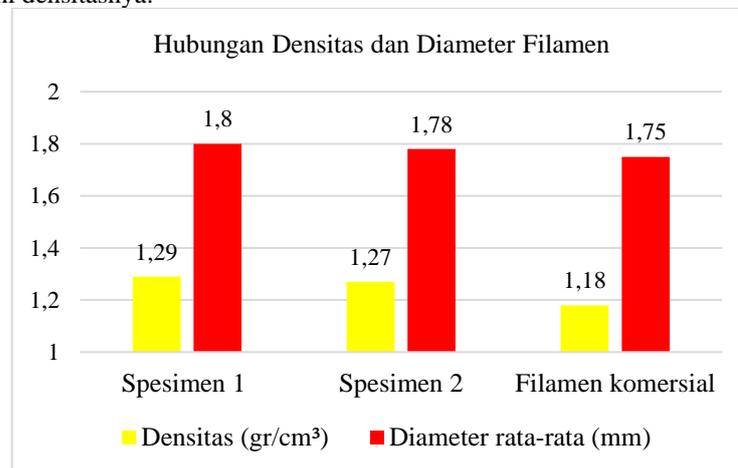
**Tabel 3** Hasil Rata-Rata Pengujian Densitas

No. spesimen	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )
Spesimen 1	1,29
Spesimen 2	1,27
Filamen komersial	1,18

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan material yang sama, yaitu PCL, PLA, dan HA, serta takaran yang seragam [17]. densitas pada penelitian ini mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Kenaikan densitas ini tercatat dari nilai awal 1,24 gr/cm<sup>3</sup> menjadi 1,27 gr/cm<sup>3</sup>, dan selanjutnya dan mencapai 1,29 gr/cm<sup>3</sup>.

### 3.4 Hubungan Densitas dan Diameter Filamen

Hubungan antara densitas rata-rata dan diameter rata-rata filamen ditunjukkan pada gambar 2. Dalam grafik tersebut, dapat terlihat bahwa terdapat kecenderungan tertentu antara kedua variabel tersebut, di mana perubahan diameter filamen berpotensi mempengaruhi densitasnya.



**Gambar 2** Grafik Hubungan Antara Diameter Rata-Rata Dengan Densitas Rata-Rata Filamen

## 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun mesin ekstruder yang dirancang berhasil dan berfungsi untuk proses ekstrusi material PCL, PLA dan HA, namun terdapat sejumlah perbaikan yang perlu dilakukan untuk mencapai hasil yang optimal. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai densitas filamen mengalami penurunan dari 1,29 gr/cm<sup>3</sup> menjadi 1,27 gr/cm<sup>3</sup>, yang menunjukkan adanya penurunan kualitas pada produk akhir. Akan tetapi, pada penelitian ini, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adanya kenaikan signifikan dalam nilai densitas yang awalnya hanya sebesar 1,24 gr/cm<sup>3</sup>. Perubahan ini menunjukkan adanya peningkatan dalam memproses ekstrusi material yang digunakan, yang dapat diindikasikan oleh proses ekstrusi yang lebih efisien dan pengolahan material yang lebih baik. Kenaikan densitas ini juga berpotensi memberikan dampak positif terhadap sifat mekanik dan biokompatibilitas dari filamen yang dihasilkan, yang sangat penting dalam aplikasi biomedis.

Pada pengujian penampang luas filamen, terbukti bahwa filamen komersial pun tidak membentuk lingkaran sempurna, dan hal serupa juga terjadi pada filamen yang dihasilkan dalam penelitian ini. Meskipun diharapkan filamen memiliki bentuk penampang yang ideal, hasil pengukuran menunjukkan adanya ketidaksempurnaan bentuk pada kedua jenis filamen. Pada filamen komersial, nilai *error* terbesar tercatat sebesar 2,36%, sementara nilai terkecil hanya sebesar 1,1%. Di sisi lain, pada filamen hasil penelitian ini, nilai *error* terbesar mencapai 3,9%, dengan nilai terkecil sebesar 2%. Temuan ini menunjukkan adanya deviasi yang masih lebih besar pada filamen penelitian dibandingkan dengan filamen komersial, yang mengindikasikan perlunya penyempurnaan lebih lanjut dalam proses ekstrusi untuk mencapai stabilitas bentuk penampang yang lebih baik.

Selain itu pada pengukuran diameter filamen menunjukkan bahwa nilai diameter masih mengalami kenaikan, dengan diameter terbesar yang terukur mencapai 1,84 mm dan diameter terkecil pada 1,75 mm. Hal ini menunjukkan bahwa deviasi yang terjadi melebihi batas yang diperbolehkan, yaitu hanya 0,05 mm dari target diameter ideal sebesar

1,75 mm. Penemuan ini menekankan perlunya evaluasi lebih lanjut dan penyesuaian pada kecepatan penarikan proses ekstrusi agar dapat mencapai spesifikasi yang diinginkan.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas pendanaan penelitian dari Program Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) Gelombang 4 Tahun 2024 dengan judul penelitian: Fabrikasi Biodegradable Screw Berbahan Komposit Polimer HA Menggunakan Metode Injection Molding yang didanai oleh LPDP dan BRIN Tahun 2024.

### Daftar Pustaka

- [1] M. H. Mubarak, A. Priharyoto Bayuseno, dan R. Ismail, "Pengaruh Suhu Ekstrusi Terhadap Densitas dan Laju Degradasi pada Filamen 3D Print Berbahan PLA, PCL, dan HA," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 53-58, (2022).
- [2] H.B. Adrianto, "Peran hidroksiapatit sebagai bone graft dalam proses penyembuhan tulang," *Stomatognathic-Jurnal Kedokteran Gigi*, vol. 8(2), pp.118-121, (2011).
- [3] L. N. Ikhsanto dan Z. Zainuddin, "Analisa Kekuatan Bending Filamen ABS dan PLA pada Hasil 3D Printer dengan Variasi Suhu Nozzle," *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, vol. 21(1), pp.9-17, (2020).
- [4] J. Griffey, "The types of 3-D printing," *Library Technology Reports* vol. 50, no. 5, pp. 8-12, (2014).
- [5] E. Åkerlund, A. Diez-Escudero, A. Grzeszczak, dan C. Persson, "The Effect of PCL Addition on 3D-Printable PLA/HA Composite Filaments for the Treatment of Bone Defects," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 16, Aug. 2022, doi: 10.3390/polym14163305.
- [6] O. Rishi, "Feed Rate Effects In Freeform Filament Extrusion," Thesis of Rochester Institute of Technology, (2013).
- [7] D. D. Hernandez, "Factors affecting dimensional precision of consumer 3D printing," *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, vol. 2, no. 4, (2015), doi: 10.15394/ijaaa.2015.1085.
- [8] C. Cardona, A. H. Curdes, dan A. J. Isaacs, "Effects of Filament Diameter Tolerances in Fused Filament Fabrication," *IU Journal of Undergraduate Research*, 2(1), pp.44-47, (2016).
- [9] B. Tyler, D. Gullotti, A. Mangraviti, T. Utsuki, dan H. Brem, "Polylactic acid (PLA) controlled delivery carriers for biomedical applications," *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, pp.163-175, (2016), doi: 10.1016/j.addr.2016.06.018.
- [10] X. Li, Y. Wang, C. Chu, L. Han, J. Bai, dan F. Xue, "A study on Mg wires/poly-lactic acid composite degradation under dynamic compression and bending load for implant applications," *J Mech Behav Biomed Mater*, vol. 105, (2020), doi: 10.1016/j.jmbbm.2020.103707.
- [11] E. Malikmammadov, T. E. Tanir, A. Kiziltay, V. Hasirci, dan N. Hasirci, "PCL and PCL-based materials in biomedical applications," *J Biomater Sci Polym Ed*, vol. 29, no. 7-9, pp. 863-893, (2018), doi: 10.1080/09205063.2017.1394711.
- [12] R. Ismail dkk., "Design, Manufacturing and Characterization of Biodegradable Bone Screw from PLA Prepared by Fused Deposition Modelling (FDM) 3D Printing Technique," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 103, no. 2, pp. 205-215, (2023), doi: 10.37934/arfmts.103.2.205215.
- [13] D. F. Fitriyana dkk., "The effect of hydroxyapatite concentration on the mechanical properties and degradation rate of biocomposite for biomedical applications," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, (2022), doi: 10.1088/1755-1315/969/1/012045.
- [14] R. Ismail dkk., "Characterization of PLA/PCL/Green Mussel Shells Hydroxyapatite (HA) Biocomposites Prepared by Chemical Blending Methods," *Materials*, vol. 15, no. 23, (2022), doi: 10.3390/ma15238641.
- [15] H. F. Giles, J. R. Wagner, dan E. M. Mount, *Extrusion : the definitive processing guide and handbook*. William Andrew Pub. (2005).
- [16] F. Isharyadi, A. B. Sitanggang, D. N. Faridah, dan D. N. Andarwulan, "Verifikasi Metode Pengujian Densitas Crude Palm Oil Menggunakan Standar ISO 6883: 2017," *Jurnal Standardisasi*, vol. 21(2), pp.161-169 (2017).
- [17] I. F. Bagaskara, A. Priharyoto Bayuseno, dan R. Ismail, "Pengujian Densitas dan Biodegradable Material Filament 3D Print Biokomposit Berbahan PCL, PLA dan Hidroksiapatit Cangkang Rajungan," *Jurnal Teknik Mesin* vol. 14; 10(1), pp 13-8 (2022).