

PENGARUH *FLOW EXTRUSION 3D PRINTING* PADA PEMBUATAN *INTERFERENCE SCREW* MENGGUNAKAN FILAMEN BOKOMPOSIT (PCL/PLA/HA) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN *BIODEGRADABLE*

Muhammad Fahrizal Almeir¹, Rifky Ismail^{1,2}, Athanasius Prihartoyo Bayuseno¹, Deni Fajar Fitriyana^{2,3}

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Centre of Bio Mechanics, Bio Material, Bio Mechatronics, and Bio Signal Processing, Universitas Diponegoro

³Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

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

*E-mail: falmeir@gmail.com

Abstrak

Penggunaan metode 3D print *Fused Deposition Modelling* (FDM) telah menjadi alternatif pengganti metode *casting* untuk pembuatan *interference screw*. Teknik 3D printing mampu menghasilkan *screw* dengan karakteristik geometri yang ideal. Parameter percetakan menjadi hal yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan *screw* dengan sifat mekanik dan sifat fisik terbaik. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *interference screw* yang terbuat dari *filament* biokomposit (85% PLA, 15% PCL, dan HA 5% wt) dengan metode 3D printing. Variabel tetap pada proses 3D print yaitu suhu *nozzle* dan suhu *bed* yang digunakan sebesar 205°C dan 60°C. Variasi parameter print pada penelitian kali ini adalah nilai *flow extrusion*. Nilai *flow extrusion* yang digunakan yaitu 115%. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini diantara lain ialah uji densitas, uji torsi, analisis patahan, dan uji *biodegradable*, yang dimana *interference screw* akan dibandingkan hasilnya dengan *interference screw* pada penelitian sebelumnya dengan nilai *flow extrusion* 100%. Dari penelitian yang dilakukan kali ini dapat disimpulkan bahwa nilai *flow extrusion* berpengaruh terhadap *mechanical properties*, terutama pada hasil pengujian densitas dan uji *biodegradable* dari *interference screw*. Hal tersebut terjadi dikarenakan nilai densitas yang semakin besar dapat menyebabkan filamen yang diekstrusi untuk membuat *interference screw* lebih rapat, dan minim untuk terdapat rongga pada tiap lapisannya. Sehingga *interference screw* yang dihasilkan memiliki laju degradasi yang semakin kecil. *Interference screw* pada penelitian kali ini, dengan nilai *flow extrusion* 115% menghasilkan *screw* dengan sifat mekanik dengan nilai densitas sebesar 1,17 gr/cm³, nilai torsi sebesar 661 N.mm.

Kata kunci: 3D print, Hidroksiapatit, *Interference Screw*, Polycaprolactone (PCL), Polylactic-acid (PLA)

Abstract

The use of the 3D print *Fused Deposition Modeling* (FDM) method has become an alternative to the casting method for the manufacture of *interference screws*. The 3D printing technique is capable of producing screws with ideal geometric characteristics. Printing parameters need to be considered to produce screws with the best mechanical and physical properties. In this study case biocomposite filaments (85% PLA, 15% PCL, and HA 5% wt) were used to manufacture *interference screws* using fixed variables in the 3D printing process, that is nozzle temperature and bed temperature used at 205°C and 60°C. The variation of print parameters in this study case is the value of flow extrusion. The flow extrusion value used are 115%. The tests carried out in this study included density tests, torsion tests, fracture analysis, and biodegradable tests, in which the *interference screw* results were compared with *interference screws* in previous studies with a 100% flow extrusion value. From the research conducted this time it can be interpreted that the flow extrusion value affects the mechanical properties, especially on the results of the density test and the biodegradable test of the *interference screw*. This happens because the greater the density value can cause the extruded filament to make the screw *interference* denser, and the lack of cavities in each layer. So that the resulting screw *interference* has a smaller degradation rate. The *interference screw* in this study, with a flow extrusion value of 115% produced a screw with mechanical properties with a density value of 1.17 gr/cm³, a torque value of 661 N.mm.

Keyword: 3D print, Hydroxyapatite, *Interference Screw*, Polycaprolactone (PCL), Polylactic-acid (PLA)

1. PENDAHULUAN

Lebih dari delapan juta orang didiagnosis menderita osteoporosis setiap tahun, yang mengakibatkan patah tulang setiap tiga detik. Beberapa penyakit medis, termasuk kanker dan osteogenesis imperfekta juga dapat menyertai patah tulang [1]. Osteoporosis merupakan salah satu penyakit tulang metabolik yang ditandai dengan berkurangnya kepadatan

tulang. Penderita osteoporosis mengalami penurunan kualitas tulang dan berkurangnya kekuatan tulang yang dapat meningkatkan risiko patah tulang [2].

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. Cedera ACL terjadi ketika gaya yang diterima oleh ligamen melebihi daya tahan mekanik alami ligamen tersebut. Studi menemukan bahwa pada aktivitas sehari-hari normal, ACL menerima beban maksimum sebesar 450 N, dengan beban maksimum yang dapat ditahan sebesar 2.300 N. Berbeda dengan jaringan tulang, dalam kasus robekan total atau sebagian, ACL tidak memiliki kemampuan penyembuhan spontan yang drastis mengurangi peluang penyembuhan yang berhasil tanpa operasi. 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 [3].

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 [4].

Proses 3D printing membawa perubahan yang besar dalam dunia manufaktur, metode 3D printing yang paling populer dan murah adalah FDM (*fused deposition modeling*). Prinsip kerja dari FDM adalah dengan mengekstrusi filamen melalui nozzle yang panas pada melting temperature dari filamen yang digunakan untuk selanjutnya dibuat produk lapis per lapis. Keunggulan dari 3D print adalah dapat membuat produk dengan fleksibilitas tinggi [5].

Hidroksiapatit (HA) merupakan biokeramik kalsium fosfat yang memiliki rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang sudah sering digunakan sebagai biomaterial pengganti tulang. Hidroksiapatit memiliki kesamaan unsur kimia dan fisika dengan mineral penyusun tulang dan gigi dengan elemen utama berupa kalsium dan fosfor. Hidroksiapatit banyak diaplikasikan secara luas untuk regenerasi tulang, implan tulang dan gigi, serta ortopedi, luasnya aplikasi tersebut tidak terlepas dari sifat penting yang dimiliki oleh hidroksiapatit diantaranya bioresorbabel, osteokonduktif, biocompatible, dan tidak beracun [6].

Biomaterial baru-baru ini mendapat banyak perhatian karena penggunaannya sebagai bahan baku dalam pembuatan sekrup ortopedi yang dapat diserap secara hayati. Mereka juga biasa digunakan dalam implan tulang dan perangkatnya (implan bedah), yang memberikan pengganti yang aman dan hemat biaya untuk bagian atau fungsi tulang manusia. Sejalan dengan itu, ada banyak biomaterial yang tersedia saat ini, termasuk logam, biopolimer, biokeramik, dan biokomposit, masing-masing dengan manfaat, kekurangan, dan fungsinya sendiri dalam aplikasi medis. Logam (khususnya, titanium) ditemukan memberikan kekuatan fiksasi yang berlebihan saat digunakan untuk sekrup interferensi ACL. Selanjutnya, laserasi cangkok telah dilaporkan ketika logam digunakan untuk implan permanen sebagai akibat dari threading yang tajam dan gangguan MRI. Dalam hal biodegradabilitas dan kemampuan untuk digantikan oleh jaringan asli, biopolimer seperti asam poli-Llaktik (PLLA) telah mendapatkan popularitas dalam penggunaan sekrup interferensi. Namun, konsistensi, biodegradasi yang tidak lengkap, dan kerusakan telah dilaporkan selama dan setelah implantasi. Komposit biopolimer, di sisi lain, umumnya digunakan dalam produksi sekrup interferensi yang dapat diserap secara hayati karena bioaktivitas dan kekuatannya yang unggul sambil meminimalkan kelemahan dalam sifat komponen matriks dan penguat. Akibatnya, perbaikan kraniofasial baru-baru ini menggunakan sekrup untuk meningkatkan kontrol implan sekaligus meningkatkan bioaktivitas [7].

Biodegradable merupakan kemampuan material untuk terdegradasi seiring tumbuhnya tulang manusia secara alami. Degradasi dari material adalah aspek yang sangat penting untuk dipertimbangkan ketika material tersebut dipakai untuk kepentingan medis, karena kemampuannya untuk difungsikan pada suatu aplikasi tergantung pada lama waktu yang dibutuhkan untuk menyimpannya di dalam tubuh. Proses *biodegradable* biomaterial dan kecepatan degradasi di dalam sebuah organisme berhubungan dengan karakteristik dari material dan tempat di dalam tubuh yang digunakan [8].

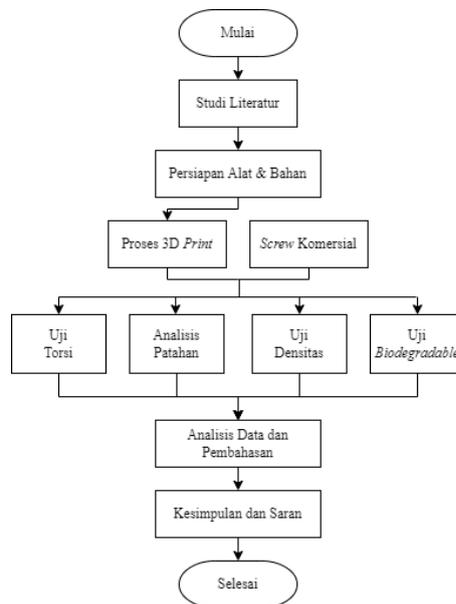
2. METODOLOGI PENELITIAN

Biomaterial adalah bahan yang dirancang untuk berinteraksi dengan sistem biologis untuk tujuan medis. Biomaterial digunakan untuk membuat implan dan *device (surgical implants)* yang menghasilkan bagian atau fungsi organ tubuh yang aman dan hemat biaya. Biomaterial mencakup semua bahan, termasuk logam, keramik, polimer, dan komposit [9]. Biomaterial berbahan dasar logam harus bersifat biokompatibel agar keberadaannya tidak dipandang sebagai benda asing oleh tubuh. Penggunaan logam dengan biokompatibilitas terbatas dapat menghasilkan korosi logam yang disebabkan oleh cairan tubuh manusia. Korosi pada implan logam dapat menyebabkan peradangan di sekitar jaringan implan, sehingga berbahaya bagi tubuh jika digunakan dalam jangka panjang [6]. Biomaterial komposit merupakan gabungan dari berbagai bahan untuk mendapatkan kualitas yang diperlukan sekaligus memenuhi kriteria biomaterial. Karena bahan utamanya adalah komposit, biomaterial mendapat keuntungan pada sifat hasil rekayasa material komposit tersebut ketika digunakan dalam tubuh manusia, biomaterial keramik menunjukkan biokompatibilitas yang sangat baik.

Biomaterial polimer memiliki kelebihan karena mudah dibuat, memungkinkan berbagai bentuk dan sifat mekanik. Jika dibandingkan dengan biomaterial lainnya [10]. Pada penelitian ini menggunakan filamen biokomposit berbahan *Polylactic-Acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit (HA) cangkang rajungan yang kemudian dilakukan proses 3D *printing* dengan variabel tetap yaitu pada saat proses percetakan *interference screw* menggunakan filamen berbahan biokomposit 85% PLA, 15% PCL, dan 5 wt% HA cangkang kerang hijau yang diekstrusi menggunakan mesin *extruder* dengan suhu *pre heat* 159°C dan suhu *main heat* 181°C sebagai bahan baku proses 3D *print*. Pada pengaturan 3D *printing* menggunakan suhu *nozzle* dan *bed* sebesar 205°C dan 60°C, dengan *default printing speed* 40 mm/s. *Screw* dibuat dengan *infill pattern* berbentuk *hexagon* dengan infill sebesar 100%. Dan untuk nilai *flow extrusion* yang digunakan adalah sebesar 115%, yang dimana *screw* tersebut akan dilakukan pengujian densitas, pengujian torsi, analisis patahan, dan uji *biodegradable*. Dan kemudian hasil pengujian *interference screw* akan di bandingkan hasilnya dengan *interference screw* yang dihasilkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Jamari, dkk dengan nilai *flow extrusion* 100% [7].

2.1 Diagram Alir Penelitian

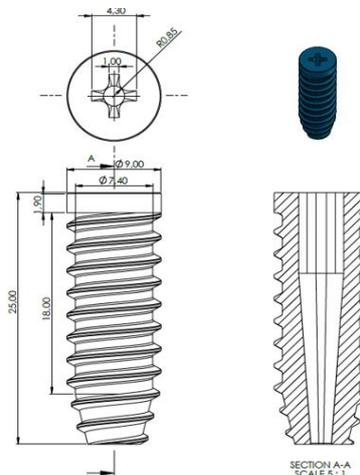
Berisikan langkah-langkah yang saling berkaitan satu dengan yang lain dan berurutan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

2.2 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.



Gambar 2. Desain *interference screw*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

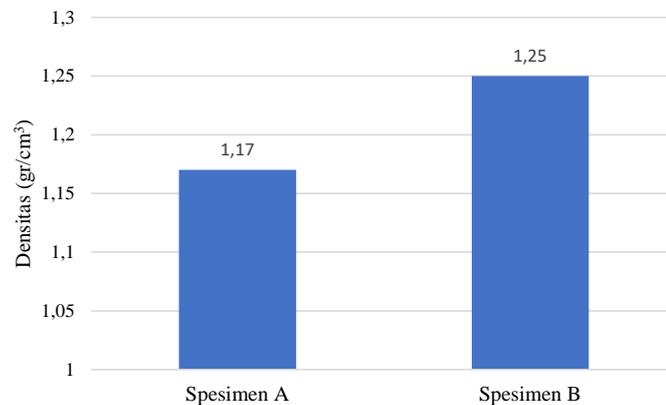
Pada penelitian ini telah dihasilkan *interference screw* biokomposit berbahan *polylactid-acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit hasil sintesis cangkang kerrang hijau menggunakan metode *3D printing*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi *flow extrusion* pada proses *3D print* terhadap karakterisasi *interference screw* biokomposit yang dihasilkan. Penjelasan spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian torsi *interference screw*.

Spesimen	Keterangan
Spesimen A	<i>Interference screw</i> yang di <i>print</i> dengan variasi <i>flow extrusion</i> 115%
Spesimen B	<i>Interference screw</i> yang berhasil dibuat oleh Jamari, dkk. dengan <i>flow extrusion</i> 100% [7]

3.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas umumnya dilakukan untuk mengetahui tingkat kerapatan dari suatu benda, pada penelitian ini pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai *flow extrusion* pada proses *3D printing* terhadap *interference screw* biokomposit berbahan biopolimer PLA dan PCL serta biokeramik HA.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Densitas Filamen Biokomposit

Dapat dilihat bahwa pada Gambar 3 nilai *flow extrusion* berpengaruh terhadap nilai densitas suatu material. Untuk nilai densitas *interference screw* dengan variasi *flow extrusion* mendapatkan nilai densitas sebesar 1,17 gr/cm³ dan 1,25 gr/cm³. Maka dapat disimpulkan bahwa nilai *flow extrusion* pada mesin *3D printing* akan mempengaruhi nilai densitas suatu material.

3.2 Pengujian Torsi

Pengujian torsi dilakukan untuk mendapatkan nilai *Threshold Torque* (TT) dan *Peak failure torque* (PFT) dari *screw*. Nantinya kedua nilai ini digunakan untuk mencari nilai *Peak Clamping Torque* (PCT), *Peak Clamping Torque normalized* (PCT)_n, dan nilai *Clamping Torque Limit* (CTL). Nilai-nilai inilah yang digunakan untuk menunjukkan efisiensi dari *screw*.

Tabel 2. Hasil pengujian torsi *interference screw*.

Spesimen	Diameter (mm)	Surface Area (mm ²)	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)
Spesimen A	9,00	471,000	316,00	661,00	488,50	1,037	474,00 - 711,00
Spesimen B	7,00	390,185	306,00	479,00	392,50	1,006	459,00 - 688,5

Dari hasil pengujian torsi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa perbedaan *flow extrusion* dan perbedaan luas penampang dari *interference screw* dapat mempengaruhi nilai torsi yang dihasilkan.

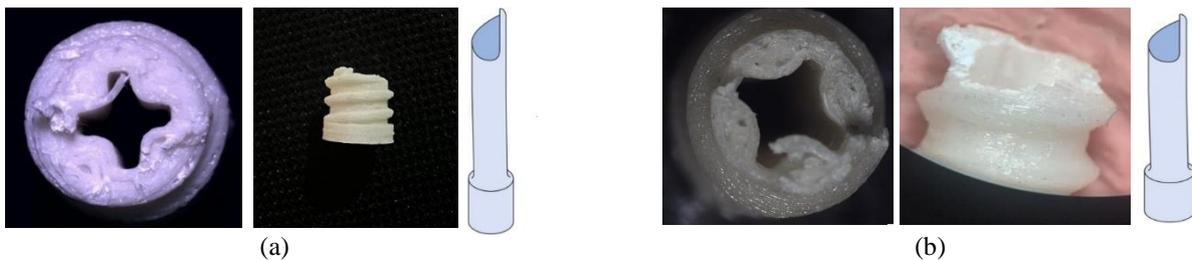
Pada Tabel 2 juga dapat dilihat terdapat nilai *Clamping Torque Limit* (CTL). CTL merupakan nilai yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan kategori *interference screw* tersebut termasuk kategori *Clamping*, *Good Clamping*, atau *Clamping Failure*. Yang dimana semakin besar nilai *Clamping Torque 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* [12]. Dapat dilihat hasil perbandingan visualisasi efisiensi *interference screw* pada Tabel 3.

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

Spesimen	PCT	Kategori
Spesimen A	488,5	<i>Good Clamping</i>
Spesimen B	392,5	<i>Clamping</i>

3.3 Analisis Patahan

Analisa patahan dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari *screw* termasuk kategori *screw* yang getas (*brittle*) atau ulet (*ductile*). Dilakukan pengambilan foto makro permukaan patahan untuk mendapatkan detail morfologi dari patahan. Berikut Analisis foto makro patahan *interference screw*.

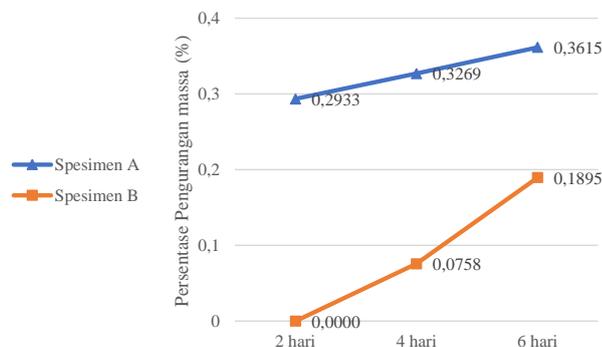


Gambar 4. Hasil analisis patahan *interference screw*.

Dari analisa seluruh hasil patahan diketahui bahwa *interference screw* yang dihasilkan pada penelitian ini (Gambar 4.a) dan *interference screw* yang dihasilkan oleh Janari, dkk (Gambar 4.b) pada saat proses 3D *printing*, menghasilkan *interference screw* yang bersifat getas. Hal tersebut dikarenakan kedua *interference screw* tersebut tidak terdapat serat (*fiber*) pada patahan *screw* nya. Dari bentuk patahan yang dihasilkan juga memiliki bentuk *helical* yang identik dengan *screw* yang getas.

3.4 Pengujian Biodegradable

Hasil pengamatan tingkat *biodegradable* dari *interference screw* dapat dilihat dari berkurangnya massa *interference screw* setelah direndam dalam larutan NaCl selama 2 hari, 4 hari, dan 6 hari [7]. 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 5.



Gambar 5. Hasil uji *biodegradable interference screw*.

Pada Gambar 5 dapat dilihat data besaran pengurangan berat pada pengujian yang direndam dengan larutan NaCl. Spesimen yang di *print* dengan nilai *flow extrusion* sebesar 115% yang memiliki nilai laju degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *interference screw* yang dihasilkan oleh Jamari, dkk. [7]. Dari hasil perbandingan pada pengujian ini dapat diketahui bahwa densitas berpengaruh pada laju degradasi. Hal ini dikarenakan semakin rendah nilai densitas maka akan lebih banyak pori pada permukaan dan jarak antar *layer* yang lebih renggang.

Dengan demikian spesimen yang memiliki nilai densitas yang lebih kecil akan lebih banyak menyerap air lewat pori yang berada pada permukaan. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Moura [13] yang melakukan 3D *print* material PLA/PCL menunjukkan spesimen dengan pori yang lebih sedikit juga menyerap air lebih sedikit. Dengan demikian, pada spesimen biokomposit yang memiliki nilai densitas yang lebih kecil akan lebih mudah terdegradasi.

4. KESIMPULAN

Peningkatan nilai *flow extrusion* berbanding lurus dengan kenaikan nilai densitas dan nilai torsi *interference screw* yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi dikarenakan nilai *flow extrusion* yang semakin tinggi dapat menyebabkan filamen dengan bahan biokomposit yang diekstrusi lebih rapat dan minim untuk terdapat rongga pada tiap lapisannya. Sehingga filamen biokomposit yang di ekstrusi menjadi lebih kuat dan kokoh. Akan tetapi, semakin tinggi nilai *flow extrusion* yang digunakan, akan membuat filamen biokomposit yang terekstrusi menjadi lebih lama untuk terdegradasi. Variasi nilai *flow extrusion* 125% menghasilkan *screw* dengan sifat mekanik terbaik dibandingkan dengan nilai *flow extrusion* 115%. *Interference screw* dengan nilai *flow extrusion* 125% memiliki nilai densitas sebesar 1,38 gr/cm³, nilai torsi sebesar 1090 N.mm. Dari analisis patahan dapat diketahui bahwa *interference screw* yang dihasilkan memiliki sifat getas (*brittle*).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismail, R., Fitriyana, D. F., Bayuseno, A. P., Munanda, R., Muhamadin, R. C., Nugraha, F. W., Rusiyanto, Setiyawan, A., Bahatmaka, A., Firmansyah, H. N., Anis, S., Irawan, A. P., Siregar, J. P., Cionita, T. (2023). Design, Manufacturing and Characterization of Biodegradable Bone Screw from PLA Prepared by Fused Deposition Modelling (FDM) 3D Printing *Technique*, 103(2), 205-215.
- [2] Ahn, S. H., Park, S.-M., Park, S. Y., Yoo, J.-I., Jung, H.-S., Nho, J.-H., Kim, S. H., Lee, Y.-K., Ha, Y.-C., & Jang, S. (2020). Osteoporosis and osteoporotic fracture fact sheet in Korea. *Journal of Bone Metabolism*, 27(4), 281.
- [3] Opinião, G., Sardinha, M., Ribeiro, N. A., Vaz, M. F., & Reis, L. (2022). Development of a fused filament fabricated bioabsorbable interference screw for anterior cruciate ligament regeneration. *Procedia Structural Integrity*, 42, 1266–1273. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.12.161>
- [4] Hu, B., Shen, W., Zhou, C., Meng, J., Wu, H., & Yan, S. (2018). Cross Pin Versus Interference Screw for Femoral Graft Fixation in Hamstring Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis of Clinical Outcomes. *Arthroscopy - Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 34(2), 615–623. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2017.07.031>
- [5] Mubarak, M. H., Bayuseno, A. P., Ismail, R. (2022) “Pengaruh Suhu Ekstrusi Terhadap Densitas dan Laju Degradasi Pada Filamen 3D Print Berbahan PLA, PCL, dan HA, Jurnal Teknik Mesin , 10(01), hal. 53–58.
- [6] Bagaskara, I. F., Bayuseno, A. P., Ismail, R. (2022) “Pengujian Densitas Dan Biodegradable Material Filament 3D Print Bio-Komposit Berbahan PCL , PLA Dan Hidroksiapatit Cangkang, Jurnal Teknik Mesin, 10(1), hal. 13–18.
- [7] Jamari, J., Fitriyana, D. F., Ramadhan, P. S., Nugroho, S., Ismail, R., & Bayuseno, A. P. (2022). Interference screws 3D printed with polymer-based biocomposites (HA/PLA/PCL). *Materials and Manufacturing Processes*. <https://doi.org/10.1080/10426914.2022.2157428>
- [8] Triyono, J., Sukanto, H., Saputra, R. M., & Smaradhana, D. F. (2020). The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material. *Open Engineering*, 10(1), 762–768. <https://doi.org/10.1515/eng-2020-0083>
- [9] Mahyudin, F. dkk. (2019) “Uji Biokompabilitas pada Implan Orthopedi Antara Implan Impor, Implan Lokal dari Material Impor, dan Prototipe Stainless Steel 316L dari Material Lokal,” *Qanun Medika - Medical Journal Faculty of Medicine Muhammadiyah Surabaya*, 3(1), hal. 7. doi: 10.30651/jqm.v3i1.1612.
- [10] Boparai, K. S., Singh, R. dan Singh, H. (2016) “Development of rapid tooling using fused deposition modeling: A review,” *Rapid Prototyping Journal*, 22(2), hal. 281–299. doi: 10.1108/RPJ-04-2014-0048.
- [11] Smith&Nephew. (2021). *BIOSURE HA and BIOSURE PK*.
- [12] Moldovan, F., & Bătagă, T. (2020). Torque Control during Bone Insertion of Cortical Screws. *Procedia Manufacturing*, 46, 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.070>
- [13] Moura, C. S., Ferreira, F. C., & Bártolo, P. J. (2016). Comparison of Three-dimensional Extruded Poly (ϵ -Caprolactone) and Polylactic acid Scaffolds with Pore size Variation. *Procedia CIRP*, 49, 209–212. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.11.018>