

PENGARUH KOMPOSISI *HYDROXYAPATITE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA *INTERFERENCE SCREW* BERBAHAN PLLA/HA YANG DIBUAT DENGAN METODE *CASTING*

*Fajar Tri Rizqi Hidayatulloh¹, Rifky Ismail², Athanasius Priharyoto Bayuseno²

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: ismailrifky@gmail.com

Abstrak

Proses produksi *injection molding* merupakan metode pembuatan produk yang sudah umum digunakan dalam proses manufaktur, dengan menggunakan *molding* produk dapat dibentuk dengan geometri sesuai *design* yang diinginkan. Berbagai parameter dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari *interference screw* yang dihasilkan. Material yang digunakan adalah biokomposit *poly l lactid acid* (PLLA) dan *hydroxyapatite* (HA) dengan variabel tetap pada penelitian ini adalah suhu *heating chamber* untuk melelehkan komposit sebesar 140°C dan tekanan alat *pneumatic cylinder* sebesar 3 bar. Variasi parameter pada penelitian ini adalah komposisi HA pada biokomposit yaitu PLLA 100%, PLLA 90 % HA 10%, PLLA 80% HA 20%, dan PLLA 70% HA 30%. Pada penelitian ini *screw* berhasil terbentuk dari setiap variasi. Untuk variasi PLLA 70% HA 30% memiliki sifat fisik dan mekanik yang terbaik, dari hasil karakterisasi yang dilakukan yaitu pengujian densitas, pengujian kekerasan, dan pengujian XRD. Berdasarkan pada penelitian ini disimpulkan bahwa komposisi HA berpengaruh pada sifat fisik dan mekanik pada *interference screw* yang dihasilkan. Variasi komposisi HA menghasilkan nilai densitas terbesar yaitu 1,39 gr/cm³ dan terkecil adalah sebesar 1,28 gr/cm³ dan nilai kekerasan terbesar 79 shore A dan terkecil 57 shore A.

Kata kunci: *hydroxyapatite* (ha); *injection molding*; *interference screw*; *poly l lactid acid* (plla)

Abstract

The *injection molding production process* is a commonly used method in manufacturing, allowing products to be shaped with the desired geometry according to design specifications. Various parameters can influence the physical and mechanical properties of the resulting *interference screws*. The material used is a biocomposite of *poly L-lactic acid* (PLLA) and *hydroxyapatite* (HA), with fixed variables in this study including the *heating chamber temperature* to melt the composite at 140°C and the *pneumatic cylinder pressure* at 3 bar. The parameter variation in this study is the HA composition in the biocomposite, specifically PLLA 100%, PLLA 90% HA 10%, PLLA 80% HA 20%, and PLLA 70% HA 30%. In this study, screws were successfully formed for each variation. The PLLA 70% HA 30% variation exhibited the best physical and mechanical properties, based on characterization tests, including density testing, hardness testing, and XRD testing. This research concluded that HA composition influences the physical and mechanical properties of the resulting *interference screws*. The HA composition variations produced the highest density value of 1.39 g/cm³ and the lowest of 1.28 g/cm³, with the highest hardness value of 79 Shore A and the lowest of 57 Shore A.

Keywords: *hydroxyapatite* (ha); *injection molding*; *interference screw*; *poly l lactid acid* (plla)

1. Pendahuluan

Robekan pada *anterior cruciate ligament* (ACL) dapat di rekonstruksi dengan berbagai metode salah satu metode yang populer digunakan adalah *interference screw* dibanding metode yang lain, Penggunaan *Interference screw* untuk mengamankan cangkok di terowongan tibialis, Saat ini terdapat 2 jenis *screw* yang dapat dijadikan pilihan yaitu *Bioabsorbable interference screw* dan *metal interference screw*. Namun pada *metal interference screw* memiliki kelemahan yaitu pada gangguan pada saat dilakukan *magnetic resonance imaging* (MRI) serta perlunya operasi pengangkatan pasca operasi [1]. pada tahun 2019 penggunaan *implant* untuk merekonstruksi ACL mencapai angka 2236 atau meningkat sebesar 42% dibandingkan tahun 2018 yang hanya mencapai angka 1575 dan diperkirakan akan terus meningkat pada tahun berikutnya [2]

Bioabsorbable interference screw menjadi suatu metode baru yang sedang dikembangkan dari *interference screw* yang pada awalnya berbahan logam, Alasan penggunaan *bioabsorbable screw* adalah kelebihan yang dimiliki yaitu tidak perlu dilakukan operasi pelepasan *screw* serta tidak mengganggu hasil dari MRI [3]. *Bioabsorbable screw* yang

berbahan dasar polimer menunjukkan tidak adanya kandungan racun, tidak bereaksi terhadap jaringan dan dapat menghasilkan gaya Tarik yang sebanding dengan *screw* berbahan logam. Hal ini dikarenakan karakteristik pembentuk biokomposit yang berbeda-beda sehingga diperoleh suatu material baru yang lebih baik dari material pembentuknya [3]. Terdapat banyak polimer yang dapat digunakan sebagai material untuk *interference screw* salah satu yang umum digunakan adalah PLLA. PLLA adalah polimer sintetik yang biokompatibel dan dapat terdegradasi dengan aman di sepanjang jalur metabolisme yang sama sebagai asam laktat [5], PLLA sering dikombinasikan dengan biomaterial lain, seperti polimer alami dan sintesis serta bahan anorganik tujuannya adalah menyediakan arsitektur dan kekakuan yang cukup untuk menggantikan jaringan [6]. Salah satu material yang sering dicampurkan dengan PLLA adalah HA, penambahan HA pada mampu meningkatkan sifat mekanik serta meningkatkan laju degradasi dari PLLA [7].

Metode *injection molding* sendiri merupakan proses Dimana suatu material cair yang dapat mengeras setelah tidak menerima panas yang disuntikkan kedalam cetakan pembentuk geometri (*molding*) yang telah ditentukan [8]. Alasan utama dari metode ini adalah pada proses *injection molding*, benda yang akan dibentuk dapat berupa benda yang memiliki kerumitan yang tinggi. CBIOM3S UNDIP telah berhasil membuat *interference screw* dengan komposit PLA/PCL/HA dengan metode *molding injection* dan 3D print

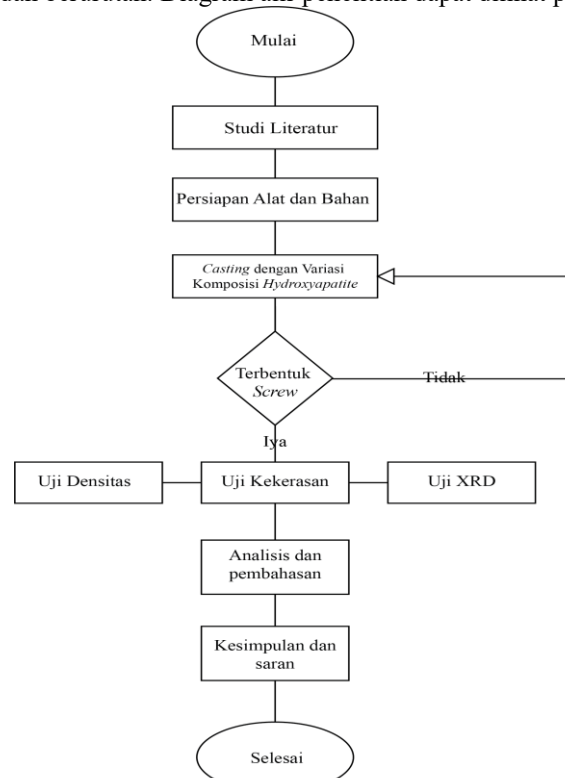
Penelitian yang telah dilakukan oleh [9] telah berhasil membuat *interference screw* dengan metode *injection molding* menggunakan komposit *poly l lactid acid* (PLLA) dan *hydroxyapatite* (HA) mampu menghasilkan *screw* yang ideal baik secara bentuk maupun sifat mekanis. Penambahan *hydroxyapatite* ke material PLLA terbukti meningkatkan sifat mekanis dari *screw* berbahan PLLA murni. sehingga metode *injection molding* dipilih dalam pengembangan *interference screw* yang akan dilakukan pada penelitian ini, melihat komposisi HA merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi hasil, maka diperlukan riset lebih mendalam tentang pengaruh komposisi HA pada biokomposit pada *interference screw* yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk membuat dan menguji *interference screw* berbahan *Poly l lactid Acid* (PLLA) dan *Hydroxyapatite* (HA) cangkang kerang hijau yang dibuat menggunakan metode casting menggunakan alat *vertical heating chamber*. Bahan biokomposit ini dibuat melalui proses *chemical blending* dengan variabel tetap dalam penelitian kali ini yaitu pada saat proses pencetakan *interference screw* menggunakan suhu 140°C pada *vertical heating chamber* dan tekanan 3 bar pada *pneumatic cylinder*. Variasi parameter pada penelitian ini adalah komposisi HA pada biokomposit yaitu PLLA 100%, PLLA 90 % HA 10%, PLLA 80% HA 20%, dan PLLA 70% HA 30%.

2.1 Diagram Alir Pembahasan

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 1.



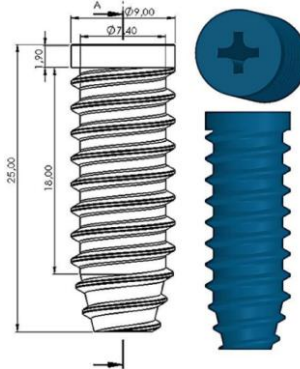
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

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 *reverse engineering* dari *interference screw* komersial oleh [10]. Desain yang didapat ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Desain *Interference Screw*

2.2.2 Molding Negative (Cetakan)

Pembuatan *molding 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 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.

2.3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan durometer adalah metode untuk mengevaluasi kekerasan bahan, Ini melibatkan pengukuran ketahanan material terhadap lekukan, memberikan wawasan tentang sifat-sifat seperti ketahanan aus dan penyerapan energi. Pengujian kekerasan dengan durometer dilakukan untuk mengetahui angka kekerasan dari *interference screw*. Dengan menggunakan ASTM 2240 dengan menggunakan durometer tipe D yang ditekan pada tiga titik permukaan *interference screw*.

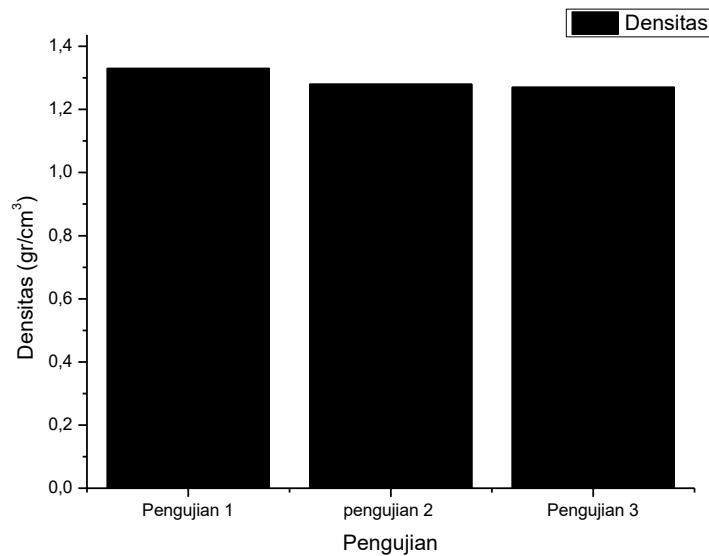
2.3.3 Pengujian XRD

X-Ray Diffraction (XRD) adalah teknik analisis untuk identifikasi fase bahan kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel pada penelitian ini digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal serta ukuran kristal dari spesimen biokomposit yang sudah dibuat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Densitas

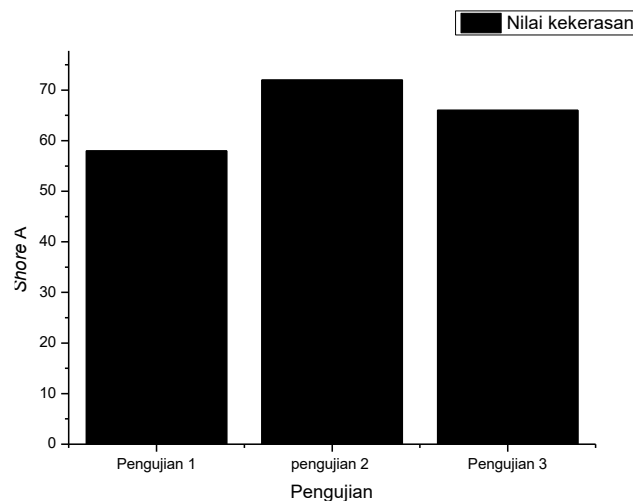
Hasil pengujian densitas *interference screw* berbahan biokomposit memiliki densitas terbaik dengan nilai 1,32 gr/cm³ dan nilai terkecil dengan nilai 1,28 gr/cm³. Perbedaan komposisi HA pada komposit menghasilkan perbedaan densitas pada *interference screw* yang dihasilkan. Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali lalu diambil nilai rata-rata, grafik hasil percobaan terbaik terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Pengujian Densitas

3.2 Pengujian Kekerasan

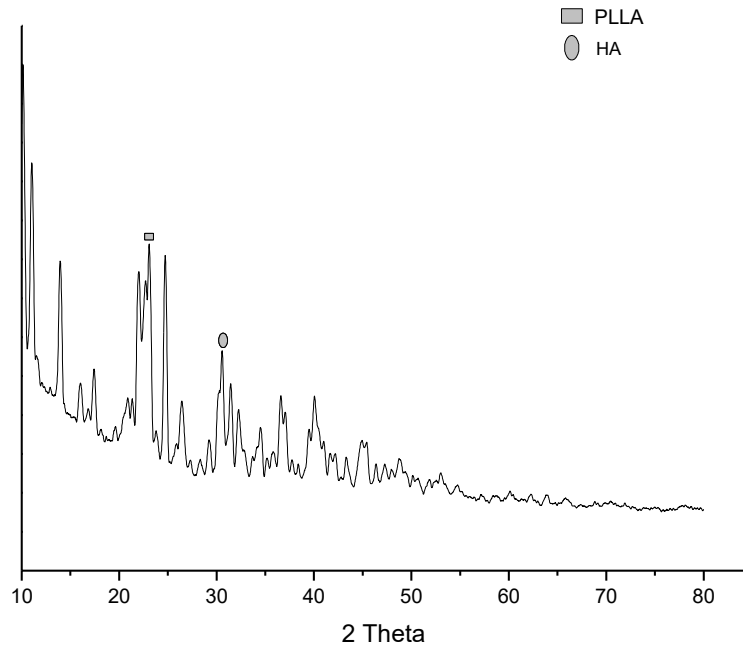
Hasil pengujian kekerasan *interference screw* menghasilkan nilai kekerasan pada *interference screw* berbahan biokomposit PLLA dan HA menghasilkan nilai terkecil pada variasi komposit dengan nilai rata-rata 57,33 Shore A. sedangkan nilai paling besar adalah 65,33 Shore A. Grafik hasil percobaan terbaik terdapat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengujian Kekerasan

3.3 Pengujian XRD

Dari hasil analisis XRD dengan menggunakan *software* OriginPro didapatkan pada Gambar 5, dari gambar tersebut dapat dilihat terdapat beberapa *peak* yang dihasilkan oleh *interference screw* dari variasi yang diuji, dapat dilihat pada *screw* PLLA didapatkan *peak* pada antara 20.00°-25.00° dan HA memiliki kisaran 2θ pada 30.00° hingga 40.00°.



Gambar 5. Grafik difraktogram hasil dari pengujian XRD *interference screw*

3.4 Pembahasan

pada penelitian yang telah dilakukan telah berhasil menghasilkan *interference screw* yang memiliki geometri yang sesuai dengan *interference screw* komersil, dari *screw* yang telah dihasilkan dilakukan karakterisasi material untuk menilai sifat fisik dan mekanik dengan pengujian densitas, pengujian kekerasan, dan pengujian XRD, berdasarkan pengujian densitas yang telah dilakukan didapatkan hasil yang terbaik dengan nilai $1,32 \text{ gr/cm}^3$ dari hasil tersebut menunjukkan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan [11] [12] [13] [14], namun pada pengujian kekerasan yang dilakukan menunjukkan hasil yang lebih rendah dibanding penelitian yang dilakukan sebelumnya yang dilakukan oleh [11] [12], pada pengujian XRD menunjukkan hasil yang *peak* sama dengan penelitian yang dilakukan [15]. Dari hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat adanya pengaruh dari komposisi HA pada sifat mekanik dan fisik dari *interference screw* yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Pada penelitian didapatkan *interference screw* berbahan biokomposit PLLA dan HA dengan variasi komposisi HA pada biokomposit PLLA dan HA. Setelah pengujian densitas, kekerasan, dan XRD didapatkan hasil terbaik pada dengan nilai densitas $1,32 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai kekerasan $65,33 \text{ Shore A}$ dan didapatkan nilai densitas dan kekerasan terkecil dengan nilai $1,28 \text{ gr/cm}^3$ dan nilai kekerasan $57,33 \text{ Shore A}$. dari hasil tersebut menunjukkan adanya pengaruh komposisi HA terhadap sifat fisik dan mekanik dari *interference screw* yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- [1] Paschos, N. K., & Howell, S. M. (2016). Anterior cruciate ligament reconstruction: principles of treatment. *EFORT open reviews*, 1(11), 398-408.
- [2] Fisik, A., Komunitas, D.I. and Indonesia, A.C.L. (2024) 'HUBUNGAN FUNGSI LUTUT PASCA REKONSTRUKSI ACL DENGAN TINGKAT AKTIVITAS FISIK DI KOMUNITAS ACL INDONESIA (The Relationship Between Knee Function After ACL Reconstruction and Physical Activity Level of The ACL Community Indonesia)', 12.
- [3] Ramos, Daisy M., et al. "Clinical complications of biodegradable *screws* for ligament injuries." *Materials Science and Engineering: C* 109 (2020): 110423.
- [4] Debieux, P., Franciozi, C. E., Lenza, M., Tamaoki, M. J., Magnussen, R. A., Faloppa, F., & Belloti, J. C. (2016). Bioabsorbable versus metallic *interference screws* for *graft* fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (7).
- [5] Santos, A. E., Bracciali, A. L., Vilela, J., Foschini, C. R., & Sanchez, L. E. (2019). Poly L, DL-lactic acid, and composite poly L, DL-lactic acid/ β -tricalcium phosphate-based bioabsorbable *interference screw*. *Polymer Composites*, 40(6), 2197-2207.

- [6] Zhang, B., Bian, X., Xiang, S., Li, G., & Chen, X. (2017). Synthesis of PLLA-based block copolymers for improving melt strength and toughness of PLLA by in situ reactive blending. *Polymer Degradation and Stability*, 136, 58-70.
- [7] Arora, G., Singh, M. K., Pathak, H., & Zafar, S. (2021). Micro-scale analysis of HA-PLLA bio-composites: effect of the interpenetration of voids on mechanical properties. *Materials Today Communications*, 28, 102568.
- [8] Kurasov, D. A. (2022). Injection Molding Technology. *Materials Research Proceedings*, 21.
- [9] Sadeghi-Avalshahr, A., Khorsand-Ghayeni, M., Nokhasteh, S., Mahdavi Shahri, M., Molavi, A. M., & Sadeghi-Avalshahr, M. (2018). Effects of *hydroxyapatite* (HA) particles on the PLLA polymeric matrix for fabrication of absorbable interference screws. *Polymer Bulletin*, 75, 2559-2574.
- [10] 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.
- [11] Juli Eri Wijayanto, Ismail R, Bayuseno AP, Fitriyana DF, Mesin DT, Teknik F, et al. ANALISIS TEMPERATURE CHAMBER PADA PROSES PRODUKSI INTERFERENCE SCREW BERBAHAN PLA/PCL/HA DENGAN METODE CASTING 2023:149-154
- [12] Maulana Ibrahim, Ismail R, Bayuseno AP, Fitriyana DF, Mesin DT, Teknik F, et al. PENGARUH TEKANAN CHAMBER PADA PROSES PRODUKSI INTERFERENCE SCREW BERBAHAN PLA/PCL/HA DENGAN METODE CASTING
- [13] 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 BIOKOMPOSIT (PCL / PLA / HA) TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN BIODEGRADABLE 2023;11:181–6.
- [14] Nugraha, F.W. *et al.* (2024) ‘Influence of Preheat Temperature Variation on Single Screw Extrusion for Characterizing PLA , PCL , and HA Biocomposite Filaments’, 06007, pp. 1–17.
- [15] Zhao, L.S. and Cai, Y.H. (2018) ‘Studies of Poly(L-lactic acid)/Hydroxyapatite Composites Through DSC and XRD’, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 439(4). Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/4/042049>.