

## PENGARUH SUHU EKSTRUSI TERHADAP DENSITAS DAN LAJU DEGRADASI PADA FILAMEN 3D PRINT BERBAHAN PLA, PCL, DAN HA

\*Muhammad Hafizh Mubarak<sup>1</sup>, Athanasius Priharyoto Bayuseno<sup>1</sup>, Rifky Ismail<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Center for Biomechanics Biomaterial Biomechatronics and Biosignal Processing, Universitas Diponegoro

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

\*Email: hafizhmubarak@students.undip.ac.id

### ABSTRAK

Pembuatan filamen biokomposit berbahan PLA, PCL, dan hidroksiapatit sebagai kandidat implan tulang menggunakan metode 3D print secara keseluruhan berhasil dilakukan. Pembuatan filamen biokomposit pada penelitian ini menggunakan variasi suhu main heat dengan rentang suhu 170°C - 180°C. Pada penelitian ini filamen memiliki nilai densitas sebesar 1,14 gr/cm<sup>3</sup>. Semakin rendah densitas dari filamen juga berpengaruh pada tingkat *biodegradable* filamen yang dihasilkan semakin cepat filamen mengalami degradasi saat perendaman dengan larutan NaCl.

**Kata kunci:** 3d print; hidroksiapatit; *polylactic-acid* (pla); *polycaprolactone* (pcl)

### ABSTRACT

*The manufacture of biocomposite filaments made of PLA, PCL, and hydroxyapatite as bone implant candidates using the 3D print method has been successfully carried out. The manufacture of biocomposite filaments in this study used variations in the main heat temperature with a temperature range of 170°C - 180°C. In this study, the filament has a density value of 1.14 gr/cm<sup>3</sup>. The lower the density of the filament also affects the level of biodegradable filament produced, the faster the filament degrades when soaked in NaCl solution.*

**Keywords:** 3d print; hidroksiapatit; *polylactic-acid* (pla); *polycaprolactone* (pcl)

## 1. PENDAHULUAN

Tindakan ORIF (Open Reduction and Internal Fixation) atau yang lebih sering kita kenal dengan pemasangan implan, adalah tindakan medis operasi terbuka untuk mengatur kembali tulang yang mengalami fraktur maupun patah tulang. Teknik bedah yang dilakukan merupakan pemasangan implan. Pen/implan umumnya terbuat dari logam tahan karat, alat ini berguna untuk menjaga posisi tulang tetap berada pada posisi normalnya selama fase penyembuhan [1]. Bahan stainless steel telah digunakan sekitar satu abad, bahan stainless steel banyak digunakan pada proses implan tulang permanen seperti sendi buatan maupun implan sementara seperti pin, dan skrup yang digunakan untuk fraktur pada tulang. Stainless steel yang digunakan adalah AISI 316L yang memiliki kadar karbon rendah sehingga dapat membuatnya lebih tahan terhadap korosi, selain itu stainless steel 316L juga memiliki ductility, dan kekerasan yang baik [2]. Namun bahan logam tahan karat memiliki beberapa kekurangan seperti dapat mengganggu pengambilan gambar X-ray maupun MRI (Magnetic Resonance Imaging) pada saat pemantauan penyembuhan pasien, dan dibutuhkan operasi kedua untuk pengangkatan implan, serta dapat menimbulkan trauma lanjutan yang dapat menyebabkan fraktur baru ketika implan sudah diangkat dikarenakan ruang yang ditinggalkan oleh implan tersebut [3].

Biokomposit merupakan biomaterial yang terbuat dari bahan buatan ataupun alami yang dikhususkan untuk pembuatan struktur atau implant yang bertujuan untuk menggantikan struktur biologis manusia yang hilang agar dapat mengembalikan bentuk dan fungsi aslinya [4].

Polyactid acid (PLA) diperlukan untuk rekonstruksi dan regenerasi jaringan yang rusak karena mereka bertindak sebagai matriks untuk berkembang biakan sel, pertumbuhan, diferensiasi, dan deposisi matriks ekstraseluler (EMD). Polyactid acid (PLA) merupakan salah satu polimer biocompatible terbaik dan banyak digunakan untuk aplikasi biomedical saat ini [5]. Polycaprolactone (PCL) merupakan polyester yang bersifat biodegradable dan biocompatible. PCL merupakan salah satu jenis bahan yang ideal karena tidak beracun. Polycaprolactone (PCL) adalah salah satu bahan

polimer yang sering digunakan pada bidang medis, hal ini dikarenakan polycaprolactone (PCL) memiliki sifat biodegradasi yang rendah dan memiliki sifat biocompatible[6]. Polycaprolactone (PCL) dicampurkan dengan polylactid acid (PLA) bertujuan untuk meningkatkan keuletan pada polylactid acid (PLA), Namun, PLA lebih baik dari pada PCL dalam hal cell adhesion dan proliferation karena sifat hydrophilic dari PLA, sedangkan PCL memiliki sifat hydrophobic dan no physiological active sehingga tidak terjadi penumbuhan sel saat berkontak dengan sel biologis, oleh ksrns itu PCL ditambahkan untuk meningkatkan sifat physicochemical properties dari PLA[7]

Hidroksiapatit (HA) merupakan biokeramik kalsium fosfat yang memiliki rumus kimia  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  yang sudah sering digunakan sebagai biomaterial pengganti tulang [8]. Hidroksiapatit memiliki kesamaan unsur kimia dan fisika dengan mineral penyusun tulang dan gigi dengan elemen utama berupa kalsium dan fosfor [9]. 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[10].

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[11].

Ekstrusi adalah pengolahan yang bersifat kontinyu melalui proses mixing, kneading, shearing, cooling, dan shaping dengan cara mendorong bahan mentah yang akan diolah keluar melalui lubang cetakan Lebih dari 66% plastik diproses melalui pencetakan injeksi dan ekstrusi, keuntugan dari proses ekstruder adalah pengisian material pada hopper dapat dilakukan secara kontinyu yang dapat mengkompensasi penyusutan material[12]. Sehingga metode 3D print sangat cocok untuk membuat implan tulang dikarenakan kebutuhan setiap pasien penderita fraktur berbeda beda.

Penelitian ini bertujuan mendapatkan suhu *main heat extruder* yang tepat untuk membentuk filamen biokomposit berbahan PLA dan PCL sebagai biopolimer dan HA yang disintesis dari cangkang rajungan sebagai biokeramik menjadi kandidat implan tulang yang bebas dibentuk sesuai kebutuhan pasien serta memiliki sifat biodegradable yang bagus dan sifat mekanik menyerupai tulang manusia.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini metodologi yang digunakan merupakan 3D print menggunakan metode fused deposition modelling (FDM), menggunakan filamen biokomposit berbahan *polylactic acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit (HA) cangkang rajungan yang diekstrusi menggunakan mesin *home made single screw extruder* dengan suhu *pre heat* 150°C - 160°C dan variasi suhu *main heat* 170°C, - 180°C. Setelah itu filamen diprint menggunakan suhu bed 50°C dengan kecepatan 60 mm/s, dengan suhu *nozzle* 205°C. Setelah spesimen berhasil diprint dapat dilakukan karakterisasi menggunakan metode uji *density*, dan uji *biodegradable*.

### 2.1. Ekstrusi Filamen

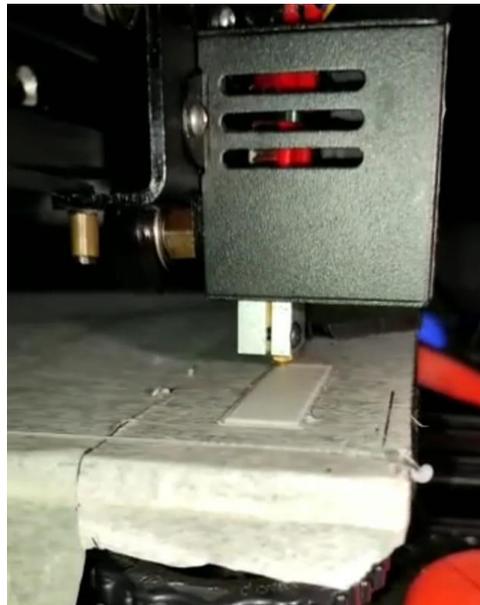
Biokomposit berbahan biopolimer 85% PLA, 15% PCL, dan 5 wt% HA cangkang rajungan yang sudah dipotong kecil kecil dimasukkan kedalam mesin *home made filament extruder*, biokomposit didorong oleh *screw* yang terdapat di dalam *extruder* melewati *nozzle* berdiameter 1,75 mm menjadi bentuk filamen.



**Gambar 1.** Proses ekstrusi filamen

## 2.2 3D Print Spesimen

Filamen yang sudah dihasilkan melalui proses ekstrusi lalu dimasukkan ke mesin 3D *printer* melalui *feeder* yang akan mendorong filamen kearah *nozzle*. Selanjutnya spesimen diprint sesuai dimensi ASTM D790. Spesimen diprint menggunakan *pattern rectilinear* dengan suhu *bed* 50°C, kecepatan gerak *nozzle* 60 mm/s, dan *flow* diset sebesar 1,6 mm.



**Gambar 2.** Proses 3D *print* Spesimen

Setelah spesimen selesai diprint, spesimen harus ditinggalkan terlebih dahulu sampai mengeras dan suhunya stabil, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya deformasi pada proses pengangkatan spesimen



**Gambar 3.** Spesimen hasil 3D *print*

### 2.3 Karakterisasi Hasil 3D *Print*

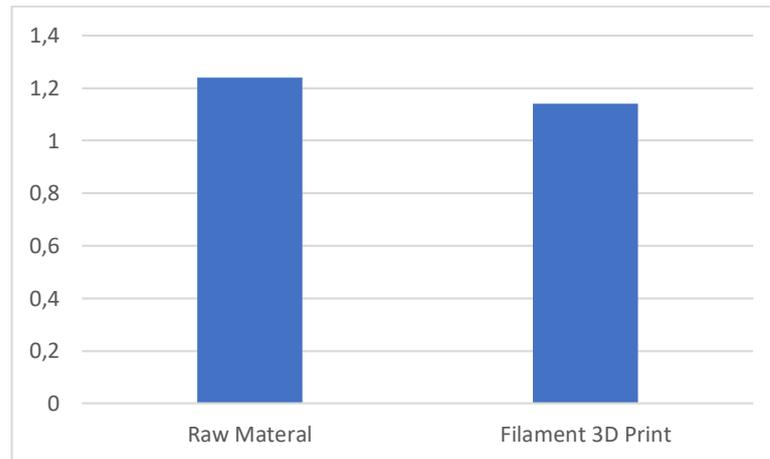
Karakterisasi spesimen hasil 3D *print* bertujuan untuk mengetahui sifat yang dimiliki oleh spesimen melalui pengujian densitas, dan pengujian *biodegradable*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dihasilkan biokomposit berbahan *polylactid-acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit hasil sintesis cangkang rajungan menggunakan metode 3D *print*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh *main heat* pada proses ekstrusi terhadap karakterisasi biokomposit yang dihasilkan.

### 3.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas umumnya dilakukan untuk mengetahui tingkat kerapatan dari suatu benda, pada penelitian ini pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses 3D *print* terhadap biokomposit berbahan *biopolymer* PLA dan PCL serta biokeramik HA.

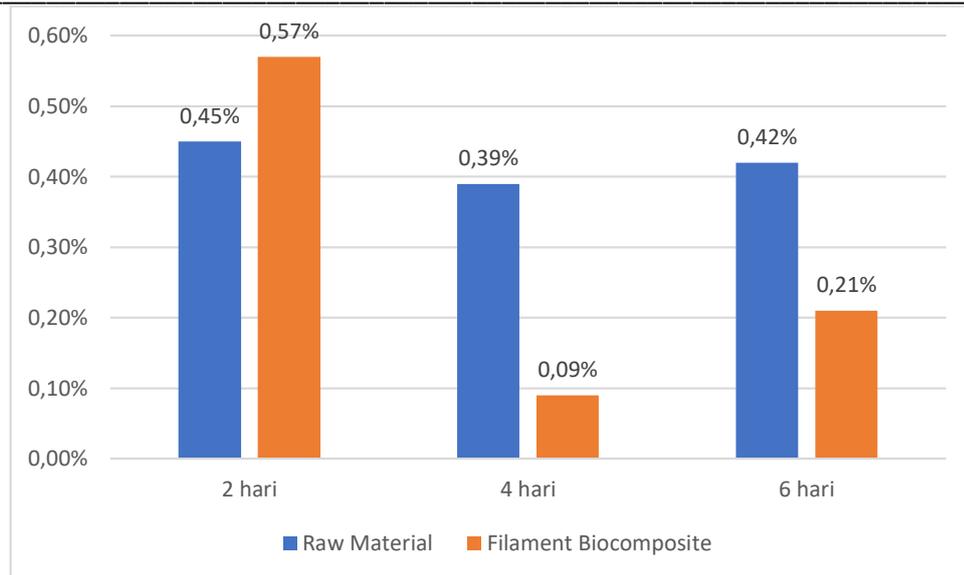


**Gambar 4.** Grafik hasil pengujian densitas biokomposit hasil 3D *print*

Dapat disimpulkan bahwa panas pada proses *extrusion* akan mempengaruhi densitas dari biokomposit yang dihasilkan. [13].

### 3.2 Pengujian *Biodegradable*

Hasil pengamatan tingkat *biodegradable* dari biokomposit dapat dilihat dari berkurangnya berat biokomposit setelah direndam dalam larutan NaCl, pengurangan berat spesimen dihitung dari selisih hasil penimbangan spesimen sebelum perendaman dan setelah perendaman.



**Gambar 5.** Grafik hasil pengujian *biodegradable* biokomposit hasil 3D print

Dari hasil pengujian *biodegradable* dapat disimpulkan nilai *degradation rate* dari setiap spesimen dipengaruhi oleh densitas dari spesimen tersebut. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin kecil nilai densitas dari spesimen tersebut maka akan lebih besar pori yang terdapat pada setiap layer spesimen, sehingga kontak dengan larutan NaCl lebih mudah terjadi pada spesimen tersebut [14]. Data yang terdapat pada gambar grafik 4, merupakan perbandingan antara Raw Material dengan filament 3D Print Biokomposit yang telah diteliti oleh peneliti sebelumnya [15]

#### 4 KESIMPULAN

Filamen yang dihasilkan sudah termasuk kriteria tulang kortikal dan memiliki nilai densitas sebesar  $1,14 \text{ gr/cm}^3$  yang sudah termasuk dalam kriteria tulang kortikal manusia. Pada proses pembuatan filamen biokomposit berpengaruh pada *degradation rate* yang dihasilkan.

Pada penelitian ini telah dihasilkan filamen biokomposit berbahan *polylactid-acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit hasil sintesis cangkang rajungan dan dapat dicetak dengan menggunakan metode 3D print. Dilihat dari pengujian densitas bahwa proses ekstrusi berpengaruh pada karakteristik material tersebut, yang dimana pada raw material memiliki nilai densitas sebesar  $1,24 \text{ gr/cm}^3$ , setelah melalui proses pembuatan *filament* dan proses 3D print merubah nilai densitas menjadi  $1,14 \text{ gr/cm}^3$ .

Dari hasil pengujian *biodegradable* dapat disimpulkan nilai *degradation rate* dari setiap spesimen dipengaruhi oleh densitas dari spesimen tersebut. Hal ini dapat terjadi dikarenakan semakin kecil nilai densitas dari spesimen tersebut maka akan lebih besar pori yang terdapat pada setiap layer spesimen hasil 3D print, sehingga kontak dengan larutan NaCl lebih mudah terjadi pada spesimen tersebut.

#### 5. REFERENSI

- [1] RSUP Sanglah Denpasar. Pemasangan Pen pada Patah Tulang. 2020.
- [2] Bekmurzayeva A, Duncanson WJ, Azevedo HS, Kanayeva D. Surface modification of stainless steel for biomedical applications: Revisiting a century-old material. *Materials Science and Engineering C*. 2018;93:1073–89.
- [3] Hermanto A, Burhanudin Y, Sukmana I. 59447-ID-peluang-dan-tantangan-aplikasi-baut-tula. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. 2016;6:93.
- [4] Aherwar A, Singh K, Patnaik A. Cobalt Based Alloy: A Better Choice Biomaterial for Hip Implants. 2016.
- [5] Singh SK. *Understanding the effect of extrusion processing parameters on physical, nutritional and rheological properties of soy white flakes based aquafeed in single screw extruder*. 2016.
- [6] Mochane MJ, Motsoeneng TS, Sadiku ER, Mokhena TC, Sefadi JS. *Morphology and properties of electrospun PCL and its composites for medical applications: A mini review*. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2019;9.
- [7] Azzaoui K, Mejdoubi E, Lamhamdi A, Hammouti B, Akartasse N, Berrabah M, et al. Novel Tricomponens composites Films From Polylactic Acid/ Hydroxyapatite/ Poly-Caprolactone Suitable For Biomedical Applications. *J Mater Environ Sci*. 2016;7:761–9.

- [8] Fernandes Cóta L, Licona KPM, Lunz J do N, Antunes Ribeiro A, Morejón L, de Oliveira MV, et al. *Hydroxyapatite nanoparticles: Synthesis by sonochemical method and assessment of processing parameters via experimental design. In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd; 2016. p. 896–901.*
- [9] Milla L el, Indrani DJ, Irawan B. Nomer 1. 2018.
- [10] Amalia Hariyanto Y, Taufiq A, Sunaryono S. Sintesis, Karakterisasi Struktur dan Sifat Optik Nanopartikel Hidroksiapatit/Magnetit. JPSE (Journal of Physical Science and Engineering). 2018;3:16–24.
- [11] Pristiansyah, Hasdiansah, Sugiyarto. Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex. Jurnal Teknologi Manufaktur. 2019;11.
- [12] Ekstrusi M, Konsistensi T, Filamen P, Faisal RA. Analisis Pengaruh Parameter Operasional.
- [13] S. Alsoufi M, W. Alhazmi M, K. Suker D, A. Alghamdi T, A. Sabbagh R, A. Felemban M, et al. *Experimental Characterization of the Influence of Nozzle Temperature in FDM 3D Printed Pure PLA and Advanced PLA+. American Journal of Mechanical Engineering. 2019;7:45–60.*
- [14] Akhoundi B, Nabipour M, Hajami F, Shakoori D. *An Experimental Study of Nozzle Temperature and Heat Treatment (Annealing) Effects on Mechanical Properties of High-Temperature Polylactic Acid in Fused Deposition Modeling. Polymer Engineering and Science. 2020;60:979–87.*
- [15] Fariz \*, Nugraha W, Bayuseno AP, Ismail R, Soedarto JH, +62247460059 T. Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit Berbahan PLA, PCL, DAN HIDROKSIAPATIT Dari Cangkang Kerang Hijau Sebagai Kandidat Biomaterial.