

PENGARUH RPM PADA PROSES PEMBUATAN FILAMEN BIOKOMPOSIT BERBAHAN PCL, PLA, DAN HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG RAJUNGAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KARAKTERISASI FILAMEN

*Gusti Andika Ramadani¹, Rifky Ismail², Athanasius Prihartoyo 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: gustiandika19490@gmail.com

Abstrak

Pembuatan filamen 3D *Print* biokomposit berbahan PLA, PCL, dan hidroksiapatit sebagai kandidat implan tulang telah berhasil dilakukan. Dalam penelitian ini, variasi RPM 28, 30, 34 dan 36 digunakan untuk membuat filamen biokomposit pada suhu *main heat* 150 °C dan suhu *pre heat* 140 °C. Sifat bahan akhir dipengaruhi oleh perbedaan RPM bahan biokomposit. Setiap spesimen memiliki ciri yang berbeda-beda, dibuktikan dengan nilai *crystallinity index*, hasil uji tarik, uji densitas, dan uji biodegradasi. Menurut pengujian XRD, FTIR, dan SEM, RPM dalam proses ekstrusi filamen tidak mempengaruhi komposisi kimia material. Ketiga bahan tersebut dihubungkan secara mekanis sehingga tidak ada fase baru yang berkembang. Spesimen dengan 28 RPM merupakan biokomposit terbaik dalam penelitian ini, dengan kekuatan tarik 20,01 MPa, yang mendekati standar untuk tulang kortikal manusia dan memiliki nilai laju degradasi terendah jika dibandingkan dengan spesimen lainnya.

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

Abstract

The production of biocomposite 3D printed filaments made from PLA, PCL, and hydroxyapatite as bone implant candidates have been successfully carried out. This study used RPM 28, 30, 34, and 36 variations. The final material's properties are affected by the difference in the RPM of the biocomposite material. Each specimen has different characteristics, as evidenced by the crystallinity index value, the results of the tensile test, density test, and biodegradation test. According to XRD, FTIR, and SEM tests, the RPM in the filament extrusion process does not affect the chemical composition. The three materials are connected mechanically so that no new phases develop. Specimen with 28 RPM is the best biocomposite in this study, with a tensile strength of 20.01 MPa, which is close to the standard for human cortical bone and has the lowest degradation rate value compared to other specimens.

Keyword: *computer aided design, photogrammetry, reverse engineering*

1. PENDAHULUAN

Fraktur merupakan suatu kondisi dimana terjadi diskontinuitas tulang yang disebabkan karena terjadinya benturan yang keras secara mendadak. Umumnya fraktur disebabkan oleh trauma atau aktivitas fisik dimana terdapat tekanan yang berlebihan pada tulang. Penyebab utama fraktur adalah kecelakaan, proses degeneratif dan patologi [1]. Kejadian fraktur di Indonesia sebesar 1,3 juta setiap tahun dengan jumlah penduduk 238 juta, merupakan terbesar di Asia Tenggara. Manajemen fraktur memiliki tujuan reduksi, imobilisasi, dan pemulihan fungsi tulang. Reposisi, reduksi, dan *retaining* merupakan suatu rangkaian Tindakan yang tidak dapat dipisahkan [2]. Lebih dari 2.2 juta orang setiap tahunnya perlu bedah tulang karena kerusakan tulang parah akibat kecelakaan, penyakit, dan trauma [3]. Pada kasus fraktur *intercondylar femur* untuk mengembalikan struktur dan fungsi tulang secara tepat dan cepat perlu tindakan reduksi terbuka. Penanganan secara operatif yang dilakukan seperti *Open Reduction and Internal Fixation* (ORIF).

Tindakan ORIF (*Open Reduction and Internal Fixation*) atau tindakan medis yang berupa operasi terbuka untuk mengatur kembali tulang yang mengalami fraktur maupun patah tulang. Pen/implan umumnya terbuat dari logam tahan karat, implan tersebut bertujuan untuk mencegah tulang berubah posisi akibat gerakan, agar dapat membantu penyembuhan yang maksimal. 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.

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. Dalam rekayasa jaringan, *polylactid acid* saat ini menjadi fokus berbagai kegiatan penelitian dan pengembangan karena sifat-sifatnya seperti sifat antitotoksik, densitas rendah, biokompatibilitas, dan biodegradabilitas. Bahan *biodegradable* secara bertahap mampu meluruh (degradasi) dalam tubuh manusia untuk menghasilkan zat atau senyawa yang tidak bersifat racun yang dapat diekskresikan [4]. Material ini diperlukan untuk rekonstruksi dan regenerasi jaringan yang rusak karena mereka bertindak sebagai matriks untuk perkembangan biakan sel, pertumbuhan, diferensiasi, dan deposisi *matriks ekstraseluler (EMD)*. *Polylactid acid (PLA)* merupakan salah satu polimer biokompatibel terbaik dan banyak digunakan untuk aplikasi *biomedical* saat ini [5].

Biokomposit adalah bahan rekayasa baru yang terbuat dari dua atau lebih bahan dengan sifat kimia atau fisik berbeda yang tetap terpisah dalam produk akhir. Penelitian ini menggunakan *Polylactid Acid (PLA)*, *Polycaprolactone (PCL)*, dan hidroksiapatit (HA). *Polycaprolactone (PCL)* dan *polylactid acid (PLA)* telah banyak digunakan sebagai biopolimer dalam aplikasi medis. Karena kemudahan pemrosesan dan kemampuannya dalam *mechanical strength properties, thermal transition, and crystallinity*, kedua polimer telah diakui oleh *United States Food and Drug Administration (USFDA)* sebagai polimer yang paling banyak diteliti. Oligomer dan monomer asam laktat yang dihasilkan selama degradasi PLA diserap sepenuhnya oleh makhluk hidup. Selain itu, PLA memiliki kemampuan proses dan ketahanan mekanis yang tinggi. Keadaan kristal PLA dapat sepenuhnya amorf (non-kristal) atau hingga 40% kristal. *Melting temprature (Tm)* PLA adalah antara 130 dan 180°C, sedangkan *glass transition temperature (Tg)* antara 50 dan 80°C. PCL memiliki kelarutan yang baik dengan polimer lain, viskositas rendah, dan sifat hidrofobik, dengan berat molekul dan kristalinitas mempengaruhi sifat fisik dan mekanik. PCL memiliki *glass transition temperature (Tg)* sekitar -60°C, sedangkan *melting temprature (Tm)* berkisar antara 50 hingga 60°C. Perlu dicatat bahwa PCL memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi (antara 30% dan 60%) [6].

Komponen anorganik utama jaringan keras manusia adalah hidroksiapatit (HA), yang memiliki rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. HA digunakan dalam industri biomedis untuk sistem pengiriman obat, pelapis implan, perbaikan jaringan lunak, pengisi tulang, dan perancah untuk rekayasa jaringan tulang. Meskipun demikian, keterbatasan mekanis karena kekuatannya, HA tidak banyak digunakan, terutama sebagai bahan implan. *PureHA* memiliki kekuatan tarik dan tekan lentur masing-masing mulai dari 38 hingga 250 MPa, 38 hingga 300 MPa, dan 120 hingga 150 MPa. Untuk mencapai sifat yang diinginkan, berbagai jenis biomaterial digabungkan untuk membentuk biokomposit. Menggabungkan matriks polimer (PLA dan PCL) dengan mineral bioaktif (HA), misalnya, menghasilkan bahan biokomposit dengan sifat mekanik dan integrasi prostesis yang lebih baik. Akibatnya, HA dan komposit berbasis polimernya biasanya digunakan dalam aplikasi ortopedi dan kedokteran gigi.

FDM (*fused deposition modeling*) merupakan metode pencetakan 3D paling populer, terjangkau, dan telah mengubah produksi, metode ini menciptakan lapisan dengan mengekstrusi filamen melalui *nozzle* yang dipanaskan pada suhu leleh. Pencetakan 3D dapat memproduksi produk yang sangat fleksibel [7].

Ekstrusi adalah pengolahan yang bersifat kontinu 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, keuntungan dari proses ekstrusi adalah pengisian material pada *hopper* dapat dilakukan secara kontinu yang dapat mengkompensasi penyusutan material [8]. Penelitian ini bertujuan mendapatkan RPM (*Rotation Per Minute*) yang tepat pada proses ekstrusi untuk membuat filamen biokomposit berbahan PLA dan PCL sebagai biopolimer dan HA yang disintesis dari cangkang rajungan sebagai kandidat implan tulang.

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 [10]. Biomaterial komposit menggabungkan 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 [11]. Pada penelitian ini menggunakan filamen biokomposit berbahan *polylactid acid (PLA)*, *polycaprolactone (PCL)*, dan hidroksiapatit (HA) cangkang rajungan yang diekstrusi menggunakan mesin *home made single screw extruder* dengan suhu *mainheat* 150°C dan suhu *preheat* 140°C. Setelah itu filamen dilakukan karakterisasi menggunakan metode uji densitas, uji biodegradable, dan uji tarik

2.1 Ekstrusi Filamen

Biokomposit berbahan biopolimer 80-90% PLA, 10-15% PCL, dan 5 wt% HA cangkang rajungan yang sudah dipotong kecil kecil dengan ukuran maksimal 5mm dimasukan 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 Karakterisasi Filamen

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



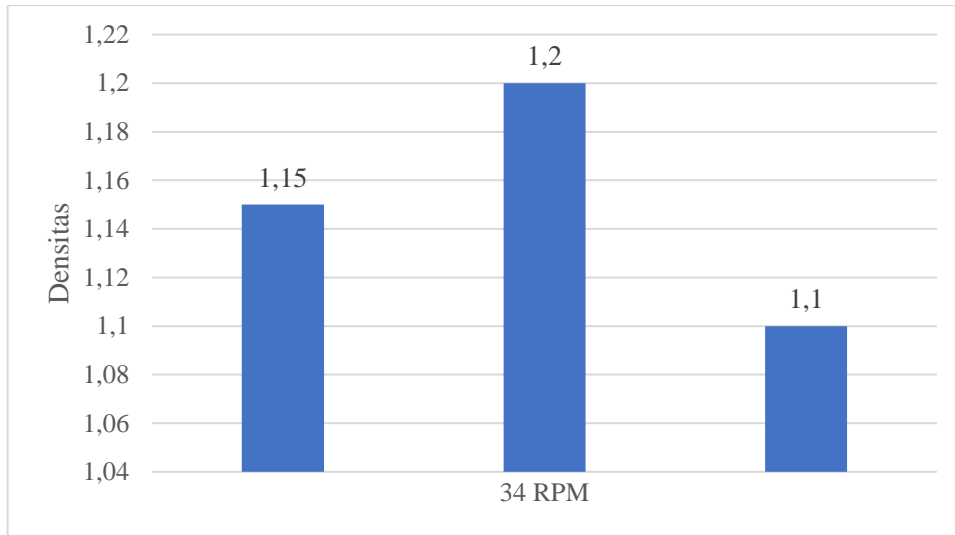
Gambar 2. Filamen yang dihasilkan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dihasilkan filamen biokomposit berbahan *polylactid-acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit hasil sintesis cangkang rajungan menggunakan metode ekstrusi. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi RPM 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 RPM pada proses ekstrusi terhadap biokomposit berbahan biopolymer PLA dan PCL serta biokeramik HA.

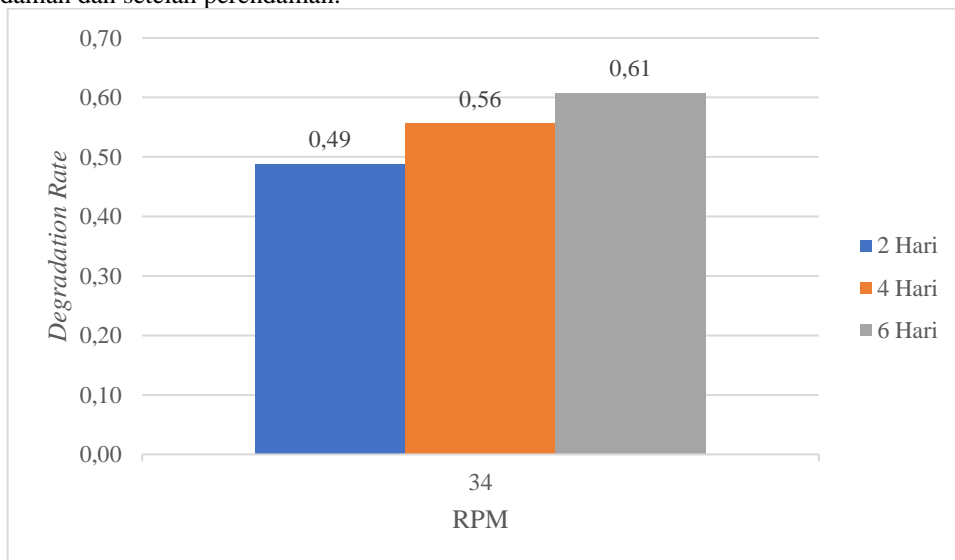


Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Densitas Filamen Biokomposit

Dapat dilihat bahwa pada 34 RPM pada proses *extrusion* akan mempengaruhi densitas dari biokomposit yang dihasilkan, pada 34 RPM didapatkan nilai densitas filamen biokomposit sebesar 1,15 gr/cm³

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.

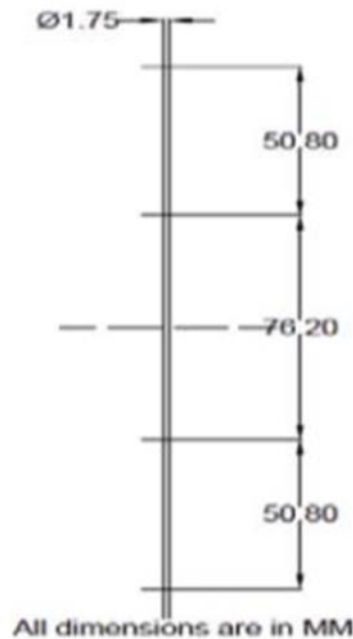


Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian *Biodegradabel* Filamen Biokomposit

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.

3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik umumnya dilakukan untuk mengetahui *mechanical properties* dari filamen biokomposit yang sudah di hasilkan. Pada penelitian kali ini pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui pengaruh RPM pada proses ekstrusi terhadap *mechanical properties* filamen berbahan biokomposit. Dimensi spesimen uji tarik yang digunakan pada penelitian kali ini mengacu pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh Boparai (2016).



Gambar 5. Dimensi Spesimen Pengujian Tarik [12]

Tabel 1 Hasil Pengujian Tarik

RPM	Area (mm ²)	Max Force (N)	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Young's Modulus (N/mm ²)
34	4,587	46,8	13,27	10,2	6,31	664,96

Dari Tabel 1 dapat dilihat *mechanical properties* 34 RPM dengan nilai *tensile strength* sebesar 10,2 N/mm² dan *young's modulus* sebesar 664,96 N/mm².

4. KESIMPULAN

Filamen yang dihasilkan sudah termasuk kriteria tulang kortikal dan memiliki nilai densitas sebesar 1,28 gr/cm³ yang sudah termasuk dalam kriteria tulang kortikal manusia. Pada proses pembuatan filamen biokomposit densitas 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 dengan menggunakan metode ekstrusi. Dilihat dari pengujian densitas bahwa proses ekstrusi berpengaruh pada karakteristik material tersebut, yang dimana pada proses ekstrusi RPM akan mempengaruhi densitas dari biokomposit yang dihasilkan, dimana semakin tinggi RPM ekstruder maka densitasnya akan semakin turun. 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 filamen hasil ekstrusi, sehingga kontak dengan larutan NaCl lebih mudah terjadi pada spesimen tersebut.

5. Daftar Pustaka

- [1] Fuentes, M. M. M. (2017) “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” 6(1), hal. 1–14.
- [2] Alihar, F. (2018) “No Title66, עלון הנושע, תמונת מצב: ענף הקייזוי: תמונת מצב (1), hal. 37–39. Tersedia pada: https://www.fairportlibrary.org/images/files/RenovationProject/Concept_cost_estimate_accepted_031914.pdf.
- [3] Szcześ, A., Hołysz, L. dan Chibowski, E. (2017) “Synthesis of hydroxyapatite for biomedical applications,” *Advances in Colloid and Interface Science*, 249(April), hal. 321–330. doi: 10.1016/j.cis.2017.04.007.
- [4] Nurfitri Rahmi Sari *dkk.* (2019) “Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Seng (Zn) Biodegradeable Untuk Aplikasi Implan Biomedis,” *Journal Of Multidisciplinary Research and Development*, hal. 966–966.
- [5] Singh, D. *dkk.* (2019) “Synthesis, characterization, and bioactivity investigation of biomimetic biodegradable PLA scaffold fabricated by fused filament fabrication process,” *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(3), hal. 1–13. doi: 10.1007/s40430-019-1625-y.
- [6] Ismail, R. *dkk.* (2022) “Characterization of PLA / PCL / Green Mussel Shells.”
- [7] Pristiansyah; Hardiansyah; Sugiyarto (2019) “Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex,” *Manutech: Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11(01), hal. 0–7. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/289929-optimasi-parameter-proses-3d-printing-fd-bc4a4103.pdf>.
- [8] Faisal, R. A. dan Herianto (2019) “Analisis Pengaruh Parameter Operasional Mesin Ekstrusi Terhadap Konsistensi Produk Filamen,” *Seminar Nasional Teknik Industri Universitas Gadjah Mada*.
- [9] Hermawan, H. (2019) “Pengenalan pada biomaterial,” *INA-Rxiv Papers*, hal. 1–8. doi: 10.31227/osf.io/v3z5t.1/8.
- [10] 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.
- [11] Bagaskara, I. F. *dkk.* (2022) “Pengujian Densitas Dan Biodegradable Material Filament 3D Print Bio-Komposit Berbahan Pcl , Pla Dan Hidroksiapatit Cangkang,” 10(1), hal. 13–18.
- [12] 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.