

PENGARUH SUHU PEMBUATAN FILAMEN BIOKOMPOSIT (PCL/PLA/HA) MENGGUNAKAN MESIN SCREW EXTRUDER

Muhammad Rezha Assalam,¹, 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: rezhaassalam12@gmail.com

Abstrak

Pembuatan filamen biokomposit berbahan PLA, PCL dan hidroksiapatit cangkang rajungan dengan menggunakan alat *single screw extruder* secara keseluruhan berhasil dilakukan. Pembuatan filamen pada penelitian ini menggunakan suhu *preheat* 145°C. Suhu *preheat* pada proses pembuatan filamen biokomposit berpengaruh pada karakteristik filamen yang dihasilkan. Dengan suhu *preheat* menghasilkan densitas dan *tensile strength*, dan *degradation rate*. Pada penelitian ini filamen dengan variasi suhu *preheat* 145°C memiliki nilai *tensile strength* sebesar 12,37 Mpa, nilai densitas sebesar 1,28 gr/cm³, dan *degradation rate* sebesar 0,37 % Semakin rendah densitas dari filamen juga berpengaruh pada tingkat biodegradable filamen yang dihasilkan semakin cepat filamen mengalami degradasi saat perendaman dengan campuran larutan NaCl dan aquades.

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

Abstract

The production of biocomposite filaments using PLA, PCL, and crab shell hydroxyapatite with a single screw extruder was successfully carried out overall. Filament production in this study involved preheat temperature at 145°C. The preheat temperature in the biocomposite filament production process influenced the characteristics of the resulting filaments. The preheat temperature resulted the density, and tensile strength, and degradation rate. In this study, the filaments produced with a preheat temperature of 145°C had a tensile strength of 12.37 MPa and a density of 1.28 g/cm³, and degradation rate of 0,37 % The lower density of the filaments also influenced the biodegradability rate, with the filaments degrading faster during immersion in a mixture of NaCl solution and distilled water.

Keyword: filament; hydroxiapatite (ha); *polycaprolactone* (pcl); *polylactide-acid* (pla); *single screw extrude*

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. Pada tahun 2022, setiap minggunya pasien yang mengalami fraktur kurang lebih 8 orang. Penyebab patah tulang terbanyak yaitu jatuh (40,9%) dan kecelakaan lalu lintas (40,6%) [2]. 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 [3].

Banyak material yang dapat digunakan untuk implan pada tulang. Material *stainless steel* 316L banyak digunakan karena keunggulannya pada ketahanan korosi, sifat fisik, sifat mekanik, dan permukaan yang mudah dibersihkan. Pengembangan komposisi kimia dari *stainless steel* 316L telah dilaksanakan untuk memperoleh struktur austenit yang stabil yang memiliki banyak keuntungan, seperti dengan memiliki struktur FCC sehingga lebih baik dari *stainless steel* feritik dalam ketahanan terhadap korosi karena kepadatan atom kristalografi yang lebih tinggi, rasio kekuatan tarik dan kekuatan luluh yang sangat rendah dan mampu bentuk yang tinggi, *cold working* dan *successive aging*

treatment dapat diterapkan untuk meningkatkan kekuatan. *Austenitic stainless steel* pada dasarnya bersifat non magnetik. Implan tulang merupakan komoditas yang banyak diimpor dengan harga yang tidak murah. Implan tulang berbahan logam seperti *Stainless Steel 316 L*. Paduan Co-Cr dan paduan titanium merupakan contoh fiksasi fraktur tulang yang selama ini telah digunakan, tetapi logam tersebut tidak dapat diserap oleh tulang sehingga dalam jangka waktu tertentu harus diambil lagi ketika tulangnya sudah pulih.

Sedangkan material berbahan dasar polimer mempunyai modulus yang lebih rendah daripada tulang manusia. Berdasarkan perbedaan sifat itu, maka bahan – bahan tersebut dapat digabungkan menjadi biokomposit untuk mendapatkan sifat biologis, mekanis, dan fisik yang menyerupai tulang manusia. Menurut pandangan ilmu material, tulang adalah material komposit polimer termineralisasi, dimana kolagen adalah komponen polimer dan hidroksiapatit adalah komponen keramik. Hidroksiapatit (HA) adalah senyawa kalsium fosfat yang stabil dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ dan rasio molar Ca/P sebesar 1,67 yang secara luas digunakan sebagai biomaterial untuk penggantian tulang. Hidroksiapatit memiliki sifat bioaktif, biokompatibel, osteokonduktif, dan tidak beracun. Biomaterial ini sangat sesuai untuk pengobatan penyakit tulang karena kesamaan kandungan mineral anorganik pada tulang manusia, serta sifat osteokonduktivitas dan biokompatibilitas yang tinggi. HA sangat berpotensi untuk pengaplikasian sebagai *bone filler*, *scaffold bone tissue engineering*, *implan coating*, perbaikan jaringan lunak, dan sistem *drug delivery*.

Biokomposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda menjadi suatu bentuk unit mikroskopik dimana sifat dari ketiga bahan ini memiliki perbedaan satu sama lain, baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut. Salah satu contoh dari biokomposit adalah yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan tiga bahan campuran yaitu *Poly lactid-Acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit (HA).

Polycaprolactone (PCL) merupakan polimer semi kristalin yang merupakan homopolimer struktural molekuler berulang yang terdiri dari lima grup metilena non polar dan sebuah grup ester yang bersifat polar (Mukhsin, dkk., 2018). PCL memiliki kelarutan yang baik dengan polimer lain, viskositas yang rendah, dan karakteristik hidrofobik. *Glass transition temperature* (T_g) pada PCL sekitar -60°C sedangkan *melting temperature* (T_m) dari PCL berkisar antara 50°C hingga 60°C . Untuk tingkat kristalinitasnya, PCL memiliki tingkat kristalinitas yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 30% hingga 60%. *Poly lactid Acid* (PLA) memiliki kemampuan proses dan mekanik yang tinggi resistensi. Tingkat kristalinitas dari PLA dapat sepenuhnya amorf (non-kristal) hingga 40% kristal. *Melting temperature* (T_m) PLA berkisar antara 130°C hingga 180°C , sedangkan *Glass transition temperature* (T_g) berkisar antara 50°C hingga 80°C . *Polycaprolactone* (PCL) dan *poly lactic acid* (PLA) sebagai biopolimer telah banyak digunakan dalam dunia medis. Salah satu alasannya karena PCL dan PLA telah diakui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (USFDA) sebagai *polyesters* yang paling banyak diteliti karena kemudahannya dalam pemrosesan namun tetap memiliki kemampuan mekanis, transisi termal, dan kristalinitas yang baik. PLA adalah bahan rapuh yang terdegradasi dengan cepat dalam cairan tubuh. Oleh karena itu, dilakukannya pencampuran PCL dan PLA untuk memaksimalkan kekuatan strukturnya, memperpanjang waktu degradasi PLA, dan membuat kopolimer yang memiliki sifat biokompatibilitas dan *biodegradable* [4].

Pada penelitian ini biokomposit melalui proses ekstrusi yang akan merubah bentuk biokomposit menjadi filamen. Proses ekstrusi adalah pengolahan yang bersifat kontinu melalui proses *mixing*, *kneading*, *shearing*, *cooling*, dan *shaping* dengan cara mendorong biokomposit yang telah diolah keluar melalui lubang *nozzle*. Keuntungan dari proses ini adalah pengisian material pada *hopper* dapat dilakukan secara kontinu yang dapat mengkompensasi penyusutan material [5]. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan filamen berbahan biokomposit dan untuk mengetahui pengaruh temperatur *preheat* terhadap *mechanical properties* dan *degradation time* dari filamen yang dihasilkan. Filamen ini diharapkan dapat menyamai *mechanical properties* dan *degradation time* dari penelitian yang ada sebelumnya serta mendekati material tulang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Biomaterial dapat didefinisikan sebagai material sintetis untuk membuat alat kesehatan dan dalam pemakaiannya berinteraksi dengan sistem biologi. Biomaterial dipakai untuk membuat implan dan *devices* (*surgical implants and devices*) yang menggantikan bagian atau fungsi organ tubuh secara aman dan ekonomis [6]. Biomaterial melingkupi semua jenis material mulai dari logam, keramik, polimer hingga komposit [7]. Kebutuhan bahan biomaterial dalam bidang medis untuk berbagai keperluan terus meningkat dewasa ini. Hal ini antara lain disebabkan oleh tingginya angka kecelakaan serta meningkatnya kasus kebakaran yang menimbulkan luka bakar yang serius pada korban [8]. Biomaterial komposit adalah biomaterial dibuat dengan mengkombinasikan beberapa jenis material untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan dalam memenuhi kriteria sebagai biomaterial [9]. Biomaterial komposit memiliki keuntungan dimana kemudahannya dalam mengatur sifat dan karakteristiknya. Namun biomaterial komposit sangat sulit untuk di buat karena sulit untuk memperoleh perbandingan komposisi dari bahan yang di campurkan. Maka dari itu perlu kejelian dan ketepatan dalam menentukan kombinasi material serta dan matriks dan juga metode yang di gunakan agar biomaterial komposit dapat di buat tepat sesuai dengan kebutuhan [10].

Metodel pembuatan filamen yang digunakan dalam penelitian ini adalahl melakukan proses ekstrusi biokomposit berbahan PCL, PLA, HA dengan mesin *single screw extruder* yang sudah di modifikasi. Selanjutnya di lakukan pengujian filamen dengan suhu *preheat* sebesar 145°C. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian densitas, pengujian tarik, dan pengujian *biodegradable*. Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui karakterisasi dari filament yang di hasilkan.

2.1 Ekstrusi Filamen

Biokomposit berbahan 85% PLA, 15% PCL, dan 5 wt% HA cangkang rajungan yang sudah dihaluskan dimasukan kedalam mesin *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 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

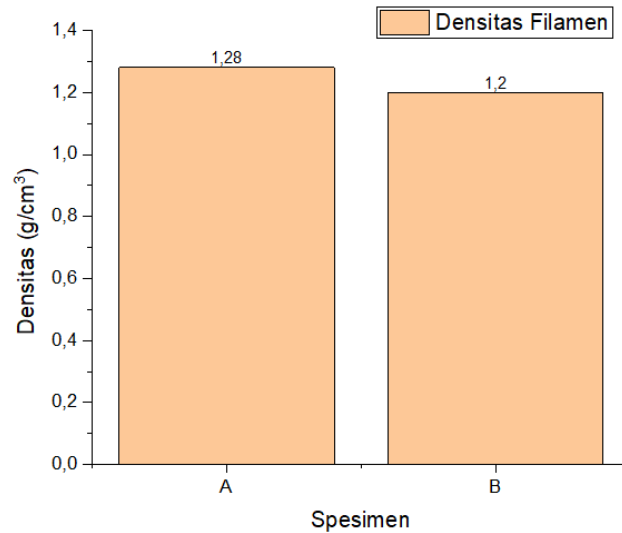
Pada penelitian ini telah dihasilkan filamen biokomposit berbahan *polylactid-acid* (PLA), *polycaprolactone* (PCL), dan hidroksiapatit (HA) hasil sintesis cangkang rajungan menggunakan metode ekstrusi. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengaruh suhu *preheat* pada proses ekstrusi terhadap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

Tabel 1. Hasil pengujian filamen biokomposit

Spesimen	Keterangan
A	Filamen yang dihasilkan pada penelitian ini
B	Filamen yang dihasilkan oleh Ramadhanu, dkk (2023)

3.1 Pengujian Densitas

Pengujianl densitas adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui tingkatl kerapatan (massa jenis) dari suatu benda, pada penelitian ini pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu *preheat* pada proses ekstrusi terhadap biokomposit berbahan PLA dan PCL dan HA.

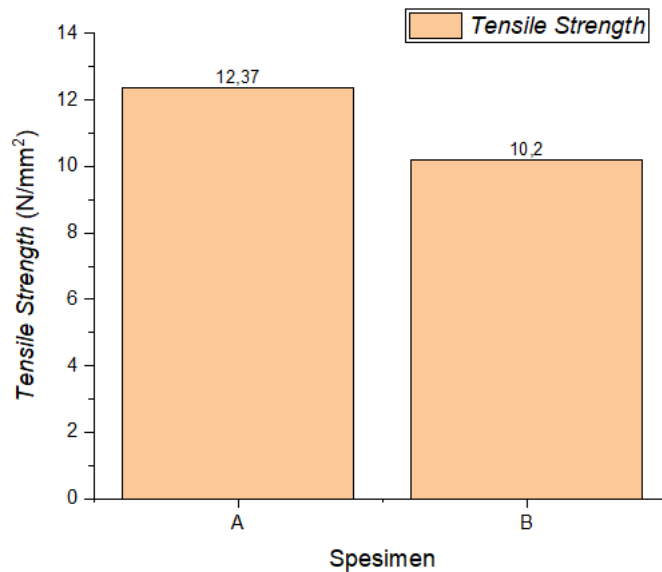


Gambar 3. Grafik hasil pengujian densitas filamen biokomposit

Dapat disimpulkan suhu *preheat* pada proses ekstrusi akan mempengaruhi densitas dari biokomposit yang dihasilkan, pada suhu *preheat* 145°C didapatkan nilai densitas filamen biokomposit sebesar 1,28 gr/cm³

3.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui *mechanical properties* dari suatu material. Pada penelitian ini pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *preheat* pada proses ekstrusi filamen biokomposit berbahan PCL/PLA/HA terhadap *mechanical properties* dari filamen yang di hasilkan. Pada pengujian tarik penelitian ini menggunakan ASTM D638.

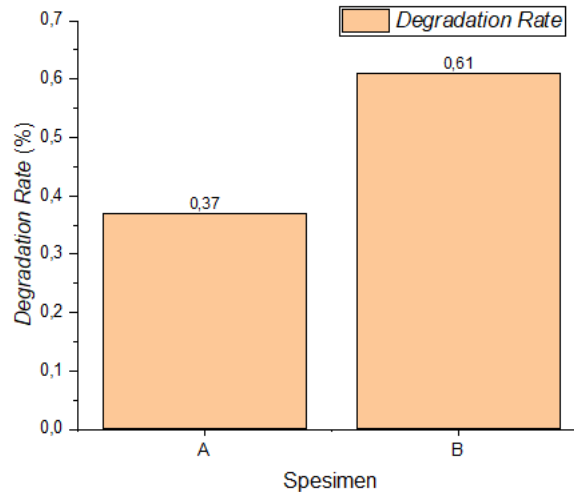


Gambar 4. Grafik hasil pengujian tarik filamen biokomposit

didapatkan hasil pengujian tarik filamen biokomposit. Filamen dengan *mechanical properties* terbesar didapatkan dengan suhu *preheat* 135°C dengan *tensile strength* sebesar 19,87 N/mm². Untuk filamen dengan *mechanical properties* terkecil didapatkan dengan suhu *preheat* 145°C dengan *tensile strength* sebesar 12,37 N/mm². Pada penelitian ini didapatkan nilai *tensile strength* yang berbanding lurus dengan nilai densitas. Semakin rendah nilai densitas maka semakin rendah juga nilai *tensile strength*.

3.3 Pengujian Biodegradable

Pengujian biodegradable adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui laju biodegradasi dari biokomposit. Hasil pengujian *biodegradable* didapatkan dari berat biokomposit setelah direndam dalam campuran larutan NaCl dan aquades



Gambar 5. Hasil pengujian *biodegradable*

Gambar 5 menunjukkan *degradation rate* dari filamen biokomposit yang sudah direndam menggunakan campuran larutan NaCl dan aquades. Dapat dilihat spesimen dengan lama perendaman selama 21 hari memiliki nilai *degradation rate* terbesar, sedangkan spesimen dengan lama perendaman selama 7 hari memiliki nilai *degradation rate* terkecil.

Melihat hasil pengujian *biodegradable*, maka dapat disimpulkan nilai *degradation rate* dipengaruhi oleh nilai densitas. Hal ini dapat disebabkan karena semakin kecil nilai densitas dari spesimen tersebut maka akan lebih besar pori yang terdapat pada setiap *layer* spesimen filamen, sehingga kontak dengan campuran larutan NaCl dan aquades lebih mudah terjadi pada spesimen tersebut.

4. KESIMPULAN

Pembuatan filamen biokomposit berbahan PCL, PLA, dan HA dengan metode *single screw extruder* berhasil dilakukan. Filamen yang dihasilkan dari suhu *preheat* memiliki nilai *mechanical properties*. Filamen dengan suhu *preheat* 145°C memiliki densitas sebesar yaitu 1,28 g/cm³. *Tensile strength* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah sebesar 12,37 MPa dengan suhu *preheat* 145°C. Perbedaan nilai *tensile strength* dipengaruhi oleh nilai densitas filamen, semakin rendah nilai densitas maka semakin rendah nilai *tensile strength* yang dihasilkan. *Mechanical properties* diidentifikasi dengan melakukan pengujian tarik. Nilai *degradation rate* pada penelitian ini adalah 0.37 % dengan suhu *preheat* 145°C dan lama perendaman dalam larutan NaCl dan aquades selama 7 hari. Hal ini dikarenakan nilai *degradation rate* dipengaruhi oleh densitas filamen. Semakin rendah densitas filamen, maka semakin tinggi porositas yang menyebabkan filamen lebih mudah mengandung larutan dan proses degradasi lebih cepat terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramadanu GA, Ismail R, Bayuseno B. PENGARUH RPM PADA PROSES PEMBUATAN FILAMEN BOKOMPOSIT BERBAHAN PCL, PLA, DAN HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG RAJUNGAN TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN KARAKTERISASI FILAMEN. JURNAL TEKNIK MESIN. 2023 Apr 14;11(2):1-6.
- [2] Bagaskara IF, Bayuseno AP, Ismail R. PENGUJIAN DENSITAS DAN BIODEGREDABLE MATERIAL FILAMENT 3D PRINT BIO-KOMPOSIT BERBAHAN PCL, PLA DAN HIDROKSIAPATIT CANGKANG RAJUNGAN. JURNAL TEKNIK MESIN. 2022 Jan 14;10(1):13-8.
- [3] Athallah MD, Sugiyanto S, Ismail R. PENGARUH TEMPERATUR NOZZLE 3D PRINT TERHADAP FLEXURAL STRENGTH BOKOMPOSIT BERBAHAN PLA, PCL, DAN HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG RAJUNGAN. JURNAL TEKNIK MESIN. 2022 Apr 28;10(2):249-54.
- [4] Ismail, R., Cionita, T., Lai, Y. L., Fitriyana, D. F., Siregar, J. P., Bayuseno, A. P., ... & Hadi, A. E. (2022). Characterization of PLA/PCL/Green Mussel Shells Hydroxyapatite (HA) Biocomposites Prepared by Chemical Blending Methods. *Materials*, 15(23), 8641.
- [5] Mubarak MH, Bayuseno AP, Ismail R. PENGARUH SUHU EKSTRUSI TERHADAP DENSITAS DAN LAJU DEGRADASI PADA FILAMEN 3D PRINT BERBAHAN PLA, PCL, DAN HA. JURNAL TEKNIK MESIN. 2022 Jan 14;10(1):53-8.
- [6] Sukmana I, Risano AY, Wicaksono MA, Saputra RA. Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*. 2022 Oct 29;1(5):635-46.

-
- [7] Hermawan, H. (2019) “Pengenalan pada biomaterial” *INA-Rxiv Papers*, hal. 1-8. doi: 10.31227/osf.io/v3z5t.1/8.
- [8] Putra G, Tontowi AE. Analisis Ukuran Pori Biokomposit (Sericin-Bioplastik) pada Berbagai Suhu Pembekuan Awal dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Industri*. 2019 Dec 1;9(3):145-53.
- [9] Nugraha, F. W., Bayuseno, A. P. dan Ismail, R. (2021) “Sintesis dan karakterisasi biokomposit berbahan pla, pcl, dan hidroksiapatit dari cangkang kerang hijau sebagai kandidat biomaterial,” *Jurnal Teknik Mesin S-1*, hal. 1–11.
- [10] Kartikasari, N., Yuliati, A., & Kriswandini, I. L. (2016). Compressive strength and porosity tests on bovine hydroxyapatite-gelatin-chitosan scaffolds. *Dental Journal*, 49(3), 153–157.
<https://doi.org/10.20473/j.djmk.v49.i3.p153-157>