

PENGARUH TEMPERATUR *NOZZLE* 3D PRINT TERHADAP *FLEXURAL STRENGTH* BOKOMPOSIT BERBAHAN PLA, PCL, DAN HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG RAJUNGAN

*Muhammad Dzaky Arizsa A¹, Sugiyanto², Rifky Ismail²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*Email: dzakyarizsa@gmail.com

Abstrak

Tindakan ORIF (*Open Reduction Internal Fixation*) atau yang biasa dikenal dengan pemasangan implan adalah tindakan medis operasi terbuka untuk mengatur kembali tulang yang mengalami fraktur maupun patah tulang. Umumnya implan terbuat dari material logam tahan karat, material logam tahan karat memiliki kekurangan berupa dibutuhkannya operasi kedua untuk pengangkatan implan yang beresiko menyebabkan trauma lanjutan. Maka dari itu penelitian ini berfokus kepada pemanfaatan biopolimer dan biokeramik untuk membentuk suatu biokomposit yang memiliki sifat *biodegradable* sebagai kandidat implan tulang yang dapat dibentuk sesuai kebutuhan pasien menggunakan metode 3D *print*. Pembuatan biokomposit berbahan PLA, PCL, dan hidroksiapatit sebagai kandidat implan tulang menggunakan metode 3D *print* secara keseluruhan berhasil dilakukan. Pembuatan biokomposit pada penelitian ini menggunakan variasi suhu *nozzle* 3D *print* dengan *range* suhu 190 – 215°C. Perbedaan suhu *nozzle* 3D *print* berpengaruh kepada karakteristik material yang dihasilkan. Hasil pengujian pada penelitian ini setiap spesimen memiliki nilai *flexural strength* yang berbeda. Pada penelitian ini variasi suhu *nozzle* 205°C menghasilkan biokomposit terbaik dengan *flexural strength* sebesar 41,09 MPa yang mendekati kriteria tulang kortikal manusia.

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

Abstract

ORIF (*Open Reduction Internal Fixation*) or commonly known as *implant placement* is an open surgery medical procedure to reorganize fractured or broken bones. Generally implants are made of stainless metal material, stainless metal material has the disadvantage of requiring a second operation to remove the implant which is at risk of causing further trauma. Therefore, this study focuses on the use of biopolymers and bioceramics to form a biocomposite that has *biodegradable* properties as a candidate for bone implants that can be shaped according to patient needs using the 3D *print* method. Overall, the manufacture of biocomposites made from PLA, PCL, and hydroxyapatite as bone implant candidates using the 3D *print* method has been successful. The manufacture of biocomposites in this study uses a 3D *print* nozzle temperature variation with a temperature range of 190 – 215°C. The difference in the temperature of the 3D *print* nozzle affects the characteristics of the resulting material. The test results in this study each specimen has a different value of *flexural strength*. In this study, the nozzle temperature variation of 205°C resulted in the best biocomposite with a *flexural strength* of 41.09 MPa which is close to the criteria of human cortical bone.

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 logam

tahan karat memiliki kelebihan karena dapat memberikan stabilitas maksimal pada tulang, salah satu bahan logam tahan karat yang paling umum digunakan dalam bidang ortopedik adalah stainless steel karena memiliki harga yang terjangkau lebih murah dan lebih mudah untuk dibentuk, salah satu jenis stainless steel yang paling umum digunakan sebagai bahan implan tulang adalah stainless steel tipe 316L [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].

Biomaterial adalah zat yang telah direkayasa dalam wujud sendiri atau sebagai bagian dari sistem yang kompleks, biomaterial didesain agar dapat mengatur dan mengontrol interaksi dengan komponen pada makhluk hidup dalam hal prosedur terapi atau diagnostik pada manusia maupun kedokteran hewan [4]. Pada dasarnya implan berbahan Biodegradable memiliki kemampuan untuk terdegradasi pada lingkungan biologis, produk hasilnya akan bergabung terhadap sel tubuh melalui proses biochemical sehingga tidak diperlukan operasi kedua untuk pengangkatan implan serta dapat mempercepat proses penyembuhan pada jaringan yang rusak, selain itu implan jenis ini dapat diterima oleh tubuh pasien tanpa menyebabkan efek samping terhadap imun maupun mutagen pasien tersebut, untuk menyembuhkan fraktur, implan jenis ini membutuhkan kekuatan yang memadai, serta tidak boleh terdegradasi terlalu cepat agar proses fiksasi dapat terlaksana pada waktunya [5].

Polylactic acid (PLA) adalah salah satu *polyester biodegradable* yang dapat disintesis dari sumber bahan alami dan dapat diaplikasikan untuk kebutuhan medis seperti *tissue engineering* dan alat bantu *bone fixation* karena memiliki sifat biokompatibilitas, *biodegradable*, serta kekerasan yang bagus. Namun PLA memiliki sifat getas, secara umum untuk mengatasi sifat polimer yang getas adalah dengan cara mencampurnya dengan polimer yang memiliki sifat ulet. *Polycaprolactone* (PCL) merupakan sebuah *polyester biodegradable* yang memiliki sifat ulet. Pencampuran PCL terhadap PLA dimana PLA menjadi bahan utama akan meningkatkan sifat keuletan PLA dengan mengorbankan sifat kekerasan dari PLA seminimal mungkin, pencampuran tersebut tidak akan merusak sifat biokompatibilitas dan *biodegradable* dari kedua material [6].

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. HA memiliki potensi tinggi sebagai material bersifat bioaktif untuk menirukan karakteristik dimensi dan struktur kalsium fosfat yang dimiliki jaringan tulang manusia [7]. Cangkang rajungan adalah salah satu jenis bahan baku alami yang dapat digunakan untuk sintesis *hidroksiapatite* karena kandungan kalsium karbonat yang tinggi, sekitar 40 - 70% [8]. Produksi rajungan di Indonesia sendiri mencapai angka 574.987,3 Ton pada tahun 2020 [9]. Jika cangkang rajungan mewakili 25% -50% dari total berat rajungan [10] maka total limbah cangkang rajungan di Indonesia pada tahun 2020 mencapai angka 143.747 – 287.493 Ton. Cangkang rajungan merupakan limbah potensial yang kurang dimanfaatkan, sehingga hanya akan menjadi limbah yang dapat mencemari lingkungan, selama ini pemanfaatan limbah rajungan masih terbatas pada bahan baku pakan, dan pembuatan kitin serta kitosan [11].

Komposit merupakan material yang terbentuk dari dua atau lebih jenis material berbeda. Material komposit dapat menyatukan keunggulan maupun kekurangan dari masing masing material [12]. Biokomposit sendiri dapat diartikan sebagai komposit yang memiliki penguat atau matrix berbahan alami [13]. Penambahan material seperti HA terhadap matrix polimer akan menjadikannya sebagai biokomposit yang memiliki biokompatibilitas serta kekuatan mekanik yang tinggi [14].

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 [15]. Sehingga metode 3D print sangat cocok untuk membuat implan tulang dikarenakan kebutuhan setiap pasien penderita fraktur berbeda beda.

Penelitian ini bertujuan mendapatkan suhu nozzle 3D print yang tepat untuk membentuk 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 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 *extruder* sebagai bahan baku. dengan variasi suhu *nozzle* 190°C, 195°C, 200°C, 205°C, 210°C dan 215°C. Setelah spesimen berhasil diprint dapat dilakukan karakterisasi menggunakan, pengujian *three point bending* untuk mengetahui spesimen yang memiliki nilai *flexural strength* terbaik.

2.1. Ekstrusi Filamen

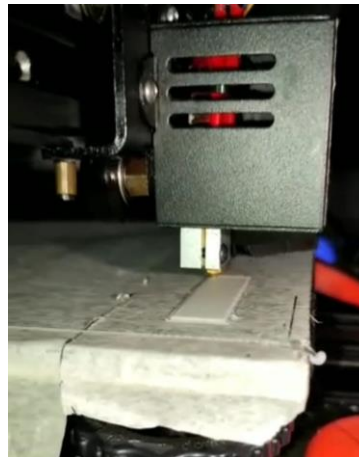
Biokomposit berbahan biopolimer 85% PLA, 15% PCL, dan 5 wt% HA cangkang rajungan yang sudah dipotong kecil kecil dimasukan kedalam mesin *home made filament extruder*, biokomposit didorong oleh *screw* yang terdapat di dalam *extruder* melewati *nozzle* berdiameter 1,75 mm menjadi bentuk filamen.



Gambar 1. Proses ekstrusi filamen

2.2 3D Print Spesimen

Filamen yang sudah dihasilkan melalui proses ekstrusi lalu dimasukan ke mesin 3D *printer* melalui *feeder* yang akan mendorong filamen kearah *nozzle*. Selanjutnya spesimen diprint sesuai dimensi ASTM D790.



Gambar 2. Proses 3D *print* Spesimen

Setelah spesimen selesai diprint, spesimen harus dидiamkan 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

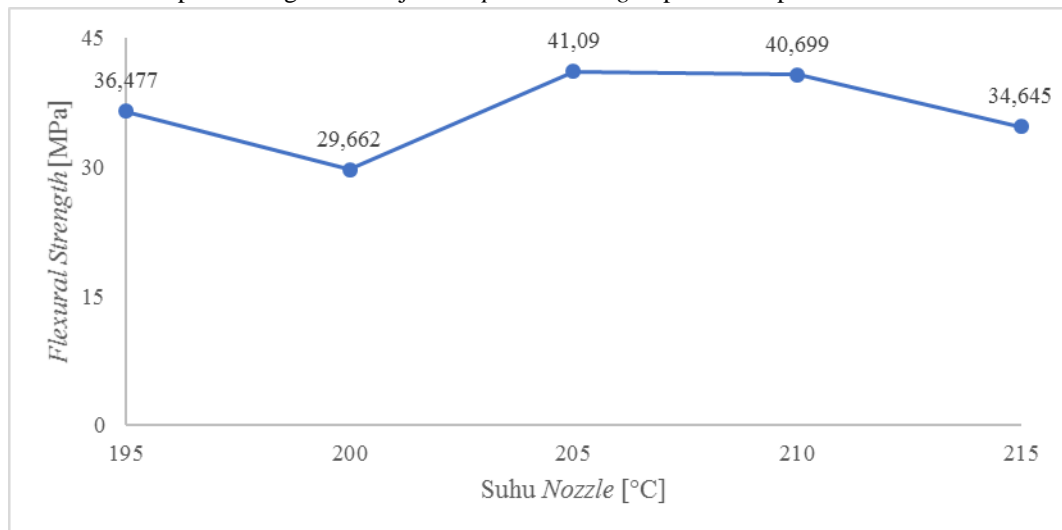
Karakterisasi spesimen hasil 3D print bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik yang dimiliki oleh spesimen melalui pengujian *three point bending*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan mesin *Universal Testing Machine* GD 1000-100.

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 suhu *nozzle* mesin 3D print terhadap karakterisasi biokomposit yang dihasilkan. Dari keenam variabel suhu *nozzle*, spesimen dengan suhu *nozzle* 190°C gagal dibentuk karena terjadi *under extrusion* dalam proses pembuatannya.

3.1 Pengujian *Three Point Bending*

Pengujian *three point bending* dilakukan untuk mengetahui *mechanical properties* dari biokomposit yang dihasilkan. Pada pengujian ini spesimen telah melalui proses imersi selama 24 jam. Proses pengujian menggunakan standarisasi sesuai ASTM D790. Grafik perbandingan hasil uji *three point bending* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik flexural strength biokomposit hasil 3D print

Dari hasil pengujian didapatkan spesimen dengan suhu *nozzle* 205 memiliki sifat mekanik paling baik dengan nilai *flexural strength* sebesar 41,09 MPa. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian *three point bending*

Spesimen (°C)	Peak Force (N)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
195	69,431	36,477	248,874
200	56,506	29,662	292,116
205	78,277	41,09	474,789
210	77,531	40,699	274,206
215	65,999	34,645	247,294

Dari hasil pengujian *three point bending* dapat disimpulkan spesimen dengan suhu *nozzle* 205°C memiliki nilai *flexural strength* dan *flexural modulus* yang paling bagus dan sudah mendekati kriteria tulang kortikal dengan *flexural strength* senilai 51 MPa [16].

4. Kesimpulan

Perbedaan suhu *nozzle* 3D *print* berpengaruh kepada karakteristik material yang dihasilkan. Hasil pengujian *three point bending* menunjukkan bahwa setiap spesimen memiliki nilai *flexural strength* yang berbeda. Pada penelitian ini variasi suhu *nozzle* 205°C menghasilkan biokomposit terbaik dengan *flexural strength* sebesar 41,09 MPa yang mendekati kriteria tulang kortikal manusia,

5. Referensi

- [1] RSUP Sanglah Denpasar, "Pemasangan Pen pada Patah Tulang." 2020.
- [2] Ferdiansyah, H. C. Waskita, D. N. Utomo, H. Suroto, and T. W. Martanto, "Uji Biokompabilitas pada Implan Orthopedi Antara Implan Impor, Implan Lokal dari Material Impor, dan Prototipe Stainless Steel 316L dari Material Lokal," *Qanun Med. - Med. J. Fac. Med. Muhammadiyah Surabaya*, vol. 3, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.30651/jqm.v3i1.1612.
- [3] A. Hermanto, Y. Burhanudin, and I. Sukmana, "59447-ID-peluang-dan-tantangan-aplikasi-baut-tula," *J. Din. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 93, 2016.
- [4] S. V. Dorozhkin, "Current state of bioceramics," *J. Ceram. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 353–370, 2018, doi: 10.4416/JCST2018-00026.
- [5] S. P. Vatchha, A. Kohli, S. K. Tripathi, S. N. Nanda, P. Pradhan, and S. M. Shiraz, "Biodegradable Implants in Orthopaedics," *Ann. Int. Med. Dent. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–8, 2015.
- [6] I. Fortelny, A. Ujeic, L. Fambri, and M. Slouf, "Phase Structure, Compatibility, and Toughness of PLA/PCL Blends: A Review," *Front. Mater.*, vol. 6, no. August, pp. 1–13, 2019, doi: 10.3389/fmats.2019.00206.
- [7] L. Fernandes C6ta *et al.*, "Hydroxyapatite nanoparticles: Synthesis by sonochemical method and assessment of processing parameters via experimental design," *Mater. Sci. Forum*, vol. 869, no. September, pp. 896–901, 2016, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.869.896.
- [8] P.-I. Bra-nemark, G. A. Zarb, T. Albrektsson, and H. M. Rosen, "Tissue-Integrated Prostheses. Osseointegration in Clinical Dentistry," *Plast. Reconstr. Surg.*, vol. 77, no. 3, 1986, [Online]. Available: https://journals.lww.com/plasreconstrurg/Fulltext/1986/03000/Tissue_Integrated_Prostheses__Osseointegration_in.37.aspx.
- [9] Kementerian Kelautan dan Perikanan, "Data Produksi Perikanan Tahun 2020," 2022. <https://statistik.kkp.go.id>.
- [10] I. Raya, E. Mayasari, A. Yahya, M. Syahrul, and A. I. Latunra, "Synthesis and Characterizations of Calcium Hydroxyapatite Derived from Crabs Shells (*Portunus pelagicus*) and Its Potency in Safeguard against to Dental Demineralizations," *Int. J. Biomater.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/469176.
- [11] S. Hastuti, S. Arifin, and D. Hidayati, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus Pelagicus*) Sebagai Perisa Makanan Alami," pp. 88–96.
- [12] A. Hutajulu, "Sintesis dan Karakterisasi Material Biokomposit Polylactic Acid (PLA) Berpenguat Serbuk Tulang Sapi Sebagai Kandidat Bahan Tulang Buatan," *Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya*, pp. 1–124, 2017.
- [13] M. Hasbi and Y. Gunawan, "Proses Pembuatan Biokomposit Polimer Serat Untuk Aplikasi Kampas Rem," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, no. November 2015, pp. 1–7, 2015, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/480>.

-
- [14] S. Hassanajili, A. Karami-Pour, A. Oryan, and T. Talaei-Khozani, "Preparation and characterization of PLA/PCL/HA composite scaffolds using indirect 3D printing for bone tissue engineering," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 104, no. March, p. 109960, 2019, doi: 10.1016/j.msec.2019.109960.
- [15] Pristiansyah, Hardiansyah, and Sugiyarto, "Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur Optimasi Parameter Proses 3D Printing FDM Terhadap Akurasi Dimensi Menggunakan Filament Eflex," *Manutech J. Teknol. Manufaktur*, vol. 11, no. 01, pp. 0–7, 2019.
- [16] S. Pitjarnit, K. Thunsiri, W. Nakkiew, T. Wongwichai, P. Pothacharoen, and W. Wattanutchariya, "The Possibility of Interlocking Nail Fabrication from FFF 3D Printing PLA/PCL/HA Composites Coated by," *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 1564, 2020, doi: 10.3390/ma13071564.