

PENGARUH PERSENTASE SERBUK POLIMER *BIODEGRADABLE POLYLACTIC ACID* (PLA) TERHADAP DENSITAS CAMPURAN *POLICAPROLACTONE* (PCL) MENGGUNAKAN METODE *SOLVENT CASTING*

*Dimas Naufal Hanif¹, Agus Suprihanto², Gunawan Dwi Haryadi²

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: dimasnaufal6h@gmail.com

ABSTRAK

Perawatan fraktur yang lama dipengaruhi oleh trauma, resorpsi, dan patologi tulang. Masalah tambahan timbul dengan penggunaan implan logam yang tidak terurai alami, memerlukan prosedur tambahan untuk pengangkatan, meningkatkan risiko infeksi, komplikasi, dan memperpanjang waktu pemulihan. Solusi yang dikaji adalah penggunaan bahan *biodegradable* seperti polimer *Polylactic Acid* (PLA) - *Polycaprolactone* (PCL) untuk memperbaiki dan fiksasi tulang, yang dapat mengurangi risiko komplikasi dan infeksi serta mempercepat penyembuhan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pada persentase pada serbuk PLA terhadap laju degradasi campuran PCL dengan menggunakan metode *solvent casting*. Proses pembuatan spesimen uji dalam penelitian ini menggunakan metode *solvent casting* dengan mencampur PLA dan PCL menggunakan pelarut *acetone*. Komposisi PLA-PCL yang digunakan adalah 10 PLA : 90 PCL, 30 PLA : 70 PCL, dan 50 PLA : 50 PCL. Spesimen kemudian dikarakterisasi melalui pengujian densitas dengan merendamnya dalam infus NaCl 0,9%. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa komposisi 50 PLA : 50 PCL memiliki densitas tertinggi, yaitu 0,97 gr/cm³. Pada pengujian degradasi, komposisi 10 PLA : 90 PCL memiliki tingkat degradasi tertinggi.

Kata kunci: degradasi; polimer *biodegradable*; *polycaprolacton*; *polylactic acid*; *solvent casting*

Abstract

The treatment of long-standing fractures is influenced by trauma, resorption, and bone pathology. Additional issues arise with the use of non-biodegradable metal implants, requiring additional procedures for removal, increasing the risk of infection, complications, and prolonging recovery time. The solution being studied is the use of biodegradable materials such as Polylactic Acid (PLA) - Polycaprolactone (PCL) polymers for bone repair and fixation, which can reduce the risk of complications and infection while accelerating healing. This research aims to analyze the effect of PLA powder percentage on the degradation rate of PCL mixtures using the solvent casting method. The specimen preparation process in this study utilizes the solvent casting method by mixing PLA and PCL using acetone as a solvent. The PLA-PCL compositions used are 10 PLA: 90 PCL, 30 PLA: 70 PCL, and 50 PLA: 50 PCL. The specimens are then characterized through density and degradation testing by immersing them in a 0.9% NaCl infusion solution. The density testing results indicate that the 50 PLA: 50 PCL composition has the highest density, at 0.97 g/cm³.

Keywords: *degradation; polymer biodegradable; polycaprolacton; polylactic acid; solvent casting*

1. Pendahuluan

Laki-laki dan perempuan dibawah 45 tahun memiliki risiko *fraktur* lebih tinggi. Selain itu *fraktur* yang paling umum adalah yang terletak di ekstremitas atas dan *vertebra*. Untuk pasien yang mengalami *fraktur*, ada beberapa factor yang berkontribusi pada proses perawatan yang berlangsung lama. Trauma biasanya menyebabkan *fraktur* atau patah tulang. Jika tidak ditangani segera, *fraktur* dapat menyebabkan banyak masalah, seperti trauma pada saraf, trauma pada pembuluh darah, komplikasi pada tulang, dan *emboli* tulang [1]. Kebutuhan bahan baru dengan karakteristik yang disesuaikan untuk memenuhi persyaratan biokimia dan biomekanik rekayasa pada jaringan tulang adalah motivasi utama dalam penelitian berkelanjutan untuk mengembangkan bahan yang dapat ter biodegradasi. Konsep dasar adalah bahwa biomaterial pengganti berfungsi sebagai perancah sel atau jaringan di sekitarnya untuk menyerang, tumbuh, dan memulai regenerasi jaringan, yang mengarah pada pembentukan tulang baru [2].

Biodegradasi merupakan suatu proses penguraian suatu senyawa kompleks menjadi suatu senyawa yang lebih sederhana seperti air dan karbondioksida [3] Pada proses penguraian ini mengubah integritas molekuler melalui aktivitas mikroorganisme. Dalam beberapa tahun terakhir, komposit asam *polylactic acid* (PLA) dan *polycaprolactone*

(PCL) telah dipelajari secara menyeluruh untuk aplikasi biomedis karena karakteristiknya yang menjanjikan, termasuk kemampuan mereka untuk biodegradasi. PLA adalah material yang tepat untuk implan karena memiliki sifat biokompatibilitas, biodegradabilitas, dan tidak beracun. Salah satu anggota keluarga polimer alifatik yang dapat didegradasi adalah *polycaprolactone* (PCL) [4].

Proses sintesis menghasilkan polimer PLA. Sintesis PLA dimulai dengan produksi LA dan kemudian polimerisasi dengan pembentukan laktida [5]. *Polycaprolactone* (PCL) merupakan *polyester* yang bersifat *biodegradable* dan biokompatibel. PCL merupakan salah satu jenis bahan yang ideal karena bersifat non toksik, dapat diresorpsi setelah diimplantasi dan memiliki sifat mekanik yang bagus [6].

Sebagai biopolimer, *polycaprolactone* (PCL) dan *polylactic acid* (PLA) telah banyak digunakan dalam bidang medis. Salah satu alasannya adalah Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (USFDA) telah menetapkan PLA dan PCL sebagai *polyester* yang paling banyak diteliti karena kemudahan pemrosesan. Namun, keduanya tetap memiliki kristalinitas, kemampuan mekanis, dan transisi termal yang baik [7].

Metode *solvent casting* adalah proses melarutkan bahan aktif dan tambahan dalam pelarut yang mudah menguap, seperti air atau etanol. Setelah campuran larutan digabungkan, campuran tersebut dibentuk menjadi film dan dikeringkan pada oven pada suhu 45–50 derajat celsius. Setelah campuran larutan digabungkan, campuran tersebut dibentuk menjadi film dan dikeringkan pada oven pada suhu 45–50 derajat celsius. Kemudian, potongan-potongan larutan dipotong untuk dikemas dan disegel [8].

Berdasarkan uraian diatas, penulis akan melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Persentase Serbuk *Polylactic Acid* (PLA) terhadap Laju Degradasi Campuran *Biodegradable Polycaprolactone* (PCL) dengan Metode *Solvent Casting*”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh pada persentase pada serbuk PLA terhadap laju degradasi campuran PCL dengan menggunakan metode *solvent casting*.

2. Material dan metode penelitian

Penelitian ini dijalankan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jl. Prof. H. Soedarto, S. H. Tembalang, Semarang. Ada juga bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polylactic acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan pelarut *acetone*. Material PLA yang digunakan dalam penelitian kali ini merupakan PLA yang diproduksi oleh NatureWorks di Amerika dengan kategori PLA medis 2002d yang dirancang khusus untuk aplikasi medis. PLA yang digunakan merupakan PCL yang diproduksi oleh Perstop dengan tipe CAPA-6800 dan berbentuk butiran dengan ukuran 2-3 mm. *Solvent* (pelarut) yang digunakan untuk melarutkan PCL adalah *acetone*. *Aceton* yang digunakan adalah *acetone* murni yang diperoleh dari PT. Kurnia Makmur Abadi Jaya.

Metode yang dipakai dalam pencampuran polimer *biodegradable* PLA/PCL pada penelitian ini menggunakan metode *solvent casting* atau disebut juga dengan *solution casting* atau teknik pemrosesan basah, telah menjadi favorit selama bertahun-tahun karena kesederhanaannya dan kebutuhan alat yang biasanya tidak terlalu khusus. Pada dasarnya, pengecoran *solvent* adalah proses manufaktur yang melibatkan pencampuran polimer yang telah larut dengan pengisi melalui pengadukan mekanis kontinu. SCPL adalah program *cedure* sederhana dan murah yang mengontrol porositas dan ukuran pori. Ukuran pori dan porositas yang dapat dicapai berkisar antara 20% dan 50%, dan masing-masing antara 30 dan 300 μm [9].

Variabel yang dipakai pada penelitian ini menggunakan variasi dari desain pengaduk *Straight Blade Turbine* dengan komposisi PLA:PCL (10:90, 30:70, 50:50), dan waktu yang pakai pada saat pengadukan yaitu 15 menit per-variabel. Tahapan pada pembuatan spesimen uji dimulai dari menyiapkan material PLA dan PCL dalam penelitian ini sebesar 5gr. Lalu, PCL dilarutkan menggunakan *acetone* sebanyak 100 ml dan pada 5 menit pertama suhu *hotplate stirrer* dipanaskan pada suhu 200°C kemudian diturunkan kemudian diturunkan menjadi 150 °C, dan pada 5 menit terakhir dinaikkan kembali menjadi 180°C. Masukkan larutan ke dalam cetakan yang telah dipersiapkan. Pastikan cetakan telah dibersihkan dan dikeringkan sebelum digunakan. Biarkan larutan terbuka di dalam cetakan untuk menguapkan *acetone* secara perlahan, proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu kamar.

Saat spesimen sudah terbuat, maka lakukan pengujian material yang bertujuan untuk mengetahui nilai densitas dari spesimen uji dan uji degradasi untuk mengetahui seberapa besar jumlah spesimen terdegradasi dengan menggunakan metode perendaman serta dibantu dengan foto makro yang memvisualisasikan perubahan bentuk fisik dari spesimen di setiap minggunya. Setelah semua data dari nilai densitas dan laju degradasi dilakukan penghitungan niali regresi pada data dengan menggunakan aplikasi pendukung *software Statistical for Social Science* (SPSS). Berikut adalah pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

Tujuan dari Pengujian densitas guna memahami nilai massa jenis suatu material. Pengujian ini juga dapat dilakukan dengan metode gaya apung, metode *Archimedes*, atau metode *pycnometer*. Hasil dari pengujian densitas juga digunakan untuk membandingkan nilai densitas material yang berbeda dan untuk memprediksi sifat fisik seperti kekuatan, kekakuan, dan kestabilan dimensi [10]. Hukum *Archimedes* menyebutkan bahwasanya apabila suatu benda dicelupkan ke dalam zat cair, maka benda tersebut akan mendapat tekanan ke atas yang sama besar dengan berat zat cair yang terdesak oleh benda tersebut [11].

Banyak factor yang dapat mempengaruhi laju degradasi pada suatu spesimen seperti; faktor fisik dan lingkungan, faktor konsentrasi, dan perbandingan struktur hidrokarbon yang ada. Selain itu, mikroorganisme memiliki kemampuan

untuk merusak struktur hidrokarbon [12]. Faktor-faktor tersebut termasuk: 1) faktor kimia yang saling berkaitan dengan ketersediaan nutrient, tidak adanya senyawa penunjang pertumbuhan, dan induktor enzim yang diperlukan; 2) faktor lingkungan, yang berkaitan dengan kondisi fisik ekstrim (seperti pH, suhu, dan redoks potensial); 3) faktor mikroorganismenya yang berkaitan dengan ketidakterdapatannya populasi pada mikroorganismenya pendegradasi polutan pada hidrokarbon serta kepadatan pada populasi mikroorganismenya pendegradasi polutan rendah [7].

Pengujian foto makro bertujuan untuk mengetahui bagaimana bentuk spesimen berubah setelah pengujian. Foto visual yang dibuat dengan menggunakan kamera digital lensa makro disebut foto makro. Setelah beberapa pengujian, foto makro akan menunjukkan hasil apakah spesimen berubah. [13].

Metode Regresi Linear Sederhana merujuk pada suatu metode yang dipergunakan untuk menganalisis hubungan linier antara satu variabel bebas (independent) dan variabel terikat (dependent). Regresi linier sederhana juga merujuk pada metode statistik yang biasa dipergunakan dalam produksi untuk meramalkan atau memprediksi atribut kualitas ataupun kuantitas [14].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

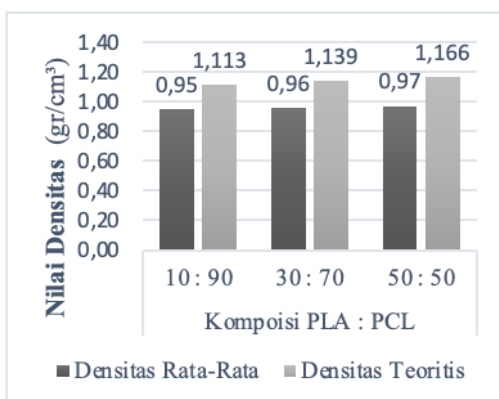
Data dari hasil pengujian densitas untuk masing-masing bentuk variasi campuran PLA/PCL dapat ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Gambar 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Densitas

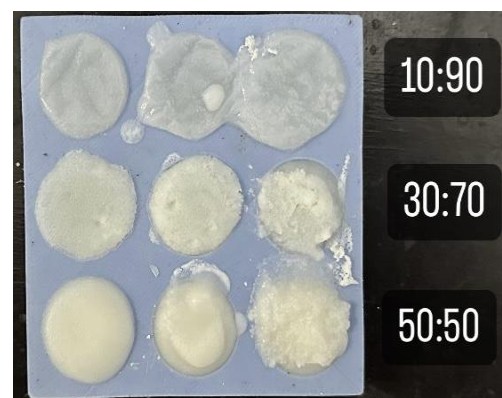
Komposisi PLA : PCL	Specimen 1		Specimen 2		Specimen 3		Mean
	ρ_{specimen} (gr/cm ³)	Mean	ρ_{specimen} (gr/cm ³)	Mean	ρ_{specimen} (gr/cm ³)	Mean	
10 : 90	0,97	0,94	0,97	0,96	0,97	0,94	0,95
	0,95		0,94		0,90		
	0,89		0,98		0,94		
30 : 70	0,95	0,95	0,99	0,96	0,95	0,96	0,96
	0,97		0,94		0,95		
	0,93		0,96		0,98		
50 : 50	0,98	0,96	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97
	0,91		0,98		0,98		
	0,98		0,95		0,97		

Tabel 2. Perbandingan Densitas Teoritis dan Hasil Densitas

	Komposisi PLA : PCL		
	10 : 90	30 : 70	50 : 50
Pengukuran Rata-Rata Densitas	0,95	0,96	0,97
Densitas Teoritis	1,113	1,139	1,166



Gambar 1. Grafik Perhitungan Hasil Densitas dengan Densitas Teoritis



Gambar 2. Spesimen PLA dan PCL

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa dengan hasil tertinggi dari pengujian densitas semakin banyak jumlah PLA pada campuran maka akan semakin tinggi nilai densitasnya dan pada pengujian laju degradasi dengan menggunakan metode perendaman semakin lama waktu perendaman maka presentase dari *weight loss* semakin naik sedangkan nilai *degradation rate* pada spesimen dimana semakin lama meningkatnya waktu perendaman

5. Daftar Pustaka

- [1] Permatasari, C., Yuhertiana, I., & Kirana, N. W. I. (2022). Persepsi Konsumen dalam Melakukan Pembayaran BPJS Kesehatan dengan Menggunakan E-Wallet di Masa Pandemi Covid-19. *Journal of Management and Bussines (JOMB)*, 4(2), 1029–1037. <https://doi.org/10.31539/jomb.v4i2.4502>
- [2] Sheikh, Z., Najeeb, S., Khurshid, Z., Verma, V., Rashid, H., & Glogauer, M. (2015). Biodegradable Materials for Bone Repair and Tissue Engineering Applications. *Materials*, 8(9), 5744–5794. <https://doi.org/10.3390/ma8095273>
- [3] Fadlilah, F. R., & Shovitri, M. (2014). Potensi Isolat Bakteri Bacillus dalam Mendegradasi Plastik dengan Metode Kolom Winogradsky. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 40–43.
- [4] Serfandi, D. N., Setyarini, P. H., Purnami, P., & Sulistyono, S. (2022). Karakterisasi Sudut Kontak dan Biodegradasi Pada Komposit Polylactide Acid (PLA) – Polycaprolactone (PCL) Untuk Aplikasi Biomaterial. *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 12(1), 124–130. <https://doi.org/10.36499/psnst.v12i1.7243>
- [5] Saputra, R. A., Savetlana, S., & Sukmana, I. (2023). Komposit PLA (Poly Lactic Acid) untuk Aplikasi Biomaterial Scaffold Mampu Terdegradasi. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 15(1), 7–18. <https://doi.org/10.24843/jem.2022.v15.i01.p02>
- [6] Warastuti, Y., & Suryani, N. (2013). Karakteristik Degradasi dari Biomaterial Poli-(kaprolakton-kitosan-hidroksiapatit) Iradiasi Dalam Larutan Simulated Body Fluid. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, 9(1), 11–22.
- [7] Assalam, M. R., Ismail, R., Bayuseno, A. P., & Fitriyana, D. F. (2023). Pengaruh Suhu Pembuatan Filamen Biokomposit (PCL/PLA/HA) Menggunakan Mesin Screw Extruder. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(3), 11–16.
- [8] Hijriawati, M., & Febriana, E. (2016). Review: Edible Film Antimikroba. *Jurnal Farmaka*, 14(1), 8–16.
- [9] Kong, W., Harun, A., & Lily, J. (2014). The Influence of Consumers Perception of Green Products on
- [10] Fell, E. V., & Lukianova, N. A. (2015). British Universities: International Students' Alleged Lack of Critical Thinking. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 215(June), 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.565>
- [11] Mohazzab, P. (2017). Archimedes' Principle Revisited. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 5(4), 836–843. <https://doi.org/https://doi.org/10.4236/jamp.2017.54073>
- [12] Nugroho, A. (2006). *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [13] Sutrisno, T. A., Widi. A. K., Rochim, M. I. F. (2022). Analisa Kekuatan Tarik dan Foto Makro Patahan Komposit Serat Eceng Gondok Berpenguat ZnO. *JURNAL FLYWHEEL*, 13(2), 35-40
- [14] Harsiti, Muttaqin, Z., Srihartini, E. (2022). Penerapan Metode Regresi Linier Sederhana Untuk Prediksi Persediaan Obat Jenis Tablet. *Jurnal Sistem Informasi*, 9(1), 12-16.