

PENGARUH KOMPOSISI *POLYCAPROLACTONE* (PCL) DAN *POLYLACTIC ACID* (PLA) TERHADAP LAJU DEGRADASI PADA CAMPURAN POLIMER *BIODEGRADABLE* PCL-PLA

Farrel Rico Alifta Sutopo¹, 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: farrelrico.a.s@gmail.com

Abstrak

Penggunaan logam sebagai bahan implan tulang masih memiliki kekurangan, yang mana logam memiliki sifat nonbiodegradable yang berarti tidak dapat terurai secara alami oleh tubuh. Sehingga penggunaan implan logam memerlukan prosedur bedah kedua untuk melepas implan, yang dapat meningkatkan biaya pengobatan. Selain itu, implan logam memiliki modulus elastisitas yang jauh lebih besar daripada tulang. Oleh karena itu penggunaan campuran polimer biodegradable dalam pembuatan implan tulang menjadi sangat berpotensi, karena kemampuannya untuk terurai dalam tubuh tanpa memerlukan tindakan pengangkatan tambahan. Contoh poimer biodegradable yang sering digunakan adalah *Polylactic acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL). Pada penelitian ini, pembuatan campuran PCI-PLA dilakukan dengan menggunakan metode *solvent casting*, dengan pelarut yang digunakan adalah *acetone*, dan variasi komposisi perbandingan PCL/PLA yang digunakan adalah 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, 0/100. Hasil pencampuran PCL-PLA dilakukan karakterisasi dengan pengujian densitas, degradasi, dan makrostruktur. Dari hasil pengujian densitas pengukuran didapatkan bahwa variasi komposisi 60 PCL/40 PLA memiliki nilai densitas tertinggi yaitu dengan nilai densitas sebesar 1,93 gr/cm³. Kemudian pada pengujian degradasi dilakukan dengan dua metode metode perendaman yaitu, perendaman langsung dan setiap minggu. Dari hasil pengujian degradasi dengan metode perendaman setiap minggu didapatkan komposisi 100% PCL memiliki nilai degradasi tertinggi, untuk perhitungan kehilangan massa didapatkan nilai sebesar 19,68% dan perhitungan *degradation rate* sebesar 0,0046 mmpy. Sedangkan pada perendaman langsung komposisi 100% PLA memiliki nilai degradasi tertinggi, untuk perhitungan kehilangan massa didapatkan nilai sebesar 6,19%, dan perhitungan *degradation rate* sebesar 0,0004 mmpy.

Kata kunci : campuran polimer; *polylactic acid* (pla); *polycaprolactone* (pcl); *solvent casting*

Abstract

The use of metals as bone implant materials still has drawbacks, as metals are non-biodegradable, meaning they cannot naturally decompose in the body. Therefore, the use of metal implants requires a second surgical procedure to remove the implant, which can increase treatment costs. Additionally, metal implants have a much higher modulus of elasticity than bone. Therefore, the use of biodegradable polymer blends in bone implant fabrication has great potential because of their ability to degrade in the body without requiring additional removal procedures. Examples of commonly used biodegradable polymers include Polylactic acid (PLA) and Polycaprolactone (PCL). In this study, a PCL-PLA blend was prepared using the solvent casting method, with acetone as the solvent, and various PCL/PLA composition ratios of 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, and 0/100 were used. The PCL-PLA blend was characterized through density, degradation, and macrostructure testing. The density testing results showed that the composition variation of 60% PCL/40% PLA had the highest density, with a density value of 1.93 g/cm³. Subsequently, degradation testing was conducted using two immersion methods: direct immersion and weekly immersion. The degradation testing results for the weekly immersion method showed that the 100% PCL composition had the highest degradation value, with a mass loss of 19.68% and a degradation rate of 0.0046 mmpy. In contrast, for direct immersion, the 100% PLA composition had the highest degradation value, with a mass loss of 6.19% and a degradation rate of 0.0004 mmpy.

Keywords : *polymer blend; polylactic acid (pla); polycaprolactone (pcl); solvent casting*

1. Pendahuluan

Fraktur merupakan istilah hilangnya kontinuitas tulang, baik bersifat total maupun sebagian yang ditentukan berdasarkan jenis dan luasnya. Fraktur adalah patah tulang yang biasanya disebabkan oleh trauma atau tenaga fisik [1]. Berdasarkan data dari Departemen Kesehatan RI tahun 2013 didapatkan sekitar 8 juta orang mengalami fraktur dengan jenis fraktur yang berbeda dan penyebab yang berbeda [2]. Kemudian Pada tahun 2018 berdasarkan hasil Riset Kesehatan Dasar telah didapatkan bahwa, fraktur pada ekstremitas bawah akibat kecelakaan memiliki prevalensi yang paling tinggi terjadinya cedera yaitu fraktur dengan persentase sebesar 67,9% dari 92.976 [3]. Penyebab terbesar fraktur femur adalah kecelakaan lalu lintas yang biasanya disebabkan oleh kecelakaan mobil, motor, atau kendaraan rekreasi (62,6%) dan jatuh (37,3%) dan mayoritas adalah pria (63,8%) [2].

Implan tulang adalah perangkat medis yang digunakan sebagai pengganti tulang yang rusak atau hilang. Implan tulang dapat ditempatkan di dalam tubuh manusia untuk menyangga fraktur atau mengganti bagian tulang yang cedera atau hilang. Saat ini, bahan yang sering digunakan untuk implan tulang adalah logam seperti baja tahan karat, paduan CoCr, Ti, dan paduan Ti. Bahan logam memiliki keunggulan dalam hal sifat mekanik, ketahanan terhadap korosi, kekuatan tinggi, kekerasan tinggi, dan biokompatibilitas. Namun, implan logam bersifat nonbiodegradable, sehingga memerlukan prosedur bedah tambahan untuk pengangkatan, yang dapat meningkatkan biaya pengobatan. Selain itu, perbedaan modulus elastisitas antara implan logam dan tulang dapat menyebabkan komplikasi seperti osteoporosis, osteolisis, dan patah tulang sekunder [4][5].

Penggunaan campuran polimer biodegradable dalam pembuatan implan tulang menarik perhatian dan berpotensi mengatasi masalah terkait dengan implan logam. Campuran polimer merupakan kombinasi beberapa polimer berbeda yang digabungkan untuk mencapai sifat-sifat khusus. Keuntungan campuran polimer biodegradable meliputi kemampuan untuk menyesuaikan modulus elastisitas dengan tulang, yang mengurangi risiko tekanan berlebih pada jaringan tulang sekitarnya, serta kemampuan untuk terurai dalam tubuh tanpa memerlukan tindakan pengangkatan tambahan. Sebagai contoh, penelitian ini menggunakan campuran tiga bahan, yaitu *Polylactic acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan *Acetone* sebagai pelarut.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh komposisi *Polycaprolactone* (PCL) dan *Polylactic acid* (PLA) dalam campuran polimer biodegradable. Berbagai variasi komposisi akan dihasilkan, dan laju degradasi campuran akan diuji dengan merendamnya dalam larutan infus NaCl 0,9%. Harapannya, hasil penelitian ini akan memberikan informasi penting tentang bagaimana komposisi PCL-PLA memengaruhi laju degradasi, serta membantu dalam menentukan komposisi yang cocok untuk aplikasi khusus, terutama dalam pengembangan implan tulang.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Polimer biodegradable adalah polimer yang dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme dalam lingkungan tertentu. Polimer ini dapat dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti air dan karbon dioksida. Polimer biodegradable dapat berasal dari sumber alami, seperti polisakarida dan protein, atau dapat disintesis secara kimia menggunakan bahan-bahan yang dapat terurai [6][7]. Campuran polimer adalah proses modifikasi polimer berdasarkan campuran mekanis sederhana dari dua atau lebih polimer menciptakan kelas material baru [8].

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Polylactic acid* (PLA) dan *Polycaprolactone* (PCL) dalam berbentuk serbuk dan butiran. PLA yang digunakan pada penelitian ini merupakan PLA produksi dari Amerika NatureWorks berupa bubuk/*powder* dengan ukuran 75-150 μm . Sedangkan untuk PCL yang digunakan merupakan PCL produksi dari Perstop, dengan jenis CAPA-6800 berupa butiran dengan ukuran 2-3 mm. Serta menggunakan juga pelarut yang berupa *acetone*.

Metode pembuatan campuran polimer biodegradable PCL-PLA ini menggunakan metode *solvent casting*. *Solvent casting* adalah metode untuk memproduksi film dari larutan atau disperse [8]. *Solvent casting* juga merupakan suatu metode yang telah populer sejak lama sebagai metode dengan teknik sederhana dan tidak membutuhkan peralatan khusus pada prosesnya. Dalam metode ini, polimer dilarutkan dalam pelarut yang mudah menguap, seperti etanol, aseton, air, atau kombinasi pelarut diikuti dengan pengadukan mekanis, dilanjutkan penguapan campuran ke atas cetakan, kemudian diikuti proses penguapan zat pelarut [9], [10].

2.1 Prosedur Pembuatan Campuran PCL-PLA

Pada penelitian ini terdapat 7 variasi komposisi perbandingan PCL/PLA berdasarkan massa total sebesar 100/0, 80/20, 60/40, 50/50, 40/60, 20/80, dan 0/100. Prosedur pembuatan spesimen campuran polimer biodegradable PCL-PLA melibatkan beberapa tahapan. Pertama, menyiapkan bahan dengan menimbang PCL dan PLA sesuai dengan perbandingan komposisi yang diinginkan, dengan total massa 6 gram. Selanjutnya, persiapkan larutan *acetone* dengan volume tetap (60 mL). Gunakan *hot plate magnetic stirrer* pada suhu 50°C dan kecepatan 300 rpm untuk mencampur PCL dan PLA dengan larutan *acetone* hingga membentuk pasta. Larutan tersebut kemudian dituangkan ke dalam cetakan yang sudah bersih dan kering, dan dibiarkan menguap pada suhu kamar hingga *acetone* menguap sepenuhnya. Setelah mengeras, spesimen dilepaskan dari cetakan dan disimpan dalam wadah kedap udara. Prosedur ini diulang untuk setiap variasi komposisi PCL-PLA yang diperlukan.

2.2 Karakterisasi Spesimen Campuran PCL-PLA

Karakterisasi spesimen campuran PCL-PLA merupakan pengamatan karakteristik dari spesimen yang diperoleh melalui pengujian densitas, laju degradasi, dan makrostruktur. Untuk mendapatkan karakteristik spesimen PCL-PLA dilakukan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

2.2.1 Pengujian Densitas

Pengujian ini dilakukan dengan alat *density meter* dengan penghitungan massa basah dan massa kering dari spesimen. Dengan menghitung massa dan volume spesimen maka di dapatkan masa jenis dari spesimen. Pengujian densitas dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

2.2.2 Pengujian Degradasi

Pengujian degradasi memiliki fungsi untuk mengetahui laju degradasi dari spesimen PCL-PLA yang telah dibuat. Kecepatan degradasi dari spesimen yang dihasilkan penting untuk diketahui, pengujian degradasi dilakukan dengan merendam spesimen didalam larutan infus NaCl. Uji degradasi dengan menggunakan dua metode perendaman yaitu perendaman setiap minggu dan perendaman langsung. Pengujian laju degradasi dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

2.2.3 Pengujian Makrostruktur

Pengujian makrostruktur digunakan untuk memvisualisasikan permukaan dari spesimen campuran *Polycaprolactone* (PCL) dengan *Poly lactic acid* (PLA). Dalam pengujian makrostruktur ini menggunakan kamera makro dari ponsel yang memiliki resolusi sebesar 5 megapixel dan bukaan lensa $f/2.4$.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Densitas

Pada penelitian ini, pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui *mechanical properties* dari nilai densitas campuran *Poly lactic acid* (PLA) dengan *Polycaprolactone* (PCL) yang dibuat menggunakan metode *solvent casting*. Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan pengujian pengukuran dengan alat *Densitymeter Vibra* dan pengujian teoritis menggunakan rumus densitas campuran. Untuk hasil pengujian densitas ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Densitas

No	Komposisi	Densitas Pengukuran	Densitas Teoritis
1	100 PCL	1.72	1.145
2	80 PCL/20 PLA	1.73	1.164
3	60 PCL/40 PLA	1.93	1.183
4	50 PCL/50 PLA	1.52	1.193
5	40 PCL/60 PLA	1.45	1.202
6	20 PCL/80 PLA	1.23	1.221
7	100 PLA	1.60	1.24

3.2 Pengujian Degradasi

3.2.1 Pengujian Degradasi Metode Perendaman Setiap Minggu

Pengujian degradasi metode perendaman setiap minggu dilakukan dengan cara melakukan perendaman selama seminggu kemudian setelah seminggu perendaman dilakukan pengeringan spesimen lalu dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat keringnya. Untuk perendaman dan penimbangan dilakukan secara berulang sampai empat minggu atau empat kali perendaman dan penimbangan.

Hasil pengujian degradasi dengan perhitungan persentase kehilangan massa dapat dilihat pada Tabel 2. Dan hasil pengujian degradasi dengan perhitungan degradation rate dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Perhitungan persentase kehilangan massa

NO	Komposisi	Waktu (Minggu)			
		1	2	3	4
1	100 PCL	19,35	19,51	19,64	19,68
2	80 PCL/20 PLA	1,08	1,42	1,65	1,71
3	60 PCL/40 PLA	1,29	1,47	1,63	2,96
4	50 PCL/50 PLA	0,51	0,63	0,91	1,23
5	40 PCL/60 PLA	0,53	1,51	1,68	1,97
6	20 PCL/80 PLA	0,98	1,67	2,19	3,28
7	100 PLA	2,79	4,28	5,40	7,09

Tabel 3. Hasil Perhitungan Degradation rate

NO	Komposisi	Waktu (Minggu)			
		1	2	3	4
1	100 PCL	0,0046	0,0023	0,0015	0,0012
2	80 PCL/20 PLA	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
3	60 PCL/40 PLA	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001
4	50 PCL/50 PLA	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
5	40 PCL/60 PLA	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002
6	20 PCL/80 PLA	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
7	100 PLA	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003

Melihat hasil pengujian degradasi, maka dapat disimpulkan pada perhitungan persentase kehilangan massa menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman maka nilai persentase kehilangan massa juga semakin tinggi. Sedangkan pada *degradation rate* semakin meningkatnya waktu perendaman menunjukkan bahwa *degradation rate* campuran PCL-PLA akan menurun sampai dengan titik tertentu lalu akan cenderung stabil. Pada pengujian degradasi metode perendaman setiap minggu, variasi komposisi yang memiliki nilai degradasi tertinggi adalah variasi 100 PCL.

3.2.2 Pengujian Degradasi Metode Perendaman Langsung

Pengujian degradasi metode perendaman langsung dilakukan dengan cara melakukan perendaman selama 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu. Setelah dilakukan perendaman sesuai dengan waktu yang ditentukan dilakukan pengeringan spesimen lalu dilakukan penimbangan spesimen untuk mengetahui massa kering dan selisih pengurangan massanya dari massa awal sebelum dilakukan perendaman.

Untuk hasil pengujian degradasi metode perendaman langsung dengan perhitungan persentase kehilangan massa dapat dilihat pada Tabel 4. Dan hasil pengujian degradasi dengan perhitungan *degradation rate* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Hasil perhitungan kehilangan massa

NO	Komposisi	Waktu (Minggu)			
		1	2	3	4
1	100 PCL	0,52	0,63	0,68	0,99
2	80 PCL/20 PLA	0,53	0,67	1,03	1,12
3	60 PCL/40 PLA	7,09	2,55	11,25	6,02
4	50 PCL/50 PLA	1,17	1,22	1,71	1,97
5	40 PCL/60 PLA	0,56	1,15	2,51	2,59
6	20 PCL/80 PLA	0,99	1,42	1,94	2,62
7	100 PLA	2,56	5,56	6,03	6,19

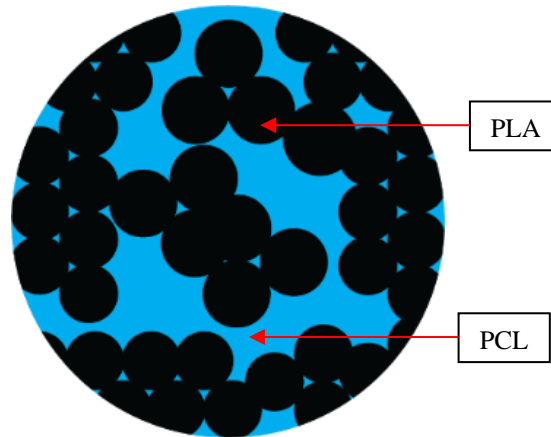
Tabel 5. Hasil perhitungan degradation rate

NO	Komposisi	Waktu (Minggu)			
		1	2	3	4
1	100 PCL	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
2	80 PCL/20 PLA	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
3	60 PCL/40 PLA	0,0013	0,0002	0,0006	0,0003
4	50 PCL/50 PLA	0,0003	0,0002	0,0001	0,0001
5	40 PCL/60 PLA	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
6	20 PCL/80 PLA	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
7	100 PLA	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004

Melihat hasil pengujian degradasi, maka dapat disimpulkan pada perhitungan persentase kehilangan massa menunjukkan bahwa semakin lama waktu perendaman maka nilai persentase kehilangan massa juga semakin tinggi. Sedangkan pada *degradation rate* semakin meningkatnya waktu perendaman menunjukkan bahwa *degradation rate* campuran PCL-PLA akan menurun sampai dengan titik tertentu lalu akan cenderung stabil. Pada pengujian degradasi metode perendaman langsung, variasi komposisi yang memiliki nilai degradasi tertinggi adalah variasi 100 PLA.

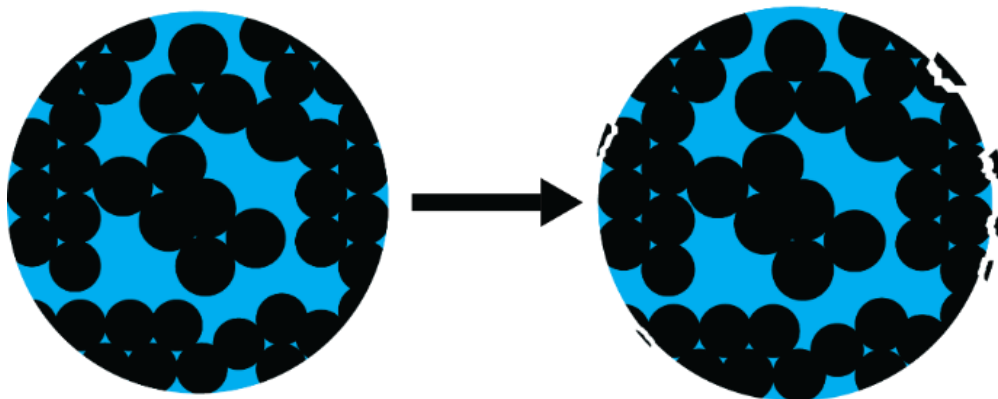
3.2.3 Analisis Proses Degradasi

Pada penelitian ini, pencampuran PCL dengan PLA menggunakan pelarut *acetone* dengan metode *solvent casting*, menghasilkan sebuah campuran yang terdispersi atau dapat dikategorikan sebagai *Immiscible Polymer Blends*. Dalam campuran ini, PCL membentuk fase terdispersi dalam PLA melalui bantuan dari acetone. Dikarenakan acetone mampu melarutkan PCL dengan baik, namun PLA sukar larut dalam larutan acetone. Meskipun PLA sukar larut dalam acetone, ketika terkena acetone PLA dapat mengalami pembengkakan dan menjadi lebih lunak, yang membantu dalam pencampuran dan distribusi PCL dan PLA dalam campuran. Untuk skema dari campuran PCL-PLA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema campuran PCL-PLA

Pada proses pengujian degradasi diawali dengan perendaman spesimen PCL-PLA kedalam larutan infus NaCl 0,9%. Pada proses perendaman ini spesimen PCL-PLA terus-menerus terpapar larutan infus, sehingga menyebabkan zat-zat dalam larutan dapat meresap ke dalam permukaan spesimen dan memulai proses degradasi. Selain itu dengan perendaman spesimen pada larutan infus dapat memicu terjadinya hidrolisis pada spesimen. Hidrolisis adalah reaksi kimia yang merusak ikatan ester dalam PCL dan PLA. Ini mengakibatkan perubahan struktur pada permukaan PLA yang dapat menyebabkan perubahan fisik, seperti pengeroposan, penebalan, atau perubahan warna pada permukaan. Sehingga pada proses degradasi bagian permukaan biasanya adalah bagian yang pertama terjadi degradasi dikarenakan bagian yang paling sering terpapar oleh larutan. Untuk skema dari proses degradasi PCL-PLA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema degradasi PCL-PLA

Seperti yang telah disebutkan diatas bahwa pada proses degradasi juga dipengaruhi oleh reaksi hidrolisis. Reaksi hidrolisis ini terjadi dikarenakan didalam larutan infus yang digunakan terdapat kandungan air didalamnya. Polimer PCL-PLA, terutama PLA (*Polylactic Acid*), cenderung terdegradasi melalui proses hidrolisis ketika terpapar air atau larutan berbasis air seperti larutan infus.





















































3.3 Pengujian Makrostruktur


































3.3.1 Pengujian Makrostruktur Pada Metode Perendaman Setiap Minggu

Pada hasil pengamatan makrostruktur pada spesimen campuran PCL-PLA setelah dilakukan pengujian degradasi dengan metode perendaman setiap minggu pada larutan infus NaCl didapati hasil bahwa pada permukaan spesimen tidak

terlalu terlihat perubahan yang signifikan dalam bentuknya. Untuk tabel hasil pengujian makrostruktur dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Makrostruktur Metode Perendaman Setiap Minggu

No	Komposisi	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
1	100 PCL				
					
					
2	80 PCL/20 PLA				
					
					
3	60 PCL/40 PLA				
					
					
4	50 PCL/ 50 PLA				
					
					
5	40 PCL/60 PLA				





































					
					
6	20 PCL/80 PLA				
					
					
7	100 PLA				
					
					
					













3.3.2 Pengujian Makrostruktur Pada Metode Perendaman Langsung

Pada hasil pengamatan makrostruktur pada spesimen campuran PCL-PLA setelah dilakukan pengujian degradasi dengan metode perendaman langsung pada larutan infus NaCl 0,9% didapati hasil bahwa pada permukaan spesimen tidak terlalu terlihat perubahan yang signifikan dalam bentuknya. Untuk tabel hasil pengujian makrostruktur dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Makrostruktur Metode Perendaman Langsung

No	Komposisi	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
1	100 PCL				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					

		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
2	80 PCL/20 PLA				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
3	60 PCL/40 PLA				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
4	50 PCL/50 PLA				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
5	40 PCL/60 PLA				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
6	20 PCL/ 80 PLA				

		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman
7	100 PLA				
		Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman	Sebelum Perendaman
					
		Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman	Setelah Perendaman

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait Pengaruh Komposisi *Polycaprolactone* (PCL) dan *Polyactic Acid* (PLA) Terhadap Laju Degradasi Pada Campuran Polimer *Biodegradable* PCL-PLA diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Hasil pengujian densitas pengukuran didapatkan bahwa variasi komposisi 60% PCL/40% PLA memiliki nilai densitas tertinggi yaitu dengan nilai densitas sebesar 1,93 gr/cm³. Namun pada hasil pengujian densitas teoritis didapatkan bahwa variasi komposisi 100% PLA memiliki nilai densitas tertinggi dengan nilai densitas sebesar 1,24 gr/cm³. Pada pengukuran densitas teoritis juga didapati bahwa dengan seiring bertambahnya PLA kedalam campuran maka nilai densitas semakin tinggi.
- Hasil pengujian degradasi yang dilakukan dengan dua metode perendaman yaitu, perendaman langsung dan setiap minggu, didapatkan bahwa dengan menggunakan perhitungan kehilangan massa semakin lama/meningkatnya waktu perendaman maka persentase kehilangan massa juga semakin naik. Variasi komposisi yang memiliki nilai kehilangan massa paling tinggi adalah komposisi 100 PCL dengan nilai 19,68% pada perendaman setiap minggu dan komposisi 100 PLA dengan nilai 6,19% pada perendaman langsung. Untuk perhitungan *degradation rate*/laju degradasi didapatkan semakin lama/meningkatnya waktu perendaman maka *degradation rate* akan menurun atau bahkan cenderung stabil. Variasi komposisi yang memiliki nilai *degradation rate* paling tinggi adalah komposisi 100 PCL dengan nilai 0,0046 mmpy pada perendaman setiap minggu dan Komposisi 100 PLA dengan nilai 0,0004 mmpy pada perendaman langsung.
- Hasil pengujian makrostruktur pada spesimen campuran PCL-PLA setelah dilakukan pengujian degradasi pada larutan infus NaCl 0,9% didapati hasil bahwa pada permukaan spesimen tidak terlalu terlihat perubahan yang signifikan dalam bentuknya.

Daftar Pustaka

- R. Alfarisi, D. R. Fauziah, dan D. L. Pangestu, "Webinar Peningkatan Pengetahuan Remaja Sebagai Kelompok Aktif Terhadap Penanganan Awal Cedera Patah Tulang," *J. Perak Malahayati*, vol. 4, no. 2, hal. 143–152, 2022, doi: 10.33024/jpm.v4i2.8293.
- Risnah, R. HR, M. U. Azhar, dan M. Irwan, "Terapi Non Farmakologi dalam Penanganan Diagnosis Nyeri Akut pada Fraktur : Systematic Review," vol. 4, hal. 77–87, 2019.
- A. Jhonet, M. F. Armin, M. Zulhafis, N. P. Sudiadnyani, dan H. M. Sari, "ANGKA KEJADIAN FRAKTUR TIBIA BERDASARKAN USIA, JENIS KELAMIN DAN KLASIFIKASI FRAKTUR BERDASARKAN MEKANISME TRAUMA DI RSUD. H. ABDUL MOELOEK BANDAR LAMPUNG Aswan," vol. 9, no. 1, hal. 645–651, 2022.
- R. Ismail *et al.*, "Characterization of PLA/PCL/Green Mussel Shells Hydroxyapatite (HA) Biocomposites Prepared by Chemical Blending Methods Rifky," *Materials (Basel)*, 2022.
- S. Solechan *et al.*, "Characterization of PLA/PCL/Nano-Hydroxyapatite (nHA) Biocomposites Prepared via Cold Isostatic Pressing," *Polymers (Basel)*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.3390/polym15030559.
- S. Baidurah, "Methods of Analyses for Biodegradable Polymers: A Review," *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 22,

-
- 2022, doi: 10.3390/polym14224928.
- [7] I. Vroman dan L. Tighzert, “Biodegradable polymers,” *Materials (Basel)*., vol. 2, no. 2, hal. 307–344, 2009, doi: 10.3390/ma2020307.
- [8] E. Saldívar-Guerra dan E. Vivaldo-lima, *HANDBOOK OF POLYMER SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND PROCESSING*. John Wiley & Sons, 2013.
- [9] F. V. Borbolla-Jiménez *et al.*, “Films for Wound Healing Fabricated Using a Solvent Casting Technique,” *Pharmaceutics*, vol. 15, no. 7, hal. 1–27, 2023, doi: 10.3390/pharmaceutics15071914.
- [10] I. Kong, K. Y. Tshai, dan M. E. Hoque, “Manufacturing of Natural Fibre-Reinforced Polymer Composites by Solvent Casting Method,” in *Manufacturing of Natural Fibre Reinforced Polymer Composites*, 2015, hal. 331–349.