

PENGARUH PERSENTASE *FLAKE POLYLACTIC ACID (PLA)* TERHADAP DENSITAS CAMPURAN *BIODEGRADABLE POLYMER PLA* DENGAN *POLYCAPROLACTONE (PCL)* MENGGUNAKAN METODE *SOLVENT CASTING*

*Kana Hanifa¹, 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: kanahanifaaa@gmail.com

Abstrak

Penggunaan *biodegradable polymer* seperti *Polylactic Acid (PLA)* dan *Polycaprolactone (PCL)* dapat menjadi solusi potensial untuk mengatasi kelemahan penggunaan *implant* logam dalam kasus fraktur. *Polymer* ini dapat terurai dalam tubuh sehingga tidak memerlukan prosedur tambahan, serta mendukung penyembuhan tulang secara bertahap yang dapat mengurangi risiko patah kembali setelah *implant* diangkat. PLA dikombinasikan dengan PCL untuk mencapai kombinasi optimal dalam mengontrol laju degradasi dan karakteristik mekanik, dengan modifikasi bentuk PLA dari pelet menjadi *flake* untuk meningkatkan kekuatan campuran. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju degradasi yang optimal berdasarkan komposisi dari *flake* PLA dan PCL guna menghasilkan produk yang mampu membantu penyembuhan tulang secara efektif dan dapat terurai alami dalam tubuh. Metode *solvent casting* digunakan dalam pembuatan spesimen uji pada penelitian ini, dengan mencampurkan *flake* PLA dan PCL menggunakan *acetone* sebagai pelarut. Komposisi PLA:PCL yang digunakan adalah 10:90, 30:70, dan 50:50. Spesimen tersebut kemudian dikarakterisasi melalui pengujian densitas dan degradasi dengan merendamnya dalam larutan infus NaCl 0,9%. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa spesimen dengan komposisi 50 PLA : 50 PCL memiliki densitas hasil pengukuran menggunakan *density meter* tertinggi, yaitu 0,94 gr/cm³. Densitas hasil perhitungan teoritis tertinggi juga didapatkan pada komposisi tersebut, dengan nilai 1,166 gr/cm³.

Kata kunci: *biodegradable polymer*; degradasi; *polycaprolactone*; *polylactic acid*; *solvent casting*

Abstract

The utilization of *biodegradable polymers* such as *Polylactic Acid (PLA)* and *Polycaprolactone (PCL)* offers a potential solution to address the drawbacks of using metal implants in fracture cases. These polymers can degrade within the body, eliminating the need for additional procedures, and support gradual bone healing, thereby reducing the risk of refracture after implant removal. Combining PLA with PCL aims to achieve an optimal combination to control degradation rate and mechanical characteristics, with PLA's form modified from pellets to flakes to enhance the strength of the mixture. This research aims to determine the optimal degradation rate based on the composition of PLA flake and PCL in order to produce a product that can effectively aid in bone healing and naturally degrade within the body. The solvent casting method is used in the preparation of test specimens in this study, by mixing flake PLA and PCL using acetone as a solvent. The PLA:PCL compositions used are 10:90, 30:70, and 50:50. These specimens are then characterized through density and degradation testing by immersing them in a 0.9% NaCl solution. The density test results indicate that the specimen with a composition of 50 PLA: 50 PCL has the highest measured density using a density meter, which is 0.94 g/cm³. The highest calculated theoretical density is also obtained at this composition, with a value of 1.166 g/cm³.

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

1. Pendahuluan

Patah tulang, juga dikenal sebagai fraktur tulang, adalah gangguan kontinuitas tulang yang umumnya disebabkan oleh trauma. Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization, WHO*) mencatat peningkatan jumlah insiden fraktur pada tahun 2020. Sekitar 13 juta orang mengalami fraktur, dengan besar prevalensi 2,7% [1]. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia melaporkan bahwa Indonesia adalah negara dengan jumlah kasus fraktur tertinggi di Asia Tenggara pada tahun 2018, dengan sekitar 1,3 juta kasus setiap tahun dan populasi sekitar 238 juta orang, besar prevalensi kasus fraktur di Indonesia mencapai 5,5% [2].

Memasukkan *implant* ke dalam tubuh adalah cara yang paling umum untuk menangani fraktur. Jenis *implant* dapat berupa plat, sekrup, atau pin yang ditempatkan di sekitar tulang yang patah untuk mempertahankan posisinya yang tepat dan mempercepat proses penyembuhannya. Logam, dalam berbagai jenisnya, seperti baja tahan karat, titanium, dan kobalt-kromium, adalah bahan yang paling umum digunakan untuk *implant* tulang [3].

Kelebihan menggunakan logam sebagai material *implant* adalah kuat dan tahan lama serta biokompatibel, sehingga tidak menimbulkan reaksi alergi pada tubuh manusia [4]. Namun, penggunaan material logam yang tidak dapat terurai memerlukan prosedur tambahan berupa operasi kedua untuk pengangkatan *implant* tersebut. Tulang yang sembuh dengan menggunakan *implant* logam juga memiliki kecenderungan untuk patah kembali setelah *implant* dihilangkan. Tulang tidak dapat menanggung beban dengan cukup selama proses penyembuhan, karena beban tersebut sebelumnya ditanggung oleh logam yang kaku.

Penggunaan *biodegradable polymer* dapat menjadi solusi dari kekurangan tersebut. Selain tidak memerlukan operasi kedua untuk pengangkatan *implant*, *implant* yang terbuat dari *biodegradable polymer* juga dapat dirancang untuk terurai dengan perlahan mentransfer beban ke tulang yang sedang dalam proses penyembuhan [5].

Penggunaan *biodegradable polymer* seperti *Polylactic Acid* (PLA) dan *Polycaprolactone* (PCL) sebagai biopolymer dalam aplikasi medis telah banyak dilakukan. Hal ini berdasarkan pada fakta bahwa kedua *polymer* ini telah diakui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan Amerika Serikat (USFDA) sebagai poliester yang paling banyak diteliti. *Polymer-polymer* ini juga mudah diolah dan dapat disesuaikan dalam hal kristalinitas, kekuatan mekanik, dan peralihan termal. Oleh karena itu, PLA dikombinasikan dengan PCL untuk mencapai kombinasi optimal dalam mengontrol laju degradasi dan karakteristik mekanik. Pencampuran PLA dan PCL bertujuan untuk membuat *copolymer* yang memiliki sifat yang baik untuk rekayasa jaringan, seperti tidak beracun, biokompatibel, dan *biodegradable* [5].

Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menggabungkan PLA dan PCL adalah metode *solvent casting*. Dalam metode ini, *polymer* dicampur dengan pelarut yang sesuai, kemudian bahan campuran dicetak dan pelarutnya diuapkan [6]. Metode *solvent casting* PLA dan PCL memiliki keunggulan dalam menghasilkan campuran yang kompleks, tetapi kekuatan campuran kurang optimal. Untuk meningkatkan kekuatan campuran PLA dan PCL, dilakukan modifikasi pada bentuk PLA yang dicampur. Sebagai alternatif, PLA yang awalnya dicampur dalam bentuk pelet, diganti menjadi dalam bentuk *flake*. Penelitian mengenai pencampuran PLA dan PCL menggunakan PLA dalam bentuk *flake* tersebut masih belum banyak dilakukan.

Berdasarkan uraian diatas penulis akan melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Persentase *Flake Polylactic Acid* (PLA) terhadap Laju Degradasi Campuran *Biodegradable Polymer* PLA dengan *Polycaprolactone* (PCL) Menggunakan Metode *Solvent Casting*”. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan laju degradasi yang optimal berdasarkan komposisi dari PLA dan PCL guna menghasilkan produk yang mampu membantu penyembuhan tulang secara efektif dan dapat terurai alami dalam tubuh.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Material, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. H. Soedarto, S. H. Tembalang, Semarang. Pada penelitian ini digunakan *Polylactic acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan pelarut *acetone* sebagai bahan-bahan untuk pembuatan spesimen, serta larutan infus NaCl sebagai bahan pengujian degradasi. PLA yang digunakan pada penelitian ini adalah PLA medis 2002d yang diproduksi oleh NatureWorks di Amerika, khusus untuk aplikasi medis, dalam bentuk butiran berukuran 2 – 3 mm yang kemudian diubah menjadi *flake* dengan ukuran panjang sekitar 1,61– 4,67 mm dan lebar 0,33– 0,90 mm. PCL yang digunakan yaitu tipe CAPA-6800 yang diproduksi oleh Perstop dengan bentuk butiran berukuran 2 – 3 mm. Untuk melarutkan PLA dan PCL, digunakan *solvent* berupa larutan *acetone* yang diproduksi oleh PT. Kurnia Makmur Abadi Jaya. Selanjutnya larutan infus NaCl yang diproduksi oleh PT. Satoria Aneka Industri digunakan sebagai larutan untuk merendam spesimen pada uji degradasi, dengan komposisi setiap 500 ml larutan mengandung 4.5 g NaCl dan 500 ml air injeksi.

Metode pencampuran PLA dan PCL yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *solvent casting*. Metode ini merupakan salah satu teknik pengolahan yang pertama dan paling sederhana yang telah digunakan untuk persiapan komposit *polymer* yang diperkuat serat alami [7]. *Solvent casting* merupakan teknik yang digunakan untuk pembuatan film *biodegradable polymer* dengan melarutkan *polymer* dalam pelarut yang sesuai. Setelah itu, larutan tersebut dituangkan ke substrat dan diikuti dengan penguapan pelarut untuk menghasilkan film padat [8].

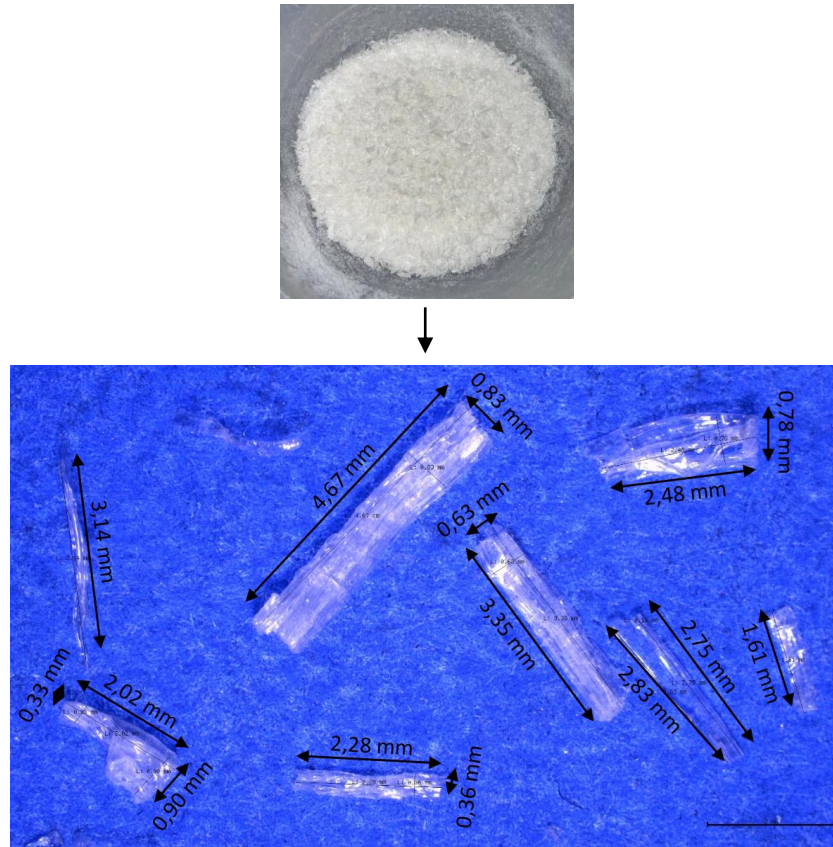
Variabel pada penelitian ini berupa variasi komposisi *flake* PLA:PCL (10:90, 30:70, 50:50). Material PLA yang digunakan pada penelitian ini berbentuk *flake*, pembuatan material PLA *flake* dilakukan dengan bantuan *cotton candy maker* dan *chopper*. Suhu tinggi yang dihasilkan *cotton candy maker* menyebabkan PLA butir mengalami proses ekstrusi dan pembentukan, menghasilkan serabut-serabut tipis yang menyerupai gulali, kemudian serabut PLA tersebut dipotong menjadi serpihan kecil menggunakan *chopper* dan menghasilkan *flake* PLA. Untuk pembuatan spesimen uji pada penelitian ini, PLA dan PCL disiapkan sesuai variasi komposisinya dengan total berat 5 gram. Lalu untuk melarutkan PLA dan PCL, digunakan *acetone* sebanyak 100 ml. Larutan tersebut dituang ke dalam *beaker glass* dan diaduk selama 15 menit menggunakan agitator *straight blade turbine* dengan temperatur 200°C yang kemudian diturunkan ke 150°C, dan dinaikkan kembali menjadi 180°C menggunakan *hotplate stirrer*. Selanjutnya larutan dituangkan ke dalam cetakan dan dikeringkan pada suhu ruangan agar *acetone* menguap. Setelah *acetone* menguap

sepenuhnya dan larutan telah membeku, spesimen dapat dilepaskan dari cetakan. Proses ini diulang untuk setiap variasi komposisi yang berbeda.

Spesimen yang sudah jadi tersebut kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui densitas spesimen uji dan laju degradasi material untuk mengetahui persentase *flake* PLA yang optimal. Pengujian densitas spesimen umumnya menerapkan prinsip Archimedes, yaitu dengan menimbang benda di udara dan saat tenggelam dalam air. Perbedaan antara kedua timbangan tersebut memberikan informasi tentang volume benda yang tenggelam, yang kemudian digunakan untuk menghitung densitas dengan membagi massa benda oleh volume yang diukur menggunakan prinsip Archimedes.

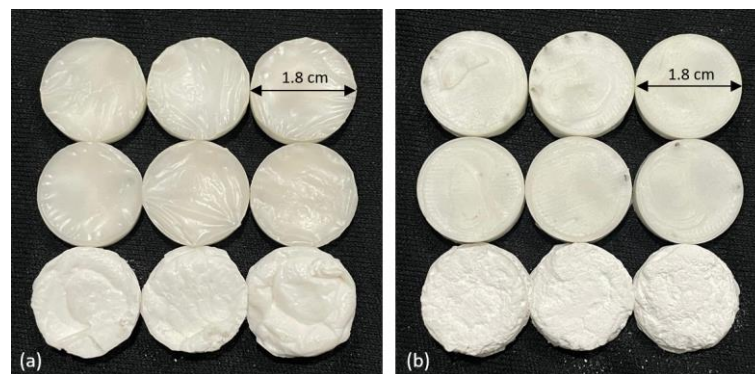
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pembuatan *flake* PLA dapat dilihat pada Gambar 1. Setelah dilihat menggunakan mikroskop makro dengan perbesaran 10×, didapatkan ukuran dari *flake* PLA yang kasar dengan panjang berkisar antara 1,61 mm sampai 4,67 mm dan lebar 0,33 mm sampai 0,90 mm.



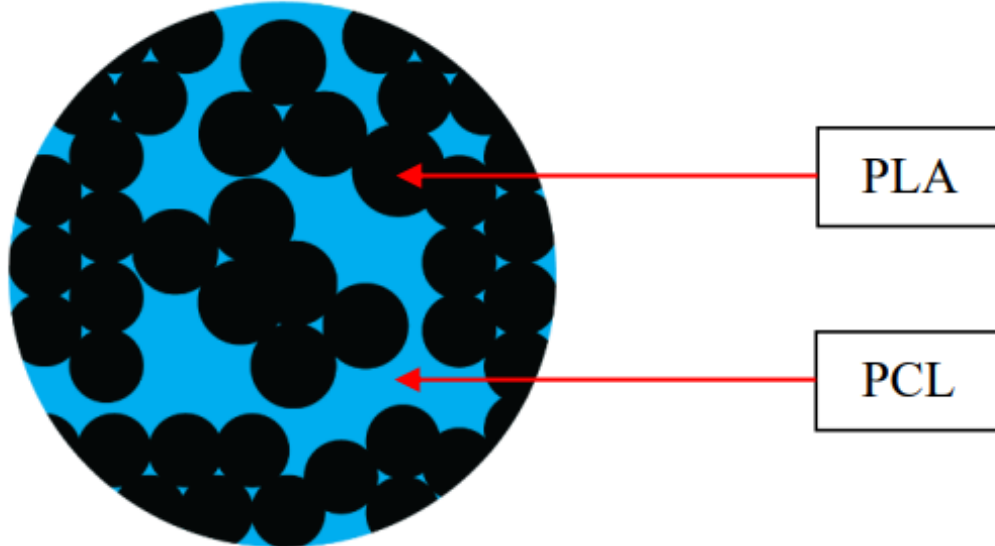
Gambar 1. Material PLA Berbentuk *Flake*

Selanjutnya untuk hasil spesimen campuran *biodegradable polymer* PLA dan PCL yang telah dibuat menggunakan metode *solvent casting* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen Campuran PLA dan PCL (a) Tampak Atas (b) Tampak Bawah

Campuran yang heterogen atau yang masuk dalam kategori *Immiscible Polymer Blends* dihasilkan dari pencampuran PLA dan PCL dengan metode *solvent casting* menggunakan pelarut *acetone*. Melalui bantuan dari *acetone*, PCL membentuk fase terdispersi dalam PLA dalam campuran ini. PCL dapat larut dengan baik dalam larutan *acetone*, sedangkan PLA sulit untuk larut dalam larutan *acetone*. Meskipun demikian, ketika terkena *acetone* PLA dapat mengalami pembengkakan dan pelunakan [9]. Hal tersebut membantu dalam pencampuran dan distribusi PLA dan PCL dalam campuran. Skema dari campuran dan degradasi PLA dan PCL dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Campuran dan Degradasi PLA dan PCL

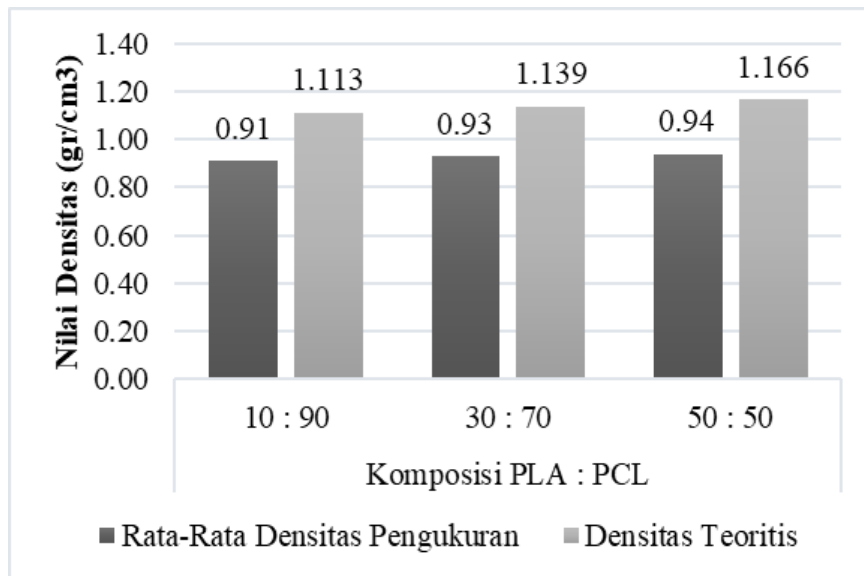
Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Tabel 1. dan perbandingan pengujian densitas secara pengukuran dengan perhitungan teoritis dapat dilihat pada Tabel 2. serta grafik dari perbandingan tersebut pada Gambar 4.

Tabel 1. Hasil Pengujian Densitas

Komposisi PLA:PCL	Specimen 1		Specimen 2		Specimen 3		Mean
	$\rho_{specimen}$ (gr/cm ³)	Mean	$\rho_{specimen}$ (gr/cm ³)	Mean	$\rho_{specimen}$ (gr/cm ³)	Mean	
10 : 90	0.94		0.93		0.92		
	0.94	0.91	0.92	0.92	0.94	0.91	0.91
	0.85		0.89		0.88		
30 : 70	0.96		0.93		0.89		
	0.89	0.93	0.93	0.94	0.95	0.92	0.93
	0.92		0.96		0.91		
50 : 50	0.94		0.97		0.97		
	0.93	0.94	0.95	0.95	0.93	0.93	0.94
	0.94		0.94		0.89		

Tabel 2. Perbandingan Densitas Pengukuran dengan Teoritis

Komposisi PLA : PCL	Rata-Rata Densitas Pengukuran (gr/cm ³)	Densitas Teoritis (gr/cm ³)
10 : 90	0.91	1.113
30 : 70	0.93	1.139
50 : 50	0.94	1.166



Gambar 4. Grafik Perbandingan Densitas Pengukuran dengan Densitas Teoritis

Dari Gambar 4. terlihat bahwa dari perhitungan teoritis campuran *biodegradable polymer* PLA dan PCL dengan variasi komposisi 50 PLA : 50 PCL memiliki nilai densitas sebesar 1,166 gr/cm³, variasi komposisi 30 PLA : 70 PCL memiliki nilai densitas sebesar 1,139 gr/cm³, dan variasi komposisi 10 PLA : 90 PCL memiliki nilai densitas sebesar 1,113 gr/cm³. Sedangkan dari hasil pengukuran densitas menggunakan alat *density meter*, campuran *biodegradable polymer* PLA dan PCL dengan variasi komposisi 50 PLA : 50 PCL memiliki nilai densitas sebesar 0,94 gr/cm³, variasi komposisi 30 PLA : 30 PCL memiliki nilai densitas sebesar 0,93 gr/cm³, dan variasi 10 PLA : 90 PCL memiliki nilai densitas sebesar 0,91 gr/cm³.

Dari Gambar 4. terlihat bahwa densitas spesimen yang diukur menggunakan *density meter* secara sistematis lebih rendah daripada perhitungan teoritisnya. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti porositas dalam spesimen, tingkat kristalinitas yang berbeda dari matriks polimer, atau interaksi antarmuka yang tidak sempurna antara PLA dan PCL dalam campuran. Dari Gambar 4. juga terlihat bahwa dengan seiring bertambahnya PLA dalam campuran nilai densitas juga semakin tinggi. Hal ini dapat terjadi karena nilai densitas dari PLA yang lebih tinggi dibandingkan dengan PCL. Ketika kandungan PLA dalam campuran meningkat, maka densitas PLA yang lebih besar akan meningkatkan densitas keseluruhan campuran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah komposisi *flake* PLA dan PCL memengaruhi densitas campuran, dengan densitas tertinggi pada kandungan PLA terbanyak (50 PLA : 50 PCL), menunjukkan peningkatan seiring peningkatan kandungan PLA, namun densitas hasil pengukuran lebih rendah dari teoritis karena faktor-faktor seperti porositas dan interaksi antarmuka yang tidak sempurna.

5. Daftar Pustaka

- [1] C. Permatasari and I. Yunita Sari, "TERAPI RELAKSASI BENSON UNTUK MENURUNKAN RASA NYERI PADA PASIEN FRAKTUR FEMUR SINISTRA: STUDI KASUS," 2022.
- [2] F. D. Puspitasari, S. R. Adawiyah, R. P. Sari, and S. Rahayu, "Asuhan Keperawatan Gerontik Pada Pasien Post Fraktur Dengan Pemberian Terapi Range Of Motion Untuk Meningkatkan Kekuatan Otot Di Panti Werdha Kasih Ayah Bunda Di Kabupaten Tangerang," *JURNAL FISIOTERAPI DAN ILMU KESEHATAN SISTHANA*, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2023.
- [3] E. Erwin, M. Sabri, M. Adam, C. E. Ramadhana, and A. Y. Kusuma, "Fiksasi internal secara terbuka fraktur bilateral pelvis pada anjing," *Acta Vet Indones*, vol. 7, no. 1, pp. 23–28, 2019.
- [4] Z. Efendi, "Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Non Mekanik Paduan Kobalt Akibat Pengaruh Tekanan Kompaksi Pada Metode Peleburan," *Doctoral dissertation, UNIVERSITAS AIRLANGGA*, 2015.
- [5] J. C. Middleton and A. J. Tipton, "Synthetic biodegradable polymers as orthopedic devices," *Biomaterials*, vol. 21, no. 23, pp. 2335–2346, 2000.
- [6] Y. D. Putri and R. N. Utami, "PEMBUATAN PATCH BUKAL MUKOADHESIF ATENOLOL DENGAN VARIASI KONSENTRASI POLIMER Na-CMC DAN PVP K-30," *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi Indonesia*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [7] I. Kong, K. Y. Tshai, and M. E. Hoque, "Manufacturing of natural fibre-reinforced polymer composites by solvent casting method," *Manufacturing of natural fibre reinforced polymer composites*, pp. 331–349, 2015.

-
- [8] B. I. T. Principal and A. D. Hindupur, “Characterization of Biodegradable Polymer Subjected to Different Solvent Mixture,” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 7, no. 12, 2018.
- [9] F. R. A. Sutopo, “PENGARUH KOMPOSISI POLYCAPROLACTONE (PCL) DAN POLYLACTIC ACID (PLA) TERHADAP LAJU DEGRADASI PADA CAMPURAN POLIMER BIODEGRADABLE PCL-PLA,” 2023.
- [10] M. D. Wulan, “Degradasi in Vitro Mikrosfer Polipaduan Poliasam Laktat dan Polikaprolakton.” Skripsi, 2011.