

ANALISIS LAJU DEGRADASI DAN SIFAT MEKANIK POLYCAPROLACTONE (PCL) PADA VARIASI VOLUME ASETONE MENGUNAKAN METODE SOLVENT CASTING

*Mifatahul Falaq¹, Agus Suprihanto², Yusuf Umardani²

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: miftahulfalaq366@gmail.com

Abstrak

Polycaprolactone (PCL) merupakan polimer biodegradable yang berpotensi digunakan sebagai material bone plate karena memiliki sifat biokompatibel dan mampu terdegradasi secara alami di dalam tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi volume pelarut aseton terhadap sifat mekanik, densitas, dan laju degradasi pelat PCL yang dibuat menggunakan metode solvent casting. Pembuatan spesimen dilakukan menggunakan 6 gram PCL dengan variasi volume aseton sebesar 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL. Proses pencampuran dilakukan menggunakan hotplate stirrer pada suhu 60°C dengan kecepatan 300 rpm selama 15 menit. Pengujian meliputi uji densitas, uji tarik, pengamatan makrostruktur, dan uji degradasi menggunakan larutan NaCl selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan volume aseton menyebabkan struktur spesimen menjadi lebih berpori sehingga densitas dan sifat mekanik menurun, sedangkan laju degradasi meningkat. Variasi volume aseton 25 mL menunjukkan tingkat degradasi tertinggi, sedangkan variasi 10 mL memiliki struktur paling padat dan sifat mekanik terbaik. Berdasarkan hasil penelitian, variasi volume aseton berpengaruh terhadap karakteristik dan performa degradasi pelat PCL hasil metode solvent casting.

Kata kunci: aseton; bone plate; densitas; laju degradasi; polycaprolactone (pcl); solvent casting

Abstract

Polycaprolactone (PCL) is a biodegradable polymer with potential application as a bone plate material due to its biocompatibility and ability to naturally degrade within the body. This study aims to analyze the effect of acetone solvent volume variation on the mechanical properties, density, and degradation rate of PCL plates fabricated using the solvent casting method. The specimens were prepared using 6 grams of PCL with acetone volume variations of 10 mL, 15 mL, 20 mL, and 25 mL. The mixing process was carried out using a hotplate stirrer at 60°C and 300 rpm for 15 minutes. The tests conducted included density testing, tensile testing, macrostructure observation, and degradation testing using NaCl solution for 4 weeks. The results showed that increasing the acetone volume caused the specimen structure to become more porous, resulting in decreased density and mechanical properties, while the degradation rate increased. The 25 mL acetone variation exhibited the highest degradation rate, whereas the 10 mL variation showed the densest structure and the best mechanical properties. Based on the results, the variation of acetone volume significantly affected the characteristics and degradation performance of PCL plates produced by the solvent casting method.

Keywords: acetone; bone plate; degradation rate; density; polycaprolactone (pcl); solvent casting

1. Pendahuluan

Bone plate merupakan salah satu implan medis yang digunakan untuk membantu proses penyambungan dan stabilisasi tulang yang mengalami fraktur. Material *bone plate* umumnya berbahan logam seperti *stainless steel* dan titanium karena memiliki kekuatan mekanik yang baik [1][2]. Namun, penggunaan material logam masih memiliki beberapa kelemahan seperti risiko korosi, reaksi inflamasi, serta perlunya operasi lanjutan untuk pengangkatan implan setelah proses penyembuhan selesai [3]. Oleh karena itu, pengembangan material biodegradable sebagai alternatif *bone plate* terus dilakukan. *Polycaprolactone (PCL)* merupakan salah satu polimer *biodegradable* dan *biokompatibel* yang banyak dikembangkan dalam aplikasi biomaterial karena mampu terdegradasi secara alami di dalam tubuh [4][5]. Selain itu, PCL memiliki fleksibilitas, titik leleh rendah, serta kemudahan dalam proses fabrikasi sehingga berpotensi digunakan untuk aplikasi ortopedi dan rekayasa jaringan [6]. Dalam pengembangan material berbasis PCL, metode fabrikasi menjadi faktor penting yang mempengaruhi karakteristik material yang dihasilkan, seperti densitas, struktur permukaan, sifat

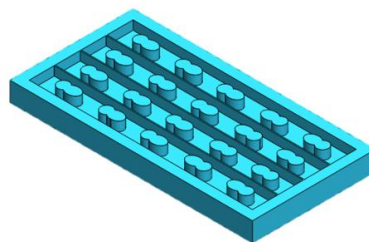
mekanik, dan laju degradasi. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *solvent casting* karena memiliki proses yang sederhana, ekonomis, dan mampu menghasilkan distribusi material yang relatif homogen [7]. Pada metode ini, penggunaan pelarut memiliki pengaruh penting terhadap karakteristik spesimen yang dihasilkan. Aseton merupakan salah satu pelarut organik yang dapat digunakan untuk melarutkan PCL dan mudah menguap selama proses pengeringan [8]. Variasi volume pelarut dapat mempengaruhi pembentukan pori, densitas, sifat mekanik, dan laju degradasi spesimen akibat proses evaporasi pelarut [9]. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa parameter proses fabrikasi material *biodegradable* mempengaruhi homogenitas struktur, sifat mekanik, dan laju degradasi material [10][11]. Namun, penelitian mengenai pengaruh variasi volume pelarut aseton terhadap karakteristik pelat PCL hasil *solvent casting* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi volume pelarut aseton terhadap densitas, sifat mekanik, dan laju degradasi pelat PCL melalui pengujian densitas, uji tarik, pengamatan makrostruktur, serta pengujian degradasi menggunakan larutan NaCl.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan material *Polycaprolactone* (PCL) sebanyak 6 gram dengan variasi volume aseton sebesar 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL menggunakan metode *solvent casting*. Aseton digunakan sebagai pelarut untuk melarutkan PCL sehingga diperoleh campuran yang homogen sebelum proses pencetakan spesimen. Proses pencampuran dilakukan menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 15 menit [7]. Larutan yang telah homogen kemudian dituangkan ke dalam cetakan (*mold*) dan didiamkan pada suhu ruang hingga pelarut menguap dan terbentuk spesimen padat. Pada Tabel 1 menunjukkan parameter pembuatan spesimen yang digunakan pada penelitian ini [12].

Tabel 1. Parameter Pembuatan Spesimen

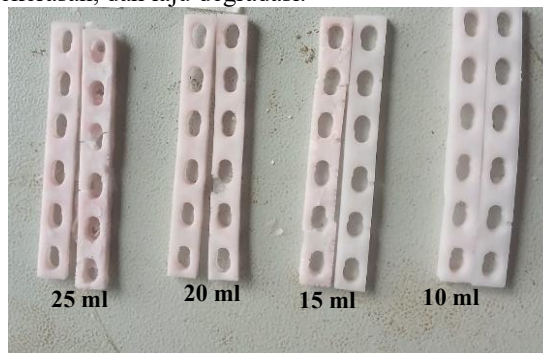
Spesimen	PCL (g)	Aseton (mL)	Suhu (°C)	RPM	Waktu (menit)
A	6	10	60	300	15
B	6	15	60	300	15
C	6	20	60	300	15
D	6	25	60	300	15



Gambar 1. Molding solvent casting

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan spesimen pelat *Polycaprolactone* (PCL) menggunakan metode solvent casting. Variabel yang diteliti yaitu variasi konsentrasi larutan PCL dan aseton pada proses pembuatan spesimen. Spesimen PCL yang telah berhasil dibuat kemudian dilakukan serangkaian pengujian karakterisasi untuk mengetahui sifat material yang meliputi densitas, kekerasan, dan laju degradasi.



Gambar 2. Produk Pelat PCL

3.1 Persentase Weight Loss

Hasil pengujian degradasi spesimen PCL selama proses perendaman dalam larutan NaCl ditunjukkan pada Tabel 2. Pengamatan dilakukan selama 4 minggu dengan menghitung persentase *weight loss* pada setiap variasi volume aseton.

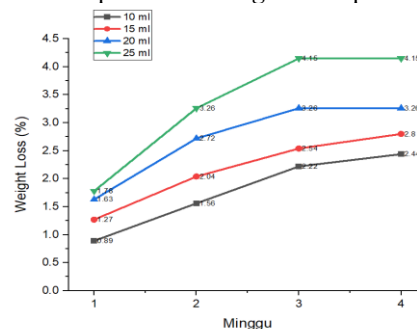
Tabel 2. Persentase Weight Loss

Variasi Larutan	Waktu			
	Minggu 1 (%)	Minggu 2 (%)	Minggu 3 (%)	Minggu 4 (%)
10	0,89	1,56	2,22	2,44
15	1,27	2,04	2,54	2,80
20	1,63	2,72	3,26	3,26
25	1,78	3,26	4,15	4,15

Berdasarkan Tabel 2, nilai persentase weight loss spesimen PCL mengalami peningkatan seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi larutan. Variasi larutan 25 mL menunjukkan nilai *weight loss* tertinggi dibandingkan variasi lainnya, sedangkan variasi 10 mL memiliki nilai *weight loss* paling rendah. Pada minggu keempat, variasi 25 mL menghasilkan nilai *weight loss* sebesar 4,15%, sedangkan variasi 10 mL sebesar 2,44%.

Peningkatan persentase *weight loss* menunjukkan bahwa proses degradasi pada spesimen PCL terus berlangsung selama proses perendaman. Semakin besar jumlah aseton yang digunakan, konsentrasi larutan PCL menjadi lebih rendah sehingga struktur spesimen yang dihasilkan cenderung kurang rapat dan lebih mudah mengalami degradasi. Kondisi tersebut menyebabkan cairan lebih mudah masuk ke dalam struktur spesimen sehingga proses degradasi berlangsung lebih cepat.

Data persentase *weight loss* selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik untuk memperjelas perubahan nilai degradasi selama proses perendaman. Grafik persentase *weight loss* spesimen PCL ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 3. Grafik Persentase Weight Loss Spesimen PCL pada Variasi Larutan 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL selama 4 Minggu Perendaman

Berdasarkan Gambar 3, nilai *weight loss* meningkat seiring bertambahnya waktu degradasi pada seluruh variasi volume media. Variasi 25 mL menunjukkan *weight loss* tertinggi sebesar 4,15%, sedangkan variasi 10 mL menghasilkan nilai terendah sebesar 2,44% pada minggu keempat. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar volume media degradasi, semakin besar kehilangan massa yang terjadi pada sampel. Peningkatan *weight loss* mengindikasikan berlangsungnya degradasi hidrolitik, di mana molekul air berdifusi ke dalam matriks polimer dan memutus rantai polimer melalui reaksi hidrolisis sehingga terbentuk fragmen-fragmen yang terlepas ke dalam media perendaman. Kondisi ini menyebabkan massa sampel berkurang dan nilai *weight loss* meningkat. Temuan ini sejalan dengan [6] yang menyatakan bahwa peningkatan penyerapan air dapat mempercepat kehilangan massa material selama proses degradasi. Selain itu, pada variasi 20 mL dan 25 mL terlihat kecenderungan *plateau* pada minggu ketiga hingga minggu keempat, yang menunjukkan bahwa laju degradasi mulai melambat. Fenomena ini terjadi karena bagian material yang lebih mudah terdegradasi telah mengalami hidrolisis terlebih dahulu, sehingga bagian yang tersisa memiliki struktur yang lebih rapat dan lebih tahan terhadap penetrasi air. Hasil ini sesuai dengan penelitian [8] yang melaporkan bahwa degradasi PCL berlangsung lebih cepat pada fase awal dan kemudian melambat seiring berkurangnya bagian material yang mudah terdegradasi.

3.2 Persentase Data *Degratio Rate*

Hasil pengukuran persentase perubahan volume spesimen PCL selama proses perendaman dalam larutan NaCl ditunjukkan pada Tabel 3. Pengamatan dilakukan selama 4 minggu dengan menghitung persentase perubahan volume pada setiap variasi volume aseton.

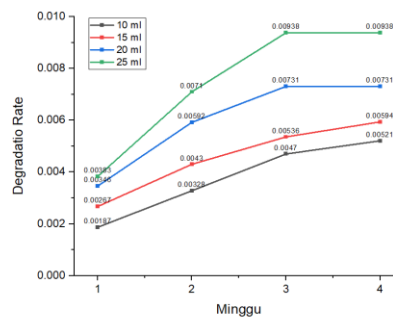
Tabel 3. Persentase Perubahan Volume

Variasi Larutan	Waktu			
	Minggu 1 (%)	Minggu 2 (%)	Minggu 3 (%)	Minggu 4 (%)
10	0,00187	0,00328	0,00470	0,00521
15	0,00267	0,00430	0,00536	0,00594
20	0,00346	0,00592	0,00731	0,00731
25	0,00383	0,00710	0,00938	0,00938

Berdasarkan Tabel 3, persentase *degratio rate* spesimen cenderung meningkat selama proses perendaman. Variasi 25 mL menunjukkan persentase *degratio rate* terbesar dibandingkan variasi lainnya, yaitu meningkat dari 0,00383% pada minggu pertama menjadi 0,00938% pada minggu ketiga dan tetap hingga minggu keempat. Sebaliknya, variasi 10 mL memiliki persentase perubahan volume terkecil, yaitu sebesar 0,00521% pada minggu keempat.

Perubahan volume yang terjadi menunjukkan adanya perubahan dimensi spesimen selama proses degradasi. Semakin besar volume aseton yang digunakan, semakin besar pula perubahan volume yang terjadi. Kondisi ini diduga disebabkan oleh terbentuknya pori pada struktur spesimen sehingga larutan lebih mudah masuk ke dalam material dan meningkatkan perubahan dimensi selama perendaman.

Data persentase perubahan volume kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk memperjelas perubahan dimensi spesimen selama proses perendaman. Grafik persentase perubahan volume spesimen PCL ditunjukkan pada Gambar 2.

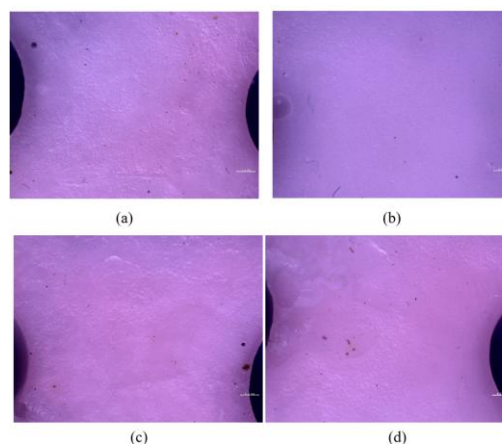


Gambar 4. Grafik Persentase Perubahan Volume Spesimen PCL pada Variasi Larutan 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL selama 4 Minggu Perendaman

Berdasarkan Gambar 4, nilai *degradation rate* menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi volume media. Nilai *degradation rate* tertinggi diperoleh pada variasi 25 mL sebesar 0,00938, sedangkan nilai terendah diperoleh pada variasi 10 mL sebesar 0,00521 pada minggu keempat. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar volume media degradasi, semakin tinggi laju degradasi yang terjadi pada material. Peningkatan *degradation rate* disebabkan oleh difusi molekul air ke dalam matriks polimer yang memicu reaksi hidrolisis dan pemutusan rantai polimer, sehingga mempercepat kehilangan massa material. Temuan ini sejalan dengan [15] yang melaporkan bahwa peningkatan penyerapan air dapat mempercepat degradasi PCL melalui proses hidrolisis. Selain itu, variasi 20 mL dan 25 mL menunjukkan kecenderungan *plateau* pada minggu ketiga hingga minggu keempat, yang mengindikasikan bahwa laju degradasi mulai melambat. Kondisi ini terjadi karena sebagian besar daerah amorf telah terdegradasi terlebih dahulu, sehingga bagian material yang tersisa didominasi oleh daerah yang lebih rapat dan lebih tahan terhadap penetrasi air. Hasil ini sesuai dengan penelitian [16] yang menyatakan bahwa degradasi PCL berlangsung secara bertahap dan akan melambat setelah bagian amorf mengalami degradasi sehingga membentuk kecenderungan *plateau*.

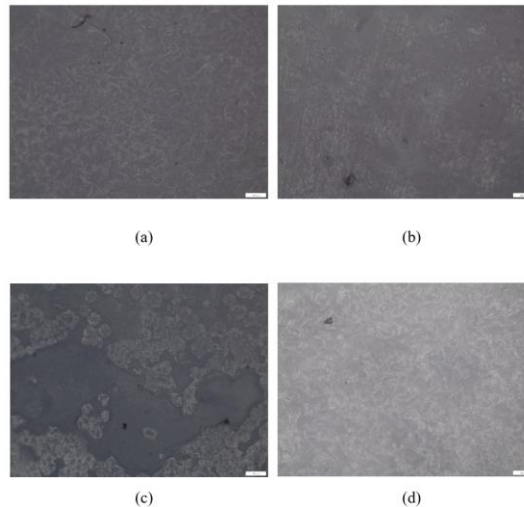
3.3 Pengamatan Makrografi dan Mikrografi

Pengamatan makrografi dan mikrografi dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik permukaan spesimen PCL setelah proses degradasi selama perendaman dalam larutan NaCl. Pengamatan ini bertujuan untuk melihat pengaruh variasi volume aseton terhadap struktur permukaan spesimen yang berkaitan dengan laju degradasi material.



Gambar 5. Hasil Pengamatan Makrografi Permukaan Spesimen PCL pada Variasi Larutan (a) 10 mL, (b) 15 mL, (c) 20 mL, dan (d) 25 mL dengan pembesaran 12x

Berdasarkan Gambar 5, hasil pengamatan makrografi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik permukaan pada setiap variasi volume aseton. Variasi 10 mL dan 15 mL menunjukkan permukaan yang relatif lebih halus dan padat, sedangkan variasi 20 mL dan 25 mL menunjukkan permukaan yang lebih kasar, tidak merata, dan mulai terlihat adanya pori pada permukaan spesimen. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan volume aseton memengaruhi struktur permukaan spesimen PCL akibat proses penguapan pelarut selama metode *solvent casting*.



Gambar 6. Hasil Pengamatan Mikrografi Permukaan Spesimen PCL pada Variasi Larutan (a) 10 mL, (b) 15 mL, (c) 20 mL, dan (d) 25 mL dengan pembesaran 100x

Hasil pengamatan mikrografi menunjukkan bahwa peningkatan volume aseton menyebabkan permukaan spesimen menjadi lebih tidak homogen dan berpori. Variasi 25 mL menunjukkan jumlah pori dan ketidakteraturan permukaan yang lebih jelas dibandingkan variasi lainnya. Struktur yang lebih berpori menyebabkan larutan lebih mudah terserap ke dalam spesimen sehingga proses degradasi berlangsung lebih cepat. Hasil pengamatan ini sesuai dengan peningkatan nilai *weight loss* dan persentase *degratio rate* pada variasi volume aseton yang lebih tinggi seperti 20 ml dan 25 ml.

3.4 Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan Shore A menunjukkan bahwa peningkatan volume pelarut aseton menyebabkan penurunan kekerasan pelat PCL. Nilai kekerasan rata-rata menurun dari $71,15 \pm 0,21$ HA pada variasi 10 mL menjadi $63,35 \pm 0,49$ HA pada 15 mL, $50,15 \pm 0,21$ HA pada 20 mL, dan $44,50 \pm 0,28$ HA pada 25 mL. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi volume pelarut yang digunakan, semakin rendah sifat mekanik material akibat meningkatnya porositas dan berkurangnya kerapatan struktur PCL.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi volume pelarut aseton pada pembuatan pelat PCL menggunakan metode *solvent casting* berpengaruh terhadap sifat mekanik dan laju degradasi material. Nilai kekerasan Shore A menurun dari $71,15 \pm 0,21$ HA pada variasi 10 mL menjadi $44,50 \pm 0,28$ HA pada variasi 25 mL. Sebaliknya, nilai *degradation rate* dan *weight loss* meningkat seiring bertambahnya volume pelarut, dengan nilai *degradation rate* tertinggi sebesar 0,00938 mmpy dan *weight loss* sebesar 4,15% pada variasi 25 mL. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan volume pelarut menghasilkan material yang lebih mudah terdegradasi, namun memiliki kekerasan yang lebih rendah. Dengan demikian, volume pelarut merupakan parameter penting dalam menentukan karakteristik mekanik dan degradasi pelat PCL.

5. Daftar Pustaka

- [1] Li J, Qin L, Yang K, Ma Z, Wang Y, Cheng L, Zhao D. Materials evolution of bone plates for internal fixation of bone fractures: A review. *Journal of Materials Science & Technology* 2020;36:190–208. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2019.07.024>
- [2] Sutowo C, Ikhsan M, Kartika I. Karakteristik material biokompetibel aplikasi implan medis jenis bone plate. *Prosiding Semnastek* 2014.
- [3] Sari DP, Sholihah EN, Herliansyah MK. Uji iritasi material cobalt chromium sebagai material dasar bone plate untuk rekonstruksi mandibula. *Jurnal Teknosains* 2018;7(2):128–136. 10.22146/teknosains.8162.
- [4] Hudecki A, Kiryzyński G, Łos MJ. Biomaterials, definition, overview. In: *Stem Cells and Biomaterials for Regenerative Medicine*. Elsevier; 2019. p. 85–98. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812258-7.00007-1>
- [5] Čolnik M, Knez-Hrnčič M, Škerget M, Knez Ž. Biodegradable polymers, current trends of research and their applications, a review. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 2020;26(4):401–418.

-
- <https://doi.org/10.2298/CICEQ191210018C>
- [6] Rahmayetty R, Kanani N, Wardhono EY. Pengaruh penambahan PLA pada pati terplastisasi gliserol terhadap sifat mekanik blend film. *Prosiding Semnastek* 2018.
 - [7] Tyler B, Gullotti D, Mangraviti A, Utsuki T, Brem H. Polylactic acid (PLA) controlled delivery carriers for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Review* 2016;107:163–175. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.018>
 - [8] Borbolla-Jiménez FV, Peña-Corona SI, Farah SJ, Jiménez-Valdés MT, Pineda-Pérez E, Romero-Montero A, et al. Films for wound healing fabricated using a solvent casting technique. *Pharmaceutics* 2023;15(7):1914. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15071914>
 - [9] Hanifa K, Suprihanto A, Haryadi GD. Pengaruh persentase flake polylactic acid (PLA) terhadap densitas campuran biodegradable polymer PLA dengan polycaprolactone (PCL) menggunakan metode solvent casting. *Jurnal Teknik Mesin* 2024;12(2):71–76.
 - [10] Hanif DN, Suprihanto A, Haryadi GD. Pengaruh persentase serbuk polimer biodegradable polylactic acid (PLA) terhadap densitas campuran polycaprolactone (PCL) menggunakan metode solvent casting. *Jurnal Teknik Mesin* 2024;12(2):99–102.
 - [11] Sutopo FRA, Suprihanto A, Haryadi GD. Pengaruh komposisi polylactic acid (PLA) dan polycaprolactone (PCL) terhadap laju degradasi pada campuran polimer biodegradable PCL-PLA. *Jurnal Teknik Mesin* 2023;11(4):169–178.
 - [12] Pahlevi AB, Suprihanto A, Haryadi GD. Analisis hasil dan proses pembuatan serat polylactic acid (PLA) dengan metode wet spinning. *Jurnal Teknik Mesin* 2025;13(2):41–46.
 - [13] Octarina O, Berliana S, Falatehan N. Gambaran perubahan laju degradasi Bio-Oss collagen sebagai material pengganti tulang alveolar. *Jurnal Ilmiah dan Teknologi Kedokteran Gigi (JITEKGI)* 2024;20(2):114–126. <https://doi.org/10.32509/jitekgi.v20i2.4055>
 - [14] Santos A, Agnelli J, Trevisan D, Manrich S. Degradation and stabilization of polyolefins from municipal plastic waste during multiple extrusions under different reprocessing conditions. *Polymer Degradation and Stability* 2002;77(3):441–447. [https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(02\)00101-5](https://doi.org/10.1016/S0141-3910(02)00101-5).
 - [15] Zhang G, Li J, Shangguan C, Zhou X, Zhou Y, Huang A. A metamaterial bone plate for biofixation based on 3D printing technology. *International Journal of Bioprinting* 2024;10(4):2388. <https://doi.org/10.36922/ijb.2388>