

## ANALISIS LAJU DEGRADASI POLYLACTIC ACID (PLA) PADA VARIASI VOLUME KLOROFORM MENGGUNAKAN METODE SOLVENT CASTING

\*Ahmad Fachri Ash-Shiddiqi<sup>1</sup>, Agus Suprihanto<sup>2</sup>, Yusuf Umardani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: [fachriash1@gmail.com](mailto:fachriash1@gmail.com)

### Abstrak

*Polylactic Acid (PLA)* merupakan material biodegradable yang memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif *bone plate* karena mampu terdegradasi secara alami di dalam tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi volume kloroform terhadap laju degradasi spesimen PLA yang dibuat menggunakan metode *solvent casting*. Pembuatan spesimen dilakukan menggunakan 6 gram PLA dengan variasi volume kloroform sebesar 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL. Proses pencampuran dilakukan pada suhu 30°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 15 menit. Pengujian degradasi dilakukan melalui pengamatan perubahan massa (*weight loss*), perubahan volume, serta pengamatan makrografi dan mikrografi setelah proses perendaman dalam larutan NaCl selama 4 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *weight loss* dan persentase perubahan volume meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi spesimen. Variasi 25 mL menunjukkan tingkat degradasi tertinggi, sedangkan variasi 10 mL menunjukkan tingkat degradasi terendah. Hasil pengamatan permukaan menunjukkan bahwa peningkatan volume kloroform menyebabkan struktur spesimen menjadi lebih kasar, berpori, dan tidak merata akibat proses penguapan pelarut. Kondisi tersebut mempercepat penyerapan larutan dan proses degradasi spesimen PLA. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa variasi volume kloroform berpengaruh terhadap karakteristik permukaan dan laju degradasi spesimen PLA hasil metode *solvent casting*.

**Kata kunci:** kloroform; laju degradasi; polimer *biodegradable*; *polylactic acid (pla)*; *solvent casting*

### Abstract

*Polylactic Acid (PLA)* is a biodegradable material that has the potential to be developed as an alternative bone plate material due to its ability to degrade naturally within the body. This study aims to analyze the effect of chloroform volume variation on the degradation rate of PLA specimens fabricated using the solvent casting method. The specimens were prepared using 6 grams of PLA with chloroform volume variations of 10 mL, 15 mL, 20 mL, and 25 mL. The mixing process was carried out at a temperature of 30°C with a stirring speed of 300 rpm for 15 minutes. Degradation testing was conducted through observations of weight loss, volume change, and macrographic and micrographic observations after immersion in NaCl solution for 4 weeks. The results showed that the weight loss value and percentage of volume change increased with increasing immersion time for all specimen variations. The 25 mL variation exhibited the highest degradation rate, while the 10 mL variation showed the lowest degradation rate. Surface observations indicated that increasing the chloroform volume caused the specimen structure to become rougher, more porous, and less uniform due to the solvent evaporation process. This condition accelerated solution absorption and the degradation process of PLA specimens. Based on the results, it can be concluded that chloroform volume variation affects the surface characteristics and degradation rate of PLA specimens produced using the solvent casting method.

**Keywords :** *biodegradable polymer*; *chloroform*; *degradation rate*; *polylactic acid (pla)*; *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 [2][3]. Oleh karena itu, pengembangan material biodegradable sebagai alternatif bone plate terus dilakukan. *Polylactic Acid (PLA)* merupakan salah satu polimer biodegradable dan biokompatibel yang banyak dikembangkan dalam aplikasi biomaterial karena mampu terdegradasi secara alami di dalam tubuh serta berasal dari sumber

daya terbarukan [4][5][6]. Selain itu, PLA memiliki potensi yang baik untuk aplikasi ortopedi dan rekayasa jaringan [7]. Dalam pengembangan material berbasis PLA, metode fabrikasi memengaruhi karakteristik material yang dihasilkan, seperti struktur permukaan dan laju degradasi. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *solvent casting* karena prosesnya sederhana, ekonomis, dan mampu menghasilkan distribusi material yang relatif homogen [8]. Pada metode ini, penggunaan pelarut memiliki pengaruh penting terhadap karakteristik spesimen yang dihasilkan. Kloroform merupakan salah satu pelarut yang umum digunakan dalam proses pelarutan PLA karena memiliki kemampuan melarutkan PLA dengan baik dan mudah menguap selama proses pengeringan [8]. Variasi volume kloroform dapat memengaruhi pembentukan pori, struktur permukaan, dan karakteristik degradasi spesimen PLA akibat proses penguapan pelarut [5][8]. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa komposisi dan proses fabrikasi material biodegradable memengaruhi densitas, homogenitas struktur, dan laju degradasi material [9][10][11]. Selain itu, parameter proses fabrikasi PLA juga berpengaruh terhadap struktur dan karakteristik material yang dihasilkan [12]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, kajian mengenai pengaruh variasi volume kloroform terhadap laju degradasi spesimen PLA hasil *solvent casting* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi volume kloroform terhadap laju degradasi spesimen PLA melalui pengujian *weight loss*, perubahan volume, serta pengamatan makrografi dan mikrografi setelah proses perendaman dalam larutan NaCl.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan material *Polylactic Acid* (PLA) sebanyak 6 gram dengan variasi volume kloroform sebesar 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL menggunakan metode *solvent casting*. Kloroform digunakan sebagai pelarut untuk melarutkan PLA sehingga diperoleh campuran yang homogen sebelum proses pencetakan spesimen. Proses pencampuran dilakukan menggunakan *hotplate stirrer* pada suhu 30°C dengan kecepatan pengadukan 300 rpm selama 15 menit. 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.

**Tabel 1.** Parameter Pembuatan Spesimen

| Spesimen | PLA (g) | Kloroform (mL) | Suhu (°C) | RPM | Waktu (menit) |
|----------|---------|----------------|-----------|-----|---------------|
| A        | 6       | 10             | 30        | 300 | 15            |
| B        | 6       | 15             | 30        | 300 | 15            |
| C        | 6       | 20             | 30        | 300 | 15            |
| D        | 6       | 25             | 30        | 300 | 15            |

Pengujian degradasi dilakukan dengan metode perendaman menggunakan larutan NaCl selama 4 minggu pada suhu ruang. Pengamatan dilakukan setiap minggu dengan mengukur massa dan volume spesimen untuk mengetahui perubahan karakteristik spesimen selama proses degradasi berlangsung. Pengukuran massa dilakukan menggunakan timbangan digital, sedangkan pengukuran dimensi spesimen dilakukan menggunakan *vernier caliper*. Selain itu, dilakukan pengamatan makrografi menggunakan kamera digital dan pengamatan mikrografi menggunakan mikroskop dengan pembesaran 12× untuk mengetahui perubahan struktur permukaan spesimen setelah proses perendaman.

Nilai *weight loss* dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan persentase perubahan volume dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\%WL = \frac{W_0 - W_t}{W_0} \times 100\% \quad \dots \text{Persamaan (1)}$$

$$\%PV = \frac{P_0 - P_t}{P_0} \times 100\% \quad \dots \text{Persamaan (2)}$$

Dimana :

- $W_0$  = massa awal spesimen (g)
- $W_t$  = massa spesimen setelah perendaman (g)
- $P_0$  = volume awal spesimen (cm<sup>3</sup>)
- $P_t$  = volume spesimen setelah perendaman (cm<sup>3</sup>)

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Persentase *Weight Loss*

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

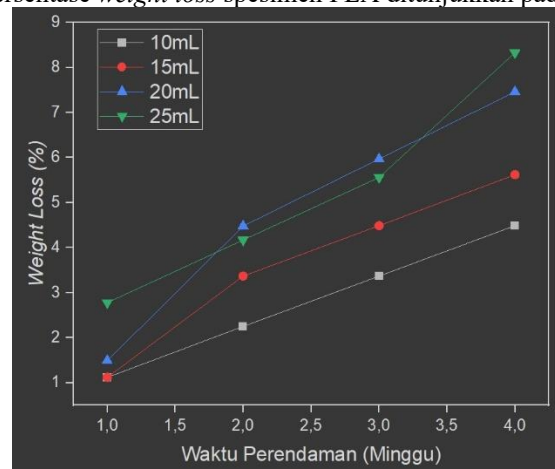
Tabel 2. Persentase *Weight Loss*

| Variasi Larutan | Waktu        |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | Minggu 1 (%) | Minggu 2 (%) | Minggu 3 (%) | Minggu 4 (%) |
| 10              | 1,12         | 2,25         | 3,37         | 4,49         |
| 15              | 1,12         | 3,37         | 4,49         | 5,62         |
| 20              | 1,49         | 4,48         | 5,97         | 7,46         |
| 25              | 2,78         | 4,17         | 5,56         | 8,33         |

Berdasarkan Tabel 2, nilai persentase *weight loss* spesimen PLA cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi larutan. Variasi 25 mL menunjukkan nilai *weight loss* terbesar dibandingkan variasi lainnya, sedangkan variasi 10 mL menunjukkan nilai *weight loss* terendah. Pada minggu keempat, variasi 25 mL memiliki nilai *weight loss* sebesar 8,33%, sedangkan variasi 10 mL sebesar 4,49%.

Peningkatan nilai *weight loss* menunjukkan terjadinya proses degradasi pada spesimen PLA selama perendaman. Semakin besar volume kloroform yang digunakan, struktur spesimen cenderung menjadi lebih berpori akibat proses penguapan pelarut selama metode *solvent casting*. Kondisi tersebut menyebabkan larutan lebih mudah terserap ke dalam spesimen sehingga proses degradasi berlangsung lebih cepat.

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



Gambar 1. Grafik Persentase *Weight Loss* Spesimen PLA pada Variasi Larutan 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL selama 4 Minggu Perendaman.

Berdasarkan Gambar 1, seluruh variasi spesimen menunjukkan peningkatan nilai *weight loss* selama proses perendaman. Variasi 25 mL menunjukkan peningkatan paling signifikan dibandingkan variasi lainnya, sedangkan variasi 10 mL mengalami peningkatan yang relatif lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan volume kloroform yang lebih besar dapat mempercepat proses degradasi spesimen PLA akibat terbentuknya struktur yang lebih berpori dan tidak homogen.

#### 3.2 Persentase Perubahan Volume

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

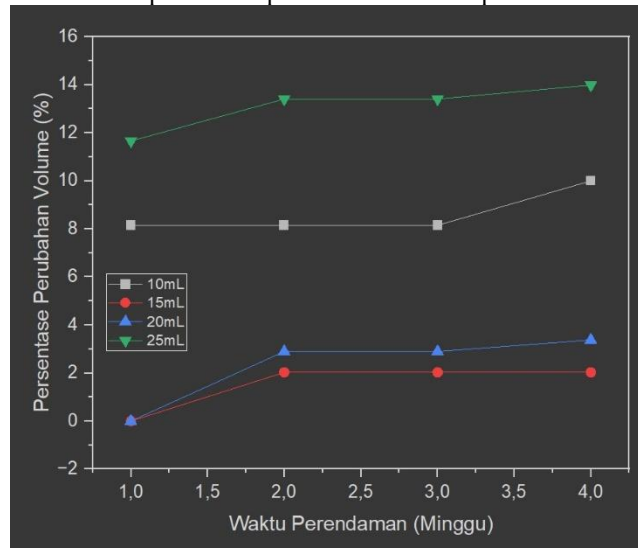
Tabel 3. Persentase Perubahan Volume

| Variasi Larutan | Waktu        |              |              |              |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                 | Minggu 1 (%) | Minggu 2 (%) | Minggu 3 (%) | Minggu 4 (%) |
| 10              | 8,15         | 8,15         | 8,15         | 10           |
| 15              | 0            | 2,03         | 2,03         | 2,03         |
| 20              | 0            | 2,90         | 2,90         | 3,38         |
| 25              | 11,66        | 13,41        | 13,41        | 13,99        |

Berdasarkan Tabel 3, persentase perubahan volume spesimen cenderung meningkat selama proses perendaman. Variasi 25 mL menunjukkan persentase perubahan volume terbesar dibandingkan variasi lainnya, sedangkan variasi 15 mL dan 20 mL menunjukkan perubahan volume yang relatif lebih kecil. Pada minggu keempat, variasi 25 mL memiliki persentase perubahan volume sebesar 13,99%, sedangkan variasi 15 mL hanya sebesar 2,03%.

Perubahan volume yang terjadi menunjukkan adanya perubahan dimensi spesimen selama proses degradasi. Semakin besar volume kloroform yang digunakan, struktur spesimen menjadi lebih mudah mengalami perubahan bentuk akibat terbentuknya rongga dan pori selama proses penguapan pelarut. Kondisi tersebut menyebabkan larutan lebih mudah masuk ke dalam struktur spesimen dan mempercepat perubahan dimensi material.

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

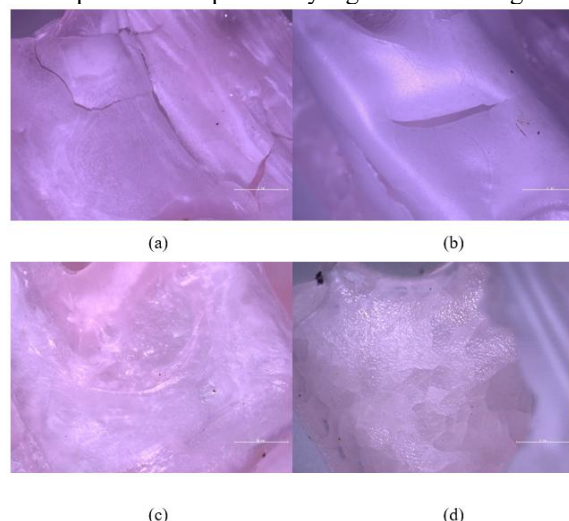


**Gambar 2.** Grafik Persentase Perubahan Volume Spesimen PLA pada Variasi Larutan 10 mL, 15 mL, 20 mL, dan 25 mL selama 4 Minggu Perendaman.

Berdasarkan Gambar 2, seluruh variasi spesimen menunjukkan perubahan volume selama proses perendaman. Variasi 25 mL menunjukkan perubahan volume paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan volume kloroform yang lebih besar memengaruhi struktur spesimen PLA sehingga lebih mudah mengalami perubahan dimensi selama proses degradasi berlangsung.

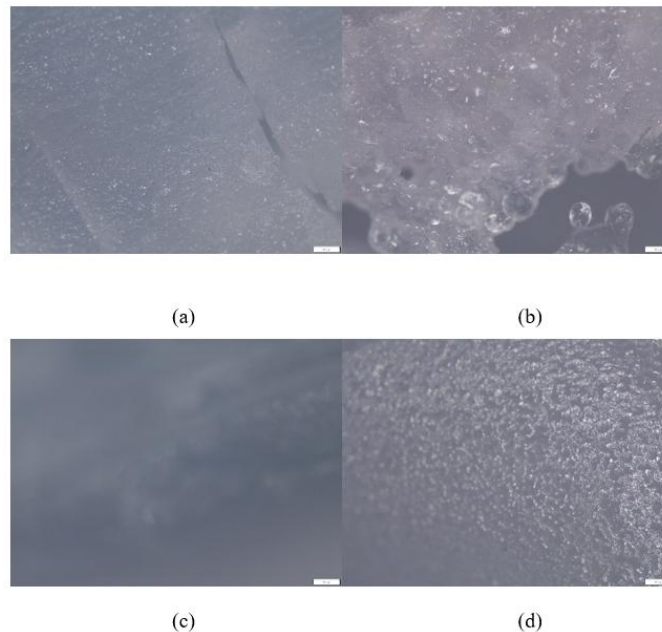
### 3.3 Pengamatan Makrografi dan Mikrografi

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



**Gambar 3** Hasil Pengamatan Makrografi Permukaan Spesimen PLA pada Variasi Larutan (a) 10 mL, (b) 15 mL, (c) 20 mL, dan (d) 25 mL dengan pembesaran 12x.

Berdasarkan Gambar 3, hasil pengamatan makrografi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik permukaan pada setiap variasi volume kloroform. 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 kloroform memengaruhi struktur permukaan spesimen PLA akibat proses penguapan pelarut selama metode *solvent casting*.



**Gambar 4** Hasil Pengamatan Mikrografi Permukaan Spesimen PLA 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 kloroform 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 perubahan volume pada variasi volume kloroform yang lebih tinggi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, variasi volume kloroform memengaruhi karakteristik dan laju degradasi spesimen *Polylactic Acid* (PLA) hasil metode *solvent casting*. Nilai *weight loss* dan persentase perubahan volume meningkat seiring bertambahnya waktu perendaman pada seluruh variasi spesimen. Variasi 25 mL menunjukkan tingkat degradasi terbesar dibandingkan variasi lainnya, sedangkan variasi 10 mL menunjukkan tingkat degradasi terendah. Hasil pengamatan makrografi dan mikrografi menunjukkan bahwa peningkatan volume kloroform menyebabkan permukaan spesimen menjadi lebih kasar, berpori, dan tidak homogen sehingga mempercepat proses degradasi spesimen PLA.

#### 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, Kiryczyński 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 Reviews* 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>