

ANALISIS PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN TERHADAP PROSES *WET SPINNING* DALAM PEMBUATAN SERAT *POLYLACTIC ACID-POLYCAPROLACTONE (PLA-PCL)*

*M Arif Hidayat¹, 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: muhamadarif1703@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi larutan terhadap karakteristik serat yang dihasilkan dari campuran *Polylactic Acid (PLA)* dan *Polycaprolactone (PCL)* menggunakan metode *wet spinning*. Dua variasi konsentrasi larutan, yaitu 15% dan 12,5% (w/v), dengan rasio campuran PLA:PCL sebesar 50:50, digunakan untuk mengevaluasi morfologi dan diameter serat. Hasil menunjukkan bahwa larutan dengan konsentrasi lebih tinggi dan viskositas yang lebih besar menghasilkan serat dengan diameter rata-rata lebih besar (0,369 mm), sedangkan larutan dengan konsentrasi lebih rendah menghasilkan serat yang lebih halus dan berdiameter lebih kecil (0,125 mm). Fenomena penyusutan diameter serat juga diamati secara signifikan dari bagian atas hingga bawah serat. Variasi konsentrasi larutan dan ukuran *nozzle* terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil morfologi dan dimensi serat PLA-PCL.

Kata Kunci: diameter serat; konsentrasi larutan; morfologi serat; pla-pcl; *wet spinning*

Abstract

This study aims to analyze the effect of solution concentration on the characteristics of fibers produced from a blend of Poly(lactic acid) (PLA) and Polycaprolactone (PCL) using the wet spinning method. Two solution concentrations, 15% and 12.5% (w/v), with a PLA:PCL ratio of 50:50, were utilized to evaluate fiber morphology and diameter. The results showed that higher concentration solutions with greater viscosity produced fibers with a larger average diameter (0.369 mm), while lower concentration solutions yielded finer fibers with smaller diameters (0.125 mm). A significant fiber diameter reduction was also observed from the top to the bottom section. The variation in solution concentration and nozzle size significantly influenced the resulting morphology and dimensions of the PLA-PCL fibers.

Keywords: fiber diameter; fiber morphology; pla-pcl; solution concentration; wet spinning

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, kebutuhan akan bahan yang ramah lingkungan dan mudah terurai secara hayati meningkat pesat, seiring dengan semakin seriusnya permasalahan limbah plastik yang sulit terurai. *Poly(lactic acid) (PLA)* dan *Polycaprolactone (PCL)* merupakan dua jenis polimer yang banyak digunakan karena karakteristik biodegradabilitasnya. PLA dikenal memiliki kekuatan mekanik yang tinggi namun bersifat rapuh, sedangkan PCL menawarkan elastisitas yang baik serta laju degradasi yang lebih cepat [1]. Kombinasi kedua material ini diharapkan mampu menghasilkan serat dengan keseimbangan antara kekuatan mekanik dan kemampuan terurai yang lebih baik.

Meskipun memiliki potensi besar, pengembangan material *biodegradable* masih menghadapi sejumlah tantangan, khususnya terkait ketahanan terhadap beban dan stabilitas performa dalam berbagai kondisi lingkungan. PLA cenderung tidak stabil pada suhu tinggi [2], sementara PCL memiliki kekuatan mekanik yang terbatas [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang mampu mengintegrasikan keunggulan masing-masing polimer untuk mengatasi kelemahan yang ada. Inovasi dalam pengembangan serat *biodegradable* menjadi langkah strategis dalam mengurangi dampak lingkungan dari plastik konvensional sekaligus mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.

Selain itu, pemilihan metode manufaktur yang tepat menjadi faktor krusial dalam menentukan kualitas serat yang dihasilkan, terutama untuk material campuran seperti PLA dan PCL yang memiliki karakteristik termal dan kelarutan yang berbeda. *Wet spinning* menjadi salah satu metode yang relevan karena dapat dilakukan pada suhu rendah, sehingga mengurangi risiko degradasi termal pada polimer sensitif. Metode ini juga memungkinkan kontrol yang baik terhadap morfologi serat melalui pengaturan parameter seperti konsentrasi larutan, jenis pelarut, kecepatan ekstrusi, serta kondisi koagulasi. Pemahaman yang mendalam terhadap parameter-parameter tersebut sangat penting dalam upaya optimalisasi struktur dan sifat akhir serat. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi terhadap pengembangan material

ramah lingkungan, tetapi juga memperluas pengetahuan mengenai proses manufaktur serat berbasis polimer *biodegradable*.

Dalam penelitian ini, teknik *wet spinning* dipilih karena mampu memproses polimer dengan keterbatasan sifat termal, seperti PLA dan PCL. Metode ini melibatkan pengendapan larutan polimer dalam bak koagulasi untuk membentuk serat padat yang seragam. Penelitian difokuskan pada analisis pengaruh perbandingan konsentrasi larutan serta parameter proses terhadap sifat fisik serat yang dihasilkan. Diharapkan, serat PLA-PCL yang dikembangkan memiliki potensi aplikasi luas, terutama dalam industri tekstil, biomedis, dan kemasan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Bahan Dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa *Polylactic Acid* (PLA) dan *Polycaprolactone* (PCL) dalam bentuk pelet, yang diperoleh dari pemasok bahan kimia terpercaya. Pemilihan bentuk pelet dilakukan untuk menjamin kemurnian dan konsistensi kualitas material. Sebagai pelarut, digunakan kloroform, dengan konsentrasi larutan yang divariasikan sesuai kebutuhan. Proses *wet spinning* menggunakan metanol teknis sebagai agen koagulasi. Seluruh bahan kimia digunakan tanpa proses pemurnian ulang dan disimpan pada suhu ruang di tempat yang tertutup dan kering untuk menjaga kestabilan sifatnya.

Larutan polimer disiapkan dengan dua variasi konsentrasi total, yaitu 15% dan 12,5% (w/v), menggunakan rasio campuran PLA:PCL sebesar 50:50. Masing-masing larutan diekstrusi menggunakan dua jenis *nozzle* stainless steel berukuran 21G dan 23G. Variasi konsentrasi dan ukuran *nozzle* ini dirancang untuk mengkaji pengaruh viskositas larutan terhadap pembentukan serat dalam proses *wet spinning*. Rangkaian peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

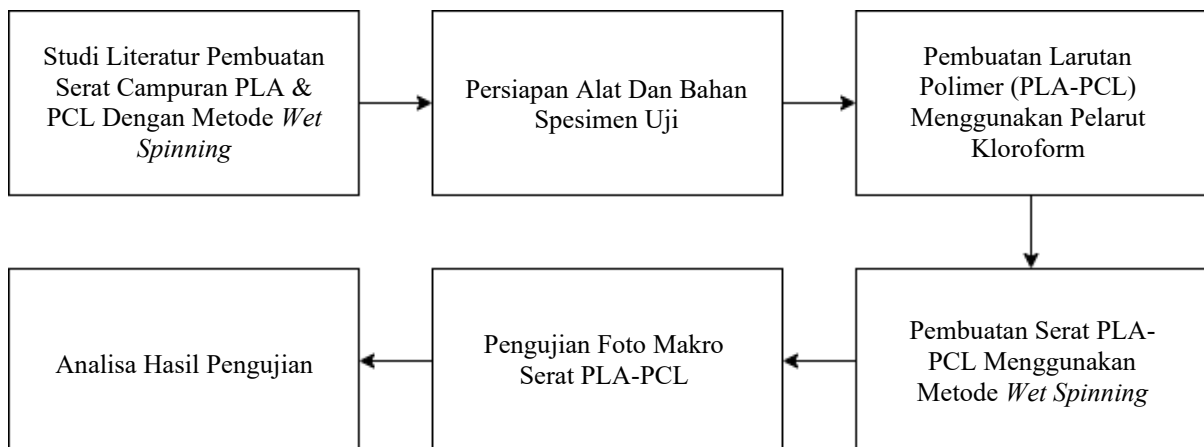
Tabel 1. Peralatan Utama Penelitian.

Nama Peralatan	Fungsi
Magnetic stirrer	Menghomogenkan larutan polimer
Gelas beaker	Wadah pencampuran saat proses pengadukan
<i>Nozzle</i> stainless steel 21G dan 23G	Mengekstrusi larutan polimer dalam proses <i>wet spinning</i>
Bak koagulasi berbahan kaca	Media koagulasi menggunakan metanol untuk pembentukan serat
Mikroskop optik digital	Menganalisis morfologi serat yang dihasilkan

Seluruh proses eksperimen dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik, Departemen Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, selama periode Oktober 2024 hingga Februari 2025.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi larutan terhadap karakteristik serat hasil proses *wet spinning* dari campuran *Polylactic Acid* (PLA) dan *Polycaprolactone* (PCL). Penelitian ini dilakukan dengan merancang suatu sistem *wet spinning* sederhana dan menguji beberapa parameter hasil serat, seperti morfologi permukaan dan diameter serat. Metode yang digunakan dimodifikasi dari prosedur *wet spinning* [4] dengan penyesuaian pada komposisi larutan dan parameter proses untuk memperoleh hasil serat yang optimal.

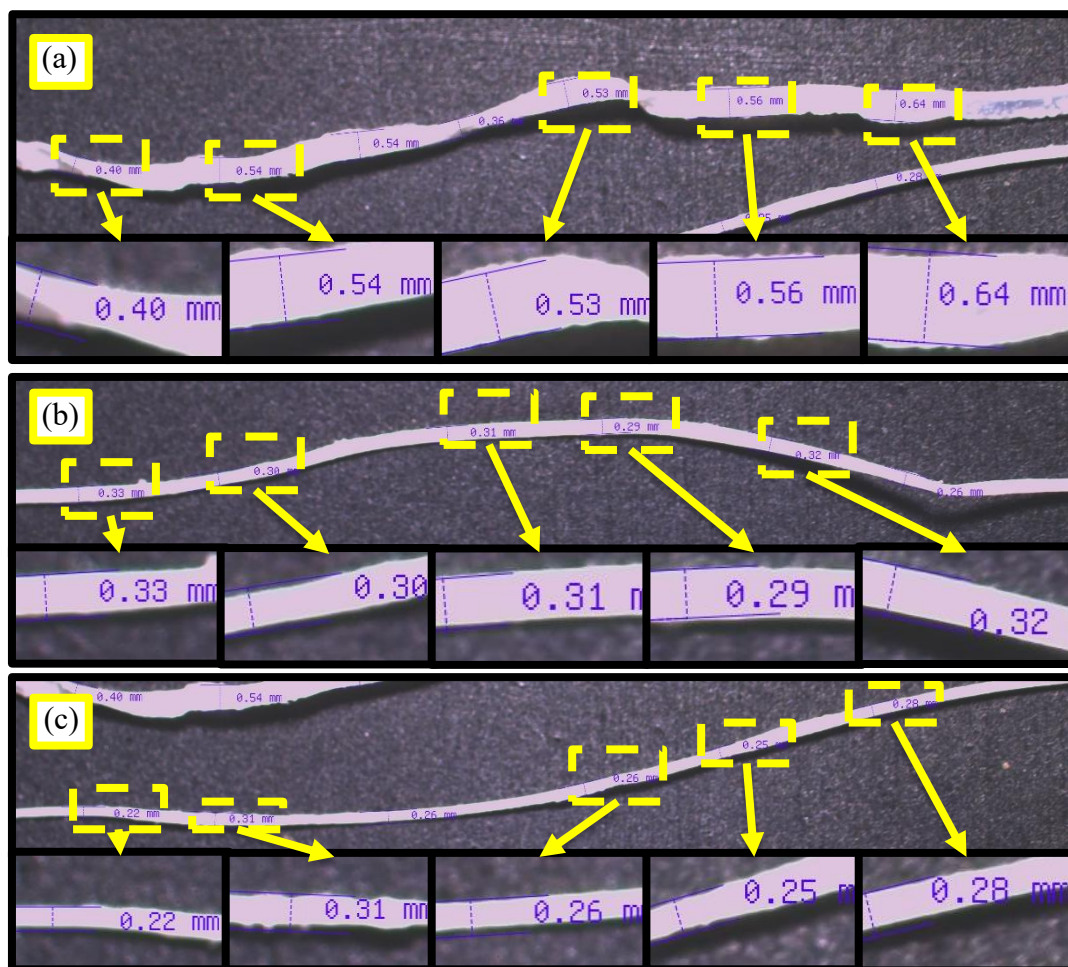


Gambar 1. Diagram alir pembuatan serat PLA-PCL.

Metodologi ini dimodifikasi pada aspek komposisi dan konsentrasi larutan untuk mempelajari secara khusus bagaimana pengaruhnya terhadap morfologi dan sifat mekanik serat yang dihasilkan melalui proses *wet spinning*. Modifikasi dilakukan dengan memilih rasio campuran PLA–PCL tertentu yang secara teoritis dapat menghasilkan interaksi matriks yang optimal, serta dengan menerapkan variasi konsentrasi larutan guna mengamati efek viskositas terhadap pembentukan serat. Konsentrasi larutan yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kekentalan, yang dapat memengaruhi diameter serat dan homogenitas morfologi. Selain itu, penyesuaian juga dilakukan pada kecepatan injeksi larutan, suhu koagulan, dan jenis pelarut yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang representatif. Penyesuaian ini dilakukan berdasarkan studi literatur terdahulu yang relevan serta mempertimbangkan keterbatasan dan spesifikasi peralatan yang tersedia di laboratorium, sehingga metode yang diterapkan tetap valid secara ilmiah namun realistis untuk kondisi eksperimental yang ada.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi larutan PLA–PCL terhadap karakteristik serat yang dihasilkan melalui metode *wet spinning*. Dalam studi ini, digunakan dua variasi konsentrasi larutan, yaitu 15% dengan *nozzle* berukuran 21G dan 12,5% dengan *nozzle* berukuran 23G. Rasio campuran PLA:PCL dijaga tetap sebesar 50:50 pada seluruh perlakuan. Parameter utama yang diamati meliputi morfologi permukaan dan diameter rata-rata serat yang dihasilkan.



Gambar 2. Hasil serat dari *nozzle* 21G. (a) atas. (b) tengah. (c) bawah

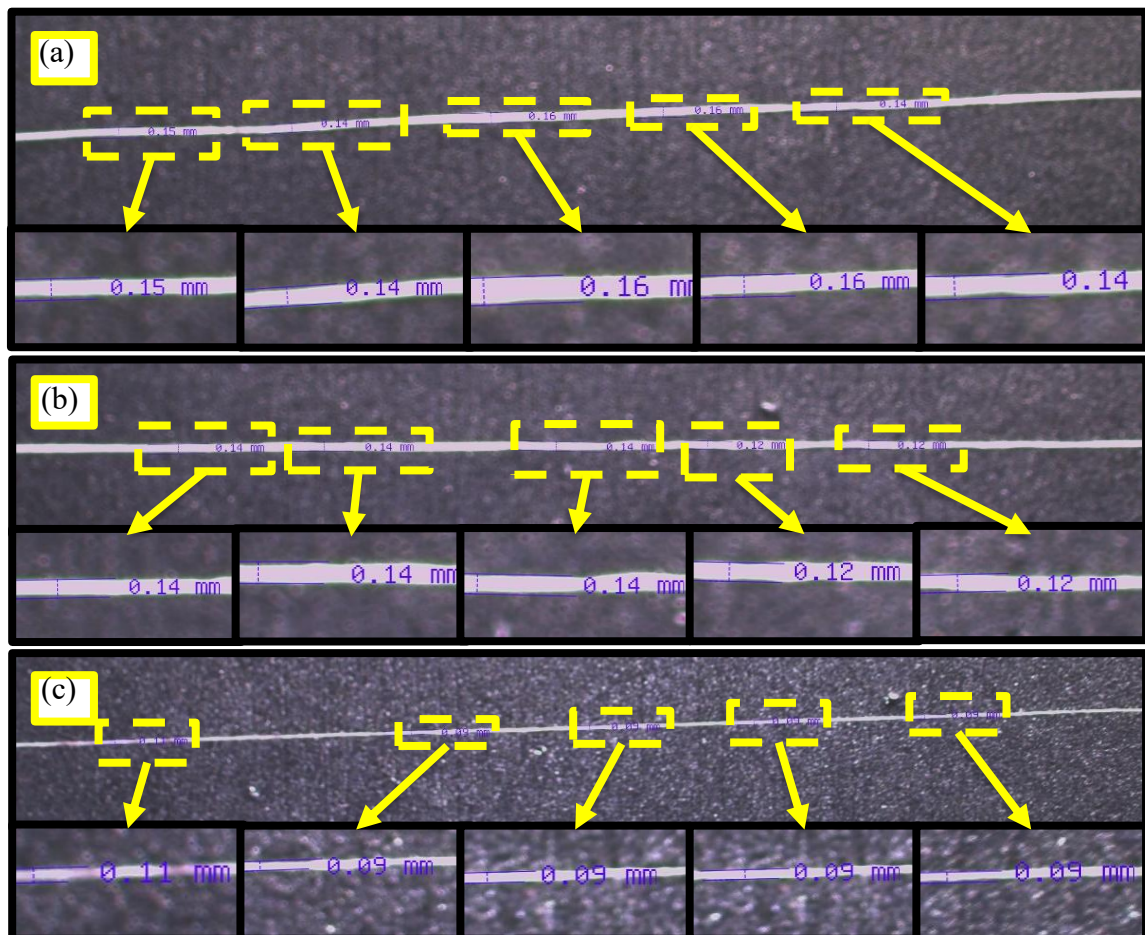
Gambar 2 memperlihatkan morfologi serat hasil proses *wet spinning* menggunakan *nozzle* berukuran 21G, yang diamati dengan mikroskop optik digital. Pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda dari setiap spesimen serat, yaitu pada bagian atas, tengah, dan bawah, untuk mengevaluasi konsistensi bentuk dan struktur serat. Pada Gambar 2 (a), diameter serat pada bagian atas berada dalam kisaran 0,40 mm hingga 0,64 mm. Terlihat bahwa bentuk serat tidak sepenuhnya seragam, dengan beberapa titik menunjukkan pelebaran atau pembengkakan lokal. Kondisi ini mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan selama proses ekstrusi, yang kemungkinan disebabkan oleh fluktuasi tekanan ekstrusi atau kurang optimalnya laju alir larutan menuju media koagulan [5]. Selanjutnya, pada Gambar 2 (b), diameter serat di bagian tengah berkisar antara 0,29 mm hingga 0,33 mm, dengan bentuk penampang yang cenderung

lebih seragam dibandingkan bagian atas. Meskipun masih terdapat sedikit variasi, fluktuasi ukuran relatif lebih kecil, dan serat tampak lebih lurus serta stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pada bagian tengah, kondisi aliran dan proses koagulasi lebih terkendali, sehingga menghasilkan serat dengan diameter yang lebih konsisten [6]. Sementara itu, Gambar 2 (c) menunjukkan diameter serat pada bagian bawah yang lebih kecil, yaitu antara 0,22 mm hingga 0,31 mm. Serat pada bagian ini tampak lebih ramping, namun tetap mempertahankan bentuk yang relatif bulat. Variasi ukuran di bagian ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan viskositas larutan selama proses berlangsung atau oleh peningkatan tegangan tarik akibat pengaruh gravitasi [7].

Tabel 2. Rata-Rata Diameter Serat 21G

21G			
Atas (mm)	Tengah (mm)	Bawah (mm)	Average (mm)
0,534	0,310	0,264	0,369

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata diameter serat hasil proses *wet spinning* menggunakan *nozzle* 21G menunjukkan variasi yang cukup signifikan di sepanjang posisi pengukuran. Diameter terbesar tercatat pada bagian atas serat, yaitu sebesar 0,534 mm, kemudian menurun di bagian tengah menjadi 0,310 mm, dan mencapai nilai terkecil di bagian bawah sebesar 0,264 mm. Rata-rata keseluruhan dari ketiga titik pengukuran tersebut adalah 0,369 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa serat yang diproduksi menggunakan *nozzle* berukuran 21G, dengan inner diameter sebesar 0,81 mm, mengalami penyusutan diameter hingga mencapai 54,4%..



Gambar 3. Hasil serat dari *nozzle* 23G. (a) atas. (b) tengah. (c) bawah

Gambar 3 memperlihatkan morfologi serat yang dihasilkan *nozzle* berukuran 23G. Gambar terbagi menjadi tiga bagian yang mewakili bagian atas, tengah, dan bawah serat. Pada bagian atas serat, ditunjukkan pada Gambar 3 (a) bahwa diameter serat berkisar antara 0,14 mm hingga 0,16 mm. Penampang serat tampak relatif bulat dan permukaannya halus, menunjukkan bahwa proses ekstrusi berlangsung cukup stabil meskipun menggunakan larutan dengan viskositas yang rendah. Kestabilan morfologi ini dapat dikaitkan dengan kontrol laju alir larutan yang baik serta transisi yang

cukup halus dari *nozzle* ke dalam larutan koagulan, yang meminimalkan deformasi selama awal pembentukan serat [8].

Pada bagian tengah dan bawah serat, terjadi penurunan diameter yang cukup signifikan. Gambar 3 (b) menunjukkan diameter serat di bagian tengah berada dalam rentang 0,12 mm hingga 0,14 mm, sedangkan pada bagian bawah (Gambar 3 (c)) diameter menyusut lebih lanjut hingga 0,09 mm hingga 0,11 mm. Meskipun terjadi penyusutan ukuran, penampang serat tetap menunjukkan bentuk yang bulat dan konsisten, yang mengindikasikan bahwa proses solidifikasi berlangsung merata. Penurunan diameter ini kemungkinan besar disebabkan oleh kombinasi antara rendahnya konsentrasi larutan (yang menghasilkan viskositas rendah dan meningkatkan sensitivitas terhadap tegangan mekanis [9]) dan ukuran *nozzle* 23G yang kecil, yang menghasilkan tekanan ekstrusi lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter proses yang digunakan mampu menghasilkan serat berdiameter kecil secara kontinu dengan stabilitas bentuk yang baik. Namun demikian, kontrol presisi terhadap dimensi serat menjadi semakin penting seiring dengan penurunan ukuran serat.

Tabel 3. Rata-Rata Diameter Serat 23G

23G			
Atas (mm)	Tengah (mm)	Bawah (mm)	Average (mm)
0,150	0,132	0,094	0,125

Berdasarkan Tabel 3, rata-rata hasil pengukuran diameter serat yang dihasilkan menggunakan *nozzle* 23G menunjukkan adanya penurunan diameter dari bagian atas ke bagian bawah serat. Diameter terbesar tercatat pada bagian atas sebesar 0,150 mm, kemudian menurun menjadi 0,132 mm di bagian tengah, dan mencapai nilai terkecil di bagian bawah, yaitu 0,094 mm. Rata-rata diameter dari ketiga titik pengukuran tersebut adalah 0,125 mm. Dengan menggunakan *nozzle* 23G yang memiliki *inner diameter* sebesar 0,64 mm, diperoleh serat dengan diameter rata-rata 0,125 mm, yang menunjukkan terjadinya penyusutan sebesar sekitar 80,5%.

Fenomena penyusutan diameter serat dari *inner diameter nozzle* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar ukuran *nozzle* yang digunakan. Pada penggunaan *nozzle* 21G dengan *inner diameter* 0,81 mm, serat yang dihasilkan mengalami penyusutan diameter hingga sekitar 54,4%. Sementara itu, *nozzle* 23G yang memiliki *inner diameter* lebih kecil, yaitu 0,64 mm, menghasilkan serat dengan diameter rata-rata sebesar 0,125 mm, yang menunjukkan penyusutan sebesar sekitar 80,5%. Perbedaan tingkat penyusutan ini diduga dipengaruhi oleh viskositas larutan yang digunakan. Larutan dengan viskositas lebih tinggi cenderung menghasilkan serat berdiameter lebih besar karena aliran larutan lebih lambat dan sulit tertarik, sedangkan larutan dengan viskositas lebih rendah lebih mudah tertarik selama proses *wet spinning*, sehingga menghasilkan serat dengan diameter yang lebih kecil [10].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa perbedaan viskositas larutan pada masing-masing *nozzle* memengaruhi karakteristik serat yang dihasilkan, di mana larutan dengan viskositas tinggi cenderung menghasilkan serat berdiameter lebih besar, sedangkan larutan dengan viskositas rendah lebih mudah tertarik sehingga membentuk serat dengan diameter lebih kecil. Selain itu, kombinasi antara ukuran *nozzle* dan konsentrasi larutan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap morfologi serat, termasuk bentuk, ukuran, dan kualitas permukaan, dalam proses pembentukan serat menggunakan metode *wet spinning*.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. N. Kalva, Y. Zakaria, C. A. Velasquez, and M. Koç, "Tailoring the mechanical and degradation properties of 3DP PLA/PCL scaffolds for biomedical applications," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 64, no. 1, 2025, doi: 10.1515/rams-2025-0098.
- [2] T. Aldhafeeri, M. Alotaibi, and C. F. Barry, "Impact of processing method on the stability of *Poly(lactic Acid)*," in *AIP Conference Proceedings*, 2023. doi: 10.1063/5.0168335.
- [3] J. Idaszek, A. Bruinink, and W. Swięszkowski, "Poly(ϵ -caprolactone) and its biodegradation," in *Polycaprolactones: Properties, Applications and Selected Research*, 2016, pp. 29–60. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85021920111&partnerID=40&md5=3d0b3da23d5b42e35d38e9741212f226>
- [4] S. Viju, G. Thilagavathi, and B. Gupta, "Preparation and properties of PLLA/PLCL fibres for potential use as a monofilament suture," *J. Text. Inst.*, vol. 101, no. 9, pp. 835–841, 2010, doi: 10.1080/00405000902879718.
- [5] S. B. Chaudhari, T. N. Shaikh, D. Sharma, and K. Vadodaria, "A review on influence of coagulation rate onto structural and physical properties of wet-spun acrylic fibres," *Man-Made Text. India*, vol. 48, no. 9, pp. 299–303, 2020, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

-
- 85092416795&partnerID=40&md5=c07d93267dafbc1b38c3a198b2a151f9
- [6] L. Kong and G. R. Ziegler, "Fabrication of κ -Carrageenan Fibers by *Wet spinning*: Spinning Parameters," *Materials (Basel)*, vol. 4, no. 10, pp. 1805–1817, 2011, doi: 10.3390/ma4101805.
- [7] M. R. Williamson and A. G. A. Coombes, "Gravity spinning of *Polycaprolactone* fibres for applications in tissue engineering," *Biomaterials*, vol. 25, no. 3, pp. 459–465, 2004, doi: 10.1016/S0142-9612(03)00536-2.
- [8] D. Puppi and F. Chiellini, "Wet-spinning of biomedical polymers: from single-fibre production to additive manufacturing of three-dimensional scaffolds," *Polym. Int.*, vol. 66, no. 12, pp. 1690–1696, 2017, doi: 10.1002/pi.5332.
- [9] D. R. Rohindra, R. A. Lata, and R. K. Coll, "A simple experiment to determine the activation energy of the viscous flow of polymer solutions using a glass capillary viscometer," *Eur. J. Phys.*, vol. 33, no. 5, pp. 1457–1464, 2012, doi: 10.1088/0143-0807/33/5/1457.
- [10] H.-S. Chien and C. Wang, "Effects of temperature and carbon nanocapsules (CNCs) on the production of poly(D,L-lactic acid) (PLA) nonwoven nanofibre mat," *Fibres Text. East. Eur.*, vol. 97, no. 1, pp. 72–77, 2013, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84871890436&partnerID=40&md5=c2c4320d79555a57f7122fc2f48cf5bf>