

PENDEKATAN FOTO MAKRO DAN UJI DENSITAS UNTUK KARAKTERISASI BENANG *POLYLACTIC ACID*

*Muhammad Firza Arifin¹, 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: za481432@gmail.com

Abstrak

Permasalahan lingkungan akibat akumulasi limbah plastik yang sulit terurai telah mendorong pengembangan material alternatif berbasis polimer *biodegradable*. Salah satu kandidat potensial adalah *Polylactic Acid* (PLA), yang bersifat ramah lingkungan, biokompatibel, serta berasal dari sumber terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik benang PLA hasil proses wet spinning melalui dua pendekatan utama, yaitu pengujian foto makro dan pengujian densitas. Proses pembuatan benang dilakukan dengan variasi diameter serat sebesar 0,5 mm, 0,8 mm, dan 1 mm, menggunakan metode pemintalan sederhana. Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan foto makro untuk menilai keseragaman dan kondisi permukaan benang, sedangkan pengukuran densitas dilakukan dengan gas piknometer *Quantachrome Ultrapyc 1200e* untuk memperoleh nilai *true density* yang mencerminkan tingkat kekompakan material. Hasil pengujian foto makro menunjukkan adanya ketidakhomogenan diameter pada setiap sampel akibat variasi tekanan ekstrusi, kecepatan alir, serta kestabilan puntiran selama proses pemintalan. Permukaan benang juga menunjukkan ketidakteraturan yang menandakan viskositas larutan dan tegangan permukaan belum optimal. Nilai densitas rata-rata yang diperoleh sebesar 0,0186 g/cc, jauh di bawah densitas teoritis PLA ($\pm 1,24$ g/cm³), menunjukkan adanya mikroporositas yang terbentuk selama proses koagulasi larutan. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa kualitas morfologi dan densitas benang PLA sangat dipengaruhi oleh parameter proses pemintalan dan karakteristik larutan polimer. Penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan proses pemintalan PLA dengan sistem kontrol yang lebih presisi guna menghasilkan benang dengan dimensi dan kekompakan yang lebih seragam.

Kata kunci: benang; densitas; foto makro; *polylactic acid* (pla)

Abstract

Environmental issues arising from the accumulation of non-biodegradable plastic waste have encouraged the development of alternative materials based on biodegradable polymers. One promising candidate is *Polylactic Acid* (PLA), a renewable and eco-friendly polymer with excellent biocompatibility. This study aims to investigate the characteristics of PLA yarns produced through the wet spinning method using macro-photographic observation and density measurement. The yarns were fabricated with diameter variations of 0.5 mm, 0.8 mm, and 1 mm using a simple spinning setup. Morphological evaluation was performed through macro-photography to assess surface uniformity, while true density was measured using a gas pycnometer (*Quantachrome UltraPyc 1200e*), which determines sample volume based on helium gas displacement for accurate density estimation of porous or compact materials. Macro-photography results revealed non-uniform fiber diameters caused by fluctuations in extrusion pressure, flow rate, and twisting stability during spinning. The irregular surface texture indicated suboptimal solution viscosity and surface tension control. The measured average density of 0.0186 g/cc, significantly lower than the theoretical PLA density (± 1.24 g/cm³), suggests the presence of micro-porosity formed during the coagulation phase. Overall, the results demonstrate that the morphological and density properties of PLA yarns are strongly influenced by spinning parameters and polymer solution characteristics. This study provides a foundation for optimizing PLA wet-spinning processes through improved flow, viscosity, and tension control to produce yarns with more uniform and compact structures.

Keywords: density; macro photography; *polylactic acid* (pla); yarns

1. Pendahuluan

Permasalahan lingkungan yang kompleks, terutama mengenai limbah plastik yang sangat sulit untuk diuraikan, membuat berbagai pihak terutama peneliti dan akademisi tergerak untuk mengembangkan bahan plastik dengan

komposisi yang lebih mudah terdegradasi. Plastik konvensional yang berasal dari bahan petrokimia memiliki waktu degradasi yang sangat lama yaitu berkisar antara puluhan hingga ratusan tahun, sehingga akumulasi limbah plastik di lingkungan dapat menyebabkan berbagai permasalahan ekosistem [1]. Oleh karena itu, pengembangan material berbasis *biodegradable polymer* menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Material ini dirancang untuk mengalami degradasi secara alami melalui aktivitas mikroorganisme, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan [2].

Polylactic Acid (PLA) merupakan salah satu polimer *biodegradable* yang banyak diteliti karena sifatnya yang ramah lingkungan, biokompatibel, serta berasal dari sumber terbarukan. PLA telah digunakan secara luas dalam bidang medis, termasuk pada rekayasa jaringan, sistem penghantaran obat, hingga aplikasi sebagai *scaffold* [3]. Selain itu, PLA juga memiliki potensi besar dalam industri tekstil sebagai bahan baku serat dan benang [4]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PLA dapat terdegradasi melalui proses kompos, enzimatik, maupun kondisi tanah, meskipun laju degradasinya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan [5].

Untuk memastikan kualitas benang PLA yang dihasilkan, diperlukan serangkaian karakterisasi. Salah satu pendekatan yang penting adalah pengamatan foto makro yang memberikan gambaran visual mengenai permukaan, keseragaman, dan potensi cacat pada benang. Selain itu, uji densitas dapat memberikan informasi mengenai kerapatan material yang berhubungan erat dengan kekompakan dan porositas benang. Kombinasi kedua metode ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai karakteristik benang PLA.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis benang *Polylactic Acid* (PLA) melalui pendekatan foto makro dan uji densitas. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai hubungan struktur permukaan dan kerapatan material, serta menjadi dasar bagi pengembangan benang PLA dalam berbagai aplikasi, baik di bidang tekstil maupun biomedis.

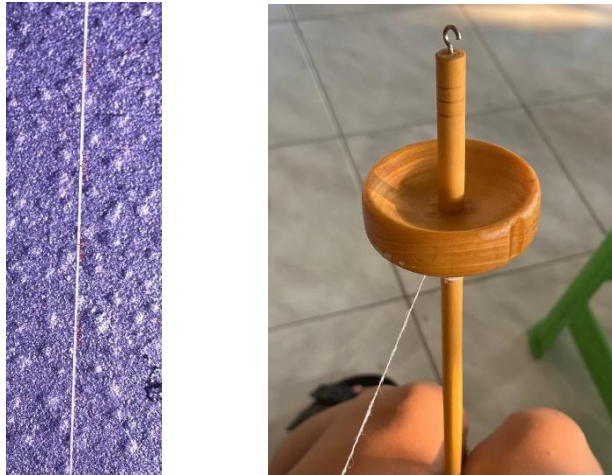
2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur mengenai pembuatan benang *Polylactic Acid* (PLA) menggunakan metode *wet-spinning* untuk memahami sifat material, pelarut, dan parameter proses yang berpengaruh. Selanjutnya dilakukan persiapan alat dan bahan, diikuti dengan pembuatan larutan PLA menggunakan pelarut kloroform serta proses ekstrusi dan pemintalan sederhana untuk membentuk benang PLA dengan variasi diameter. Benang yang dihasilkan kemudian diuji melalui foto makro untuk melihat morfologi permukaan dan uji densitas menggunakan *Quantachrome Ultrapyc 1200e* guna mengetahui kerapatan material. Alur keseluruhan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahapan pembuatan serat PLA. Material PLA ditimbang sesuai komposisi yang telah ditentukan, yaitu dengan konsentrasi 10% yang dilarutkan dalam 50 ml pelarut pada *beaker glass*. Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama satu jam setengah hingga polimer benar-benar larut. Larutan polimer selanjutnya dimasukkan ke dalam jarum suntik yang telah dipastikan bersih dan kering, lalu diekstrusi ke dalam bak koagulan untuk membentuk serat. Serat yang terbentuk ditarik perlahan menuju *spull*, dengan variasi ukuran jarum suntik serta konsentrasi larutan sebagai parameter penelitian. Setelah serat PLA diperoleh, tahapan berikutnya adalah pembuatan benang. Serat yang sudah terbentuk diluruskan dan diatur orientasinya agar lebih seragam, kemudian digabungkan dengan beberapa serat lain untuk meningkatkan keseragaman serta memperbaiki sifat mekaniknya. Pada tahap selanjutnya, serat-serat tersebut dipuntir (*twisting*) sehingga menyatu menjadi benang PLA yang lebih kuat. Benang hasil pemintalan kemudian digulung pada *cone* sehingga siap untuk digunakan pada proses lanjutan sesuai kebutuhan.



Gambar 2. Pemintalan Benang

Setelah benang *Polylactic Acid* (PLA) diperoleh melalui proses *wet-spinning* dan pemintalan, tahap karakterisasi dilaksanakan untuk menilai kualitas morfologi permukaan serta kerapatan material. Pengamatan morfologi dilakukan dengan fotografi makro (foto makro) pada beberapa titik sepanjang benang untuk mengamati keseragaman serat, cacat permukaan (misal. putus lokal, fibrilasi), dan variasi diameter.



Gambar 3. Mikroskop Makro

Pengujian densitas dilakukan untuk memperoleh nilai *true density* yang merefleksikan kerapatan material pada tingkat partikel/monolit, informasi penting dalam menilai porositas internal dan kekompakan benang PLA. Dalam penelitian ini pengukuran densitas dilaksanakan menggunakan gas piknometer otomatis (*Quantachrome Ultrayc 1200e*), yang bekerja dengan prinsip pengukuran volume sampel melalui perubahan tekanan gas inert (Helium) dan perhitungan densitas berdasarkan massa sampel yang telah ditimbang. Metode piknometry dipilih karena kemampuannya mengukur volume nyata termasuk pori-pori yang tidak terdeteksi oleh pengukuran eksternal, sehingga memberikan estimasi densitas yang lebih akurat untuk material padat atau berpori. Penggunaan gas piknometer sebagai metode densitas telah banyak direkomendasikan dalam studi material padat dan polimer untuk memperoleh nilai densitas sejati yang konsisten [6].

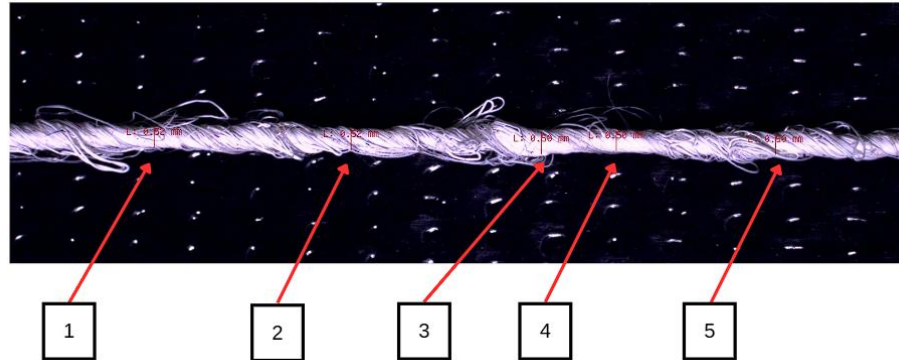


Gambar 4. *Quantachrome Ultrayc 1200e*

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Foto Makro

Gambar 5 menunjukkan foto makro benang PLA berdiameter 0,5 mm (Tabel 1). Permukaan benang tampak cukup halus dan seragam, meski terdapat sedikit serabut bebas akibat ketidaksempurnaan puntiran. Struktur lilitan terlihat rapat dan konsisten, menandakan proses pemintalan berjalan baik. Morfologi ini menunjukkan kerapatan antarserat yang tinggi, sehingga berpotensi memberikan kekuatan tarik yang lebih baik.

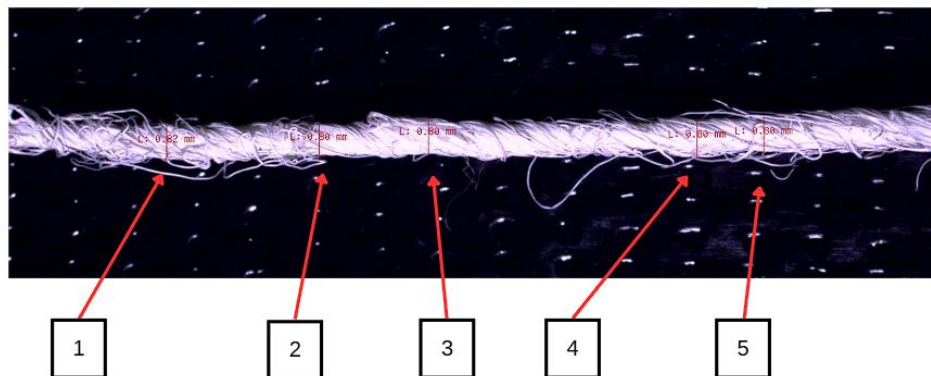


Gambar 5. Foto Makro pada Benang PLA 0,5 mm

Tabel 1. Hasil Pengujian Benang PLA 0,5 mm

Titik Ke-	Diameter Serat (mm)	Diameter Rata – Rata (mm)
1	0,52	
2	0,52	
3	0,50	0,508
4	0,50	
5	0,50	

Gambar 6 menunjukkan foto makro benang PLA dengan diameter rata-rata 0,804 mm (Tabel 2). Permukaan benang tampak lebih padat dan seragam dibandingkan diameter 0,5 mm, dengan lilitan yang konsisten serta sedikit serabut halus. Keseragaman diameter menunjukkan proses pemintalan berjalan stabil dan menghasilkan struktur yang lebih rapat.

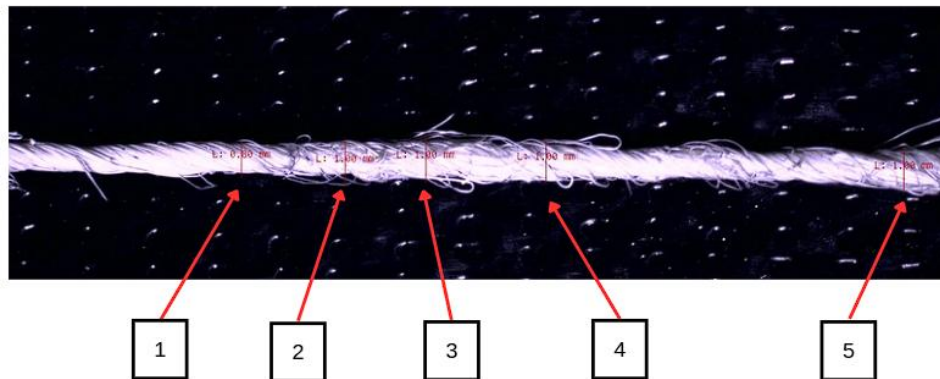


Gambar 6. Foto Makro pada Benang PLA 0,8 mm

Tabel 2. Hasil Pengujian Benang PLA 0,8 mm

Titik Ke-	Diameter Serat (mm)	Diameter Rata – Rata (mm)
1	0,82	
2	0,80	
3	0,80	0,804
4	0,80	
5	0,80	

Gambar 7 menunjukkan hasil foto makro benang PLA dengan diameter rata-rata 0,99 mm (Tabel 3). Permukaan benang tampak lebih rapat dan teratur dibandingkan dengan diameter 0,5 mm dan 0,8 mm, menandakan bahwa proses pemintalan menghasilkan struktur yang lebih padat dan kuat. Benang dengan diameter lebih besar cenderung memiliki ikatan antarserat yang lebih kompak, sehingga mengurangi celah dan meningkatkan kekuatan mekanik.



Gambar 7. Foto Makro pada Benang PLA 1 mm

Tabel 3 Hasil Pengujian Benang PLA 1 mm

Titik Ke-	Diameter Serat (mm)	Diameter Rata – Rata (mm)
1	0,95	
2	0,1	
3	0,1	0,99
4	0,1	
5	0,1	

Hasil pengujian foto makro benang *Polylactic Acid* (PLA) menunjukkan variasi diameter sebesar 0,5 mm, 0,8 mm, dan 1 mm, yang disebabkan oleh proses pemintalan sederhana dengan kontrol kecepatan alir, tekanan ekstrusi, dan gaya puntir yang belum stabil. Sebagaimana dijelaskan oleh Zhang, selama proses *wet-spinning*, perbedaan tekanan dan kecepatan koagulasi antara larutan PLA dan pelarut menyebabkan ketidakhomogenan diameter serat [7].

Selain itu, permukaan benang yang tidak halus diakibatkan oleh variasi viskositas dan tegangan permukaan selama ekstrusi. Hal ini sejalan dengan temuan Iwamoto yang menyatakan bahwa kontrol viskositas dan laju alir sangat memengaruhi keseragaman morfologi serat hasil *wet-spinning* [8]. Menurut Rengasamy, ketidakstabilan gaya puntir dan distribusi serat selama proses pemintalan juga dapat menyebabkan variasi ketebalan serta ketidakhomogenan struktur benang. Oleh karena itu, dibutuhkan proses pemintalan dengan alat berkapasitas industri atau sistem kontrol presisi agar diameter dan kekompakan benang menjadi lebih konsisten [9].

3.2 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan menggunakan alat *Quantachrome Ultrapyc 1200e* untuk menentukan kerapatan benang PLA. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4, diperoleh nilai densitas rata-rata sebesar 0,0186 g/cc dengan deviasi standar 0,0002 g/cc dan *coefficient of variation* sebesar 1,0866%, yang menunjukkan tingkat keseragaman data cukup baik. Nilai volume rata-rata tercatat sebesar 5,6027 cc, menandakan bahwa struktur benang PLA memiliki tingkat kerapatan yang relatif stabil.

Tabel 4. Hasil Analisis Pengujian Densitas

Analysis Results	Nilai
Weight	0,1040 g
Deviation Achieved	0,9728%
Average Volume	5,6027 cc
Volume Std. Dev	0,0609 cc
Average Density	0,0186 g/cc
Density Std. Dev	0,0002 g/cc
Coefficient of Variation	1,0866%

Tabel 5 menunjukkan hasil analisis yang didapatkan dalam pengujian densitas menggunakan alat *Quantachrome Ultrapyc 1200e*. Diperoleh berat spesimen 0,1040 g, volume rata-rata 5,6027 cc, dan densitas rata-rata 0,0186 g/cc dengan koefisien variasi 1,0866%, menunjukkan data yang stabil dan konsisten. Nilai densitas ini lebih rendah dari densitas teoritis PLA ($\pm 1,24$ g/cm³) akibat kemungkinan terbentuknya pori mikro selama proses *wet-spinning*.

Fenomena ini sesuai dengan temuan Lin yang menjelaskan bahwa interaksi pelarut dan non-pelarut dapat membentuk struktur berpori dan menurunkan densitas efektif material [10].

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Densitas

<i>Run Data</i>		
<i>Run</i>	<i>Volume (cc)</i>	<i>Density (g/cc)</i>
1	5,6670	0,0184
2	5,6202	0,0185
3	5,5210	0,0188
Rata - rata		0,0186

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai karakterisasi benang *Polylactic Acid* (PLA) menggunakan pendekatan foto makro dan uji densitas, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil foto makro menunjukkan bahwa peningkatan diameter benang dari 0,5 mm, 0,8 mm, hingga 1,0 mm berpengaruh terhadap kerapatan dan keseragaman struktur benang. Benang berdiameter lebih besar memiliki lilitan yang lebih rapat, permukaan lebih seragam, serta lebih sedikit serabut lepas. Hal ini mengindikasikan peningkatan kualitas hasil pemintalan seiring dengan bertambahnya diameter serat.
2. Hasil pengujian densitas menggunakan *Quantachrome Ultrapyce 1200e* menunjukkan nilai densitas rata-rata sebesar 0,0186 g/cc, dengan *coefficient of variation* sebesar 1,0866%, menandakan tingkat keseragaman yang baik. Nilai densitas yang stabil menunjukkan bahwa proses pemintalan menghasilkan struktur benang yang padat dan seragam secara internal.

5. Daftar Pustaka

- [1] Agarwal S. Biodegradable Polymers: Present Opportunities and Challenges in Providing a Microplastic-Free Environment. *Macromol Chem Phys.* 26 Maret 2020;221(6).
- [2] Geyer R, Jambeck JR, Law KL. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv.* 7 Juli 2017;3(7).
- [3] DeStefano V, Khan S, Tabada A. Applications of PLA in modern medicine. *Engineered Regeneration.* 2020;1:76–87.
- [4] Tyler B, Gullotti D, Mangraviti A, Utsuki T, Brem H. Polylactic acid (PLA) controlled delivery carriers for biomedical applications. *Adv Drug Deliv Rev.* Desember 2016;107:163–75.
- [5] Liu Y, Yu D, Zhong W, Yang Q, Wang K. Effect of fiber diameter on mechanical properties and biodegradation behavior of poly(L-lactic acid) monofilaments for medical applications. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 30(7), 80. 2019;
- [6] Aduba DC, An S, Selders GS, Wang J, Andrew Yeudall W, Bowlin GL, dkk. Fabrication, characterization, and *in vitro* evaluation of silver-containing arabinoxylan foams as antimicrobial wound dressing. *J Biomed Mater Res A.* 3 Oktober 2016;104(10):2456–65.
- [7] Xu J, Xin B, Wang C, Zheng Y, Chen C, Zhou M, dkk. Tailoring double-layered fibrous mat of modified polypropylene/cotton fabric for the function of directional moisture transport. *J Appl Polym Sci.* 15 Desember 2020;137(47).
- [8] Iwamoto S, Isogai A, Iwata T. Structure and Mechanical Properties of Wet-Spun Fibers Made from Natural Cellulose Nanofibers. *Biomacromolecules.* 14 Maret 2011;12(3):831–6.
- [9] Rengasamy RS. Fundamental principles of ring spinning of yarns. Dalam: *Advances in Yarn Spinning Technology.* Elsevier; 2010. hlm. 42–78.
- [10] Lin ASP, Barrows TH, Cartmell SH, Guldberg RE. Microarchitectural and mechanical characterization of oriented porous polymer scaffolds. *Biomaterials.* Februari 2003;24(3):481–9.