

ANALISIS HASIL DAN PROSES PEMBUATAN SERAT *POLYLACTIC ACID* (PLA) DENGAN METODE *WET SPINNING*

*Andi Bintang Pahlevi¹, Agus Suprihanto², Gunawan Dwi Hariyadi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: andibintang900@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas pembuatan serat Polylactic Acid (PLA) menggunakan metode wet spinning dengan fokus pada pengaruh parameter proses terhadap kualitas serat yang dihasilkan. Serat PLA dibuat dengan melarutkan PLA dalam pelarut kloroform dan menginjeksikannya ke dalam koagulan etanol menggunakan syringe pump. Variasi ukuran jarum digunakan untuk menghasilkan serat dengan diameter berbeda, yang kemudian diuji sifat fisik dan degradasinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ukuran jarum memengaruhi diameter, densitas, dan laju degradasi serat. Jarum ukuran 23G menghasilkan serat dengan densitas dan laju degradasi tertinggi, menunjukkan bahwa serat berdiameter lebih kecil cenderung mengalami degradasi lebih cepat. Studi ini memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai optimasi proses wet spinning untuk menghasilkan serat PLA dengan performa yang lebih baik.

Kata kunci: densitas; laju degradasi; *polylactic acid* (pla); serat pla; *wet spinning*

Abstract

This study investigates the fabrication of Polylactic Acid (PLA) fibers using the wet spinning method, focusing on how process parameters influence the quality of the resulting fibers. PLA fibers were produced by dissolving PLA in chloroform and injecting the solution into an ethanol coagulation bath using a syringe pump. Different needle sizes were used to produce fibers with varying diameters, which were then tested for their physical properties and degradation behavior. The results show that needle size significantly affects the fiber diameter, density, and degradation rate. The 23G needle produced fibers with the highest density and degradation rate, indicating that smaller-diameter fibers tend to degrade faster. This study provides further insight into optimizing the wet spinning process to produce high-performance PLA fibers.

Keywords: *degradation rate; density; polylactic acid (pla); pla fiber; wet spinning*

1. Pendahuluan

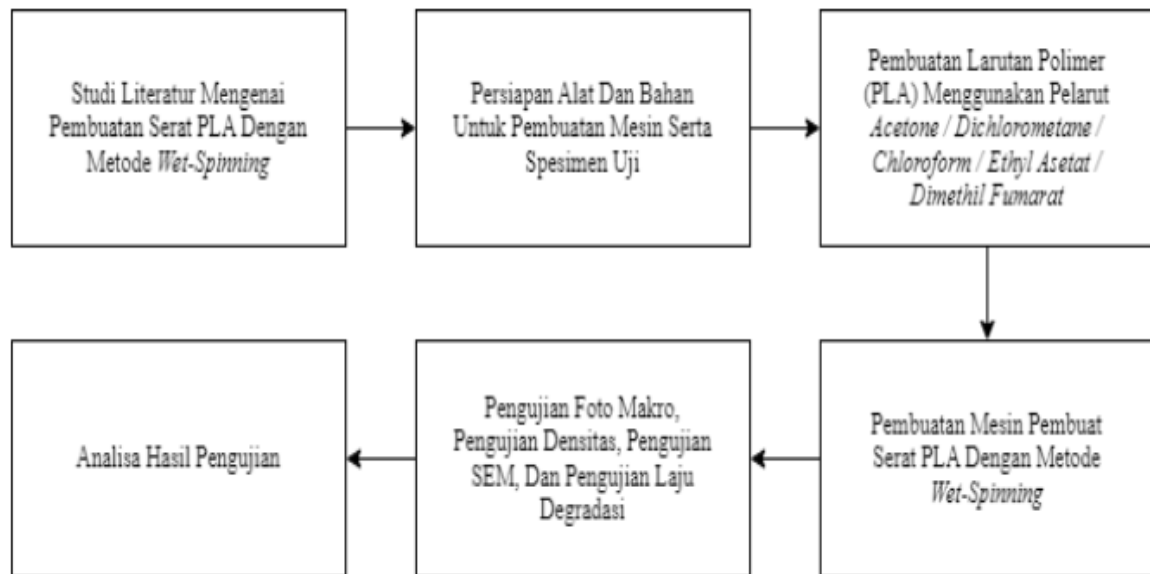
Polimer, seperti *PolyLactic Acid* (PLA), *Polycaprolactone* (PCL), dan *Polyethylene Glycol* (PEG), digunakan secara luas dalam aplikasi medis karena mereka menawarkan fleksibilitas dalam desain dan pengendalian sifat degradasi serta kekuatan mekanik. Salah satu contoh penting adalah PLA yang digunakan secara luas dalam teknik scaffold rekayasa jaringan dan dalam perangkat medis yang membutuhkan degradasi terkontrol di dalam tubuh [1].

PolyLactic Acid (PLA) adalah polimer biodegradable yang berasal dari fermentasi sumber biomassa terbarukan seperti jagung, gula bit, dan singkong, sehingga ramah lingkungan dan cocok untuk berbagai aplikasi seperti kemasan, tekstil, dan medis [2,3]. Secara kimia, PLA merupakan poliester alifatik yang disintesis melalui polikondensasi langsung atau *ring-opening polymerization* dari laktilida, dengan metode terakhir menghasilkan polimer bermolekul tinggi dan sifat mekanik yang lebih baik. PLA memiliki modulus elastis tinggi, kekuatan tarik baik, serta transmisi cahaya tinggi, namun memiliki kelemahan dalam ketangguhan dan ketahanan panas yang dapat diatasi melalui kopolimerisasi atau pencampuran bahan. Meski memiliki keunggulan seperti biodegradabilitas, toksisitas rendah, dan proses produksi yang ramah lingkungan, PLA juga memiliki kekurangan berupa stabilitas termal rendah dan degradasi mekanik selama daur ulang [4,5]. Teknik *wet spinning* adalah metode penting dalam pembuatan serat polimer, termasuk serat PLA, yang melibatkan konversi larutan polimer menjadi serat melalui proses pemadatan dalam cairan koagulan [5]. Setiap tahapan dari persiapan larutan hingga penarikan serat sangat memengaruhi kualitas akhir serat yang dihasilkan [6].

Penelitian ini bertujuan menganalisis berbagai parameter proses *wet spinning* yang berperan dalam menentukan sifat fisik serat PLA. Dengan memahami pengaruh parameter-parameter ini, proses *wet spinning* dapat dioptimalkan untuk menghasilkan serat PLA yang efisien dan berkualitas tinggi.

2. Bahan dan Metode Penelitian

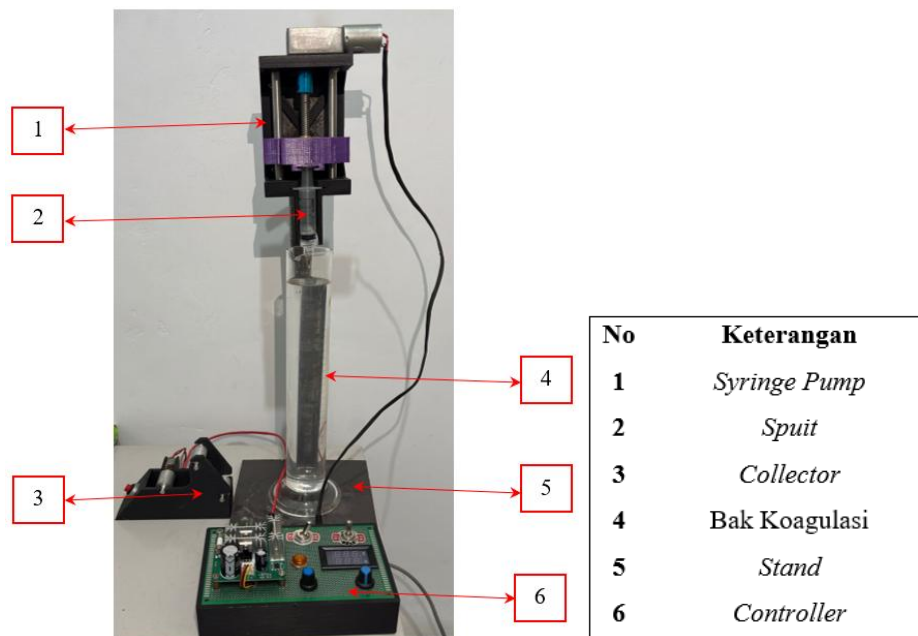
Pada penelitian ini, tahapan yang dilakukan secara berurutan diperlihatkan pada diagram blok penelitian pada Gambar 2.1 berikut. Beberapa pengujian dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis sifat fisik spesimen serat PLA.



Gambar 2.1 Diagram Blok Penelitian

2.1 Pembuatan Serat

Serat PLA diproduksi untuk digunakan sebagai spesimen uji. Pembuatan serat dilakukan melalui beberapa proses meliputi proses pelarutan dan injeksi. Larutan untuk memproduksi serat PLA mengandung PLA berkonsentrasi 10% dan pelarut CHCl_3 . Proses pelarutan dilakukan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 50°C selama 30 menit hingga PLA larut. Larutan PLA dimasukkan ke dalam injektor pada *syringe pump* (Gambar 2.2) dengan ukuran jarum tertentu. Serat PLA akan dihasilkan dengan cara menginjeksi larutan PLA ke dalam wadah berisi koagulan. Koagulan yang digunakan adalah etanol 96%. Serat yang berada di dalam wadah koagulan ditarik secara perlahan lalu dikeringkan.



Gambar 2.2 Syringe Pump

2.2 Uji Densitas

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui densitas serat PLA dalam mengevaluasi kualitas serat PLA [7]. Uji densitas dilakukan berdasarkan hukum Archimedes sesuai standar ASTM D792 [8]. Pengujian ini menggunakan *density meter*. Setiap spesimen dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali.

2.3 Uji Makrografi

Uji makrografi dilakukan untuk memotret dimensi permukaan serat PLA. Pemotretan dilakukan menggunakan mikroskop makrografi dengan kapasitas perbesaran 6,7 – 45 kali.

2.4 Uji Laju Degradasi

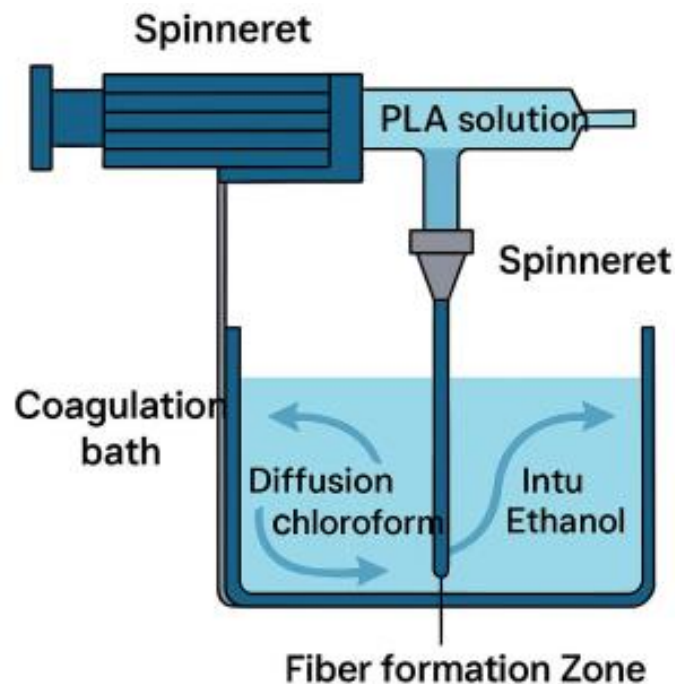
Uji laju degradasi dilakukan untuk menentukan laju degradasi serat PLA berdasarkan pengurangan berat selama waktu tertentu [9,10]. Pengujian dilakukan dengan cara merendam serat PLA pada larutan NaCl 0,9% selama 1 pekan. Selanjutnya, spesimen dikeringkan selama 3 hari dan diukur massanya menggunakan timbangan analitik. Proses pengujian dilakukan sebanyak 6 kali selama 6 pekan .

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proses Pembuatan Serat

Serat PLA (Polylactic Acid) dibentuk melalui metode *wet spinning*. PLA terlebih dahulu dilarutkan dalam pelarut organik berupa kloroform dengan konsentrasi 10% berat per volume. Larutan yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam *syringe pump* yang bertugas mengalirkan larutan tersebut secara perlahan menuju wadah koagulan. Laju aliran pada syringe pump diatur sebesar 0,2 mL per jam. Proses ini dilakukan pada suhu ruangan.

Ketika larutan PLA-kloroform keluar dari jarum dan masuk ke dalam bak yang berisi alkohol 96% sebagai koagulan, terjadi pertukaran massa antara pelarut (kloroform) dan non-pelarut (alkohol). Kloroform mulai berdifusi keluar dari larutan, sementara alkohol berdifusi masuk ke dalamnya. Interaksi ini menyebabkan larutan PLA kehilangan pelarutnya, yang kemudian memicu terjadinya transisi dari fase larutan menjadi fase padat, sehingga terbentuk serat PLA. Proses ini diilustrasikan pada Gambar 3.1.

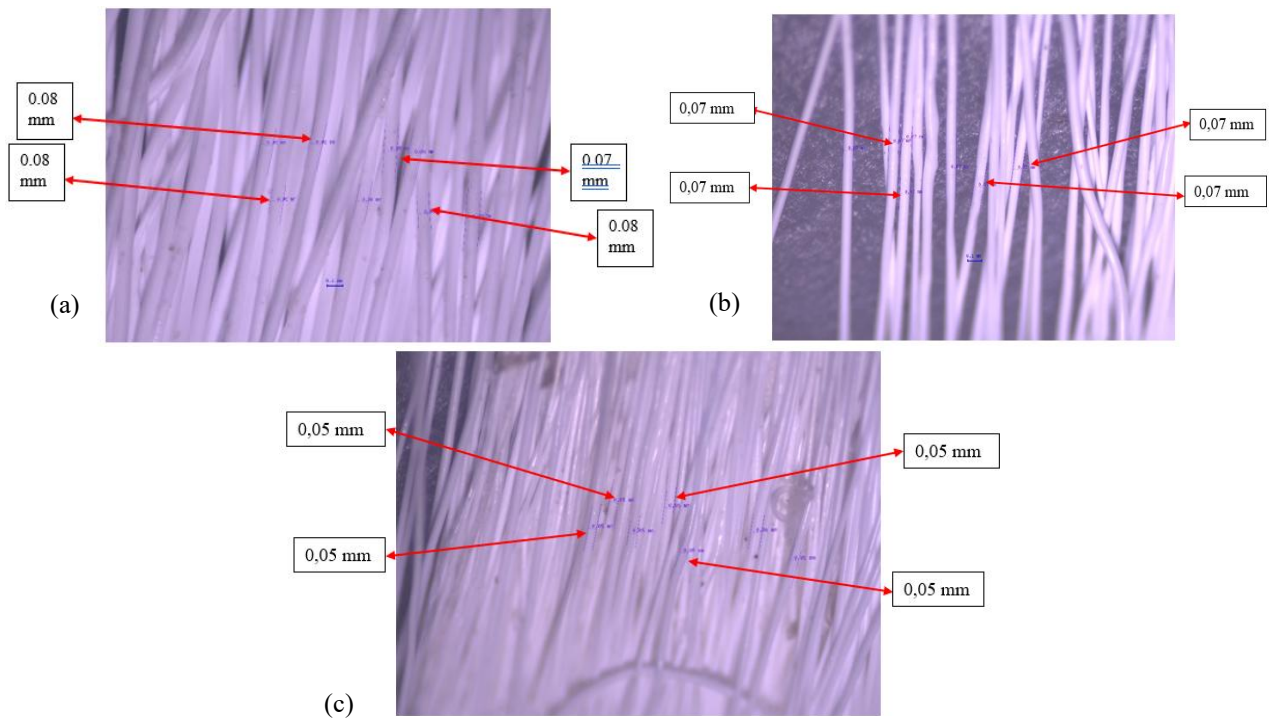


Gambar 3.1 Proses Terbentuknya Serat PLA

3.2 Uji Makrografi

Berdasarkan hasil pengujian foto makro yang ditampilkan pada Gambar 3.2 dan Tabel 3.1, terlihat bahwa variasi ukuran jarum suntik berpengaruh terhadap diameter serat PLA yang dihasilkan. Penggunaan jarum berukuran 21G menghasilkan serat dengan diameter 0,08 mm, sementara jarum 23G menghasilkan serat berdiameter 0,07 mm. Adapun penggunaan jarum berukuran 25G menghasilkan serat dengan diameter yang lebih kecil, yaitu 0,05 mm.

Perbedaan ini disebabkan oleh ukuran inner diameter jarum suntik yang memengaruhi volume larutan yang dapat diekstrusi selama proses pembentukan serat. Jarum dengan *inner diameter* lebih kecil (semakin besar angka G) membatasi laju aliran larutan, sehingga serat yang terbentuk cenderung lebih tipis. Selain itu, semakin kecil diameter jarum, semakin besar pula tekanan yang dibutuhkan untuk mengekstrusi larutan, yang menyebabkan aliran larutan menjadi lebih terarah dan stabil. Hal ini berkontribusi terhadap terbentuknya serat dengan diameter yang lebih kecil dan seragam.



Gambar 3.2 Pemetretan Serat PLA. (a) Serat PLA 21G. (b) Serat PLA 23G. (c) Serat PLA 25G.

Tabel 3.1 Ukuran diameter serat PLA berdasarkan ukuran jarum

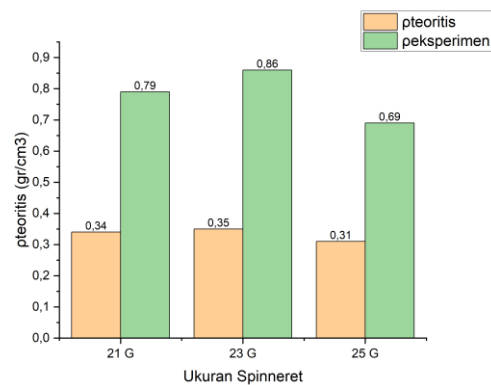
No	Ukuran Jarum	Diameter Serat Rata-Rata (mm)
1	21G	0,08
2	23G	0,07
3	25G	0,05

3.3 Uji Densitas

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 3.3, terlihat bahwa nilai densitas serat PLA hasil perhitungan teoritis cenderung lebih rendah dibandingkan dengan densitas yang diperoleh melalui pengujian eksperimental. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa densitas serat secara konsisten lebih tinggi daripada nilai teoritis untuk semua variasi ukuran *spinneret*.

Pada *spinneret* berukuran 21G, densitas teoritis tercatat sebesar 0,34 g/cm³, sedangkan hasil eksperimen menunjukkan nilai sebesar 0,79 g/cm³. Untuk *spinneret* 23G, nilai teoritis sebesar 0,35 g/cm³, sementara pengujian menghasilkan nilai tertinggi yaitu 0,86 g/cm³. Sementara itu, pada *spinneret* 25G, densitas teoritis adalah 0,31 g/cm³ dan hasil eksperimen menunjukkan nilai sebesar 0,69 g/cm³.

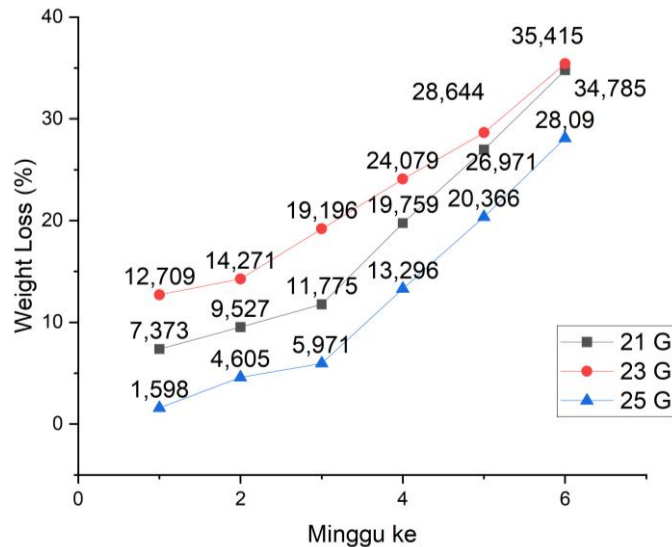
Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh asumsi dasar dalam perhitungan teoritis yang menganggap material terbentuk secara sempurna tanpa cacat, rongga, atau ketidakteraturan struktural. Namun, dalam proses nyata seperti *wet spinning* menggunakan *spinneret*, dapat terjadi variasi dalam struktur internal serat, misalnya porositas, ketidakteraturan ukuran, atau adanya udara yang terperangkap di dalam material, sehingga dapat memengaruhi nilai densitas aktual serat.



Gambar 3.3 Perbandingan nilai densitas eksperimen dan teoritis pada setiap spesimen serat PLA

3.4 Uji Laju Degradasi

Hasil pengujian laju degradasi serat PLA selama 6 pekan dalam larutan NaCl yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 menunjukkan adanya peningkatan persentase penurunan berat (*weight loss*) seiring bertambahnya waktu perendaman. Tiga variasi ukuran jarum yang digunakan menunjukkan laju degradasi yang berbeda-beda.



Gambar 3.4 Penurunan massa serat PLA selama 6 pekan

Ukuran 23G mengalami degradasi paling tinggi dengan *weight loss* sebesar 35,4% pada pekan ke-6, diikuti oleh ukuran 21G sebesar 34,78%, dan ukuran 25G sebesar 28,09%. Hal ini menunjukkan bahwa diameter serat PLA berperan penting dalam menentukan tingkat degradasi. Serat dengan diameter lebih kecil (yang dihasilkan oleh jarum berukuran G lebih besar) cenderung terdegradasi lebih cepat. Hal ini dapat dijelaskan oleh rasio luas permukaan terhadap volume yang lebih tinggi pada serat berdiameter kecil, sehingga memungkinkan penetrasi ion-ion dari larutan secara lebih efisien dan mempercepat proses hidrolisis rantai polimer PLA. Secara keseluruhan, peningkatan *weight loss* yang diamati mencerminkan berlangsungnya proses degradasi struktur polimer akibat interaksi kimia antara PLA dan lingkungan perendaman.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Pembuatan serat PLA dengan metode *wet spinning* dapat dilakukan menggunakan *syringe pump*.
2. Densitas tertinggi diperoleh pada serat PLA yang diproduksi melalui ukuran jarum 23G dengan nilai densitas eksperimen 0,35 gram/cm³ dan densitas teoritis 0,86 gram/cm³.
3. Hasil uji laju degradasi menunjukkan bahwa seluruh variasi serat PLA mengalami penurunan massa selama bertambahnya waktu perendaman. Serat PLA yang diproduksi melalui jarum 23G mengalami penurunan massa tertinggi yaitu sebesar 31,415% pada pekan keenam. Hal ini menunjukkan bahwa serat dengan diameter kecil cenderung terdegradasi lebih cepat.

5. Daftar Pustaka

- [1] Chong ETJ, Ng JW, Lee PC. Classification and Medical Applications of Biomaterials—A Mini Review. *BIO Integration*. 2023;4(2).
- [2] Auras R, Lim L, Selke SEM, Tsuji H. Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications. Auras R, Lim L, Selke SEM, Tsuji H, editors. Wiley; 2010.
- [3] Nair LS, Laurencin CT. Biodegradable polymers as biomaterials. *Prog Polym Sci*. 2007 Aug;32(8–9):762–98.
- [4] Wang P, Xia L, Jian R, Ai Y, Zheng X, Chen G, Wang J. Flame-retarding epoxy resin with an efficient P/N/S-containing flame retardant: Preparation, thermal stability, and flame retardance. *Polym Degrad Stab*. 2018 Mar;149:69–77.
- [5] Imura Y, Hogan RMC, Jaffe M. Dry spinning of synthetic polymer fibers. In: *Advances in Filament Yarn Spinning of Textiles and Polymers*. Elsevier; 2014. p. 187–202.
- [6] Haleem A, Kumar V, Kumar L. Mathematical Modelling & Pressure Drop Analysis of Fused Deposition Modelling Feed Wire. *International Journal of Engineering and Technology*. 2017 Aug 31;9(4):2885–94.
- [7] Callister WD. *Materials science and engineering : an introduction*. John Wiley & Sons; 2007. 22 p.

-
- [8] ASTM D792. Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement [Internet]. ASTM D792. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2020. Available from: <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D792-20>
- [9] Naghdinasab M, Farrokhhabadi A, Madadi H. A numerical method to evaluate the material properties degradation in composite RVEs due to fiber-matrix debonding and induced matrix cracking. *Finite Elements in Analysis and Design*. 2018 Jul;146:84–95.
- [10] Mohazzab P. Archimedes' Principle Revisited. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2017;05(04):836–43.