

Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Volume 4, Nomor 1, 2026, P. 291-299
E-ISSN: 2986-6340
Licenced by CC BY-SA 4.0
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.18303525>

Analisis Variasi Suhu Terhadap Kekuatan Tarik Bio Filament Berbahan PLA dan Serat Pati Kulit Singkong

Analysis of Temperature Variations on the Tensile Strength of Bio-Filaments Made from PLA and Cassava Peel Starch Fibers

Afta Nobby Waskita

¹Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia
 E-mail: aftanobby.21018@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Permasalahan limbah plastik konvensional yang tidak mudah terurai mendorong penelitian terhadap material alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi suhu ekstrusi terhadap kekuatan tarik biofilament berbahan Polylactic Acid (PLA) dan serat pati kulit singkong melalui proses ekstrusi filament. Biofilament diproduksi dengan tiga variasi suhu pemrosesan, yaitu 150°C, 160°C, dan 170°C dengan dimensi standar pengujian ASTM D2256. Pengujian mekanik dilakukan menggunakan Universal Testing Machine untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan regangan dari masing-masing variasi suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu ekstrusi berdampak signifikan terhadap penurunan kekuatan mekanik material. Suhu 150°C menghasilkan nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar 97,78 MPa dan regangan 0,28%, sedangkan suhu 170°C menurunkan kekuatan tarik menjadi 38,5 MPa dan regangan 0,19%. Penurunan kualitas mekanik pada suhu tinggi mengindikasikan terjadinya degradasi termal pada rantai polimer PLA dan melemahnya integrasi matriksfiller. Dengan demikian, suhu ekstrusi 150°C dinilai paling optimal dalam menghasilkan biofilament PLApati kulit singkong dengan kekuatan tarik terbaik.

Kata kunci: *Filament biopolimer, PLA, Cassava starch, Material ekstrusi, Tensile test*

Abstract

The problem of conventional plastic waste that is not easily degradable has prompted research into environmentally friendly alternative materials. This study aims to analyze the effect of extrusion temperature variations on the tensile strength of biofilaments made from Polylactic Acid (PLA) and cassava peel starch fibers through the filament extrusion process. Biofilaments were produced with three processing temperature variations, namely 150°C, 160°C, and 170°C with standard ASTM D2256 testing dimensions. Mechanical testing was carried out using a Universal Testing Machine to determine the tensile strength and strain values of each temperature variation. The results showed that an increase in extrusion temperature had a significant effect on the decrease in the mechanical strength of the material. A temperature of 150°C produced the highest tensile strength value of 97.78 MPa and an elongation of 0.28%, while a temperature of 170°C reduced the tensile strength to 38.5 MPa and an elongation of 0.19%. The decline in mechanical quality at high temperatures indicates thermal degradation of the PLA polymer chains and weakening of the matrix-filler integration. Thus, an extrusion temperature of 150°C is considered optimal for producing cassava peel PLA biofilament with the best tensile strength.

Keywords: *Filament biopolimer, PLA, Cassava starch, Material ekstrusi, Tensile test*

Article Info

Received date: 25 Desember 2025

Revised date: 15 Januari 2026

Accepted date: 17 Januari 2026

PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan plastik berbasis minyak bumi telah menimbulkan persoalan lingkungan yang serius, terutama karena sifat plastik konvensional yang sulit terurai secara alami. Material plastik seperti *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), dan *Polystyrene* (PS) membutuhkan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk terdegradasi, sehingga menyebabkan akumulasi sampah yang semakin meningkat di darat maupun laut. Kondisi ini menimbulkan dampak ekologis mulai dari pencemaran tanah, air, hingga terganggunya rantai makanan akibat mikroplastik. Situasi tersebut mendorong penelitian terhadap bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan dapat terurai secara hayati (Dadan Ma'arif, 2022).

Salah satu material polimer terbaru yang memiliki potensi besar sebagai pengganti plastik konvensional adalah Polylactic Acid (PLA). PLA merupakan biopolimer yang diperoleh dari hasil fermentasi biomassa berkarbohidrat seperti jagung, tebu, dan umbi-umbian. Material ini memiliki keunggulan berupa biodegradabilitas, kekuatan mekanik cukup baik, serta titik leleh rendah sehingga cocok diterapkan pada sistem manufaktur seperti teknologi cetak 3D. Namun demikian, pemanfaatan PLA murni dalam pembuatan bioplastik masih memiliki keterbatasan terkait sifat mekaniknya sehingga diperlukan material pendukung lain untuk meningkatkan karakteristiknya (Dadan Ma'arif, 2022).

Sumber hayati yang berpotensi sebagai bahan tambahan PLA adalah pati kulit singkong. Limbah kulit singkong mengandung pati yang dapat dimanfaatkan sebagai filler biopolimer sehingga mampu menambah nilai guna limbah pertanian. Penggabungan PLA dengan pati kulit singkong diharapkan mampu menghasilkan biofilament yang lebih ramah lingkungan, memiliki kekuatan tarik lebih baik, serta dapat dijadikan alternatif bahan industri, termasuk dalam pengembangan filament 3D printing (Irma Hidayati et al., 2023).

Pada proses pembuatan filament, ekstrusi merupakan tahapan yang sangat menentukan kualitas material. Suhu ekstrusi menjadi salah satu parameter kunci yang memengaruhi homogenitas campuran, pembentukan struktur material, serta karakteristik mekaniknya. Suhu yang terlalu tinggi berpotensi merusak struktur rantai polimer PLA, sedangkan suhu terlalu rendah dapat menghambat proses pencampuran material yang berdampak pada kekuatan tarik filament. Oleh karena itu, penelitian mengenai variasi suhu ekstrusi diperlukan untuk mengetahui kondisi optimum dalam pembentukan biofilament berbahan PLA dan pati kulit singkong (Dwi Pradana Putra et al., 2019).

Melalui penelitian ini, dilakukan analisis terhadap pengaruh tiga variasi suhu ekstrusi, yaitu 150°C, 160°C, dan 170°C terhadap kekuatan tarik biofilament yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan kontribusi ilmiah berupa informasi parameter suhu terbaik dalam proses produksi biofilament berbahan dasar PLA dan pati kulit singkong. Selain itu, penelitian ini menjadi langkah awal dalam pengembangan filament bioplastik yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta mendukung upaya pengurangan limbah plastik konvensional terutama pada sektor pencetakan 3D.

DASAR TEORI

Bioplastik dan Lingkungannya

Bioplastik merupakan material polimer yang berasal dari sumber hayati seperti pati, selulosa, minyak nabati, atau mikroorganisme. Karakteristik paling penting dari bioplastik adalah kemampuannya untuk terurai di lingkungan melalui aktivitas mikroba, sehingga mengurangi akumulasi limbah plastik di darat dan laut. Dalam dua dekade terakhir, pengembangan bioplastik menjadi pusat perhatian di bidang material karena meningkatnya kekhawatiran terhadap plastik berbasis minyak bumi yang sulit terurai dan menghasilkan emisi karbon tinggi. Beberapa jenis bioplastik telah dikembangkan seperti PLA, PHB, PHA, dan TPS (*Thermoplastic Starch* (Yusoff et al., 2021)).

Bioplastik tidak hanya dikembangkan untuk menggantikan plastik konvensional, tetapi juga untuk mendorong paradigma industri berkelanjutan. Secara ilmiah, bioplastik menawarkan sifat mekanik yang kompetitif, meskipun tingkat biodegradasi dan kestabilannya ditentukan oleh komposisi kimia, kadar air, serta proses produksi. Hal ini mendukung relevansi penggabungan PLA dan pati kulit singkong sebagai material penelitian karena keduanya berasal dari sumber hayati (Srisuwan & Baimark, 2022).

Polylactic Acid (PLA) sebagai Matriks Polimer

Polylactic Acid (PLA) merupakan biopolimer berbasis asam laktat yang diperoleh melalui proses fermentasi gula dari sumber tanaman seperti jagung dan singkong. PLA dikenal memiliki sifat mekanik yang cukup baik, bersifat termoplastik, serta memiliki titik leleh rendah berkisar 150–175°C sehingga cocok diproses melalui ekstrusi dan pencetakan 3D. Selain itu, PLA bersifat biodegradable, tidak beracun, dan transparan, sehingga banyak diterapkan pada industri kemasan pangan, medis, maupun 3D printing. Namun, PLA murni masih memiliki keterbatasan seperti rapuh dan kurang elastis sehingga membutuhkan bahan tambahan untuk memperbaiki sifat mekaniknya.

Pati Kulit Singkong

Kulit singkong merupakan limbah agroindustri yang mengandung pati dalam jumlah tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan pendukung pembuatan bioplastik. Pati kulit singkong memiliki karakteristik kimia berupa gugus hidroksil yang memungkinkan terjadinya ikatan molekul dengan polimer lain. Penggunaan pati kulit singkong sebagai filler pada komposit polimer mampu meningkatkan biodegradabilitas, menurunkan biaya produksi, serta memanfaatkan limbah pertanian menjadi produk bernilai ekonomis. Namun, karakteristik mekanik pati umumnya lebih rendah dibandingkan polimer sintetik sehingga memerlukan pengolahan dan konsentrasi campuran yang tepat (Sonjaya & Hidayat, 2021).

Filament untuk 3D Printing

Filament merupakan material berbentuk serat termoplastik panjang yang digunakan pada teknologi pencetakan 3D berbasis metode Fused Deposition Modeling (FDM). Filament dipanaskan hingga meleleh melalui nozzle printer kemudian disusun lapis demi lapis membentuk objek tiga dimensi. Kualitas filament dipengaruhi oleh homogenitas material, kestabilan diameter, suhu pelelehan, dan kekuatan mekanik. PLA menjadi salah satu material filament paling populer karena mudah dicetak, memiliki shrinkage rendah, dan tidak memerlukan suhu tinggi untuk ekstrusi. Dalam penelitian ini, filament yang digunakan berbahan dasar PLA yang dicampur dengan pati kulit singkong (Ramadhan, 2024).



Gambar 1. *Filamen*

Proses Ekstrusi Filament

Proses ekstrusi pada polimer merupakan metode pembentukan material dengan cara melelehkan plastik dan menyalurkannya melalui nozzle untuk menghasilkan bentuk serat atau profil tertentu. Temperatur ekstruder menjadi faktor utama yang menentukan pencairan material, homogenitas campuran, viskositas aliran, serta kualitas produk akhir. Apabila suhu terlalu rendah maka pencampuran material tidak sempurna sehingga menurunkan kekuatan tarik. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat memicu degradasi termal pada rantai PLA, menyebabkan penurunan sifat mekanik dan perubahan warna material. Oleh karena itu, penentuan suhu ekstrusi sangat penting dalam proses pembuatan biofilament (Anderson et al., 2017).

Kekuatan Tarik Polimer (Tensile Strength)

Filament dinilai memiliki kekuatan tarik berdasarkan gaya terbesar yang dapat ditahannya sebelum mengalami patahan. Perhitungan nilai kekuatan tarik (σ) diperoleh melalui rumus dasar berikut:

Rumus Kekuatan Tarik Filament :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

- σ : Kekuatan tarik (MPa atau N/mm²)
- F : Gaya tarik maksimum yang diterapkan (N)
- A : Luas penampang melintang *filemant* (mm²)

Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{l_0}$$

Keterangan :

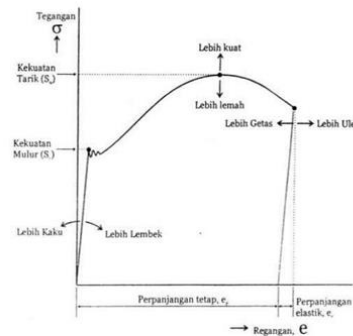
- ε : Regangan akibat gaya tarik
- ΔL : Perubahan panjang (mm)

- L_0 : Panjang awal (mm)
- Modulus Elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Keterangan :

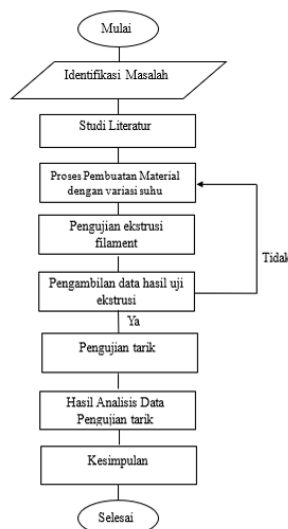
- E : Modulus elastisitas tarik (GPa)
- σ : Tegangan pada daerah elastis (MPa)
- ε : Regangan pada daerah elastis



Gambar 2. Kurva Tegangan Regangan (Oktavian et al., 2021)

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi suhu ekstrusi terhadap kekuatan tarik biofilament berbahan PLA dan pati kulit singkong. Suhu pemrosesan yang digunakan adalah 150°C, 160°C, dan 170°C. Variabel bebas berupa variasi suhu ekstrusi, sedangkan variabel terikatnya adalah kekuatan tarik filament. Variabel kontrol meliputi material filament, ukuran spesimen, serta kondisi lingkungan uji. Penelitian dilaksanakan pada Januari–Juli 2025 melalui tahap perancangan, proses ekstrusi, pengujian tarik, serta analisis data di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Studi Literatur

Tahap awal berupa pengumpulan referensi terkait karakteristik filament PLA, parameter ekstrusi, serta faktor yang memengaruhi sifat mekanik biofilament.

Persiapan Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan berupa mesin ekstrusi, termometer digital untuk monitoring suhu, dan stopwatch untuk tracking waktu proses ekstrusi. Bahan penelitian terdiri dari PLA dan pati kulit singkong yang dikombinasikan sesuai perhitungan komposisi filament

Proses Ekstrusi Filament

Material diproses pada tiga variasi suhu ekstrusi (150°C, 160°C, 170°C). Pada tahap ini, diameter dan kualitas permukaan filament diamati melalui inspeksi visual, serta dilakukan pengukuran awal dimensi filament untuk memastikan kesesuaian dengan standar spesimen uji.

Proses Pendinginan Filament

Filament hasil ekstrusi didinginkan di ruang udara terbuka pada suhu ruang selama ± 24 jam untuk memastikan stabilitas material sebelum pengujian tarik dilakukan.

Uji Tarik Filament

Filament diproses ke tahap pengujian tensile strength menggunakan universal testing machine. Nilai kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas dicatat untuk setiap variasi suhu. Pengujian dilakukan sesuai standar metode tarik untuk filament berbentuk benang.

Analisis Data

Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk membandingkan perubahan sifat mekanik filament pada tiap suhu proses ekstrusi. Hasil ini digunakan untuk menentukan suhu optimal dalam menghasilkan kekuatan tarik terbaik pada filament yang dikembangkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu ekstrusi PLA dan pati kulit singkong terhadap sifat mekanik biofilament. Variasi suhu yang digunakan adalah 150°C, 160°C, dan 170°C. Filament hasil ekstrusi kemudian diuji tarik sesuai standar untuk menentukan nilai kekuatan tarik setiap suhu perlakuan.



Gambar 4. hasil specimen

Hasil Pembuatan Spesimen

Spesimen yang dihasilkan berupa filament berbentuk benang dari campuran PLA dan pati kulit singkong. Semua variasi menghasilkan ukuran filament serupa sesuai standar ASTM D2256, dengan panjang minimal 250 mm dan diameter 1,75 mm.



Gambar 5 dimensi. hasil specimen

Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang pada 2 Juli 2025 menggunakan Universal Testing Machine sesuai standar ASTM D2256. Pengujian dilakukan pada filament hasil ekstrusi PLA dan pati kulit singkong pada tiga variasi suhu (150°C, 160°C, 170°C), dengan tiga spesimen setiap variasi untuk memperoleh nilai rata-rata. Hasil pengujian menunjukkan kemampuan keuletan dan perubahan bentuk material sebelum mengalami kerusakan.

**Gambar 6.** Alat uji tarik**Gambar 7.** Proses uji tarik**Hasil Uji**

Pembahasan penelitian ini menguraikan hasil uji tarik untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan filament yang ditampilkan dalam bentuk grafik menggunakan Excel. Setiap variasi suhu diuji menggunakan tiga spesimen untuk memperoleh nilai rata-rata. Hasilnya menunjukkan bahwa suhu 150°C menghasilkan beban tarik rata-rata tertinggi (10,39 kg; elongasi 0,72 mm). kemudian menurun pada 160°C (7,76 kg; 0,64 mm) dan 170°C (5,83 kg; 0,48 mm). Perbedaan nilai antar spesimen diduga dipengaruhi ketebalan yang tidak seragam, sehingga digunakan nilai rata-rata untuk mempermudah perbandingan performa mekanik.

Tabel I Data Hasil Pengujian Tarik

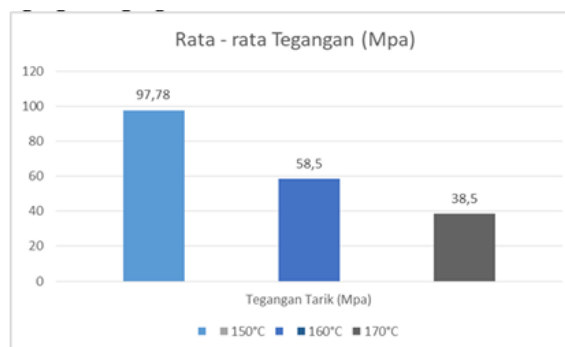
Variasi Suhu	Spesimen	Tensile Strength (kg)	Elongation (ΔL / mm)
150°C	1	9,48	0,66
	2	10	1,11
	3	11,7	0,41
	Rata-rata	10,39	0,72
Variasi Suhu	Spesimen	Tensile Strength (kg)	Elongation (ΔL / mm)
160°C	1	4,87	0,56
	2	7,43	0,83
	3	11	0,53
	Rata-rata	7,76	0,64
170°C	1	6,20	0,5
	2	5,8	0,46
	3	5,5	0,48
	Rata-rata	5,83	0,48

Tabel 2 Data Tegangan Tarik dan Regangan Tarik

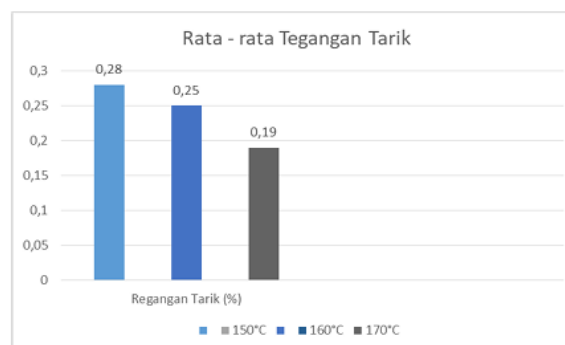
Variasi Suhu	Spesiemen	Tegangan Tarik (Mpa)	Regangan Tarik (%)
150°C	1	93,06	0,26
	2	98,1	0,44
	3	102,2	0,16
	Rata-rata	97,78	0,28
160°C	1	47,79	0,22
	2	58,31	0,33
	3	69,42	0,21
	Rata-rata	58,5	0,25
170°C	1	40,2	0,2
	2	38,5	0,19
	3	36,9	0,17
	Rata Rata	38,5	0,19

Grafis Regangan – Tegangan

Spesimen dengan suhu terendah 150°C menunjukkan nilai rata-rata tertinggi, yaitu 97,78 MPa, sedangkan suhu tertinggi 170°C memperoleh nilai rata-rata terendah 38,5 MPa, sehingga suhu tinggi kurang mampu menahan beban tarik. Pada tegangan tarik, suhu 150°C juga menghasilkan rata-rata tertinggi 0,28%, dan suhu 170°C memperoleh nilai terendah 0,19%, yang berarti suhu tertinggi kurang mampu menahan deformasi.



Gambar 8. Grafik Rata-rata Tegangan (MPa) (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

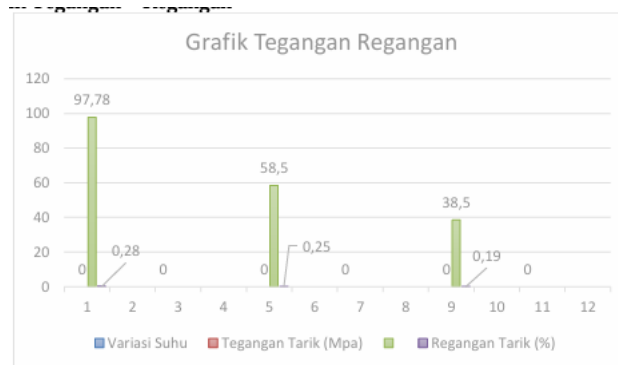


Gambar 9. Grafik Rata-rata Tegangan (MPa) (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Grafis Tegangan – Rengangan

Grafik menunjukkan hubungan tegangan dan regangan tarik pada suhu 150°C, 160°C, dan 170°C. Semakin rendah suhu perlakuan, semakin tinggi tegangan maksimum yang dicapai. Pada 150°C material menahan tegangan tertinggi (97,78 MPa; regangan 0,28%) namun bersifat rapuh. Pada 160°C tegangan turun menjadi 58,5 MPa dengan regangan 0,25%, menandakan material

kurang mampu mengalami deformasi. Pada 170°C nilai tegangan semakin rendah (38,5 MPa) dan regangan juga menurun, menunjukkan material semakin tidak ulet.



Gambar 10. Grafis Tegangan - Regangan

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi suhu ekstrusi berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik biofilament berbahan PLA dan pati kulit singkong. Suhu 150°C menghasilkan performa mekanik terbaik dengan nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 97,78 MPa dan regangan 0,28%, sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu rendah mampu menghasilkan struktur material yang lebih kuat dan stabil. Sebaliknya, kenaikan suhu ekstrusi menyebabkan penurunan sifat mekanik. Pada 160°C, nilai tegangan tarik menurun menjadi 58,5 MPa dan regangan 0,25%, sedangkan pada 170°C turun lebih jauh hingga 38,5 MPa dengan regangan 0,19%, menunjukkan bahwa suhu tinggi menyebabkan degradasi material dan berkurangnya kemampuan material menahan beban tarik.

Dengan demikian, suhu 150°C dinyatakan sebagai kondisi ekstrusi paling optimal untuk menghasilkan filament PLA-PKS dengan kekuatan mekanik tertinggi. Variasi suhu terbukti menjadi faktor penentu kualitas fisik serta kemampuan tarik biofilament yang dihasilkan.

REFERENSI

- Anderson, K. S., Hillmyer, M. A., & Lim, S. H. . (2017). *Toughening Polylactide*. *Journal of Applied Polymer Science*, . 1–10.
- Dadan Ma'arif, K. (2022). Proses Produksi Pengolahan Plastik Polyethylene Di Pt. Plastik Karawang Flexindo. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol 2 no 1, 1–11.
- Dwi Pradana Putra, D. M., H. B. A., & Hartiati, A. (2019). Studi Suhu Dan Ph Gelatinisasi Pada Pembuatan Bioplastik Dari Pati Kulit Singkong. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, , Vol.7 No. 3.
- Irma Hidayati, Ery Tri Djatmika, & Cipto Wardoyo. (2023). Enhancing e-accounting adoption: An analysis of the influence of relative advantage, management support and information system quality on organization. *Edelweiss Applied Science and Technology* , Vol. 9, No. 7, 899–917.
- Oktavian, D., Arifvianto, B., & Mahardika, M. (2021). Ekstruksi Dan Karakterisasi Filamen Komposit Polylactid Acid (Pla) / Carbon Nano Tube (Cnt). *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, Vol.2 No.2.
- Ramadhan, A. (2024). Komparasi Material Filamen 3D Printer Terhadap Hasil Kualitas Cetak Produk Mainan Eggball Submarine. . *Jurnal Rekavasi*, Vol. 12 no 1, 23–34.
- Sonjaya, M. L. , & Hidayat, M. F. (2021). Construction and Analysis of Plastic Extruder Machine for Polyethylene Plastic Waste. . *EPI International Journal of Engineering*, , vol.3 No.2, 132–137.
- Srisuwan, Y. , & Baimark, Y. (2022). *Improvement in Thermal Stability of Flexible Poly(L-lactide)-b-poly(ethylene glycol)-b-poly(L-lactide) Bioplastic by Blending with Native Cassava starch*.

Yusoff, N. H., Narayanan, T., de Souza, F. G., & Pal, K. (2021). Recent trends on bioplastics synthesis and characterizations: Polylactic acid (PLA) incorporated with tapioca starch for packaging applications. *Journal of Molecular Structure*, .