

KOMPOSIT BIOPLASTIK BERBASIS PATI BIJI KARET RAMAH LINGKUNGAN YANG MENGGABUNGKAN SELULOSA TONGKOL JAGUNG, POLIVINIL ALKOHOL, DAN SENG OKSIDA

*Fiana Nurannisa Harahap¹⁾, Netti Herlina²⁾, Adri Huda³⁾,
Sarah Patumona Manalu⁴⁾, Yasmine Anggia Sari⁵⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara

^{2,3,4,5)}Dosen Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara
fiananana333@gmail.com

Abstrak

Bioplastik berbasis pati biji karet memiliki potensi sebagai alternatif ramah lingkungan untuk menggantikan plastik konvensional, namun karakter fisik, mekanik, dan degradasinya masih perlu ditingkatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan selulosa tongkol jagung, polivinil alkohol (PVA), dan zink oksida (ZnO) terhadap sifat fisik, mekanik, dan proses biodegradasi bioplastik. Metode penelitian meliputi pembuatan bioplastik dengan beberapa variasi formulasi, diikuti pengujian karakteristik fisik, kekuatan mekanik, dan uji biodegradasi secara anaerob selama 15 hari. Pengamatan morfologi dilakukan melalui perubahan visual seperti kerusakan struktur, dan pertumbuhan jamur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi bahan tambahan memberikan pengaruh signifikan terhadap performa bioplastik. Variasi C2 menghasilkan sifat fisik dan mekanik terbaik dengan ketebalan merata, fleksibilitas lebih tinggi, serta kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan variasi lainnya. Pada uji biodegradasi, bioplastik mengalami laju dekomposisi cepat, ditandai kehilangan bobot 12,95% pada hari ke-5 dan semakin meningkat hingga hari ke-15. Perubahan warna menjadi kuning, robekan pada struktur, serta pertumbuhan jamur mengindikasikan aktivitas mikroorganisme yang intens terhadap material. Kesimpulannya, penambahan selulosa, PVA, dan ZnO terbukti mampu meningkatkan kualitas bioplastik berbasis pati biji karet tanpa menghambat proses degradasinya. Formulasi C2 direkomendasikan sebagai komposisi optimal untuk pengembangan bioplastik ramah lingkungan dengan performa mekanik yang baik dan kemampuan biodegradasi yang cepat.

Kata-Kata Kunci: Bioplastik, Pati Biji Karet, Selulosa, PVA, Biodegradasi

I. Pendahuluan

Penggunaan plastik secara global mengalami peningkatan dalam beberapa dekade terakhir. Produksi plastik dunia pada tahun 2018 mencapai 359 juta ton, meningkat dari 245 juta ton pada tahun 2008, dan diperkirakan akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2050 jika tidak ada intervensi yang efektif (Chia, 2020). Dominasi plastik berbasis petrokimia dalam berbagai kebutuhan industri mulai dari kemasan, peralatan medis, tekstil, hingga komponen elektronik yang membuat laju konsumsi plastik semakin tidak terkendali. Sayangnya, sifat plastik konvensional yang sulit terdegradasi menyebabkan meningkatnya akumulasi limbah di lingkungan. Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menunjukkan bahwa komposisi sampah nasional didominasi oleh sampah organik (60%), diikuti oleh sampah plastik sebesar 14% (KLHK, 2018). Tingginya tumpukan sampah yang tidak tertangani dengan baik berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK), di mana Word Bank memperkirakan sekitar 1,6 miliar ton CO₂ dilepaskan dari aktivitas pengelolaan sampah pada tahun 2016, dan diprediksi meningkat menjadi 2,6 miliar ton CO₂ pada tahun 2050 (Chia, 2020).

Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan material alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya adalah bioplastik. Bioplastik umumnya diproduksi dari biopolimer

seperti pati, selulosa, atau protein yang memiliki sifat biodegradabel. Di antara biopolimer tersebut, pati banyak digunakan karena ketersediaannya melimpah, harga terjangkau, dan memiliki kemampuan degradasi yang baik (Abdullah dkk., 2019). Meskipun demikian, bioplastik berbasis pati memiliki kelemahan, seperti sifat mekanik yang rendah, kerapuhan, dan sensitivitas tinggi terhadap kelembaban akibat sifat hidrofiliknya. Untuk meningkatkan performa bioplastik, berbagai jenis filler atau penguat ditambahkan, baik dari material organik maupun anorganik.

Salah satu sumber pati potensial di Indonesia adalah biji karet (*Hevea brasiliensis*). Indonesia memiliki luas perkebunan karet mencapai 3–3,6 juta hektar dengan produksi biji karet yang sangat melimpah, namun pemanfaatannya masih terbatas dan sebagian besar terbuang sebagai limbah (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2018; Sukri et al., 2020). Kandungan karbohidrat tinggi pada bungkil biji karet, yaitu sekitar 50 g per 100 g bahan (Kemenkes, 2018), menunjukkan bahwa biji karet berpotensi besar sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik biodegradable.

Selain pati, selulosa juga merupakan bahan penguat yang penting dalam formulasi bioplastik karena karakteristiknya yang kuat, melimpah di alam, dan mampu meningkatkan sifat mekanik biopolimer (Maladi, 2019). Salah satu sumber selulosa yang ekonomis dan berlimpah adalah

tongkol jagung, yang mengandung sekitar 41% selulosa dan merupakan limbah pertanian dengan ketersediaan tinggi (Wening, 2023). Penggunaan selulosa tongkol jagung sebagai filler tidak hanya meningkatkan performa bioplastik, tetapi juga membantu mengurangi limbah pertanian.

Selain selulosa, polimer sintetik biodegradable seperti Polivinil Alkohol (PVA) juga sering digunakan sebagai penguat karena memiliki sifat mekanik yang baik, elongasi tinggi, serta kompatibilitas yang baik dengan biopolimer alami (Maladi, 2019). Penambahan partikel anorganik seperti zink oksida (ZnO) turut memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kekuatan tarik, stabilitas termal, serta sifat antimikroba bioplastik (Maladi, 2019).

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji kombinasi bahan-bahan tersebut pada sistem bioplastik. Maladi (2019) menghasilkan bioplastik berbahan dasar kulit singkong dengan selulosa jerami padi, PVA, dan ZnO yang menunjukkan kuat tarik hingga 37,38 MPa dan memenuhi standar SNI 7188.7:2016. Danni et al. (2023) meneliti bioplastik dari pati kulit singkong dan selulosa tongkol jagung serta melaporkan peningkatan kekuatan tarik hingga 6,008 MPa dan waktu biodegradasi 27–34 hari. Wening dan Amalia (2023) juga melaporkan peningkatan sifat mekanik dan biodegradasi pada bioplastik berbasis pati kulit singkong dengan penambahan PVA dan TiO₂. Penelitian lain oleh Putra et al. (2019) serta Qomariah et al. (2022) menggarisbawahi peran selulosa dan PVA dalam meningkatkan kekuatan mekanik bioplastik.

Meskipun penelitian tentang bioplastik telah banyak dilakukan, pemanfaatan biji karet sebagai bahan dasar kombinasi dengan selulosa tongkol jagung, PVA, dan ZnO masih sangat terbatas. Sebagian penelitian sebelumnya hanya menggunakan kitosan sebagai filler atau plasticizer tertentu, sehingga formulasi yang mengombinasikan pati biji karet dengan selulosa dan bahan penguat lainnya masih perlu dikembangkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi penambahan selulosa tongkol jagung, PVA, dan ZnO terhadap sifat fisik, mekanik, morfologi, dan biodegradasi bioplastik berbahan dasar pati biji karet menggunakan metode melt-intercalation..

II. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan menerapkan teknik melt-intercalation atau inversi fasa dalam proses pembuatan bioplastik. Metode ini dipilih karena memungkinkan terjadinya pencampuran homogen antara pati biji karet, selulosa tongkol jagung, polivinil alkohol (PVA), dan zink oksida (ZnO) melalui proses pemanasan dan pengadukan terkendali hingga menghasilkan larutan polimer yang stabil sebelum mengalami perubahan fase menjadi film bioplastik padat. Selain itu, metode ini mendukung pembentukan struktur matriks yang

lebih terdispersi sehingga memudahkan analisis pengaruh penambahan filler terhadap karakteristik bioplastik. Tahapan penelitian meliputi ekstraksi pati biji karet dan isolasi selulosa tongkol jagung melalui proses delignifikasi dan *bleaching*, dilanjutkan dengan formulasi bioplastik menggunakan variasi konsentrasi PVA dan ZnO. Setelah proses pencetakan dan pengeringan, bioplastik yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan uji standar, yaitu uji daya serap air sesuai SNI 7188.7:2016, uji kuat tarik dan elongasi mengikuti ASTM D882, analisis gugus fungsi menggunakan FTIR, analisis morfologi menggunakan SEM, serta uji biodegradasi menggunakan metode soil burial test pada kondisi aerobik dan anaerobik.

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Buangan Padat, Departemen Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara (USU), yang digunakan untuk seluruh proses preparasi bahan, pembuatan bioplastik, serta pengujian karakteristik fisik dan kimianya. Bahan utama berupa biji karet diperoleh dari Perkebunan Karet PT Socfin Indonesia yang berlokasi di Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Seluruh rangkaian penelitian, mulai dari ekstraksi pati dan selulosa hingga analisis laboratorium, dilakukan pada periode Juni hingga Agustus 2025.

2.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa instrumen utama, yaitu Fourier Transform Infrared (FTIR) Shimadzu IR Prestige-21 untuk analisis gugus fungsi, Scanning Electron Microscopy (SEM) Hitachi SU 3500 untuk karakterisasi morfologi, Particle Size Analyzer (PSA) Horiba SZ-100, serta alat uji tarik Stograph-R1 Toyoseiki untuk pengukuran kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Selain itu, digunakan pula spektrofotometer, oven pengering, *magnetic stirrer*, neraca analitik, ayakan 40 dan 100 mesh, cetakan silikon berukuran 10 × 10 cm, serta peralatan gelas laboratorium. Bahan yang digunakan terdiri atas pati biji karet sebagai matriks utama, selulosa tongkol jagung sebagai penguat alami, polivinil alkohol (PVA) dan zink oksida (ZnO) sebagai bahan penguat tambahan, serta gliserol sebagai plastisizer. Aquades, heksana, HNO₃, NaOH, Na₂SO₃, dan H₂O₂ digunakan sebagai bahan kimia pendukung dalam proses ekstraksi dan pemurnian.

2.3 Preparasi Bahan

Ekstraksi pati biji karet dilakukan dengan mengupas biji karet, kemudian merendamnya selama tiga hari sebelum dicuci, dihaluskan dengan penambahan air (1:2), dan disaring untuk memisahkan suspensi dari ampas. Hasil filtrat diendapkan selama 24 jam, lalu endapan pati dikeringkan pada suhu 50–70°C selama 6–24 jam. Pati yang diperoleh kemudian dicuci menggunakan heksana untuk menghilangkan

kandungan minyak, disaring kembali, dikeringkan pada suhu 60–80°C selama 24 jam, dan selanjutnya diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam. Sementara itu, isolasi selulosa tongkol jagung dilakukan dengan mengeringkan dan mencacah tongkol jagung, kemudian mengayaknya pada mesh 80–100. Serbuk tongkol jagung direaksikan dengan larutan HNO_3 3,5% pada suhu 90°C selama 2 jam, disaring, dan dicuci hingga netral. Proses delignifikasi dilakukan dengan NaOH 2% dan Na_2SO_3 2% pada suhu 50°C selama 1 jam, dilanjutkan perlakuan NaOH 17,5% pada suhu 80°C selama 30 menit. Pemurnian dilakukan melalui proses bleaching menggunakan H_2O_2 10% pada suhu 90°C selama 90 menit, dan selulosa yang telah dimurnikan kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 6 jam.

2.4 Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan melarutkan 5 g pati biji karet ke dalam 60 mL aquades, kemudian ditambahkan selulosa tongkol jagung sebanyak 1 g serta PVA dan ZnO sesuai variasi komposisi yang ditentukan. Gliserol sebanyak 0,5% (v/v) ditambahkan sebagai plastisizer untuk meningkatkan fleksibilitas film. Campuran homogen diperoleh melalui pengadukan menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 240 rpm sambil dipanaskan pada suhu 80°C hingga seluruh komponen terdispersi dengan baik. Setelah larutan mencapai homogenitas yang diinginkan, campuran dituangkan ke dalam cetakan silikon berukuran 10×10 cm dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam untuk membentuk film bioplastik. Variasi komposisi pada penelitian ini terdiri atas tiga kelompok, yakni sampel A yang memvariasikan konsentrasi ZnO pada PVA tetap, sampel B yang memvariasikan konsentrasi PVA pada ZnO tetap, serta sampel C yang memvariasikan kedua komponen secara bersamaan. Setelah proses pengeringan selesai, film bioplastik dilepaskan dari cetakan dan disimpan pada kondisi ruang sebelum dilakukan tahap karakterisasi.

Tabel 1. Variasi Campuran Bahan Bioplastik

Sampel Bioplastik	Pati (g)	Selulosa (g)	PVA (g)	ZnO (g)
A1	5	1	0,3	0,3
A2	5	1	0,3	0,7
A3	5	1	0,3	0,9
B1	5	1	0,4	0,7
B2	5	1	0,5	0,7
B3	5	1	0,6	0,7
C1	5	1	0,6	0,6
C2	5	1	0,7	0,7
C3	5	1	0,8	0,8

2.5 Proses Karakterisasi

Karakterisasi bioplastik dilakukan melalui serangkaian pengujian untuk mengevaluasi sifat fisik, mekanik, kimia, serta kemampuan biodegradasinya. Uji daya serap air dilakukan sesuai SNI 7188.7:2016 dengan mengukur perubahan massa sampel setelah perendaman selama 15 menit untuk menentukan tingkat hidrofilisitas film. Sifat mekanik bioplastik dianalisis melalui uji kuat tarik dan perpanjangan putus menggunakan standar ASTM D882, yang memberikan informasi mengenai kekuatan film dan kemampuan regang sebelum mengalami kerusakan. Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengidentifikasi ikatan kimia dan interaksi antarkomponen dalam matriks bioplastik. Morfologi permukaan dan homogenitas penyebaran filler diamati menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM). Selain itu, kemampuan biodegradasi diuji menggunakan metode soil burial test pada kondisi aerobik dan anaerobik selama 15 hari, dengan pengukuran massa residu setiap lima hari untuk menentukan laju degradasi material. Seluruh karakterisasi ini dilakukan untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai kualitas dan performa bioplastik yang dihasilkan dari variasi formulasi pati biji karet, selulosa tongkol jagung, PVA, dan ZnO .

2.6 Analisis

Analisis bioplastik dilakukan untuk menginterpretasikan hubungan antara variasi komposisi pati biji karet, selulosa tongkol jagung, PVA, dan ZnO terhadap perubahan sifat fisik, mekanik, kimia, serta biodegradabilitas film yang dihasilkan. Hasil uji daya serap air menunjukkan pengaruh signifikan keberadaan selulosa dan ZnO dalam menurunkan tingkat pengikatan air pada matriks karena kedua komponen tersebut berperan dalam memperbaiki kepadatan struktur polimer, sedangkan PVA memberikan kecenderungan peningkatan penyerapan akibat sifatnya yang bersifat hidrofilik. Uji kuat tarik dan perpanjangan putus berdasarkan ASTM D882 memperlihatkan bahwa penambahan PVA mampu meningkatkan fleksibilitas dan elongasi film, sementara ZnO cenderung meningkatkan kekuatan tarik melalui perannya sebagai reinforcing filler. Analisis FTIR mengonfirmasi terbentuknya interaksi antarmolekul, seperti ikatan hidrogen antara pati, selulosa, dan PVA, serta perubahan intensitas serapan yang mengindikasikan integrasi ZnO dalam matriks. Observasi SEM menunjukkan bahwa sampel dengan komposisi optimum menghasilkan permukaan yang lebih homogen dan minim agregasi filler, yang berkorelasi dengan peningkatan sifat mekanik. Uji biodegradasi melalui *soil burial test* mengungkapkan bahwa seluruh sampel mengalami penurunan massa bertahap, dengan degradasi lebih cepat pada film dengan kandungan filler lebih rendah, menunjukkan bahwa keberadaan PVA dan ZnO dapat

memperlambat proses penguraian akibat peningkatan densitas struktur. Secara keseluruhan, analisis karakteristik ini memberikan gambaran komprehensif mengenai pengaruh variasi formulasi terhadap kualitas akhir bioplastik berbasis pati biji karet.

III. Hasil dan pembahasan

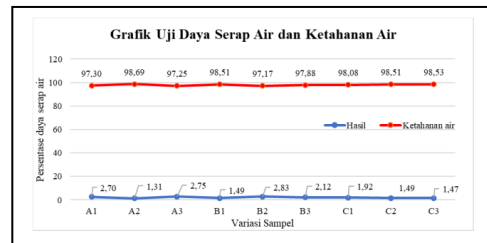
3.1 Karakteristik Pati Biji Karet dan Proses Pembuatan Bioplastik

Pati biji karet yang diperoleh melalui proses ekstraksi menunjukkan karakteristik warna putih dan tidak berbau, sesuai dengan ciri pati yang dapat digunakan sebagai bahan dasar bioplastik. Proses ekstraksi dilakukan melalui tahapan pengupasan, perendaman, penghalusan, penyaringan, pengendapan, serta pengeringan bertahap, sebelum dilakukan pemisahan minyak menggunakan heksana. Pati yang telah halus kemudian dicampurkan dengan selulosa tongkol jagung, PVA, ZnO, dan gliserol untuk menghasilkan film bioplastik. Selulosa bertindak sebagai penguat alami karena kandungan selulosanya yang tinggi, sementara PVA berfungsi sebagai polimer pendukung dengan sifat mekanik yang baik dan kelarutan air yang dapat dikontrol. ZnO digunakan sebagai filler anorganik yang dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas bioplastik serta memberikan sifat antimikroba (Abdullah dkk., 2021; Sazali dkk., 2023).

Formulasi yang berbeda menghasilkan bioplastik dengan karakteristik fisik yang bervariasi. Secara umum, bioplastik yang terbentuk memiliki permukaan yang cukup homogen, padat, dan fleksibel. Dari segi tekstur, bioplastik tampak kuat namun tetap memiliki fleksibilitas, yang menandakan adanya interaksi yang baik antara pati, PVA, dan gliserol sebagai plasticizer. Penambahan selulosa tongkol jagung berperan dalam meningkatkan kekuatan mekanik dan kekakuan struktur film, sementara ZnO berfungsi sebagai pengisi anorganik yang dapat memperkuat ikatan antar rantai polimer sekaligus memberikan sifat anti bakteri dan stabilitas termal yang lebih baik. Secara keseluruhan, bioplastik yang dihasilkan menunjukkan kombinasi sifat mekanik yang seimbang, yaitu cukup kuat, tidak rapuh, dan memiliki tampilan fisik yang seragam. Hasil ini mengindikasikan bahwa formulasi dengan pati biji karet, selulosa tongkol jagung, PVA, ZnO, dan gliserol berpotensi menghasilkan bioplastik yang ramah lingkungan dengan karakteristik fungsional.

3.2 Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan bioplastik terhadap air. Uji daya serap yang dilakukan dengan cara meletakkan sampel bioplastik ke dalam wadah yang telah disediakan yang berisi air kemudian sampel tersebut diangkat dan ditimbang sampai menghasilkan bobot konstan dari bioplastik.



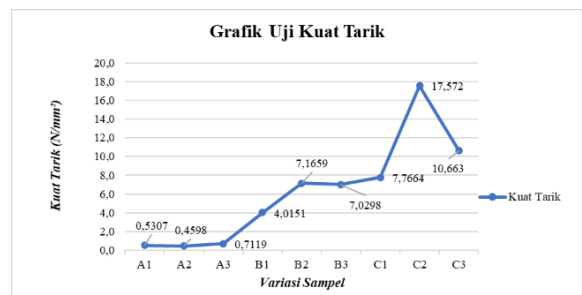
Gambar 1. Grafik Daya Serap Air Bioplastik dan Ketahanan Air

Uji daya serap air yang ditunjukkan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa setiap variasi memiliki ketahanan air yang berbeda. Variasi A2 menunjukkan daya serap terendah yaitu 1,31%, sehingga ketahanan air mencapai 98,69%. Nilai ini hampir memenuhi standar SNI sebesar 99%. Rendahnya nilai daya serap pada A2 disebabkan oleh kombinasi PVA dan ZnO yang mampu membentuk matriks rapat sehingga air sulit menembus struktur material (Lestari, 2021).

Hasil penelitian ini menunjukkan kinerja lebih baik dibanding bioplastik berbahan dasar pati pada penelitian sebelumnya, seperti bioplastik singkong dengan selulosa (Pratiwi et al., 2022) yang memiliki daya serap air 46,63%, dan tapioka tanpa penguat (Putra & Rahmawati, 2021) yang mencapai 21,7%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran bahan pati, selulosa, PVA dan ZnO mampu meningkatkan ketahanan air secara signifikan.

3.3 Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Uji tarik merupakan uji mekanik dasar yang digunakan untuk menentukan modulus elastisitas, batas elastis, elongasi, kekuatan tarik, dan sifat tarik lainnya. Uji tarik dari bioplastik merupakan besar gaya yang diperlukan hingga bioplastik terputus. Hasil uji kuat tarik pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



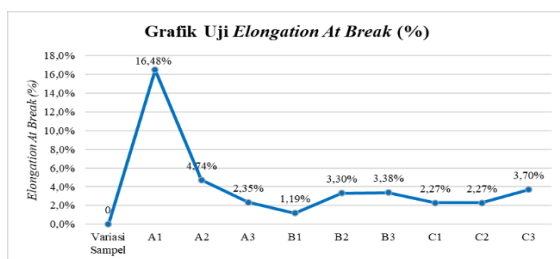
Gambar 2. Grafik Kuat Tarik Bioplastik

Pada Gambar 2 menunjukkan terjadinya peningkatan kekuatan seiring bertambahnya konsentrasi PVA dan ZnO. Variasi C2 memiliki nilai kuat tarik tertinggi yaitu 17,572 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi komposisi pada variasi ini mampu menghasilkan struktur matriks yang padat dan lebih homogen. Sebaliknya, kadar PVA rendah pada variasi A menyebabkan bioplastik mudah patah karena ikatan antarmolekul yang kurang kuat.

Nilai kuat tarik pada variasi C2 juga lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya oleh Wahyudi et al. (2025), yang melaporkan kuat tarik terbaik sebesar 10,49 MPa. Dengan demikian, formulasi C2 dapat dikategorikan sebagai komposisi paling optimal meskipun belum memenuhi rentang standar SNI, tetapi telah memenuhi standar JIS.

3.4 Uji Elongation at Break

Persen pemanjangan atau elongasi didefinisikan sebagai perubahan panjang maksimum film bioplastik sampai putus. Perpanjangan putus juga dikenal sebagai regangan fraktur, yaitu rasio antara perubahan panjang dan panjang awal setelah kerusakan benda uji. Bahan yang elastisitasnya lebih rendah akan cenderung lebih rapuh dan mudah patah.

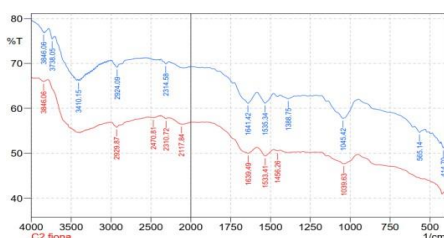


Gambar 3. Grafik Elongation at Break

Nilai *elongation at break* pada Gambar 3 menunjukkan fleksibilitas bioplastik. Variasi A1 memiliki nilai tertinggi yaitu 16,48%, namun kekuatan tariknya rendah sehingga material rentan patah. Sebaliknya, variasi C2 memiliki elongation sebesar 2,27% namun disertai kuat tarik tinggi. Hal ini menunjukkan keseimbangan baik antara kekuatan dan fleksibilitas, sesuai dengan temuan Putri et al. (2024) bahwa penambahan selulosa meningkatkan kekuatan namun menurunkan elastisitas film.

3.5 Analisis Gugus Fungsi FTIR

Analisa FTIR berfungsi untuk mengetahui gugus- gugus fungsi yang muncul dalam bioplastik yang dihasilkan. Pengujian FTIR digunakan untuk mengidentifikasi interaksi antara pati biji karet, selulosa, PVA dan ZnO dalam bioplastik. Bioplastik yang digunakan berasal dari hasil uji kuat tarik tertinggi yaitu C2 dan daya serap air tertinggi C3. Hasil penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum FTIR Bioplastik (Sampel C2 dan C3)

Spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4. memiliki puncak karakteristik dari komponen penyusun bioplastik, seperti pita O–H pada 3300–3500 cm^{-1} , C–H stretching pada 2924–2929 cm^{-1} , amida I dan II pada 1639–1641 dan 1533–1535 cm^{-1} , serta puncak C–O–C pada 1039–1045 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan selulosa (Adilah, 2022). Puncak Zn–O di rentang 400–600 cm^{-1} menunjukkan adanya ZnO dalam matriks polimer, dengan intensitas lebih tinggi pada C2 dibanding C3. Hal ini menunjukkan bahwa C2 memiliki kandungan PVA, selulosa, dan ZnO yang lebih dominan serta struktur yang lebih stabil.

Tabel 2. Interpretasi Gugus Fungsi FTIR

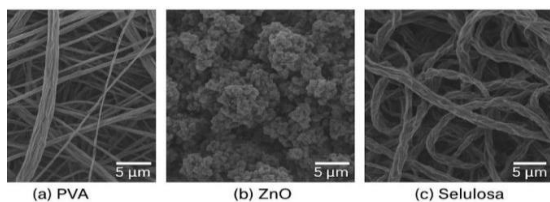
Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Gugus Fungsi	Sumber / Indikasi dalam Sampel
3846 – 3738	O–H bebas	PVA dan selulosa (gugus –OH bebas)
3410	O–H terikat	Selulosa tongkol jagung, PVA (ikatan hidrogen kuat)
2929 – 2924	C–H (CH_2)	PVA, selulosa, komponen lipid pada biji karet
2470 – 2117	Spektrum minor	Vibrasi tidak signifikan (bukan gugus utama)
1641 – 1639	Amida I / H–O–H bending	Protein biji karet; air terikat pada selulosa
1535 – 1533	Amida II	Protein dari biji karet
1456 – 1453	CH_2 bending	PVA dan selulosa
1388 – 1385	O–H / C–H bending	Polisakarida (selulosa & hemiselulosa)
1045 – 1039	C–O–C dan C–O	Selulosa tongkol jagung (ikatan glikosidik), PVA
565 – 414	Zn–O	ZnO nanoparticle yang ditambahkan

Pada Tabel 1 hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa bioplastik berhasil terbentuk sebagai komposit dari selulosa tongkol jagung, PVA, pati biji karet, serta ZnO. Perbedaan intensitas puncak antara kedua sampel mengindikasikan bahwa sampel biru (C2) memiliki kandungan selulosa, PVA, dan ZnO yang lebih tinggi, serta struktur yang lebih homogen. Sebaliknya, sampel merah (C3) menunjukkan kontribusi protein yang lebih kuat, menandakan komposisi pati biji karet yang lebih dominan dalam formulasi tersebut. Hasil FTIR ini dapat digunakan sebagai dasar untuk memahami hubungan antara komposisi bahan dengan karakteristik fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan.

3.6 Analisis Morfologi SEM

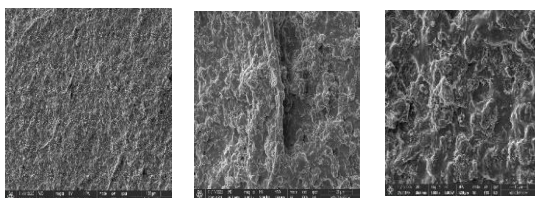
Uji SEM dilakukan untuk mengamati morfologi pada permukaan sampel. Dalam penelitian ini menggunakan sampel bioplastik

terbaik dari masing- masing variasi, seperti sampel A3, B2, dan C2.



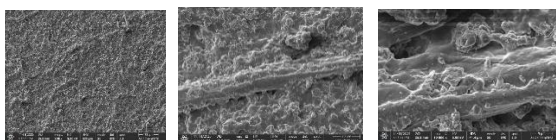
Gambar 5. Gambar Uji SEM Pada Tiap Bahan

Pada Gambar 5. memperlihatkan struktur serat halus yang saling bertumpuk membentuk jaringan kontinu pada setiap sampel PVA, ZnO dan Selulosa. Struktur ini umumnya mendukung sifat fleksibilitas dan pembentukan film yang baik. Sebaliknya, ZnO menampilkan morfologi dengan aglomerasi partikel berbentuk kluster berpori, yang menunjukkan bahwa nanopartikel cenderung berkumpul membentuk struktur agregat untuk mempengaruhi sifat mekanik serta aktivitas antimikroba pada bioplastik. Sementara itu, selulosa menunjukkan struktur fibril kasar dan kusut, mencerminkan karakteristik material lignoselulosa yang memiliki permukaan bertekstur dan area kontak tinggi. Morfologi ini berpotensi meningkatkan ikatan mekanis dan interaksi antar molekul melalui pembentukan ikatan hidrogen ketika dicampur dengan PVA. Hasil analisis uji SEM dengan variasi pati, selulosa, PVA dan ZNO dapat dilihat pada Gambar 6.



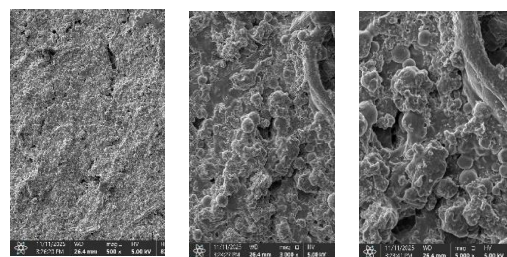
Gambar 6. Gambar Hasil Uji SEM Pada Variasi A3

Morfologi SEM pada Variasi A3 menunjukkan PVA membentuk jaringan serat halus, selulosa tampak berserat kasar, dan ZnO terlihat beraglomerasi menjadi gugusan partikel berpori. Penggumpalan ZnO ini menyebabkan distribusi partikel tidak merata sehingga dapat melemahkan kekuatan tarik dan elastisitas bioplastik, meskipun sedikit meningkatkan kekakuan. Sesuai Sazali dkk. (2023), optimalisasi peran ZnO memerlukan teknik pencampuran yang lebih baik seperti sonikasi, masterbatch, atau modifikasi permukaan agar penyebaran partikelnya lebih merata.



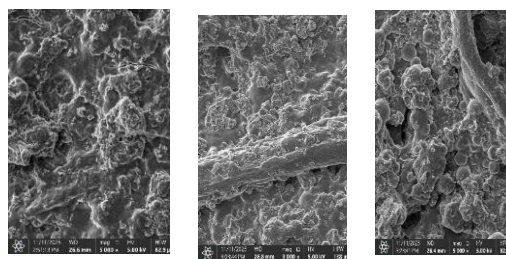
Gambar 7. Gambar Hasil Uji SEM Pada Variasi B2

Morfologi SEM pada Variasi B2 menunjukkan bahwa peningkatan PVA menghasilkan matriks yang lebih homogen, di mana PVA menyelimuti serat selulosa sehingga batas antar fase menjadi kurang terlihat. Partikel ZnO masih membentuk aglomerat, tetapi lebih kecil dan sebagian terdispersi lebih baik karena bantuan PVA. Kondisi ini meningkatkan kekuatan tarik dan elongasi karena transfer tegangan lebih efektif, meskipun aktivitas antibakteri dapat sedikit berkurang akibat sebagian ZnO tertutup polimer. Sesuai Abdullah dkk. (2021), kombinasi PVA yang lebih banyak dengan ZnO moderat cenderung meningkatkan fleksibilitas serta integritas struktur material.



Gambar 8. Gambar Hasil Uji SEM Pada Variasi C2

Morfologi SEM Variasi C2 menunjukkan matriks yang didominasi PVA sehingga permukaan terlihat lebih halus dan menyatu, dengan serat selulosa yang tertanam sehingga batas antar fase kurang jelas. Partikel ZnO tampak tersebar sebagai titik-titik kecil, meski beberapa masih berkelompok sehingga distribusinya belum sepenuhnya merata. Keseimbangan PVA dan ZnO pada formulasi ini menghasilkan interaksi matriks–filler yang baik, sehingga diperkirakan meningkatkan kekuatan tarik dan kemampuan regang. Namun, karena sebagian ZnO tertutup matriks, jumlah partikel yang terekspos menurun sehingga potensi aktivitas antimikroba berada pada tingkat sedang.



Gambar 9. Gambar Hasil Uji SEM Pada Variasi A3, B2 dan C2

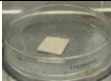
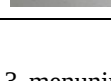
Secara keseluruhan, hasil SEM pada ketiga variasi menunjukkan bahwa keseimbangan PVA dan ZnO sangat menentukan homogenitas dan stabilitas matriks pati– selulosa. Kelebihan ZnO menyebabkan aglomerasi dan permukaan kurang halus, sedangkan PVA berlebih menghasilkan permukaan lebih homogen namun mengurangi jumlah partikel ZnO yang terekspos. Komposisi yang seimbang terbukti menghasilkan struktur yang lebih proporsional,

penyebaran partikel lebih merata, serta potensi sifat mekanik yang lebih optimal.

3.7 Uji Biodegradasi Bioplastik

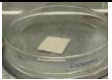
Uji kemampuan biodegradasi dilakukan dengan menggunakan metode *soil burial test* (sampel ditanam di dalam tanah) dan sampel diletakkan di wadah yang berisi tanah jenis andosol dengan ukuran sampel 2×2 cm selama 15 hari dengan pengamatan setiap 5 hari.

Tabel 3. Hasil Analisis Uji Biodegradasi Bioplastik Secara Aerob

Hari	Dokumen tasi	Bobot Awal	Bobot Kehilangan (%)
1		0,221 gr	-
5		0,212 gr	4,07%
10		0,198 gr	10,41%
15		0,159 gr	28,05%

Tabel 3 menunjukkan bahwa uji biodegradasi aerob selama 15 hari, bioplastik berbahan biji karet dengan tambahan selulosa tongkol jagung, PVA, dan ZnO memiliki kemampuan terurai yang sangat baik. Hal ini dibuktikan dengan penurunan bobot sebesar 28,05% serta perubahan fisik yang mulai terlihat sejak hari ke-5, seperti perubahan warna, robekan, dan munculnya jamur. Pada hari ke-15, struktur bioplastik hancur menjadi potongan kecil dan hampir seluruh permukaannya ditutupi koloni jamur, menandakan bahwa komponen alami seperti pati biji karet dan selulosa berhasil diuraikan secara efektif oleh mikroorganisme aerob.

Tabel 4. Hasil Analisis Uji Biodegradasi Bioplastik Secara An-Aerob

Hari	Dokumen tasi	Bobot Awal	Bobot Kehilangan (%)
1		0,301 gr	-
5		0,262 gr	12,95%
10		0,235 gr	21,93%
15		0,168 gr	44,18%

Pada Tabel 4 hasil uji biodegradasi an-aerob menunjukkan bahwa bioplastik mengalami dekomposisi sangat cepat, dengan kehilangan bobot mencapai 44,18% dalam 15 hari dari 0,301 g. menjadi 0,168 g. Tanda degradasi sudah terlihat pada hari ke-5 melalui penurunan bobot 12,95%, perubahan warna, robekan, dan pertumbuhan jamur, lalu berlanjut hingga hari ke-10 dengan kehilangan bobot 21,93%. Pada hari ke-15, bioplastik hancur total. Dibandingkan biodegradasi aerob (28,05%), kondisi an-aerob memberikan laju degradasi jauh lebih cepat karena aktivitas mikroorganisme tanpa oksigen lebih intensif serta selulosa tongkol jagung lebih mudah diakses. Meskipun pengujian belum memenuhi durasi SNI 7188.7:2016 (90 hari), hasil kehilangan bobot 44,18% dalam 15 hari menunjukkan potensi kuat bahwa bioplastik ini dapat memenuhi standar SNI jika pengujian diperpanjang.

IV. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa:

1. Penambahan selulosa tongkol jagung, polivinil alkohol (PVA), dan zink oksida (ZnO) memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fisik, mekanik, serta biodegradabilitas bioplastik berbasis pati biji karet. Di antara seluruh formulasi yang diuji, variasi C2 (pati 5 g; selulosa 1 g; PVA 0,7 g; ZnO 0,7 g) menunjukkan kinerja paling optimal dengan nilai kuat tarik 17,572 MPa, daya serap air 1,49%, dan persentase biodegradasi sebesar 44,18% dalam 15 hari.
2. Nilai kuat tarik bioplastik C2 telah memenuhi standar Japanese Industrial Standard (JIS $\geq 3,92$ MPa), sementara ketahanan air mendekati standar SNI untuk bioplastik kemasan pangan. Laju biodegradasi yang cepat juga mengindikasikan potensi untuk memenuhi standar biodegradabilitas $\geq 60\%$ dalam periode pengujian 90 hari. Hasil FTIR dan SEM memperlihatkan bahwa formulasi C2 memiliki struktur matriks yang lebih homogen, distribusi filler yang baik, serta interaksi antargugus fungsi yang stabil, sehingga menghasilkan film bioplastik yang lebih padat dan kuat. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pati biji karet berpotensi menjadi bahan dasar bioplastik yang kompetitif dengan dukungan bahan penguat yang tepat.

4.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan mengevaluasi konsentrasi PVA dan ZnO yang lebih tinggi (0,9–1,2 g) untuk meningkatkan nilai kuat tarik sehingga memenuhi standar SNI $\geq 24,7$ MPa.
2. Modifikasi kimia seperti asetilasi atau oksidasi perlu dilakukan untuk meningkatkan stabilitas matriks dan ketahanan air tanpa penambahan bahan aditif dalam jumlah besar.

3. Dibutuhkan analisis lanjutan seperti uji TGA (Thermogravimetric Analysis) dan DSC (Differential Scanning Calorimetry) guna mengetahui stabilitas termal, kestabilan penyimpanan, serta ketahanan terhadap paparan cahaya, asam, dan basa, terutama untuk aplikasi kemasan pangan.

Daftar Pustaka

- [1]. Abdullah, A. H. D., Putri, O. D., Fikriyyah, A. K., Nissa, R. C., Hidayat, S., Septiyanto, R. F., Karina, M., & Satoto, R. (2020). *Harnessing the Excellent Mechanical, Barrier and Antimicrobial Properties of Zinc Oxide (ZnO) to Improve the Performance of Starch-based Bioplastic*. *Polymer-Plastics Technology and Materials*, 59(12), 1259–1267.
- [2]. Abdullah, O. G., Salman, Y. A. K., Tahir, D. A., Jamal, G. M., Ahmed, H. T., Mohamad, A. H., & Azawy, A. K., 2021. *Effect of ZnO Nanoparticle Content on the Structural and Ionic Transport Parameters of Polyvinyl Alcohol Based Proton Conducting Polymer Electrolyte Membranes*. *Membranes*, 11(3), <https://doi.org/10.3390/membranes11030163>.
- [3]. Adilah, 2022, *Studi Pengaruh Penambahan Variasi Kitosan Dan Gliserol Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Jagung (Zea mays)*. USU- IR Home. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/47883>
- [4]. Albarkah, A. M., Soebrata, B. M., & Kemala, T., 2025, *Development of Bioplastic Films from Cassava Peel Starch Reinforced with Banana Midrib Nanocellulose and the Effect of Sorbitol on Mechanical Strength*. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 28(8), 426-435.
- [5]. Chia, W.Y., Tang, D.Y. Y., Khoo, K.S., and Lup, A.N.K. 2020. *Nature's Fight Against Plastic Pollution: Algae for Plastic Biodegradation and Bioplastics Production*. *Environmental Science and Ecotechnology*, 4 1-2
- [6]. Danni, E. R., Hasan, A., & Junaidi, R., 2023. *Pengaruh Penambahan Filler dari SelulosaTongkol Jagung dan Zink Oksida Pada Plastik Biodegradable*
- [7]. Fathanah, U., Meilina, H., Febriani, F., & Utami, F. R., 2022. *Sintesis Bioplastik dariTongkol Jagung sebagai Active Packaging yang Ramah Lingkungan*. 3.
- [8]. Gabriel, A. A., Indramawarni, S., & Halim, A., 2025. *Performance enhancement ofNaOAc/Canna Edulis starch-based bioplastic: Mechanical and thermal behaviorproperties*. *Discover Materials*, 5, 128. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00332-5>
- [9]. Irham, Maladi,. 2019. *Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong dengan Penguat Selulosa Jerami Padi, Polivinil Alkohol dan Bio Compatible Zink Oksida*. Skripsi: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
- [10]. Kumar, S., Mukherjee, A., and Dutta, J. 2020. *Chitosan Based Nanocomposite Films and Coatings: Emerging Antimicrobial Food Packaging Alternative*. *Trends inFood Science & Technology*, 97(2020): 196-197
- [11]. Marlina, L., & Achmad, N. T. F. (2021). *Pengaruh variasi penambahan kitosan dangliserol terhadap karakteristik plastik biodegradable dari pati ubi jalar*. *JurnalTecd*, 15(2), 125-133.
- [12]. Nababan, John Stanley, 2021, *Pengaruh Variasi Jumlah Kitosan dan Zinc Oxide (ZnO) Terhadap Nilai Kuat Tarik Bioplastik Dari Pati Kulit Singkong (Manihot Esculenta)*. Bachelor thesis, Institut Teknologi Kalimantan.
- [13]. Nugroho, A. F. 2019. *Sintesis Bioplastik Dari Pati Ubi Jalar Menggunakan Penguat Logam ZnO Dan Penguat Alami Clay*.
- [14]. Pratiwi, D. R., Nurjanah, S., & Rahmayani, A., 2022. *Pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat fisik bioplastik berbasis pati singkong*. *Equilibrium: Jurnal Ilmiah Biologi*, 8(1), 46–55.
- [15]. Putra, R. A., & Rahmawati, D., 2021, *Karakterisasi plastik biodegradable berbahan dasar pati tapioka dengan berbagai variasi konsentrasi gliserol*. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 6(3), 21–27.
- [16]. Putri, F. A., Rianjanu, A., & Sipahutar, W. S. (2024). *Cellulose impact on bioplastic performance: A study on mechanical strength, physical properties, and degradation of water hyacinth and kepok banana peel-derived materials*. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 12(02). <https://doi.org/10.23960/jtaf.v12i02.407>
- [17]. Qoirinisa. 2022. *Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (Solanum Tuberosum) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO2*. Welcome to Institutional Repository UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta Institutional Repository UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- [18]. Sazali NB, Chan LW, Wong TW. 2023, *Nano- enabled agglomerates and compact: Design aspects of challenges*. *Asian J Pharm Sci*. 2023 Mar;18(2):100794. doi:10.1016/j.ajps.2023.100794. Epub 2023 Feb 23. PMID: 37035131; ID:PMC10074506.
- [19]. Sihombing, A., Yulianti, N. L., & Gunadnya, I. B. P., 2023. *Pengaruh jenis dan konsentrasi filler terhadap karakteristik bioplastik berbahan baku pati singkong*. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*, 12(2), 397–

- 404.<https://doi.org/10.24843/JBETA.2024.v12.i02.p23>
- [20]. Sitorus, B., Novianti, I., Adhitiyawarman, & Antonius. (2023). *Peningkatan biodegradabilitas dan penyerapan air akibat penambahan mikroselulosa hasil isolasi tandan kosong kelapa sawit dalam bioplastik*. JST (Jurnal Sains dan Teknologi, 12(2), 335–343.
<https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.52469>
- [21]. Wahyudi, M. N., Hartanti, A., Sari, D. A., Hakim, M. F., & Aeni, A. R. 2025. *Bioplastics from avocado seed starch: Effects of chitosan and PVA on mechanical properties, water resistance, and biodegradability*. Journal of Chemical Process Engineering, 10(1), 30–39.
<https://doi.org/10.33096/jcpe.v10i1.1641>
- [22]. Wiradipta. (2019). *Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa DariTongkol Jagung*.
- [23]. Yustinah. 2020. *Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Kulit Kacang Tanah dan Kitosan dengan Plasticizer Gliserol*. <https://repository.umj.ac.id>
- [24]. Fathikah, W., Sutarno, & Sumaryanto. 2024,. *Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Dengan Metode Economic Order Quantity Pada PT Intrafood Singabera Indonesia di Sukoharjo*. Jurnal Ekonomi dan Bisnis Digital, 2(1), 849–863.
- [25]. Fauzana, L., Hidayati, N., & Rambe, R. 2023. *Pemanfaatan Tanaman Kelapa sebagai Komoditas Multiguna untuk Industri Pangan dan Non-Pangan*. Jurnal Agribisnis dan Agroindustri, 11(3), 87–95.
- [26]. Gultom, R., Simanjuntak, F., & Lumbantoruan, A. 2025. *Analisis Kelebihan dan Keterbatasan Penerapan Metode Economic Order Quantity (EOQ) pada Perusahaan Manufaktur*. Jurnal Riset Manajemen Operasi, 13(1), 65–73.
- [27]. Hellyatunisa, N., Ramadhani, F., & Putra, A., 2023. *Potensi Pemanfaatan Kelapa Tua dalam Industri Pangan Tradisional dan Modern*. Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, 9(2), 112–120.
- [28]. Ikatan Akuntan Indonesia. 2018. *Pernyataan Standar Akuntansi Keuangan*. Jakarta.
- [29]. Iman, M., Saputra, R., & Lestari, D., 2025. *Penerapan Metode Economic Order Quantity (EOQ) dalam Optimalisasi Pengendalian Persediaan di Sektor Industri Manufaktur*. Jurnal Manajemen Operasi dan Logistik, 12(1), 33–42.
- [30]. Kieso, et al. 2018. *Akuntansi Keuangan Menengah Volume 2*. Jakarta: Salemba Empat.
- [31]. Marlina, W., Sarahita, V. D. A., & Febriyanti, R. 2024. *Analisis persediaan dengan Economic Order Quantity di UMKM Kacang Atom di Tanah Datar, Sumatera Barat*. Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 7(4), 2193–2203.
- [32]. Millenia, et al., 2022. *Pengendalian Persediaan Bahan Baku Menggunakan Metode EOQ Dan MRP Pada Cv. Ozone Graphics Di Manokwari*. Jurnal Maneksi, 323–330.