

**PERBANDINGAN PENGARUH PENAMBAHAN ZnO DAN TiO_2
SEBAGAI PENGUAT PADA SINTESIS BIOPLASTIK BERBASIS
PATI BIJI ALPUKAT (*Persea Americana*) DAN SORBITOL
TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat guna memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia**



Oleh:

DIAH FEBRI ASTUTI

NIM 2108036050

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Diah Febri Astuti
NIM : 2108036050
Program Studi : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**PERBANDINGAN PENGARUH PENAMBAHAN ZnO DAN TiO₂
SEBAGAI PENGUAT PADA SINTESIS BIOPLASTIK BERBASIS
PATI BIJI ALPUKAT (*Persea Americana*) DAN SORBITOL
TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 29 Mei 2025
Pembuat Pernyataan



Diah Febri Astuti
2108036050



**KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan, Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : Perbandingan Pengaruh Penambahan ZnO dan TiO₂
Sebagai Penguat Pada Sintesis Bioplastik Berbasis Pati
Biji Alpukat (*Persea Americana*) dan Sorbitol Terhadap
Karakteristik Bioplastik

Penulis : **Diah Febri Astuti**

NIM : 2108036050

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang tugas akhir oleh Dewan Penguji Fakultas
Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu
syarat memperoleh gelar sarjana dalam Ilmu Kimia.

Semarang, 24 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Dr. Mulyatun, M.Si.

NIP. 198305042011012008

Sekretaris Sidang

Kholidah, M.Sc.

NIP. 198508112019032008

Penguji 1

Wirda Udaibah, M.Si.

NIP. 198501042009122003

Penguji 2

Mutista Hafshah, M.Si.

NIP. 199401022019032015



Pembimbing

Dr. Mulyatun, M.Si.

NIP. 198305042011012008

NOTA DINAS

Semarang, 29 Mei 2025

Kepada
Yth. Ketua Program Studi Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamu'alaikum. wr,wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan dan arahan serta koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Perbandingan Pengaruh Penambahan ZnO dan TiO₂ Sebagai Penguat Pada Sintesis Bioplastik Berbasis Pati Biji Alpukat (*Persea Americana*) dan Sorbitol Terhadap karakteristik Bioplastik

Nama : **Diah Febri Astuti**

NIM : 2108036050

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang munaqosah.

Wassalamualaikum. wr,wb.

Pembimbing



Dr. Mulyatun, M.Si.

NIP. 1983050420110120088

ABSTRAK

Meningkatnya sampah plastik berdampak serius pada kesehatan dan lingkungan, sehingga diperlukan alternatif plastik yang lebih ramah lingkungan salah satunya bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbandingan pengaruh dari penambahan ZnO dan TiO₂ terhadap karakteristik dari bioplastik yang dihasilkan. Bioplastik dibuat menggunakan pati biji alpukat dan sorbitol, dengan penambahan penguat ZnO dan TiO₂ pada konsentrasi 0%, 2%, 4%, dan 6%. Penambahan Penguat ZnO dan TiO₂ bertujuan untuk meningkatkan nilai kuat tarik dan menurunkan nilai daya serap air dari bioplastik. Hasil spektra FTIR menunjukkan bahwa bioplastik dengan penambahan penguat ZnO memiliki gugus O-H, C-H, C=O, C-O, dan O-Zn-O, sementara bioplastik dengan penambahan penguat TiO₂ mengandung gugus O-H, C-H, C=O, C-O, dan Ti-O. Bioplastik dengan penambahan penguat ZnO 6% memiliki kekuatan tarik tertinggi (23,88 MPa) dan daya serap air terendah (15,97%) dibandingkan dengan bioplastik dengan penambahan penguat TiO₂. Bioplastik dengan penambahan penguat TiO₂ 6% lebih cepat terurai, yaitu dalam 12 hari dibandingkan dengan penambahan penguat ZnO 6% yang membutuhkan 14 hari.

Kata Kunci: *bioplastik, pati biji alpukat, ZnO, TiO₂, sorbitol*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamiin, penulis menyampaikan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, petunjuk, dan karunia-Nya, yang telah memungkinkan penyusunan skripsi ini hingga selesai dengan lancar sebagai salah satu ketentuan akademik guna meraih gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Islam Negeri (UIN) Walisongo Semarang, penulisan karya ini disusun. Segala puji dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, pembawa risalah yang mulia dan teladan agung dalam akhlak, yang syafaatnya sangat kita nantikan kelak di hari pembalasan.

Proses penulisan skripsi ini berjalan lancar berkat dukungan, arahan, dan bantuan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis merasa sangat berterima kasih dan ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag, Rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Mulyatun, M.Si. selaku ketua Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang dan dosen pembimbing yang dengan sabar telah mencurahkan waktunya untuk memberikan

masukan, koreksi, dan bimbingan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

4. Ibu Ana Mardiyah, M.Si. selaku dosen wali yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan sepanjang masa studi penulis.
5. Seluruh dosen Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya dari Jurusan Kimia UIN Walisongo Semarang, yang telah memberikan ilmu dan wawasan berharga selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua tercinta, Bapak Basir dan Ibu Mulyati, yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, serta doa tulus tanpa henti, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di UIN Walisongo Semarang.
7. Keluarga besar Kos Pak Aji Blok E9 yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis selama masa perkuliahan.
8. Teman-teman Kimia B 2021, terkhusus Nova, May, Yuni, Fahira dan Winda yang senantiasa memberikan semangat dan saran kepada penulis selama masa perkuliahan dan penulisan skripsi.
9. Seluruh teman kimia Angkatan 2021 yang telah memberikan semangat selama masa perkuliahan.

10. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuan dalam penyusunan skripsi ini, meskipun tidak dapat disebutkan secara khusus satu per satu.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang diberikan. Kritik dan saran membangun sangat diharapkan demi perbaikan skripsi ini agar bermanfaat bagi semua. Aamiin.

Semarang, 29 Mei 2025

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diah Febri Astuti' in a cursive style.

Diah Febri Astuti

2108036050

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	12
C. Tujuan Penelitian.....	12
D. Manfaat Penelitian.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	14
A. Landasan Teori.....	14
B. Karakterisasi.....	33
C. Kajian Pustaka.....	40
D. Hipotesis Penelitian	43
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	44

B.	Alat dan Bahan	44
C.	Prosedur Kerja	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		49
A.	Pembuatan Pati Dari Biji Alpukat.....	49
B.	Sintesis Bioplastik-Pati-Sorbitol (BPS)	55
C.	Sintesis BPS Dengan Penambahan ZnO	56
D.	Sintesis BPS Dengan Penambahan TiO ₂	58
BAB V PENUTUP		83
A.	Kesimpulan.....	83
B.	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		86
DAFTAR LAMPIRAN		99
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alpukat	14
Gambar 2. 2 (a) Amilosa, (b) Amilopektin.....	20
Gambar 2. 3 Struktur Kimia ZnO	22
Gambar 2. 4 Struktur Kristal ZnO	22
Gambar 2. 5 Struktur Kimia TiO ₂	26
Gambar 2. 6 Struktur Kristal TiO ₂	26
Gambar 2. 7 Struktur Sorbitol	30
Gambar 2. 8 Spektrum FTIR Bioplastik Dengan ZnO	35
Gambar 4. 1 Pati Biji Alpukat	51
Gambar 4. 2 Persamaan Reaksi Pembentukan Kompleks Biru Kehitaman.....	52
Gambar 4. 3 Hasil Uji Amilum.....	52
Gambar 4. 4 Hasil Spektra FTIR PBA	53
Gambar 4. 5 Bioplastik-Pati-Sorbitol (BPS)	56
Gambar 4. 6 (a) BPS-ZnO 2%, (b) BPS-ZnO 4%, dan (c) BPS-ZnO 6%.....	57
Gambar 4. 7 (a) BPS-TiO ₂ 2%, (b) BPS-TiO ₂ 4%, dan (c) BPS-TiO ₂ 6%.....	58
Gambar 4. 8 Spektrum FTIR (a) BPS, (b) BPS-ZnO 2%, (c) BPS- ZnO 4%, (d) BPS-ZnO 6%, (e) BPS-TiO ₂ 2%, (f) BPS- TiO ₂ 4%, dan (g) BPS-TiO ₂ 6%	60

Gambar 4. 9 Usulan Interaksi Pembentukan Ikatan Hidrogen Antara Pati, Sorbitol, dan ZnO	75
Gambar 4. 10 Usulan Interaksi Pembentukan Ikatan Hidrogen Antara Pati, Sorbitol, dan TiO ₂	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar SNI Bioplastik (7188.7;2016)	32
Tabel 3. 1 Variasi Komposisi Pembuatan Bioplastik.....	47
Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR PBA.....	54
Tabel 4. 2 Hasil Serapan Bilangan Gelombang BPS, BPS-ZnO 2%, BPS-ZnO 4%, BPS-ZnO 6%	61
Tabel 4. 3 Hasil Serapan Bilangan Gelombang BPS-TiO ₂ 2%, BPS- TiO ₂ 4%, dan BPS-TiO ₂ 6%	64
Tabel 4. 4 Nilai Kuat Tarik dan Elongasi Dari BPS Tanpa Penguat dan Dengan Penambahan ZnO dan TiO ₂	67
Tabel 4. 5 Nilai Daya Serap Air Pada BPS Tanpa Penguat dan dengan Penambahan ZnO dan TiO ₂	73
Tabel 4. 6 Hasil Uji Biodegradasi Pada BPS Tanpa Penguat dengan Penambahan ZnO dan TiO ₂	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Prosedur Kerja.....	99
Lampiran 2. Data Uji Kuat Tarik.....	103
Lampiran 3. Data Uji Daya Serap.....	107
Lampiran 4. Data Spektrum FTIR.....	114
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian.....	116

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan barang-barang berbahan plastik sudah menjadi hal yang umum dan luas dalam era modern seperti saat ini, seperti penggunaan plastik dalam kemasan makanan atau minuman, pembungkus perangkat elektronik, serta peralatan rumah tangga, dan berbagai aplikasi lainnya. Fenomena peningkatan penggunaan plastik yang terbuat dari polimer sintetik dari industri petrokimia memberikan dampak yang signifikan pada masalah pencemaran lingkungan melalui akumulasi sampah plastik (Tamiogy et al., 2019). Sampah plastik adalah salah satu faktor utama yang berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan di seluruh dunia, terutama di Indonesia. Indonesia sendiri merupakan negara dengan penyumbang sampah plastik terbanyak kedua di dunia dan saat ini sedang menghadapi tantangan serius terkait masalah ini. Selain itu, limbah plastik memiliki karakteristik yang membuatnya sulit untuk terurai secara alami dalam tanah, dengan perkiraan waktu dekomposisi mencapai sekitar 100 hingga 500 tahun (Mandasari & Kusuma, 2023). Menurut

penelitian yang dilakukan oleh Travis P. Wagner pada tahun 2017, diperkirakan bahwa masyarakat di seluruh dunia membuang sekitar 5 triliun kantong plastik setiap tahun. Namun, secara umum, kita hanya menggunakan kantong plastik selama sekitar 12 menit sebelum membuangnya. Kantong plastik masih merupakan barang konsumsi sehari-hari di Indonesia. Pada tahun 2023 dihasilkan 17 ton timbunan sampah di Indonesia dan 18,39% adalah sampah plastik (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2023).

Meningkatnya penggunaan sampah plastik membawa konsekuensi serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Sampah plastik yang sulit terurai di dalam tanah oleh mikroorganisme memiliki potensi untuk mengganggu dan menghambat kesuburan serta produktivitas lahan pertanian. Saat ini, penanganan limbah plastik umumnya melibatkan pembakaran untuk mencegah akumulasi di lahan, namun tindakan ini juga menghasilkan dampak negatif pada kualitas udara dan lingkungan sekitarnya. Hasil dari pembakaran tersebut akan melepaskan jumlah karbon dioksida dan gas beracun lainnya yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia. Oleh karena itu, saat ini sangat mendesak untuk mencari alternatif pengganti plastik sintetis

dengan bahan plastik yang dapat terurai secara alami dan ramah terhadap lingkungan, seperti bioplastik (Méité et al., 2021). Diharapkan solusi ini mampu menjadi langkah konstruktif dalam mereduksi dampak negatif yang ditimbulkan oleh pemakaian plastik non-ramah lingkungan.

Perkembangan biomaterial, terutama dalam bentuk biopolimer, mulai dipandang sebagai alternatif menjanjikan untuk menghasilkan plastik yang bersifat *eco-friendly* dan tidak membahayakan kesehatan manusia. Beberapa jenis polimer yang sering diaplikasikan dalam pembuatan kemasan *biodegradable* adalah polisakarida, protein, dan lipid karena mudah didapat, tidak merusak lingkungan serta lebih ekonomis dibandingkan dengan produk plastik biasa (Al Fath et al., 2022). Pati yang merupakan salah satu jenis polisakarida, sering menjadi pilihan utama dalam pembuatan bioplastik karena mudah diperoleh dalam jumlah besar dan memiliki biaya yang relatif rendah. Inilah yang menjadi alasan dalam penelitian ini untuk mengembangkan bioplastik dengan bahan dasar pati. Pati sendiri mengandung dua komponen penting, yaitu amilosa dan amilopektin. Kandungan amilosa dalam pati memiliki dampak pada kerapatan struktur, sedangkan amilopektin memengaruhi tingkat kelarutan

(Mandasari & Kusuma, 2023). Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk membuat bahan plastik yang lebih ramah lingkungan dengan berbahan dasar pati.

Berbagai jenis pati secara rutin digunakan dalam produksi bioplastik, termasuk pati yang berasal dari umbi-umbian, jagung, dan berbagai jenis biji-bijian. Biji-bijian tertentu mengandung kadar pati yang cukup besar, dan salah satunya adalah biji alpukat. Biji alpukat memiliki kadar pati yang mencapai angka yang tergolong sangat tinggi, yakni sekitar 79,45%. Dalam komposisinya, terdapat sekitar 29,55% amilosa dan 49,90% amilopektin. Sebagai perbandingan, beberapa sumber pati lain yang umum digunakan seperti ubi jalar, talas dan kentang memiliki kadar pati yang lebih rendah. Ubi jalar mengandung pati sekitar 70%, talas mengandung sekitar 29%, dan kentang mengandung pati sekitar 20% (Harni et al., 2022). Sebelumnya, umumnya biji alpukat diperlakukan sebagai sampah organik tanpa nilai ekonomis yang jelas dan sering kali dibuang oleh masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk memanfaatkan biji alpukat secara optimal, tetapi juga untuk membuka potensi baru dalam mengubah limbah menjadi sumber daya yang memiliki nilai tambah (Lukman et al., 2022).

Dengan demikian, upaya ini tidak hanya mendukung pengembangan bahan plastik ramah lingkungan, tetapi juga mengajak untuk melihat ulang sumber daya alam yang mungkin sebelumnya dianggap tidak bernilai ekonomis.

Hal ini telah disinggung dalam firman Allah yang terdapat pada Surah Asy-Syu'ara ayat ke-7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: *"Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?"*

Dalam Surat Asy-Syu'ara ayat 7, Allah menjelaskan bahwa Dia menumbuhkan berbagai macam tumbuhan di bumi sebagai bentuk kasih sayang-Nya kepada manusia. Tumbuhan-tumbuhan itu diciptakan untuk memberikan manfaat, dan tidak ada satu pun ciptaan Allah yang sia-sia, karena semuanya memiliki peran dan kegunaan masing-masing. Contohnya, biji alpukat yang sering dianggap limbah dan dibuang, ternyata dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioplastik (al-Qurtubi, 2009).

Dalam pembuatan bioplastik berbahan dasar pati, kekurangannya terletak pada sifat mekanik dan kecenderungan untuk bersifat hidrofilik. Oleh karena itu,

diperlukan modifikasi strukturnya untuk memperbaiki kelemahan bioplastik berbahan dasar pati ini. Beberapa jenis penguat yang umumnya digunakan yaitu kitosan, selulosa, nano selulosa, karboksimetil selulosa, *clay*, oksida logam dan lainnya. Oksida logam yang sering digunakan sebagai penguat dalam bioplastik yaitu ZnO dan TiO₂. Seng oksida (ZnO) dan Titanium dioksida (TiO₂) adalah bahan anorganik yang telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk energi, obat-obatan, pengawet kemasan, dan agen antimikroba (Ulandari, 2020).

Zink oksida (ZnO) merupakan senyawa anorganik yang memiliki tingkat biokompatibilitas tinggi, bersifat tidak toksik, hidrofobik, dan ramah lingkungan, sehingga menjadikannya salah satu bahan aditif yang potensial dalam pengembangan material berbasis polimer, khususnya bioplastik. ZnO dikenal mampu meningkatkan sifat mekanik komposit melalui interaksi yang kuat antara partikel ZnO dan matriks polimer. Sifat mekanik ZnO yang tinggi memungkinkan terjadinya transfer karakteristik mekanik secara efektif ke dalam struktur polimer, sehingga meningkatkan kekuatan dan stabilitas material secara keseluruhan (Abdullah et al., 2020). Selain itu, penambahan ZnO ke dalam matriks bioplastik terbukti dapat

menurunkan daya serap air secara signifikan. Sifat hidrofobik ZnO berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan bioplastik terhadap kelembaban, sehingga material menjadi lebih stabil dan tidak mudah terdegradasi saat terpapar air (Lestari, 2021). ZnO juga mampu melawan aktivitas mikroorganisme secara efisien dengan menekan pertumbuhannya, seperti bakteri dan jamur. Karakteristik ini memberikan nilai tambah pada bioplastik, terutama dalam aplikasi yang menuntut ketahanan terhadap kontaminasi mikroba, seperti kemasan makanan berbasis biopolimer (Harunsyah et al., 2021).

Namun demikian, dari sisi biodegradabilitas, penggunaan ZnO memiliki kekurangan. Aktivitas antimikroba ZnO yang tinggi justru dapat menghambat aktivitas mikroorganisme pengurai dalam tanah, sehingga memperlambat laju degradasi bioplastik. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa bioplastik dengan penambahan ZnO mengalami degradasi lebih lambat dibandingkan bioplastik tanpa penguat (Werapun et al., 2024). Sebagai alternatif, TiO_2 muncul sebagai oksida logam yang tidak hanya mampu memperkuat bioplastik melalui interaksi fisis dan kimiawi dalam matriks polimer, tetapi juga menunjukkan tingkat

biodegradasi yang lebih tinggi dibandingkan ZnO (Marra et al., 2017).

TiO₂ juga telah mendapat perhatian besar sebagai bahan kimia karena bersifat tidak toksik, stabil secara kimia, serta memiliki ketersediaan luas dengan harga yang relatif terjangkau. Karakteristik ini menjadikan TiO₂ aman digunakan dalam aplikasi bioplastik dan ekonomis untuk produksi dalam skala industri. Dalam berbagai studi, penambahan TiO₂ ke dalam matriks bioplastik terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik, khususnya kuat tarik (*tensile strength*), yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan bioplastik (Suryanegara et al., 2021). Meskipun memiliki sifat antibakteri, aktivitas fotokatalitik TiO₂, khususnya dalam bentuk anatas dapat mempercepat proses oksidasi dan dekomposisi material saat terpapar cahaya dan kelembaban. Hal ini memungkinkan bioplastik berbasis TiO₂ terurai lebih cepat di lingkungan terbuka (Wilmulda, 2022). TiO₂ juga mampu menurunkan tingkat serapan kelembaban pada bioplastik. Hal ini menjadikan bioplastik yang dimodifikasi dengan TiO₂ lebih tahan terhadap kondisi lembap atau basah, sehingga cocok digunakan untuk aplikasi kemasan yang

memerlukan perlindungan terhadap air dan kelembaban (Qoirinisa, 2022).

Baik ZnO maupun TiO₂ merupakan oksida logam yang memiliki beberapa karakteristik yang serupa, seperti tidak beracun, stabil secara kimia, bersifat antibakteri, dan mampu meningkatkan kekuatan tarik serta menurunkan daya serap air dari bioplastik. Keduanya juga memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan dengan gugus fungsional dari pati, serta dapat tersebar secara merata dalam matriks polimer. Namun, terdapat perbedaan mendasar di antara keduanya, terutama dari sisi struktur kristal, mekanisme interaksi dengan polimer, dan pengaruhnya terhadap degradasi biologis. ZnO umumnya lebih efektif dalam meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap air, tetapi cenderung memperlambat biodegradasi. Sementara itu, TiO₂ memiliki keunggulan dalam mempercepat proses degradasi dan lebih cocok untuk aplikasi bioplastik yang ditargetkan untuk cepat terurai di lingkungan (Phothisarattana & Harnkarnsujarit, 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan secara sistematis pengaruh penambahan ZnO dan TiO₂ terhadap karakteristik bioplastik berbasis pati biji alpukat dan sorbitol, khususnya dari segi kuat tarik, daya

serap air, dan tingkat biodegradabilitasnya. Dengan perbandingan ini, diharapkan dapat diperoleh data yang lebih komprehensif mengenai pilihan penguat yang paling efektif dalam pengembangan bioplastik yang tidak hanya kuat secara mekanik, tetapi juga ramah lingkungan.

Selain menggunakan penguat, untuk meningkatkan elastisitas dan sifat mekanik bioplastik, perlu juga ditambahkan *plasticizer* atau bahan pemlastis. Elastisitas dalam bioplastik terjadi karena penurunan gaya antarmolekul dalam rantai polimer. Gliserol dan sorbitol merupakan dua jenis zat pelunak yang umum diaplikasikan dalam proses ini, yang termasuk ke dalam kelompok poliol atau alkohol polihidrik (Alim et al., 2023). Dalam pembuatan bioplastik berbahan dasar pati, penggunaan sorbitol sebagai *plasticizer* ternyata lebih efisien karena sorbitol memiliki sifat higroskopis yang lebih baik dibandingkan gliserol, sehingga bioplastik yang dihasilkan menjadi bahan kemasan akan sangat baik untuk produk makanan karena rentan terhadap oksidasi (Farhan & Hani, 2017). Sorbitol juga memiliki sifat tidak mudah menguap, sehingga ketika dicampur dengan bahan lain yang memerlukan pemanasan, tidak menyebabkan pengurangan volume sorbitol. Di samping itu, penggunaan

sorbitol sebagai agen pelunak memberikan performa yang lebih unggul dalam hal kekuatan tarik dan fleksibilitas dibandingkan dengan gliserol (Perdana, 2016).

Penelitian ini tidak hanya berfokus pada pemanfaatan bahan alam lokal dan limbah organik seperti biji alpukat dalam pembuatan bioplastik ramah lingkungan, tetapi juga menunjukkan bahwa masih terbatasnya studi yang secara langsung membandingkan pengaruh ZnO dan TiO₂ terhadap kualitas bioplastik. Selama ini, sebagian besar penelitian hanya menggunakan satu jenis penguat tanpa membandingkannya secara sistematis. Kedua bahan ini sebenarnya memiliki karakteristik fisikokimia yang berbeda, yang dapat memengaruhi sifat mekanik, daya serap air, dan biodegradabilitas bioplastik. Melalui perbandingan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi material yang tidak hanya fungsional dan tahan lama, tetapi juga mudah terurai dan berbasis sumber daya lokal yang sejalan dengan kebutuhan global akan bahan yang berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini juga perlu dilakukan sebagai upaya penerapan konsep green chemistry guna menjaga kelestarian lingkungan melalui pemanfaatan plastik yang dapat terurai secara hayati. Judul penelitian yang akan

diangkat dalam penelitian ini adalah **“Perbandingan Pengaruh Penambahan ZnO dan TiO₂ Sebagai Penguat Pada Sintesis Bioplastik Berbasis Pati Biji Alpukat (*Persea Americana*) dan Sorbitol Terhadap Karakteristik Bioplastik”**.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dari pati biji alpukat yang dihasilkan pada penelitian ini?
2. Bagaimana karakteristik bioplastik dari pati-sorbitol dan dengan penambahan penguat yang dihasilkan pada penelitian ini?
3. Bagaimana perbandingan pengaruh dari penambahan ZnO dan TiO₂ terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik dari pati biji alpukat yang dihasilkan.

2. Untuk mengetahui karakteristik bioplastik dari pati-sorbitol dan dengan penambahan penguat yang dihasilkan pada penelitian ini.
3. Untuk mengetahui perbandingan pengaruh dari penambahan ZnO dan TiO₂ terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini.

D. Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan wawasan peneliti serta memperkaya pengetahuan di lingkungan Perguruan Tinggi terkait pemanfaatan pati dari biji alpukat, serta penggunaan filler ZnO dan TiO₂ sebagai bahan dasar dalam pembuatan bioplastik dengan tambahan *plasticizer* sorbitol.
2. Memberikan landasan atau referensi bagi pengembangan penelitian lebih lanjut di bidang yang relevan.
3. Memberikan wawasan baru kepada masyarakat tentang potensi pemanfaatan limbah biji alpukat sebagai sumber pati untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan bioplastik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Biji Alpukat

Tanaman alpukat merupakan anggota genus *Persea* dalam keluarga *Lauraceae*. Tumbuhan ini berasal dari kawasan Amerika Tengah dan umumnya berkembang dengan baik di wilayah pegunungan daerah asalnya (Wardiyah et al., 2021). Terdapat berbagai varietas alpukat yang dapat ditemukan di seluruh dunia. Secara umum, alpukat dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe utama, yaitu tipe West Indian, tipe Guatemalan, dan tipe Mexican (López, 2002). Gambar alpukat dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Alpukat
(CNN Indonesia, 2021)

Taksonomi tanaman alpukat diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i> (Berkeping dua/dikotil)
Sub kelas	: <i>Magnoliidae</i>
Ordo	: <i>Laurales</i>
Famili	: <i>Lauraceae</i>
Genus	: <i>Persea</i>
Spesies	: <i>Persea americana mill</i>

(Hartati et al., 2022)

Alpukat dibawa ke Indonesia pada tahun 1800-an. Buah alpukat memiliki nutrisi yang sangat bermanfaat bagi kesehatan manusia. Mineral, fenolat, karotenoid, fitosterol, protein, dan vitamin merupakan beberapa kandungan utama alpukat (Amsal et al., 2022). Alpukat tersedia secara luas di seluruh Indonesia dan merupakan buah yang populer di kalangan masyarakat karena berbagai manfaat kesehatannya, termasuk kadar lemak

yang tinggi (sekitar 90% dari total berat buah), serta kaya akan antioksidan dan nutrisi lainnya. Delapan puluh persen dari jumlah ini terdiri dari asam oleat atau oleat yang merupakan lemak tak jenuh tunggal yang memiliki beberapa manfaat kesehatan bagi manusia (Malangngi et al., 2012).

Sekitar 57 mg folat dan 548 mg kalium ditemukan dalam setengah buah alpukat. Setengah buah alpukat mengandung sekitar 10% dari jumlah folat harian yang direkomendasikan untuk tubuh. Selain itu, setengah buah alpukat dapat menyediakan sekitar 16% dari kebutuhan kalium harian. Alpukat juga mengandung berbagai macam vitamin, termasuk vitamin B1, B2, B5, C, A, K, E, dan biotin, serta berbagai macam fitokimia, termasuk flavonoid, saponin, alkaloid, tanin, asam folat, lesitin, asam pantotenat, beta-sitosterol, niasin, dan serat. Alpukat juga mengandung berbagai mineral, termasuk magnesium, seng, kalium, zat besi, tembaga, fosfor, dan glutathione. Selain buahnya, daun dan biji alpukat juga mengandung flavonoid, epikatekin, rutin, asam klorogenat, magnesium, kalsium, kalium, tanin, vitamin C, karotenoid, dan bahan kimia fenolik. Konsentrasi fenolik dan flavonoidnya

berkontribusi pada kualitas antioksidannya (Rahmawati et al., 2020).

Biji alpukat memiliki sifat bakterisida dan fungisida yang dapat menangani berbagai jenis mikroorganisme berbahaya. Kandungan yang melimpah pada biji alpukat memberikan manfaat positif untuk kesehatan kulit dan rambut. Dalam pengobatan tradisional, baik daun maupun biji alpukat dimanfaatkan untuk membantu mengatasi atau mengelola penyakit Alzheimer (AD) (Obloh et al., 2016).

Secara umum, ketika orang mengonsumsi buah alpukat, bijinya sering diabaikan dan dibuang. Namun, biji alpukat sebenarnya memiliki potensi besar karena selalu menghasilkan limbah biji saat diproses untuk dijadikan jus. Komposisi alpukat terdiri dari sekitar 65% daging buah (mesokarp), 20% biji (endokarp), dan 15% kulit buah (perikarp) (Risyan et al., 2016). Karena penggunaannya yang terbatas, biji alpukat dianggap sebagai limbah karena ukurannya yang relatif besar. Salah satu teknik untuk memanfaatkan biji alpukat adalah dengan mengekstrak patinya, yang kemudian dapat

digunakan sebagai komponen utama dalam pembuatan bioplastik.

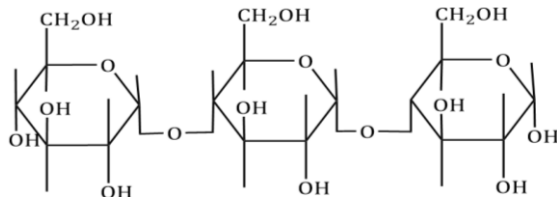
Zulhida & Tambunan (2013) pada penelitiannya telah mengkonversi pati dari biji alpukat dengan memvariasikan suhu dan waktu terhadap kualitas dari pati yang dihasilkan. Suhu dan waktu berpengaruh signifikan terhadap rendemen, kadar air, kadar karbohidrat, dan warna pati dari biji alpukat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pengeringan optimal adalah 40°C dengan waktu pengeringan 6 jam, yang menghasilkan pati biji alpukat berkualitas tinggi dengan rendemen yang tinggi karena sebagian besar kadar air dapat dikeluarkan.

2. Pati

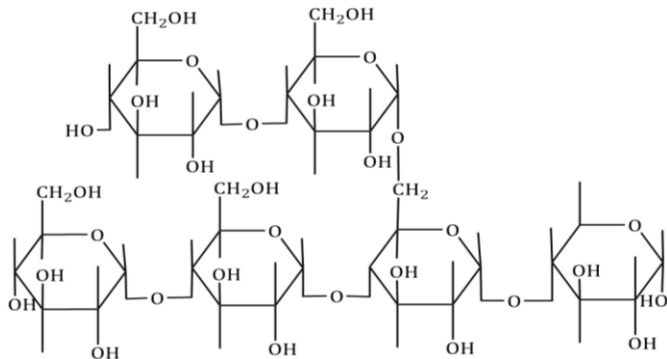
Pati merupakan zat utama yang diproduksi tanaman sebagai cadangan glukosa selama fotosintesis. Pati berfungsi sebagai simpanan energi dalam jangka waktu yang lama dan juga merupakan sumber makanan utama. Ini adalah polimer semi-kristal yang tidak mengalami leburan konvensional menjadi bentuk cair. Kristal pati memiliki kandungan air sebesar sekitar 9 hingga 10 persen dari berat totalnya. Dibandingkan

dengan polimer konvensional, pati memiliki sifat termal yang unik karena mengalami beberapa reaksi fisik dan kimia selama pembentukannya. (Situmorang et al., 2014).

Pati merupakan senyawa polimer yang tersusun dari unit-unit glukosa yang terhubung melalui ikatan α -glikosidik. Senyawa ini terdiri dari dua jenis komponen utama yang bisa dipisahkan dengan pelarutan dalam air panas. Komponen pertama adalah amilosa, yang larut dalam air dan memiliki struktur linear dengan ikatan α -(1,4)-glikosidik. Komponen kedua adalah amilopektin, yang tidak larut dan memiliki struktur bercabang, di mana cabang-cabangnya terbentuk melalui ikatan α -(1,6)-glikosidik selain ikatan utama α -(1,4)-glikosidik (Situmorang et al., 2014). Bentuk struktur amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar 2.2.



(a)



(b)

Gambar 2. 2 (a) Amilosa, (b) Amilopektin

Biji alpukat merupakan salah satu sumber pengganti untuk ekstraksi pati dan dianggap sebagai limbah industri. Biji alpukat kaya akan nutrisi yang bermanfaat bagi kesehatan. Setiap 100 gram biji alpukat mengandung 48,11% karbohidrat, 3,10% serat, 17,94% protein, dan 16,48% lemak. Kandungan pati biji alpukat cukup tinggi yaitu 79,45% dengan kandungan amilosa

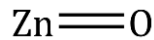
dan amilopektinnya sekitar 29,55% dan 49,90%. Tingginya kadar pati dalam biji alpukat menjadikannya bahan yang potensial untuk dimanfaatkan dalam produksi bioplastik (Lukman et al., 2022).

Putri (2019) pada penelitiannya menunjukkan bahwa Film bioplastik berbasis komposit pati dari biji alpukat menunjukkan tingkat degradasi mencapai 53,54% setelah 14 hari berada dalam media tanah. Di sisi lain, hasil uji menunjukkan bahwa pati dari biji alpukat memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 1,01 MPa, dengan tingkat elongasi sebesar 0,93% dan pemanjangan maksimum sebelum putus sebesar 0,5%. Analisis menggunakan spektrum inframerah (IR) juga mengungkapkan bahwa tidak ditemukan adanya pembentukan gugus fungsi baru.

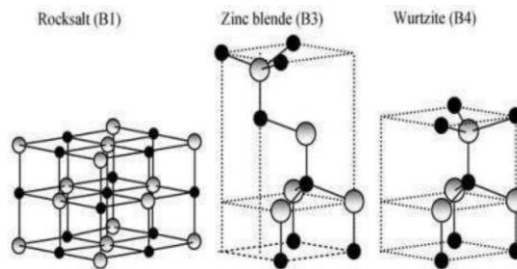
3. ZnO (Zink Oksida)

Zink oksida (ZnO) adalah senyawa anorganik yang memiliki sifat antibakteri. ZnO biasanya berbentuk serbuk putih dan sulit larut dalam air. ZnO memiliki tiga jenis struktur kristal yang berbeda yaitu *rocksalt*, *zick blende* dan *wurtzite*. Struktur *Wurtzite* dianggap lebih stabil daripada struktur ZnO lainnya dalam kondisi

termodinamika yang tidak sesuai, dimana atom Zn sebagai kation dan atom O sebagai anion akan membentuk koordinasi tertrahedral (Irham, 2019). Struktur Kimia dari ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan struktur kristal znO dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 3 Struktur Kimia ZnO



Gambar 2. 4 Struktur Kristal ZnO

(Damayanti & Nusantara, 2018)

ZnO merupakan senyawa ionik berbentuk kristal, di mana ion positif dan ion negatif tersusun secara teratur dalam pola yang berulang. Struktur ion-ion ini membentuk kisi kristal dengan pola tertentu yang stabil. ZnO dikenal memiliki kemampuan mentransmisikan

cahaya yang tinggi dalam spektrum tampak, serta memiliki indeks bias yang tinggi. Selain itu, material ini menunjukkan nilai kemampuan piezoelektrik yang tinggi, lebar celah pita energi, dan konduktivitas listrik yang efisien. ZnO juga unggul dalam hal daya rekat, tingkat kekerasan, serta stabilitas terhadap pengaruh kimia dan tekanan mekanis (Irham, 2019).

Zink oksida (ZnO) banyak diaplikasikan dalam industri makanan dan efektivitasnya sebagai agen antibakteri. Selain berperan sebagai sumber penambahan gizi (fortifikasi), ZnO juga memiliki potensi untuk memperpanjang masa simpan produk makanan. Kemampuannya sebagai agen antibakteri pada kemasan makanan memungkinkan interaksi dengan produk makanan itu sendiri, sehingga dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan produk (Kanmani & Rhim, 2014).

Zink oksida (ZnO) yang dimasukkan ke dalam bioplastik digunakan sebagai penguat, yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan bioplastik terhadap beban atau gaya yang diterapkan saat diuji tarik. Penggunaan ZnO dalam pembuatan bioplastik ini juga berperan sebagai

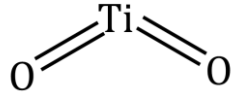
bahan pengisi. Selama proses homogenisasi, partikel pengisi akan disatukan dengan matriks polimer di antara lapisan-lapisan yang terbentuk. Hal ini disebabkan oleh kemampuan gugus pada ZnO dalam menyerap elektron dari gugus hidroksil (OH) yang terdapat pada rantai polisakarida, yang kemudian membentuk ikatan antar keduanya (Kusumawardhani, 2017).

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Abdullah, et al (2020) menyatakan bahwa ZnO merupakan bahan ringan, biokompatibel, non-toksik, hemat biaya, dan memiliki aktivitas antibakteri yang kuat, berperan sebagai penguat bioplastik pati. Bioplastik dengan tambahan ZnO 4% memiliki kadar air terendah (3,45%) dan sedikit peningkatan suhu dekomposisi, menunjukkan stabilitas yang lebih tinggi. Evaluasi mekanik menunjukkan peningkatan kekuatan tarik pada bioplastik dengan ZnO, di mana penambahan 4% ZnO memiliki kekuatan tarik tertinggi (10,29 MPa) dengan perpanjangan 5,69%. Uji biodegradabilitas menunjukkan penurunan pertumbuhan mikroba dengan ZnO karena sifat antibakteriannya.

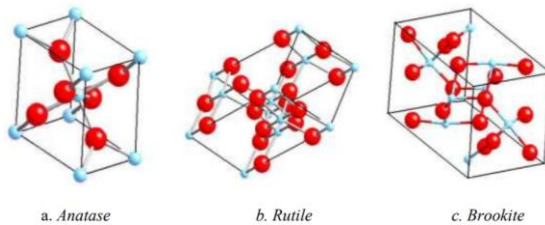
4. TiO_2 (Titanium Dioksida)

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan bahan semikonduktor yang tergolong dalam kelas oksida logam. TiO_2 memiliki massa jenis rendah, tahan terhadap korosi, dan dapat meningkatkan sifat fungsional material biodegradable. Material ini dikenal karena ketahanan fisik dan kimianya yang sangat baik, mampu menyebar secara merata, memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, serta mampu mentransfer elektron dengan efisien. Selain itu, sifatnya yang ramah terhadap tubuh menjadikannya pilihan yang tepat untuk aplikasi implan medis. TiO_2 hadir dalam tiga bentuk kristal polimorfik: rutil (tetragonal), anatase (tetragonal), dan brookite (ortorombik). Senyawa ini banyak dimanfaatkan dalam berbagai produk sehari-hari, seperti pewarna untuk cat dinding, bahan aktif dalam sunscreen, pasta gigi, serta komponen dalam teknologi seperti sel surya, sensor, dan alat penyimpanan data. Selain itu, TiO_2 memiliki potensi besar dalam bidang lingkungan dan kesehatan, termasuk untuk menguraikan polutan melalui proses fotokatalitik, memperpanjang umur simpan makanan, melapisi permukaan bahan, membantu

penyembuhan luka, serta digunakan dalam perangkat biosensor (Ulandari, 2020). Struktur kimia dari TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan struktur kristal dari TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 5 Struktur Kimia TiO_2



Gambar 2. 6 Struktur Kristal TiO_2

(Axala, 2022)

Penggunaan TiO_2 sebagai bahan pengisi dalam bioplastik mampu memperkuat karakteristik fisik dan kekuatan mekanis dari material yang dihasilkan. Selain itu, TiO_2 memiliki sifat khusus seperti antibakteri, fotokatalis, dan pelindung UV, yang membuatnya ideal untuk aplikasi dalam bidang kesehatan, kosmetik, dan pertanian.

Penggunaan TiO_2 sebagai aditif dalam bioplastik telah diterapkan secara luas, terutama pada kemasan makanan, kantong belanja ramah lingkungan, dan berbagai produk kemasan lainnya. Penambahan TiO_2 tidak hanya meningkatkan ketahanan bioplastik terhadap degradasi akibat paparan sinar UV, tetapi juga meningkatkan daya tahan produk dengan menghambat perkembangan mikroba yang berpotensi menurunkan mutu produk. Dalam aplikasi kemasan makanan, TiO_2 berperan penting dalam memperlambat proses oksidasi, menjaga kesegaran, serta membantu mempertahankan kualitas nutrisi dan rasa dari produk yang dikemas, sehingga keamanan dan kualitas produk lebih terjamin selama masa penyimpanan. Bioplastik berbasis pati-logam oksida menunjukkan keunggulan dalam hal kekuatan mekanik dan fisik serta kemampuannya mengurangi kontaminasi mikroorganisme. Oleh karena itu, penambahan TiO_2 , khususnya dalam bentuk rutil, dapat memengaruhi sifat fisik, mekanik, dan laju biodegradasi bioplastik karena sifat antimikroba dan hidrofiliknya yang rendah, sehingga tidak mudah larut dalam air (Qoirinisa, 2022).

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan Amin, et al (2019) menyatakan bahwa penambahan titanium dioksida meningkatkan kekuatan tarik bioplastik mempunyai kesesuaian morfologi yang lebih baik dibandingkan dengan bioplastik pati. Hasil uji biodegradasi dengan metode penguburan dalam tanah menunjukkan bahwa bioplastik mudah terurai secara hayati

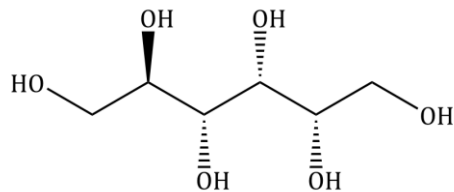
5. Sorbitol (C₆H₁₄O₆)

Plasticizer bahan tambahan yang memberikan fleksibilitas dan ketahanan suatu material. Bahan ini termasuk salah satu komponen kimia yang sangat diminati karena dapat mengubah karakteristik dari plastik, cat, karet, beton, tanah liat, dan bahan perekat. Sebagian besar *plasticizer* berbentuk cairan dan biasanya tidak berwarna, sementara jenis lainnya memiliki warna mulai dari kuning pucat hingga kuning cerah. Beragam jenis bahan yang umum dipakai sebagai *plasticizer* meliputi gliserol, PVA (polivinil alkohol), sorbitol, serta beberapa senyawa asam seperti laurat, oktanoat, dan laktat, termasuk juga trietilena glikol (Melani et al., 2017).

Plasticizer adalah senyawa organik yang ditambahkan ke dalam material yang keras atau kaku, dengan tujuan mengurangi penumpukan interaksi antar molekul di sepanjang rantai polimer. Dampak dari hal ini adalah meningkatnya kelenturan, kelembutan, dan pemanjangan bioplastik. Semakin banyak *plasticizer* yang ditambahkan, semakin besar sifat elastisitasnya, namun kekerasannya akan menurun karena tekanan yang diperlukan untuk deformasi akan berkurang. Ini mengakibatkan penurunan tingkat kekerasan. Prinsip dari proses penggunaan *plasticizer* adalah dengan menyebarkan molekul *plasticizer* ke dalam bioplastik termoplastik. *Plasticizer* yang berinteraksi dengan polimer akan menyebabkan dispersi pada tingkat molekuler sehingga terbentuk larutan campuran polimer dan *plasticizer*. Sifat fisik dan mekanis dari campuran tersebut bergantung pada sebaran komposisi *plasticizer*. Dalam penelitian ini, sorbitol digunakan sebagai jenis *plasticizer* (Melani et al., 2017).

Sorbitol ($C_6H_{14}O_6$) termasuk pemanis pengganti yang sering dipakai dalam industri pangan. Senyawa ini pertama kali diidentifikasi pada tahun 1872 dan secara

alami terdapat pada berbagai buah-buahan serta *berry*. Saat ini, sorbitol dapat diproduksi secara sintetis melalui proses hidrogenasi glukosa. Sorbitol merupakan sejenis gula alkohol atau poliol yang terdiri dari enam atom karbon, dikenal juga sebagai heksitol, dan terbentuk dari hasil reduksi fruktosa. Walaupun tingkat kemanisannya hanya sekitar 60% dibandingkan sukrosa, kandungan kalori sorbitol lebih rendah. Di mana sukrosa menyediakan 4 kalori per gram, sorbitol hanya mengandung sekitar 2,6 kalori per gram dalam takaran yang sama (Melani et al., 2017). Struktur dari sorbitol dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Struktur Sorbitol

Sorbitol bekerja lebih efisien sebagai *plasticizer* karena kemampuannya dalam melemahkan ikatan hidrogen antar molekul, sehingga meningkatkan fleksibilitas material. Sifat ini memberikan kemampuan

dalam menahan penguapan air, memungkinkan larutnya bahan dalam berbagai rantai polimer yang mendukung mobilitas molekul, serta menghasilkan permeabilitas oksigen yang rendah. Selain itu, sorbitol tersedia dalam jumlah besar dan harganya terjangkau (Kristiani, 2015). Penggunaan sorbitol dapat mengurangi kekakuan plastik. Lebih lanjut, plastik yang dibuat dengan sorbitol sebagai *plasticizer* menunjukkan daya tahan tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan plastik yang menggunakan *plasticizer* lain seperti gliserol. Dalam uji elongasi, bioplastik yang mengandung sorbitol juga menunjukkan performa yang lebih baik daripada yang menggunakan gliserol (Widyaningsih et al., 2012).

6. Bioplastik

Bioplastik merupakan plastik yang memiliki kegunaan serupa dengan plastik konvensional, tetapi dirancang agar dapat mengalami proses degradasi secara biologis oleh mikroorganisme, sehingga akhirnya berubah menjadi senyawa seperti air dan karbon dioksida setelah digunakan dan dilepaskan ke lingkungan. Bioplastik termasuk dalam kategori plastik yang ramah lingkungan,

karena kemampuannya untuk kembali ke alam (Sinaga et al., 2014). Standar Nasional Indonesia bioplastik terdapat pada Tabel 2.1.

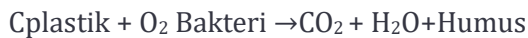
Tabel 2. 1 Standar SNI Bioplastik (7188.7;2016)

NO	Karakteristik	Nilai
1.	Kuat Tarik (Mpa)	24,4-30,2 Mpa
2.	Persen Elongasi (%)	21-220 %
3.	Daya Serap Air (%)	21,5%
4.	<i>Biodegradable</i> (hari)	60% (Seminggu)

Plastik biodegradable secara hayati dapat terurai 10 hingga 20 kali lebih cepat di lingkungan daripada plastik biasa, yang membutuhkan waktu sekitar 50 tahun untuk terurai. Bakteri *Bacillus* dan *pseudomonas* memiliki kemampuan untuk mengurai polimer biodegradable berbasis pati menjadi monomernya. Proses penguraian polimer menghasilkan senyawa seperti karbon dioksida, air, asam organik, dan aldehid yang bersifat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan dampak negatif. Selain itu, plastik biodegradable yang dapat terurai secara hayati tidak melepaskan bahan kimia berbahaya saat

terbakar. Selain itu, proses penguraian oleh mikroorganisme dapat memperbaiki kesuburan tanah dengan menambah kadar nutrisi yang tersedia di dalamnya (Nahir, 2017).

Selama proses pemecahan polimer, terbentuk pula senyawa organik seperti asam organik dan aldehid selain air dan karbon dioksida, yang semuanya tidak membahayakan lingkungan. Proses biodegradasi ini dibantu oleh bakteri tanah dan mengikuti reaksi berikut:



Film bioplastik sebagai sampel diuji dengan cara dikubur dalam media tanah yang seragam di dalam sebuah wadah tertutup (Ummah, 2013).

B. Karakterisasi

1. FTIR

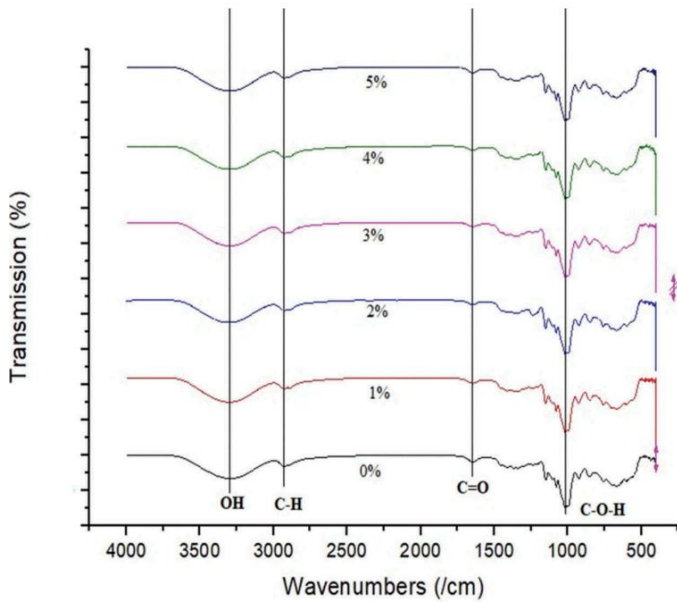
Spektrofotometri inframerah merupakan teknik analisis yang berfungsi untuk mengenali gugus fungsi pada senyawa organik maupun anorganik secara kualitatif. Dalam metode ini, frekuensi radiasi inframerah diukur menggunakan satuan bilangan gelombang,

biasanya berkisar dari 4.600 hingga 400 cm^{-1} . Radiasi inframerah menghasilkan energi yang menyebabkan getaran (vibrasi) pada molekul (Maftuhatussolihah, 2022). Spektrum FTIR diambil dengan spektrofotometer pada kondisi suhu ruangan, menghasilkan data berupa grafik yang menggambarkan korelasi antara frekuensi gelombang dan tingkat transmitansi. Hal ini memungkinkan untuk mengenali jenis-jenis gugus fungsi yang ada di dalam material bioplastik (Elisusanti et al., 2023).

Spektroskopi FTIR bekerja dengan cara memancarkan radiasi inframerah ke dalam sampel, dimana sebagian dari radiasi tersebut diserap oleh materi sampel, sementara sisanya diteruskan. Spektrum yang dihasilkan menunjukkan tingkat absorpsi dan transmisi molekul, yang membentuk pola unik seperti sidik jari untuk molekul dalam sampel tersebut. Seperti halnya sidik jari manusia, pola sidik jari spektrum ini bersifat unik dan tidak ada yang identik (Dahri, 2024).

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Abdullah, et al (2020), analisis FTIR menunjukkan adanya interaksi antarmolekul melalui gugus C-H, C=O, C-

O-H, dan O-H dalam bioplastik berbahan pati dan ZnO, seperti pada gambar 2.8 berikut.



Gambar 2. 8 Spektrum FTIR Bioplastik Dengan ZnO

Hasil FTIR menunjukkan bahwa secara umum, rentang gelombang dari 3200 hingga 3500 cm^{-1} berkaitan dengan peregangan O-H, sementara puncak pada 2929 cm^{-1} terkait dengan peregangan C-H pada gugus metil dan metilen. Pita serapan pada 1643 cm^{-1} berkaitan dengan

pembelokan δ (O-H) air, sedangkan puncak pada 1151 cm^{-1} dan 1079 cm^{-1} menunjukkan cincin piranosa C - O - C pada pati. Puncak pada 996 cm^{-1} terkait dengan peregangan ikatan C-O-C pada β -(1-4)-glikosidik. Pita serapan pada 3300 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ulur O-H pada pati dan ZnO yang menunjukkan interaksi antara matriks pati dan nanopartikel ZnO.

2. Sifat Mekanik

a. Uji Kuat Tarik

Tensile-strength atau kekuatan tarik adalah tekanan maksimum yang dapat ditanggung oleh suatu bahan sebelum mengalami pemutusan. Pengukuran *tensile-strength* bertujuan untuk menentukan gaya yang diperlukan untuk mengerahkan jumlah tekanan maksimum pada setiap satuan luas permukaan bahan, yang menyebabkan bahan meregang atau memanjang. Jumlah *plasticizer* yang digunakan dalam proses pembuatan film memiliki pengaruh yang signifikan pada hasil pengukuran. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menyelidiki hubungan antara

tegangan dan regangan adalah uji tarik. Spesimen ditarik ke dua arah yang berbeda selama pengujian ini, yang menyebabkan spesimen bertambah panjang dan diameternya mengecil. Selama pengujian, Nilai beban yang diberikan serta perubahan panjang dicatat secara sistematis. Tensile-strength merujuk pada beban maksimum yang dapat ditanggung oleh bahan uji (Riswanto, 2016). Perhitungan nilai kuat tarik dapat diketahui melalui persamaan 2.1.

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (2.1)$$

Dengan σ adalah kekuatan tarik bahan ($N.m^{-2}$), F_{maks} adalah tegangan maksimum (N), A_0 adalah luas penampang mula – mula (m^2) (Salindeho et al., 2013).

b. Uji Elongasi

Pertambahan panjang maksimum yang terjadi saat meregangkan sampel film hingga putus disebut elongasi. Nilai persentase pemanjangan dalam film akan meningkat dengan penambahan lebih banyak *Plasticizer* (Maftuhatussolihah, 2022).

Perhitungan nilai % elongasi dapat diketahui melalui persamaan 2.2.

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan l_0 adalah panjang film awal (m), l = panjang film akhir (m) (Mandasari & Kusuma, 2023).

3. Uji Daya Serap Air

Salah satu faktor terpenting dalam menentukan biodegradabilitas film sebagai kemasan adalah kapasitasnya untuk menyerap air. Tingkat kelarutan film harus tinggi atau sebaliknya, tergantung pada jenis produk yang dikemas. Pengukuran kemampuan menyerap air adalah langkah penting untuk memastikan bahwa kualitas bioplastik sesuai dengan yang diinginkan (Riswanto, 2016). Perhitungan nilai daya serap air dapat diketahui melalui persamaan 2.3.

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{W-W_0}{W_0} \times 100 \quad (2.3)$$

Dengan W adalah berat bioplastik akhir (g), W_0 adalah berat bioplastik awal (g) (Sunardi et al., 2020).

4. Uji Biodegradabilitas

Biodegradasi adalah kemampuan suatu bioplastik untuk terurai sepenuhnya oleh mikroorganisme dalam jangka waktu tertentu, sehingga menjadi bahan kemasan yang ramah lingkungan. Proses degradasi secara kimiawi terjadi dalam dua jenis kondisi, yakni melalui aktivitas organisme hidup (lingkungan biotik) dan tanpa keterlibatan makhluk hidup (lingkungan abiotik). Di lingkungan biotik, serangan mikroba oleh bakteri, jamur, dan ganggang biasanya menjadi penyebab degradasi. Sementara itu, oksidasi, hidrolisis, paparan sinar UV, dan proses lainnya termasuk di antara proses yang menyebabkan degradasi di lingkungan abiotik. Bahan yang dapat terurai secara hayati adalah bahan yang dapat dibagi menjadi bagian-bagian komponennya. Dalam proses ini, mikroorganisme seperti jamur dan bakteri biasanya berfungsi sebagai agen pengurai atau pengurai (Riswanto, 2016). Perhitungan nilai % terdegradasi dapat diketahui melalui persamaan 2.4.

$$\%Terdegradasi = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2.4)$$

Dengan W_1 adalah berat bioplastik awal (g), W_2 adalah berat bioplastik akhir (g) (Mandasari & Kusuma, 2023).

C. Kajian Pustaka

Pertama, jurnal penelitian oleh Maslahah, et al (2021) menyatakan bahwa ZnO dapat digunakan sebagai penguat dalam bioplastik karena bioplastik yang terbuat dari pati cenderung rapuh. Karakterisasi bioplastik mencakup uji mekanik (seperti kekuatan tarik, perpanjangan, dan modulus elastis), analisis FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), dan evaluasi biodegradasi bioplastik di tanah dengan pH 5 dan pH 6. Variasi dengan penambahan 3% ZnO menghasilkan bioplastik dengan sifat mekanik dan fisik yang baik. Bioplastik ini menunjukkan kekuatan tarik sebesar 5,9966 MPa, perpanjangan sebesar 5,00045%, dan modulus elastis sebesar 118,1268 MPa. Uji biodegradasi pada tanah dengan pH 5 dan pH 6 menghasilkan penurunan massa bioplastik hingga 70% dan 72% masing-masing dalam waktu 15 hari.

Kedua, jurnal penelitian oleh Amin, et al (2019) menyatakan bahwa pemberian tambahan titanium dioksida pada bioplastik menyebabkan peningkatan nilai kekuatan tarik dari 3,55 MPa menjadi 3,95 MPa, sekaligus

mengakibatkan penurunan kemampuan regangan dari 88% menjadi 62%. Hasil yang diperoleh dari SEM menunjukkan bahwa bioplastik komposit mempunyai kesesuaian morfologi yang lebih baik dibandingkan dengan bioplastik pati karena jumlah rongga, lubang, dan retakan yang lebih sedikit. Gugus fungsi O-H, C-H, C=O, dan C-O menunjukkan telah terjadi pembentukan bioplastik pati dan bioplastik komposit yang dikonfirmasi dengan spektroskopi FTIR.

Ketiga, jurnal penelitian oleh Werapun, et al (2024) menyatakan bahwa ZnO menghasilkan film yang lebih transparan daripada TiO₂. Gugus fungsi O-H, C-H, C=O, dan C-O dalam bioplastik dan komposit terdeteksi oleh FT-IR. bioplastik dengan tambahan zat aditif memiliki kekuatan tarik lebih tinggi dibandingkan bioplastik tanpa aditif. Film bioplastik tanpa zat aditif 100% biodegradable, sedangkan bioplastik dengan ZnO dan TiO₂ hanya 14,71% dan 14,59% biodegradable.

Keempat, jurnal penelitian oleh Zulhida & Tambunan (2013) menyatakan bahwa suhu dan waktu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap rendemen, kadar air, kadar karbohidrat, dan warna pati. Berdasarkan hasil penelitian, suhu pengeringan optimal adalah 40°C dengan waktu

pengeringan selama 6 jam untuk menghasilkan pati biji alpukat yang berkualitas. Pada suhu tersebut dan waktu pengeringan 6 jam, sebagian besar kadar air dalam bahan dapat dikeluarkan, sehingga menghasilkan rendemen pati yang tinggi dari proses penggilingan.

Kelima, jurnal penelitian oleh Handayani & Haryanto (2020), menyatakan bahwa penambahan sorbitol dalam plastik dapat meningkatkan tingkat elongasi plastik, tetapi dapat mengurangi kekuatan tariknya. Selain itu, penambahan sorbitol juga dapat meningkatkan daya serap air serta kemampuan plastik untuk terdegradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa plastik dengan penambahan sorbitol memiliki nilai maksimum kekuatan tarik mencapai 1,55 MPa, elongasi tertinggi sebesar 3,38%, penyerapan air paling optimal sebesar 1,66%, serta laju biodegradasi tercepat terjadi dalam kurun waktu 6 hari.

Dengan mengacu pada kelima kajian di atas, penelitian ini memiliki perbedaan utama dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, yaitu fokus pada perbandingan antara filler ZnO dan TiO₂ terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan filler mana di antara kedua oksida logam tersebut yang lebih baik

digunakan berdasarkan karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

D. Hipotesis Penelitian

Pembuatan bioplastik berbasis pati biji alpukat dengan penambahan ZnO dan TiO₂ sebagai penguat diharapkan dapat memiliki sifat mekanik (kuat tarik dan % pemanjangan) yang lebih baik dan daya serap air yang rendah. Hal ini karena ZnO dan TiO₂ dapat memperkuat ikatan dalam matriks polimer. Partikel ZnO dan TiO₂ bertindak sebagai agen pengisi (*filler*) anorganik yang memperkuat ikatan antar bagian penyusun bioplastik, sehingga strukturnya menjadi lebih rapat, kuat, dan tidak mudah rusak. Selain itu, penyebaran ZnO dan TiO₂ yang merata juga membantu menghambat masuknya air ke dalam bioplastik, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap kelembaban.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan antara bulan Mei 2024 hingga Februari 2025 di Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Analisis karakterisasi menggunakan FT-IR dilakukan di Laboratorium Fisika UIN Walisongo Semarang, sementara pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro, Semarang.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pisau, blender, baskom, toples, kertas saring, ayakan 100 mesh, tabung reaksi pipet tetes, gelas beker, hot plate, *magnetic stirrer* (Cimarec), cetakan bioplastik, oven (Memmert UN 30), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) Shimadzu, dan *mechanical universal testing machine* (CORES-DU_R-7.8 LHU).

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji alpukat, akuades, Natrium metabisulfit 98 % (Merck), ZnO 99% (Merck), TiO₂ 99% dengan struktur kristal rutil (Merck), sorbitol (teknis), dan iodine 0,1 N.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Pati dari Biji Alpukat

Biji alpukat seberat 2,5 kg dicuci bersih dan dipotong kecil-kecil. Irisan biji alpukat direndam dalam larutan natrium metabisulfit 2500 ppm selama 24 jam. Irisan biji alpukat lalu diblender hingga terbentuk bubur biji alpukat/*slurry*. Bubur biji alpukat yang dihasilkan diperas untuk diambil filtratnya dengan menggunakan kain. Filtrat yang dihasilkan diendapkan selama 24 jam. Endapan pati yang diperoleh dikeringkan dalam oven selama 2,5 jam dengan suhu 50°C. Pati yang dihasilkan dihaluskan menjadi serbuk dan disaring dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran yang seragam (Muhammad et al., 2020).

a. Uji Amilum

Pati biji alpukat ditimbang sebanyak 0,5 gram, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 tetes larutan iodin 0,1 N ditambahkan ke dalam tabung reaksi. Jika warnanya berubah menjadi biru, menandakan hasil tes menunjukkan hasil yang positif (Mustakin & Tahir, 2019).

2. Pembuatan Bioplastik

Pati ditimbang sebanyak 2,5 gram. Pati dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan aquades sebanyak 50 mL sambil diaduk. Campuran ditambahkan sorbitol sebanyak 30% dari berat pati dan ZnO dengan variasi 0%, 2%, 4% dan 6%. Selanjutnya campuran dipanaskan di atas *hotplate* bersuhu 90°C sambil diaduk menggunakan *strirrer* selama 40 menit hingga mengalami gelatinisasi. Setelah itu dicetak bioplastik dan dikeringkan dalam oven bersuhu 50°C selama 4 jam. Plastik kemudian didiamkan pada suhu kamar hingga kering (Maslahah et al., 2021). Cara tersebut diulang dengan menggunakan TiO₂ dengan perbandingan yang sama. Variasi komposisi pembuatan bioplastik dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Komposisi Pembuatan Bioplastik

No.	Pati	Sorbitol	Zno/TiO ₂
1.	2,5 gram	0,75 mL	0 gram
2.	2,5 gram	0,75 mL	0,05 gram
3.	2,5 gram	0,75 mL	0,1 gram
4.	2,5 gram	0,75 mL	0,15 gram

3. Pengujian Bioplastik

a. Analisis Dengan FTIR

Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Sampel diletakkan di atas kristal ATR, kemudian ditekan dengan alat penekan. Pengujian FTIR dilakukan menggunakan instrumen Fourier Transform Infrared dengan cakupan spektrum antara 4000 hingga 400 cm⁻¹ (Sunardi et al., 2020) di Laboratorium Fisika UIN Walisongo Semarang.

b. Uji Kuat Tarik

Sampel dipotong dengan ukuran 1 cm x 5 cm. Sampel ditarik hingga terputus di bagian tengah. Uji kuat tarik dilakukan menggunakan alat *mechanical universal testing machine* (Sunardi et al., 2020) di

Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang.

c. Uji Daya Serap Air

Sampel dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Sampel ditimbang untuk diukur berat awalnya, kemudian direndam dalam gelas beker berisi aquades selama 10 detik. Sampel diangkat dan permukaannya dikeringkan dengan tisu, kemudian diukur beratnya kembali (Sunardi et al., 2020).

d. Uji Biodegradasi

Sampel dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm. Sampel ditimbang untuk diukur berat awalnya. Setelah itu sampel dikubur di dalam tanah kompos untuk dibiarkan terdegradasi. Sampel dicek berkala setiap hari untuk diukur beratnya (Mandasari & Kusuma, 2023).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil penelitian dan analisis yang mencakup proses pembuatan pati biji alpukat (PBA) serta bioplastik berbahan PBA dan sorbitol (BPS), dengan ZnO dan TiO₂ sebagai penguat. Uji kualitatif pati dilakukan menggunakan iodin, sementara identifikasi gugus fungsi pada pati PBA dan bioplastik dianalisis dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Karakterisasi sifat mekanik dan fisik bioplastik mencakup pengujian kuat tarik, elongasi, daya serap air, dan biodegradasi.

A. Pembuatan Pati Dari Biji Alpukat

Sebanyak 2,5 kg biji alpukat dicuci hingga bersih, kemudian dipotong kecil-kecil. Saat dipotong, biji alpukat mengalami perubahan warna dari putih menjadi merah kecokelatan akibat paparan udara. Menurut Afif, et al (2018), perubahan ini disebabkan oleh kandungan senyawa fenolik dopa (3,4 dihidroksi fenilalanin), yang memicu reaksi pencoklatan enzimatik melalui interaksi antara oksigen dan substrat fenolik dengan bantuan enzim polifenol oksidase sebagai katalis.

Untuk mencegah reaksi oksidasi, irisan biji alpukat direndam dalam larutan natrium metabisulfit 2500 ppm selama 24 jam. Natrium metabisulfit berperan sebagai agen anti-browning dengan menghambat kerja enzim polifenol oksidase yang bereaksi dengan oksigen, sehingga mencegah terjadinya pencoklatan. Selain itu, senyawa ini juga berfungsi sebagai antimikroba dan antioksidan, yang membantu memperpanjang masa simpan dan menjaga kualitas pati dari biji alpukat agar tidak mudah rusak (Afif et al., 2018). Setelah perendaman, irisan biji alpukat diblender hingga membentuk bubur (*slurry*). Bubur tersebut kemudian disaring dan diperas menggunakan kain untuk memisahkan filtrat yang mengandung pati dari ampasnya.

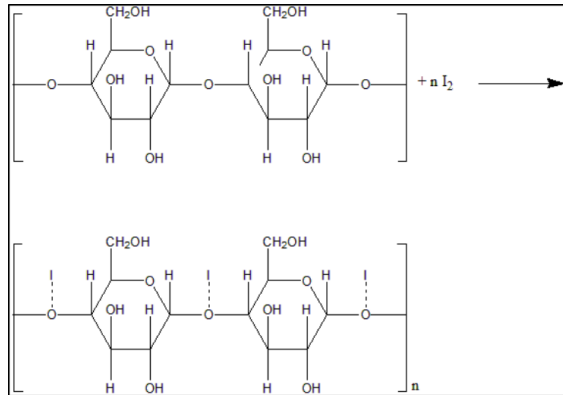
Filtrat yang diperoleh dibiarkan mengendap selama 24 jam, menghasilkan dua lapisan, yaitu lapisan air berwarna oranye dan endapan pati berwarna putih. Endapan pati kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 2,5 jam. Setelah kering, pati dihancurkan hingga menjadi serbuk, lalu disaring menggunakan ayakan 100 mesh agar ukurannya seragam. Hasil akhir berupa pati biji alpukat berbentuk serbuk halus berwarna putih tulang. Gambar pati biji alpukat terdapat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pati Biji Alpukat

a. Uji Amilum

Pati biji alpukat (PBA) diuji dengan larutan iodin untuk mengidentifikasi keberadaan amilum. Pengujian menunjukkan hasil positif, yang terlihat dari perubahan warna menjadi biru kehitaman setelah iodin ditambahkan. Menurut Permatasari & Muliasari (2022), perubahan warna ini terjadi karena susunan molekul glukosa dalam larutan pati yang membentuk struktur heliks akibat konfigurasi ikatan antar unit glukosa. Persamaan reaksi pembentukan kompleks biru kehitaman terdapat dalam Gambar 4.2 dan hasil uji amilum terdapat dalam Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Persamaan Reaksi Pembentukan Kompleks Biru Kehitaman

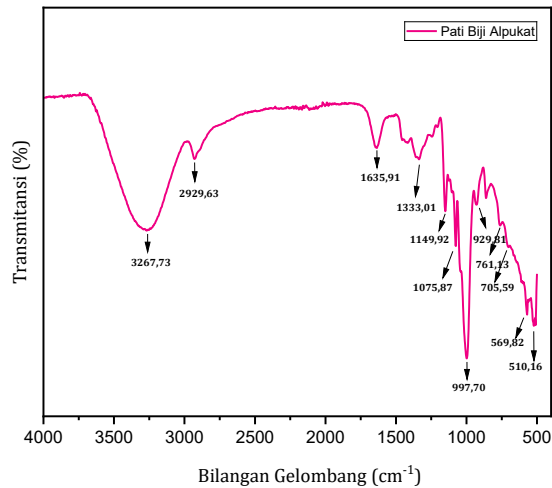
(Permatasari & Muliasari, 2022)



Gambar 4. 3 Hasil Uji Amilum

b. Karakterisasi Pati Biji Alpukat (PBA) Menggunakan Spektrofotometer FTIR

Gugus fungsi PBA dianalisis menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Hasil spektra uji FTIR PBA terdapat pada Gambar 4.4 dan Tabel 4.1



Gambar 4. 4 Hasil Spektra FTIR PBA

Tabel 4. 1 Hasil Uji FTIR PBA

Gugus fungsi dan jenis senyawa	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Bilangan Gelombang (cm^{-1}) (Afif et al., 2018)
O-H	3267,73	3400,69
C-H (Alkana)	2929,63	2929,09
C=O (Ester)	1635,91	1649,75
C-O	1149,92, 1075,87, 997,70, dan 929,81	1158,10, 1083,87, 1006,75, dan 931,79

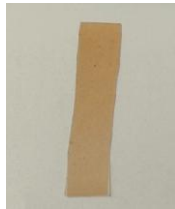
Hasil spektrum menunjukkan beberapa puncak serapan pada bilangan gelombang 3267,73; 2929,63; 1635,91; 1333,01; 1149,92; 1075,87; 997,70; 929,81; 569,82; dan $510,16 \text{ cm}^{-1}$. Puncak pada $3267,73 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya regangan dari gugus O-H, yang berasal dari gugus hidroksil (Afif et al., 2018). Puncak $2929,63 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan C-H dari gugus alkana (Yunita et al., 2022). Selanjutnya, puncak pada $1635,91 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan gugus C=O dari senyawa ester, sekaligus menunjukkan adanya molekul air yang teradsorpsi di area amorf. Area amorf adalah bagian dari struktur polimer yang tidak tersusun rapi. Pada pati, bagian amorf ini berasal dari amilopektin. Bagian ini memiliki ruang-ruang kosong, sehingga air bisa masuk dan menempel di struktur tersebut. Adanya air di area ini

memperkuat dugaan bahwa senyawa tersebut adalah pati, karena pati memiliki sifat semi-kristalin, yaitu terdiri dari bagian yang teratur (kristalin) yaitu amilosa dan tidak teratur (amorf) yaitu amilopektin yang dapat menyerap air (Nadhira & Cahyana, 2023). Sementara itu, puncak-puncak di 1149,92; 1075,87; 997,70; dan 929,81 cm^{-1} menunjukkan regangan gugus C-O, baik dari ikatan C-O-C maupun C-OH pada cincin glikosidik (Yunita et al., 2022). Temuan ini konsisten dengan hasil analisis PBA menggunakan spektrofotometer FTIR yang dilakukan oleh Afif, et al (2018), di mana terdeteksi adanya gugus fungsi O-H, C-H, C=O, dan C-O dalam struktur PBA.

B. Sintesis Bioplastik-Pati-Sorbitol (BPS)

BPS yang dihasilkan tanpa penambahan ZnO dan TiO_2 memiliki sifat elastis, transparan, dan sedikit kecoklatan. Bioplastik ini dibuat dengan melarutkan 2,5 gram pati biji alpukat dalam 50 mL akuades, kemudian ditambahkan 0,75 mL sorbitol. Sorbitol berperan sebagai *plasticizer* untuk meningkatkan elastisitas dan ketahanan bioplastik. Campuran tersebut dipanaskan hingga 90°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 40 menit hingga homogen dan

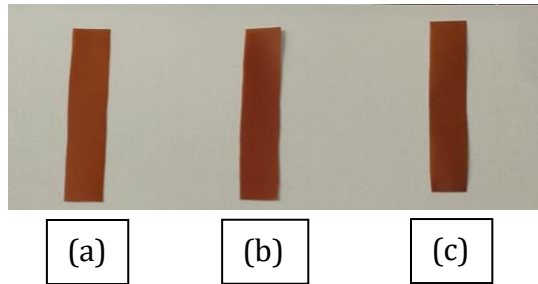
mengalami gelatinisasi. Gel yang terbentuk kemudian dituang ke dalam cetakan bioplastik dengan ukuran 17,5 x 10 x 2 cm hingga merata. Bioplastik selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 4 jam. Setelah itu, bioplastik didiamkan pada suhu kamar hingga dapat dilepas dari cetakan. Hasil sintesis bioplastik tanpa penguat dapat terlihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Bioplastik-Pati-Sorbitol (BPS)

C. Sintesis BPS Dengan Penambahan ZnO

Proses pembuatan bioplastik BPS dengan penambahan ZnO sama dengan proses pembuatan bioplastik-pati-sorbitol, yang kemudian ditambahkan penguat ZnO masing-masing 2%, 4%, dan 6%. Hasil sintesis BPS-ZnO 2%, BPS-ZnO 4%, dan BPS-ZnO 6% dapat terlihat pada gambar 4.6.



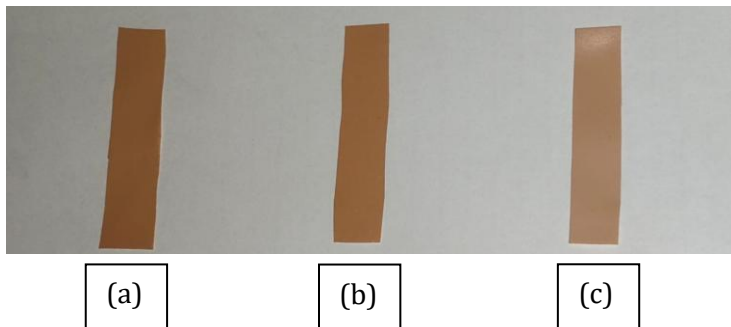
Gambar 4. 6 (a) BPS-ZnO 2%, (b) BPS-ZnO 4%, dan (c) BPS-ZnO 6%

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi ZnO menyebabkan bioplastik menjadi semakin coklat pekat. Selain itu, penambahan ZnO juga berkontribusi pada peningkatan kekakuan dan ketebalan bioplastik. Perubahan ini terlihat dari BPS tanpa penambahan penguat yang berwarna kuning kecoklatan transparan hingga BPS dengan ZnO 6% yang berwarna coklat pekat dan tidak transparan. Hal ini terjadi karena ZnO merupakan semikonduktor fotokatalitik yang aktif di bawah cahaya UV, sehingga dapat menghasilkan radikal bebas seperti radikal hidroksil dan superoksida melalui eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Radikal bebas ini memicu reaksi oksidasi pada senyawa organik, termasuk pati, yang

menghasilkan senyawa kromofor sehingga menyebabkan perubahan warna dari kuning ke coklat. Intensitas perubahan warna ini dipengaruhi oleh konsentrasi ZnO dan suhu, di mana semakin tinggi konsentrasi dan suhu, semakin cepat reaksi oksidasi terjadi (Nainggolan et al., 2023).

D. Sintesis BPS Dengan Penambahan TiO_2

Proses pembuatan bioplastik BPS dengan penambahan TiO_2 sama dengan proses pembuatan bioplastik BPS dengan penambahan ZnO. Hasil sintesis BPS- TiO_2 2%, BPS- TiO_2 4%, dan BPS- TiO_2 6% dapat terlihat pada gambar 4.7.



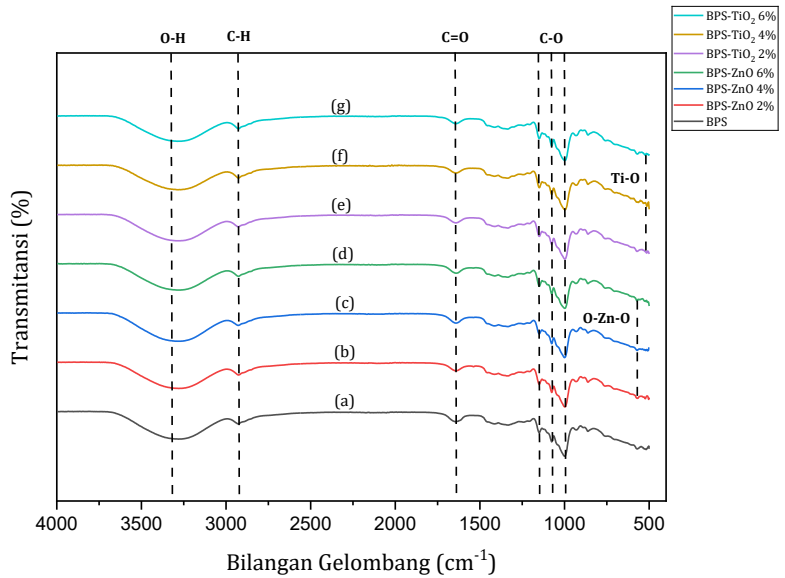
Gambar 4. 7 (a) BPS- TiO_2 2%, (b) BPS- TiO_2 4%, dan (c) BPS- TiO_2 6%

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi TiO_2 menyebabkan bioplastik menjadi semakin

putih kecoklatan. Perubahan ini terlihat pada bioplastik dengan TiO_2 2% hingga 6%, di mana warna awal yang coklat berangsur menjadi putih kecoklatan. Warna putih pada bioplastik disebabkan oleh partikel TiO_2 yang berbentuk rutil dan berperan sebagai pewarna putih. Penambahan TiO_2 dalam konsentrasi yang lebih besar akan membuat warna putih menjadi lebih pekat. Selain memberikan efek warna, TiO_2 juga membantu memperkuat struktur dan menambah ketebalan bioplastik tersebut (Qoirinisa, 2022). Bioplastik yang terbentuk kemudia dikarakterisasi dengan:

a. Uji FTIR

Hasil Spektrum FTIR BPS, BPS-ZnO 2%, BPS-ZnO 4%, dan BPS-ZnO 6%, BPS- TiO_2 2%, BPS- TiO_2 4%, dan BPS- TiO_2 6% terdapat dalam Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Spektrum FTIR (a) BPS, (b) BPS-ZnO 2%, (c) BPS-ZnO 4%, (d) BPS-ZnO 6%, (e) BPS-TiO₂ 2%, (f) BPS-TiO₂ 4%, dan (g) BPS-TiO₂ 6%

Hasil serapan bilangan gelombang BPS, BPS-ZnO 2%, BPS-ZnO 4%, dan BPS-ZnO 6% terdapat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Serapan Bilangan Gelombang BPS, BPS-ZnO 2%, BPS-ZnO 4%, BPS-ZnO 6%

Gugus Fungsi	Daerah Serapan (cm^{-1}) (Dachriyanus, 2004) dan (Suryanegara et al., 2021)	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
		BPS	BPS-ZnO 2%	BPS-ZnO 4%	BPS-ZnO 6%
O-H	3230-3550	3320	3320	3320	3320
C-H	2853-2962	2929	2927	2931	2925
C=O	1680-1750	1639	1643	1641	1643
C-O	900-1300	1149, 1073, dan 997	1147, 1073, dan 995	1149, 1075, dan 997	1147, 1075, dan 995
O-Zn-O	400-580	-	567	569	571

Pada BPS yang telah diuji menggunakan FT-IR, diperoleh daerah serapan pada 3320 cm^{-1} yang merupakan gugus O-H dari alkohol dan fenol, 2929 cm^{-1} yang merupakan gugus C-H, 1639 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O, serta 1149, 1073, dan 997 cm^{-1} yang merupakan daerah serapan gugus C-O yang terindikasi eter dan alkohol. Keberadaan gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan mengandung komponen pati dari biji alpukat dan sorbitol. Menurut Desramadhani & Kusuma (2023), serapan gugus

O-H dari sorbitol sering kali tumpang tindih dengan serapan O-H dari pati. Hal ini terjadi karena keduanya sama-sama memiliki gugus hidroksil (-OH) yang menyerap pada rentang gelombang $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$. Akibat tumpang tindih ini, pita serapan O-H menjadi lebih lebar dan intensitasnya meningkat, menunjukkan keberadaan gugus hidroksil dari kedua bahan dalam struktur bioplastik. Temuan ini sejalan dengan penelitian Afif, et al (2018), di mana hasil FT-IR pada bioplastik yang mengandung pati biji alpukat dan sorbitol menunjukkan adanya gugus fungsi O-H dan C-H dengan daerah serapan masing-masing pada 3365 cm^{-1} dan 2928 cm^{-1} .

Pengujian FT-IR pada BPS-ZnO 2%, BPS 4%, dan BPS 6% menunjukkan beberapa daerah serapan yang mengindikasikan keberadaan berbagai gugus fungsi. Daerah serapan pada 3320 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus O-H dengan intensitas kuat, sedangkan serapan pada 2927 cm^{-1} , 2931 cm^{-1} , dan 2925 cm^{-1} menandakan keberadaan gugus C-H yang merupakan golongan alkana dengan intensitas lemah. Selain itu, bioplastik juga memiliki serapan pada 1643 cm^{-1} , 1641 cm^{-1} , dan 1643 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C=O yang

merupakan turunan dari asam karboksilat dengan intensitas lemah. Gugus C-O eter dan alkohol juga muncul dengan intensitas kuat. Daerah serapan 1147 dan 1073 cm^{-1} , 1149 dan 1075 cm^{-1} , serta 1147 dan 1075 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-O eter. Daerah serapan 995 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 995 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-O alkohol (Kurniawati et al., 2022). Selain itu, terdapat daerah serapan pada 567 cm^{-1} , 569 cm^{-1} , dan 571 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus O-Zn-O, dengan puncak serapan khasnya berada dalam kisaran 580–400 cm^{-1} . Semakin banyak penambahan ZnO, semakin tajam pula puncak serapannya. Hasil ini sejalan dengan penelitian Suryanegara, et al (2021), di mana FT-IR pada BPS dengan penambahan ZnO menunjukkan gugus O-H pada 3300 cm^{-1} , gugus C-H pada 2900 cm^{-1} , gugus C=O pada 1735 cm^{-1} , dan gugus O-Zn-O pada 415,28 cm^{-1} .

Hasil serapan bilangan gelombang BPS-TiO₂ 2%, BPS-TiO₂ 4%, dan BPS-TiO₂ 6% terdapat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Serapan Bilangan Gelombang BPS-TiO₂ 2%, BPS-TiO₂ 4%, dan BPS-TiO₂ 6%

Gugus Fungsi	Daerah Serapan (cm ⁻¹) (Dachriyanus, 2004) dan (Suryanegara et al., 2021)	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
		BPS-TiO ₂ 2%	BPS-TiO ₂ 4%	BPS-TiO ₂ 6%
O-H	3230-3550	3320	3320	3320
C-H	2853-2962	2925	2923	2921
C=O	1680-1750	1647	1645	1643
C-O	900-1300	1147, 1073, dan 995	1149, 1075, dan 997	1149, 1075, dan 997
Ti-O	400-700	516	514	522

Pengujian FT-IR pada BPS-TiO₂ dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% menunjukkan beberapa daerah serapan yang mengindikasikan keberadaan berbagai gugus fungsi. Daerah serapan pada 3320 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus O-H dengan intensitas kuat, sedangkan serapan pada 2925 cm⁻¹, 2923 cm⁻¹, dan 2921

cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-H yang merupakan golongan alkana dengan intensitas lemah. Selain itu, serapan pada 1647 cm^{-1} , 1645 cm^{-1} , dan 1643 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=O yang merupakan turunan dari asam karboksilat dengan intensitas lemah. Gugus C-O eter dan alkohol juga muncul dengan intensitas yang kuat. Daerah serapan 1147 dan 1073 cm^{-1} , 1149 dan 1075 cm^{-1} , serta 1149 dan 1075 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-O eter (Kurniawati et al., 2022). Daerah serapan 995 cm^{-1} , 997 cm^{-1} , 997 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-O alkohol. Selain itu, daerah serapan pada 516 cm^{-1} , 514 cm^{-1} , dan 522 cm^{-1} menandakan adanya gugus Ti-O, dengan puncak serapan khasnya berada dalam rentang sidik jari $700\text{--}400 \text{ cm}^{-1}$. Pada BPS-TiO₂ 2% hingga 4%, puncak serapan gugus Ti-O semakin tajam, tetapi pada BPS-TiO₂ 6%, puncak serapan justru melemah. Hal ini mungkin disebabkan oleh penambahan TiO₂ yang berlebihan, yang dapat menyebabkan dispersi TiO₂ tidak merata dalam matriks bioplastik. Hasil ini sejalan dengan penelitian Suryanegara, et al (2021), di mana FT-IR pada BPS dengan penambahan TiO₂ menunjukkan gugus O-H

pada 3300 cm^{-1} , gugus C-H pada 2900 cm^{-1} , gugus C=O pada 1735 cm^{-1} , dan gugus Ti-O pada $443,11\text{ cm}^{-1}$.

b. Uji Kuat Tarik

Uji kuat tarik dilakukan untuk untuk menentukan seberapa besar suatu material mampu menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan, sedangkan nilai elongasi yaitu nilai sejauh mana suatu material dapat meregang sebelum putus. Hasil nilai kuat tarik dan elongasi dari bioplastik PBA-Sorbitol (BPS) dan dengan penambahan ZnO dan TiO_2 terdapat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Nilai Kuat Tarik dan Elongasi Dari BPS Tanpa Penguat dan Dengan Penambahan ZnO dan TiO₂

Sampel Bioplastik	Hasil Kuat Tarik (MPa)	SNI Kuat Tarik (MPa) (7188.7 ;2016)	Hasil Elongasi (%)	SNI Elongasi (%) (7188.7 ;2016)
BPS	7,53		29,50	
BPS-ZnO 2%	13,53		36,16	
BPS-ZnO 4%	15,97		14,50	
BPS-ZnO 6%	23,88	24,4-30,2	4,66	21-220
BPS-TiO₂ 2%	15,67		13,66	
BPS-TiO₂ 4%	23,49		4,83	
BPS-TiO₂ 6%	23,10		4,66	

Berdasarkan Tabel 4.4, bioplastik tanpa penguat memiliki nilai kuat tarik terendah sebesar 7,53 MPa. Pada BPS dengan penambahan ZnO sebesar 2%, 4%, dan 6%, nilai kuat tariknya berturut-turut meningkat menjadi 13,53 MPa, 15,97 MPa, dan 23,88 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ZnO

yang ditambahkan, semakin besar kuat tarik yang dihasilkan.

Peningkatan kuat tarik menunjukkan adanya ikatan yang baik antara ZnO dan matriks pati, yang berperan penting dalam mempengaruhi sifat mekanik bioplastik. Ikatan yang kuat ini mungkin terjadi karena ZnO terdispersi secara merata dalam matriks pati (Abdullah et al., 2020). Menurut Saputra, et al (2019), Ion Zn^{2+} membantu menggantikan ikatan hidrogen antarmolekul yang hilang ketika pati dan sorbitol ditambahkan. Ion ini membentuk ikatan kompleks yang memperkuat struktur bioplastik, sehingga kuat tariknya menjadi lebih tinggi.

Nilai persentase elongasi pada BPS tanpa penguat yaitu 29,50%. Pada BPS dengan penambahan ZnO dihasilkan nilai elongasi berturut-turut yaitu 36,16%, 14,50%, dan 4,66%, Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak ZnO yang ditambahkan maka nilai persentase elongasinya semakin menurun. Penurunan nilai elongasi terjadi karena interaksi yang kuat antara matriks pati dan ZnO yang mengurangi fleksibilitas bioplastik (Tantini, 2020). Berdasarkan hasil FTIR nya juga terlihat bahwa

semakin banyak penambahan ZnO, maka puncak serapannya semakin menajam yang menandakan adanya interaksi yang kuat antara matrik pati dengan ZnO. Hasil ini sama dengan penelitian Syaputra, et al (2017) yang menyatakan semakin banyak ZnO yang ditambahkan, semakin kuat interaksi antara matriks bioplastik dengan ZnO. Akibatnya, struktur bioplastik menjadi lebih kaku.

Zink oksida (ZnO) memiliki kemampuan membentuk ikatan antar partikel dalam matriks bioplastik melalui interaksi antara gugus aktif ZnO dan gugus hidroksil pada polimer pati. Ikatan ini menghasilkan struktur yang lebih rapat dan kuat, sehingga meningkatkan kekompakan serta kekuatan mekanik bioplastik. Namun, kekakuan yang dihasilkan akibat ikatan tersebut juga menyebabkan penurunan fleksibilitas, karena bioplastik menjadi kurang mampu mengalami deformasi saat diberi tekanan. Dengan demikian, meskipun ZnO efektif memperkuat struktur bioplastik, efek sampingnya adalah berkurangnya elastisitas dari bioplastik (I. S. Saputra et al., 2020).

Berdasarkan SNI 7188.7;2016, nilai kuat tarik yaitu 24,4 -30,2 MPa dan nilai elongasi yaitu 21-220%.

Dengan demikian, untuk nilai kuat tarik pada BPS dan BPS dengan penambahan ZnO belum ada yang memenuhi standar. Pada nilai elongasinya yang telah memenuhi standar SNI yaitu bioplastik tanpa penambahan penguat (BPS) dan BPS-ZnO 2%.

BPS dengan penambahan TiO_2 2%, 4%, dan 6% memiliki nilai kuat tarik berturut-turut yaitu 15,67 MPa, 23,49 MPa, dan 23,10 MPa. Pada penambahan TiO_2 2% ke 4% terjadi peningkatan kuat tariknya, sedangkan pada penambahan TiO_2 6% nilai kuat tariknya mengalami penurunan. Menurut Qoirinisa (2022) penambahan TiO_2 dalam jumlah berlebihan dapat menurunkan kuat tarik karena membentuk gumpalan atau aglomerasi TiO_2 . Hal ini menyebabkan perubahan pada matriks bioplastik dari yang awalnya homogen menjadi heterogen. Menurut Purnomo, et al (2023) Penyebaran partikel yang tidak merata mengakibatkan terbentuknya area-area dalam bioplastik yang memiliki kekuatan struktur yang tidak seragam. Area lemah ini berpotensi menjadi titik awal terjadinya retakan atau kerusakan saat material mendapatkan tekanan atau gaya tarik, yang pada akhirnya

menurunkan kinerja mekanik bioplastik secara keseluruhan.

Aglomerasi partikel TiO_2 dapat menghambat terbentuknya ikatan yang efektif dengan matriks polimer, karena partikel yang menggumpal memiliki luas permukaan kontak yang lebih kecil terhadap rantai polimer. Hal ini menyebabkan partikel TiO_2 tidak dapat berinteraksi secara optimal, baik melalui ikatan hidrogen maupun gaya antar molekul lainnya. Akibatnya, TiO_2 tidak berfungsi maksimal sebagai bahan penguat, bahkan justru mengganggu struktur internal bioplastik. Oleh karena itu, meskipun secara teori peningkatan konsentrasi TiO_2 dapat memperkuat material, kenyataannya jika melebihi batas optimal, justru menurunkan nilai kuat tarik karena distribusi partikel yang tidak merata dan lemahnya ikatan antar komponen (Syahida et al., 2024). Jika TiO_2 tidak terdispersi secara merata, interaksi antara matriks pati dan TiO_2 menjadi lebih lemah, sehingga tegangan tidak terdistribusi dengan baik. Akibatnya, pada konsentrasi TiO_2 sebesar 6%, kuat tarik mengalami penurunan.

BPS dengan penambahan TiO_2 4% menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 23,49 MPa. Namun, angka

ini masih belum memenuhi standar SNI 7188.7:2016 yang menetapkan kisaran kuat tarik sebesar 24,4 hingga 30,2 MPa. Untuk nilai elongasinya pada BPS dengan penambahan TiO_2 belum ada yang memenuhi standar SNI. Oleh karena itu, perlu dilakukan formulasi ulang antara pati, *plasticizer*, dan TiO_2 agar bioplastik yang dihasilkan memiliki kuat tarik yang lebih tinggi dan sesuai standar.

Berdasarkan hasil uji kuat tarik dan elongasi, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak ZnO yang ditambahkan, maka kuat tarik material meningkat, namun persentase elongasinya justru menurun. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Abdullah, et al (2020), yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah ZnO memang berpengaruh positif terhadap kuat tarik. Sementara itu, pada BPS yang ditambahkan TiO_2 , nilai kuat tarik tertinggi ditemukan pada konsentrasi 4%. Namun, ketika konsentrasi ditingkatkan hingga 6%, kekuatan tarik justru menurun. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh partikel TiO_2 yang mulai menggumpal (aglomerasi), sehingga mengganggu keseragaman dan kekuatan struktur material. Oleh karena itu, meskipun kedua bahan sama-sama berfungsi sebagai penguat, ZnO

terbukti lebih unggul dibandingkan TiO_2 dalam meningkatkan kekuatan tarik bioplastik berbasis pati biji alpukat dan sorbitol.

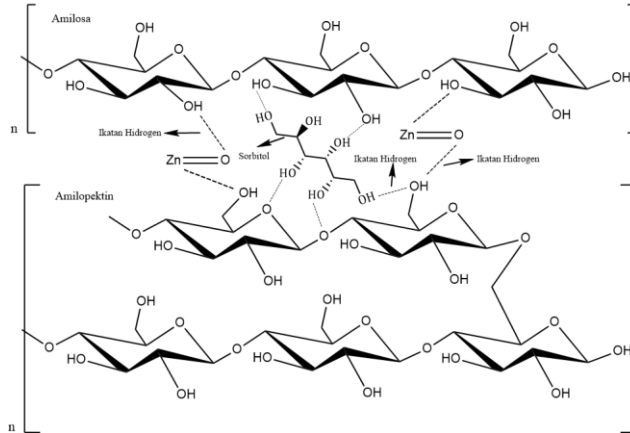
c. Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air dilakukan untuk mengukur kemampuan bioplastik dalam menyerap air. Bioplastik dengan persentase daya serap air yang rendah menunjukkan ketahanan air yang lebih baik. Nilai daya serap air pada BPS dengan penambahan ZnO terdapat dalam Tabel 4.6.

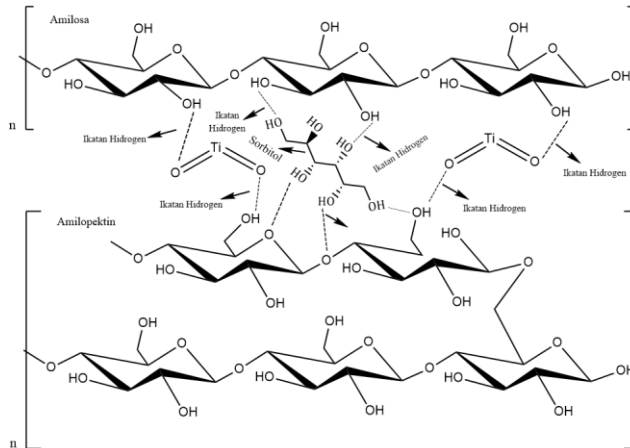
Tabel 4. 5 Nilai Daya Serap Air Pada BPS Tanpa Penguat dan dengan Penambahan ZnO dan TiO_2

Jenis Bioplastik	Daya Serap Air	SNI Daya Serap Air (7188.7;2016)
BPS	28,54 %	Maksimum 21,5 % pada suhu 25°C
BPS-ZnO 2%	23,62 %	
BPS-ZnO 4%	17,21 %	
BPS-ZnO 6%	15,97 %	
BPS- TiO_2 2%	25,43 %	
BPS- TiO_2 4%	24,91 %	
BPS- TiO_2 6%	23,86 %	

Berdasarkan Tabel 4.5, bioplastik tanpa penambahan penguat memiliki daya serap air tertinggi, yaitu 28,54%. Nilai daya serap air pada bioplastik dengan penambahan ZnO 2%, 4%, dan 6% berturut-turut yaitu 23,62%, 17,21%, dan 15,97%, sedangkan pada bioplastik dengan penambahan TiO₂ 2%, 4%, dan 6% berturut-turut yaitu 25,43%, 24,91%, dan 23,86%. Semakin tinggi konsentrasi ZnO dan TiO₂ yang ditambahkan, daya serap air bioplastik semakin menurun. Hal ini terjadi karena terbentuknya ikatan hidrogen antara matriks pati dan partikel ZnO atau TiO₂, yang mengurangi ketersediaan gugus hidroksil untuk berikatan dengan molekul air. Akibatnya, matriks bioplastik menjadi kurang higroskopis, sehingga sifat hidrofobiknya meningkat dan ketahanannya terhadap air lebih baik (Abdullah et al., 2020). Seperti yang dijelaskan pada penelitian Agustina & Siviyan (2014), ZnO juga dapat menutupi rongga-rongga pada permukaan bioplastik, sehingga semakin menghambat masuknya air. Usulan interaksi pembentukan ikatan hidrogen antara pati, sorbitol dengan partikel ZnO dan TiO₂ dapat terlihat pada gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4. 9 Usulan Interaksi Pembentukan Ikatan Hidrogen Antara Pati, Sorbitol, dan ZnO



Gambar 4. 10 Usulan Interaksi Pembentukan Ikatan Hidrogen Antara Pati, Sorbitol, dan TiO_2

Menurut SNI 7188.7:2016, batas maksimum daya serap air adalah 21,5% pada suhu 25°C. Bioplastik yang memenuhi standar ini adalah BPS-ZnO 4% dan BPS-ZnO 6%, dengan daya serap air masing-masing sebesar 17,21% dan 15,97%. Sementara itu, bioplastik dengan penambahan TiO₂ memiliki daya serap air yang melebihi batas maksimum yang ditetapkan. Perbedaan kemampuan ZnO dan TiO₂ dalam meningkatkan sifat hidrofobik bioplastik berkaitan dengan karakteristik permukaan dan tingkat reaktivitas masing-masing. ZnO memiliki kecenderungan hidrofobik yang lebih kuat dan stabil secara alami. Saat ZnO dicampurkan ke dalam matriks bioplastik, partikel ini berperan dalam mengurangi daya tarik permukaan bioplastik terhadap air. Hal ini terjadi karena ZnO memiliki permukaan yang cenderung non-polar dan energi permukaan yang lebih rendah dibandingkan TiO₂, sehingga interaksinya dengan molekul air lebih lemah. Akibatnya, bioplastik yang mengandung ZnO menjadi lebih tahan terhadap kelembaban dan memiliki daya serap air yang lebih rendah (Lailiyah et al., 2022).

Di sisi lain, titanium dioksida (TiO_2) juga bersifat hidrofobik, namun tidak seefektif ZnO , terutama dalam jangka panjang. Salah satu penyebabnya adalah sifat fotokatalitik TiO_2 , yang memungkinkan terjadinya perubahan pada permukaan material saat terkena sinar ultraviolet (UV). Paparan UV menyebabkan terbentuknya pasangan elektron-lubang yang aktif, memicu reaksi pembentukan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) di permukaannya. Gugus ini meningkatkan sifat hidrofilik, sehingga permukaan TiO_2 menjadi lebih mudah menyerap air. Selain itu, energi permukaan TiO_2 yang tinggi membuatnya lebih reaktif terhadap lingkungan sekitarnya, termasuk dalam menarik molekul air dari udara, sehingga mempercepat peningkatan sifat hidrofiliknya (Lailiyah et al., 2022).

Oleh karena itu, dalam upaya meningkatkan sifat hidrofobik bioplastik, penggunaan ZnO lebih disarankan karena stabilitasnya terhadap pengaruh lingkungan dan kemampuannya yang lebih baik dalam menghambat penyerapan air. Sementara itu, TiO_2 memiliki keterbatasan akibat sifat permukaan yang mudah berubah dan reaktivitas tinggi, yang dapat menurunkan

kemampuan bioplastik dalam menahan kelembapan, terutama saat disimpan dalam kondisi terkena cahaya (Amananti & Sutanto, 2015). Temuan ini sesuai dengan penelitian Werapun, et al (2024) yang menunjukkan bahwa penambahan ZnO menghasilkan daya serap air yang lebih rendah dibandingkan dengan TiO₂ pada bioplastik.

d. Uji Biodegradasi

Pengujian biodegradasi dilakukan untuk menilai kemampuan bioplastik dalam mengalami proses pelapukan secara alami di lingkungan. Pada penelitian ini, sampel bioplastik dimasukkan ke dalam media tanah kompos untuk diamati proses penguraiannya selama beberapa hari hingga terurai sepenuhnya, dengan pengecekan yang dilakukan secara berkala. Hasil biodegradasi bioplastik dengan penambahan ZnO terdapat dalam Tabel 4.8.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Biodegradasi Pada BPS Tanpa Penguat dengan Penambahan ZnO dan TiO₂

Jenis Sampel	% Terdegradasi Dalam Seminggu	Lama Terdegradasi 100 %	SNI Waktu Degradasi (7188.7;2016)
BPS	77,44	8 Hari	
BPS-ZnO 2 %	55,79	11 Hari	
BPS-ZnO 4 %	30,15	13 Hari	
BPS-ZnO 6%	26,41	14 Hari	60 % Dalam Seminggu
BPS-TiO₂ 2 %	56,10	10 Hari	
BPS-TiO₂ 4 %	45,57	11 Hari	
BPS-TiO₂ 6 %	44,73	12 Hari	

Berdasarkan Tabel 4.7, BPS tanpa penambahan penguat memiliki waktu degradasi paling cepat, yaitu 8 hari. Hal ini terjadi karena bioplastik tersebut hanya terdiri dari pati dan sorbitol tanpa tambahan bahan lain. Pati dan sorbitol memiliki sifat hidrofilik, yang membuat bioplastik lebih mudah menyerap air dan meningkatkan kelembaban. Menurut Nur, et al (2020), kelembaban yang

tinggi mempercepat proses degradasi, sehingga bioplastik lebih cepat terurai di dalam tanah.

Hasil uji biodegradasi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ZnO dan TiO₂ dalam bioplastik, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk terurai di dalam tanah. Hal ini disebabkan oleh sifat antibakteri ZnO dan TiO₂, yang membuat bioplastik lebih sulit terdegradasi. Menurut (Sihombing et al., 2022), penambahan penguat yang bersifat antibakteri mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme karena menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS), yang memicu proses oksidasi di dalam sitoplasma sel mikroorganisme, sehingga menyebabkan kematian sel.

BPS yang ditambahkan TiO₂ mengalami degradasi lebih cepat dibandingkan dengan bioplastik yang mengandung ZnO, hal ini disebabkan oleh perbedaan sifat kimia dan fungsional dari kedua bahan tersebut. TiO₂ memiliki kemampuan fotokatalitik tinggi, yang berarti mampu menyerap energi dari sinar ultraviolet dan menghasilkan radikal bebas seperti hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan superoksida (O_2^-). Radikal ini sangat reaktif dan dapat memutuskan ikatan kimia dalam rantai polimer

bioplastik, sehingga mempercepat proses penguraian, terutama saat bioplastik terpapar sinar matahari atau berada di lingkungan terbuka. Selain itu, setelah terkena sinar UV, permukaan TiO_2 cenderung menjadi lebih hidrofilik karena terbentuknya gugus hidroksil ($-\text{OH}$), yang meningkatkan daya serap air bioplastik dan mempercepat reaksi hidrolisis. Kondisi ini mempermudah mikroorganisme untuk menembus dan menghancurkan struktur bioplastik (Rex M & Mukherjee, 2022).

Sebaliknya, ZnO menunjukkan sifat yang lebih tahan terhadap degradasi. Partikel ZnO bersifat lebih hidrofobik dan stabil terhadap sinar UV, sehingga tidak mudah menyerap air dan tetap mempertahankan ketahanan terhadap kelembaban. Hal ini membuat bioplastik yang mengandung ZnO lebih lambat terdegradasi karena air dan mikroorganisme sulit menembus strukturnya. Selain itu, sifat antimikroba dari ZnO dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur, sehingga memperlambat proses biodegradasi yang biasa terjadi akibat aktivitas mikroorganisme di lingkungan (Anugrahwidya et al., 2022). Berdasarkan data daya serap

air sebelumnya, BPS dengan TiO_2 memiliki daya serap air lebih tinggi dibandingkan dengan ZnO , yang berpengaruh pada tingkat degradasi. Kelembaban yang tinggi meningkatkan kontaminasi mikroorganisme dalam bioplastik, sehingga mempercepat proses degradasi. Karena kelembaban menciptakan lingkungan yang ideal bagi mikroorganisme untuk mengurai bioplastik (Qoirinisa, 2022). Dalam hal ini BPS dengan penambahan TiO_2 lebih unggul dalam uji biodegradasi.

Berdasarkan SNI 7188.7:2016, bioplastik dikatakan memenuhi standar jika tingkat degradasinya mencapai 60% dalam waktu satu minggu. Dalam penelitian ini, bioplastik tanpa penambahan bahan penguat berhasil melampaui standar tersebut dengan tingkat degradasi sebesar 77,44%, sehingga dapat dikategorikan sebagai bioplastik yang ramah lingkungan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pati yang diperoleh dari biji alpukat dalam penelitian ini berbentuk bubuk dengan warna putih tulang. Pengujian amilum menunjukkan hasil positif, yang ditandai dengan perubahan warna menjadi biru kehitaman. Hasil analisis FTIR mengonfirmasi keberadaan gugus O-H, C-H, C=O, dan C-O yang menandakan terbentuknya senyawa pati.
2. Bioplastik tanpa penambahan bahan penguat memiliki warna kuning kecoklatan dengan sifat transparan. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, C-H, C=O, dan C-O. Sementara itu, bioplastik yang mengandung ZnO dengan konsentrasi 2%, 4%, dan 6% secara berturut-turut memiliki warna coklat hingga coklat pekat dan tidak transparan. Hasil FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, C-H, C=O, C-O, serta O-Zn-O. Adapun bioplastik dengan penambahan TiO₂ pada konsentrasi yang sama (2%, 4%, dan 6%) memiliki warna coklat hingga putih kecoklatan

serta bersifat tidak transparan. Hasil FTIR dari bioplastik ini menunjukkan keberadaan gugus O-H, C-H, C=O, C-O, dan Ti-O. Kekuatan tarik tertinggi tercatat pada bioplastik dengan 6% ZnO sebesar 23,88 MPa, sedangkan pada bioplastik dengan 4% TiO₂ mencapai 23,49 MPa. Nilai daya serap air terendah sebesar 15,97% pada 6% ZnO, sementara pada 6% TiO₂ mencapai 23,86%. Dalam uji biodegradasi, bioplastik dengan TiO₂ terurai lebih cepat dalam waktu 12 hari, sedangkan bioplastik dengan ZnO membutuhkan waktu 14 hari untuk terdegradasi.

3. Penambahan ZnO meningkatkan kuat tarik bioplastik, sedangkan penambahan TiO₂ secara berlebih justru menurunkannya. Elongasi menurun seiring bertambahnya ZnO dan TiO₂. Keduanya juga menurunkan daya serap air bioplastik, dengan ZnO menunjukkan efek lebih baik. Selain itu, keduanya memperlambat degradasi, namun bioplastik dengan TiO₂ terdegradasi lebih cepat dibandingkan dengan yang mengandung ZnO.

B. Saran

Disarankan untuk meningkatkan persentase ZnO dalam pembuatan bioplastik serta menyesuaikan kembali

komposisi masing-masing bahan pada pembuatan bioplastik dengan penambahan TiO_2 . Hal ini diperlukan agar formulasi bioplastik yang mengandung TiO_2 dapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. <https://doi.org/10.1080/25740881.2020.1738466>
- Afif, M., Wijayati, N., & Mursiti, S. (2018). Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizer Sorbitol. In *J. Chem. Sci* (Vol. 7, Issue 2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Agustina, S. P., & Siviyaniti, I. (2014). Pembuatan Plastik Biodegradasi Menggunakan Pati dari Umbi Gadung. *Jurnal Agroindustri*, 5, 11–41.
- Al Fath, M. T., Lubis, M., Ayu, G. E., & Dalimunthe, N. F. (2022). Pengaruh Selulosa Nanokristal dari Serat Buah Kelapa Sawit sebagai Pengisi dan Kalium Klorida sebagai Agen Pendispersi Terhadap Sifat Fisik Bioplastik Berbasis Pati Biji Alpukat (*Persea americana*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 89–94. <https://talenta.usu.ac.id/jtk>
- Alim, M. D., Karangan, A., & Nandini, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Nasi Aking Pada Pembuatan Bioplastik dengan Kitosan dan Plasticizer Sorbitol. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 17, Issue 2).

- al-Qurṭubi, S. I. (2009). *Tafsir al-Qurṭhubi* (Vol. 13). Pustaka Azzam.
- Amananti, W., & Sutanto, H. (2015). *Analisis Sifat Optis Lapisan Tipis ZnO, TiO₂, TiO₂:ZnO, dengan dan Tanpa Lapisan Penyangga yang Dideposisikan Menggunakan Metode Sol-Gel Spray Coating*. 55.
- Amin, M. R., Chowdhury, M. A., & Kowser, M. A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *Heliyon*, 5(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009>
- Amsal, A., Agustina, T., Nurhaliza, & Barisah. (2022). Pengolahan Biji Alpukat (*Persea americana*) Untuk Dijadikan Tepung Sebagai Bahan Dasar Pangan Besar. *KENANGA: Journal of Biological Sciences and Applied Biology*, 2(2), 11–18. <https://doi.org/10.22373/kenanga.v2i1>
- Anugrahwidya, R., Armynah, B., & Tahir, D. (2022). Composites Bioplastic Film for Various Concentration of Zinc Oxide (ZnO) Nanocrystals Towards Physical Properties for High Biodegradability in Soil and Seawater. *Journal of Polymers and the Environment*, 30(6), 2589–2601. <https://doi.org/10.1007/s10924-021-02363-4>
- Axala, D. L. G. (2022). *Analisis Parameter Struktur Kristal Nanokomposit RgO-TiO₂ Menggunakan Metode Numerik (BRAGG'S LAW DAN WILLIAMSON-HALL) dan Metode*

- Rietveld (*MAUD*) [Thesis]. Universitas Negeri Islam Maulana Malik Ibrahim.
- CNN Indonesia. (2021). *5 Cara Membuat Buah Alpukat Cepat Matang*.
- Dachriyanus, Prof. Dr. (2004). *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Dahri, K. (2024). *Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa Sabut (Fiber) Kelapa Sawit Dengan Penambahan Sorbitol dan CMC (Carboxy Methyl Cellulose)* [Skripsi]. UNIVERSITAS MALIKUSSALEH.
- Damayanti, N. I., & Nusantara, A. G. (2018). *Pengaruh Recycle Terhadap Fotokatalitik Performance Dari Nanopartikel Ag/ZnO Yang Disintesa Dengan Metode Pirolisa Flame* [Thesis]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Desramadhani, R., & Kusuma, S. B. W. (2023). Indonesian Journal of Chemical Science The Effect of Sorbitol Concentration on the Characteristics of Starch-Based Bioplastic. In *J. Chem. Sci* (Vol. 12, Issue 2). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Elisusanti, Illing, I., & Alam, M. N. (2023). Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok/Selulosa Serbuk Kayu Gergaji. In *Cokroaminoto Journal of Chemical Science* (Vol. 1, Issue 1).

- Farhan, A., & Hani, N. M. (2017). Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloids*, 64, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.034>
- Handayani, J., & Haryanto. (2020). *Pengaruh Penambahan Kitosan Dan Sorbitol Pada Pembuatan Film Bioplastik Dari Biji Alpukat Terhadap Karakteristik Bioplastik*.
- Harni, M., Anggraini, T., Rini, & Suliansyah, I. (2022). Review Artikel: Pati pada Berbagai Sumber Tanaman. *Agroteknika*, 5(1), 26–39. <https://doi.org/10.55043/agroteknika.v5i1.118>
- Hartati, S., Yunus, A., Nandariyah, N., Yuniastuti, E., Pujiasmanto, B., Purwanto, E., Samanhudi, S., Sulandjari, S., Ratriyanto, A., Prastowo, S., Manurung, I. R., Suryanti, V., Susilowati, A., Artanti, A. N., Mulyani, S., & Dirgahayu, P. (2022). Diversifikasi Tanaman Pekarangan Dengan Tanaman Alpukat Untuk Meningkatkan Gizi Keluarga. *SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni Bagi Masyarakat)*, 11(2), 161. <https://doi.org/10.20961/semar.v11i2.61199>
- Harunsiyah, Yunus, M., Zaini, H., Pardi, & Abubakar, S. (2021). Sintesa Bioplastik Dengan Penambahan ZnO Sebagai Penguat Serta Minyak Atsiri Sebagai Anti Mikroba Untuk Kemasan Makanan Ringan. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 5.
- Irham, M. (2019). *Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong (Manihot utilissima) Dengan Penguat Selulosa*

Jerami Padi, Polivinil Alkohol dan Bio-Compatible Zink Oksida [Skripsi]. UIN Syarif Hidayatullah.

- Kanmani, P., & Rhim, J. W. (2014). Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 106(1), 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.02.007>
- Kristiani, M. (2015). *Pengaruh Penambahan Kitosan dan Plasticizer Sorbitol Terhadap Sifat Fisiko-Kimia Bioplastik dari Pati Biji Durian (Durio Zibethinus)*.
- Kurniawati, C. T., Sutrisno, J., Walujo, D. A., & Sembodo, B. P. (2022). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Manis (*Zea Mays* L Saccharata) Sebagai Bahan Bioplastik Dengan Penambahan ZnO dan Gliserol. *Jurnal Teknik*, 20.
- Kusumawardhani, R. F. (2017). *Pengaruh Komposisi Zinc Oxide (ZnO) Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik Pati Ubi Kayu dengan Plastisizer Sorbitol dan Gliserol* [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Lailiyah, N., Fadhila, K. N., Ramadhani, N. I., & Kartika Maharani, D. (2022). Preparasi dan Karakterisasi Komposit Kitosan-TiO₂/ZnO Sebagai Agen Hidrofobik dan Antibakteri pada Kain Katun. *Sais Dan Matematika*, 7(1), 51–57.
- Lestari, C. A. (2021). *Pengaruh Konsentrasi ZnO (Seng Oksida) dan Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Pati Umbi Ganyong (Canna edulis)*. Universitas Brawijaya.

- López, V. M. G. (2002). Fruit Characterization of high oil content avocado varieties. In *Scientia Agricola*, v (Vol. 59, Issue 2).
- Lukman, F. K., Noviasari, S., & Murlida, E. (2022). Pengaruh Konsentrasi Tepung Biji Alpukat Terhadap Tingkat Kesukaan Kerupuk. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 7(1). www.jim.unsyiah.ac.id/JFP
- Maftuhatussolihah, E. (2022). *Aplikasi Edible Film Pati Biji Alpukat (Persea americana) Dengan Penambahan Ekstrak Lidah Buaya (Aloe vera) Pada Buah Tomat (Lycopersicum esculentum)* [Skripsi]. UIN Walisongo.
- Malangngi, L., Sangi, M., & Paendong, J. (2012). Penentuan Kandungan Tanin dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Biji Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.). *Jurnal MIPA*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.35799/jm.1.1.2012.423>
- Mandasari, M. D. P., & Kusuma, S. B. W. (2023). Water Hyacinth Nanocellulose Addition Effect on the Mechanical Properties of Sweet Potato Starch-Based Bioplastics. In *J. Chem. Sci* (Vol. 12, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Marra, A., Cimmino, S., & Silvestre, C. (2017). Effect of TiO₂ and ZnO on PLA degradation in various media. *Advanced Material Science*, 2(2). <https://doi.org/10.15761/ams.1000122>
- Maslahah, N. U., Alisaputra, D., & Sedyadi, E. (2021). Biodegradation Bioplastic Based on Arrowroot Starch with Glycerol Plasticizer and ZnO Fillers. *Journal of Physics:*

Conference Series, 1788(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1788/1/012007>

Méité, N., Konan, L. K., Tognonvi, M. T., Doubi, B. I. H. G., Gomina, M., & Oyetola, S. (2021). Properties of hydric and biodegradability of cassava starch-based bioplastics reinforced with thermally modified kaolin. *Carbohydrate Polymers*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117322>

Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A. F. (2017). *Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation (Kajian Pengaruh Jenis Filler, Konsentrasi Filler dan Jenis Plasticiezer)* (Vol. 2, Issue 2).

Muhammad, Ridara, R., & Masrullita. (2020). Sintesis Bioplastik Dari Pati Biji Alpukat Dengan Bahan Pengisi Kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 01–11.

Mustakin, F., & Tahir, M. M. (2019). *Analisis Kandungan Glikogen Pada Hati, Otot, dan Otak Hewan (Analysis Of Glicogen Content On Heart, Muscle, And Animal Brain)*. 2(2). <https://doi.org/10.20956/canrea.v2i2.xxx>

Nadhira, R., & Cahyana, Y. (2023). Kajian Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Senyawa Fenolik: Review. *Jurnal Penelitian Pangan (Indonesian Journal of Food Research)*, 3(1). <https://doi.org/10.24198/jp2.2023.vol1.1.03>

- Nahir, Nu. (2017). *Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Biji Asam (Tamarindus indicaL.)* [Skripsi]. UIN Alauddin.
- Nainggolan, L., Sudiarta, I. W., & Suarsa, I. W. (2023). Sintesis Fotokatalisis ZnO-SiO₂ Menggunakan Metode Sol-Gel Pada Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B. *JOURNAL OF CHEMISTRY*, 17(2), p-ISSN. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2023.v17.i02.p5>
- Nur, R. A., Nazir, N., & Taib, G. (2020). Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (Microcrystalline cellulose) dari Kulit Kakao. *Gema Agro*, 25.
- Obboh, G., Odubanjo, V. O., Bello, F., Ademosun, A. O., Oyeleye, S. I., Nwanna, E. E., & Ademiluyi, A. O. (2016). Aqueous extracts of avocado pear (*Persea americana* Mill.) leaves and seeds exhibit anti-cholinesterases and antioxidant activities in vitro. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 27(2), 131–140. <https://doi.org/10.1515/jbcpp-2015-0049>
- Perdana, Y. A. (2016). *Perbandingan Penambahan Plasticizer Gliserol, Sorbitol Terhadap Biodegradasi dan Karakteristik Pektin Kulit Jeruk Bali (Citrus Maxima) – Pati Onggok Singkong* [Skripsi].
- Permatasari, L., & Muliasari, H. (2022). Kecambah: Agen penghidrolisis pati yang potensial. *Sasambo Journal of*

- Pharmacy*, 3(2), 111–114.
<https://doi.org/10.29303/sjp.v3i2.174>
- Phothisarattana, D., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Migration, aggregations and thermal degradation behaviors of TiO₂ and ZnO incorporated PBAT/TPS nanocomposite blown films. *Food Packaging and Shelf Life*, 33.
- Purnomo, Arti, Windu. K. A., Mukaromah, A. H., Subri, M., & Pujiyanto, M. E. (2023). An Overview of Titanium Dioxide Effect on Mechanical Properties of PMMA-TiO₂ Nanocomposites. *Journal of International Dental and Medical Research*, 16(4), 1797–1803.
<http://www.jidmr.com>
- Putri, G. R. (2019). *Karakterisasi Bioplastik Dari Rumput Laut (Eucheuma Cottonii) dan Pati Singkong Dengan Penambahan Pati Biji Alpukat* (Vol. 4). <http://ejurnal.kpmunj.org>
- Qoirinisa, S. (2022). *Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Kentang (Solanum tuberosum L.) dan Gliserol Dari Minyak Jelantah Dengan* [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
- Rahmawati, S., Asnila, A., Suherman, S., & Abram, P. H. (2020). Kinetika Reaksi Hidrolisis Pati Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) dengan Katalis HCl. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 4(1), 120–131.
<https://doi.org/10.24815/jipi.v4i1.16480>

- Rex M, C., & Mukherjee, A. (2022). Prospects of TiO₂-based photocatalytic degradation of microplastic leachates related disposable facemask, a major COVID-19 waste. In *Frontiers in Nanotechnology* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnano.2022.1072227>
- Riswanto, M. A. (2016). *Pengaruh Komposisi Pati Biji Alpukat-Kitosan dan Penambahan Gliserol Terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradasi Bioplastik* [Skripsi].
- Risyad, A., Permadani, R. L., & Mz, S. (2016). Ekstraksi Minyak Dari Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill) Menggunakan Pelarut N-Heptana. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 5(1).
- Salindeho, R. D., Soukota, J., & Poeng, R. (2013). *Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material*.
- Saputra, wijaya, Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2019). *Pengaruh Konsentrasi Seng Oksida (ZnO) dan Penambahan Gliserol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Umbi Gadung (*Dioscorea hispida* Deenst)* (Vol. 7, Issue 4).
- Saputra, I. S., Suhartati, S., Yulizar, Y., & Sudirman. (2020). Green Synthesis Nanopartikel ZnO Menggunakan Media Ekstrak Daun Tin (*Ficus carica* Linn). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 42, 1–6.
- Sihombing, R. P., Al-Ghifari, M. Z., Maulana, F. I., & Ngatin, A. (2022). *Pengaruh Konsentrasi Kaolin dan ZnO dengan Penambahan PVOH Terhadap Karakteristik Bioplastik Berbasis Pati*.

- Sinaga, R. F., Ginting, G. M., Ginting, M. H. S., & Hasibuan, R. (2014). Pengaruh Penambahan Gliserol Terhadap Sifat Kekuatan Tarik dan Pemanjangan Saat Putus Bioplastik Dari Pati Umbi Talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(2), 19–24. <https://doi.org/10.32734/jtk.v3i2.1608>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2023). *Data Timbulan Sampah Tahun 2023*.
- Situmorang, H., Hendra, M., & Ginting, S. (2014). Kajian Awal Pembuatan Film Plastik (Bahan Plastik Pengemas) Dari Pati Batang Ubi Kayu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1).
- Sunardi, Susanti, Y., & Mustikasari, K. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara dengan Kaolin Sebagai Penguat. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 11(2), 65. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v11i2.5084>
- Suryanegara, L., Fatriasari, W., Zulfiana, D., Anita, S. H., Masruchin, N., Gutari, S., & Kemala, T. (2021). Novel antimicrobial bioplastic based on PLA-chitosan by addition of TiO₂ and ZnO. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(1), 415–425. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00614-z>
- Syahida, A., Widodo, T. T., & Hadiano, E. (2024). Ikatan Polimer Pmma Dengan Titanium Dioksida. *MEDALI Jurnal*, 6(2). <https://doi.org/10.30659/medali.6.2.103-112>
- Syaputra, A. F., Bahrudin, & Irdoni. (2017). Pengaruh Kadar Filler ZnO, Plasticizer Gliserol dan Nisbah Air Terhadap Sifat

dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu. *JOM FTEKNIK*, 4.

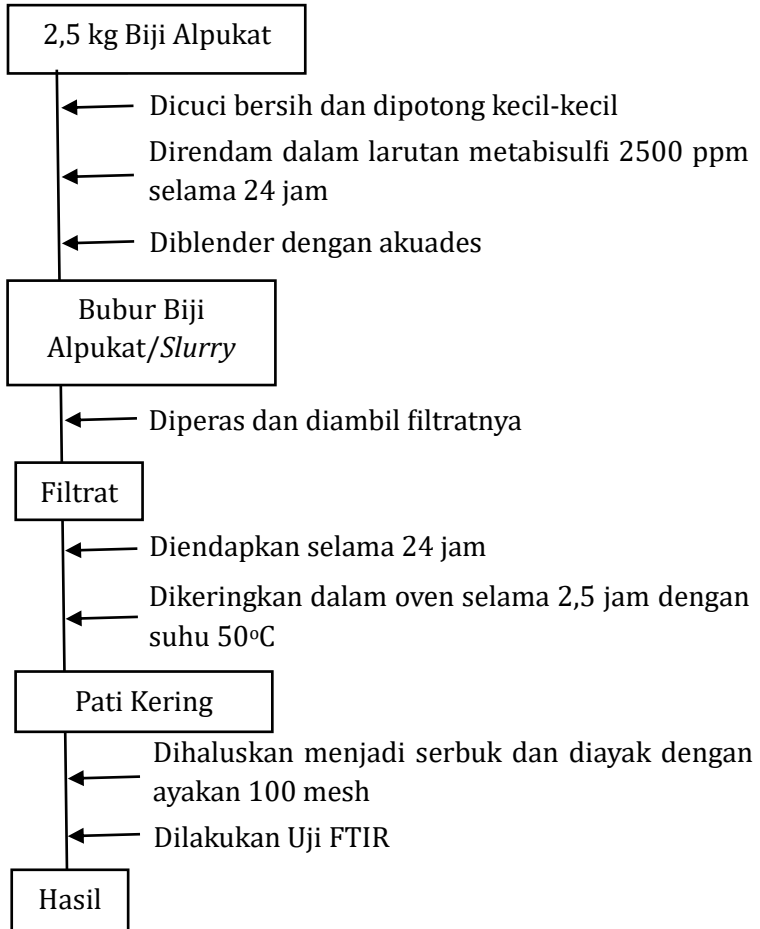
- Tamiogy, W. R., Kardisa, A., Hisbullah, H., & Aprilia, S. (2019). pemanfaatan selulosa dari limbah kulit buah pinang sebagai bahan baku pembuatan bioplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 14(1), 63–71. <https://doi.org/10.23955/rkl.v14i1.11517>
- Tantini. (2020). *Pengaruh Penambahan ZnO Terhadap Aktivitas Antibakteri Pada Plastik Biodegradable Dari Biji Durian* [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Ulandari, I. P. (2020). *Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Singkong dengan Menggunakan Titanium Dioksida (TiO₂) Sebagai Penguat* [Skripsi]. Universitas Hasanuddin.
- Ummah, Al. N. (2013). *Uji Ketahanan Biodegradable Plastic Berbasis Tepung Biji Durian (Durio Zibethinus Murr) Terhadap Air Dan Pengukuran Densitasnya* [Skripsi]. Universitas Negeri Semarang.
- Wardiyah, Maulana, T. P., & Safrina, U. (2021). Review Article: The Effectiveness of Avocado Seed Starch (Persea Americana Mill) As An Excipients in Tablets Formulation. *SANITAS: Jurnal Teknologi Dan Seni Kesehatan*, 12(2), 159–171. <https://doi.org/10.36525/sanitas.2021.15>
- Werapun, U., Werapun, W., & Phatthiya, A. (2024). Characterization of composite bioplastic from Cassava starch with titanium dioxide and zinc oxide. *Digest Journal*

- of Nanomaterials and Biostructures*, 19(1), 275–282.
<https://doi.org/10.15251/DJNB.2024.191.275>
- Widyaningsih, S., Kartika, D., & Tri Nurhayati, Y. (2012). Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat Terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradasi Film Dari Pati Kulit Pisang. *Molekul*, 7(1), 69.
<https://doi.org/10.20884/1.jm.2012.7.1.108>
- Wilmulda, A. (2022). *Identifikasi Daya Hambat Pertumbuhan Bakteri (Escherichia Coli) Pada Plastik Biodegradable Dari Pati Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca linn) Dikombinasi Dengan Titanium Dioksida (TiO2) Sebagai Penyalut Makanan* [Skripsi]. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
- Yunita, I., Prendika, W., & Ar, R. M. (2022). Modifikasi Pati Umbut Batang Kelapa Sawit Dengan Hidrolisis Asam. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 21, 37–46.
- Zulhida, R., & Tambunan, H. S. (2013). Pemanfaatan Biji Alpukat (Persea Americana Mill) Sebagai Baham Pembuat Pati. *Agrium*, 18.

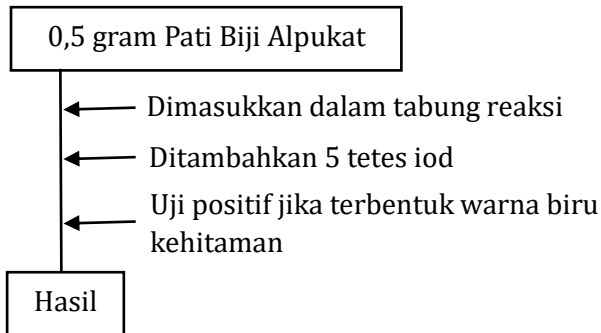
DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Prosedur Kerja

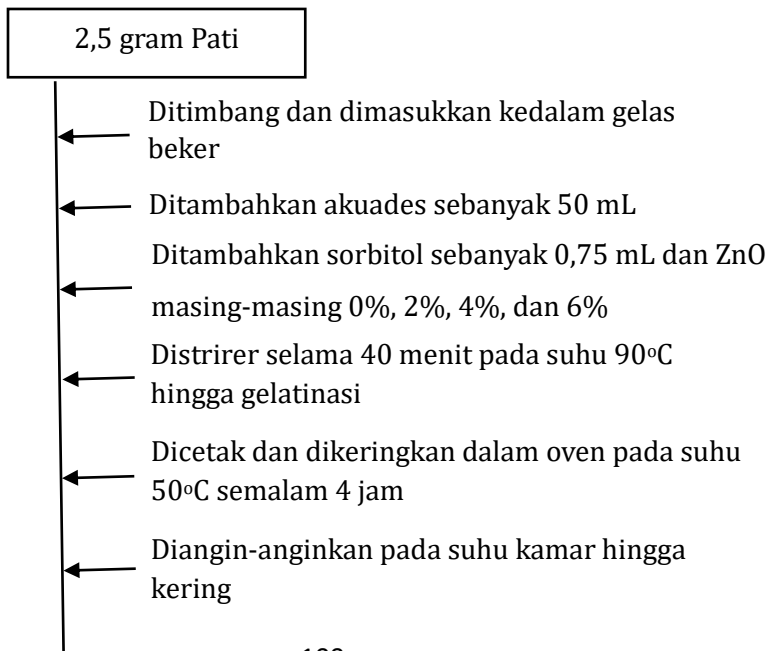
1. Pembuatan Pati Biji Alpukat

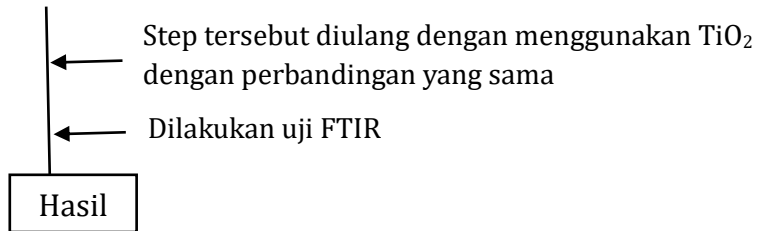


a. Uji Amilum

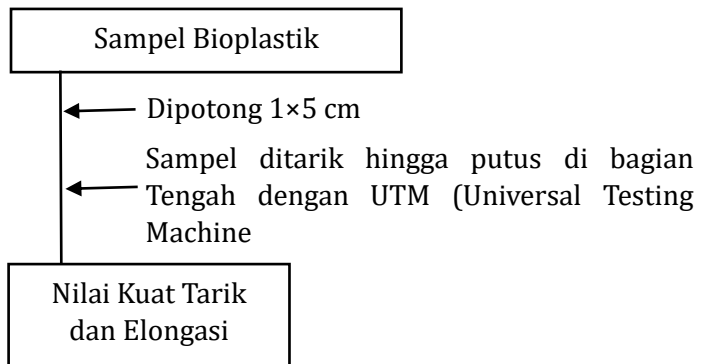


2. Pembuatan Pati Biji Alpukat

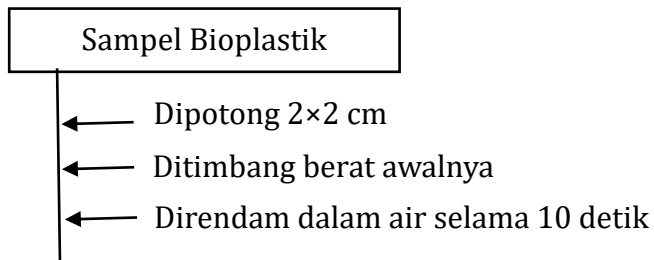


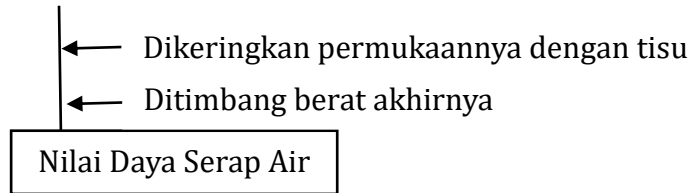


a. Uji Kuat Tarik

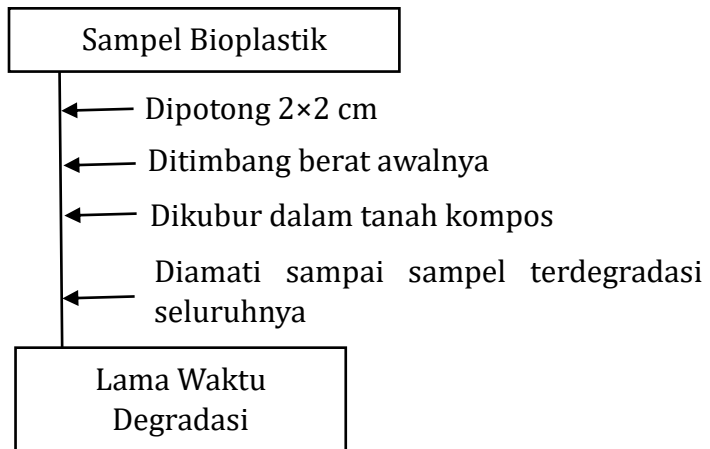


b. Uji Daya Serap Air





c. Uji Biodegradasi



Lampiran 2. Data Uji Kuat Tarik dan Elongasi

- Rumus Kuat Tarik: $\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$
- Rumus Elongasi: $\% Elongasi = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\%$

Bioplastik Tanpa Penguat dan Dengan Penambahan ZnO

Sampel Bioplastik	Hasil Kuat Tarik (MPa)	SNI Kuat Tarik (MPa) (7188.7; 2016)	Hasil Elongasi (%)	SNI Elongasi (%) (7188.7; 2016)
BPS	7,53	24,4-30,2	29,50	21-220
BPS-ZnO 2%	13,53		36,16	
BPS-ZnO 4%	15,97		14,50	
BPS-ZnO 6%	23,88		4,66	

1. Sampel BPS

- Kuat Tarik:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

$$\sigma = \frac{6,402}{0,85} = 7,53 \text{ MPa}$$

- Elongasi:

$$\% Elongasi = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Elongasi} &= \frac{11,85}{30} \times 100\% \\ &= 39,50\%\end{aligned}$$

2. Sampel BPS-ZnO 2%

- Kuat Tarik:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F_{maks}}{A_0} \\ \sigma &= \frac{11,500}{0,85} = 13,53 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Elongasi:

$$\begin{aligned}\% \text{ Elongasi} &= \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \\ \% \text{ Elongasi} &= \frac{10,85}{30} \times 100\% \\ &= 36,16\%\end{aligned}$$

3. Sampel BPS-ZnO 4%

- Kuat Tarik:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F_{maks}}{A_0} \\ \sigma &= \frac{11,184}{0,70} = 15,97 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- Elongasi:

$$\begin{aligned}\% \text{ Elongasi} &= \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \\ \% \text{ Elongasi} &= \frac{4,35}{30} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 14,50\%$$

4. Sampel BPS-ZnO 6%

- **Kuat Tarik:**

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

$$\sigma = \frac{19,105}{0,80} = 23,88 \text{ MPa}$$

- **Elongasi:**

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{1,40}{30} \times 100\%$$

$$= 4,66\%$$

Bioplastik Dengan Penambahan TiO₂

Sampel Bioplastik	Hasil Kuat Tarik (MPa)	SNI Kuat Tarik (MPa) (7188.7; 2016)	Hasil Elongasi (%)	SNI Elongasi (%) (7188.7; 2016)
BPS-TiO ₂ 2%	15,67	24,4-30,2	13,66	21-220
BPS-TiO ₂ 4%	23,49		4,83	
BPS-TiO ₂ 6%	23,10		4,66	

1. Sampel BPS-TiO₂ 2%

- **Kuat Tarik**

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$
$$\sigma = \frac{7,838}{0,50} = 15,67 \text{ MPa}$$

- **Elongasi:**

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$
$$\% \text{ Elongasi} = \frac{4,10}{30} \times 100\%$$
$$= 13,66\%$$

2. Sampel BPS-TiO₂ 4%

- **Kuat Tarik:**

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$
$$\sigma = \frac{14,097}{0,60} = 23,49 \text{ MPa}$$

- **Elongasi:**

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$
$$\% \text{ Elongasi} = \frac{1,45}{30} \times 100\%$$
$$= 4,83\%$$

3. Sampel BPS-TiO₂ 6%

- **Kuat Tarik:**

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

$$\sigma = \frac{16,172}{0,70} = 23,10 \text{ MPa}$$

- Elongasi:

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{1,40}{30} \times 100\%$$

$$= 4,66\%$$

Lampiran 3. Data Uji Daya Serap

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Bioplastik Tanpa Penguat dan Dengan Penambahan ZnO dan TiO₂

Jenis Sampel	Berat Awal (W ₀)	Berat Akhir (W)	% Daya Serap Air	Rata-Rata	SNI (7188.7;2016)
BPS	0,0867	0,1103	27,22 %	28,54 %	Maksimum 21,5% Pada Suhu 25°C
	0,0874	0,1135	29,86 %		
BPS-ZnO 2%	0,0970	0,1212	24,94 %	23,62 %	
	0,1013	0,1239	22,30 %		
BPS-ZnO 4%	0,1308	0,1528	16,81 %	17,21 %	
	0,1402	0,1649	17,61 %		
	0,1084	0,1256	15,86 %	15,97 %	

BPS- ZnO 6%	0,1084	0,1260	16,23 %	
BPS- TiO₂ 2%	0,0588	0,0742	26,19%	25,43%
	0,0616	0,0768	24,67%	
BPS- TiO₂ 4%	0,0536	0,0676	26,11%	24,91%
	0,0649	0,0803	23,72%	
BPS- TiO₂ 6%	0,0646	0,0808	25,07	23,86%
	0,0598	0,0733	22,65	

1. Sampel BPS

Sampel 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,1103 - 0,0867}{0,0867} \times 100\% \\
 &= 27,22\%
 \end{aligned}$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,1135 - 0,0874}{0,0874} \times 100\% \\
 &= 29,86\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{27,22\% + 29,86\%}{2} \\
 &= \mathbf{28,54\%}
 \end{aligned}$$

2. Sampel BPS-ZnO 2%

Sampel 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,1212 - 0,0970}{0,0970} \times 100\% \\
 &= 24,94\%
 \end{aligned}$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,1239 - 0,1013}{0,1013} \times 100\% \\
 &= 22,30\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{24,94\% + 22,30\%}{2} \\
 &= \mathbf{23,62\%}
 \end{aligned}$$

3. Sampel BPS-ZnO 4%

Sampel 1:

$$\begin{aligned}\text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,1528 - 0,1308}{0,1308} \times 100\% \\ &= 16,81\%\end{aligned}$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned}\text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,1649 - 0,1402}{0,1402} \times 100\% \\ &= 17,61\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\ &= \frac{16,81\% + 17,61\%}{2} \\ &= 17,21\%\end{aligned}$$

4. Sampel BPS-ZnO 6%

Sampel 1:

$$\begin{aligned}\text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,1256 - 0,1084}{0,1084} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= 15,86\%$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,1260 - 0,1084}{0,1084} \times 100\% \\ &= 16,23\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\ &= \frac{15,86\% + 16,23\%}{2} \\ &= 15,97\% \end{aligned}$$

5. Sampel BPS-TiO₂ 2%

Sampel 1:

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,0742 - 0,0588}{0,0588} \times 100\% \\ &= 26,19\% \end{aligned}$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned} \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,0768 - 0,0616}{0,0616} \times 100\% \\ &= 24,67\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{26,19\% + 24,67\%}{2} \\
 &= \mathbf{25,43\%}
 \end{aligned}$$

6. Sampel BPS-TiO₂ 4%

Sampel 1:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,0676 - 0,0536}{0,0536} \times 100\% \\
 &= 26,11\%
 \end{aligned}$$

Sampel 2:

$$\begin{aligned}
 \text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\
 &= \frac{0,0803 - 0,0649}{0,0649} \times 100\% \\
 &= 23,72\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\
 &= \frac{26,11\% + 23,72\%}{2} \\
 &= \mathbf{24,91\%}
 \end{aligned}$$

7. Sampel BPS-TiO₂ 6%

Sampel 1:

$$\begin{aligned}\text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,0808 - 0,0646}{0,0646} \times 100\% \\ &= 25,07\%\end{aligned}$$

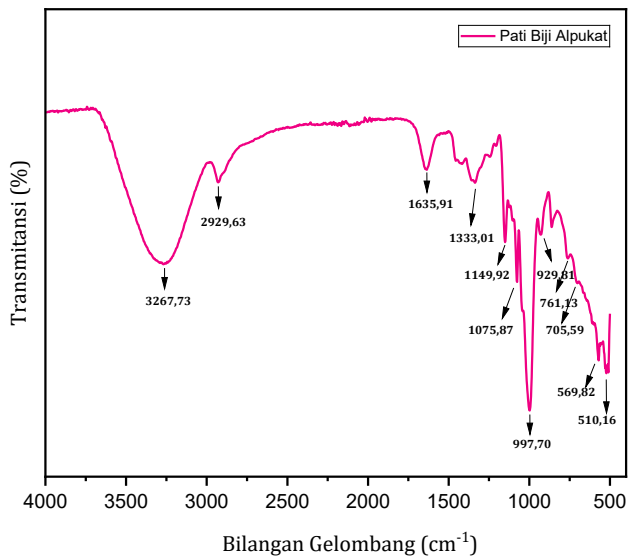
Sampel 2:

$$\begin{aligned}\text{Daya Serap Air (\%)} &= \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \\ &= \frac{0,0733 - 0,0598}{0,0598} \times 100\% \\ &= 22,65\%\end{aligned}$$

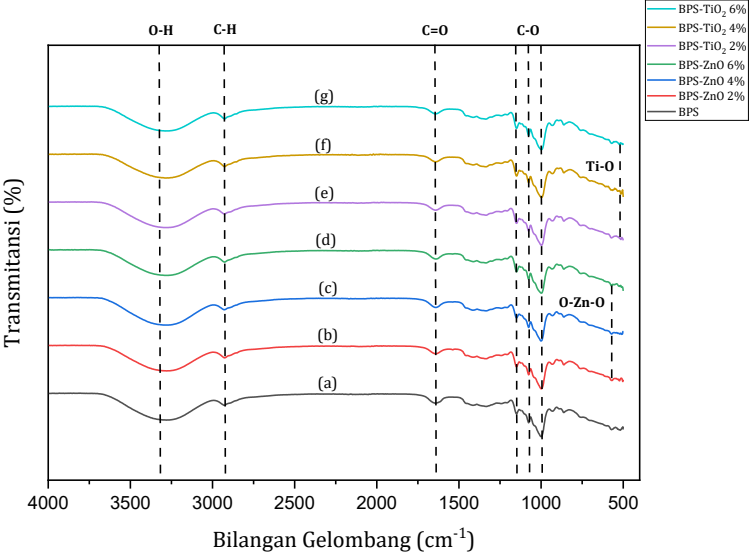
$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata} &= \frac{\text{Sampel 1} + \text{Sampel 2}}{2} \\ &= \frac{25,07\% + 22,65\%}{2} \\ &= \mathbf{23,86\%}\end{aligned}$$

Lampiran 4. Data Spektrum FTIR




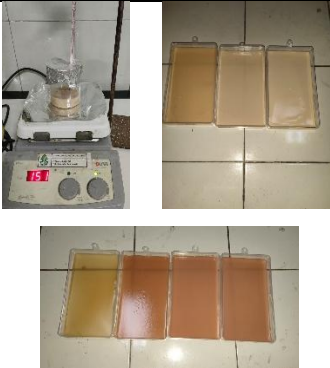
Spektrum FTIR Pati Biji Alpukat

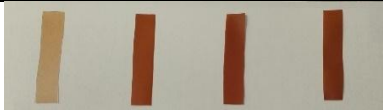









**Spektrum FTIR BPS, BPS-Zno 2%, BPS-ZnO 4%, BPS-TiO₂ 6%,
BPS-TiO₂ 4%, BPS-TiO₂ 6%**



Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian

No.	Aktivitas	Gambar
1.	Preparasi Pembuatan Pati Biji Alpukat	
2.	Hasil Pati Biji Alpukat	
3.	Uji Amilum	
4.	Sintesis Bioplastik	

5.	Hasil Bioplastik	 
6.	Uji Daya Serap Air	  
7.	Uji Bodegradasi	  

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Diah Febri Astuti
2. Tempat, Tanggal Lahir : Wonogiri, 10 Februari 2003
3. Alamat Rumah : Jl. Kayu Mas Timur, Jakarta Timur
4. No. HP : 087788268427
5. E-mail : diahastuti704@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. SDN Pulogadung 09 Pagi Lulus 2015
2. SMPN 92 Jakarta Lulus 2018
3. SMAN 36 Jakarta Lulus 2021
4. UIN Walisongo Semarang Lulus 2025