



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT UDANG SEBAGAI BAHAN
BAKU BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN TERMODIFIKASI
SALISILALDEHID DAN ZnO SEBAGAI ANTIMIKROBA**

Florentina Ratna Eris Nanda
NRP. 1022040021

DOSEN PEMBIMBING :
NOVI EKA MAYANGSARI, S.T., M.T.
ANISA ESTI RAHAYU, S.Si., M.Si.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT UDANG SEBAGAI BAHAN
BAKU BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN TERMODIFIKASI
SALISILALDEHID DAN ZnO SEBAGAI ANTIMIKROBA**

Florentina Ratna Eris Nanda
NRP. 1022040021

DOSEN PEMBIMBING :
NOVI EKA MAYANGSARI, S.T., M.T.
ANISA ESTI RAHAYU, S.Si., M.Si.

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT UDANG SEBAGAI BAHAN BAKU
BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN TERMODIFIKASI SALISILALDEHID
DAN ZnO SEBAGAI ANTIMIKROBA**

Disusun Oleh:
Florentina Ratna Eris Nanda
1022040021

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian: 7 Juli 2026
Periode Wisuda: Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Novi Eka Mayangsari, S.T., M.T.	(8449768669230313)	(..... <i>Ekang</i>)
2. Anisa Esti Rahayu, S.Si., M.Si.	(0948776677230242)	(..... <i>Anisa</i>)
3. Dr. Ir. Wiwik Dwi Pratiwi, MT.	(4457744645231043)	(..... <i>Wiwik</i>)
4. Nur Fajar Aprilia Sari, S.T., M.T.	(1757775676230202)	(..... <i>Nur Fajar</i>)

Dosen Pembimbing	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Novi Eka Mayangsari, S.T., M.T.	(8449768669230313)	(..... <i>Ekang</i>)
2. Anisa Esti Rahayu, S.Si., M.Si.	(0948776677230242)	(..... <i>Anisa</i>)

Menyetujui
Ketua Jurusan,



Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, ST., MT.
NIP. 197708192005011001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,

Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.
NIP. 197804142005012002

 PPNS	PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
---	---------------------------------	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Florentina Ratna Eris Nanda

NRP. : 1022040021

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal / D4 Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Baku Bioplastik Berbasis Kitosan Termodifikasi Salisilaldehid dan Zno sebagai Antimikroba.

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 26 Juni 2026
Yang membuat pernyataan,




(Florentina Ratna Eris Nanda)
NRP. 1022040021

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang memberikan segala karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian dengan judul “Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Baku Bioplastik Berbasis Kitosan Termodifikasi Salisilaldehid dan ZnO sebagai Antimikroba” yang disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan program Diploma IV Teknik Pengolahan Limbah pada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, arahan, serta motivasi dari berbagai pihak. Penulis dengan penuh rasa hormat ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan dorongan selama proses penelitian ini. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang dalam kepada:

1. Terimakasih kepada diri sendiri Florentina Ratna Eris Nanda, yang telah mampu melewati berbagai masa sulit dan tetap meyakinkan diri untuk menyelesaikan pendidikan hingga tahap Tugas Akhir ini. Terima kasih atas keteguhan hati dalam memegang motto pribadi “tidak harus menjadi yang pertama, yang terpenting adalah menyelesaikan satu demi satu”.
2. Terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada kedua orang tua yang senantiasa hadir dalam setiap proses perjalanan pendidikan ini. Berkat doa, dukungan, serta kerja keras bapak dan ibu yang menjadi sumber kekuatan untuk penulis hingga tahap Tugas Akhir. Tidak hanya memberikan semangat, tetapi membantu secara materiil, sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan pendidikan dengan baik. Semoga bapak dan ibu bahagia, dan sehat selalu karena bapak dan ibu harus ada disetiap pencapaian hidup penulis.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, ST., MT., selaku ketua jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
5. Ibu Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah.
6. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T., selaku Koordinator Penelitian Program Studi Teknik Pengolahan Limbah.

7. Ibu Novi Eka Mayangsari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, membantu secara materiil, masukan serta motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Ibu Anisa Esti Rahayu, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta motivasi sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik. Selain itu, penulis juga menghargai segala bentuk bantuan yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir, sehingga penelitian ini dapat berjalan sampai selesai.
9. Ibu Dr. Ir Wiwik Dwi Pratiwi, MT., dan Ibu Nur Fajar Aprilia Sari, S.T., M.T, selaku dosen penguji dalam penelitian yang telah memberikan kesempatan, dan arahan menjadi dorongan moral yang berarti bagi penulis dalam menyelesaikan studi ini.
10. Kepada Bapak dan Ibu dosen yang senantiasa mendoakan, memberikan restu, serta membagikan ilmu yang bermanfaat selama penulis menempuh pendidikan.
11. Kepada Muhammad Ramadhan yang telah kebersamaan penulis dalam setiap proses perjalanan pendidikan ini. Terimakasih atas segala hal yang telah diusahakan untuk penulis, karena kehangatanmu ibarat cahaya kecil di tengah ruang gelap yang membawa kehidupan baru serta menyentuh relung terdalam dalam jiwa penulis.
12. Kepada Keyza Cynthia yang telah mendengarkan suka duka selama penulis menempuh pendidikan.
13. Nancy Arta Amanda yang telah menjadi partner dalam menyelesaikan tugas akhir, menemani hingga larut malam dan begadang, serta memberikan semangat yang berarti dalam setiap prosesnya.
14. Mas Ghesa saudara kandung penulis yang telah banyak membantu selama penulis menempuh pendidikan.
15. Teman-teman terdekat Salwa, Lala dan Risma yang selalu membantu, mendukung, dan menghibur saya dalam pengerjaan penelitian ini, serta memberikan semangat yang berarti dalam setiap prosesnya.
16. Kepada teman setopik tugas akhir, yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian.
17. Teman-teman sekelas yang saling memberikan dukungan dan membantu

selama pengerjaan tugas akhir.

18. Teman-teman Teknik Pengolahan Limbah Angkatan 2022 yang saling memberikan dukungan dan semangat selama pengerjaan tugas akhir.

19. Kopi kenangan yang menjadi tempat ternyaman selama pengerjaan tugas akhir penulis

Penulis menyadari tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pihak terkait.

Surabaya, 25 Juni 2026

Penulis

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT UDANG SEBAGAI BAHAN BAKU BIOPLASTIK BERBASIS KITOSAN TERMODIFIKASI SALISILALDEHID DAN ZnO SEBAGAI ANTIMIKROBA

Florentina Ratna Eris Nanda

ABSTRAK

Bioplastik yang berasal dari kitosan limbah kulit udang memiliki potensi sebagai alternatif yang ramah lingkungan dan dapat terurai secara alami. Komponen yang terdapat dalam cangkang udang terdiri dari 27,6% mineral, 34,9% protein, serta 18,1% kitin. Dengan proses deasetilasi, kitin yang terkandung pada kulit udang dapat diubah menjadi kitosan dengan bantuan proses *crosslinking* menggunakan salisilaldehid dan nanopartikel ZnO sebagai antimikroba. Variasi penambahan perbandingan kitosan dari kulit udang dengan salisilaldehid yang mencakup variasi (3:1,5), (3:2), (3:2,5) serta nanopartikel ZnO pada kadar 0%, 1%, 3%, 5%. Penelitian membahas pengaruh variasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO terhadap kualitas ketahanan air, sifat mekanik (kuat tarik, *elongasi*) serta persentase degradabilitas. Hasil menunjukkan nilai daya tarik tertinggi mencapai 0,48 MPa dengan kombinasi kitosan dan salisilaldehid pada rasio (3:2,5) dan 3% nanopartikel ZnO. Kemudian variasi kitosan dan salisilaldehid pada rasio (3:2,5) dan 5% nanopartikel ZnO, dengan nilai degradasi 100% dalam waktu 15 hari, dan *swelling* terendah menunjukkan nilai 224,80%. Berdasarkan analisis statistik, terdapat nilai signifikansi $< 0,05$ terhadap pengujian kuat tarik, *elongasi*, ketahanan air, dan degradasi. Hasil ini menunjukkan variasi kitosan, salisilaldehid, dan nanopartikel ZnO, mempengaruhi hasil pengujian dengan menunjukkan nilai kuat tarik belum memenuhi standar JIS (*Japanese Industrial Standards*) Z-1707(1975), dan nilai degradasi sudah memenuhi SNI 7188.7:2022.

Kata Kunci : Kitosan, Kuat tarik, Nanopartikel ZnO, Salisilaldehid, *Swelling*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SHRIMP SHELL WASTE UTILIZATION FOR BIOPLASTIC RAW MATERIAL BASED ON SALICYLALDEHYDE-MODIFIED CHITOSAN AND ZnO AS ANTIMICROBIAL AGENT

Florentina Ratna Eris Nanda

ABSTRACT

Bioplastic derived from chitosan extracted from shrimp shell waste offers potential as an environmentally friendly, naturally biodegradable alternative. Shrimp shell composition comprises 27.6% minerals, 34.9% protein, and 18.1% chitin. Through deacetylation, chitin is converted to chitosan via crosslinking using salicylaldehyde and zinc oxide (ZnO) nanoparticles as antimicrobial agents. This study examined variations in chitosan-to-salicylaldehyde ratios (3:1.5, 3:2, and 3:2.5) combined with ZnO nanoparticles (0%, 1%, 3%, and 5%) to evaluate water resistance, mechanical properties (tensile strength and elongation), and biodegradability. At a chitosan-salicylaldehyde ratio of 3:2.5 and 3% ZnO nanoparticles, the maximum tensile strength was 0.48 MPa. At a 3:2.5 ratio with 5% ZnO nanoparticles, complete degradation occurred within 15 days, with the lowest swelling value of 224.80%. Statistical analysis revealed significance values < 0.05 for tensile strength, elongation, water resistance, and degradation testing. Results demonstrate that variations in chitosan, salicylaldehyde, and ZnO nanoparticles significantly influence their properties. However, tensile strength values do not meet the requirements of Japanese Industrial Standard (JIS) Z-1707 (1975), whereas degradation values comply with Indonesian National Standard (SNI) 7188.7:2022.

Keywords: Chitosan, Salicylaldehyde, Swelling, Tensile Strength, ZnO Nanoparticle

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	<i>xiii</i>
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Plastik	7
2.2 Bioplastik	8
2.3 Limbah Kulit Udang	8
2.4 Kitin dan Kitosan	9
2.4.1 Definisi dan Karakteristik Kitin	9
2.4.2 Kapabilitas Kitosan Sebagai Material Bioplastik	10
2.4.3 Proses Kitin Menjadi Kitosan.....	11
2.5 Salisiladehida Sebagai Agen <i>Crosslinking</i>	11
2.6 Gliserol.....	12
2.7 Zinc Oxide (ZnO).....	13
2.8 Mekanisme Pembentukan Bioplastik	14
2.9 Pengujian Kuat Tarik	16
2.10 Pengujian Persentase <i>Swelling</i>	17
2.11 Pengujian SEM	17
2.12 Pengujian FTIR	18
2.13 Pengujian XRD	19
2.14 Pengujian Degradasi.....	20
2.15 Pengujian Antimikroba	21

2.16 Analisis Statistika	21
2.17 Penelitian Terdahulu.....	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Perumusan Ide Penelitian	28
3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan.....	28
3.4 Studi Literatur	29
3.5 Penentuan Waktu dan Lokasi Penelitian	29
3.5.1 Waktu.....	29
3.5.2 Lokasi.....	29
3.6 Objek Penelitian.....	29
3.7 Penentuan Variabel Penelitian.....	30
3.7.1 Variabel Bebas	30
3.7.2 Variabel Kontrol.....	30
3.7.3 Variasi Terikat.....	30
3.8 Pelaksanaan Penelitian	30
3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	31
3.8.2 Pengambilan Sampel	32
3.8.3 Penentuan Variasi Penelitian	32
3.8.4 Pengujian Karakteristik Kitosan dan Nanopartikel ZnO.....	32
3.8.5 Perhitungan Nilai DD Kitosan.....	33
3.8.6 Pembuatan basa schiff biopolimerik kitosan dengan Salisilaldehid.....	33
3.8.7 Pembuatan Bioplastik.....	35
3.8.8 Karakterisasi FTIR, SEM, XRD.....	35
3.8.9 Pengujian Sifat Mekanis Bioplastik.....	36
3.8.10 Pengujian Degradasi <i>Soil Burial Test</i>	36
3.8.11 Pengujian <i>Swelling</i>	37
3.8.12 Pengujian Antimikroba.....	38
3.8.13 Pengujian Statistik Bioplastik.....	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Analisis Bahan Baku dan Karakteristik Bioplastik.....	41
4.1.1 Karakteristik Bahan Baku Bioplastik	41
4.1.2 Karakteristik Visual Bioplastik	44
4.1.3 Hasil Uji <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR) Bioplastik.....	50
4.1.4 Hasil Uji SEM Bioplastik.....	53
4.1.5 Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Bioplastik.....	56
4.2 Pengaruh Variasi Penambahan Salisilaldehid dan Nanopartikel ZnO Terhadap	

Pengujian Bioplastik	58
4.2.1 Hasil Uji Kuat Tarik	58
4.2.2 Hasil Uji <i>Elongasi</i>	60
4.2.3 Hasil Uji Degredasi	63
4.2.4 Hasil Uji Persentase <i>Swelling</i>	65
4.3 Hasil Uji Antimikroba	68
4.3.1 Hasil Uji Antimikroba Terhadap Bakteri <i>Escherichia coli</i> (<i>E.Coli</i>)	68
4.3.2 Hasil Uji Antimikroba Terhadap Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S.Aureus</i>) ..	71
4.4 Hasil Uji Statistik	72
4.4.1 Uji Normalitas	73
4.4.2 Hasil Uji Homogenitas	75
4.4.3 Hasil Uji Nonparametrik Kruskal-Wallis	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN A	93
LAMPIRAN B	97
LAMPIRAN C	101
LAMPIRAN D	115
LAMPIRAN E	119
LAMPIRAN F	123
LAMPIRAN G	127
LAMPIRAN H	131
LAMPIRAN I	137
LAMPIRAN J	145
LAMPIRAN K	155
LAMPIRAN L	163
BIODATA PENULIS	169

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	22
Tabel 3. 1 Variasi Penelitian	32
Tabel 4.1 Gugus Fungsi Kitosan.....	42
Tabel 4.3 Gugus Fungsi FTIR Bioplastik	52
Tabel 4.4 Indeks Kristalinitas	57
Tabel 4.5 Hasil dari pengujian <i>Soil burial test</i>	63
Tabel 4.6 Hasil dari pengujian antimikroba.....	69
Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas <i>Shapiro-Wilk</i>	73
Tabel 4.8 Hasil Uji Homogenitas nanopartikel ZnO	75
Tabel 4.9 Hasil Uji Homogenitas salisilaldehid.....	76
Tabel 4.8 Hasil Uji Normalitas <i>Shapiro-Wilk</i> nanopartikel ZnO.....	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sampah Plastik	7
Gambar 2.2 Bioplastik	8
Gambar 2. 3 Limbah Udang.....	9
Gambar 2. 4. Struktur Kitin Sumber	10
Gambar 2. 5 Struktur Kitosan	11
Gambar 2. 6 Struktur Salisilaldehid	12
Gambar 2. 7 Struktur Molekul Gliserol	13
Gambar 2. 8 Reaksi pembentukan ikatan silang kitosan dengan salisilaldehid....	14
Gambar 2. 9 Struktur pembentukan <i>shiff base</i> dengan nanopartikel ZnO dan Gliserol.....	15
Gambar 2. 10 Pengujian Kuat Tarik	17
Gambar 2. 11 Pengujian SEM.....	18
Gambar 2. 12 Alat Pengujian XRD	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji FTIR	51
Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 250x	54
Gambar 4. 3 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 1000x	55
Gambar 4. 4 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 5000x	56
Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji XRD	57
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Kuat Tarik	58
Gambar 4. 7 Grafik Elongasi Bioplastik	61
Gambar 4. 8 Grafik Hasil Uji <i>Swelling</i>	66
Gambar 4. 10 Hasil Uji Terhadap Bakteri <i>Escherichia coli</i> (<i>E.Coli</i>).....	69
Gambar 4. 11 Hasil Uji Terhadap Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S.Aureus</i>).....	72

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk berbagai keperluan, namun sebagian besar plastik konvensional sulit terurai secara alami, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif material yang ramah lingkungan, salah satunya plastik *biodegradable* berbasis bahan organik terbarukan (Pooja dkk., 2023). Bioplastik merupakan jenis plastik yang berasal dari sumber daya terbarukan dan dapat terdegradasi melalui aktivitas mikroorganisme tertentu (Zulnazri & Sry Rahmadani, 2019). Seiring dengan perkembangan tersebut, inovasi kemasan pangan, khususnya kemasan aktif berbasis bioplastik, terus berkembang sebagai solusi untuk meningkatkan daya simpan produk sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan (Wronka dkk., 2023).

Setiap tahun, industri pengolahan udang menghasilkan limbah dari hasil produk dalam jumlah yang besar. Di tingkat global, limbah ini terdiri dari kepala dan cangkang. Limbah ini mewakili antara 48,5 hingga 56 persen dari total berat udang yang dihasilkan. Pemanfaatan limbah udang yang tidak maksimal berdampak buruk pada lingkungan (Bassig dkk., 2023). Komposisi dalam cangkang udang mengandung 27,6% mineral, 34,9% protein, dan 18,1% kitin (Putra dkk., 2024). Proses deasetilasi kitin menghasilkan kitosan. Hal ini menjadikan kitosan sebagai bahan dasar yang potensial dalam pengembangan bioplastik yang ramah lingkungan (Muliawati dkk., 2024).

Kitosan merupakan salah satu biopolimer potensial dalam pembuatan bioplastik. Namun kitosan masih memiliki keterbatasan dalam sifat mekaniknya sehingga diperlukan upaya pengembangan melalui proses modifikasi atau *crosslinking*. Salisilaldehid merupakan senyawa monoaldehid yang relatif aman dan mampu bereaksi dengan gugus amino pada kitosan memulai pembentukan ikatan *schiff base*. Reaksi ini dapat dimanfaatkan sebagai agen *crosslinking* untuk membentuk ikatan silang yang berperan dalam meningkatkan sifat fisik bioplastik

(Montaser dkk., 2018). Bioplastik yang terikat silang memiliki struktur padat yang menghasilkan permeabilitas kelembaban rendah, ketahanan air tinggi, serta perlindungan ultraviolet yang kuat. Selain itu, bioplastik ini tetap mempertahankan transmisi cahaya tampak yang baik dan memiliki kemampuan menyerap air yang unggul dibandingkan dengan bioplastik tanpa ikatan silang (Liu dkk., 2022). Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan asam sitrat sebagai *crosslinking* pada film kitosan mampu memodifikasi sifat mekanik dan ketahanan air film. Peningkatan konsentrasi asam sitrat menyebabkan penurunan kuat tarik dari sekitar 55 MPa menjadi 18 MPa, namun meningkatkan elongasi dari 6% menjadi 45%, serta meningkatkan stabilitas termal pada konsentrasi optimum (Sharmin dkk., 2022).

Kitosan merupakan bahan biodegradable yang memiliki sifat antimikroba serta berpotensi meningkatkan sifat mekanik bioplastik, terutama apabila dikombinasikan dengan bahan tambahan seperti *plasticizer*. Penambahan *plasticizer* dan bahan pengisi, seperti gliserol, sorbitol serta filler lainnya, diketahui dapat mempengaruhi fleksibilitas, kekuatan tarik, dan laju biodegradasi bioplastik. Secara khusus, penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas bioplastik (Muliawati dkk., 2024). Kitosan banyak digunakan sebagai pengawet buah dan sayuran, tetapi ketahanan airnya yang kurang baik menghasilkan bioplastik yang kaku (Li dkk., 2021). Maka dari itu perlu penambahan bahan aditif seperti gliserol dan ZnO sebagai *filler* untuk meningkatkan karakteristik mekanik pada bioplastik (Ginting & Hasibuan, 2017). Pembuatan bioplastik berbahan dasar kitosan dari kulit udang dilaporkan mampu meningkatkan fleksibilitas film secara signifikan. Bioplastik kitosan menunjukkan elongasi meningkat dari sekitar 6% menjadi 38% saat penambahan gliserol, meskipun kuat tarik menurun dari 42 MPa menjadi 18 MPa (Salman dkk., 2025).

Dalam pembuatan bioplastik diperlukan bahan penambahan *filler* yang berfungsi untuk memperbaiki sifat mekanik salah satunya ialah penambahan ZnO. Penelitian menyeluruh menunjukkan bahwa ZnO menambah kekuatan interaksi antara ZnO dan matriks kitosan memainkan peran penting dalam menentukan sifat akhir dari komposit bioplastik (Abbas dkk., 2019). Penambahan ZnO mengubah sifat komposit dari rapuh menjadi lebih fleksibel, meski menurunkan kekuatan tarik

dan Modulus Young. Di sisi lain, penggunaan ZnO secara signifikan meningkatkan bioaktivitas material melalui penguatan sifat antimikroba dan antioksidan (Using dkk., 2021). Penelitian lain melaporkan penambahan 0.6% nano-ZnO pada film kitosan meningkatkan kekuatan tarik dari 44.64 MPa menjadi 46.79 MPa dan meningkatkan elongasi putus dari 5.09% menjadi 12.26%, (Li dkk., 2021).

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan bioplastik berbahan dasar dari kitosan kulit udang, menggunakan *plasticizer* gliserol dengan penambahan ZnO dan *crosslinking* berupa salisilaldehid untuk menghasilkan bioplastik berbasis kemasan makanan. Hal ini diharapkan menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan limbah cangkang udang sehingga dapat terciptanya plastik kemasan makanan yang ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik bioplastik berbasis matriks kitosan yang ditambahkan variasi salisilaldehid dan ZnO ditinjau dari pengujian FTIR, SEM dan XRD?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi salisilaldehid dan ZnO pada bioplastik berbasis matriks kitosan terhadap ketahanan air, degradabilitas bioplastik dan sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi)?
3. Bagaimana variasi konsentrasi salisilaldehid dan ZnO terhadap pada bioplastik berbasis matriks kitosan terhadap analisis antimikroba?
4. Bagaimana kesesuaian karakteristik bioplastik dengan standart SNI 7188-7 : 2022 dan JIS-Z-1707:1975 ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah pada sub bab sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik dari bioplastik berbahan dasar kitosan dari kulit udang dengan variasi konsentrasi salisilaldehid dan ZnO pada bioplastik pengujian FTIR, SEM dan XRD.
2. Menganalisis pengaruh konsentrasi variasi konsentrasi salisilaldehid dan

ZnO pada bioplastik berbasis matriks kitosan terhadap berbasis matriks kitosan terhadap ketahanan air, degradabilitas bioplastik dan sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi).

3. Menganalisis konsentrasi variasi konsentrasi salisilaldehida dan ZnO pada bioplastik berbasis kitosan terdapat analisis antimikroba.
4. Menganalisis karakteristik fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan terhadap parameter mutu yang ditetapkan dalam SNI 7188-7:2022 dan JIS-Z-1707:1975.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan limbah kulit udang menjadi bioplastik ramah lingkungan guna mengurangi pencemaran. Selain itu, studi ini memberikan landasan praktis dan pengalaman laboratorium untuk pengembangan riset selanjutnya di bidang Teknik Pengolahan Limbah dan pengolahan lingkungan.

2. Bagi Akademis

Secara akademis, penelitian ini berkontribusi dalam bidang Teknik Pengolahan Limbah dengan menyediakan referensi ilmiah dan data pendukung mengenai pemanfaatan limbah kulit udang sebagai bioplastik. Selain itu, hasil studi ini diharapkan menjadi literatur tambahan bagi akademisi untuk pengembangan riset lingkungan selanjutnya.

3. Bagi Pihak Lain

Bagi pihak lain, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif pengolahan dan pemanfaatan limbah kulit udang, dengan sederhana dan berbiaya rendah sehingga dapat diterapkan oleh masyarakat. Penerapan sistem pengolahan dan pemanfaatan limbah kulit udang diharapkan mampu membantu mengurangi timbulan sampah limbah kulit udang. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi bahan pertimbangan bagi instansi pemerintah, lembaga lingkungan.

Dengan manfaat ini, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan baik dalam aspek akademis maupun praktis yang

dapat diterapkan oleh masyarakat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Kitosan yang digunakan adalah kitosan kulit udang.
2. Metode pengujian degradasi bioplastik, berdasarkan SNI 7188-7 : 2022.
3. Pengujian degradasi akan dihentikan apabila presentase degrabilitas sudah mencapai parameter menurut SNI 7188-7 : 2022.
4. Pengujian FTIR pada kitosan kulit udang
5. Pengujian FTIR, SEM, XRD dan antimikroba dilakukan pada bioplastik dengan nilai kuat terbaik.
6. Uji statistik pada tingkat kuat tarik, degradasi, *elongasi*, dan *swelling* yang diuji dengan variasi konsentrasi salisilaldehida dan ZnO pada bioplastik berbasis matriks kitosan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Plastik

Limbah plastik berasal dari beberapa sektor yaitu rumah tangga melalui kemasan sekali pakai, serta sektor industri manufaktur dan konstruksi. Selain itu, penggunaan plastik pada sistem pertanian dan layanan kesehatan modern turut meningkatkan volume sampah secara signifikan (Kibria dkk., 2023). Para ahli memperingatkan bahwa konsumsi plastik berlebihan dapat memicu masalah kesehatan serius serta mengancam kelestarian lingkungan kita. Struktur kimia plastik yang sangat kuat menyebabkan material ini sulit didegradasi oleh mikroorganisme sehingga bertahan lama di alam. Akibatnya, sampah plastik mampu mencemari lingkungan selama ratusan hingga ribuan tahun sebelum akhirnya dapat terurai secara sempurna (Nizar dkk., 2025).



Gambar 2. 1 Sampah Plastik

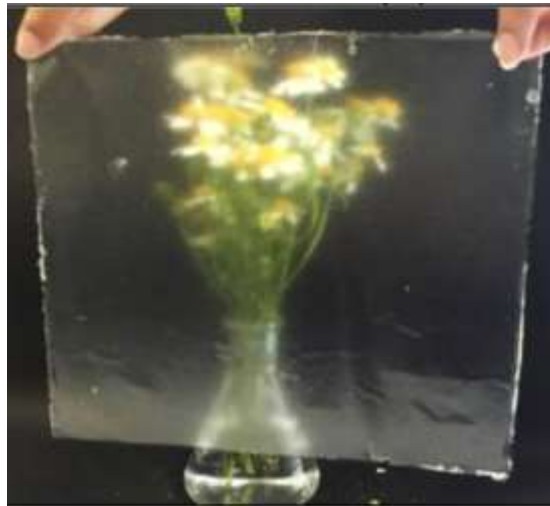
(Sumber: Laksono dkk., 2024)

Limbah plastik berdampak destruktif terhadap lingkungan karena mampu mengubah struktur fisik tanah, menurunkan porositas, dan mengganggu dinamika air melalui agregasi yang tidak alami. Partikel plastik yang mudah berpindah ini kemudian terakumulasi dalam ekosistem dan masuk ke tubuh manusia lewat jalur konsumsi makanan, air, maupun debu mikroplastik. Secara global, sampah plastik yang masif menghancurkan keseimbangan ekosistem laut serta mengancam kelestarian satwa liar akibat fenomena jeratan material plastik. Kondisi tersebut

menciptakan risiko kesehatan ekologis berkelanjutan yang membahayakan seluruh makhluk hidup di bumi (Kibria dkk., 2023).

2.2 Bioplastik

Plastik adalah material sintetis non-biologis yang sulit terurai secara alami, sehingga membutuhkan waktu sekitar 100 hingga 500 tahun untuk dapat terdegradasi sepenuhnya. Sebagai upaya menanggulangi sampah plastik non-organik, dikembangkanlah bioplastik yang lebih ramah lingkungan. Bioplastik merupakan polimer atau plastik yang dapat terdegradasi secara alamiah oleh mikroorganisme (Alfarisi dkk., 2021). Plastik biodegradable sendiri yaitu plastik yang dirancang untuk dapat terurai dalam media air, tanah, kompos dll (Suparyanto dan Rosad 2020). Proses penguraian ini melibatkan perubahan struktur kimiawi yang dipicu oleh interaksi dengan bakteri, jamur, dan alga pada kondisi lingkungan tertentu, sehingga material dapat hancur dan menyatu kembali dengan alam (Harimbi dkk., 2020). Bahan utama penyusun bioplastik bersumber dari hasil pertanian, laut, dan hewani yang dikelompokkan menjadi polisakarida serta protein. Golongan polisakarida meliputi pati, selulosa, kitosan, dan gom, sedangkan golongan protein mencakup sumber nabati (seperti zein, gluten, kedelai) maupun sumber hewani (seperti kasein, kolagen, dan gelatin) (R. Rahman dkk., 2019).



Gambar 2.2 Bioplastik

(Sumber : Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021)

2.3 Limbah Kulit Udang

Indonesia adalah negara kepulauan dengan area perairan yang luas. Salah satu

hasil dari budidaya perikanan di Indonesia adalah udang. Hal ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara penghasil udang terbesar di Asia Tenggara (Putra dkk., 2024). Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan pada tahun 2024, produksi udang tangkap laut sebanyak 293.136 ton. Mengingat limbah pengolahan udang yang jumlahnya sekitar 60-70% dari berat total udang, maka diperkirakan terdapat sekitar 210.000 – 245.000 ton limbah udang yang tersedia. Pemanfaatan limbah cangkang udang yang kurang optimal menimbulkan masalah lingkungan (Bassig dkk., 2023).



Gambar 2.3 Limbah Udang

(Sumber: Bassig dkk., 2023)

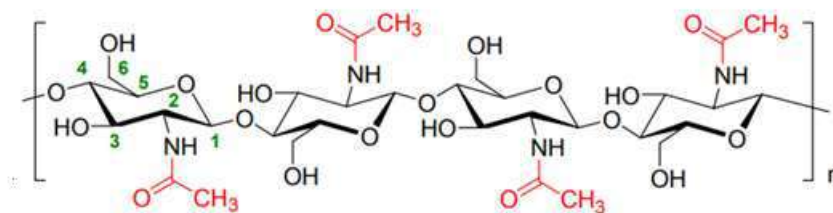
Cangkang udang memiliki kandungan yaitu 27,6 mineral, 34,9 % protein dan 18,1 % kitin (Putra dkk., 2024). Cangkang udang adalah salah satu sumber bahan biomaterial untuk mendapatkan kitin. Kitin bisa mengalami deasetilasi dengan cara hidolisis dalam larutan basa kuat, yang nantinya akan menghasilkan kitosan (Khairi dkk., 2025). Hal ini dapat dilakukan pengembangan bioplastik berbahan dasar kitosan bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan limbah cangkang udang, sehingga dapat mereduksi penggunaan plastik konvensional melalui penyediaan material kemasan yang lebih ramah lingkungan (Nurhayati & Agusman, 2023)

2.4 Kitin dan Kitosan

2.4.1 Definisi dan Karakteristik Kitin

Kitin merupakan polimer struktural yang tersebar luas di berbagai organisme, mulai dari kelompok *Arthropoda* dan *Cephalopoda* hingga mikroorganisme seperti alga dan fungi. Sumber komersial utama material ini diperoleh dari kelas *Crustacea*, khususnya kepiting dan udang, yang masing-masing mengandung kadar kitin sebesar 60% dan 42–57%. Selain itu, potensi

kitin juga ditemukan pada cumi-cumi (40%), kerang (14–35%), hingga ulat hongkong yang memiliki kandungan sebesar 12,8%. Dengan proporsi kitin yang mencapai 30% dari total berat keringnya, krustasea menjadi sumber bahan baku paling potensial dibandingkan sumber alami lainnya (Mahatmanti dkk., 2016). Kitin adalah biopolimer serupa selulosa yang tersusun atas unit N-asetil-D-glukosamin dengan ciri khas adanya gugus asetamida (Cahyono, 2018). Kitosan kulit udang diperoleh melalui proses deproteinasi, demineralisasi, depigmentasi, dan deasetilasi kitin (Nurhayati & Agusman, 2023). Sebagai turunan kitin yang ketersediaannya melimpah di alam setelah selulosa, kitosan memiliki karakteristik hidrofobik serta kemampuan yang mampu membentuk lapisan membran maupun lembaran (Andriani dkk., 2021).



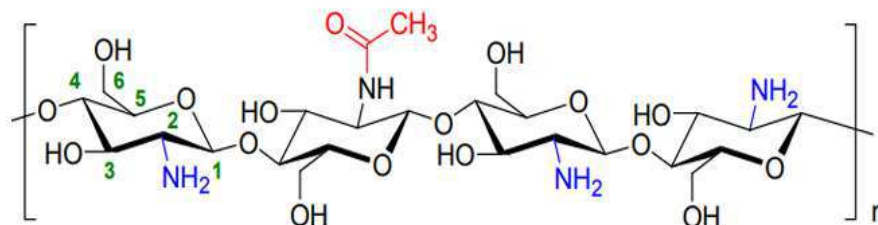
Gambar 2. 4. Struktur Kitin Sumber

(Sumber: Mahatmanti dkk., 2016)

2.4.2 Kapabilitas Kitosan Sebagai Material Bioplastik

Kitosan umumnya diekstraksi dari limbah cangkang hewan golongan *Crustacea*, seperti udang, kepiting, dan rajungan (Ramadhani & Firdhausi, 2021). Limbah kulit udang mengandung kitosan berpotensi besar sebagai bahan baku bioplastik ramah lingkungan guna mengurangi ketergantungan pada penggunaan plastik konvensional, kitosan memiliki sifat yang kompatibel, biodegradable, dan non-toksik (Muliawati dkk., 2024). Kitosan merupakan biopolimer limbah kulit udang yang melimpah dengan keunggulan elastisitas, antimikroba, dan antikanker. Namun, penggunaan kitosan tunggal pada bioplastik memiliki keterbatasan karakteristik fisik, sehingga diperlukan komponen pendukung guna mengoptimalkan sifat material tersebut (Kristiningsih dkk., 2024). Mengingat sifat kitosan yang

hidrofobik (tidak larut air), peningkatan konsentrasinya dalam formulasi akan mengakibatkan penurunan persentase *swelling*.



Gambar 2. 5 Struktur Kitosan

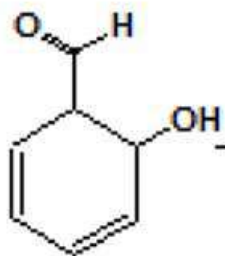
(Sumber: Mahatmanti dkk., 2016)

2.4.3 Proses Kitin Menjadi Kitosan

Ekstraksi kitin dilakukan melalui tahapan deproteinasi dan demineralisasi, yang kemudian dilanjutkan dengan proses deasetilasi untuk menghasilkan kitosan. Isolasi kitin dilakukan melalui tahap deproteinasi dan demineralisasi. Selanjutnya, kitosan diperoleh melalui proses deasetilasi dalam larutan alkali. Secara mekanisme, nukleofil OH^- menyerang karbon karbonil pada gugus asetamida kitin melalui reaksi adisi yang membentuk zat antara. Proses ini diakhiri dengan reaksi eliminasi yang melepaskan gugus asetil menjadi asetat, sehingga terbentuklah kitosan (Mahatmanti dkk., 2016). Melalui proses ekstraksi dan deasetilasi, kitin dapat ditransformasikan menjadi kitosan (2-amino-2-deoksi- β -D-glukosa) dengan cara mengubah gugus asetamida ($-NHCOCH_3$) menjadi gugus amina ($-NH_2$) (Cahyono, 2018).

2.5 Salisilaldehida Sebagai Agen *Crosslinking*

Salisilaldehid merupakan senyawa monoaldehid yang relatif aman dan mampu bereaksi dengan gugus amino pada kitosan memulai pembentukan ikatan *schiff base*. Reaksi ini dapat dimanfaatkan sebagai agen *crosslinking* untuk membentuk ikatan silang yang berperan dalam meningkatkan sifat fisik bioplastik (Montaser dkk., 2018). Film yang terikat silang memiliki struktur padat yang menghasilkan permeabilitas kelembaban rendah, ketahanan air tinggi, serta perlindungan ultraviolet yang kuat. Selain itu, film ini tetap mempertahankan transmisi cahaya tampak yang baik dan memiliki kemampuan menyerap air yang unggul dibandingkan dengan film tanpa ikatan silang (Liu dkk., 2022).



Gambar 2. 6 Struktur Salisilaldehid

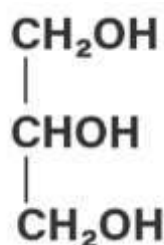
(Sumber: Ming dkk., 2016)

Pembentukan ikatan silang (*cross-linking*) merupakan fenomena krusial dalam kimia polimer yang berfungsi memperbaiki karakteristik material melalui pengikatan antar-rantai polimer. Proses ini melibatkan penggunaan agen pengikat silang untuk membangun jaringan tiga dimensi yang kokoh, di mana stabilitas dan aplikasi material akhirnya sangat bergantung pada jenis ikatan yang terbentuk. Secara mekanis, ikatan silang dapat diwujudkan melalui interaksi kovalen, ionik, maupun ikatan hidrogen (Mahatmanti dkk., 2016). Reaksi pembentukan antara kitosan dan salisilaldehid menghasilkan senyawa basa Schiff berupa padatan kuning pucat. Basa Schiff Kitosan-Salisilaldehid mengalami pergeseran panjang gelombang (redshift) ke daerah 254-255 nm dan 292-323 nm. Pergeseran ini membuktikan terbentuknya gugus imina ($C = N$) dan masuknya cincin benzena dari salisilaldehid ke dalam struktur kitosan (Ismiyarto dkk., 2020).

2.6 Gliserol

Gliserol, atau gliserin, merupakan senyawa alkohol alifatik yang terdiri dari tiga atom karbon dengan masing-masing mengikat gugus hidroksil $-OH$. Senyawa ini umumnya diperoleh sebagai produk samping dari pemrosesan trigliserida melalui reaksi transesterifikasi, saponifikasi, hidrolisis, maupun aminolisis. Dalam teknologi polimer, gliserol merupakan jenis plastisiser yang paling sering digunakan karena sifatnya yang hidrofilik dan memiliki berat molekul rendah (Megawati dkk., 2015). Gliserol meningkatkan fleksibilitas dan transparansi bioplastik, namun sifat hidrofiliknya dapat menurunkan kekuatan mekanik akibat penyerapan air. Oleh karena itu, diperlukan kadar yang tepat untuk menghindari tekstur yang terlalu lunak atau lengket (Kalsum dkk., 2020). Semakin banyak

penambahan gliserol maka nilai elongasinya akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan gliserol dapat meningkatkan fleksibilitas dengan mengurangi kerapuhan pada plastik dengan cara mengganggu ikatan hydrogen antara molekul polimer yang berdekatan (Kalsum & Robiah, 2020). Pembuatan bioplastik berbahan dasar kitosan dari kulit udang dilaporkan mampu meningkatkan fleksibilitas film secara signifikan. Film kitosan menunjukkan elongasi meningkat dari sekitar 6% menjadi 38% saat penambahan gliserol, meskipun kuat tarik menurun dari 42 MPa menjadi 18 MPa (Salman dkk., 2025). Penggambaran struktur gliserol dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 7 Struktur Molekul Gliserol

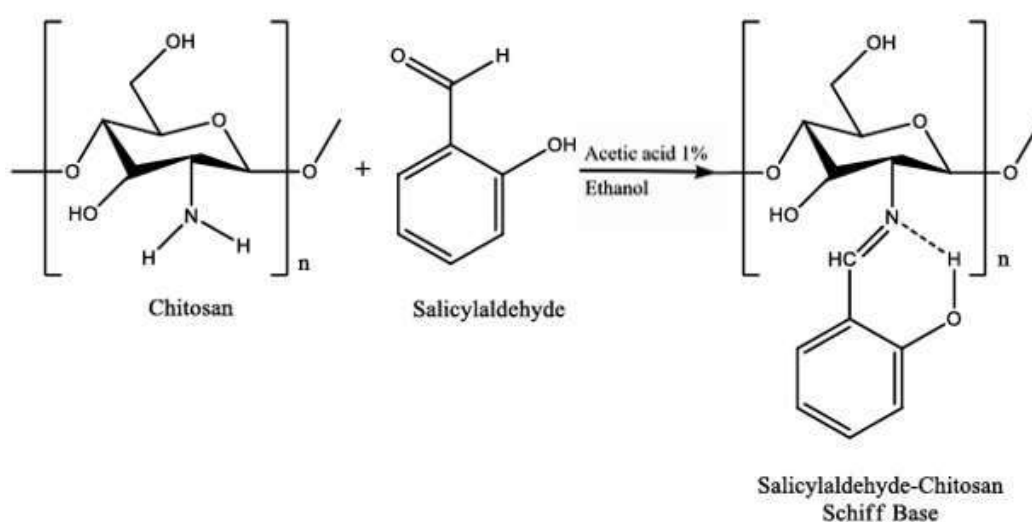
(Sumber: Riska dkk., 2025)

2.7 Zinc Oxide (ZnO)

Proses pembuatan bioplastik yang terbaik dan penambahan zat aditif seperti filler juga memiliki dampak besar terhadap kualitas plastik ramah lingkungan yang dihasilkan (Khodijah dkk., 2023). Penambahan ZnO yang bersifat hidrofobik berfungsi sebagai *filler* untuk menutupi pori-pori pada permukaan film bioplastik, sehingga secara efektif menurunkan daya serap airnya. Secara struktural, ZnO membentuk ikatan kompleks dengan kitosan melalui koordinasi elektron bebas dari unsur O dan N dengan kation logam Zn^{2+} . Kehadiran logam Zn^{2+} ini berperan sebagai penghubung pengganti ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul, yang secara signifikan meningkatkan nilai *tensile strength* (kuat tarik) pada bioplastik tersebut (Y. E. Agustin & Padmawijaya, 2016). Penambahan *filler* dapat menghasilkan bioplastik berkualitas tinggi, *filler* digunakan guna memperkuat struktur, meningkatkan kekakuan, serta mengurangi daya larut dan kecenderungan plastisitas (pembengkokan) pada material yang terlalu lentur. Salah satu parameter dalam menilai kualitas bioplastik adalah kemampuan menyerap air (Cooh, 2024).

2.8 Mekanisme Pembentukan Bioplastik

Mekanisme pembentukan bioplastik pada dasarnya melibatkan interaksi kimia fisik dan kimia antara polimer alami melalui kombinasi dari kitosan, salisilaldehid, nanopartikel ZnO dan gliserol sehingga terbentuk jaringan polimer yang lebih stabil dan memiliki sifat mekanik yang dapat diuji. Mekanisme pembentukan bioplastik diawali pembentukan kitosan dengan asam asetat untuk meningkatkan kelarutan dan modifikasi struktur kitosan. Asam asetat berperan dalam mengontrol derajat protonasi dan viskositas larutan kitosan, sehingga mempengaruhi pembentukan bioplastik (Giraldo & Rivas, 2021). Kemudian pembuatan larutan salisilaldehid dengan etanol sering digunakan sebagai pelarut dalam sintesis Schiff base berbasis salisilaldehid. Etanol melarutkan salisilaldehid dan menjaga kondisi reaksi kondensasi dengan amina, sehingga pembentukan imina ($-C=N-$) lebih efisien (Senapati, 2018).

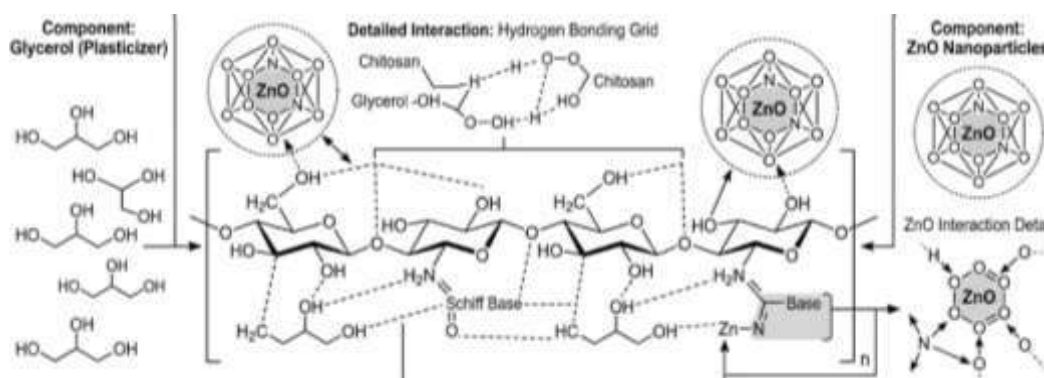


Gambar 2. 8 Reaksi pembentukan ikatan silang kitosan dengan salisilaldehid
 n = jumlah pengulangan unit monomer dalam rantai polimer kitosan

(Sumber: Ming dkk., 2016)

Mekanisme pembentukan Schiff base terjadi melalui reaksi kondensasi antara gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan dengan gugus aldehida ($-CHO$) dari salisilaldehid, menghasilkan ikatan imina ($-C=N-$) yang menjadi ciri khas senyawa Schiff base. Ikatan ini berfungsi sebagai titik crosslinking yang menghubungkan rantai kitosan dengan gugus aromatik salisilaldehid, sehingga terbentuk jaringan polimer yang lebih rapat, stabil, dan memiliki sifat antimikroba (Ismiyarto et al.,

2020). eaksi ini melibatkan serangan nukleofilik atom nitrogen kitosan terhadap atom karbon elektrofilik pada gugus aldehida salisilaldehid, diikuti oleh pelepasan satu molekul air sebagai produk kondensasi. Chan et al. (2016) mengonfirmasi terjadinya reaksi ini secara visual, di mana pencampuran kitosan dengan salisilaldehid dalam pelarut metanol menghasilkan gel berwarna kuning tua yang mengindikasikan terbentuknya basa Schiff dalam matriks kitosan:



Gambar 2. 9 Struktur pembentukan *shiff base* dengan nanopartikel ZnO dan Gliserol
n = jumlah pengulangan unit monomer dalam rantai polimer kitosan

Gliserol merupakan plasticizer yang umum digunakan dalam film kitosan karena memiliki banyak gugus hidroksil ($-OH$) yang mampu membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil kitosan. Interaksi ini mengganggu ikatan hidrogen antar-rantai kitosan sehingga meningkatkan mobilitas rantai polimer dan menghasilkan film yang lebih fleksibel serta tidak rapuh (Ponce dkk., 2025). Selain itu, penambahan nanopartikel ZnO memberikan kontribusi melalui mekanisme koordinasi dan ikatan hidrogen. Elhaes dkk., (2026) menunjukkan bahwa pasangan elektron bebas pada nitrogen gugus amina kitosan dapat berkoordinasi dengan atom Zn yang bersifat asam Lewis, sementara oksigen bermuatan parsial negatif pada permukaan ZnO mampu berinteraksi dengan gugus polar kitosan ($-OH$, $-NH_2$). Hal ini diperkuat oleh Huang dkk., (2022), yang melaporkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO meningkatkan kekuatan ikatan hidrogen dalam hidrogel kitosan sehingga terbentuk jaringan polimer yang lebih rapat dan stabil. Dengan demikian, kombinasi gliserol dan nanopartikel ZnO dalam matriks kitosan menghasilkan efek sinergis yang memperbaiki sifat mekanik sekaligus meningkatkan stabilitas serta aktivitas antimikroba dari material biopolimer.

2.9 Pengujian Kuat Tarik

Uji tarik merupakan metode pengujian mekanik standar yang digunakan untuk mengevaluasi profil *stress-strain* (tegangan-regangan) suatu material guna menentukan ketahanannya terhadap beban tarik aksial. Prosedur ini dilakukan dengan menarik spesimen secara perlahan menggunakan beban konstan hingga material tersebut mengalami patah. Melalui metode ini, peneliti dapat menentukan nilai kekuatan maksimum serta batas ketahanan fisik dari material yang diuji. Selain itu, pengujian ini menghasilkan data krusial mengenai elastisitas dan titik luluh yang menunjukkan batas deformasi plastik. Secara keseluruhan, uji tarik memberikan gambaran komprehensif mengenai tingkat ketangguhan suatu material dalam menghadapi beban tertentu (Hasanah dkk., 2022). Uji tarik kuat digunakan untuk mengetahui berapa besar tekanan maksimal yang bisa ditahan oleh bahan bioplastik (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021). Menurut Pakerti, (2021) secara matematis dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$\alpha = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

α : kuat tarik atau tegangan (tensile strength) dalam satuan (N/m^2) atau Mega pascal MPa

F : Gaya tarik maksimal yang diberikan tegak lurus terhadap permukaan dalam satuan Newton (N)

A : Luas penampang atau bidang film plastik yang ditarik dalam satuan mm^2

Perhitungan kekuatan tarik didasarkan pada luas penampang sampel yang dihitung dari lebar pengukur dikalikan dengan ketebalan rata-rata material. Akurasi pengukuran ketebalan sangat krusial karena variasi pada nilai ketebalan akan secara langsung memengaruhi nilai luas penampang (A). Kemudian nilai luas penampang menentukan keakuratan nilai kuat tarik (α) yang dihasilkan (Kappaphycus dkk., 2024). Dalam hal ini, penentuan ketebalan material merujuk pada JIS-Z-1707:1975 yang mendefinisikan bioplastik sebagai material dengan ketebalan kurang dari 0,25 mm. Menurut *Japanese Industrial Standard*, 1975 hasil pengujian kuat tarik minimal 3,92266 Mpa (Ismi dkk., 2024)



Gambar 2. 10 Pengujian Kuat Tarik

(Sumber: Nurulhasni1 & Suparno, 2023)

2.10 Pengujian Persentase *Swelling*

Uji swelling adalah parameter yang digunakan untuk mengukur persentase ekspansi atau pengembangan struktur bioplastik akibat adanya penyerapan molekul air ke dalam matriks polimer. Pengujian ini berfungsi sebagai indikator utama dalam menentukan tingkat hidrofobisitas atau kemampuan material dalam menahan penetrasi air (Yustinah dkk., 2023). Karakteristik *swelling* menunjukkan kemampuan absorpsi material plastik yang menyebabkan terjadinya peningkatan dimensi atau pengembangan ketika terendam dalam fase cair (Saputro & Ovita, 2017). Secara matematis, persen pembengkakan air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut menurut (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021):

$$S = \frac{w_0 - w_1}{w_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

w_0 = berat kering awal

w_1 = berat sampel setelah perendaman

2.11 Pengujian SEM

Scanning Electron Microscopy (SEM) berfungsi sebagai instrumen analisis multifungsi yang krusial dalam dunia penelitian material. Perangkat ini memungkinkan peneliti untuk membedah karakteristik permukaan sampel secara mendalam melalui pemindaian berkas elektron, sehingga mampu menghasilkan citra morfologi beresolusi tinggi yang sangat detail. Sistem pengujian SEM memiliki kapabilitas untuk mengukur dan menganalisis berbagai parameter krusial,

seperti morfologi permukaan serta ketebalan lapisan tipis atau membran. Instrumen ini juga mampu memetakan bentuk, dispersi, hingga distribusi ukuran pada partikel, serat, dan nanomaterial. Selain itu, SEM dapat digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia unsur, dimensi material skala nano, hingga melakukan analisis mendalam terhadap cacat struktural dan pola patahan (Akhtar dkk., 2019).



Gambar 2. 11 Pengujian SEM

(Sumber: Mohammed & Abdullah, 2018)

Analisis SEM pada bioplastik bertujuan mengobservasi morfologi permukaan serta struktur internal material guna memahami karakteristik mikroskopis secara mendalam dan akurat. Pengujian ini memungkinkan identifikasi mendalam mikrostruktur material, mencakup pola susunan serta distribusi rantai polimer, bahan pengisi, dan berbagai komponen pendukung lainnya. Hasil pemindaian SEM memberikan pemahaman mengenai pengaruh kondisi lingkungan produksi terhadap kualitas serta karakteristik material bioplastik yang dihasilkan secara akurat (Infancia & Anwari, 2023).

2.12 Pengujian FTIR

Analisis menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi spesifik dan struktur molekul bioplastik melalui pengamatan bilangan gelombang yang dihasilkan. Keberadaan ikatan kimia pada sampel diindikasikan oleh munculnya puncak-puncak absorpsi pada spektrum inframerah, di mana setiap puncak merepresentasikan jenis gugus fungsi tertentu (Made & Sanjiwani, 2021). Data spektrum tersebut dianalisis untuk

menentukan jenis ikatan kimia berdasarkan posisi puncak-puncak bilangan gelombangnya (Shafqat dkk., 2021). Secara teknis, analisis dijalankan melalui spektrofotometri FTIR pada suhu kamar dengan meletakkan sampel pada alat untuk dilakukan pemindaian guna memperoleh spektrum yang menghubungkan bilangan gelombang dengan transmitansi (Putri dkk., 2022). Analisis menggunakan instrumen FTIR mutlak diperlukan untuk membuktikan keberhasilan modifikasi kimia pada film, khususnya dalam mengonfirmasi terbentuknya gugus fungsi baru pada rentang gelombang 4000 hingga 400 cm^{-1} . Pengukuran ditetapkan dengan resolusi 2 cm^{-1} melalui 32 kali pemindaian. Dalam prosesnya, sampel *edible film* diletakkan pada sel kristal dan dipasang pada alat analisis FTIR untuk mendapatkan spektrum gugus fungsinya (R. A. Sultan dkk., 2023).

2.13 Pengujian XRD

Dalam studi material maju, penggunaan teknik karakterisasi yang akurat sangatlah krusial untuk mengidentifikasi karakteristik spesifik dari bahan yang dikembangkan. Salah satu metode utama yang sering diaplikasikan untuk menganalisis sifat fisis material adalah melalui pemanfaatan teknik difraksi sinar-X atau *X-Ray Diffraction* (XRD) (Muttaqin dkk., 2023). Instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan perangkat analitik yang berfungsi untuk mengkaji struktur kristalin suatu bahan. Prinsip operasional alat ini memanfaatkan fenomena difraksi sinar-X yang muncul akibat interaksi antara radiasi tersebut dengan susunan kisi atom, sehingga menghasilkan pola difraksi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai karakteristik struktural material (Reddy & Reddy, 2025). Metode ini memiliki spektrum aplikasi yang luas, mencakup bidang geologi, kimia, ilmu lingkungan, forensik, farmasi, hingga ilmu material. Dalam konteks penelitian material, metode ini sering diimplementasikan untuk mengkarakterisasi bahan dari berbagai kondisi lingkungan. Sebagai contoh, XRD digunakan secara efektif dalam mengidentifikasi dan mempelajari susunan struktural pada berbagai jenis polimer plastik (Ghatage & Kanitkar, 2019).



Gambar 2. 12 Alat Pengujian XRD

(Sumber: Muttaqin dkk., 2023)

2.14 Pengujian Degradasi

Soil burial test pada bioplastik merupakan metode pengujian biodegradasi yang dilakukan dengan mengubur sampel bioplastik di dalam tanah untuk mengevaluasi perubahan fisik akibat aktivitas (Papilaya dkk., 2024). Uji biodegradabilitas bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan dekomposisi suatu material di lingkungan. Secara umum, mekanisme degradasi dapat berlangsung melalui jalur kimiawi (hidrolisis), biologis (enzimatik atau mikrobial), mekanik (angin dan abrasi), maupun fotodegradasi (Saputro & Ovita, 2017). Meskipun degradasi material dapat dinilai melalui perubahan fisik dan struktural, indikator utamanya terletak pada parameter respirometri (seperti gas CO_2 dan CH_4) yang berkorelasi langsung dengan aktivitas mikrobiologi. Metode pengujian di lingkungan tanah dan air merupakan pendekatan yang paling sering digunakan dalam pengembangan bioplastik (Folino dkk., 2023). Penentuan massa awal bioplastik (W_i) dilakukan dengan penimbangan sebelum proses degradasi dimulai. Selanjutnya, sampel ditanam di dalam tanah pada kedalaman 30 cm dengan pengamatan rutin setiap hari hingga film terurai sempurna. Massa sampel yang tersisa dicatat sebagai berat akhir (W_f), yang kemudian digunakan untuk menghitung persentase degradasi melalui rumus tertentu berikut menurut Papilaya dkk., (2024) :

$$Degradasi (\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \dots \dots \dots (2.3)$$

2.15 Pengujian Antimikroba

Penerapan solusi antimikroba dalam kemasan aktif berkelanjutan mampu menjawab tantangan industri terkait standar keamanan, kualitas, serta perpanjangan masa simpan produk. Kendati integrasi agen antimikroba ke dalam matriks kemasan telah diteliti secara luas, fokus utama saat ini beralih pada upaya pengendalian laju pelepasan zat aktif guna mengoptimalkan efektivitasnya terhadap produk pangan. Secara teknis, efektivitas tersebut bergantung pada cara kerja bioplastik yang secara garis besar terbagi menjadi tiga mekanisme utama, yaitu pelepasan, penyerapan, dan imobilisasi. Dalam mode pelepasan, agen antimikroba bermigrasi secara terkendali ke produk pangan untuk menghambat mikroba, sementara pada mode penyerapan, pertumbuhan bakteri ditekan melalui pengendalian parameter lingkungan seperti kadar oksigen dan kelembapan. Di sisi lain, mekanisme imobilisasi bekerja melalui kontak langsung pada permukaan tanpa melepaskan zat aktif ke dalam produk. Mekanisme imobilisasi ini dinilai lebih optimal untuk aplikasi pada pangan cair guna memastikan terjadinya interaksi antimikroba yang kontinu antara permukaan kemasan dan produk (Agents dkk., 2024).

2.16 Analisis Statistika

Analisis MANOVA merupakan metode statistik yang digunakan untuk menguji pengaruh satu atau lebih variabel independen terhadap setidaknya dua variabel dependen secara sekaligus (Dzulqornain, 2022). Dalam mengkaji interaksi antara dua variabel independen kategorik dan tiga variabel dependen kontinu, diterapkan analisis MANOVA dua arah. Metode multivariate ini memungkinkan evaluasi terhadap kesamaan rata-rata gabungan dari seluruh variabel dependen, guna memastikan apakah pengelompokan subjek memberikan dampak signifikan secara kolektif terhadap parameter yang diukur. Uji normalitas dan homogenitas merupakan prasyarat penting dalam analisis statistik parametrik. Normalitas digunakan untuk memastikan bahwa data mengikuti distribusi Gaussian sehingga hasil uji parametrik dapat dianggap valid (Sánchez-tito dkk., 2023).

2.17 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya dijadikan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini, yang bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah kulit udang sebagai bioplastik berbasis kitosan salisilaldehid dan ZnO. Selain itu menganalisis pengaruh variasi gliserol terhadap sifat mekanis dan nilai degradabilitas bioplastik.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Review Literatur Bioplastik			
No	Sumber	Judul	Hasil
1.	(Salman dkk., 2025)	Thermal and optical properties of characterized plasticized chitosan films	variasi yang dilakukan yaitu (kitosan : Asam Maleat), (Kitosan : Gliserol), (Kitosan : PVA), (Kitosan : DEG). Fleksibilitas tertinggi yaitu kitosan : Gliserol lebih baik dari pada kitosan : PVA
2.	(Sharmin dkk., 2022)	Effect of Citric Acid Cross Linking on the Mechanical, Rheological and Barrier Properties of Chitosan	Terbentuknya ikatan ester. Ini bukti bahwa Asam Sitrat berhasil membentuk ikatan silang (<i>cross-linking</i>) dengan gugus hidroksil dan amino pada kitosan. Penambahan CA meningkatkan Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>) secara signifikan (hingga 41.5 MPa) karena jaringan polimer menjadi lebih rapat.
3.	(Li dkk., 2021)	Preparation and Characterization of Chitosan–Nano-ZnO Composite Films for Preservation of Cherry Tomatoes	Variasi nano-ZnO yang digunakan yaitu kontrol; 0,1%; 0,2 %; 0,4%; Kemampuan antimikroba tinggi terdapat pada penambahan Nano-ZnO 0,4% terhadap bakteri <i>E.coli</i> dan <i>S. aureus</i> Nilai kekuatan mekanik tertinggi ada pada Nano-ZnO 0,2%
4.	(Astuti dkk., 2019)	Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Ampas Ubi Kayu dan Kulit Udang	Variasi dilakukan dengan meningkatkan massa kitosan (1,30 g; 1,35 g; 1,40 g; hingga 1,45 g) dan secara bersamaan menurunkan massa ampas ubi kayu (0,70 g; 0,65 g; 0,60 g; hingga 0,55 g) dengan total berat pengisi tetap 2 gram. penambahan kitosan yang semakin banyak terbukti meningkatkan kuat tarik hingga mencapai 1,97 MPa, namun menyebabkan nilai elongasi menurun sehingga plastik menjadi lebih kaku.
5.	(Melani dkk., 2019)	Bioplastik dari Pati Kulit Pisang Raja dengan Berbagai Bahan Perekat	Variasi jenis perekat yaitu ZnO, Kitosan, dan Clay (tanah liat) dengan masing-masing divariasikan sebesar 2%, 4%, 6% dan 10 % Komposisi paling optimal diperoleh pada kombinasi kitosan dosis tinggi (4% atau 1,45 g) dan ZnO 6%. Secara fisik, konsentrasi ini menghasilkan bioplastik yang rata, elastis, dan tidak pecah. Dari sisi mekanik, kitosan memperkuat ikatan hidrogen dalam matriks pati sehingga menghasilkan kuat tarik tertinggi (1,97 -

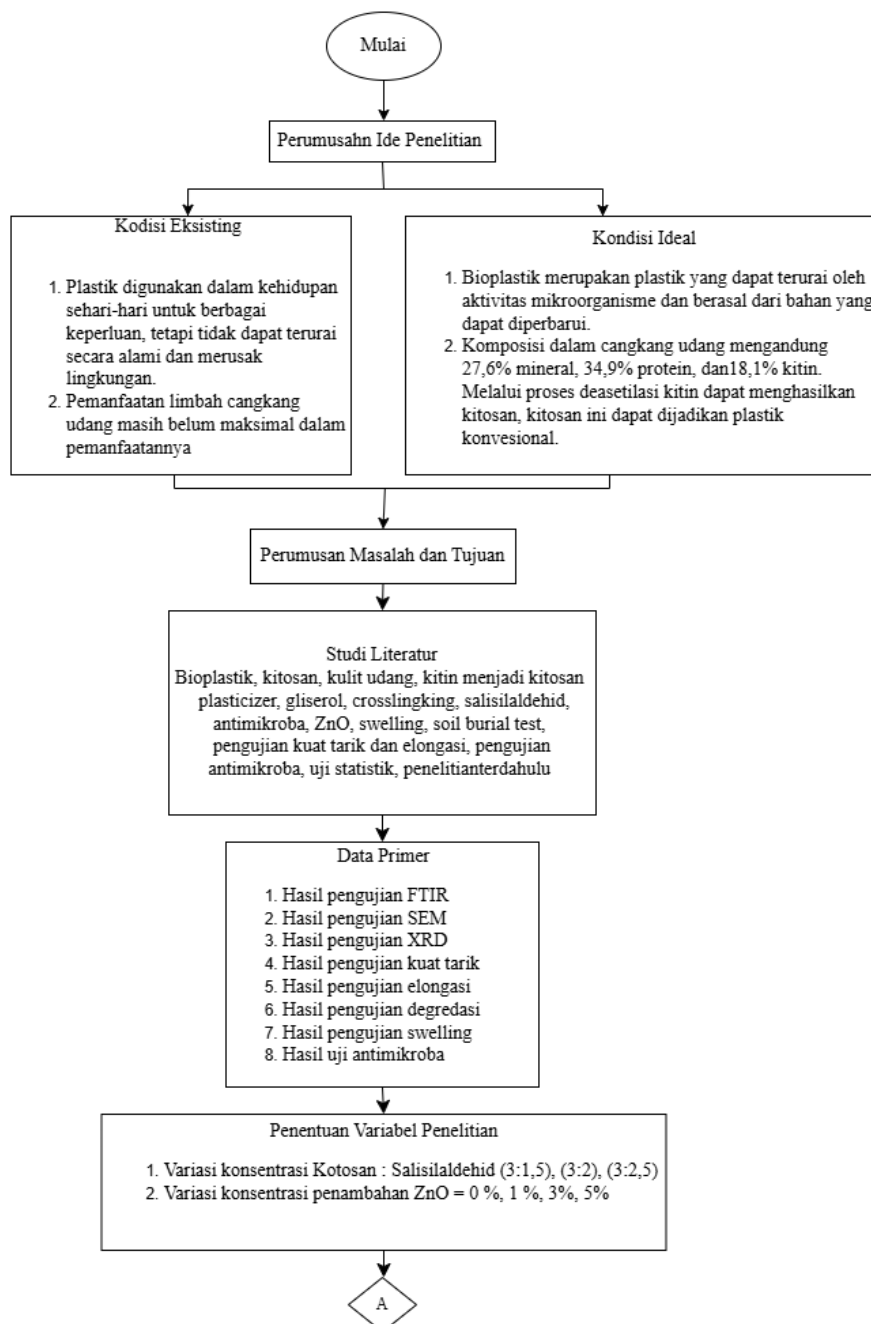
Review Literatur Bioplastik			
No	Sumber	Judul	Hasil
			27,088 Mpa)
6.	(Chan dkk., 2016)	Cross-linked Chitosan/Corn Cob Biocomposite Films with Salicylaldehyde on Tensile, Thermal, and Biodegradable Properties: A Comparative Study	Campuran kitosan dan tongkol jagung (10-40 wt%) yang ditambahkan 1% salisialdehida sebagai agen penyambung silang (<i>cross-linking agent</i>). Kekuatan Tarik (<i>Tensile Strength</i>) dari penambahan tongkol jagung pada film <i>uncrosslinked</i> menurunkan kekuatan tarik karena interaksi antarmuka yang buruk. Namun, penggunaan SAL meningkatkan rata-rata kekuatan tarik sebesar 59,47%. Hal ini disebabkan oleh pembentukan ikatan imina (basa Schiff) yang memperkuat ikatan antara matriks kitosan dan pengisi tongkol jagung
7.	(Hari dkk., 2021)	Improvement of the UV Barrier and Antibacterial Properties of Crosslinked Pectin/Zinc Oxide Bionanocomposite Films	Variasi ZnO-NPs (Nanopartikel) dengan konsentrasi 0.5%, 1%, dan 1.5% (w/w) berbasis berat pektin. Penambahan 1.5% ZnO-NPs meningkatkan kekuatan lebih lanjut menjadi 24.6 Mpa Film dengan 1.5% ZnO-NPs menunjukkan hasil terbaik, mampu menghambat lebih dari 99% bakteri <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i>
8.	(Beta & Purbasari, 2022)	Optimization and characterization of biodegradable film based on glutinous flour/glycerol/chitosan/ZnO using Response Surface Methodology (RSM) - Central Composite Design (CCD)	Kitosan (Chitosan): Variasi antara 2 gram hingga 4 gram. Gliserol (Glycerol): Variasi antara 15% hingga 45% (b/b pati/kitosan). Seng Oksida (ZnO): Variasi antara 4% hingga 8% (b/b pati/kitosan). Sifat Antibakteri Maksimal pada Penggunaan ZnO 8% memberikan perlindungan paling kuat terhadap kontaminasi bakteri, yang sangat penting untuk memperpanjang masa simpan makanan. Keseimbangan Mekanik pada kombinasi Meskipun penambahan gliserol yang tinggi (36%) cenderung melemahkan kekuatan tarik, kombinasi dengan 2 gram kitosan berhasil menjaga film tetap memiliki kekuatan yang cukup namun sangat elastis (fleksibel).
9.	(Gumaran dkk., 2024)	Perubahan Mutu Buah Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>) dengan Pelapisan Berbasis Kitosan-Beeswax dan Nanopartikel ZnO selama Penyimpanan	Bahan bioplastik yang digunakan ialah kitosan dengan massa 3% dan variasi massa nanopartikel 0%, 1%, 3% dari berat beeswax 20,3. Penambahan 3% NP-ZnO memberikan perlindungan maksimal terhadap mikroba. ZnO berfungsi sebagai agen antimikroba yang mencegah kontaminasi bakteri dan jamur pada permukaan kulit tomat.

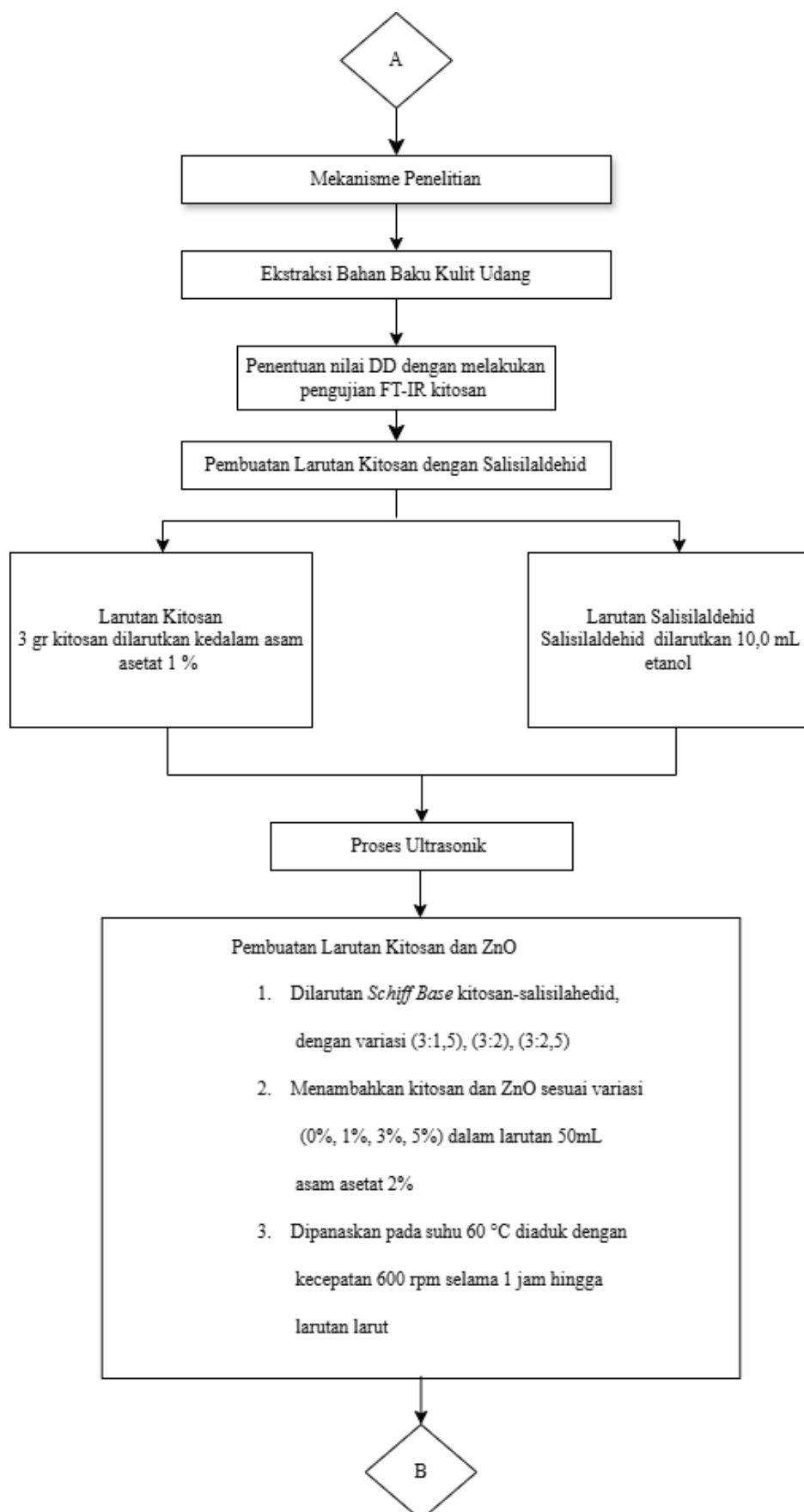
BAB 3

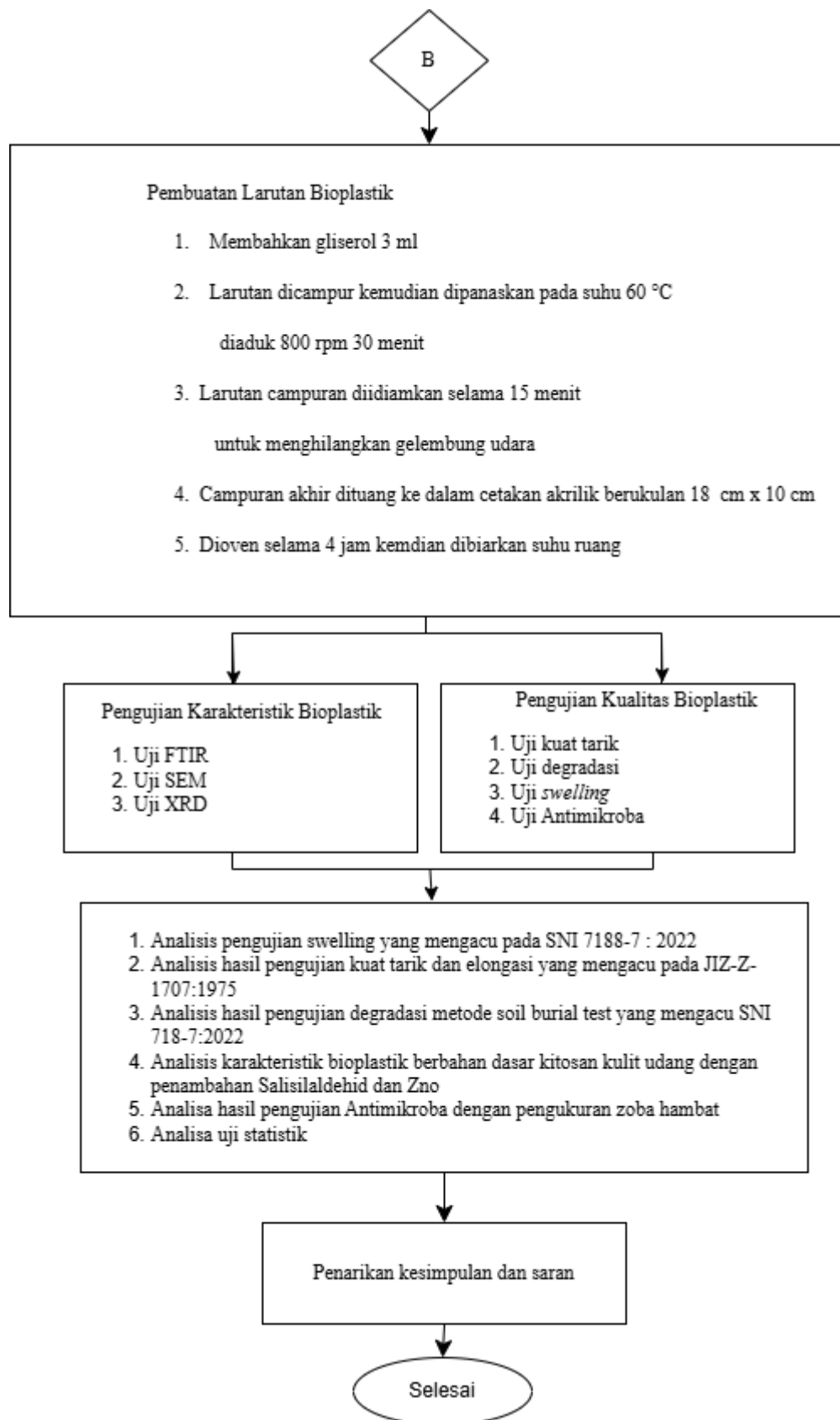
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram alir berikut:







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Perumusan Ide Penelitian

Perumusan ide penelitian ini meninjau mengenai isu plastik yang sulit untuk terurai. Kemudian adanya permasalahan limbah kulit udang yang belum dimanfaatkan secara maksimal yang menyebabkan masalah lingkungan. Komposisi dalam cangkang udang mengandung 27,6% mineral, 34,9% protein, dan 18,1% kitin (Putra dkk., 2024). Melalui proses deasetilasi kitin dapat menghasilkan kitosan. Kitosan biodegradable dan memiliki sifat antimikroba, tetapi juga mampu meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Hal ini menjadikan kitosan sebagai bahan dasar yang potensial dalam pengembangan sebagai plastik konvensional yang ramah lingkungan (Muliawati dkk., 2024).

Dalam penelitian ini, Plasticizer yang digunakan yaitu gliserol. Tujuan penambahan gliserol adalah untuk mengatasi sifat kaku dan memberikan sifat fleksibilitas. Penelitian ini juga melakukan pengembangan dengan menambahkan bahan aditif yaitu *crosslinker*, yang sebagai pengikat silang untuk kitosan. Meskipun memiliki potensi besar, kitosan masih terkendala oleh karakteristik mekanik yang rendah. Untuk mengatasinya, diperlukan modifikasi struktur melalui pembentukan ikatan silang (*crosslinking*). Penggunaan salisilaldehid sebagai senyawa monoaldehid yang aman memungkinkan terjadinya reaksi dengan gugus amino kitosan guna membentuk basa Schiff, yang berperan dalam memperkuat integritas fisik bioplastik. Guna mengoptimalkan performa tersebut, penambahan *filler* Seng Oksida (ZnO) diintegrasikan untuk meningkatkan kekuatan struktur dan sifat mekanik, sekaligus memberikan efek perlindungan antimikroba pada material bioplastik yang dihasilkan.

3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh permasalahan lingkungan akibat akumulasi sampah plastik konvensional yang sulit terurai secara alami, serta melimpahnya limbah kulit udang yang belum termanfaatkan secara optimal. Menanggapi isu tersebut, studi ini berfokus pada pengolahan kitosan dari limbah kulit udang sebagai matriks utama pembuatan bioplastik. Untuk meningkatkan kualitasnya, dilakukan modifikasi melalui variasi rasio agen pengikat silang (*crosslinker*) salisilaldehid serta integrasi *filler* Seng Oksida (ZnO) guna memperkuat karakteristik material yang dihasilkan. Perumusan masalah berfokus pada pengaruh variasi salisilaldehid

dan pengaruh variasi ZnO sebagai stabilizer terhadap pengujian kuat tarik, ketahanan air (%swelling), SEM, FTIR, dan XRD, degradasi, aktivitas antimikroba.

3.4 Studi Literatur

Studi pustaka dilaksanakan untuk mendukung proses penelitian dari tahap awal sampai akhir serta sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian tersebut. Studi pustaka berfungsi untuk memperoleh teori yang mendukung kegiatan penelitian dan menetapkan batasan kedalam penelitian. Dalam penelitian ini, sumber literatur yang digunakan meliputi buku teks, jurnal penelitian, artikel, skripsi, tesis dan laporan sebagai penunjang penelitian ini. Pada penelitian ini juga mengacu pada SNI 7188-7:2022 untuk parameter ekolabel dan daya urai (kompos), serta JIS Z 1707:1975 sebagai standar pengujian sifat mekanik yang mencakup kuat tarik dan perpanjangan putus.

3.5 Penentuan Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai hingga penyusun hasil penelitian berlangsung dalam kurun waktu 6 bulan mulai dari bulan Februari hingga Juni 2026

3.5.1 Waktu

Waktu pelaksanaan studi dimulai dari awal hingga akhir proses penyusun hasil penelitian berlangsung selama enam bulan, yang dimulai dari Februari hingga Juni 2026

3.5.2 Lokasi

Lokasi kegiatan ini dilakukan di Surabaya, baik untuk pembuatan bioplastik maupun uji sampel bioplastik. Proses ekstraksi serta pembuatan bioplastik dan uji antimikroba dilakukan di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Sementara itu, pengujian Kuat tarik bioplastik, dilaksanakan di Laboratorium Material dan Metalurgi ITS dan pengujian SEM, FTIR, dan XRD di Laboratorium UBAYA.

3.6 Objek Penelitian

Pada penelitian yang dilakukan, objek penelitian akan melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama melibatkan pembuatan sembilan sampel bioplastik. Sampel bioplastik ini dicetak dalam cetakan akrilik, berbentuk persegi ukuran 18 cm x 10 cm dengan tebal 1 mm. Untuk melakukan uji swelling, dari dua belas sampel tersebut, masing-masing disiapkan satu benda uji berukuran 2 cm x 2 cm

(Rusdi dkk., 2022). Selain itu dari dua belas sampel masing-masing disiapkan satu benda uji berukuran 10 mm x 10 mm untuk dilakukan *soil burial degradation test* (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2017).

Selanjutnya, akan dilakukan uji kuat tarik dan elongasi. Kemudian dipilih variasi nilai kuat tarik terbaik untuk dilakukan pengujian *scanning electron microscope* (SEM), *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR), dan X-Ray Diffraction (XRD).

3.7 Penentuan Variabel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat, sebagai berikut:

3.7.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang memiliki pengaruh utama dalam penelitian ini. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variasi Salisilaldehid dalam bentuk mol dari massa kitosan kulit udang (3:1,5), (3:2), (3:2,5)
2. Variasi Nanopartikel ZnO 0%, 1%, 3%, 5%,

3.7.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan, sehingga tidak akan mempengaruhi variabel yang diteliti. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 36 g kitosan kulit udang, *plasticizer* gliserol 3 ml.

3.7.3 Variasi Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang mengalami perubahan dan dapat dipengaruhi oleh variabel bebas. Berikut merupakan variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini:

20. Tingkat persentase *swelling*
21. Nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik
22. Tingkat persentase degradabilitas bioplastik
23. Zona hambat pada pengujian antimikroba

3.8 Pelaksanaan Penelitian

Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yang mencakup

persiapan alat dan bahan, metode pembuatan, pengujian, perhitungan, serta analisis dan diskusi, yang bertujuan untuk mencapai hasil akhir yang signifikan.

3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Magnetic stirrer
2. Neraca analitik
3. Cetakan Akrilik ukuran 18 cm x 10 cm x 1 cm
4. Gelas Beaker 100 mL
5. Gelas Beaker 250 mL
6. Gelas ukur 100 mL
7. Gelas ukur 10 mL
8. Oven (JISICO J-300M)
9. Cawan Petri
10. Autoklaf
11. Pengaduk kaca
12. Labu leher
13. Timbangan Digital
14. Pipet 5 mL
15. Kertas saring
16. Jarum Ose
17. *Cutton bud*
18. Spektrofotometer
19. Aluminium foil
20. Polybag
21. Sendok plastik

Bahan yang digunakan sebagai berikut :

1. Kitosan Komersial
2. Gliserol Merck (99,5%),
3. Aquades
4. Salisilaldehid
5. Etanol Merck (99,%),
6. ZnO

7. Media bakteri meliputi Nutrient Broth dan Nutrient Agar
8. Asam asetat 1 %

3.8.2 Pengambilan Sampel

Dalam penelitian ini, bahan utama yang digunakan yaitu kitosan, nanopartikel ZnO dan salisilaldehid. Dengan bahan yang digunakan berupa kitosan komersial dan nanopartikel ZnO komersial

3.8.3 Penentuan Variasi Penelitian

Penentuan variasi Salisilaldehid dan Nanopartikel ZnO pada bioplastik dilakukan untuk memahami kebutuhan masing-masing bahan yang digunakan.

Tabel 3.1 menyajikan variasi komposisi yang relevan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Variasi Penelitian

Massa Kitosan Kulit udang : Salisilaldehid dalam bentuk mol	Gliserol	Variasi ZnO (gram)			
		0%	1%	3%	5%
3 : 1,5	3 ml	AA1	AA2	AA3	AA4
3 : 2		AA5	AA6	AA7	AA8
3 : 2,5		AA9	AA10	AA11	AA12

3.8.4 Pengujian Karakteristik Kitosan dan Nanopartikel ZnO

Rute sintesis kitosan dari cangkang hewan pengerat melibatkan empat tahap yaitu demineralisasi, deproteinisasi, penghilangan warna, dan deasetilasi. Sebelum tahap-tahap tersebut, dilakukan pra-perlakuan melalui pencucian, perebusan, pengeringan, dan penggilingan. Proses demineralisasi menggunakan asam klorida encer untuk menghilangkan kalsium karbonat. Kemudian, natrium hidroksida (NaOH) digunakan untuk menghilangkan protein dan melakukan deasetilasi (Imtihani & Wahyuono, 2020). Kitosan perlu dilakukan karakteristik dengan pengujian FTIR. Karakterisasi kitin dan kitosan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi karakterisasi gugus fungsi pada kitin dan kitosan dengan metode spektroskopi inframerah (Azizati, 2019). Hasil analisis dengan spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa kitosan yang dibuat memiliki pola gugus fungsi yang serupa dengan kitosan yang ada di pasaran. Puncak-puncak

serapan memperlihatkan getaran dari gugus amino ($-NH$), gugus hidroksil ($-OH$), ikatan hidrokarbon alifatik ($-CH$), gugus karbonil ($C=O$), serta rangka karbon ($C-C$), yang menunjukkan bahwa sampel tersebut murni dan memiliki struktur yang tepat (Sihotang dkk., 2025).

Kemudian analisis karakteristik bioplastik kitosan dengan variasi salisilaldehid dan ZnO melalui uji FTIR, SEM, dan XRD, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap ketahanan air, degradabilitas, dan sifat mekanik berdasarkan standar SNI 7188-7:2022 dan JIS-Z-1707:1975. Penelitian ini menggunakan Nanopartikel ZnO komersial yang telah melalui proses pengujian PSA (*Particle Size Analysis*) dengan besar ukuran berukuran 57 ± 15 nm. Penelitian terdahulu menyatakan film dengan nanopartikel ZnO berukuran 50 nm menunjukkan tingkat penghambatan (*inhibition rate*) tertinggi. Hal ini menyatakan bahwa partikel yang lebih kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar meningkatkan area kontak dan reaksi antara Nanopartikel ZnO dengan baik (Zhang dkk., 2021).

3.8.5 Perhitungan Nilai DD Kitosan

Derajat deasetilasi (DD) kitosan merupakan persentase gugus asetil pada kitin yang telah terlepas dan berubah menjadi gugus amina ($-NH_2$) pada rantai kitosan. Derajat deasetilasi (DD) dapat ditentukan dengan menggunakan spektroskopi FTIR dan mengevaluasi spektrum pada rentang frekuensi 1000-4000 cm^{-1} Sampai saat ini, derajat deasetilasi kitosan sebagian besar melebihi 80% (Imtihani & Wahyuono, 2020).

3.8.6 Pembuatan basa schiff biopolimerik kitosan dengan Salisilaldehid

Salisilaldehid merupakan senyawa monoaldehid yang relatif aman dan mampu bereaksi dengan gugus amino pada kitosan memulai pembentukan ikatan *schiff base*. Reaksi ini dapat dimanfaatkan sebagai agen *crosslinking* untuk membentuk ikatan silang yang berperan dalam meningkatkan sifat fisik bioplastik (Montaser dkk., 2018). Berikut adalah bentuk perhitungan perbandingan kitosan : salisilaldehid dalam bentuk mol untuk mendapat berat massa salisilaldehid

1. Hitung mol gugus $-NH_2$ kitosan (DD 85%)

Asumsi: kitosan dianggap terdiri dari unit glukosamin (NH_2) dengan $Mr \approx$

161 g/mol.

- Massa kitosan: 3,00 g

- Mol unit kitosan:

$$n_{\text{unit}} = \frac{3.00}{161} \approx 1.86 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- DD 85% $\rightarrow$ fraksi $-\text{NH}_2 = 0,85$

- Mol gugus $-\text{NH}_2$:

$$n_{\text{NH}_2} = 1.86 \times 10^{-2} \times 0.85 \approx 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

2. Tentukan mol salisilaldehida untuk rasio (3:1,5), (3:2), (3:2,5)

Contoh perhitungan menggunakan rasio 1,5:1 dapat dirumuskan:

$$n_{\text{salisilaldehida}} = 1.5 \times n_{\text{NH}_2}$$

$$n_{\text{salisilaldehida}} \approx 1,5 \times 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol} \approx 2,3715 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

3. Konversi mol salisilaldehida ke massa atau volume

Mr salisilaldehida $\approx 122,12$ g/mol, maka:

$$m_{\text{salisilaldehida}} = 2,3715 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 122.12 \approx 2,9 \text{ gram}$$

Dengan demikian, penggunaan 1 g kitosan dengan derajat deasetilasi 80% pada rasio 1,51 memerlukan sekitar 0,91 g salisilaldehida; untuk massa kitosan lain, kebutuhan salisilaldehida disesuaikan secara proporsional.

4. Ulangi untuk tiap rasio

- 1.50: 1.00 $\rightarrow n_{\text{salis}} = 1.50 n_{\text{NH}_2}$ (2,9 gram)
- 2.00: 1.00 $\rightarrow n_{\text{salis}} = 2.00 n_{\text{NH}_2}$ (3,8 gram)
- 2.50: 1.00 $\rightarrow n_{\text{salis}} = 2.50 n_{\text{NH}_2}$ (4,8 gram)

Berikut tahapan *schiff base* kitosan dengan salisilaldehid dari variasi perbandingan (3:1,5), (3:2), (3:2,5) mengacu pada (Montaser dkk., 2018) dan menggunakan metode ultrasonik (Elshaarawy et al., 2016)

a) Basa schiff biopolimer

1. 1 gr kitosan dilarutkan dalam larutan asam asetat 1% yang telah diencerkan
2. Kemudian salisilaldehid dengan rasio (3:1,5), (3:2), (3:2,5) dilarutkan dalam 10,0 ml etanol
3. Larutan salisilaldehid ditambahkan ke larutan kitosan

4. Rasio penambahan kitosan dengan salisilaldehid yaitu (3:1,5), (3:2), (3:2,5)
5. Campuran reaksi larutan kitosan dengan larutan salisilaldehid dengan ultrasonik bath frekuensi 40 kHz selama 120 menit

3.8.7 Pembuatan Bioplastik

Metode penelitian pembuatan bioplastik dari sintesis bioplastik dilakukan dengan mengombinasikan kitosan asal limbah krustasea sebagai fase kontinu, serta salisilaldehid yang berperan dalam modifikasi struktur melalui mekanisme *crosslinking*. Untuk memperbaiki sifat fisik, gliserol ditambahkan sebagai agen pemlastis guna menurunkan interaksi antar-rantai polimer, sementara nanopartikel ZnO didispersikan ke dalam campuran sebagai *filler* untuk memperkokoh sifat mekanik). Pembuatan bioplastik ini mengacu pada penelitian (Beta & Purbasari, 2022), (Kusumawati dkk., 2025) dan (Kholiq & Kusuma, 2024). Dimana proses tahapan pembuatan bioplastik adalah sebagai berikut:

1. Larutan *Schiff Base* kitosan-salisilaldehid, dengan variasi (3:1,5), (3:2), (3:2,5)
2. Menambahkan ZnO sesuai variasi (0%, 1%, 3%, 5%) dalam gliserol 3 mL
3. Larutan gliserol dan kitosan dengan ZnO dicampur kemudian dipanaskan pada suhu 60°C diaduk dengan kecepatan 800 rpm selama 30 menit
4. Larutan campuran didiamkan selama 15 menit untuk menghilangkan gelembung udara
5. Campuran dituangkan ke dalam cetakan akrilik berukuran 18 cm x 10 cm x 1 cm
6. Meratakan larutan dalam cetakan untuk memperoleh ketebalan yang seragam
7. Mengeringkan film bioplastik di oven selama 4 jam

3.8.8 Karakterisasi FTIR, SEM, XRD

Karakterisasi bioplastik dalam penelitian ini dilakukan melalui serangkaian pengujian instrumen yang meliputi *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Sistem pengujian SEM memiliki kapabilitas untuk mengukur dan menganalisis berbagai parameter krusial, seperti morfologi permukaan serta ketebalan lapisan tipis atau membran seperti bioplastik (Akhtar dkk., 2019), sementara pengujian *Fourier Transform Infrared*

(FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi spesifik dan struktur molekul bioplastik (Made & Sanjiwani, 2021). Selain itu, tingkat kristalinitas material dievaluasi menggunakan instrumen XRD untuk mengetahui keteraturan struktur molekulnya. Seluruh pengujian lanjutan ini difokuskan secara spesifik pada variasi sampel terbaik, yaitu spesimen yang menunjukkan nilai kuat tarik paling optimal dibandingkan variasi lainnya.

3.8.9 Pengujian Sifat Mekanis Bioplastik

Penelitian ini berfokus pada evaluasi karakteristik mekanis bioplastik berbasis ampas tebu dengan variasi salisilaldehid dan ZnO, yang meliputi pengujian kuat tarik serta elongasi. Analisis kuat tarik dilakukan untuk mengukur besarnya gaya maksimum yang mampu ditahan sampel hingga mencapai titik putus saat diregangkan. Sementara itu, uji elongasi (perpanjangan putus) digunakan untuk menilai sejauh mana bioplastik dapat meregang atau tingkat keelastisitasannya sebelum mengalami kerusakan fisik.

Metode pengujian kuat tarik dan elongasi ini mengacu pada penelitian terdahulu Pakerti, (2021) yang dilakukan oleh evaluasi sifat mekanik bioplastik mengacu pada standar internasional ASTM D882-02. Prosedur diawali dengan preparasi sampel yang dipotong menjadi dimensi 10 cm x 2,5 cm. Spesimen tersebut kemudian diletakkan pada penjepit (*gripper*) mesin dan ditarik secara vertikal hingga mencapai titik putus. Parameter berupa gaya tarik maksimum serta persentase perpanjangan (*elongation*) terekam secara otomatis pada layar perangkat yang terintegrasi dengan mesin penguji. Selanjutnya, besaran kuat tarik dihitung secara matematis menggunakan rumus berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

σ : kuat tarik (N/m^2)

F : Gaya tarik maksimal (N)

A : Luas penampang ditarik dalam satuan (m^2)

3.8.10 Pengujian Degradasi *Soil Burial Test*

Pengujian degradasi sederhana menggunakan metode modifikasi soil burial test mengacu pada Nissa dkk., (2019) :

1. Sampel bioplastik dipotong ukuran 2 cm x 2 cm
2. Sampel bioplastik yang telah dipotong kemudian dikubur kedalam tanah subur dan alami yang diambil dari hutan dengan kedalaman 7,5 cm
3. Lama waktu penguburan dilakukan selama 180 hari dan diamati kondisi visual.
4. Persentase kehilangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$weight\ loss\ (\%) = \frac{W_f - W_o}{W_f} \times 100 \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

Wf= Berat awal bioplastik (g)

Wo = Berat akhir bioplastik (g)

3.8.11 Pengujian *Swelling*

Selanjutnya dilakukan uji yaitu uji *swelling*. Untuk melakukan uji swelling, dari dua belas sampel tersebut, masing-masing disiapkan satu benda uji berukuran 2 cm x 2 cm ke dalam air (Rusdi dkk., 2022). Tahapan pengujian penyerapan air (*swelling*) yang digunakan dalam penelitian ini mengacu Dewi et al., (2024) dengan modifikasi sesuai dengan penelitian, pada metode yang dikemukakan sebagai berikut :

1. Sampel dipotong berukuran $\pm 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ dan ditimbang sebagai berat awal (W_o)
2. Sebanyak 50 mL akuades dimasukkan ke dalam cawan petri.
3. Sampel direndam dalam akuades selama 5 menit.
4. Sampel diangkat dan dikeringkan.
5. Sampel ditimbang kembali sebagai berat akhir (W).
6. Hitung daya serap air pada sampel menggunakan persamaan :

Secara matematis, persen pembengkakan air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut menurut (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021):

$$S = \frac{w_o - w_1}{w_o} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

Keterangan :

wo = berat kering awal

w₁ = berat sampel setelah perendaman

3.8.12 Pengujian Antimikroba

Pengujian kegiatan antimikroba dilakukan dengan menggunakan metode Kirby-Bauer, yang sering dikenal sebagai teknik difusi, menggunakan bakteri *Escherichia Coli* dan *Staphylococcus Aureus*. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan modifikasi yang mengacu pada penelitian Zhang dkk., (2021), Magani dkk., (2020) sebagai berikut:

A. Persiapan sampel

1. Persiapan sampel dengan potong film komposit sampel bioplastik salisilaldehid dan variasi nanopartikel ZnO menjadi ukuran dan bentuk yang seragam yaitu 6 mm.
2. Sterilisasi sampel film menggunakan radiasi sinar ultraviolet (UV) selama 30 menit.

B. Persiapan media Nutrient Agar

1. Persiapan alat dan bahan
2. Mensterilisasi alat yang akan digunakan dengan autoklaf
3. Menimbang 20 gram Nutrient Agar untuk kebutuhan 1 Liter dengan aquadest
4. Larutan diaduk dengan stirer dengan suhu 100 °C.
5. Menuang media NA kedalam 10 ml ke cawan petri, kegiatan ini harus dilakukan dengan minim kontaminan.
6. Menutup dan melapisi dengan rapat media NA dengan plastik wrap dengan rapat menghindari kontaminan.
7. Mendiamkan media NA sampai media mengeras.

C. Persiapan media Nutrient Broth

1. Persiapan alat dan bahan
2. Menterilisasi alat yang akan digunakan dengan autoclaf
3. Meniimbang 0,4 gram Nutrient Agar untuk kebutuhan 50 mL dengan aquadest
4. Larutan diaduk dengan stirer dengan suhu 100 °C.
5. Menuang media NB kedalam 10 ml ke tabung reaksi kegiatan ini harus dilakukan dengan minim kontaminan.

6. Menutup dan melapisi dengan rapat media NB dengan plastik wrap dengan rapat menghindari kontaminan.

D. Pembuatan Kultur

1. Menginokulasikan isolat *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* pada media *Nutrient Broth* pada tabung reaksi
2. Menginkubasikan pada suhu 37 °C selama 24 jam.
3. Suspensikan *E. coli* dan *S. aureus* diukur *Optical Density* (OD)-nya dengan spektrofotometer pada $\lambda = 600$ nm hingga absorbansi 0,1

E. Uji Antimikroba

1. Menyiapkan NA sebagai media uji.
2. Menggoreskan suspensi bakteri dan sebarkan ke cawan petri berisi *Nutrient Agar* (NA) menggunakan *cotton bud*.
3. Bakteri mengering pada media NA.
4. Menaruh sampel bioplastik di atas media NA yang sudah digoreskan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.
5. Inkubasi cawan petri tersebut selama 24 jam pada suhu 37 °C.
6. Mengalalisa dan mengukur zona hambat atau zona bening pada media menggunakan jangka sorong.

3.8.13 Pengujian Statistik Bioplastik

Metode analisis yang diterapkan dalam penelitian digunakan untuk mengevaluasi dampak variasi salisilaldehid sebagai *crosslinker* serta nanopartikel ZnO sebagai bahan antimikroba dan juga memiliki fungsi lain sebagai *filler* terhadap presentase degradasi, presentase *swelling*, hasil pengujian kuat tarik, dan elongasi bioplastik. Data tersebut dilakukan uji statistika menggunakan *software* SPSS penting untuk melaksanakan uji normalitas dan homogenitas terlebih dahulu untuk mengetahui sebaran normal ketika nilai sig lebih dari 0,05. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang ada mengikuti distribusi tertentu. Hal ini memberikan pengaruh terhadap karakteristik fisik, mekanik dari bioplastik (Sultan dkk., 2023). Dilakukan uji non-parametrik dengan metode Kruskal-Wallis digunakan ketika data tidak memiliki distribusi normal. Uji ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan dalam desain yang tidak homogen. eksperimental yang tidak memenuhi asumsi parametrik. Berikut hipotesis yang

digunakan dalam penelitian ini yaitu :

H0A = Tidak adanya pengaruh kombinasi variasi salisilaldehid dan variasi nanopartikel ZnO

H1A = Adanya pengaruh kombinasi salisilaldehid dan variasi nanopartikel ZnO

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berupaya meneliti bioplastik yang terbuat dari kitosan pada kulit udang, dengan menggunakan variasi Salisilaldehid dan nanopartikel ZnO. menjadikan kitosan sebagai bahan dasar yang potensial dalam pengembangan bioplastik yang ramah lingkungan (Muliawati dkk., 2024). Kualitas bioplastik diperiksa dengan melakukan uji tarik dan *elongasi* untuk mengetahui kemampuan bahan dalam menahan beban tarik serta tingkat kelenturan bahan sebelum mengalami kerusakan. Selain itu, dilakukan pengujian persentase biodegradable untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam terurai secara alami di lingkungan melalui media tanah.

Uji swelling yaitu pengujian pembengkakan juga dilakukan untuk mengetahui seberapa baik bioplastik bisa menyerap dan membesar karena adanya air. Selanjutnya, dilakukan karakterisasi pada sampel yang memiliki nilai kekuatan tarik terbaik. Pemrosesan ini mencakup uji SEM untuk mengamati bentuk permukaan dan struktur di dalam bahan, uji XRD untuk mengetahui struktur kristal dan komposisi fase, serta uji FTIR untuk menemukan struktur kimia, termasuk jenis ikatan dan kelompok fungsi yang terdapat pada bioplastik tersebut. Kemudian dilakukan pengujian Antimikroba yakni pengujian bioplastik terhadap mikroba.

4.1 Analisis Bahan Baku dan Karakteristik Bioplastik

4.1.1 Karakteristik Bahan Baku Bioplastik

Dalam pembuatan bioplastik menggunakan bahan baku yaitu kitosan. Kitosan merupakan biopolimer limbah kulit udang yang melimpah dengan keunggulan elastisitas dan antimikroba (Kristiningsih dkk., 2024). Sintesis kitosan dari cangkang krustasea dilakukan melalui beberapa tahap utama, yaitu demineralisasi (penghilangan mineral), deproteinisasi (penghilangan protein), dekolorisasi (penghilangan pigmen), serta deasetilasi untuk menghasilkan kitosan sebagai produk akhir (Imtihani & Wahyuono, 2020). Analisis gugus fungsi pada kitosan menggunakan spektrofotometer FTIR, bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada kitosan berdasarkan area

penyerapannya. Analisa dalam penelitian ini, kitosan diperlukan untuk menentukan susunan kimia dari bioplastik menggunakan uji FTIR menggunakan spektrometer inframerah (Setijawati & Mile, 2022). Spektrum FTIR pada kitin dan kitosan dilakukan untuk mengetahui adanya gugus fungsi utama serta ciri-ciri molekul yang berada dalam rentang frekuensi dari 4000 cm^{-1} sampai 400 cm^{-1} (Zukhri dkk., 2025). Hasil analisis FTIR bisa dipahami melalui identifikasi gugus fungsi berdasarkan penilaian FTIR. Apabila terdapat pergeseran yang signifikan pada pita absorpsi di panjang gelombang tertentu, maka tidak terdapat interaksi antara gugus fungsi yang dapat memengaruhi efek kitosan. Interaksi kimia akan terlihat jika muncul puncak baru yang menunjukkan adanya pembentukan dari kitosan (Parkia & Polimer, 2022). Spektrum FTIR Kitosan terlampir pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Gugus Fungsi Kitosan

Gugus Fungsi	Hasil data spektrum FTIR (Bilangan gelombang (cm^{-1}))	Rentang Gelombang (cm^{-1})	Referensi
-OH (gelombang hidroksil)	3338,11	3550 - 3300	(Fatin dkk., 2024)
-CH ulur	2916,94	2877,76 - 2929,49	(Salsabilla dkk., 2024)
C=O (serapan amida)	1589,80	1655 - 1310	(Fatin dkk., 2024)
Terjadi kopling antara vibrasi regangan aksial ikatan C–N dengan deformasi sudut ikatan N–H.	1416,26	1,417 - 1,377	(Dara, Raghavankutty, Digita, & Sivam., 2020)
Ikatan glikosidik, regangan C–O dan C–O–C.	1015,74	1,153 - 897	(Dara, Raghavankutty, Digita, & Sivam., 2020)

Berdasarkan analisis terhadap gugus fungsi yang terdapat pada kitosan dari hasil uji analisa FTIR, terlihat adanya kelompok fungsi NH dan C-O. Munculnya sejumlah puncak tersebut mengindikasikan bahwa di dalam sampel kitosan terdapat beragam jenis kelompok gugus fungsi (Safitri & Supu, 2019).

Sampel menunjukkan keberhasilan proses deasetilasi kitin menjadi kitosan ditandai karakteristik gugus fungsi. Ciri khas meliputi gugus amida dan gugus hidroksil. Letak gugus fungsi serapan amida dan hidroksil kitosan memiliki nilai gelombang pada $1655 - 1310 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan nilai gelombang hidroksil $3550-3300 \text{ cm}^{-1}$ (Fatin dkk., 2024). Bilangan gelombang 2916.94 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi gugus -CH terjadi pada rentang $2877,76 - 2929,49 \text{ cm}^{-1}$ (Salsabilla dkk., 2024). Terjadi kopling antara vibrasi regangan aksial ikatan C–N dengan deformasi sudut ikatan N–H dengan gelombang bilangan 1416.26 cm^{-1} terjadi pada rentang $1,417 \text{ cm}^{-1} - 1,377 \text{ cm}^{-1}$ dan terdapat Ikatan glikosidik, regangan C–O dan C–O–C 1015.74 cm^{-1} terjadi pada rentang $1,153-897 \text{ cm}^{-1}$ (Dara, Raghavankutty, Digita, & Sivam., 2020).

Kitosan harus memiliki nilai kualitas yang sesuai dan telah memenuhi standar kualitas kitosan. Parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas kitosan antara lain adalah derajat deasetilasi. Derajat deasetilasi (DD) menunjukkan seberapa banyak gugus asetil yang hilang dari gugus asetamida kitin atau seberapa banyak gugus amino bebas yang terbentuk setelah proses deasetilasi. Setelah kitosan mengalami proses deasetilasi, derajat deasetilasinya dapat dihitung. Dari perhitungan yang dilakukan, diketahui bahwa derajat deasetilasi kitosan yang diperoleh dari sumber kitosan komersil adalah 85%. Nilai tersebut telah memenuhi standar derajat deasetilasi kitosan menurut Badan Standarisasi Nasional (2013) yaitu dengan standar mutu nilai derajat deatilasi minimal 75% (Salsabilla dkk., 2024). Spektrum utama yang ada di rentang panjang gelombang tertentu menunjukkan keberadaan gugus fungsi utama, sehingga diperoleh hasil bahwa senyawa yang dihasilkan dari proses deastilasi dalam penelitian ini adalah kitosan (Hijriyah dkk., 2023).

Nanopartikel ZnO komersial yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran rata-rata $\pm 15 \text{ nm}$ berdasarkan hasil uji PSA. Ukuran tersebut masih berada dalam rentang efektif untuk meningkatkan sifat fungsional film bioplastik, karena partikel berukuran kecil memiliki luas permukaan spesifik yang lebih besar sehingga memperluas area kontak dengan matriks polimer. Hal ini mendukung interaksi yang lebih baik, baik dalam aspek mekanik

maupun aktivitas antimikroba. Zhang dkk., (2021) melaporkan bahwa film dengan nanopartikel ZnO berukuran 50 nm menunjukkan tingkat penghambatan tertinggi, sehingga hasil penelitian ini dapat dikaitkan dengan temuan tersebut. Dengan demikian, ukuran partikel yang relatif kecil berperan penting dalam memperkuat struktur bioplastik sekaligus meningkatkan sifat penghambatan

4.1.2 Karakteristik Visual Bioplastik

Kitosan yang telah memenuhi kriteria mutu dan digunakan sebagai bahan dasar bioplastik selanjutnya diformulasikan dengan variasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO. Karakteristik visual bioplastik yang dihasilkan diamati untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing perlakuan terhadap penampakan fisik bioplastik, meliputi warna, transparansi, tekstur permukaan, dan ketebalan bioplastik. Hasil pengamatan visual bioplastik pada setiap perlakuan ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Pembuatan Bioplastik

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
1.	3 gr	1: 1,5 (50%)	0 %		1. Bioplastik yang terlihat sedikit kuning. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.40 mm
			1% (0.03 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
					halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.53 mm
			3% (0.09 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.54 mm
			5% (0.15 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.54 mm

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
2.	3 gr	1: 2 (66,67%)	0 %		1. Bioplastik yang terlihat sedikit kuning. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.40 mm
			1% (0.03 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.55 mm

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
			3% (0.09 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.56 mm
			5% (0.015 gram)		1. Bioplastik yang memiliki warna kekuningan. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.56 mm

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
3.	3 gr	1: 2,5 (83,33%)	0 %		1. Bioplastik yang terlihat sedikit kuning. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.56 mm
			1% (0.03 gram)		1. Bioplastik yang terlihat bening. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.57 mm
			3% (0.09 gram)		1. Bioplastik yang terlihat bening. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.57 mm

No	Berat Bahan Kitosan	Variasi Salisilaldehid	Variasi Nanopartikel ZnO	Dokumentasi	Hasil
			5% (0.015 gram)		1. Bioplastik yang terlihat bening. 2. Tampilan visual terlihat transparan 3. Permukaan halus dan plastik lentur dan lengket 4. Memiliki ketebalan 0.58 mm

Pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa bioplastik yang dihasilkan memiliki bentuk visual transparan berwarna sedikit kuning dengan berukuran 8 cm x 16 cm dikarenakan mengalami penyusutan dengan panjang cetakan akrilik 10 cm x 18 cm. Menunjukkan bahwa penguapan dari pelarut mengakibatkan penipisan lapisan film melalui proses pemanasan dari oven. Apabila ukuran atau ketebalan film menyusut setelah proses pengeringan, hal itu bisa dianggap sebagai bentuk penyusutan (Cheng & Grest, 2016).

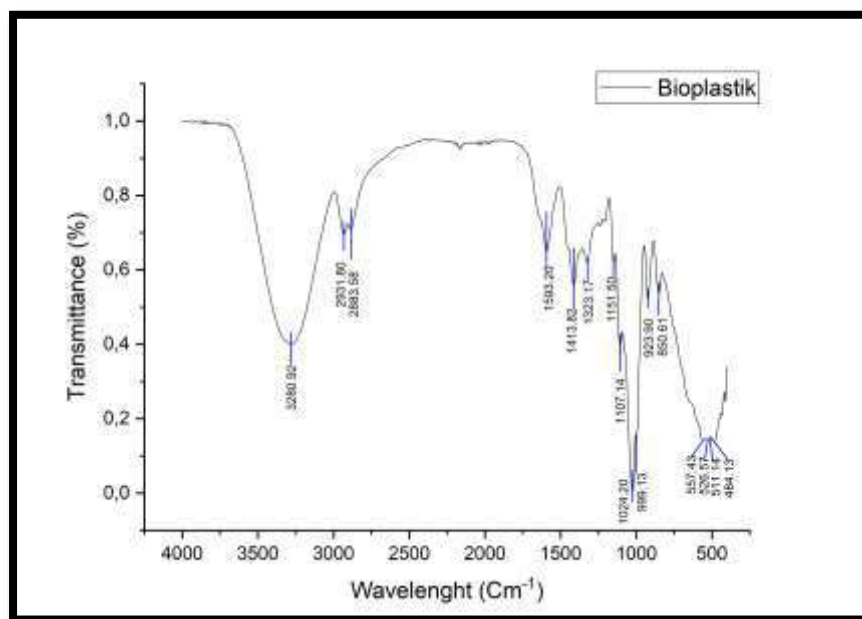
Pada hasil analisa bioplastik memiliki warna bening dan cenderung kekuningan. Hal ini disebabkan oleh Selama tahapan pembuatan hidrogel Schiff base, ikatan imina ($-C=N-$) terbentuk secara bertahap yang menyebabkan viskositas larutan meningkat. Ketika titik gel dengan tingkat *crosslinking* yang tinggi tercapai, sifat cair sistem hilang dan ini menandakan bahwa hidrogel telah terbentuk. Perubahan ini juga terlihat secara visual, di mana campuran hidrogel berubah menjadi kuning cerah seiring dengan pemanasan dan pengadukan, serta bertransisi dari bentuk larutan ke bentuk padat (Feng dkk., 2026).

Terdapat beberapa variasi yang memiliki tekstur yang tipis dikarenakan tidak ada penambahan *filler* yang dapat mempengaruhi. Oleh karena itu, variasi tanpa penambahan *filler* menghasilkan film yang lebih tipis dibandingkan variasi dengan penambahan nanopartikel ZnO (Vyas dkk., 2025). Sampel bioplastik yang terdiri dari 83,33% salisilaldehid dan 5% nanopartikel ZnO (kode AA12)

menunjukkan ketebalan yang paling tinggi, yang menunjukkan adanya interaksi sinergis antara peningkatan jumlah *crosslinking* salisilaldehid dengan bahan pengisi anorganik ZnO dalam penciptaan jaringan polimer yang lebih solid dan kebal. Peningkatan dalam ketebalan ini juga mengindikasikan bahwa penambahan ZnO dapat mengisi ruang kosong di dalam matriks kitosan, sehingga strukturnya menjadi lebih kompak. Sejalan dengan hasil penelitian, terdapat peningkatan yang signifikan pada sampel bioplastik tanpa penambahan filler ZnO jika dibandingkan dengan penambahan ZnO pada kadar 1% dalam variasi 50%, 66,67%, dan 83,33% salisilaldehid, yang menekankan bahwa baik volume *crosslinking* maupun konsentrasi nanopartikel sangat berperan dalam pembentukan ketebalan bioplastik (Montaser dkk., 2018).

4.1.3 Hasil Uji *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Bioplastik

Analisis menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi spesifik dan struktur molekul bioplastik melalui pengamatan bilangan gelombang yang dihasilkan. Keberadaan ikatan kimia pada sampel diindikasikan oleh munculnya puncak-puncak absorbansi pada spektrum inframerah, di mana setiap puncak merepresentasikan jenis gugus fungsi tertentu (Made & Sanjiwani., 2021). Dalam prosesnya, sampel bioplastik diletakkan pada sel kristal dan dipasang pada alat analisis FTIR untuk mendapatkan spektrum gugus fungsinya (Sultan dkk., 2023). Pengujian FTIR dilakukan pada bioplastik dengan variasi terbaik berdasarkan nilai kuat tarik, yaitu penambahan salisilaldehid 83,33% dan nanopartikel ZnO 3%. Grafik FTIR dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.1 Grafik Hasil Uji FTIR

Hasil spektrum FTIR untuk bioplastik dengan bahan dasar kitosan menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 3280.92, yang menunjukkan vibrasi regangan gugus (-OH) dan (N-H) yang bertumpang tindih. Hal ini yang menunjukkan adanya ikatan hidrogen dalam struktur kitosan (Branca dkk., 2016). Pita yang lebar ini menunjukkan adanya banyak hidrogen internal dalam sampel bioplastik, yang memberikan sifat mekanik hidrofilik pada kitosan serta sangat memengaruhi karakteristik permukaan dan reaktivitasnya (Hayder dkk., 2026). Selanjutnya pada puncak 2931.80 dan 2883.58 merupakan karakteristik vibrasi regangan ikatan C-H yang bersifat asimetris dan simetris (Hai dkk., 2020). Puncak serapan pada bilangan gelombang 1593,20 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus amida dalam sampel. Rentang frekuensi 1550–1650 cm^{-1} merupakan daerah khas untuk vibrasi regangan N-H dan C=O pada gugus amida (NHCOCH_3), yang umum ditemukan pada struktur protein atau senyawa organik terkonjugasi (Lucas dkk., 2021). Selain itu, pita serapan pada 1570–1600 cm^{-1} juga dapat mengindikasikan keberadaan gugus imina ($-\text{C}=\text{N}-$) dari Schiff base, yang terbentuk melalui reaksi kondensasi antara gugus amino dan karbonil (Salmani dkk., 2026). Kehadiran kedua gugus fungsi tersebut menegaskan bahwa sampel mengalami transformasi struktural dan modifikasi kimia, yang mengarah pada pembentukan ikatan baru dalam matriks biopolimer. vibrasi regangan gugus

O–H dan vibrasi gugus amida, kedua puncak tersebut dimanfaatkan untuk memastikan keberhasilan proses sintesis kitosan (Banowati dkk., 2024). Bilangan gelombang 1323.17 berhubungan dengan getaran kelompok metilena (CH₂). Adanya puncak tersebut di semua sampel menunjukkan bahwa struktur utama rantai polimer kitosan tetap utuh setelah dilakukan modifikasi atau penambahan bahan pengisi. Daerah serapan pada 1151.50 dan 1107.14 berkaitan dengan ikatan glikosidik β-(1→4) dan vibrasi regangan C–O–C yang mengonfirmasi keberadaan struktur polisakarida kitosan. (Montaser dkk., 2018). Pada gelombang bilangan pita pada 1024, 99913, dan 92390 yaitu berkorespondensi dengan ulur C–O pada kitosan, yang menunjukkan keberadaan struktur polisakarida khas kitosan. Selanjutnya untuk bilangan gelombang 850.61, 557.44, 526.57, 511.14 dan 484.13 dikaitkan dengan keberadaan ikatan logam-oksigen (ZnO) yang menunjukkan keberadaan nanopartikel ZnO dalam bioplastik berbahan dasar kitosan. Hal ini dikatakan bahwa nanopartikel ZnO berhasil terdispersi dalam matriks dengan potensi antimikroba (Alharbi & Kadaikunnan, 2017). Identifikasi lengkap gugus fungsi dari bioplastik kitosan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Gugus Fungsi FTIR Bioplastik

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Rentang Umum (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi	Referensi
3280.92	3000-3600	Vibrasi regangan ikatan gugus -OH dan -NH	(Lucas dkk., 2021)
2931.80	2941-2854	umumnya merupakan C–H stretching vibration	(Hai dkk., 2020)
2883.58			
1593.20	1550-1650	vibrasi gugus N–H dan gugus karbonil C=O pada gugus amida (NHCOCH ₃)	(Lucas dkk., 2021)
	1570-1600	Schiff base (–C=N–)	(Salmani et al., 2026)
1323.17	1429-1319	vibrasi gugus metilena (CH ₂)	(Montaser dkk., 2018)
1151.50	1157-1037	ikatan glikosidik β-(1→4) serta vibrasi regangan C–O–C	(Montaser dkk., 2018)
1107.14			
1024.20	1032-923	Vibrasi regangan ikatan C-	(M. Sultan dkk., 2024)

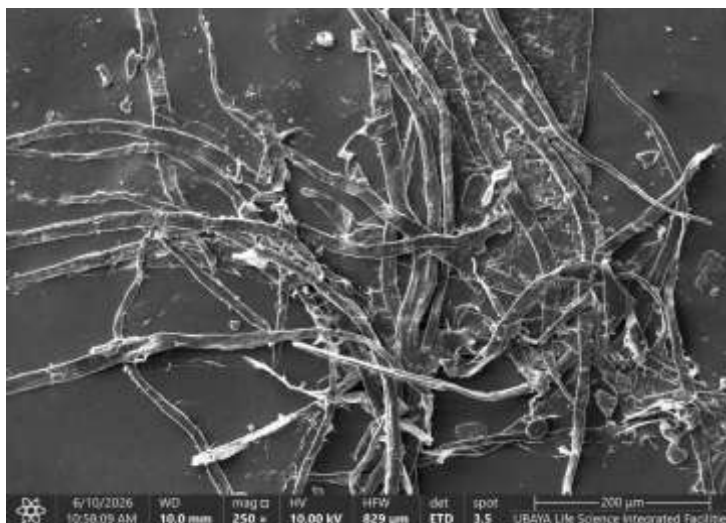
Bilangan Gelombang (cm-1)	Rentang Umum (cm-1)	Gugus Fungsi	Referensi
999.13		O	
923.90			
850.61	424 - 900	(ZnO)	(Alharbi & Kadaikunnan, 2017) dan (Elhaes dkk., 2026)
557.43			
526.57			
511.14			
484.13			

Data hasil uji spektrum FTIR yang diperoleh menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan masih mempertahankan karakteristik kimia kitosan yang berasal dari kulit udang sebagai bahan dasarnya. Keberadaan gugus fungsi –OH, C–H, C=O, dan C–O mengindikasikan bahwa struktur kimia bioplastik tetap terbentuk dengan baik. Gugus-gugus fungsi tersebut merupakan karakteristik umum material berbasis polisakarida yang berperan dalam sifat biodegradabilitas, sehingga mendukung potensi bioplastik untuk terurai secara alami dan lebih ramah lingkungan dibandingkan plastik konvensional. Sebagai upaya menanggulangi sampah plastik non-organik, dikembangkanlah bioplastik yang lebih ramah lingkungan. Bioplastik merupakan polimer atau plastik yang dapat terdegradasi secara alamiah oleh mikroorganisme (Alfarisi dkk., 2021).

4.1.4 Hasil Uji SEM Bioplastik

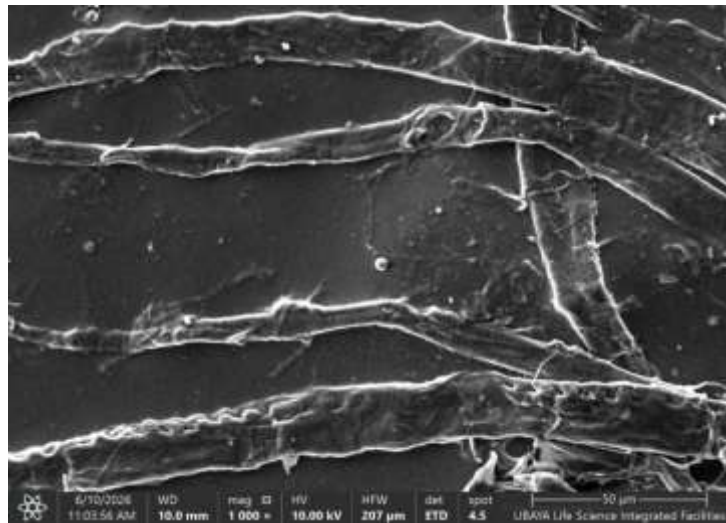
Scanning Electron Microscopy (SEM) berfungsi sebagai instrumen analisis multifungsi yang krusial dalam dunia penelitian material. Perangkat ini memungkinkan peneliti untuk membedah karakteristik permukaan sampel secara mendalam melalui pemindaian berkas elektron, sehingga mampu menghasilkan citra morfologi beresolusi tinggi yang sangat detail. Selain itu, SEM dapat digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia unsur, dimensi material skala nano, hingga melakukan analisis mendalam terhadap kerusakan struktural dan pola patahan (Akhtar dkk., 2019). Hasil analisis SEM pada sampel bioplastik kitosan dengan perbesaran 250x; 1000x; dan 5000x. Pengujian SEM dilakukan pada bioplastik dengan variasi terbaik berdasarkan nilai kuat tarik, yaitu penambahan salisilaldehid 83,33% dan nanopartikel ZnO 3% dapat dilihat pada Gambar 4.2,

Gambar 4.3, Gambar 4.4.



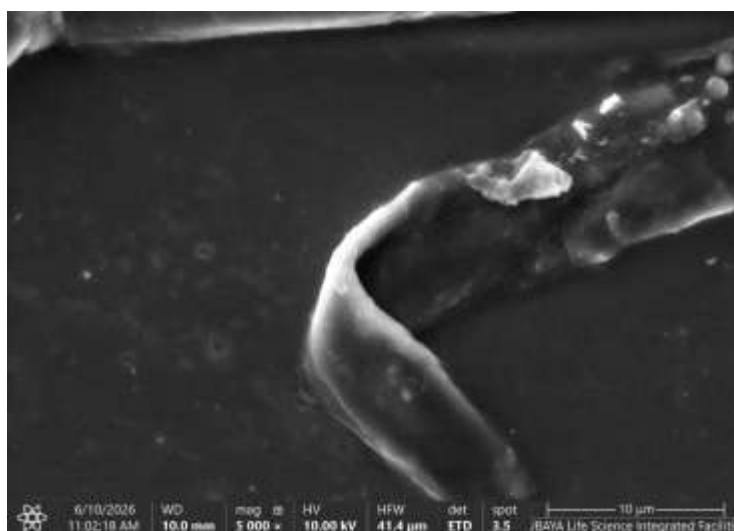
Gambar 4. 2 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 250x

Pada Gambar 4.2 pembesaran 250x menunjukkan permukaan bioplastik didominasi oleh serat panjang yang saling bertumpuk secara acak, teramati dalam hasil analisa bahwa serat tebal berbentuk pita yaitu serat alami dari kitosan. Morfologi berserat yang konsisten pada analisa ini mengindikasikan bahwa struktural dominan dari sampel. Hal ini tidak sama dengan morfologi film kitosan yang optimal, umumnya menghasilkan permukaan yang rata dan seragam dengan kelompok-kelompok kecil pada kitosan murni. Perbedaan ini kemungkinan terkait dengan proses pelarut kitosan yang belum maksimal sebelum bioplastik dicetak, sehingga sebagian dari rantai polimer tidak sepenuhnya larut dan tetap dalam kondisi serat aslinya. Fenomena diperkuat oleh penelitian Tabassum dkk., (2023) bahwa bioplastik kitosan masih terlihat gumpalan–gumpalan, yaitu kumpulan molekul kitosan yang saling menempel (aglomerasi) atau kitosan yang belum larut sempurna saat proses pembuatan larutan bioplastik.



Gambar 4. 3 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 1000x

Pada Gambar 4.3 pembesaran 250x menunjukkan permukaan bioplastik memperjelas tekstur permukaan serat, tampak, beralur memanjang dan berlubang pada beberapa titik. Ketidakhalsan permukaan seperti ini sesuai dengan hasil yang ditemukan pada kitosan yang telah dimodifikasi, dimana gambar pembesaran 1000x menunjukkan bahwa *schiff base* dari kitosan dan salisilaldehid, nanopartikel ZnO memiliki kekasaran permukaan porositas permukaan yang berbeda – beda karena pembentukan schiff base dan adanya nanopartikel ZnO. Namun, pada pembesaran ini belum terlihat nanopartikel secara terpisah yang menempel dengan kuat dan merata di permukaan serat, yang biasanya dilaporkan pada kitosan dan nanopartikel dengan dispersi yang baik. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian Gaafar dkk., (2022) yang menyatakan bahwa permukaan lebih kasar dan memiliki banyak pori gugus primer ($-NH_2$) milik kitosan telah bereaksi dengan gugus aldehid sehingga terbentuk ikatan imina ($-C=N-$). Akibatnya struktur asli kitosan dalam bioplastik berubah.



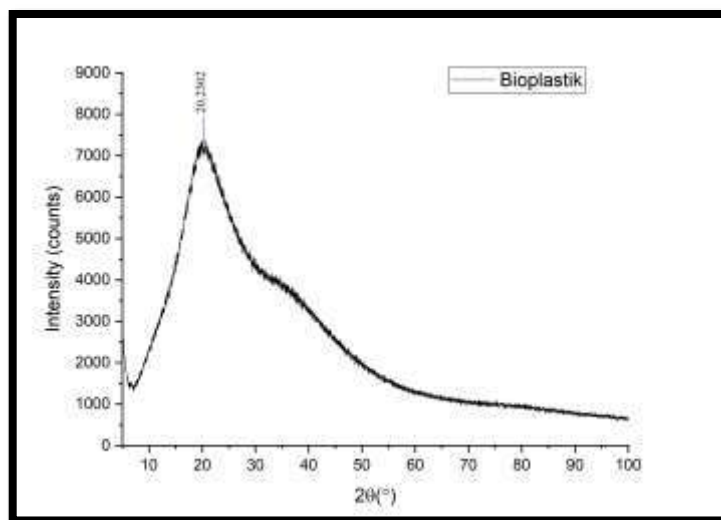
Gambar 4. 4 Hasil Uji SEM Bioplastik Pembesaran 5000x

Pada pembesaran 5000 $\times$, di bagian lengkungan serat teramati struktur lumen berongga, yaitu rongga pada bagian dalam serat yang menjadi karakteristik umum serat polisakarida saat mengalami pengeringan. Di bagian ujung dan permukaan serat, juga terlihat gumpalan material seperti butiran. Pola pengelompokan ini secara visual sejalan dengan distribusi nanopartikel ZnO pada kitosan konsentrasi tinggi, di mana nanopartikel ZnO dengan berbagai ukuran, baik bulat maupun elips, terdapat di permukaan kitosan dan mengubah morfologi permukaan serat kitosan menjadi struktur dendritik yang menyerupai gumpalan (Bashal dkk., 2022).

4.1.5 Hasil Uji *X-Ray Diffraction* (XRD) Bioplastik

Instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan perangkat analitik yang berfungsi untuk mengkaji struktur kristalin suatu bahan. Prinsip operasional alat ini memanfaatkan fenomena difraksi sinar-X yang muncul akibat interaksi antara radiasi tersebut dengan susunan kisi atom, sehingga menghasilkan pola difraksi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai karakteristik struktural material (Reddy & Reddy, 2025). Dalam konteks penelitian material, metode ini sering diimplementasikan untuk mengkarakterisasi bahan dari berbagai kondisi lingkungan. Sebagai contoh, XRD digunakan secara efektif dalam mengidentifikasi dan mempelajari susunan struktural pada berbagai jenis polimer plastik (Ghatage & Kanitkar, 2019). Pengujian XRD dilakukan pada bioplastik dengan variasi terbaik berdasarkan nilai kuat tarik, yaitu penambahan salisilaldehid 83,33% dan

nanopartikel ZnO 3%. Grafik hasil uji XRD dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Uji XRD

Pada grafik hasil uji XRD menunjukkan hasil spektrum XRD bioplastik berbahan dasar ampas tebu. Terlihat adanya puncak lebar pada sudut $2\theta(^{\circ})$ sebesar 20,2302. Puncak tersebut menunjukkan refleksi kristalin yang khas, yang mengkonfirmasi struktur semi-kristalinnnya berada pada puncak dominan pada sudut $2\theta(^{\circ})$ sebesar 20,1°. Puncak tersebut mencerminkan adanya iktan hidrogen antar polimer yang kuat, yang merupakan ciri khas kitosan dengan tingkat konversi yang baik. Keberadaan puncak-puncak tersebut semakin menegaskan adanya daerah kristalin yang teratur dalam struktur kitosan (Atanda dkk., 2025).

Tabel 4.4 Indeks Kristalinitas

Sampel	sudut $2\theta(^{\circ})$	Indeks Kristalinitas (%)
Bioplastik AA11	20,2302	94,98%

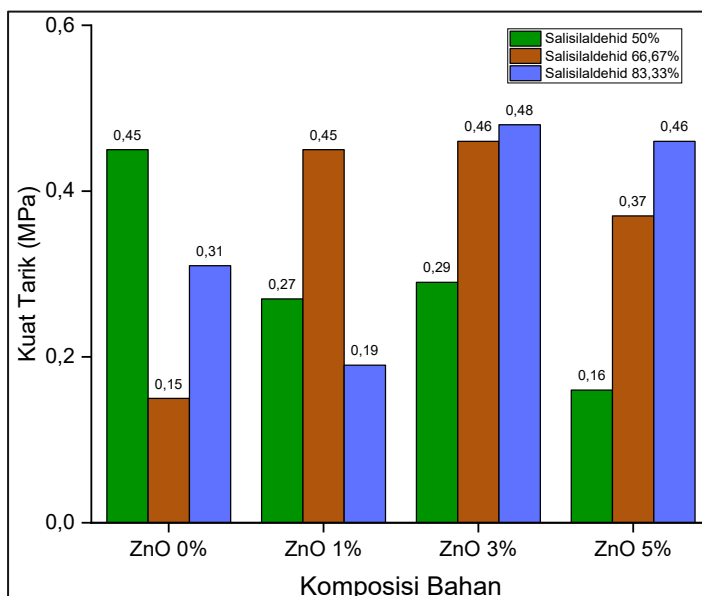
Dengan hasil perhitungan indeks kristalinitas didapat hasil sebesar 94,98%, menunjukan bahwa crosslinking salisilaldehid dan nanopartikel ZnO sebagai filer menghasilkan perubahan signifikan pada pola XRD. Kristalinitas kitosan meningkat karena terbentuknya ikatan *schiff base* dan koordinasi dengan nanopartikel ZnO sebagai *filler* (Montaser dkk., 2018). Dengan demikian, tingginya indeks kristalinitas penelitian Montaser dkk., (2018) menyatakan alasan bahwa kombinasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO efektif memperkuat jaringan polimer dan meningkatkan stabilitas bioplastik. Puncak difraksi khas komposit nanopartikel tidak nampak pada pola XRD, menurut penelitian (Elhaes et al., 2026)

yang menjelaskan bahwa interaksi kuat antara gugus amino dan hidroksil kitosan membuat puncak ZnO tidak nampak.

4.2 Pengaruh Variasi Penambahan Salisilaldehid dan Nanopartikel ZnO Terhadap Pengujian Bioplastik

4.2.1 Hasil Uji Kuat Tarik

Uji tarik dilakukan dengan tujuan untuk menilai karakteristik mekanik bioplastik, yaitu seberapa baik material dapat menahan gaya tarik yang diterima hingga mengalami kerusakan atau putus sebelum pecah (Maulana dkk., 2026). Pada penelitian ini, pengujian kuat tarik dan *elongasi* dilakukan berdasarkan pedoman ASTM D882 (*American Society for Testing and Materials*). Bioplastik yang akan diuji dipersiapkan dan dipotong sesuai ukuran yang telah ditetapkan yaitu panjang berukuran 100 mm, lebar 25 mm dan tinggi dari 1 mm. Hasil uji persentase kuat tarik dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Uji Kuat Tarik

Hasil pengujian kuat tarik dari grafik menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi terlihat pada variasi salisilaldehid 83,33% dan nanopartikel ZnO sebesar 3%. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa penambahan nanopartikel ZnO 3% cenderung menghasilkan nilai tarik tinggi dan dibuktikan pada variasi salisilaldehid 50% dengan nilai 0.29 MPa, 66,67% dengan nilai 0,46 MPa dan 83,33% dengan nilai 0.48 MPa. Penambahan nanopartikel 3% memiliki nilai

kuat tarik tinggi dibandingkan dengan variasi nanopartikel ZnO 0% dan 5%. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Sapei et al., (2016) yang melaporkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO dengan konsentrasi optimum dapat meningkatkan konsentrasi dapat meningkatkan kuat tarik bioplastik, sedangkan peningkatan konsentrasi ZnO diatas nilai optimum menyebabkan penurunan sifat mekanik akibat terjadinya aglomerasi nanopartikel.

Peningkatan jumlah nanopartikel ZnO sebagai *filler* dan juga bahan yang bekerja sebagai antimikroba. Penambahan nanopartikel ZnO 0% memiliki nilai kuat tarik tinggi kemudian mengalami mengalami penurunan nanopartikel ZnO 1 % pada variasi salisilaldehid 50% karena jumlah partikel ZnO sangat kecil untuk membuat ikatan silang yang kuat dengan rantai kitosan. Kemudian semakin bertambahnya variasi nanopartikel ZnO Hal ini menyebabkan struktur bioplastik menjadi tidak stabil, sehingga kekuatan tariknya menjadi lebih rendah. Dapat dilihat bahwa untuk variasi ini salisilaldehid membentuk ikatan Schiff base yang sudah mampu memperkuat matriks kitosan, sehingga tanpa ZnO dapat memberikan nilai kuat tarik lebih baik (Evcil et al., 2022)e.

Selanjutnya, untuk nanopartikel ZnO 1% pada variasi salisilaldehid 66,67% sudah terbentuk ikatan silang yang efektif pada rantai kitosan yang mengakibatkan kekuatan tarik yang rendah, lalu mengalami peningkatan (Rahman dkk., 2018). Kemudian dengan pada penambahan nanopartikel ZnO 5% dengan proporsi yang lebih tinggi, terjadi perubahan kecil pada nilai kekuatan tarik. Hal ini mungkin disebabkan oleh munculnya titik-titik lemah pada matriks yang disebabkan oleh aglomerasi atau penggumpalan, serta distribusi nanopartikel yang tidak merata. Penggumpalan *nanofiller* tersebut mengakibatkan konsentrasi tegangan di area tertentu, sehingga retakan dapat muncul dan menyebar dengan lebih cepat. Kondisi ini mampu memicu terjadinya pemisahan ikatan antar matriks dan partikel, yang akhirnya berujung pada kegagalan material yang lebih cepat dan penurunan nilai kekuatan tarik, seperti yang diungkapkan oleh beberapa penelitian sebelumnya (Agustin dkk., 2019).

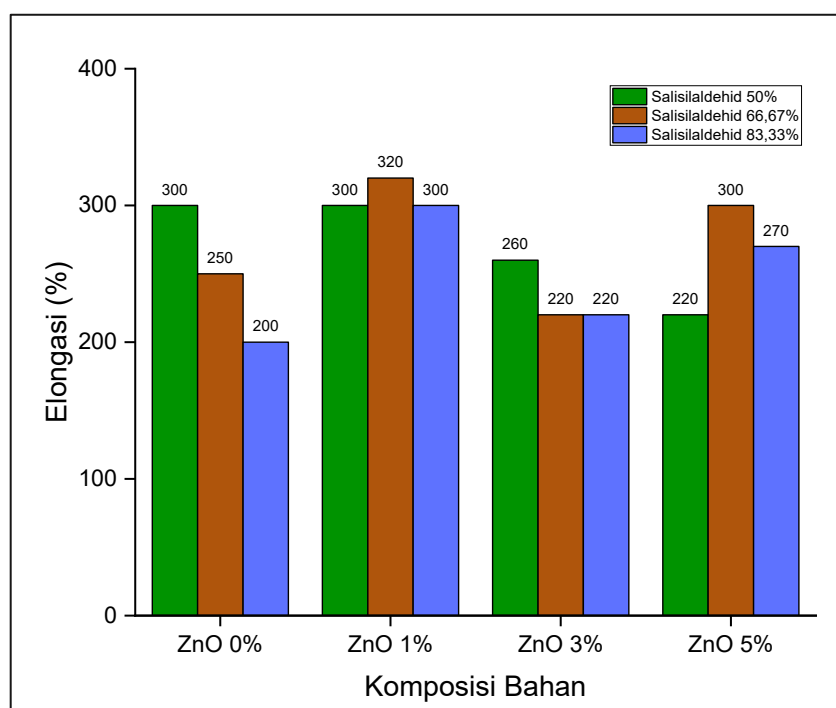
Nilai kuat tarik tidak hanya dipengaruhi oleh penambahan nanopartikel ZnO, tetapi juga gliserol mempengaruhi. Hal ini dapat dilihat pada grafik bahwa

kuat tarik tidak memenuhi standar kuat tarik bioplastik JIS-Z-1707:1975. Hal tersebut dikarenakan gliserol memiliki fungsi sebagai plasticizer, yang memperbaiki karakteristik mekanis dan kejernihan film yang dihasilkan. Bioplastik ini memanfaatkan gliserol sebagai plasticizer yang memiliki keuntungan dalam meningkatkan kelenturan dan elastisitas bioplastik, sehingga mengurangi kekakuan pada struktur molekul (Muliawati dkk., 2025). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi kitosan dan gliserol tidak mampu mencapai kuat tarik maksimal sesuai standar JIS-Z-1707:1975, karena gliserol melemahkan ikatan hidrogen antar kuat tarik maksimal sesuai standar JIS-Z-1707:1975, karena gliserol melemahkan ikatan hidrogen antar rantai polimer meskipun ada pembentukan ikatan oleh *crosslinking* (Kholiq & Kusuma, 2024).

Penambahan variasi salisilaldehid sebagai *crosslinking* pada pembentukan ikatan *Schiff base* antara kitosan dan salisilaldehid menghasilkan suatu struktur yang lebih padat dan meningkatkan ciri mekanik membran polimer (Montaser dkk., 2018). Namun pada hasil grafik menunjukkan tidak ada peningkatan signifikan pada kuat tarik, yang diduga disebabkan oleh konsentrasi yang belum mencapai titik optimum atau kondisi reaksi atau kondisi saat proses pembuatan yang kurang mendukung, sejalan dengan penelitian Kholiq (2024) yang menunjukkan bahwa penambahan *plasticizer* atau *crosslinking* tertentu dapat mengurangi kekuatan ikatan antara rantai polimer, sehingga kekuatan tarik tetap rendah. Oleh karena itu, keefektifan salisilaldehid sebagai *crosslinking* sangat tergantung pada konsentrasi dan kondisi selama proses sintesis, dan tidak selalu meningkatkan sifat mekanika.

4.2.2 Hasil Uji *Elongasi*

Presentase pemanjangan (*elongasi*) merupakan salah satu sifat mekanik bioplastik. Elastisitas merupakan indikator kekakuan atau fleksibel suatu material ketika diberi tekanan. Nilai elastisitas (*modulus young*) didapatkan dengan membandingkan kekuatan tarik dengan pemanjangan saat material putus (Annisa dkk., 2024). Hasil presentase elongasi dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut.



Gambar 4. 7 Grafik Elongasi Bioplastik

Berdasarkan Gambar 4.7 peningkatan kuat tarik tidak selalu penurunan nilai elongasi, kondisi tersebut memungkinkan material memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar tanpa kehilangan fleksibilitasnya (Abo et al., 2026). Nilai elongasi bioplastik menunjukkan pola yang berbeda pada tiap variasi konsentrasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO. Terlihat bahwa buat nilai elongasi yang tinggi hal ini disebabkan oleh faktor utama yaitu penggunaan gliserol. Gliserol sebagai pengikat yang terlalu banyak yang menyebabkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan menjadi lemah sehingga struktur menjadi lebih longgar dan pertambahan panjang sampel pada bioplastik (Lestari dkk., 2025).

Berdasarkan grafik terlihat bahwa pada variasi penambahan nanopartikel ZnO 1% mengalami peningkatan pada persentase nilai *elongasi*. Hal ini diduga disebabkan oleh munculnya titik-titik lemah pada matriks yang disebabkan oleh aglomerasi atau penggumpalan, serta distribusi nanopartikel yang tidak merata. Penggumpalan *nanofiller* tersebut mengakibatkan konsentrasi tegangan di area tertentu, sehingga retakan dapat muncul dan menyebar dengan lebih cepat. Kondisi ini mampu memicu terjadinya

pemisahan ikatan antar matriks dan partikel, yang akhirnya berujung pada kegagalan material yang lebih cepat dan penurunan nilai kekuatan tarik, seperti yang diungkapkan oleh beberapa penelitian sebelumnya (Agustin dkk., 2019).

Nilai elongasi 50% salisilaldehid tertinggi diperoleh pada variasi ZnO 0% dan 1%, yaitu sebesar 300%, kemudian menurun menjadi 260% pada ZnO 3% dan mencapai nilai terendah sebesar 220% pada ZnO 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel ZnO menyebabkan matriks bioplastik menjadi lebih kaku sehingga kemampuan material untuk mengalami deformasi sebelum putus berkurang. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Sapei dkk., (2017) yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi ZnO dari 1% hingga 3% pada variasi 50%, 66,67%, 83,33% bioplastik menyebabkan nilai elongasi terus menurun. menjelaskan bahwa penambahan ZnO meningkatkan kekakuan matriks polimer sehingga fleksibilitas material berkurang, meskipun pada konsentrasi optimum ZnO mampu meningkatkan kuat tarik secara signifikan. Kemudian pada konsentrasi ZnO dari 5% dengan variasi penambahan 66,67% dan 83,33% mengalami kenaikan nilai elongasi hal ini kondisi optimum tidak lagi memberikan peningkatan sifat mekanik sifat mekanik, bahkan elongasi cenderung meningkat akibat homogenitas dispersi ZnO, tingkat aglomerasi, interaksi antarmuka antara ZnO, tingkat aglomerasi, interaksi antarmuka antara ZnO dan matriks polimer, serta efektivitas pembentukan jaringan polimer (Aji et al., 2023).

Kemudian terlihat pada grafik bahwa dengan semakin tinggi penambahan salisilaldehid sebagai *crosslinking* terjadi pembentukan ikatan *Schiff base* antara kitosan dan salisilaldehid menghasilkan suatu struktur yang lebih padat dan meningkatkan ciri mekanik membran polimer (Montaser dkk., 2018). Namun pada hasil grafik menunjukkan tidak ada peningkatan signifikan pada nilai presentase *elongasi*, yang kemungkinan disebabkan oleh konsentrasi yang belum mencapai titik optimum atau kondisi reaksi atau kondisi saat proses pembuatan yang kurang mendukung, sejalan dengan penelitian Kholiq (2024) yang menunjukkan bahwa penambahan *plasticizer* atau *crosslinking* tertentu dapat mengurangi kekuatan ikatan antara rantai polimer, sehingga nilai presentase *elongasi* tetap tinggi. Oleh karena itu, keefektifan salisilaldehid

sebagai *crosslinking* sangat tergantung pada konsentrasi dan kondisi selama proses sintesis, dan tidak selalu meningkatkan sifat mekanik.

4.2.3 Hasil Uji Degredasi

Soil burial test pada bioplastik merupakan metode pengujian biodegradasi yang dilakukan dengan mengubur sampel bioplastik di dalam tanah untuk mengevaluasi perubahan fisik akibat aktivitas (Papilaya dkk., 2024). Uji biodegradabilitas bertujuan mengevaluasi kemampuan dekomposisi suatu material di lingkungan. Secara umum, mekanisme degradasi dapat berlangsung melalui jalur kimiawi (hidrolisis), biologis (enzimatik atau mikrobial), mekanik (angin dan abrasi), maupun fotodegradasi (Saputro & Ovita, 2017). Hasil pengujian *Soil burial test* dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil dari pengujian *Soil burial test*

NO	Kode Sampel	Komposisi	Berat Awal 3 Hari (gram)	Berat Awal 9 Hari (gram)	Berat Awal 15 Hari (gram)	Berat Akhir 3 Hari (gram)	Berat Akhir 9 Hari (gram)	Berat Akhir 15 Hari (gram)
1	AA1	50% salisilaldehid 0% nanopartikel ZnO	0,17	0,17	0,17	0,04	0	0
2	AA2	50% salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,157	0,254	0,136	0,834	0,49	0
3	AA3	50% salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,153	0,174	0,156	0,511	0,342	0
4	AA4	50% salisilaldehid 5% nanopartikel ZnO	0,238	0,258	0,221	0,808	0,532	0
5	AA5	66,67% salisilaldehid 0% nanopartikel	0,17	0,17	0,17	0,06	0	0

NO	Kode Sampel	Komposisi	Berat Awal 3 Hari (gram)	Berat Awal 9 Hari (gram)	Berat Awal 15 Hari (gram)	Berat Akhir 3 Hari (gram)	Berat Akhir 9 Hari (gram)	Berat Akhir 15 Hari (gram)
		ZnO						
6	AA6	66,67% salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,257	0,206	0,191	0,86	0,582	0
7	AA7	66,67% salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,318	0,258	0,216	1,544	0,752	0
8	AA8	66,67% salisilaldehid 5% nanopartikel ZnO	0,246	0,272	0,227	1,757	1,21	0
9	AA9	83,33% salisilaldehid 0% nanopartikel ZnO	0,15	0,15	0,15	0,05	0	0
10	AA10	83,33% salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,295	0,272	0,297	1,759	1,047	0
11	AA11	83,33% salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,333	0,253	0,299	1,931	1,304	0
12	AA12	83,33% salisilaldehid 5% nanopartikel ZnO	0,413	0,419	0,326	1,912	1,717	0

Dari hasil analisa *soil burial test* mengalami peningkatan berat pada setiap variasi dan ditandai dengan menempelnya pasir/partikel tanah pada permukaan bioplastik. Hal ini merupakan bukti adanya perubahan porositas

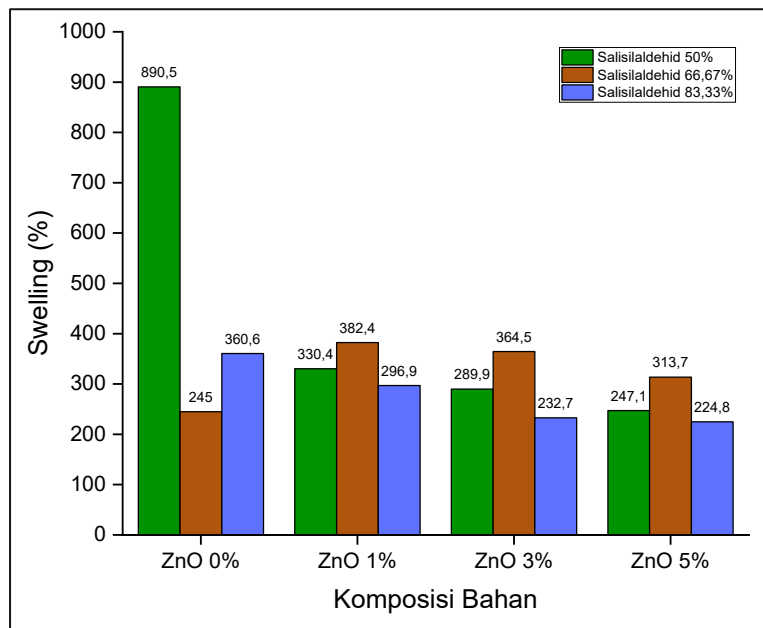
akibat degradasi sesuai dengan penelitian Montaser dkk. (2018) yang menyatakan bahwa hasil uji degradasi yang sangat tinggi pada kitosan murni menandakan sifat hidrofilik alami kitosan yang mampu menyerap air cukup tinggi. Selain itu dengan penambahan penggunaan gliserol sebagai pengikat yang terlalu banyak yang menyebabkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan menjadi lemah sehingga struktur menjadi lebih longgar dan mudah menyerap air yang terkandung dalam tanah (Lestari dkk., 2025).

Berdasarkan penambahan salisilaldehid yang berfungsi sebagai *crosslinking*, dilihat pada grafik Tabel 4.7 menunjukkan semakin banyak salisilaldehid bisa memperkuat jaringan, tetapi menunjukkan degradasi pada bioplastik. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan salisilaldehid dapat memperlambat proses degradasi, sekaligus memperbaiki sifat mekanik pada bioplastik. Sebaliknya dengan semakin sedikit penambahan salisilaldehid menunjukkan percepatan dalam proses degradasinya (Montaser dkk., 2018). Berdasarkan analisis grafik, penambahan nanopartikel ZnO menghasilkan penurunan berat akibat degradasi yang cenderung berlangsung lebih lambat. Ini sesuai dengan peran ZnO sebagai pengisi yang meningkatkan sifat mekanik bioplastik (Salsabil dkk., 2024). Selain itu, penambahan salisilaldehid juga meningkatkan ikatan silang di antara rantai polimer sehingga memperkuat rantai polimer. Namun, bioplastik yang mengandung nanopartikel ZnO tetap mengalami degradasi. Dibawah sinar matahari, sifat fotokatalitik dari nanopartikel ZnO memproduksi radika aktif yang mempercepat pemutusan rantai polimer (Beta & Purbasari, 2022). Hal ini mengakibatkan penurunan berat yang signifikan antara hari ke-3 hingga ke-9, kemudian pada hari ke 15 mengalami 100% degradasi sudah sesuai dengan SNI 71887-2022 yaitu biodegradabilitas 90% selama maksimal 180 hari.

4.2.4 Hasil Uji Persentase *Swelling*

Pengujian pembengkakan dilakukan untuk menilai kemampuan bioplastik dalam mempertahankan karakteristiknya setelah proses pembentukan. Persentase pembengkakan yang tercermin melalui peningkatan ketebalan atau berat bioplastik menunjukkan seberapa banyak air diserap ke dalam matriks bioplastik. Nilai pembengkakan yang lebih tinggi menandakan

bahwa material memiliki kemampuan lebih besar dalam menyerap air. Hasil uji persentase swelling dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Uji *Swelling*

Hasil pengujian persentase pembengkakan air (*swelling*) menunjukkan bahwa nilai swelling terendah diperoleh pada komposisi salisilaldehid 83,33% dengan ZnO 5%, yaitu sebesar 224,80%, diikuti oleh salisilaldehid 83,33% dengan ZnO 3% sebesar 232,70%, dan salisilaldehid 66,67% dengan ZnO 0% sebesar 245%. Pada variasi salisilaldehid 83,33%, nilai swelling menurun secara konsisten seiring penambahan ZnO, dari 360,6% pada konsentrasi ZnO 0% menjadi 224,8% pada konsentrasi ZnO 5%, menunjukkan bahwa penambahan ZnO pada rasio salisilaldehid tinggi efektif menurunkan pembengkakan air. Namun, pola ini tidak berlaku seragam pada variasi salisilaldehid lain. Pada variasi 66,67%, nilai swelling terendah justru dicapai pada ZnO 0% dengan nilai 245%, sehingga penurunan *swelling* akibat penambahan ZnO lebih konsisten teramati pada rasio salisilaldehid 83,33% dibandingkan rasio salisilaldehid 66,67%.

Hasil yang diperoleh sejalan dengan pernyataan Salsabil dkk. (2024) yang menekankan bahwa efektivitas *filler* nanopartikel ZnO dalam mengurangi pembengkakan bergantung pada kadar dan keseragaman dispersinya di dalam matriks. Pola serupa juga sejalan dengan temuan Rahman dkk., (2017) pada

bioplastik kitosan dan nanopartikel ZnO, yang melaporkan bahwa penyerapan air pertama-tama meningkat, melewati titik maksimum, lalu turun menuju nilai konstan yang menunjukkan keadaan setimbang penyerapan; batas maksimum penyerapan tersebut tercapai segera setelah bioplastik bersentuhan dengan air. Pada variasi salisilaldehid 66,67%, nilai swelling pada ZnO 0% justru lebih rendah dibandingkan ZnO 1% (245% berbanding 382,4%). Fenomena ini diduga terjadi akibat aglomerasi nanopartikel ZnO pada dispersi yang belum optimal, di mana distribusi ZnO yang tidak merata dalam matriks polimer dapat menciptakan rongga tambahan yang meningkatkan porositas bioplastik, sejalan dengan pengamatan aglomerasi ZnO pada kadar tinggi yang dilaporkan Tabassum dkk., (2023)

Tingginya nilai presentase swelling bisa disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, penggunaan gliserol sebagai pengikat yang terlalu banyak yang menyebabkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan menjadi lemah sehingga struktur menjadi lebih longgar dan mudah menyerap air (Lestari dkk., 2025). Karakteristik mekanik yang kurang baik serta ketahanan terhadap air yang rendah menjadi hambatan utama dalam penggunaannya, sehingga diperlukan perubahan atau tambahan bahan penguat untuk meningkatkan kinerja bioplasatik kitosan (Li dkk., 2021).

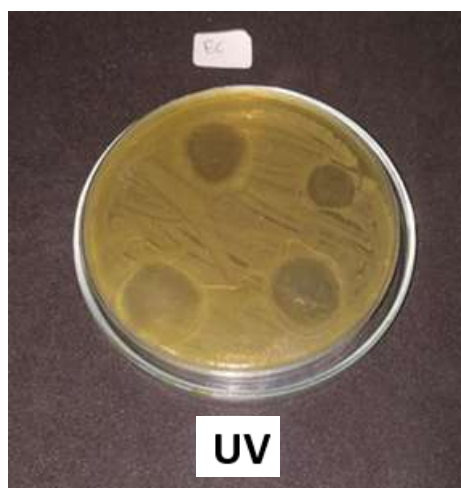
Faktor kedua dilihat pada grafik sesuai dengan penelitian Montaser dkk. (2018) yang menyatakan bahwa hasil nilai presentasi *swelling* yang sangat tinggi pada kitosan murni menandakan sifat hidrofilik alami kitosan yang mampu menyerap air cukup tinggi. Kemudian dengan penambahan salisilaldehid dapat menurunkan nilai presentas *swelling*. Hal ini dikarenakan *crosslinking* pada kitosan menghasilkan ikatan *schiff base* yang memperkuat jaringann polimer, mengakibatkan nilai swelling menurun. Penurunan ini menunjukkan bahwa ikatan silang yang terbentuk semakin rapat, sehingga porositas berkurang dan difusi air berkurang. Kemudian penambahan salisilaldehid pada 83,33% dan 5% nanopartikel ZnO didapat hasil nilai presentase *swelling* yang rendah, dan penambahan variasi *filler* juga dapat mengurangi nilai presentase *swelling*.

4.3 Hasil Uji Antimikroba

Pengujian antimikroba pada bioplastik bertujuan untuk memastikan keamanan, kualitas, dan daya tahan produk makanan melalui tiga cara utama, yaitu pelepasan, penyerapan, dan imobilisasi. Dalam pelepasan, zat antimikroba berpindah ke produk untuk mengurangi jumlah mikroba dalam penyerapan, faktor lingkungan seperti kadar oksigen dan kelembapan dijaga, sedangkan imobilisasi berfungsi melalui interaksi langsung di permukaan kemasan tanpa melepaskan zat aktif, yang dianggap lebih efektif untuk produk cair karena menciptakan interaksi antimikroba yang kontinu (Agents dkk., 2024). Kitosan dan nanopartikel ZnO adalah bahan yang bisa digunakan sebagai bahan antibakteri dalam pembuatan biokomposit. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif dipilih sebagai bakteri pengujian karena kitosan dan nanopartikel ZnO, memiliki komposisi dinding sel yang berbeda, yang dapat memberikan informasi tentang rentang efektivitas antibakteri dari bioplastik (Novita dkk., 2022). Pengujian antimikroba dilakukan pada bioplastik dengan variasi terbaik berdasarkan nilai kuat tarik, yaitu penambahan salisilaldehid 83,33% dan nanopartikel ZnO 3%.

4.3.1 Hasil Uji Antimikroba Terhadap Bakteri *Escherichia coli* (*E.Coli*)

Dalam penelitian ini menggunakan bakteri gram negatif bakteri *Escherichia coli* (Novita dkk., 2022).. Bakteri *E. coli* adalah patogen bakteri umum yang terkait dengan makanan asal hewan. Kelompok gram negatif sering dikaitkan dengan kontaminasi pangan dan menyebabkan diare (Abebe dkk., 2020). Parameter keberhasilan bioplastik diamati berdasarkan kemampuan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli*. Pada penelitian ini dilakukan sampel bioplastik dengan sinar UV dan tanpa sinar UV, kemudian dilakukan 2 kali pengujian duplo.



Gambar 4. 10 Hasil Uji Terhadap Bakteri *Escherichia coli* (*E.Coli*)

Berdasarkan Gambar 4.10 yaitu perlunya sterilisasi sampel bioplastik sebelum uji antimikroba. Berdasarkan hasil penelitian antimikroba menunjukkan kemampuan dalam menekan pertumbuhan bakteri *E. coli*. Ini menunjukkan adanya zona hambat yang ditandai dengan area bening di sekitar lubang sumuran. Ukuran zona bening yang terbentuk membuktikan kelompok perlakuan terhadap bakteri *E. Coli*.

Tabel 4.6 Hasil dari pengujian antimikroba

No	Sampel	Zona hambat (mm)	Rata – rata (mm)	Kategori Daya Hambat (Fadhila dkk., 2021)
1.	Tanpa disterilisasi sinar UV	11.63	14,62	Kuat
		12.28		
		19.96		
2.	Tanpa disterilisasi sinar UV (Duplo)	15.06	16,26	Kuat
		17.84		
		15.87		
3.	Dengan disterilisasi sinar UV	21.25	18,97	Kuat

No	Sampel	Zona hambat (mm)	Rata – rata (mm)	Kategori Daya Hambat (Fadhila dkk., 2021)
		16.54		
		19.13		
4.	Dengan disterilisasi sinar UV (Duplo)	16.39	18,45	Kuat
		19.02		
		19.94		

Hasil pengukuran diameter zona hambat kitosan terhadap bakteri *E. Coli*, membuktikan bahwa terjadi zona hambat. Terlihat bahwa sampel yang disterilisasi menggunakan sinar UV menghasilkan diameter zona hambat yang lebih besar dibandingkan sampel yang tanpa disterilisasi menggunakan sinar UV. Hal ini diperkuat oleh penelitian Zhang dkk., (2021) pengukuran aktivitas zona hambat antimikroba dalam sampel bioplastik dilakukan dengan mengamati diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar bioplastik setelah inkubasi. Diameter zona hambat diukur dengan jarak total daerah bening dari satu sisi ke sisi lainnya melalui titik tengah sampel bioplastik. pengukuran dilakukan di seluruh lingkaran zona hambat dapat dilakukan dengan pengukuran rata rata besar diamter zona hambat yang dihasilkan. Untuk ukuran sampel bioplastik yang digunakan sama dengan ukuran dari kertas cakram dengan diameter 6 mm.

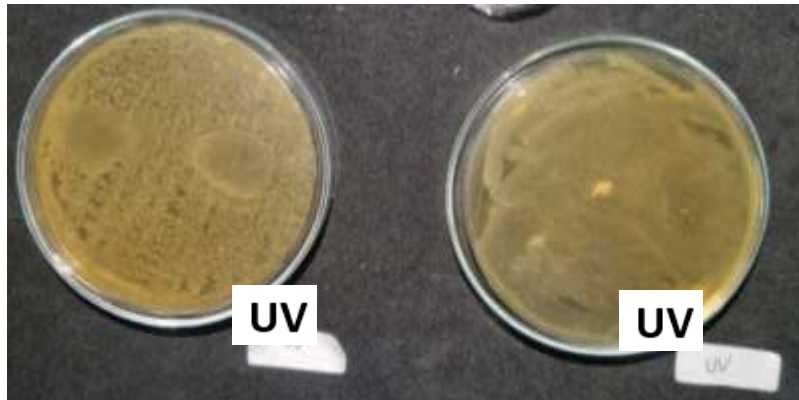
Kemudian dari hasil analisa zona hambat pada Gambar 4.10 dapat dinyatakan bahwa bioplastik berbahan dasar kitosan dengan variasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO bioplastik antimikroba. Dengan rata rata tertinggi yaitu 18,97 mm yang tergolong zona hambat kuat (Fadhila dkk., 2021). Namun terdapat kekurangan yaitu sampel bioplastik melebur diatas media Nutriet Agar (NA) hal ini dikarenakan tingginya nilai presentase *swelling* pada penelitian ini, Hal ini bisa disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, penggunaan gliserol sebagai pengikat yang terlalu banyak yang menyebabkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan menjadi lemah sehingga struktur menjadi lebih longgar dan mudah menyerap air (Lestari dkk.,

2025). Faktor kedua dilihat pada gambar sesuai dengan penelitian Montaser dkk., (2018) yang menyatakan bahwa hasil nilai presentasi *swelling* yang sangat tinggi pada kitosan murni menandakan sifat hidrofilik alami kitosan yang mampu menyerap air cukup tinggi.

4.3.2 Hasil Uji Antimikroba Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.Aureus*)

Dalam penelitian ini menggunakan bakteri gram positif bakteri *Staphylococcus aureus* (Novita dkk., 2022). Dalam penelitian Rismawati dkk., (2022) menekankan *S. Aureus* dipilih karena merupakan penyebab utama berbagai infeksi pada manusia, termasuk infeksi kulit dan keracunan makanan. Kitosan dan nanopartikel ZnO adalah bahan yang bisa digunakan sebagai bahan antibakteri dalam pembuatan biokomposit. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif dipilih sebagai bakteri pengujian karena kitosan dan nanopartikel ZnO, memiliki komposisi dinding sel yang berbeda, yang dapat memberikan informasi tentang rentang efektivitas antibakteri dari bioplastik (Novita dkk., 2022).

Menurut Zhang dkk., (2021) pengukuran aktivitas zona hambat antimikroba dalam sampel bioplastik dilakukan dengan mengamati diameter zona hambat yang terbentuk di sekitar bioplastik setelah inkubasi. Diameter zona hambat diukur dengan jarak total daerah bening dari satu sisi ke sisi lainnya melalui titik tengah sampel bioplastik. pengukuran dilakukan di seluruh lingkaran zona hambat dapat dilakukan dengan pengukuran rata rata besar diameter zona hambat yang dihasilkan. Untuk ukuran sampel bioplastik yang digunakan sama dengan ukuran dari kertas cakram dengan diameter 6 mm. Berikut gambar hasil pengujian antimikroba terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.Aureus*).



Gambar 4. 11 Hasil Uji Terhadap Bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.Aureus*).

Terlihat pada gambar sampel bioplastik melebur diatas media Nutriet Agar (NA) hal ini dikarenakan tingginya nilai presentase swelling pada penelitian ini, Hal ini bisa disebabkan oleh dua faktor utama. Pertama, penggunaan gliserol sebagai pengikat yang terlalu banyak yang menyebabkan ikatan hidrogen antar rantai kitosan menjadi lemah sehingga struktur menjadi lebih longgar dan mudah menyerap air (Lestari dkk., 2025). Faktor kedua dilihat pada gambar sesuai dengan penelitian Montaser dkk., (2018) yang menyatakan bahwa hasil nilai presentasi swelling yang sangat tinggi pada kitosan murni menandakan sifat hidrofilik alami kitosan yang mampu menyerap air cukup tinggi.

Kemudian berdasarkan gambar pengujian terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.Aureus*). tidak terlihat zona hambat atau zona bening. Hasil penelitian dari (Suherman et al., 2018) menunjukkan kitosan kulit udang memiliki kemampuan menghambat pertumbuhan bakteri bakteri *Escherichia coli* lebih tinggi dibandingkan bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.Aureus*). Hal ini ditunjukan terdapat zona hambat atau zona bening dibandingkan bakteri gram positif. Perbedaan ini diperkirakan berhubungan dengan interaksi antara kelompok amino ($-NH_2$) yang memiliki muatan positif pada kitosan dengan elemen dinding sel bakteri. Kelompok amino pada kitosan mampu berikatan dengan permukaan sel bakteri yang memiliki muatan negatif, yang mengakibatkan gangguan pada permeabilitas membran serta menghalangi pertumbuhan bakteri.

4.4 Hasil Uji Statistik

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data yang ada mengikuti distribusi tertentu. Hal ini memberikan dampak yang berarti terhadap karakteristik

fisik, mekanik dari bioplastik (Sultan dkk., 2023). Berikut hipotesis yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

4.4.1 Uji Normalitas

Uji normalitas dalam studi ini dilaksanakan dengan metode Shapiro–Wilk pada tingkat signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan apakah data pada setiap variabel penelitian mengikuti distribusi yang normal atau sebaliknya. Kriteria dalam pengambilan keputusan menyatakan bahwa data dianggap berdistribusi normal jika nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, sedangkan jika nilai signifikansi sama dengan atau kurang dari 0,05, maka data dinyatakan tidak berdistribusi normal. Data hasil pengujian normalitas dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Uji Normalitas *Shapiro-Wilk*

Variabel Penelitian	Variasi	Probabilitas (Sig)	Keterangan	Kesimpulan
Biodegradasi	Nanopartikel ZnO 0%	0,037	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 1%	0,000	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 3%	0,009	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 5%	0,001	Sig < 0,05	Tidak Normal
<i>Swelling</i>	Nanopartikel ZnO 0%	0,003	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 1%	0,027	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 3%	0,033	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 5%	0,007	Sig < 0,05	Tidak Normal
<i>Elongasi</i>	Nanopartikel	0,037	Sig < 0,05	Tidak Normal

Variabel Penelitian	Variasi	Probabilitas (Sig)	Keterangan	Kesimpulan
	ZnO 0%			
	Nanopartikel ZnO 1%	0,000	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 3%	0,000	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 5%	0,024	Sig < 0,05	Tidak Normal
Kuat tarik	Nanopartikel ZnO 0%	0,036	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 1%	0,014	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 3%	0,009	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Nanopartikel ZnO 5%	0,012	Sig < 0,05	Tidak Normal
Biodegradasi	Salisilaldehid 50%	0,004	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 66,67%	0,017	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 83,33%	0,000	Sig < 0,05	Tidak Normal
<i>Swelling</i>	Salisilaldehid 50%	0,000	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 66,67%	0,017	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 83,33%	0,008	Sig < 0,05	Tidak Normal
<i>Elongasi</i>	Salisilaldehid 50%	0,004	Sig < 0,05	Tidak Normal

Variabel Penelitian	Variasi	Probabilitas (Sig)	Keterangan	Kesimpulan
	Salisilaldehid 66,67%	0,026	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 83,33%	0,026	Sig < 0,05	Tidak Normal
Kuat tarik	Salisilaldehid 50%	0,028	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 66,67%	0,001	Sig < 0,05	Tidak Normal
	Salisilaldehid 83,33%	0,009	Sig < 0,05	Tidak Normal

Berdasarkan hasil uji normalitas Shapiro–Wilk, seluruh data pada variabel biodegradasi, swelling, elongasi, dan kuat tarik menunjukkan nilai signifikansi < 0,05. Hal ini menandakan bahwa data tidak berdistribusi normal. Hal ini sejalan dengan Mishra dkk., (2019) yang menegaskan bahwa apabila nilai $p < 0,05$ maka analisis parametrik tidak dapat diterapkan dan harus diganti dengan metode non-parametrik.

4.4.2 Hasil Uji Homogenitas

Uji keseragaman dalam studi ini dilakukan dengan *Levene's Test* pada level signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan apakah variansi di antara kelompok perlakuan adalah serupa, sehingga dapat dipastikan bahwa data memenuhi asumsi keseragaman. Asumsi ini sangat penting karena keseragaman variansi adalah salah satu syarat dasar dalam penerapan analisis parametrik. Data hasil uji homogenitas dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9

Tabel 4.8 Hasil Uji Homogenitas nanopartikel ZnO

Variabel Penelitian	Nilai Sig	Keterangan	Kesimpulan
Kuat Tarik	0,634	Sig > 0,05	Homogen
Elongasi	0,009	Sig < 0,05	Tidak Homogen

<i>Swelling</i>	0,000	Sig < 0,05	Tidak Homogen
Biodegradasi	0,090	Sig > 0,05	Homogen

Hasil pemeriksaan homogenitas menunjukkan bahwa variabel kuat tarik memiliki nilai signifikansi sebesar 0,634 (sig> 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen dan biodegradasi memiliki nilai signifikansi sebesar 0,090 (sig >0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen. Kemudian pada variabel *swelling* memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 (sig < 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat tidak homogen dan variabel *elongasi* memiliki nilai signifikansi sebesar 0,009 (sig < 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat tidak homogen.

Tabel 4.9 Hasil Uji Homogenitas salisilaldehid

Variabel Penelitian	Nilai Sig	Keterangan	Kesimpulan
Kuat Tarik	0,455	Sig > 0,05	Homogen
<i>Elongasi</i>	0,320	Sig > 0,05	Homogen
<i>Swelling</i>	0,000	Sig < 0,05	Tidak Homogen
Biodegradasi	0,008	Sig < 0,05	Tidak Homogen

Hasil pemeriksaan homogenitas menunjukkan bahwa variabel kuat tarik memiliki nilai signifikansi sebesar 0,455 (sig> 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen dan *elongasi* memiliki nilai signifikansi sebesar 0,320 (sig >0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat homogen. Kemudian pada variabel *swelling* memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 (sig < 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat tidak homogen dan variabel biodegradasi memiliki nilai signifikansi sebesar 0,008 (sig < 0,05), yang menunjukkan bahwa varians antar kelompok perlakuan bersifat tidak homogen

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa asumsi homogenitas varians dalam studi ini tidak sepenuhnya dipenuhi. Oleh karena itu, penggunaan analisis parametrik menjadi kurang tepat. Menurut pendapat (Mishra dkk., 2019) pemilihan metode statistik seharusnya disesuaikan dengan karakteristik data dan distribusinya. Teknik statistik parametrik dan non-parametrik adalah alat

yang bisa digunakan secara fleksibel dalam berbagai jenis penelitian kuantitatif di bidang ilmu kesehatan. Pemilihan salah satu teknik tersebut tergantung pada pertanyaan penelitian, jenis data yang digunakan, serta asumsi dasar dari metode statistik yang dipilih. Memilih teknik yang tepat akan memastikan analisis benar-benar mencerminkan data dan secara efektif menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan. Dengan demikian, analisis dalam penelitian ini dilanjutkan menggunakan metode non-parametrik Kruskal–Wallis, yang lebih sesuai dengan kondisi data berdasarkan hasil uji normalitas dan uji homogenitas.

4.4.3 Hasil Uji Nonparametrik Kruskal-Wallis

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap uji normalitas dan homogenitas, diketahui bahwa data penelitian tidak sepenuhnya memenuhi persyaratan untuk analisis parametrik. Oleh karena itu, langkah analisis dilanjutkan dengan menggunakan metode nonparametrik Kruskal–Wallis guna mengevaluasi pengaruh kombinasi konsentrasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO terhadap karakteristik bioplastik. Hasil pengujian Kruskal–Wallis disajikan pada Tabel 4.10

Tabel 4.8 Hasil Uji Normalitas *Shapiro-Wilk* nanopartikel ZnO

Variabel	Asymp. Sig.	Keterangan	Interpretasi
Kuat Tarik	0.000	Sig < 0,05	Ada pengaruh signifikan
<i>Elongasi</i>	0.000	Sig < 0,05	Ada pengaruh signifikan
Biodegradasi	0.000	Sig < 0,05	Ada pengaruh signifikan
<i>Swelling</i>	0.000	Sig < 0,05	Ada pengaruh signifikan

Berdasarkan hasil uji Kruskal–Wallis, seluruh variabel penelitian (kuat tarik, *elongasi*, biodegradasi, dan *swelling*) memiliki nilai signifikansi sebesar 0,000 (sig < 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari perlakuan kombinasi konsentrasi nanopartikel ZnO dan salisilaldehid terhadap sifat-sifat bioplastik yang diuji.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Bioplastik berbasis kitosan dari kulit udang dengan penambahan salisilaldehid dan nanopartikel ZnO menunjukkan karakteristik khas analisis FTIR, SEM dan XRD. Hasil FTIR mengkonfirmasi adanya ikatan silang antara kitosan dan salisilaldehid dibuktikan dengan keberadaan gugus fungsi $-OH$, $C-H$, $C=O$, $C-O$ dan $C=N$ terbentuk dengan baik. Analisis SEM memperlihatkan perubahan morfologi permukaan yaitu ditemukan pada kitosan yang telah dimodifikasi menunjukkan bahwa *schiff base* dari kitosan dan salisilaldehid, memiliki pembentukan *schiff base* dan adanya nanopartikel ZnO. Kemudian XRD menunjukan peningkatan kristalinitas sebesar 94,98% akibat variasi konsentrasi penambahn bahan salisilaldehid dan nanopartikel ZnO.
2. Variasi konsentrasi salisilaldehid dan ZnO berpengaruh terhadap sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi), *swelling*, serta tingkat degradasi bioplastik. Dibuktikan dengan hasil uji kuat tarik menunjukan bahwa nilai kuat tarik tertinggi terlihat pada variasi salisilaldehid 83,33% dan nanopartikel ZnO sebesar 3%. Kemudian dari hasil pengujian *swelling*, dan tingkat degradasi bioplastik membuktikan bahwa salisilaldehid dan nanopartikel ZnO memberikan pengaruh dalam hasil bioplastik.
3. Bioplastik dengan kombinasi salisilaldehid dan nanopartikel ZnO menunjukkan aktivitas antimikroba yang signifikan pada bakteri *E.Coli*. Dibuktikan dengan zona hambat rata rata 18,75 mm memiliki aktivitas antimikroba yang kuat pada rentang 5-10 mm.
4. Karakteristik fisik dan mekanik bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi standar mutu yang ditetapkan dalam JIS-Z-1707:1975. Namun mengalami 100% degradasi sudah sesuai dengan SNI 71887-2022 yaitu biodegrabilitas 90% selama maksimal 180 hari. Bioplastik berbasis kitosan dengan penambahan salisilaldehid dan nanopartikel ZnO berpengaruh terhadap kuat tarik dan elongasi bioplastik dibuktikan dengan interpretasi hasil melalui uji statistika dengan nilai signifikansi sebesar $P \text{ Value} < 0,05$.

5.2 Saran

1. Uji biodegradabilitas *soil burial test* perlu dilakukan dengan metode isolasi jamur.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk upaya peningkatan sifat mekanik. Hal ini dapat dilakukan melalui optimasi konsentrasi salisilaldehid dan ZnO, penambahan plasticizer yang tepat, atau kombinasi dengan bahan penguat lain.

DAFTAR PUSTAKA

- abbas, M., Buntinx, M., & Deferme, W. (2019). (*Bio*) *Polymer / Zno Nanocomposites For Packaging Applications : A Review Of Gas Barrier And Mechanical Properties*. 1–14.
- Abebe, E., Gugsu, G., & Ahmed, M. (2020). *Review On Major Food-Borne Zoonotic Bacterial Pathogens*. 2020.
- Abo, D. M., Samah, A., & Khalifa, M. E. S. A. M. (2026). *Bionanocomposite Films Enriched With Raisin Extract And*.
- Agents, E. A., Films, P., Zubair, M., & Roopesh, M. S. (2024). *An Overview Of Advanced Antimicrobial Food Packaging :*
- Agustin, M. B., Ahmmad, B., Leon, E. R. P. De, Buenaobra, J. L., Salazar, J. R., & Hirose, F. (2019). *Starch-Based Biocomposite Films Reinforced With Cellulose Nanocrystals From Garlic Stalks*. <https://doi.org/10.1002/Pc>
- Agustin, Y. E., & Padmawijaya, K. S. (2016). *Synthesis Of Chitosan-Pati Bioplastics Kepok Banana*. Vol. 10, N, 40–48.
- Aji, A. I., Suyatma, N. E., Arpah, M., & Jayanegara, A. (2023). *Original Article Evaluation Of Different Parameters Of Zinc Oxide Nanoparticles On Bionanocomposite Film Properties : A Meta-Analysis*. 979–986. <https://doi.org/10.1111/Ijfs.16226>
- Akhtar, K., Khan, S. A., & Khan, S. B. (2019). *Scanning Electron Microscopy : Principle And Applications In Nanomaterials Scanning Electron Microscopy : Principle And Applications In Nanomaterials Characterization* (Nomor February). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92955-2>
- Alfarisi, C. D., Fitri, Y., & Nisa, D. K. (2021). *Pengaruh Penambahan Tepung Biji Durian Pada Pembuatan Bioplastik The Effect Of Addition Of Durian Seed Flour On Making Bioplastics E-Jbst V7 Edisi Agustus 2021 Pendahuluan E-Jbst V7 Edisi Agustus 2021 Material Dan Metode Bahan Dan Alat*. 9455, 44–55. <https://doi.org/10.33474/E-Jbst.V7i1.385>
- Alharbi, N. S., & Kadaikunnan, S. (2017). *Facile Green Synthesis Of Zinc Oxide Nanoparticles Using Ulva Lactuca Seaweed Extract And Its Evaluation Of Photocatalytic, Antibiofilm And Larvicidal Activity: Impact On Mosquito Morphology And Biofilm Architecture*. *Journal Of Photochemistry & Photobiology, B: Biology*. <https://doi.org/10.1016/J.jphotobiol.2017.11.006>
- Andriani, Y., Syafri, R., Irma, W., Putri, P. Y., Putri, N., Nuriana, S., & Veronika, D. (2021). *Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu- Kitosan Berisi Pelepah Sawit Dan Plastizier Gliserol*. 12(1), 84–90.

- Annisa, N. Q., Ismanto, S. D., & Santosa. (2024). *Greentech Greentech*. 1(2), 158–172.
- Astuti, A. W., Kusuma, H. H., Studi, P., Fisika, P., Islam, U., Walisongo, N., Fisika, P. S., Islam, U., Syarif, N., Putih, C., & Selatan, K. T. (2019). *Biodegradable Berbahan Dasar Ampas Ubi Kayu Dan*. 2(Ii), 119–128.
- Atanda, S. A., Shaibu, O. R., & Agunbiade, F. O. (2025). *Xrd Analysis And Antibacterial Activity Of Chitosan From Archachatina Marginata Shells : A Novel Approach To Sustainable Antimicrobial Materials*.
- Azizati, Z. (2019). *Pembuatan Dan Karakterisasi Kitosan Kulit Udang Galah E-Mail : Zidni.Azizati@Walisongo.Ac.Id Dd =*. 2(1), 10–16.
- Banowati, R., Puspasari, I., Risky, A., & Hidayat, H. (2024). Papain Assisted Preparation Of Chitosan : Feasibility Study For Candidate In-House Reference Material And Antibacterial Agent. *Food And Humanity*, 2(April), 100313. <https://doi.org/10.1016/J.Foohum.2024.100313>
- Bashal, A. H., Riyadh, S. M., Alharbi, W., Alharbi, K. H., Farghaly, T. A., & Khalil, K. D. (2022). *Biocatalyst For Synthesis Of Thiazoles Tethered Azo Groups*.
- Bassig, D. R. A., Obinque, A. V., Nebres, V. T., Santos, V. H. D., M., D., Madrid, & J., P. And A. J. (2023). Black Tiger Shrimp Processing Waste Can Be Converted Into A Value-Added Powder. *Study Results Show The Potential To Process P. Monodon Processing Waste Into Value-Added Food Ingredients*, January 2022, 1–7.
- Beta, A., & Purbasari, A. (2022). *Optimization And Characterization Of Biodegradable Film Based On Glutinous Flour / Glycerol / Chitosan / Zno Using Response Surface*. 25(10), 368–381.
- Branca, C., Angelo, G. D., Crupi, C., Khouzami, K., Rifici, S., Ruello, G., & Wanderlingh, U. (2016). Role Of The Oh And Nh Vibrational Groups In Polysaccharide-Nanocomposite Interactions: A Ftir-Atr Study On Chitosan And Chitosan/Clay Films. *Polymer*. <https://doi.org/10.1016/J.Polymer.2016.07.086>
- Cahyono, E. (2018). *Karakteristik Kitosan Dari Limbah Cangkang Udang Windu (Panaeus Monodon) Properties Of Chitosan From Giant Tiger Prawn Exoskeleton*. 3(2).
- Chan, M. Y., Koay, S. C., Husseinayah, S., & Sam, S. T. (2016). *Cross-Linked Chitosan/Corn Cob Biocomposite Films With Salicylaldehyde On Tensile, Thermal, And Biodegradable Properties: A Comparative Study*. 0(0), 1–11. <https://doi.org/10.1002/Adv.21784>
- Cheng, S., & Grest, G. S. (2016). *Dispersing Nanoparticles In A Polymer Film Via Solvent Evaporation*. 1–7.

- Cooh, C. H. (2024). *Analisis Penggunaan Plasticizer (Gliserol Dan Sorbitol) Dalam Pembuatan Bioplastik Dari Pati Bengkuang Menggunakan Pelarut Dimanfaatkan Di Masyarakat . Mayoritas Kebutuhan Seperti Makanan Dan Minuman , Yang Mencemari Lingkungan . Selain Tiongkok , Indonesia Merupakan Negara Yang Dengan Bioplastik , Yang Penguraiannya Lebih Lambat . Polimer Alami Adalah Titik Awal Hanya Berasal Dari Bahan Baku Petrokimia Tak Terbarukan Dan Bahan Baku Yang Pati . Kegunaan Lain Dari Pati Adalah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Plastik.* 6, 1–8.
- Dewi, P. P. I. P., Widhiantara¹, I. G., Sandhika, I. M. G. S., Wiradana¹, P. A., & Susilo, R. J. K. (2024). *Synthesis And Characterization Of Chitosan Membranes Of Cassava.* 11(June), 9–19.
- Dzulqornain, A. U. J. (2022). *Multivariate Analys Variance (Manova) Pada Pengaruh Pem Mahasiswa Pada Ecommerce (Stud Mahasiswa Statistika Universitas Br Angkatan 2019).* 18–19.
- Elhaes, H., Amin, K. S., Desouky, F. G. El, & Ibrahim, M. A. (2026). *Modeling And Experimental Analyses For Chitosan / Zinc Oxide Nanocomposite.* 1–17.
- Elshaarawy, R. F. M., Mustafa, F. H. A., Herbst, A., Farag, A. E. M., & Janiak, C. (2016). *Rsc Advances Shrimp Shells , Using Salicylaldehyde Ionic Liquids In.* 20901–20915. <https://doi.org/10.1039/C5ra27489c>
- Evcil, M., Karakaplan, M., & Faculty, S. (2022). *Salicylaldehydediol Grafted Onto Chitosan : Characterization And Their Film Properties.* 9(3), 879–888.
- Fatin, A., Salsabilla, A., Winarto, A. P., & Hakim, M. F. (2024). *Analisis Derajat Deasetilasi Kitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan Dengan Penambahan.* 10(20), 21–29.
- Feng, J., Cheng, Y., Zhang, B., Xie, X., Zheng, C., & Huang, Y. (2026). *Preparation And Evaluation Of Chitosan / Salicylaldehyde / Collagen Peptide Schiff Base Hydrogels For Wound Healing. Journal Of Molecular Structure, 1352(P2), 144554.* <https://doi.org/10.1016/J.Molstruc.2025.144554>
- Folino, A., Pangallo, D., & Salvatore, P. (2023). *Journal Of Environmental Chemical Engineering Assessing Bioplastics Biodegradability By Standard And Research Methods : Current Trends And Open Issues.* 11(May 2022). <https://doi.org/10.1016/J.Jece.2023.109424>
- G.S, A. A. F., Darwis, W., Wibowo, R. H., Sipriyadi, & Supriati, R. (2021). *Original Article Antibacterial Activity Of The Ethanolic Extract Of Sembung Rambat (Mikania Micrantha Kunth) Leaves Against Bacillus Subtilis.* 10(1). <https://doi.org/10.22487/25411969.2020.V10.I1.15476>
- Gaafar, M. M., Eltaweel, F. M., Fouda, H. A., & Abdelaal, M. Y. (2022). *Synthesis Of Novel Chitosan Schiff Base And Its Zno Nanocomposite For Removal Of*

- Synthetic Dye , Antimicrobial , And Cytotoxicity Activity.*
<https://doi.org/10.1177/08839115221119212>
- Ghatage, A. K., & Kanitkar, P. S. G. (2019). *Characterization Of Materials By X-Ray Diffraction.* 8(11), 156–159.
- Ginting, M. H. S., & Hasibuan, R. (2017). *Effect Of Glycerol And Zinc Oxide Addition On Antibacterial Activity Of Biodegradable Bioplastics From Chitosan-Kepok Banana Peel Starch.* 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/223/1/012046>
- Giraldo, J. D., & Rivas, B. L. (2021). Direct Ionization And Solubility Of Chitosan In Aqueous Solutions With Acetic Acid. *Polymer Bulletin*, 78(3), 1465–1488. <https://doi.org/10.1007/S00289-020-03172-W>
- Gumaran, S., Hutabarat, F. T., Faturachman, H. Y., Tya, E., & Duta, G. (N.D.). Perubahan Mutu Buah Tomat (*Solanum Lycopersicum*) Dengan Pelapisan Berbasis Kitosan-Beeswax Dan Nanopartikel ZnO. *2024*, 28, 246–256.
- Hai, X. U., Pan, Z., Shao-Yan, Z., & Qiong, J. I. A. (2020). Fullerene Functionalized Magnetic Molecularly Imprinted Polymer: Synthesis , Characterization And Application For Efficient Adsorption Of Methylene Blue. *Chinese Journal Of Analytical Chemistry*, 48(9), E20107–E20113. [https://doi.org/10.1016/S1872-2040\(20\)60045-7](https://doi.org/10.1016/S1872-2040(20)60045-7)
- Hari, K. D., Garcia, C. V., Shin, G., & Kim, J. (2021). *Improvement Of The Uv Barrier And Antibacterial Properties Of Crosslinked Pectin / Zinc Oxide Bionanocomposite Films.* 1–12.
- Harimbi, S., Satria, Y., Zamroni, M. B. F. A., & A, D. A. (2020). *Optimalisasi Pemanfaatan Nasi Aking Menjadi Plastik Biodegradable Untuk Mengembangkan Budaya Eco Green Pada Masyarakat Di Kelurahan Mojolangu Kota Malang.* 6(2), 18–23.
- Hasanah, N., Mahyudin, A., Material, L. F., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Andalas, U., Unand, K., & Manis, L. (2022). *Pengaruh Variasi Massa Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Film Plastik Pati Umbi Talas Berpenguat Nano Serat Pinang.* 11(2), 194–200.
- Hayder, M., Alluaibi, I., Sabah, D., Hameed, W., Jabbar, R., & Al-Ansari, S. (2026). Results In Engineering Preliminary Evaluation Of Surface Functional Properties Of Chitosan Films Reinforced With TiO_2 Or ZnO Nanoparticles. *Results In Engineering*, 30(February), 110040. <https://doi.org/10.1016/J.Rineng.2026.110040>
- Hijriyah, M., Pratiwi, D. E., Rizal, H. P., Kimia, J., Universitas, F., Makassar, N., Ipa, P., Universitas, F. K. I. P., & Barat, S. (2023). *Sintesis Dan Karakterisasi Nanokitosan Dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Dengan*

- Metode Gelasi Ionik Synthesis And Characterization Of Nanochitosan From Blood Clams (Anadara Granosa) Shells By Ionic Gelation Method.* 24(2), 68–77.
- Huang, P., Su, W., Han, R., Lin, H., Yang, J., Xu, L., & Ma, L. (2022). *And Compatibility Of Zno-Np / Chitosan / B-Glycerophosphate Composite Hydrogels.* 32(4), 522–530.
- Imtihani, H. N., & Wahyuono, R. A. (2020). *Biopolimer Kitosan Dan Penggunaannya Dalam Formulasi Obat.*
- Infancia, L., & Anwari, S. (2023). *Characterization Of Bioplastic Prepared From Composites Of Food.* 8(8).
- Ismi, A., Nurlaila, R., Fibarzi, W. U., Masrullita, S., & Retnowulan, S. R. (2024). *Pengaruh Perbandingan Konsentrasi Bahan Baku Pektin Buah Pisang Dan Konsentrasi Tepung Tapioka Terhadap Karakteristik Edible Film.* 6(Desember), 780–792.
- Ismiyarto, Novari, S., Ngadiwiyana, Sarjono, P. R., & Prasetya, N. B. A. (2020). *Modifikasi Kain Aktif Antibakteri Berbasis Komplek Mn(Ii) Basa Schiff Kitosan–Salisilaldehid.* 25(Ii).
- Kalsum, U., Robiah, R., & Yokasari, Y. (2020). *Pembuatan Bioplastik Dari Ampas Tahu Dan Ampas Tebu Dengan Pengaruh Penambahan Gliserol Dan Tepung Maizena.* *Jurnal Distilasi*, 5(2), 34. <https://doi.org/10.32502/Jd.V5i2.3031>
- Kalsum, U., & Robiah, Y. (2020). *Pembuatan Bioplastik Dari Ampas Tahu Dan Ampas Tebu Dengan Pengaruh Penambahan Gliserol Dan Tepung Maizena.* 5(2), 34–37.
- Kappaphycus, D., Rosadi, E., & Ridlo, A. (2024). *Penambahan Plasticizer Sorbitol Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Limbah.* 13(4), 595–606.
- Khairi, S., Bayu, R., Wijoyo, T., Radhiansyah, L. Y., & Belanisa, T. (2025). *Stannum : Jurnal Sains Dan Terapan Kimia Chitosan Preparation From White Shrimp Shell (Litopenaeus Vannamei) For Fe (Iii) Removal From Pontianak Municipal Groundwater Preparasi Kitosan Dari Cangkang Udang Putih (Litopenaeus Vannamei) Untuk Menghilangkan Fe (Iii) Air Tanah Kota Pontianak.* 7(1), 14–24. <https://doi.org/10.33019/Jstk.V7i1.5566>
- Khodijah, S., Maryanty, J., Tobing, L., Riset, P., Pangan, T., & Jagung, T. (2023). *Tinjauan Plastik Biodegradable Dari Limbah Tanaman Pangan Sebagai Kantong Plastik Mudah Terurai.* 17(1). <https://doi.org/10.24198/Jt.Vol17n1.3>
- Kholiq, K., & Kusuma, S. B. W. (2024). *Characterization Of Sodium Alginate And Chiosan Bioplastic With The Addition Of Glycerol And Glutaraldehyde.* 13(1).

- Kibria, G., Imtiaz, N., Rafat, M., Huy, S., Nguyen, Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic Waste : Challenges And Opportunities To Mitigate Pollution And Effective Management. In *International Journal Of Environmental Research* (Vol. 17, Nomor 1). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/S41742-023-00507-Z>
- Kristiningsih, A., Wittriansyah, K., Hastuti, H. D., & Sodikin, J. (2024). *Karakteristik Fisik Bioplastik Kitosan Dengan Penambahan Selulosa Kulit Nipah (Nypa Fruticans)*. 13(4), 721–730.
- Kusumawati, N., Bahar, A., Monica, M., Basukiwardojo, S., Rahayu, N. T., Estiningtyas, I. W., Ridho, M., Kurniawan, H., & Kusumawati, N. (2025). *Journal Of Engineering And Technological Sciences Development Of Active-Smart Packaging : Effect Of Chitosan Nanofiber , Zinc Oxide Nanoparticles , And Anthocyanin On Gelatine-Based Halochromic Film For Meat Preservation Research Paper*. 57(3), 373–388. <https://doi.org/10.5614/J.Eng.Technol.Sci.2025.57.3.7>
- Laksono, A. N., Manik, I. V., & Pangestu, W. A. (2024). *Pengamatan Terhadap Kebiasaan Membuang Sampah Plastik Kemasan*. 3(1).
- Lestari, D., Puspita, I., & Kusmita, T. (2025). *Rekayasa Film Bioplastik Selulosa-Kitosan Berbasis Limbah Batang Pisang: Peran Gliserol Dalam Optimalisasi Karakteristik Material*. 5, 130–139.
- Li, Y., Zhou, Y., Wang, Z., Cai, R., Yue, T., & Cui, L. (2021). *Preparation And Characterization Of Chitosan–Nano-Zno Composite Films For Preservation Of Cherry Tomatoes*.
- Liu, Q., Li, Y., Xing, S., Wang, L., Yang, X., Hao, F., & Liu, M. (2022). *International Journal Of Biological Macromolecules* Genipin-Crosslinked Amphiphilic Chitosan Films For The Preservation Of Strawberry. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 213(March), 804–813. <https://doi.org/10.1016/J.Ijbiomac.2022.06.037>
- Lucas, A. J. Da S., Oreste, E. Q., Costa, H. L. G., L'Opez, H. M., Saad, C. D. M., & A, C. P. (2021). *Extraction , Physicochemical Characterization , And Morphological Properties Of Chitin And Chitosan From Cuticles Of Edible Insects*. 343(October 2020).
- Made, N., & Sanjiwani, S. (2021). *Analisis Gugus Fungsi Obat Sirup Batuk Dengan Fourier. Xi*.
- Magani, A. K., Tallei, T. E., Kolondam, B. J., & Biologi, P. S. (2020). *Uji Antibakteri Nanopartikel Kitosan Terhadap Pertumbuhan Bakteri Staphylococcus Aureus Dan Escherichia Coli . (Angelica 2013*.
- Mahatmanti, F. ., Kusumastuti, E., Jumaeri, Sulistyani, M., Susiyanti, A., &

- Haryatari, U. (2016). *Pembuatan Kitin Dan Kitosan Dari Limbah Cangkang Udang Sebagai Upaya Memanfaatkan Limbah Menjadi Material Maju*. 1–38.
- Maulana, A., Nataria, A., Ganda, F., Puspitasari, D., & Yuanata, I. (2026). *Analisis Uji Tarik Bioplastik Pla – Tepung Kulit Pisang Pada Variasi Suhu Pemrosesan Injection Molding*. 11(01), 713–719.
- Megawati, D. S., Jumina, & Harno Dwi Pranowo. (2015). *Pemanfaatan Gliserol Dari Produk Samping Biodiesel Untuk Sintesis Senyawa 2,3-Dibromo Propanol Dewi*. 1(2007), 15–20.
- Melani, A., Putri, D., Studi, P., Kimia, T., Palembang, U. M., Studi, P., Kimia, T., Palembang, U. M., Studi, P., Kimia, T., & Palembang, U. M. (2019). *Bioplastik Dari Pati Kulit Pisang Raja Dengan*. 4(2), 1–7.
- Mishra, P., Singh, U., & Pandey, C. M. (2019). *Application Of Student ' S T - Test , Analysis Of Variance , And Covariance*. 407–411. <https://doi.org/10.4103/Aca.Aca>
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). *Scanning Electron Microscopy (Sem) : A Review*. 77–85.
- Montaser, A. S., Wassel, A. R., & Al-Shaye, O. N. (2018). Synthesis, Characterization And Antimicrobial Activity Of Schiff Bases From Chitosan And Salicylaldehyde/TiO₂ Nanocomposite Membrane. *International Journal Of Biological Macromolecules*, #Pagerange#. <https://doi.org/10.1016/J.Ijbiomac.2018.11.229>
- Muliawati, E. C., Pupu, A., Nurkaswoto, S. E., Soeharja, M. A., Juniawan, H. R., & Amsalino, F. (2024). *Literature Review Peran Plasticizer Dalam Meningkatkan Kinerja Bioplastik Berbasis Kitosan Penelitian Ini Dilakukan Dengan Pendekatan Studi Literatur (Literature Review) Untuk Plastik Dari Bahan Dasar Berbagai Macam Pati Dengan Bahan Pengisi Kitosan Dari Kulit*.
- Muliawati, E. C., Pupu, A., Nurkaswoto, S. E., Soeharja, M. A., Juniawan, H. R., & Amsalino, F. (2025). *Literature Review Peran Plasticizer Dalam Meningkatkan Kinerja Bioplastik Berbasis Kitosan Penelitian Ini Dilakukan Dengan Pendekatan Studi Literatur (Literature Review) Untuk Plastik Dari Bahan Dasar Berbagai Macam Pati Dengan Bahan Pengisi Kitosan Dari*.
- Muttaqin, R., Sakti, W., Prayitno, W., Nurbaiti, U., Mipa, F. F., Gedung, D., & Unnes, K. (2023). *Pengembangan Buku Panduan Teknik Karakterisasi Material : X-Ray Diffractometer (Xrd) Panalytical Xpert3 Powder*. 6(1), 9–16.
- Nissa, R. C., Fikriyyah1, A. K., Abdullah, A. H. D., & Pudjiraharti, S. (N.D.). *Preliminary Study Of Biodegradability Of Starch-Based Bioplastics Using*

- Astm G21-70, Dip-Hanging, And Soil Burial Test Methods. 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/277/1/012007>
- Nizar, M., Putra, A., Zahrani, N. A., Zahra, T. A., Bella, B. C., Hariyadi, A. G., Fadhila, D. S., Akrom, S., Abiyyu, A., Rini, R., & Firdausi, K. (2025). *Sampah Plastik Sebagai Ancaman Terhadap Lingkungan Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia*. Di.
- Novita, I., Rimadhanti, K., & Nugraha, T. (2022). *Application Chitosan Modified Carboxymethyl As Antibacterial Agent Of Paper Packaging*. 6(2), 244–250.
- Nurhabibah, S. A., & Kusumaningrum, W. B. (2021). *Karakterisasi Bioplastik Dari K-Karagenan Eucheuma Cottonii Terplastisasi Berpenguat Nanosehulosa*. 43(2), 82–94.
- Nurhayati, & Agusman. (2023). *Edible Film Kitosan Dari Limbah Udang. Pengemas, P. (2000). Edible Film Kitosan Dari Limbah Udang*. 38–44., 38–44.
- Nurulhasni, D., & Suparno. (2023). *Home Made Bioplaslits Dengan Analisis Pengaruh Rasio Gliserol Dan Selulosa Terhadap Kekuatan Tarik, Elongation, Dan Ketebalan*. 12(1), 56–64.
- Pakerti, L. H. (2021). *Karakteristik Plastik Biodegradable Dari Pati Biodegradable Dengan Pati Ubi Jalar Sebagai Bahan Utama, Gliserol Sebagai Plasticizer Serta Pengujian. Pengujian Yang Dilakukan Adalah Kuat Tarik, Elongasi, Modulus Young, Ketebalan*. 2(1), 38–47.
- Papilaya, E., Bowaire, A. N., Yapen, A., & Sinaga, E. S. (2024). *Karakterisasi Bioplastik Berbasis Pati Sagu The Effect Of Chitosan Concentration On The Synthesis And Characterization Of Sago Starch Based Bioplastics (Metroxylon Sp.) Origin Jayapura District*. 6(2). <https://doi.org/10.31605/Phy.V6i2.3731>
- Ponce, P., Ávila, E., Morales, Z., Reinoso, C., Díaz, A., Loyo, C., Saucedo-Vázquez, J. P., Terencio, T., Mora, J., & López, F. (2025). *Mechanical Parameters Of Chitosan Film With Glycerol And Propylene Carbonate. Carbon Trends*, 21(October 2024), 100563. <https://doi.org/10.1016/J.Cartre.2025.100563>
- Pooja, N., Chakraborty, I., Rahman, H., & Mazumder, N. (2023). *An Insight On Sources And Biodegradation Of Bioplastics : A Review*. 3 *Biotech*, 13(7), 1–22. <https://doi.org/10.1007/S13205-023-03638-4>
- Putra, A. S., Sulistina, I., Febrianti, M., Apdhila, N. M., & Cornelius, S. (2024). *The Extraction Of Chitin From Indonesian Shells And Its Potential As Zinc Ion Batteries Supporting Material*. 1–6.
- Putri, R. W., Rendana, M., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2022). *Effect Of*

Plasticizer And Concentration On Characteristics Of Bioplastic Based On Cellulose Acetate From Kapok (Ceiba Pentandra) Fiber. 7(1).

- Rahman, R., Sood, M., Gupta, N., & Bandral, J. D. (2019). *Bioplastics For Food Packaging : A Review.* 8(03), 2311–2321.
- Ramadhani, A. A., & Firdhausi, N. F. (2021). *Potensi Limbah Sisik Ikan Sebagai Kitosan Dalam Pembuatan Bioplastik.* 6(2), 90–95.
- Reddy, K. S., & Reddy, S. (2025). *X-Ray Diffraction : A Non-Destructive Technique For Crystalline Structure Analysis.* 7(1), 63–66.
- Riska, A., Alfianty, D., & Oleo, U. H. (2025). *Kajian Berbagai Jenis Penggunaan Plasticizer Terhadap Pembuatan Edible Film.* 3(3), 356–363.
- Rismawati, R., Jatmiko, Y. D., & Widyarti, S. (2022). *Antibacterial Activity Of Pluchea Indica Leaf Extract Was Increased After Being Fermented With Saccharomyces Cerevisiae And Added With Its Cell-Free Supernatant.* 10(2). <https://doi.org/10.21776/Ub.Biotropika.2022.010.02.04>
- Rusdi, S., Nurrahman, I., Rizki, W. N., & Chafidz, A. (2022). *Jurnal Bahan Alam Terbaru The Effect Of Beeswax And Glycerol Addition On The Performance Of Bioplastic Film Made Of Konjac Glucomannan.* 11(200), 100–107.
- Salman, H., Ali, A. B., Sara, A., & Mutasher, H. (2025). *Thermal And Optical Properties Of Characterized Plasticized Chitosan Films.*
- Salmani, M., Mogre, S., & Chavan, S. (2026). *Synthesis And Characterization Of Schiff Bases Derived From The Condensation Of.* 10(2), 38–47.
- Salsabilla, A., Hakim, M. F., Putra, A., & Fatin, A. (2024). *Pengaruh Variasi Konsentrasi Koh Dan Waktu Pengadukan Terhadap Nilai Derajat Deasetilasi Dan Karakteristik Kitosan Dari Cangkang Rajungan.* 4(7949), 6786–6800.
- Sánchez-Tito, M., Blanco-Victorio, D., & Chauca-Carhuajulca, J. (2023). *Multivariate Analysis Of The Effect Of Staining Beverages On The Optical Properties Of Two Provisional Restorative Materials.* 15(7), 535–541. <https://doi.org/10.4317/Jced.60431>
- Sapei, L., Padmawijaya, K. S., Sijayanti, O., & Wardhana, P. J. (2016). *Study Of The Influence Of Zno Addition On The Properties Of Chitosan-Banana Starch Bioplastics Study Of The Influence Of Zno Addition On The Properties Of Chitosan-Banana Starch Bioplastics.* <https://doi.org/10.1088/1757-899x/223/1/012044>
- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). *Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Kitosan-Pati Ganyong (Canna Edulis) Synthesis And Characterization Of Bioplastic From.* 2(1), 13–21.

- Senapati, M. R. (2018). *Ultrasonic Investigation Of Molecular Interaction In Binary Mixture Of Salicylaldehyde And Ethanol*. 14(5), 146–149.
- Shafqat, A., Al-Zaqri, N., Tahir, A., & Alsalmeh, A. (2021). Saudi Journal Of Biological Sciences Synthesis And Characterization Of Starch Based Bioplastics Using Varying Plant-Based Ingredients , Plasticizers And Natural Fillers. *Saudi Journal Of Biological Sciences*, 28(3), 1739–1749. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.015>
- Sharmin, N., Rosnes, J. T., Prabhu, L., & Böcker, U. (2022). *Effect Of Citric Acid Cross Linking On The Mechanical , Rheological And Barrier Properties Of Chitosan*. 1–16.
- Sihotang, T. D. P. B., Rumengan, I. F. M., Wullur, S., Paransa, D. S. J., Kawung, N. J., & Paulus, J. J. H. (2025). *Study On The Determination Of Chitosan Functional Groups Of Sotong (Sepia Sp) Bone Extract*. 13(2), 211–220.
- Suherman, Latif, M., & Dewi, S. T. R. (2018). *Potensi Kitosan Kulit Udang Vannemei (Litopenaeus Vannamei) Sebagai Antibakteri Terhadap Staphylococcus Epidermidis, Pseudomonas Aeruginosa, Propionibacterium Agnes, Dan Escherichia Coli Dengan Metode Difusi Cakram Kertas*. Xiv(1), 116–127.
- Sultan, M., Youssef, A., & Baseer, R. A. (2024). Fabrication Of Multifunctional ZnO @ Tannic Acid Nanoparticles Embedded In Chitosan And Polyvinyl Alcohol Blend Packaging Film. *Scientific Reports*, 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68571-9>
- Sultan, R. A., Nur, A., Rahman, F., Dirpan, A., & Syarifuddin, A. (2023). *Current Research In Nutrition And Food Science Physical , Mechanical , Barrier , Antibacterial Properties , And Functional Group Of Carrageenan-Based Edible Film As Influenced By Pectin From Dillenia Serrata Fruit Peel And Curcumin*. 11(3).
- Suparyanto Dan Rosad (2015). (2020). Plastik Biobased Dan Biodegradable. *Internationale Zusammenarbeit (Giz) GmbH*, 5(3), 248–253.
- Tabassum, Z., Girdhar, M., Kumar, A., Malik, T., & Mohan, A. (2023). *ZnO Nanoparticles-Reinforced Chitosan – Xanthan Gum Blend Novel Film With Enhanced Properties And Degradability For Application In Food Packaging*. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03763>
- Using, S., Industry, F., Gomes, V., Souza, L., Alves, M. M., Santos, C. F., Ribeiro, I. A. C., Rodrigues, C., Coelho, I., & Fernando, A. L. (2021). *Biodegradable Chitosan Films With ZnO Nanoparticles And Characterization*.
- Vyas, A., Ng, S., & Fu, T. (2025). *ZnO-Embedded Carboxymethyl Cellulose Bioplastic Film Synthesized From Sugarcane Bagasse For Packaging*

Applications.

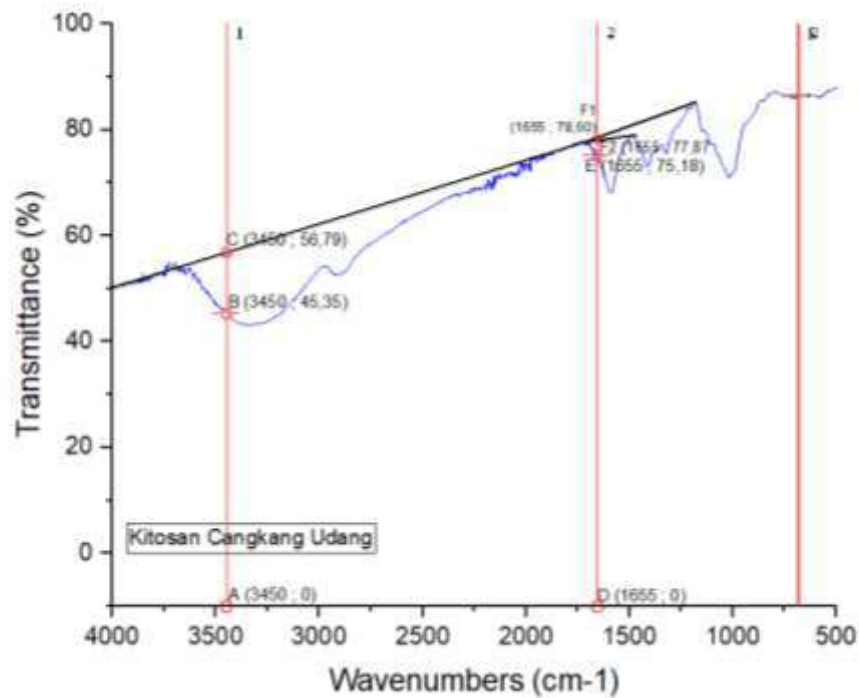
- Wahyuningtiyas, N. E., & Suryanto, H. (2017). *Analysis Of Biodegradation Of Bioplastics Made Of Cassava Starch*. 1(1), 41–54.
- Wronka, N., Katir, N., Lange, Marta Nowak, Kadib, Abdelkirm El, & Lisowska, K. (2023). Plastic Packaging. *Biodegradable Chitosan-Based Films As An Alternative To Plastic Packaging*, 1–12.
- Yustinah, Ab, S., Solekhah, P. P., Novitasari, G. P., Nuryani, F., Djaeni, M., & Buchori⁷, L. (2023). *Pengaruh Jumlah Kitosan Dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel Dari Selulosa Sabut Kelapa Dengan Pemplastik Gliserol The Effect Of Chitosan Amount In Making Biodegradable Plastics From Coconut Coir Cellulose With Glycerol As Plasticizer*. 7(2), 149–155. <https://doi.org/10.30595/Jrst.V7i2.15598>
- Zhang, X., Zhang, Z., Wu, W., Yang, J., & Yang, Q. (2021). Preparation And Characterization Of Chitosan / Nano - ZnO Composite Film With Antimicrobial Activity. *Bioprocess And Biosystems Engineering*, 0123456789, 1–7. <https://doi.org/10.1007/S00449-021-02521-X>
- Zulnazri, Sry Rahmadani, R. D. (2019). Pemanfaatan Pati Batang Ubi Kayu Dan Pati Ubi Kayu Untuk Bahan Baku Alternatif Pembuatan Plastik Biodegradable. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(Mei), 26–35. <http://ojs.unimal.ac.id/index.php/jtk>

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN DERAJAT DEASETILASI

Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar A. 1 Analisis FTIR pada sampel Kitosan Kulit Udang

Perhitungan Derajat Deasetilasi

$$AB = 45,35$$

$$AC = 56,79$$

$$DE = 75,18$$

$$DF = 78,60$$

$$\begin{aligned} A_{3450} &= \log \left(\frac{AC}{AB} \right) \\ &= \log \left(\frac{56,79}{45,35} \right) \\ &= 0,0976 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{1655} &= \log \left(\frac{DF}{DE} \right) \\ &= \log \left(\frac{78,60}{75,18} \right) \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ derajat deasetilasi} &= 100 - \left[\left(\frac{A_{1.655}}{A_{3.450}} \right) \times 155 \right] \\ &= 100 - \left[\left(\frac{0,019}{0,0976} \right) \times 155 \right] \\ &= 85,13\% \end{aligned}$$

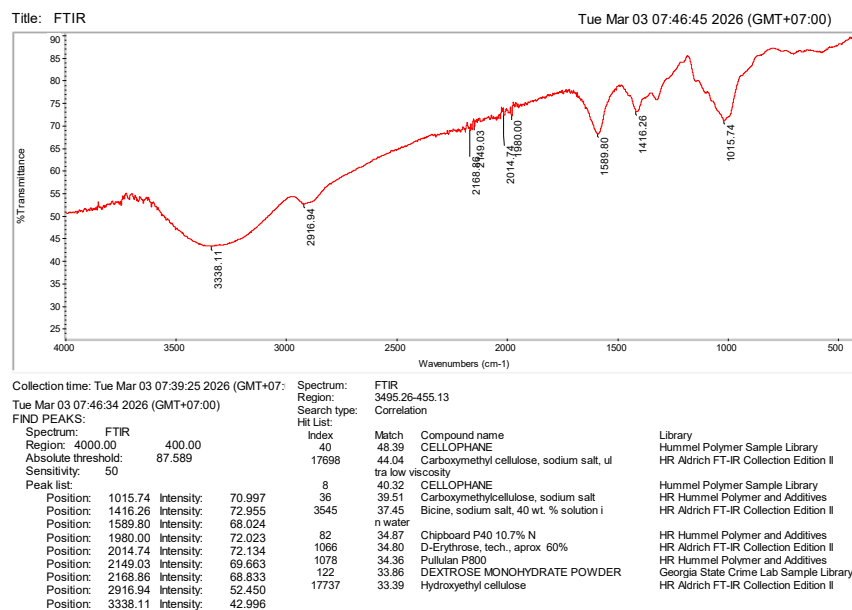
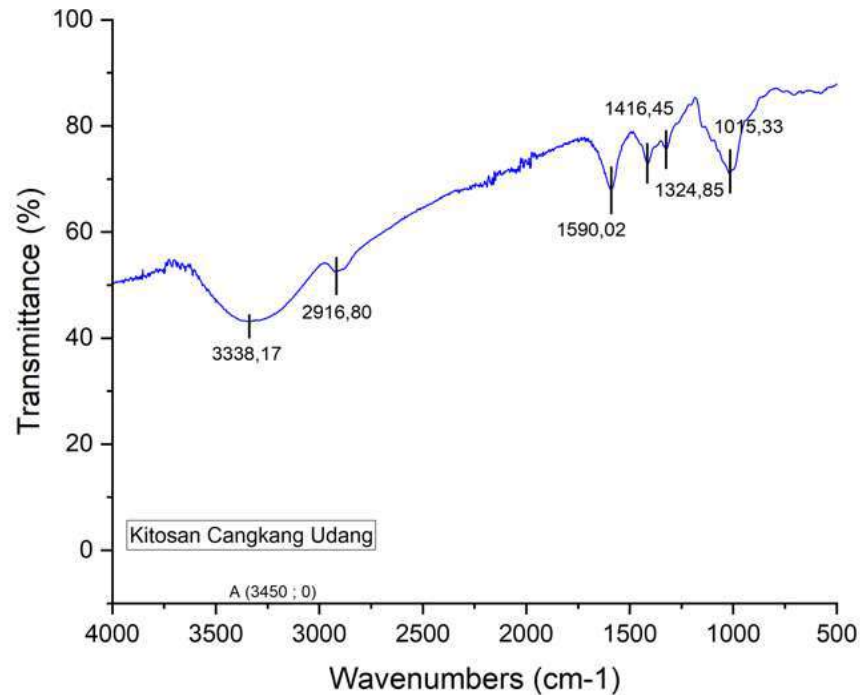
Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

HASIL UJI KARAKTERISTIK FTIR KITOSAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Pengujian Karakterisasi FTIR Pada Kitosan Kulit Udang



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN C

HASIL UJI KUAT TARIK & ELONGASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

Hasil Uji Sampel Bioplastik AA1



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

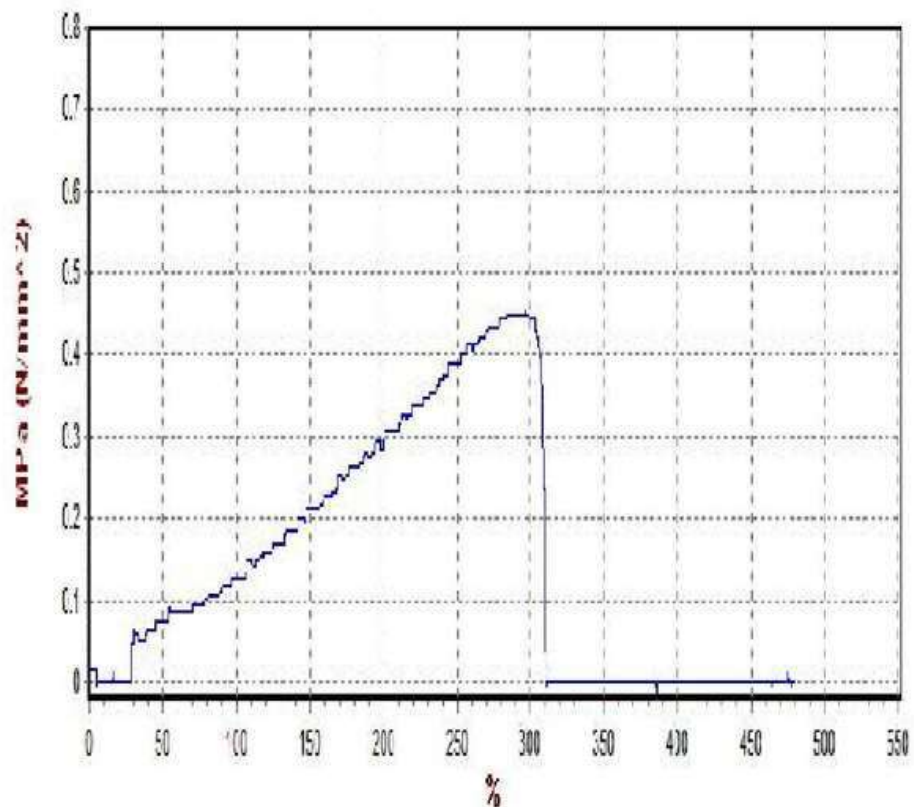


TEST REPORT

Information : dhiya

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA1	8.600	3.9	0.45	0.45	0.17	123.22



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA2



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

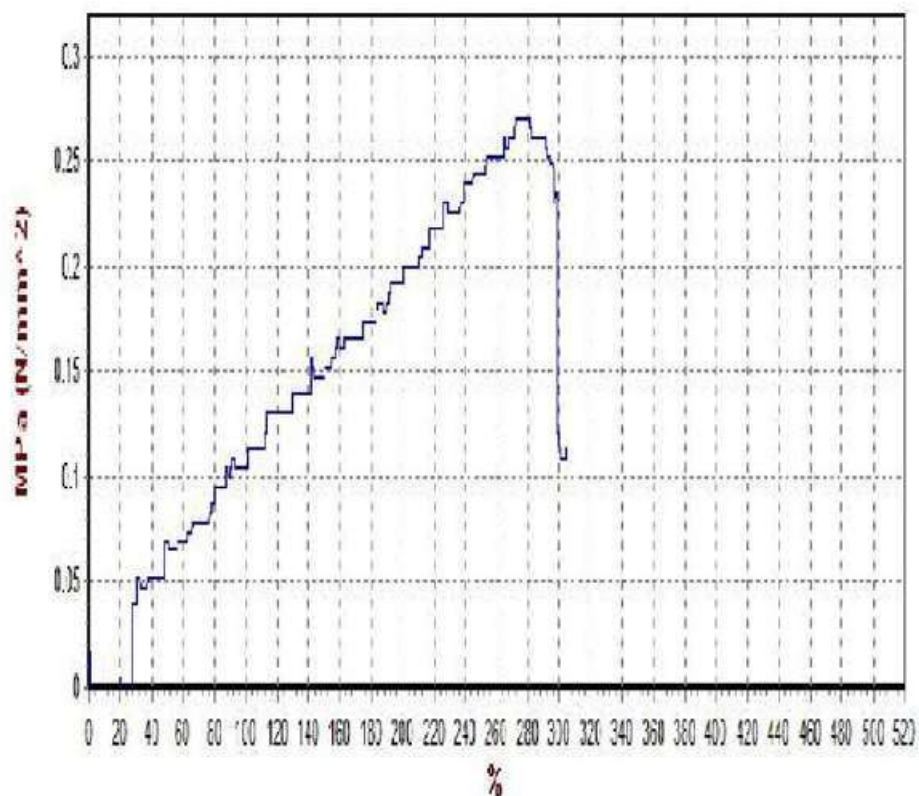


TEST REPORT

Information : **florentina**

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA2	10.600	2.9	0.27	0.27	0.09	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA3



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

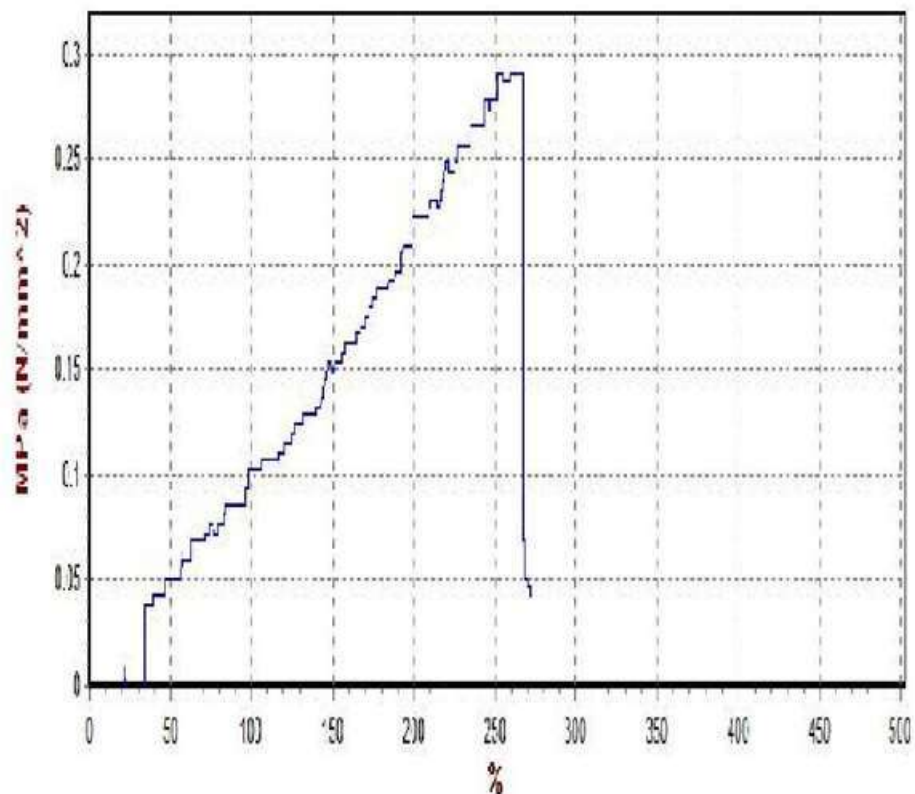


TEST REPORT

Information : florentina

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA3	10.600	3.1	0.29	0.29	0.11	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA4



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

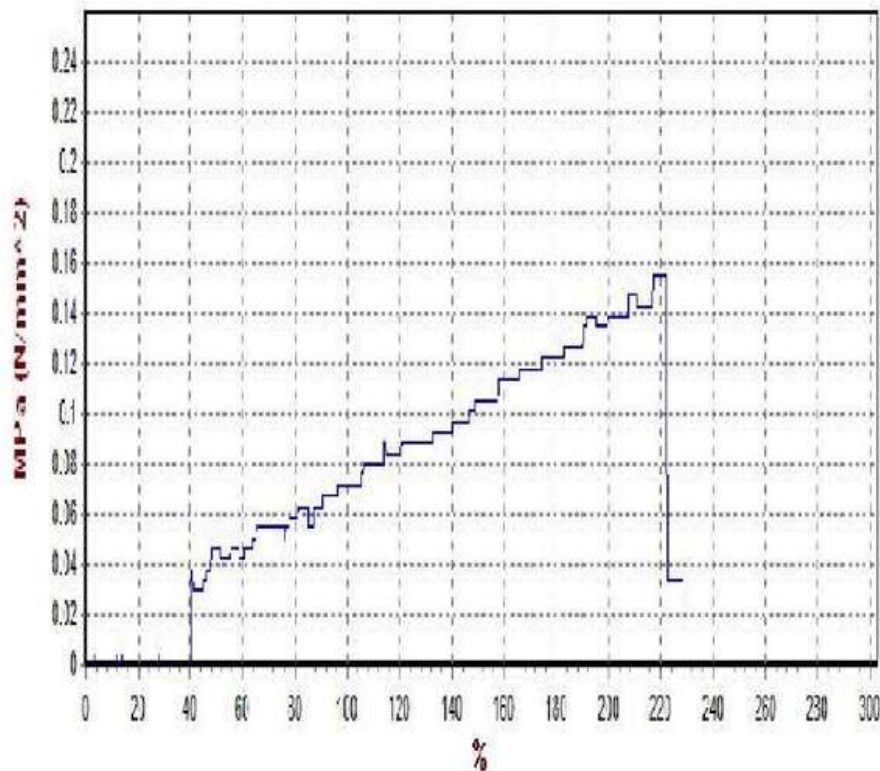


TEST REPORT

Information : florentina

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA4	10.800	1.7	0.03	0.16	0.06	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA5



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

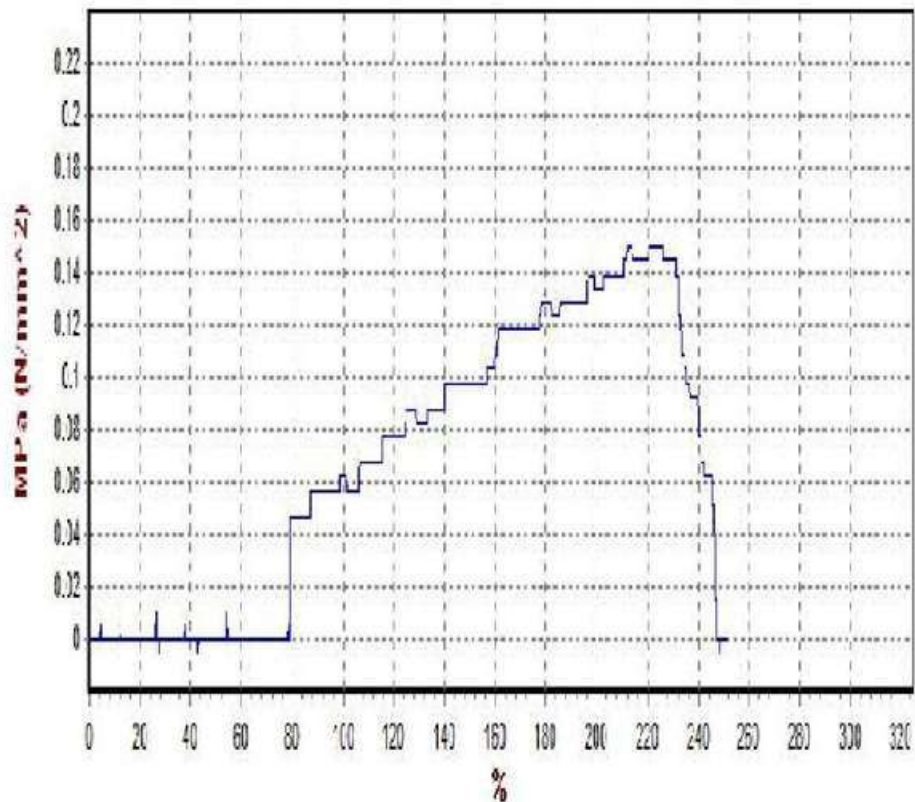


TEST REPORT

Information : dhiya

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
BB1	8.800	1.3	0.15	0.15	0.08	123.22



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA6



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

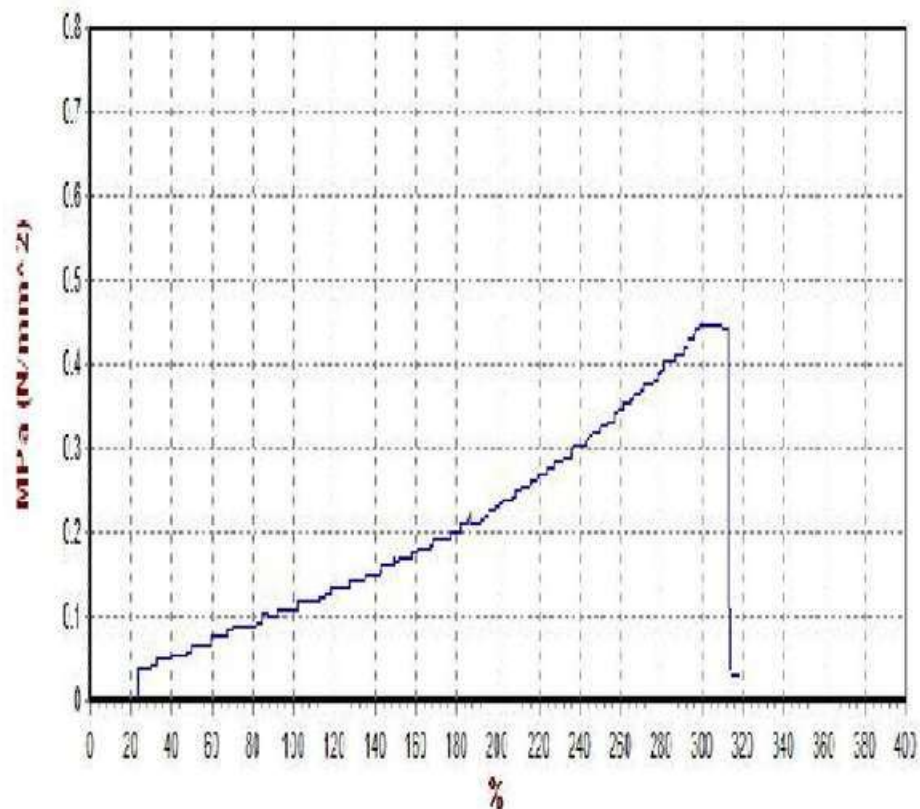


TEST REPORT

Information : **florentina**

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA6	10.800	4.8	0.45	0.45	0.13	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA7



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

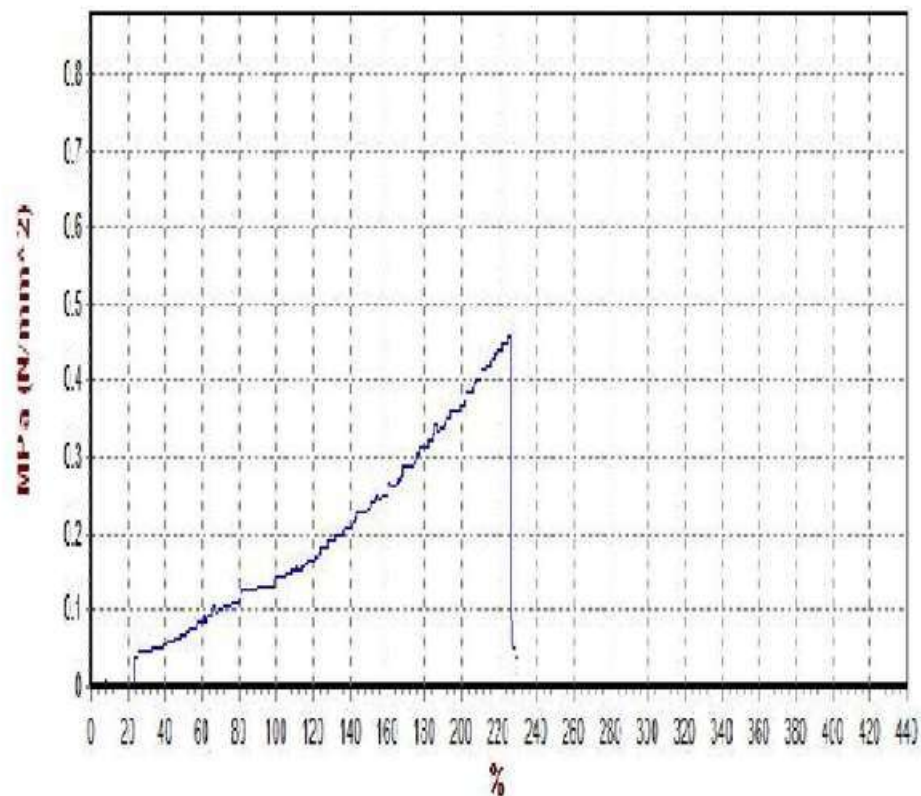


TEST REPORT

Information : florentina

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA7	11.200	5.1	0.08	0.46	0.21	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA8



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

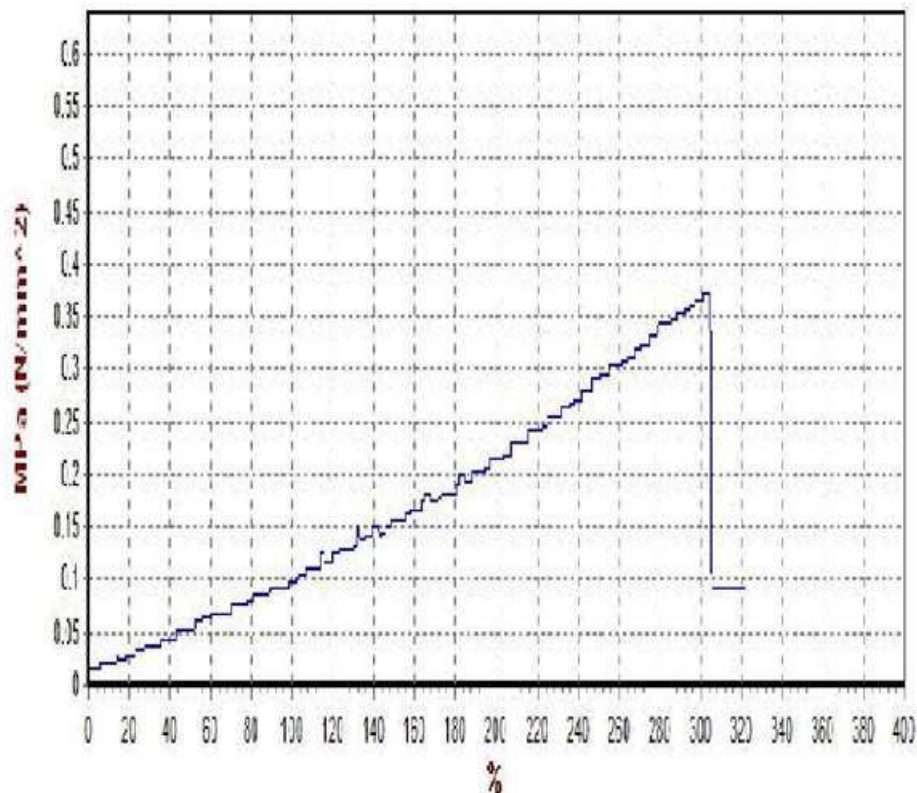


TEST REPORT

Information : **florentina**

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA8	11.200	4.2	0.37	0.37	0.11	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA9



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

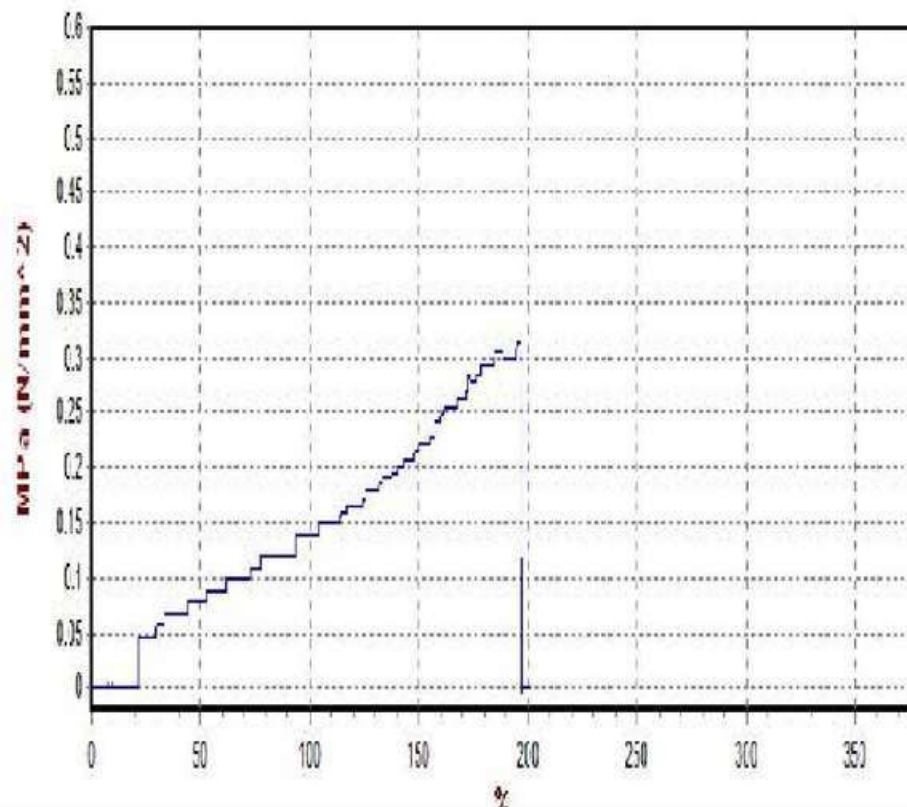


TEST REPORT

Information : dhiya

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AB 1	8.800	2.8	0.31	0.31	0.13	123.22



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA10



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

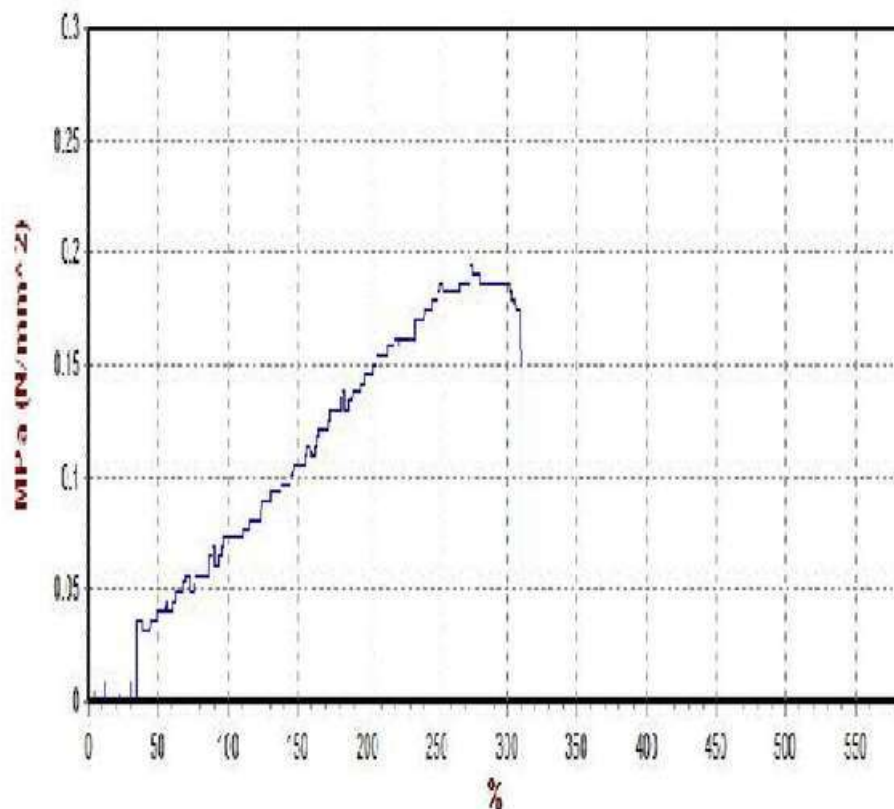


TEST REPORT

Information : florentina

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation $\%$
AA10	11.200	2.2	0.19	0.19	0.07	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA11



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukotilo, Surabaya 60111

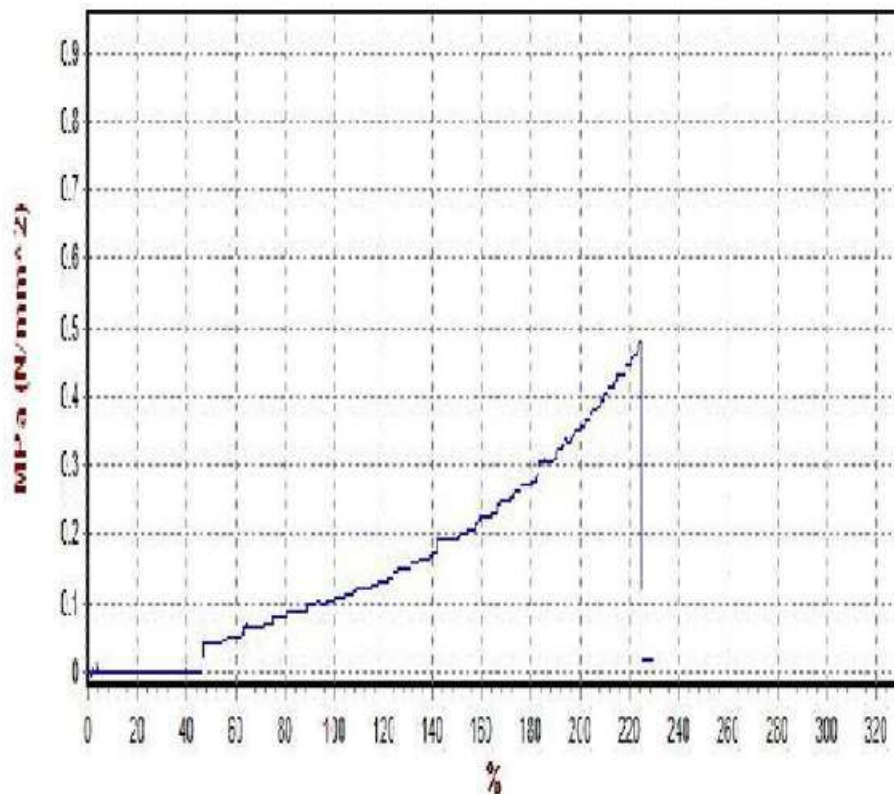


TEST REPORT

Information : **florentina**

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation $\%$
AA 11	11.400	5.4	0.48	0.48	0.24	305.00



Hasil Uji Sampel Bioplastik AA12



LABORATORIUM INOVASI MATERIAL
JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

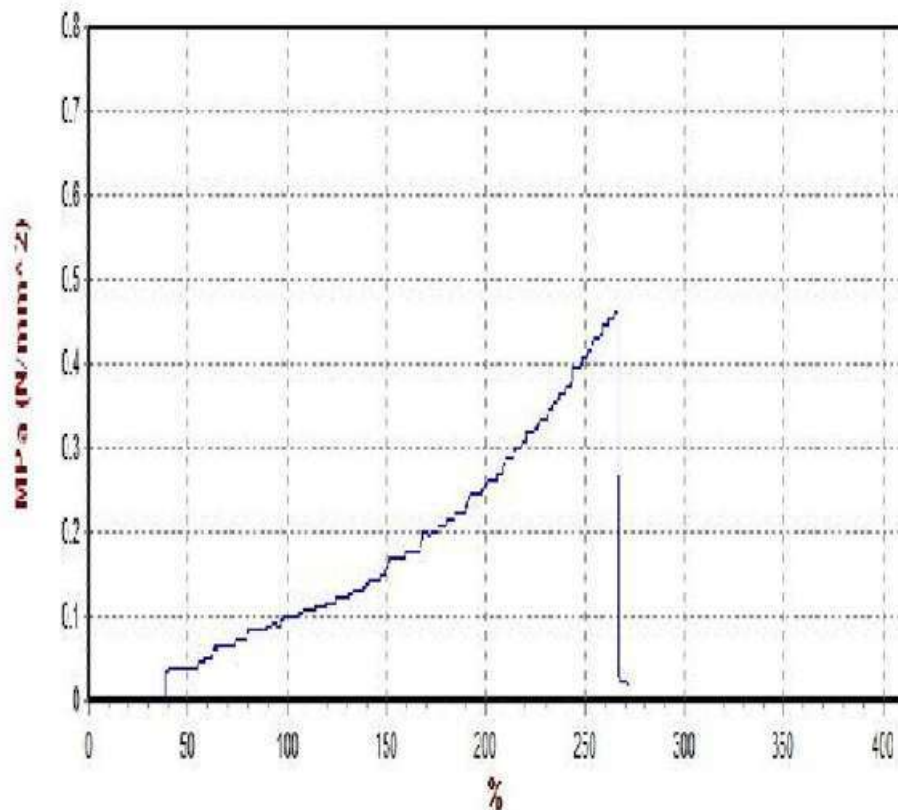


TEST REPORT

Information : **florentina**

Date :

Specimens	Area mm^2	Max Force N	Yield Strength N/mm^2	Tensile Strength N/mm^2	Young's Modulus (E) N/mm^2	Elongation %
AA 12	11.400	5.3	0.46	0.46	0.20	305.00



LAMPIRAN D
HASIL UJI XRD

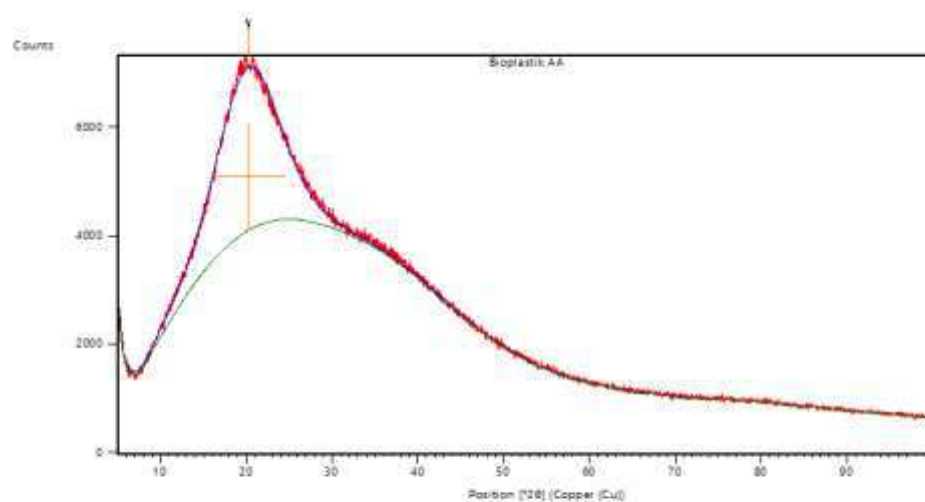
Halaman ini sengaja dikosongkan

Anchor Scan Parameters

Dataset Name Bioplastik AA
 File name D:\Eksternal\2026\No. Order 198\Bioplastik AA\Bioplastik AA.xrdml
 Sample Identification Bioplastik AA
 Measurement Start Date/Time 09/06/2026 07:03:55
 Operator Instrument
 Raw Data Origin XRD measurement (*.XRDML)
 Scan Axis Gonio
 Start Position [$^{\circ}2\theta$] 5,0169
 End Position [$^{\circ}2\theta$] 99,9689
 Step Size [$^{\circ}2\theta$] 0,0220
 Scan Step Time [s] 29,0700
 Scan Type Continuous
 PSD Mode Scanning
 PSD Length [$^{\circ}2\theta$] 5,54
 Offset [$^{\circ}2\theta$] 0,0000
 Divergence Slit Type Fixed
 Divergence Slit Size [$^{\circ}$] 0,4584
 Specimen Length [mm] 10,00
 Measurement Temperature [$^{\circ}\text{C}$] 25,00
 Anode Material Cu
 Intended Wavelength Type K- α 1
 K- α 1 [$\text{\AA}$] 1,54060
 K- α 2 [$\text{\AA}$] 1,54443
 K- β 1 [$\text{\AA}$] 1,39225
 K- β 2 [$\text{\AA}$] 1,38113
 K- β 3 [$\text{\AA}$] 1,39261
 K-A2 / K-A1 Ratio 0,50000
 K-Alpha2 Line Shift 0,00000
 K Absorption Edge 1,37868
 Generator Settings 15 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 100030676
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 145,00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 95,00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning Yes

Date: 09/06/2026 Time: 13:25:15

UBAYA LiFe : Life Science Integrated Facilities

Graphics**Peak List**

Pos. [$^{\circ}2\theta$]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$]	d-spacing [$\text{\AA}$]	Rel. Int. [%]
20,2302	2005,87	8,5874	4,38602	100,00

F. PERHITUNGAN INDEKS KRISTALINISASI

Sampel	sudut 2θ(°)	Indeks Kristalinitas (%)
Bioplastik AA11	20,2302	94,98%

1. Diketahui

$$I_{(002)} \text{ (Intensitas peak kristal utama)} = 99,98955$$

$$I_{am} \text{ (Intensitas fase amorf)} = 5,01687$$

Rumus segal

$$Crl(\%) = \frac{I_{(002)} - I_{am}}{I_{(002)}} \times 100$$

$$Crl(\%) = \frac{99,98955 - 5,01687}{99,98955} \times 100$$

$$Crl(\%) = 94,98 \%$$

LAMPIRAN E
HASIL UJI SEM

Halaman ini sengaja dikosongkan

Pembesaran 250x

SEM image showing a single, elongated, and slightly curved carbon nanotube (CNT) structure, likely a single-walled CNT (SWCNT), with a diameter of approximately 10 nm. The image displays the characteristic cylindrical morphology and surface texture of the nanotube, surrounded by smaller, irregular carbon-based debris.

Pembesaran 1000x



Pembesaran 3000x

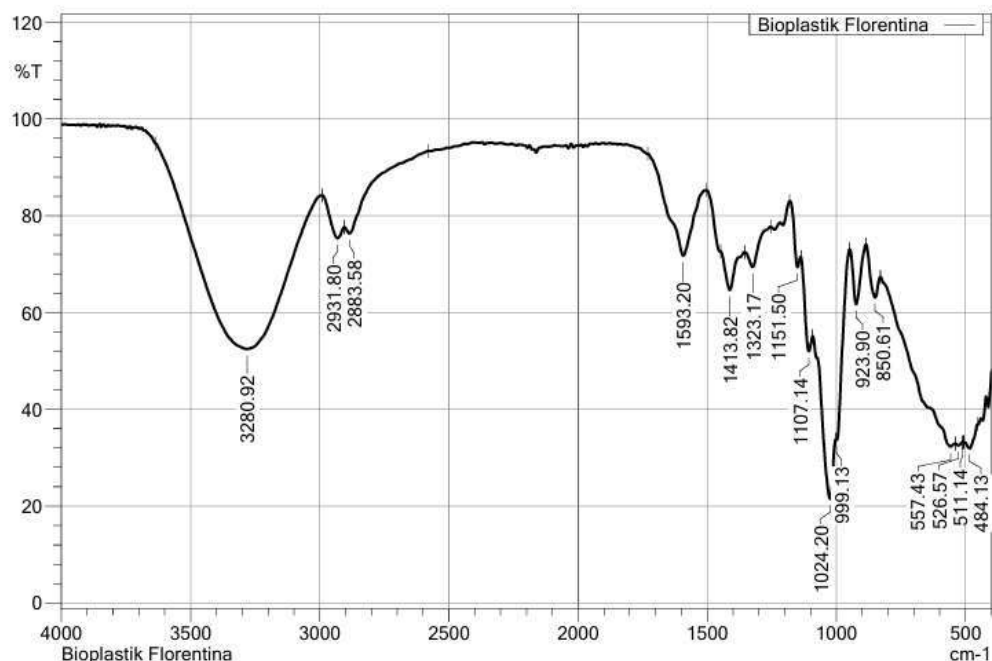
[illegible]

Pembesaran 5000x

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN F
HASIL UJI FTIR BIOPLASTIK

Halaman ini sengaja dikosongkan



D:\PPNS\Bioplastik Florentina1.ispd
Bioplastik Florentina

	Item	Value
2	Sample name	Bioplastik Florentina
3	Sample ID	09062026
4	Option	QATR
5	Intensity Mode	% Transmittance
6	Apodization	Happ-Genzel
9	No. of Scans	45
10	Resolution	4 cm-1

	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area	Comment
1	484.13	31.92	2.88	507.28	453.27	3594.525	87.555	
2	511.14	33.14	0.04	513.07	507.28	386.777	0.101	
3	526.57	32.55	0.48	538.14	513.07	1686.150	7.066	
4	557.43	32.28	2.90	829.39	538.14	15384.736	856.496	
5	850.61	63.08	6.79	885.33	829.39	1850.943	210.868	
6	923.90	61.71	11.71	948.98	885.33	2032.146	346.772	
7	999.13	33.68	1.53	1001.06	948.98	2406.418	-21.292	
8	1024.20	21.47	17.73	1091.71	1001.06	5756.086	718.340	
9	1107.14	52.00	8.55	1138.00	1091.71	1901.442	201.267	
10	1151.50	69.38	5.73	1180.44	1138.00	1053.361	86.319	
11	1323.17	69.45	4.62	1354.03	1253.73	2635.963	136.162	
12	1413.82	64.66	7.93	1448.54	1354.03	2893.602	301.048	
13	1593.20	71.73	16.54	1730.15	1502.55	4179.505	1681.767	
14	2883.58	76.36	2.26	2904.80	2580.76	4082.576	-624.743	

15	2931.80	75.36	4.28	2991.59	2904.80	1844.996	185.004	
16	3280.92	52.44	36.56	3633.89	2991.59	20042.075	13316.971	

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN G

DOKUMENTASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

1.  Menimbang kebutuhan kitosan untuk setiap variasi.	2.  Membuat larutan asam asetat 1 %.	3.  Mencampurkan kitosan dengan larutan asam asetat 1%	4.  Membuat larutan Salisilaldehid dengan etanol sesuai dengan variasi.
5.  Mencampurkan larutan kitosan dengan larutan salisilaldehid	6.  Proses ultrasonifikasi selama 2 jam	7.  Proses pencampuran larutan kitosan dengan gliserol pada suhu 60 derajat	8.  Proses menumpahkan larutan bioplastik pada wadah berukuran 18 cm x 10 cm
9.  Hasil bioplastik			

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN H

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. Perhitungan Kebutuhan Salisilaldehid

Dilakukan perhitungan kebutuhan berapa volume (mL) salisilaldehid yang akan digunakan untuk variasi terhadap kitosan, dalam suatu reaksi atau pembuatan larutan berdasarkan hasil pengujian FTIR, yang didapat hasil DD 85 %. Hal ini dapat mempengaruhi kebutuhan salisilaldehid terhadap kitosan. Berikut perhitungan kebutuhan salisilaldehid.

a. Hitung mol gugus -NH_2 kitosan (DD 85%)

Asumsi: kitosan dianggap terdiri dari unit glukosamin (NH_2) dengan $M_r \approx 161 \text{ g/mol}$.

- Massa kitosan: 3,00 g
- Mol unit kitosan:

$$n_{\text{unit}} = \frac{3.00}{161} \approx 1.86 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- DD 85% $\rightarrow$ fraksi $\text{-NH}_2 = 0,85$
- Mol gugus -NH_2 :

$$n_{\text{NH}_2} = 1.86 \times 10^{-2} \times 0.85 \approx 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

b. tentukan mol salisilaldehida untuk rasio 1.5:3, 2:3, 2.5:3

- Perhitungan menggunakan rasio 1,5:3 dapat dirumuskan:

$$n_{\text{salisilaldehida}} = 1.5 \times n_{\text{NH}_2}$$

$$n_{\text{salisilaldehida}} \approx 1,5 \times 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol} \approx 2,3715 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Perhitungan menggunakan rasio 2:3 dapat dirumuskan:

$$n_{\text{salisilaldehida}} = 2 \times n_{\text{NH}_2}$$

$$n_{\text{salisilaldehida}} \approx 2 \times 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol} \approx 3,162 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

- Perhitungan menggunakan rasio 2,5:3 dapat dirumuskan:

$$n_{\text{salisilaldehida}} = 2,5 \times n_{\text{NH}_2}$$

$$n_{\text{salisilaldehida}} \approx 2,5 \times 1,581 \times 10^{-2} \text{ mol} \approx 3,9525 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

c. Konversi mol salisilaldehida ke massa atau volume

M_r salisilaldehida $\approx 122,12 \text{ g/mol}$, maka:

$$m_{\text{salisilaldehida}} = \text{mol salisilaldehida} \times 122.12$$

- Perhitungan menggunakan rasio 1,5:3 dapat dirumuskan:

$$m_{\text{salisilaldehida}} = 2,3715 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 122.12 \approx 2,9 \text{ gram}$$

- Perhitungan menggunakan rasio 2:3 dapat dirumuskan:

$$m_{\text{salisilaldehida}} = 3,162 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 122.12 \approx 3,8 \text{ gram}$$

- Perhitungan menggunakan rasio 2,5:3 dapat dirumuskan:

$$m_{\text{salisilaldehida}} = 3,9525 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 122.12 \approx 4,8 \text{ gram}$$

Dengan demikian, penggunaan 3 g kitosan dengan derajat deasetilasi 85% pada rasio 1,51 memerlukan sekitar 2,9 g salisilaldehida; untuk massa kitosan lain, kebutuhan salisilaldehida disesuaikan secara proporsional.

a. Konversi dari *gram* ke *ml*

Diketahui Densitas (ρ) = 1,146 gr/ml dapat dirumuskan :

$$V = \frac{\text{Massa (gram)}}{\text{densitas gr/ml}}$$

- 1.50: 3.00

$$V = \frac{\text{Massa (gram)}}{\text{densitas gr/ml}}$$

$$V = \frac{2,9 \text{ gram}}{1,146 \text{ gr/ml}}$$

$$V = 2,5 \text{ ml}$$

- 2.00: 3.00

$$V = \frac{\text{Massa (gram)}}{\text{densitas gr/ml}}$$

$$V = \frac{3,8 \text{ gram}}{1,146 \text{ gr/ml}}$$

$$V = 3,3 \text{ ml}$$

- 2.50: 3.00

$$V = \frac{\text{Massa (gram)}}{\text{densitas gr/ml}}$$

$$V = \frac{4,8 \text{ gram}}{1,146 \text{ gr/ml}}$$

$$V = 4,1 \text{ ml}$$

Jadi untuk kebutuhan salisilaldehid dengan perbandingan 1.50: 3.00 sebanyak

2,5 ml, 2.00: 3.00 sebanyak 3,3 ml, dan 2.50: 3.00 sebanyak 4,1 ml

b. Konversi dari *ml* kedalam bentuk persen

- $3:1,5 = \frac{1,5}{3} \times 100 \% = 50\%$
- $3:2 = \frac{2}{3} \times 100 \% = 66,67\%$
- $3:2,5 = \frac{2,5}{3} \times 100 \% = 83,33\%$

Jadi nilai persentase salisilaldehid dengan perbandingan 1.50: 3.00 sebesar 50%, 2.00: 3.00 sebanyak 66,67%, dan 2.50: 3.00 sebanyak 83,33%.

2. Perhitungan kebutuhan Asam Asetat 1 %

Dilakukan perhitungan kebutuhan berapa volume asam asetat 1% yang akan digunakan untuk pembuatan larutan bioplastik, dalam suatu reaksi atau pembuatan larutan. Dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V \text{ Asam Asetat} = \frac{1}{100} \times V \text{ total}$$

- Kebutuhan 100 ml larutan asam asetat 1 %

$$V \text{ Asam Asetat} = \frac{1}{100} \times 100 \text{ ml}$$

$$V \text{ Asam Asetat} = 1 \text{ ml}$$

Larutan asam asetat 1% dibuat dengan mengencerkan asam asetat glasial sesuai perbandingan 1 mL dalam 100 mL larutan

3. Perhitungan kebutuhan Nanopartikel ZnO

Diketahui berat kitosan 3 gram, untuk mencari kebutuhan nanopartikel ZnO adalah presentase dari berat kitosan.

$$0 \% = \frac{0}{100} \times 3 \text{ gram} = 0 \text{ gram}$$

$$1 \% = \frac{1}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,03 \text{ gram}$$

$$3 \% = \frac{3}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,09 \text{ gram}$$

$$5 \% = \frac{5}{100} \times 3 \text{ gram} = 0,15 \text{ gram}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I
HASIL UJI *SWELLING*

Halaman ini sengaja dikosongkan

1. SAMPEL AA1		2. SAMPEL AA2	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir
3. SAMPEL AA3		4. SAMPEL AA4	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir
5. SAMPEL AA5		6. SAMPEL AA6	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir
7. SAMPEL AA7		8. SAMPEL AA8	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir

9. SAMPEL AA9		10. SAMPEL AA10	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir
11. SAMPEL AA11		12. SAMPEL AA12	
			
Berat awal	Berat akhir	Berat awal	Berat akhir
13. 			
Proses uji swelling			

A. Kondisi Bioplastik setelah direndam selama 5 menit

- AA1 = Lunak, bentuk cepat melebur
- AA2 = Lunak,
- AA3 = Lunak
- AA4 = Lunak
- AA5 = Lunak, bentuk cepat melebur
- AA6 = Lunak
- AA7 = Lunak
- AA8 = Lunak
- AA9 = Lunak, bentuk cepat melebur
- AA10 = Lunak, bentuk masih utuh
- AA11 = Lunak, bentuk masih utuh
- AA12 = Lunak, bentuk masih u

Tabel Hasil Uji *Swelling*

No	Variasi Salisilaldehid (mL)	Variasi nanopartikel ZnO	Berat sebelum perendaman (g)	Berat sesudah perendaman (g)	Pembengkakan air (%)	Ketahanan air (%)
1.	50%	0%	0,147	1.456	890,5	10,10
2.	50%	1%	0,301	1.296	330.40	23,23
3.	50%	3%	0.278	1.084	289,90	25,64
4.	50%	5%	0,240	0.833	247,1	28,81
5.	66,67%	0%	0,215	0.742	245,12	28,98
6.	66,67%	1%	0,148	0,714	382,40	20,73
7.	66,67%	3%	0,169	0.784	364,50	21,56
8.	66,67%	5%	0,299	1,237	224.80	24,17
9.	83,33%	0%	0,310	1.482	360,6	20,92
10.	83,33%	1%	0,274	1.087	296,90	25,20
11.	83,33%	3%	0,308	1.025	232,70	30,05
12.	83,33%	5%	0,381	1.237	224.80	30,80

B. Perhitungan Nilai Swelling

$$Swelling = \frac{W1 - W0}{W0} \times 100$$

$W1$ = sesudah direndam air

$W0$ = sebelum direndam air

$$AA1 = \frac{1,456 - 0,147}{0,147} \times 100\%$$

$$= 890,5\%$$

$$AA2 = \frac{1,296 - 0,301}{0,301} \times 100\%$$

$$= 330,4\%$$

$$AA3 = \frac{1,084 - 0,278}{0,278} \times 100\%$$

$$= 289,9\%$$

$$\begin{aligned}
AA4 &= \frac{0,833-0,240}{0,240} \times 100\% \\
&= 247,1\% \\
AA5 &= \frac{0,742-0,215}{0,215} \times 100\% \\
&= 245\% \\
AA6 &= \frac{0,714-0,148}{0,148} \times 100\% \\
&= 382,4 \% \\
AA7 &= \frac{0,784-0,169}{0,169} \times 100\% \\
&= 364,5 \% \\
AA8 &= \frac{1,237-0,299}{0,299} \times 100\% \\
&= 313,7\% \\
AA9 &= \frac{1,428-0,310}{0,310} \times 100\% \\
&= 360,6 \% \\
AA10 &= \frac{1,087-0,274}{0,274} \times 100\% \\
&= 296,9 \% \\
AA11 &= \frac{1,025-0,308}{0,308} \times 100\% \\
&= 232,7 \% \\
AA12 &= \frac{1,237-0,381}{0,381} \times 100\% \\
&= 224,8 \%
\end{aligned}$$

C. Pehitungan Nilai Ketahanan Air

$$\text{Ketahan air} = \frac{W0}{W1} \times 100$$

$W1$ = sesudah direndam air

$W0$ = sebelum direndam air

$$AA1 = \frac{0,147}{1,456} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
&= 10,10 \text{ \%} \\
\text{AA2} &= \frac{0,301}{1,296} \times 100\% \\
&= 23,23 \text{ \%} \\
\text{AA3} &= \frac{0,278}{1,084} \times 100\% \\
&= 25,64 \text{ \%} \\
\text{AA4} &= \frac{0,240}{0,833} \times 100\% \\
&= 28,81 \text{ \%} \\
\text{AA5} &= \frac{0,215}{0,742} \times 100\% \\
&= 28,98 \text{ \%} \\
\text{AA6} &= \frac{0,148}{0,714} \times 100\% \\
&= 20,73 \text{ \%} \\
\text{AA7} &= \frac{0,169}{0,784} \times 100\% \\
&= 21,56 \text{ \%} \\
\text{AA8} &= \frac{0,299}{1,237} \times 100\% \\
&= 26,17 \text{ \%} \\
\text{AA9} &= \frac{0,310}{1,482} \times 100\% \\
&= 20,92 \text{ \%} \\
\text{AA10} &= \frac{0,274}{1,087} \times 100\% \\
&= 25,20 \text{ \%} \\
\text{AA11} &= \frac{0,308}{1,205} \times 100\% \\
&= 30,05 \text{ \%} \\
\text{AA12} &= \frac{0,381}{1,237} \times 100\% \\
&= 30,80 \text{ \%}
\end{aligned}$$

HASIL PENGUKURAN DI LABORATORIUM LIMBAH PPNS

Nama Praktikan : Florentina Ratna Eris Nanda
NRP : 1022040021
Judul Penelitian : Pemanfaatan Limbah Kulit Udang sebagai Bahan Baku Bioplastik Berbasis Kitosan Termodifikasi Salisilaldehid dan ZnO sebagai Antimikroba

A. Pengujian nilai Swelling

No	Variasi Salisilaldehid (mL)	Variasi nanopartikel ZnO	berat sebelum perendaman (g)	berat sesudah perendaman (g)	mbengkakan air (%)	tahan air (%)
1.	2,5	0%	0.147	1.456	890,5	10.10
2.	2,5	1%	0.301	1.296	330.40	23.22
3.	2,5	3%	0.278	1.084	289,90	25.63
4.	2,5	5%	0.240	0.833	247,1	28.83
5.	3,3	0%	0.240	0.833	245	28.99
6.	3,3	1%	0.215	742	382,40	20.74
7.	3,3	3%	0.148	0.714	364,50	21.52
8.	3,3	5%	0.169	0.784	313,70	24.18
9.	4,1	0%	0.310	1.482	360,6	21.73
10.	4,1	1%	0.274	1.087	296,90	25.19
11.	4,1	3%	0.308	1.025	232,70	30.03
12.	4,1	5%	0.381	1.237	224.80	30.78

Surabaya, 25 Juni 2026
Mengetahui
Kepala Laboratorium Limbah

Vivin Setiawan, S.T., M.Eng.
NIP. 198909162015042002

Nb : 2.5 menjelaskan bahwa nilai 50% salisilaldehid, 3.3 menjelaskan bahwa nilai 66,67% salisilaldehid, dan 4.1 menjelaskan bahwa nilai 83,33% salisilaldehid.

LAMPIRAN J
HASIL UJI DEGRADASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Dokumentasi Degradasi

1. SAMPEL AA1		2. SAMPEL AA2	
 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari
 Berat awal 9 hari	Berat akhir 9 hari sudah terdegredasi	 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegredasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegredasi
3. SAMPEL AA3		4. SAMPEL AA4	
 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari
3.SAMPEL AA3		1. SAMPEL AA4	

 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari	 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi
2. SAMPEL AA5		3. SAMPEL AA6	
 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari
 Berat awal 9 hari	Berat akhir 9 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 9 hari	Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi
4. SAMPEL AA7		5. SAMPEL AA8	

 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari
 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari	 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi
6. SAMPEL AA9		7. SAMPEL AA10	
 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari

6.SAMPEL AA9		7.SAMPEL AA10	
 Berat awal 9 hari	Berat akhir 9 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi
8. SAMPEL AA11		9. SAMPEL AA12	
 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari	 Berat awal 3 hari	 Berat akhir 3 hari

11.SAMPEL AA11		12.SAMPEL AA12	
 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari	 Berat awal 9 hari	 Berat akhir 9 hari
 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi	 Berat awal 15 hari	Berat akhir 15 hari sudah terdegradasi
13.  Degradasi 12 sampel bioplastik	14.  Pengambilan berat akhir 12 sampel bioplastik	14.  Berat akhir untuk degradasi	

B. Tabel Berat Bioplastik Terhadap Uji Degredasi

NO	Kode Sampel	Komposisi	Berat Awal 3 Hari (gram)	Berat Awal 9 Hari (gram)	Berat Awal 15 Hari (gram)	Berat Akhir 3 Hari (gram)	Berat Akhir 9 Hari (gram)	Berat Akhir 15 Hari (gram)
1	AA1	2,5 mL salisilaldehid 0% nanopartikel ZnO	0,17	0,17	0,17	0,04	0	0
2	AA2	2,5 mL salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,157	0,254	0,136	0,834	0,49	0
3	AA3	2,5 mL salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,153	0,174	0,156	0,511	0,342	0
4	AA4	2,5 mL salisilaldehid 5% nanopartikel ZnO	0,238	0,258	0,221	0,808	0,532	0
5	AA5	3,3 mL salisilaldehid 0% nanopartikel ZnO	0,17	0,17	0,17	0,06	0	0
6	AA6	3,3 mL salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,257	0,206	0,191	0,86	0,582	0
7	AA7	3,3 mL salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,318	0,258	0,216	1,544	0,752	0
8	AA8	3,3 mL salisilaldehid 5%	0,246	0,272	0,227	1,757	1,21	0

NO	Kode Sampel	Komposisi	Berat Awal 3 Hari (gram)	Berat Awal 9 Hari (gram)	Berat Awal 15 Hari (gram)	Berat Akhir 3 Hari (gram)	Berat Akhir 9 Hari (gram)	Berat Akhir 15 Hari (gram)
		nanopartikel ZnO						
9	AA9	4,1 mL salisilaldehid 0% nanopartikel ZnO	0,15	0,15	0,15	0,05	0	0
10	AA10	4,1 mL salisilaldehid 1% nanopartikel ZnO	0,295	0,272	0,297	1,759	1,047	0
11	AA11	4,1 mL salisilaldehid 3% nanopartikel ZnO	0,333	0,253	0,299	1,931	1,304	0
12	AA12	4,1 mL salisilaldehid 5% nanopartikel ZnO	0,413	0,419	0,326	1,912	1,717	0

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN K
PENGUJIAN ANTIMIKROBA

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. PERHITUNGAN

10. Media Nutrient Agar

Kebutuhan gram 1 liter = 20 gram

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan gram 1 ml} &= \frac{20 \text{ gram}}{1000 \text{ ml}} \\ &= 0,02 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kebutuhan larutan 40 pasang = 20 ml x 40
= 800 ml
- Kebutuhan gram 800 ml = 0,02 x 800 ml
= 16 gram

Jadi untuk kebutuhan membuat larutan media nutrient agar 800 ml adalah
Sebanyak 16 gram

11. Media Nutrient Broth

Kebutuhan gram 1 liter = 8 gram

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan gram 1 ml} &= \frac{8 \text{ gram}}{1000 \text{ ml}} \\ &= 0,008 \text{ gram}\end{aligned}$$

- Kebutuhan larutan 50 ml = 0,008 x 50 ml
= 0,4 gram

Jadi untuk kebutuhan membuat media *nutrient broth* 50 ml adalah
Sebanyak 0,4 gram

12. Pengenceran inokulasi bakteri pada media NB

Diketahui =

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$0,5 \times V_1 = 0,1 \times 10$$

$$V_1 = \frac{1}{0,5}$$

$$V_1 = 2$$

Jadi 2mL bakteri pada media *nutrient broth* di encerkan kedalam 8 mL ke media *nutrient broth* tanpa bakteri.

B. PEMBUATAN MEDIA NA DAN NB

1. 	2. 	3. 	4. 
Sterilisasi alat yang akan digunakan	Menimbang media NA	Menimbang media NB	Melarutkan media agar dengan aquades
5. 	6. 	7. 	8. 
Pemanasan media NA	Pemanasan media NB	Sterilisasi	Penuangan media NA pada <i>petridish</i>
9. 	10. 		
Penuangan media NB pada tabung reaksi	Media ditaruh kulkas		

C. INOKULASI BAKTERI

1.  Inokulasi bakteri <i>Escherichia coli</i>	2.  Inokulasi bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	3.  Inokulasi bakteri kedalam media NB	4.  Tutup media NB dengan kapas dan plastik wrap
5.  Diinkubasikan pada suhu 37 °C selama 24 jam.	6.  Suspensikan E. coli dan S. aureus diukur Optical Density (OD)-nya dengan spektrofotometer	7.  Suspensikan E. coli dan S. aureus diukur Optical Density (OD)-nya dengan spektrofotometer	8.  Pengenceran

9.  Pengadukan media NB	10.  Suspensikan <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i> diukur Optical Density (OD)-nya dengan spektrofotometer	11.  Ambil bakteri menggunakan <i>cotton bud</i>	12.  Digoreskan suspensi bakteri dan sebar ke cawan petri berisi Nutrient Agar (NA) menggunakan <i>cotton bud</i>.
13.  Ditaruh sampel bioplastik di atas media NA yang sudah digoreskan bakteri <i>Escherichia coli</i> dan <i>Staphylococcus aureus</i> dan <i>E. Coli</i>	14.  Tutup media NA dengan plastik warp	15.  Inkubasi cawan petri tersebut selama 24 jam pada suhu 37 °C.	16.  Analisa zona hambat atau zona bening pada media

Hasil pengukuran zona hambat

LAMPIRAN L
HASIL UJI STATISTIKA

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Uji Normalitas Nanopartikel ZnO

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Nanopartikel_ZnO	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Biodegradasi	0	.209	9	.200 [*]	.823	9	.037
	1	.405	9	.000	.635	9	.000
	3	.299	9	.020	.770	9	.009
	5	.362	9	.001	.702	9	.001
Swelling	0	.345	9	.003	.724	9	.003
	1	.232	9	.176	.810	9	.027
	3	.219	9	.200 [*]	.818	9	.033
	5	.310	9	.013	.760	9	.007
Elongasi	0	.209	9	.200 [*]	.823	9	.037
	1	.414	9	.000	.617	9	.000
	3	.414	9	.000	.617	9	.000
	5	.242	9	.136	.806	9	.024
Kuat_Tarik	0	.214	9	.200 [*]	.822	9	.036
	1	.280	9	.040	.784	9	.014
	3	.377	9	.001	.681	9	.001
	5	.285	9	.034	.781	9	.012

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

B. Uji Normalitas Salisilaldehid

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Salisilaldehid	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Biodegradasi	2.50	.282	12	.009	.765	12	.004
	3.30	.260	12	.025	.823	12	.017
	4.10	.413	12	.000	.612	12	.000
Swelling	2.50	.405	12	.000	.644	12	.000
	3.30	.253	12	.033	.822	12	.017
	4.10	.289	12	.007	.794	12	.008
Elongasi	2.50	.307	12	.003	.764	12	.004
	3.30	.247	12	.042	.837	12	.026
	4.10	.247	12	.042	.837	12	.026
Kuat_Tarik	2.50	.259	12	.025	.841	12	.028
	3.30	.288	12	.007	.725	12	.001
	4.10	.291	12	.006	.798	12	.009

a. Lilliefors Significance Correction

Nb : 2.50 menjelaskan bahwa nilai 50% salisilaldehid, 3.30 menjelaskan bahwa nilai 66,67% salisilaldehid, dan 4.10 menjelaskan bahwa nilai 83,33% salisilaldehid

C. Uji Homogenitas Nanopartikel ZnO

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kuat_Tarik	Based on Mean	.577	3	32	.634
	Based on Median	.405	3	32	.751
	Based on Median and with adjusted df	.405	3	31.285	.751
	Based on trimmed mean	.564	3	32	.643
Elongasi	Based on Mean	4.536	3	32	.009
	Based on Median	3.333	3	32	.032
	Based on Median and with adjusted df	3.333	3	26.048	.035
	Based on trimmed mean	4.486	3	32	.010
Swelling	Based on Mean	33.348	3	32	.000
	Based on Median	4.890	3	32	.007
	Based on Median and with adjusted df	4.890	3	8.703	.029
	Based on trimmed mean	29.204	3	32	.000
Biodegradasi	Based on Mean	16.099	3	32	.000
	Based on Median	2.426	3	32	.084
	Based on Median and with adjusted df	2.426		23.991	.090
	Based on trimmed mean	14.091	3	32	.000

D. Uji Homogenitas Nanopartikel ZnO

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kuat_Tarik	Based on Mean	.808	2	33	.455
	Based on Median	.549	2	33	.583
	Based on Median and with adjusted df	.549	2	26.705	.584
	Based on trimmed mean	.749	2	33	.481
Elongasi	Based on Mean	1.179	2	33	.320
	Based on Median	.971	2	33	.389
	Based on Median and with adjusted df	.971	2	30.421	.390
	Based on trimmed mean	1.175	2	33	.321
Swelling	Based on Mean	18.173	2	33	.000
	Based on Median	2.861	2	33	.071
	Based on Median and with adjusted df	2.861	2	11.592	.098
	Based on trimmed mean	14.185	2	33	.000
Biodegradasi	Based on Mean	5.618	2	33	.008
	Based on Median	1.330	2	33	.278
	Based on Median and with adjusted df	1.330	2	17.019	.291
	Based on trimmed mean	4.596	2	33	.017

E. Nonparametrik Kruskal-Wallis

Ranks							
	Perlakuan	N	Mean Rank				
Kuat_Tarik	1	3	24.50		2	3	17.00
	2	3	11.00		3	3	11.00
	3	3	14.00		4	3	14.00
	4	3	5.00		5	3	8.00
	5	3	2.00		6	3	20.00
	6	3	24.50		7	3	23.00
	7	3	30.50		8	3	26.00
	8	3	20.00		9	3	5.00
	9	3	17.00		10	3	29.00
	10	3	8.00		11	3	35.00
	11	3	35.00		12	3	32.00
	12	3	30.50		Total	36	
	Total	36					
Elongasi	1	3	27.50	Swelling	1	3	35.00
	2	3	27.50		2	3	23.00
	3	3	17.00		3	3	14.00
	4	3	8.00		4	3	11.00
	5	3	14.00		5	3	8.00
	6	3	35.00		6	3	32.00
	7	3	8.00		7	3	29.00
	8	3	27.50		8	3	20.00
	9	3	2.00		9	3	26.00
	10	3	27.50		10	3	17.00
	11	3	8.00		11	3	5.00
	12	3	20.00		12	3	2.00
	Total	36			Total	36	
Biodegradasi	1	3	2.00				

Test Statistics ^{a,b}				
	Kuat_Tarik	Elongasi	Biodegradasi	Swelling
Kruskal-Wallis H	35.000	35.000	35.000	35.000
df	11	11	11	11
Asymp. Sig.	.000	.000	.000	.000

a. Kruskal-Wallis Test

b. Grouping Variable: Perlakuan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Florentina Ratna Eris Nanda lahir di Bandung pada tanggal 10 Maret 2003. Penulis telah menempuh pendidikan formal di, SMPN 12 Surabaya, dan SMAN 10 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah. Selama kuliah, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Pengolahan Limbah sebagai staff departement Komunikasi dan Informasi (KOMINFO) periode 2023/2024 dan periode 2024/2025. Penulis mempunyai pengalaman On The Job Training di Dinas Lingkungan Hidup Surabaya divisi Pengawasan persetujuan Lingkungan dan Penyelesaian Sengketa Lingkungan Hidup pada bulan Februari-Juli, PT. Cemindo Gemilang, Tbk departement SHE pada bulan Agustus-September dan PT.Starfood International departement HSE pada bulan November-Desember. Pembaca yang ingin menyampaikan kritik, saran ataupun pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email florentinartn@gmail.com

