



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI
SUMBER SELULOSA DALAM PEMBUATAN BIOPLASTIK DENGAN VARIASI
PLASTICIZER GLISEROL DAN KITOSAN CANGKANG RAJUNGAN**

Putu Cahya Gita Berlianti

NRP. 1022040057

DOSEN PEMBIMBING

DENNY DERMAWAN, S.T., M.T., Ph.D

MILASARI, S.Stat., M.Stat

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 PERTANIAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI
SUMBER SELULOSA DALAM PEMBUATAN BIOPLASTIK DENGAN VARIASI
PLASTICIZER GLISEROL DAN KITOSAN CANGKANG RAJUNGAN**

Putu Cahya Gita Berlianti

NRP. 1022040057

DOSEN PEMBIMBING

DENNY DERMAWAN, S.T., M.T., Ph.D

MILASARI, S.Stat., M.Stat

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

SURABAYA

2026

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN TONGKOL JAGUNG
SEBAGAI SUMBER SELULOSA DALAM PEMBUATAN BIOPLASTIK
DENGAN VARIASI *PLASTICIZER* GLISEROL DAN KITOSAN
CANGKANG RAJUNGAN**

Disusun Oleh:
Putu Cahya Gita Berlianti
1022040057

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 : 02 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

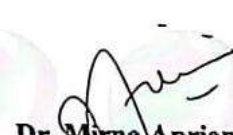
Dosen Penguji	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Denny Dermawan, S.T., M.T., Ph.D.	(2740754655130122)	(.....)
2. Milasari, S.Stat., M.Stat.	(1050772673230313)	(.....)
3. Vivin Setiani, S.T., M.Eng.	(7248767668230273)	(.....)
4. Anisa Esti Rahayu, S.Si., M.Si.	(0948776677230242)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Denny Dermawan, S.T., M.T., Ph.D.	(2740754655130122)	(.....)
2. Milasari, S.Stat., M.Stat.	(1050772673230313)	(.....)

Menyetujui
Ketua Jurusan,


Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 197708192005011001

Mengetahui
Koordinator Program Studi,


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

Halaman ini sengaja dikosongkan

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

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Putu Cahya Gita Berlianti

NRP : 1022040057

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 Pertanian Tongkol Jagung sebagai Sumber Selulosa dalam Pembuatan Bioplastik dengan Variasi *Plasticizer* Gliserol dan Kitosan Cangkang Rajungan

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

Apabila kemudian hari terbukti 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, 30 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



Putu Cahya Gita Berlianti
NRP. 1022040057

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan puji dan syukur, penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berkah, rahmat, hidayah, dan nikmat yang tak ternilai sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul **“Pemanfaatan Limbah Pertanian Tongkol Jagung sebagai Sumber Selulosa dalam Pembuatan Bioplastik dengan Variasi *Plasticizer* Gliserol dan Kitosan Cangkang Rajungan”**. Penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk kelulusan pada Program Studi Diploma IV Teknik Pengolahan Limbah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penulis menyadari Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan, serta kontribusi berbagai pihak, baik dalam bentuk bimbingan, arahan, maupun motivasi. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberi nikmat berupa kesehatan, kemudahan, serta kesabaran kepada penulis dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dari awal hingga akhir.
2. Kedua orang tua saya (Bapak I Made Sudiarta dan Ibu Sugiyati) dan adik saya Dynar Chantiqa Gita Pratiwi. Terima kasih atas segala bentuk kasih sayang, nasihat, motivasi, dukungan, serta do'a yang senantiasa dipanjatkan, sehingga memberikan kemudahan dan kelancaran selama proses penyusunan Tugas Akhir dari awal hingga selesai.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Ibu Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Pengolahan Limbah.
6. Bapak Denny Dermawan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membantu dengan meluangkan waktu, memberikan nasihat, semangat, doa, serta bimbingan konsultasi sehingga Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik.
7. Ibu Milasari, S.Stat., M.Stat. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu dengan meluangkan waktu, memberikan nasihat, semangat, arahan, serta bimbingan konsultasi sehingga Tugas Akhir dapat diselesaikan dengan baik.

8. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengolahan Limbah yang selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
9. Ibu Vivin Setiani, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji I penguji dalam penelitian yang tiada hentinya memberikan kesempatan, saran, dan masukan dalam penyusunan penelitian.
10. Ibu Anisa Esti Rahayu, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan saran, masukan, arahan, dan kesempatan dalam penyusunan penelitian.
11. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Pengolahan Limbah serta karyawan PPNS yang senantiasa mendoakan dan memberikan banyak ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
12. Ralang Sigit Hidayat yang telah memberikan dukungan, semangat, dan selalu menjadi pendengar yang baik. Kehadiran dan dukungan yang diberikan menjadi salah satu sumber motivasi yang berarti, sehingga penulis dapat melalui setiap proses dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
13. Devina, Deswitha, Risna, Selvi, Ika yang selalu membantu, memotivasi dan memberi saran kepada penulis selama menyusun Tugas Akhir dari awal hingga akhir.
14. Teman – teman seperjuangan IGNECENT.22 yang sudah membersamai perjalanan suka dan duka selama perkuliahan.
15. Diri sendiri, yang telah berusaha dengan penuh ketekunan, kesabaran, dan semangat dalam menjalani tiap proses penyusunan Tugas Akhir. Semoga pencapaian ini sebagai pengingat bahwa setiap usaha, sekecil apapun, akan bermuara pada hasil yang bermakna apabila dijalani dengan tekad dan ketulusan.

Akhirnya penulis dapat mengungkapkan beribu – ribu terima kasih sehingga penulis dapat menyelesaikan pengerjaan dan penyusunan laporan penelitian ini. Penulis memohon maaf jika ada beberapa pihak yang tidak dapat penulis sebutkan. Kepada semua pihak yang telah banyak membantu penelitian ini semoga Allah SWT melimpahkan rezeki, serta keberkahan yang berlimpah. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada penulis khususnya dan kepada pembaca pada umumnya.

Surabaya, 26 Juni 2026

Penulis

PEMANFAATAN LIMBAH PERTANIAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI SUMBER SELULOSA DALAM PEMBUATAN BIOPLASTIK DENGAN VARIASI *PLASTICIZER* GLISEROL DAN KITOSAN CANGKANG RAJUNGAN

Putu Cahya Gita Berlianti

ABSTRAK

Limbah tongkol jagung merupakan limbah pertanian yang memiliki kandungan selulosa cukup tinggi. Dengan kandungan selulosa tersebut, tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioplastik dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dan kitosan cangkang rajungan sebagai penguat. Penambahan variasi yang digunakan adalah gliserol sebesar 2%, 3%, dan 4%, serta variasi kitosan sebesar 3%, 3,5%, dan 4%. Pada penelitian ini bioplastik dilakukan pengujian kuat tarik, elongasi, *swelling*, degradasi, FTIR, SEM, dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 1,78 MPa pada variasi gliserol 2% dan kitosan 4%, sedangkan nilai elongasi tertinggi sebesar 119,1% pada variasi gliserol 2% dan kitosan 3%. Nilai *swelling* terendah sebesar 17,4% diperoleh pada variasi gliserol 2% dan kitosan 4%, sedangkan nilai degradasi tertinggi sebesar 100% pada hari ke-11 diperoleh pada variasi gliserol 4% dan kitosan 3%. Hasil uji XRD menunjukkan indeks kristalinitas sebesar 81,02%. Berdasarkan uji Kruskal-Wallis, elongasi bioplastik dipengaruhi signifikan oleh kitosan dan interaksinya dengan gliserol, sedangkan kuat tarik tidak dipengaruhi signifikan oleh kedua faktor tersebut.

Kata Kunci: Tongkol Jagung, Kitosan, Gliserol, Bioplastik, Kuat Tarik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

UTILIZATION OF CORN COB AGRICULTURAL WASTE AS A SOURCE CELLULOSE IN BIOPLASTIC PRODUCTION WITH GLYCEROL PLASTICIZER VARIATIONS AND CRAB SHELL CHITOSAN

Putu Cahya Gita Berlianti

ABSTRACT

Corn cobs are an agricultural waste product with a relatively high cellulose content. Due to this cellulose content, corn cobs can be used as a raw material for bioplastics with the addition of glycerol as a plasticizer and chitosan derived from blue crab shells as a reinforcing agent. The variations in additives used were glycerol at 2%, 3%, and 4%, and chitosan at 3%, 3.5%, and 4%. In this study, the bioplastics were tested for tensile strength, elongation, swelling, degradation, FTIR, SEM, and XRD. The results showed the highest tensile strength of 1.78 MPa at a glycerol concentration of 2% and chitosan concentration of 4%, while the highest elongation was 119.1% at a glycerol concentration of 2% and chitosan concentration of 3%. The lowest swelling value of 17.4% was obtained in the 2% glycerol and 4% chitosan formulation, while the highest degradation value of 100% on day 11 was observed in the 4% glycerol and 3% chitosan formulation. XRD test results showed a crystallinity index of 81.02%. Based on the Kruskal-Wallis test, the elongation of the bioplastic was significantly influenced by chitosan and its interaction with glycerol, whereas tensile strength was not significantly influenced by these two factors.

Keywords : *Corn Cobs, Chitosan, Glycerol, Bioplastic, Tensile Strength.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Bioplastik	7
2.2 Tongkol jagung	8
2.3 <i>Plasticizer</i>	9
2.4 Kitosan	10
2.5 <i>Carnauba wax</i>	11
2.6 Pengujian <i>Swelling</i>	12
2.7 Pengujian Degradasi	13
2.8 Pengujian Kuat Tarik dan Elongasi	13
2.9 Pengujian FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	14
2.10 Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	14

2.11	Pengujian XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	15
2.12	MANOVA (<i>Multivariate Analysis of Varance</i>)	16
2.13	<i>Gap Analysis</i>	16
2.14	Penelitian Terdahulu.....	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		19
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2	Perumusan Ide Penelitian	21
3.3	Perumusan Masalah dan Tujuan.....	22
3.4	Studi Literatur.....	23
3.5	Penentuan Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.5.1	Waktu	23
3.5.2	Lokasi	23
3.6	Objek Penelitian	24
3.7	Penentuan Variabel Penelitian.....	24
3.7.1	Variabel Bebas.....	24
3.7.2	Variabel Terikat.....	25
3.7.3	Variabel Kontrol.....	25
3.8	Pelaksanaan Penelitian	25
3.8.1	Persiapan Alat dan Bahan.....	25
3.8.2	Pengambilan Sampel	26
3.8.3	Penentuan Variasi Penelitian.....	26
3.8.4	Preparasi Bahan Baku Tongkol Jagung.....	27
3.8.5	Preparasi Kitosan Cangkang Rajungan	30
3.8.6	Preparasi <i>Carnauba wax</i>	33
3.8.7	Pembuatan Bioplastik.....	33
3.8.8	Pengujian Degradasi <i>Soil Burial Test</i>	35
3.8.9	Pengujian <i>Swelling</i>	35

3.8.10 Pengujian Sifat Mekanis Bioplastik.....	36
3.8.11 Karakterisasi FTIR, SEM, dan XRD	37
3.9 Uji Statistik	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Analisis <i>Chesson Data</i>	38
4.2 Hasil Ekstraksi Kitosan.....	40
4.3 Hasil Pembuatan Bioplastik	41
4.4 Hasil Pengujian <i>Swelling</i>	44
4.5 Hasil Pengujian Degradasi	45
4.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik dan Elongasi	47
4.7 Analisis Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	51
4.8 Analisis FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	52
4.9 Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	53
4.10 Analisis Pengujian Statistik (MANOVA).....	55
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN I PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN.....	75
LAMPIRAN II ANALISIS <i>CHESSON DATTA</i>	79
LAMPIRAN III PROSES DELIGNIFIKASI TONGKOL JAGUNG	85
LAMPIRAN IV PROSES <i>BLEACHING</i> TONGKOL JAGUNG	89
LAMPIRAN V KITOSAN CANGKANG RAJUNGAN.....	93
LAMPIRAN VI PROSES PEMBUATAN BIOPLASTIK	101
LAMPIRAN VII PENGUJIAN <i>SWELLING</i>	105
LAMPIRAN VIII PENGUJIAN DEGRADABILITAS (<i>SOIL BURIAL TEST</i>) .	111
LAMPIRAN IX HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK DAN ELONGASI.....	121

LAMPIRAN X HASIL PENGUJIAN SEM	133
LAMPIRAN XI HASIL PENGUJIAN FTIR	137
LAMPIRAN XII HASIL PENGUJIAN XRD	141
LAMPIRAN XIII HASIL UJI STATISTIKA	145
LAMPIRAN XIV HASIL PENGUJIAN DI LABORATORIUM LIMBAH....	151
BIODATA PENULIS	155

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bioplastik	8
Gambar 2.2 Struktur Selulosa	9
Gambar 2.3 Kitosan	11
Gambar 2.4 Limbah cangkang rajungan	11
Gambar 2.5 Sifat fungsional lilin karnauba	12
Gambar 2.6 Thermo Scientific Nicolet iS10.....	14
Gambar 2.7 SEM FEI Inspect S50.....	15
Gambar 2.8 XRD	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan 1).....	20
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan 2).....	21
Gambar 3.4 Lokasi Pembuatan Bioplastik.....	23
Gambar 3.5 Lokasi Pengujian Bioplastik.....	24
Gambar 4.4.1 Grafik hasil analisis chesson datta	38
Gambar 4.4.2 Tongkol jagung setelah bleaching.....	40
Gambar 4.4.3 Tongkol jagung	40
Gambar 4.4 Hasil Pengujian Karakterisasi FTIR.....	41
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Swelling	44
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Biodegradasi	46
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Kuat Tarik.....	47
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Elongasi	49
Gambar 4.9 Hasil Pengujian SEM perbesaran 250x dan 1000x	51
Gambar 4.10 Hasil Pengujian SEM perbesaran 3000x dan 5000x	52
Gambar 4.11 Diafraktogram XRD Bioplastik	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kandungan Tongkol Jagung	9
Tabel 2.2 Gap Analysis	16
Tabel 2.3 Penelitian terdahulu.....	17
Tabel 3.1 Variasi Penelitian	27
Tabel 4.4.1 Data hasil pembuatan kitosan	40
Tabel 4.2 Hasil pembuatan bioplastik dari tongkol jagung.....	42
Tabel 4.3 Bilangan Gelombang FTIR.....	53
Tabel 4.4 Uji Normalitas Terhadap Gliserol.....	55
Tabel 4.5 Uji Normalitas Terhadap Kitosan	55
Tabel 4.6 Hasil Uji Homogenitas Terhadap Variasi Kitosan dan Gliserol	56
Tabel 4.7 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Gliserol	57
Tabel 4.8 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Kitosan.....	57
Tabel 4.9 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Variasi Kitosan dan Gliserol	57

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara agraris, di mana sekitar 40% penduduknya bekerja sebagai petani (Ayun dkk., 2020). Indonesia termasuk sebagai negara yang memiliki populasi penduduk terbesar keempat di dunia, sehingga berbanding lurus dengan kebutuhan pangan masyarakat yang juga tinggi, termasuk konsumsi jagung yang menjadi salah satu komoditas utama (Saputra dkk., 2023). Komoditas jagung adalah salah satu subsektor tanaman pangan dengan kontribusi terbesar kedua setelah padi (Sari dkk., 2021). Jagung merupakan salah satu hasil pertanian unggulan di Indonesia, jagung juga termasuk komoditi pangan strategis kedua di beberapa daerah karena menjadi bahan pokok makanan selain padi. Keberadaannya yang cukup melimpah juga menghasilkan limbah yang berupa tongkol jagung (Marlina & Nurhalliza, 2021).

Menurut Pratama dkk. (2023), berdasar pada data produksi BPS tahun 2019, jumlah limbah tongkol jagung yang dihasilkan di Indonesia diperkirakan mencapai 5,7 juta ton per tahun. Tongkol jagung menjadi sampah atau limbah, yang oleh sebagian besar penduduk desa dibuang begitu saja (Panatarani dkk., 2024). Sebagian besar limbah tersebut tidak dimanfaatkan dan hanya dibuang atau dibakar, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran, meningkatkan efek rumah kaca, serta berkontribusi terhadap pemanasan global. Hasil survei lapangan di wilayah Klangon, Kabupaten Madiun, diketahui bahwa setelah proses panen dan pemipilan jagung, limbah tongkol jagung tidak dimanfaatkan kembali dan umumnya hanya dibakar, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran udara. Muliawati dkk. (2025) juga menyebutkan jika limbah ini sering dibuang sembarangan dan mencemari lingkungan, terutama selama musim hujan saat saluran air mudah tersumbat.

Tongkol jagung mengandung 40–60% selulosa, 20–30% hemiselulosa, dan 25–30% lignin (Sari dkk., 2022). Nilai kandungan selulosa cukup yang tinggi pada tongkol jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik yang ramah lingkungan dan dapat terurai oleh alam (Susanti dkk., 2021). Bioplastik adalah plastik ramah lingkungan yang dapat hancur di alam oleh mikroorganisme dalam tanah. Pengembangan bioplastik menjadi salah satu solusi alternatif yang saat ini semakin digiatkan untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan plastik konvensional. Oleh karena itu, tujuan utama dalam produksi bioplastik adalah untuk menciptakan produk ramah lingkungan yang sesuai dengan kualitas plastik konvensional.

Di sisi lain, Indonesia adalah negara dengan perairan yang sangat luas dengan sumber daya yang melimpah pastinya. Salah satu sumber daya laut yang banyak dicari dan diekspor adalah rajungan (Windhono dkk., 2023). Rajungan ini biasanya diekspor dalam keadaan beku, dimana dilakukan pemisahan kepala dan cangkang rajungan dari kulit. Sehingga dari kegiatan pemisahan tersebut menghasilkan limbah rajungan yang cukup banyak. Proses pengambilan daging rajungan meninggalkan limbah cangkang atau kulit keras dengan jumlah yang sangat banyak mencapai 40 sampai dengan 60% dari total berat rajungan (Natalia dkk., 2021). Limbah cangkang rajungan mengandung 25-30% kitin, 25% protein, 40-50% kalsium karbonat (Windhono dkk., 2023). Rajungan memiliki kandungan kitin yang dapat diproses lebih lanjut melalui reaksi deasetilasi menjadi kitosan (Husni dkk., 2020). Menurut Jin dkk. (2024) penambahan kitosan dapat mempengaruhi sifat mekanik seperti kuat tarik pada bioplastik.

Bioplastik dikenal dengan plastik yang rapuh dan kaku sehingga perlu ditambahkan *plasticizer* untuk memperbaiki sifat mekanisnya dan membuat plastik menjadi lebih elastis dan fleksibel (Purbasari dkk., 2020). Dalam pembuatan bioplastik diperlukan penambahan lain sebagai penunjang seperti kitosan dan gliserol. Gliserol merupakan polimer biologis yang banyak digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan plastik *biodegradable* dengan tujuan untuk memperbaiki sifat fisis dan mekanik (Noviansyah dkk., 2023). Sedangkan kitosan merupakan salah satu jenis material yang dapat digunakan dalam proses pembuatan

bioplastik, memiliki sifat *film forming ability* yang baik, kuat serta mudah terdegradasi oleh mikroorganisme.

Gliserol merupakan material bersifat hidrofilik yang aktif menyerap air (Septiati dkk., 2024). Oleh karena itu, dalam pembuatan bioplastik dapat ditambahkan bahan yang bersifat hidrofobik sebagai penyeimbang gliserol yang bersifat hidrofilik yaitu *carnauba wax* atau lilin karnauba. *Carnauba wax* bersifat hidrofobik yang berarti dapat menurunkan daya serap air pada bioplastik (Correa-Filho dkk., 2024). *Carnauba wax* merupakan lilin alami yang memiliki bentuk fisik keras dan kedap air sehingga dapat menurunkan daya serap air pada bioplastik (Yanti dkk., 2023).

Penelitian dari Hayati dkk. (2020) menunjukkan kadar selulosa dari limbah *nata de coco* dengan variasi selulosa 2 gram; 2,5 gram; 3 gram serta variasi penambahan kitosan sebesar 2,5 gram; 3 gram; 3,5 gram. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh kuat tarik paling optimal sebesar 4,22 MPa dan elongasi sebesar 3,28%. Hasil uji ketahanan air pada bioplastik sebesar 70,93% serta hasil biodegradabilitas yang diperoleh sebesar 80-100% yang artinya bioplastik mampu terdegradasi setelah ditimbun selama 14 hari.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai bioplastik berbahan dasar dari selulosa tongkol jagung dengan penambahan *plasticizer* gliserol, kitosan, dan *carnauba wax*. Hal ini diharapkan menjadi salah satu solusi pemanfaatan limbah tongkol jagung sehingga terciptanya plastik yang ramah lingkungan sekaligus dapat mengurangi jumlah timbunan tongkol jagung yang ada di masyarakat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi kitosan dan variasi gliserol terhadap uji kuat tarik dan elongasi bioplastik menurut SNI 7818:2014?
2. Bagaimana pengaruh variasi kitosan dan variasi gliserol terhadap persentase *swelling* bioplastik dan persentase degradabilitas bioplastik menurut SNI 7188-7 : 2022?

3. Bagaimana karakteristik bioplastik dengan variasi kitosan dan variasi gliserol dari pengujian SEM, FTIR, dan XRD?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi kitosan dan variasi gliserol terhadap kekuatan uji tarik dan elongasi bioplastik menurut SNI 7818:2014.
2. Menganalisis pengaruh terhadap variasi kitosan dan variasi gliserol terhadap persentase *swelling* bioplastik dan persentase degradabilitas bioplastik menurut SNI 7188-7 : 2022 .
3. Menganalisis karakteristik bioplastik dengan variasi kitosan dan variasi gliserol dari pengujian SEM, FTIR, dan XRD.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi Mahasiswa

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi inovasi, referensi, dan dapat menambah wawasan terutama dalam mengolah suatu limbah salah satunya limbah tongkol jagung menjadi produk yang memiliki nilai.

2. Bagi Pembaca

Hasil dari penelitian ini dapat menjadi sumber informasi dan pengetahuan bahwa limbah tongkol jagung memiliki manfaat yang dapat diolah menjadi produk yang bernilai.

1.5 Batasan Masalah

1. Kitosan yang digunakan adalah kitosan dari cangkang rajungan.
2. Metode pengujian degradasi bioplastik menggunakan tanah kompos.
3. Pengujian degradasi dilakukan selama 180 hari berdasarkan SNI 7188-7 : 2022.
4. Pengujian degradasi akan dihentikan apabila persentase degradabilitas sudah mencapai 90% menurut SNI 7188-7 : 2022.
5. Pengujian FTIR, SEM, dan XRD dilakukan pada bioplastik dengan nilai kuat tarik terbaik.

6. Uji statistik pada tingkat degradasi hasil pengujian dengan variasi kitosan dan gliserol sebagai *placticizer*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioplastik

Bioplastik merupakan material inovatif yang saat ini semakin penting untuk dikembangkan karena mampu menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan plastik konvensional (Saputra & Supriyo, 2020). Bioplastik dapat menjadi alternatif bahan kemasan yang ramah lingkungan, karena plastik *biodegradable* merupakan polimer yang terbuat dari bahan secara alami dan mudah terdegradasi oleh mikroorganisme (Muhammad dkk., 2020). Bioplastik yang ideal tidak hanya berfungsi sebagai material ramah lingkungan, tetapi juga dituntut memiliki ketahanan mekanik yang baik dan kemampuan terurai secara alami setelah digunakan (Anggraini dkk., 2025). Dibandingkan plastik konvensional, bioplastik lebih unggul karena bersifat mudah terurai, berkontribusi dalam pengurangan sampah kota, dan berasal dari sumber daya alam terbarukan yang aman bagi lingkungan (Naurah dkk., 2024).

Bioplastik merupakan plastik berbahan dasar biopolimer yang dapat terdegradasi dan dapat diperbaharui lebih cepat daripada plastik konvensional (Kholiq & Kusuma, 2024). Bioplastik juga bisa dikatakan plastik *biodegradable* ramah lingkungan yang dapat terurai secara biologis melalui aktivitas mikroorganisme dan dibuat dari senyawa alami yang berasal dari tumbuhan, seperti selulosa, serta lignin (Hidayati dkk., 2021). Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah upaya mencari bahan baku yang tersedia dalam jumlah besar serta tidak berkompetisi dengan kebutuhan pangan (Anggraini dkk., 2025). Produk pertanian yang berpeluang dimanfaatkan untuk menghasilkan plastik *biodegradable* mencakup limbah tanaman pangan dengan kandungan pati atau selulosa yang tinggi (Khodijah dkk., 2023). Selulosa memiliki karakteristik termoplastik yang memungkinkan untuk diproses dan dibentuk menjadi film sebagai bahan kemasan (Jessica dkk., 2024).



Gambar 2.1 Bioplastik
(Mulyana dkk., 2024)

2.2 Tongkol jagung

Jagung termasuk komoditas pertanian unggulan yang berfungsi sebagai sumber karbohidrat dan menempati posisi kedua setelah beras dalam perannya terhadap perdagangan hasil pertanian, baik di tingkat nasional maupun global (Sariningpuri dkk., 2017). Tingginya produksi jagung berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan oleh petani terutama limbah tongkol jagung (Katiandagho dkk., 2023). Tongkol jagung adalah limbah hasil pertanian yang berasal dari buah jagung setelah bijinya dipisahkan, dan umumnya tidak dimanfaatkan sehingga dibuang sebagai sampah (Atika dkk., 2024). Pemanfaatan limbah pascapanen menjadi salah satu solusi untuk menjaga kebersihan lingkungan dari pencemaran, sekaligus mendorong kreativitas serta meningkatkan sumber perekonomian (Asmini dkk., 2023). Tongkol jagung menyumbang sekitar 30% dari total hasil panen jagung dan tergolong sebagai limbah pertanian (Khodijah & Tobing, 2023).

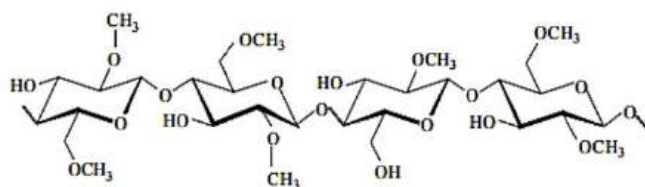
Tingginya produksi jagung, tongkol jagung menjadi salah satu jenis limbah lignoselulosik yang jumlahnya melimpah dan mudah ditemukan di Indonesia (Sina dkk., 2020). Limbah lignoselulosik, yaitu sisa hasil pertanian yang mengandung komponen utama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin (Wening & Amalia, 2023). Selulosa dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan komponen utama yang terdapat pada hampir seluruh sel tumbuhan (Mustofa dkk., 2025). Komposisi kandungan tongkol jagung dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Komposisi Kandungan Tongkol Jagung

Komponen	Kadar (%)
Selulosa	40-60
Hemiselulosa	20-30
Lignin	25-30

Sumber : (N. K. Sari dkk., 2022)

Kandungan selulosa yang termasuk tinggi memiliki peluang pemanfaatan yang sangat besar apabila diolah secara tepat, khususnya kandungan selulosanya untuk dijadikan plastik *biodegradable* (Mantika dkk., 2024). Selulosa adalah polimer organik yang banyak terdapat di alam, dan termasuk jenis homopolisakarida dengan rumus molekul ($C_6H_{10}O_5$) (Mustofa dkk., 2025). Selulosa termasuk polimer alami yang jumlahnya sangat melimpah dan banyak tersedia di permukaan bumi (Mantika dkk., 2024).



Gambar 2.2 Struktur Selulosa
(Rahmidar dkk., 2018)

2.3 Plasticizer

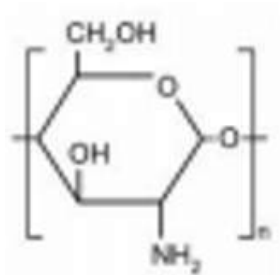
Plasticizer merupakan senyawa bermassa molekul rendah yang mampu mengubah film yang kaku menjadi lebih lentur (Syiami dkk., 2021). *Plasticizer* berperan dalam meningkatkan elastisitas dengan cara menurunkan tingkat ikatan hidrogen serta memperbesar jarak antar molekul pada polimer (Riska dkk., 2025). Muliawati dkk., (2024) menyebutkan bahwa penambahan *plasticizer* gliserol terbukti memengaruhi fleksibilitas, kekuatan tarik, dan laju degradasi. Semakin banyak jumlah gliserol yang digunakan maka akan semakin banyak pula bagian dari bioplastik yang akan terdegradasi. Bioplastik dapat dihasilkan melalui penambahan bahan aditif berupa *plasticizer* yang berfungsi sebagai zat pemlastis. *Plasticizer* berperan dalam mengurangi sifat kaku dan rapuh pada plastik yang dihasilkan (Saccharata dkk., 2022). Kualitas plastik *biodegradable* dapat dinilai melalui sifat mekaniknya yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain konsentrasi padatan terlarut dalam larutan film, suhu proses, dan penambahan *plasticizer* (Bani, 2019).

Salah satu *plastisizer* yang sering digunakan dalam proses pembuatan bioplastik adalah gliserol (Sriyana dkk., 2022)

Gliserol merupakan salah satu *plasticizer* yang dapat dipakai dalam pembuatan bioplastik (Kholiq & Kusuma, 2024). Gliserol merupakan senyawa murni yang bersifat bening, tidak berbau, dan kental, serta mudah larut dalam air dan alkohol, sedikit larut dalam beberapa pelarut umum seperti eter dan dioksan, namun tidak larut dalam hidrokarbon (Arinda dkk., 2019). Menurut Kholiq & Kusuma, (2024). Kuat tarik (*tensile strenght*) yaitu dengan meningkatkan jarak antar molekul polimer serta dapat mengurangi derajat ikatan hidrogen. Penambahan gliserol pada setiap formulasi dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik dan biodegradabilitas dalam tanah (Hayati dkk., 2020). Poliol seperti gliserol merupakan jenis *plasticizer* yang efektif dalam menurunkan ikatan hidrogen internal, sehingga mampu meningkatkan jarak antar molekul (Prasetya dkk., 2016). Bioplastik yang menggunakan *plasticizer* gliserol menunjukkan permukaan fraktur yang lebih halus serta ukuran rongga yang relatif kecil (Maneking dkk., 2020).

2.4 Kitosan

Bioplastik dengan polimer alami memiliki sifat hidrofilik yang mana tidak memiliki ketahanan terhadap air (Kholiq & Kusuma, 2024). Penambahan kitosan memiliki sifat hidrofobik yang tahan terhadap air sebagai zat penguat yang mampu memperbaiki kekurangan sifat polimer alami bioplastik yang bersifat hidrofilik (Kurniawati dkk., 2022). Kitosan adalah biopolimer alami produk hasil deasetilasi kitin (Fatnah dkk., 2024). Kitosan mempunyai sifat yang baik dalam pembuatan plastik dan mempunyai sifat antibakteri (Kholiq & Kusuma, 2024). Kitosan merupakan biopolymer alami yang terdiri dari d-glucosamine dan N-acetyl-d-glucosamine yang memiliki ikatan glycosidic β (1–4). Struktur molekulnya memiliki satu gugus amino dan 2 gugus hidroksil yang membentuk ikatan hidrogen (Muharran, 2020).



Gambar 2.3 Kitosan
(Muharran, 2020)

Kitosan dapat disintesis secara alami dari cangkang hewan seperti udang, kepiting, bekicot. Permintaan rajungan yang terus meningkat setiap tahun menyebabkan bertambahnya jumlah limbah cangkang rajungan, karena proses pengolahannya umumnya hanya memanfaatkan daging rajungan, baik dalam bentuk segar, beku, maupun produk rajungan kaleng. Proses pemisahan daging rajungan menghasilkan limbah berupa cangkang atau kulit keras dalam jumlah yang sangat besar, yaitu sekitar 40–60% dari total berat rajungan (Kitosan dkk., 2021).

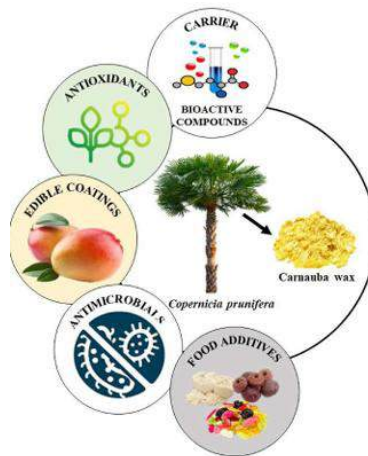


Gambar 2.4 Limbah cangkang rajungan
(Fatnah dkk., 2024)

Cangkang rajungan mengandung beberapa senyawa kimia diantaranya protein 30-40%, mineral CaCO_3 30-50% dan kitin 20-30% (Fatnah dkk., 2024).

2.5 *Carnauba wax*

Carnauba wax atau Lilin Karnauba, yang berasal dari pohon palem di Brasil, telah mendapatkan popularitas yang signifikan sebagai pelapis yang dapat dimakan untuk memperpanjang umur simpan buah buahan dan sayuran (Correa-Filho dkk., 2024). *Carnauba wax* merupakan lilin alami yang berasal dari daun Palem Karnauba (*Copernicia Cerifer*) memiliki bentuk fisik keras dan kedap air yang memiliki daya kilap, memiliki warna coklat terang hingga kuning muda, tidak berbau dan tidak berasa (Yanti dkk., 2023).



Gambar 2.5 Sifat fungsional lilin karnauba
(Correa-Filho dkk., 2024)

(Correa-Filho dkk., 2024) mengatakan bahwa *carnauba wax* bersifat hidrofobik yang berarti dapat menurunkan daya serap air. *Carnauba wax* umumnya digunakan sebagai bahan pelapis untuk mempertahankan kualitas pangan karena memiliki sifat hidrofobik yang tinggi yang berkaitan dengan keberadaan asam rantai panjang dan alkana (Silva dkk., 2017). Kualitas *carnauba wax* yang dihasilkan dari ekstraksi daun pohon palem karnauba dipengaruhi oleh kondisi lingkungan tempat pohon palem tumbuh seperti intensitas matahari, jumlah curah hujan, sifat tanah (Devi dkk., 2022).

2.6 Pengujian *Swelling*

Pengujian *swelling* bertujuan untuk mengidentifikasi penyerapan bioplastik terhadap air dengan melihat seberapa besar air yang diserap sampel bioplastik (Sitorus dkk., 2025). Pengujian ini digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan lembaran komposit dalam menyerap air (Ardana dkk., 2024). Pengujian *swelling* pada bioplastik dilakukan untuk mengidentifikasi terjadinya ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui presentase penambahan berat polimer setelah setelah mengalami pengembangan. Sifat ketahanan bioplastik terhadap air diukur melalui uji *swelling*, yaitu dimana plastik mengalami penambahan berat akibat penyerapan air. Semakin tinggi nilai penyerapan air pada film plastik menunjukkan ketahanan plastik tersebut terhadap air berkurang (Sitorus dkk., 2025).

Perhitungan persentase *swelling* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\% \text{ Swelling} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

W₀ = Berat awal sampel

W₁ = Berat akhir sampel

2.7 Pengujian Degradasi

Uji biodegradasi bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa cepat plastik *biodegradable* terdegradasi oleh mikroorganisme di suatu lingkungan (Sitorus dkk., 2025). Uji biodegradasi plastik dilakukan dengan mengubur sampel pada tanah kompos yang mengandung banyak mikroorganisme pengurai. Uji biodegradasi dalam tanah menggunakan metode *Soil Burial Test*. *Soil Burial Test* yaitu dengan mengontakkan langsung bioplastik dengan tanah dan *open-air test* yaitu membiarkan bioplastik berada di lingkungan terbuka. Gliserol bersifat hidrofilik, sehingga dapat mempercepat penyerapan air yang memungkinkan mikroorganisme dapat mendegradasi bioplastik lebih cepat (Nababan dkk., 2025).

2.8 Pengujian Kuat Tarik dan Elongasi

Uji kuat tarik (*Tensile strength*) dilakukan untuk melihat sifat mekanik dari bioplastik. Uji kuat tarik merupakan uji yang dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan bioplastik menahan beban atau gaya vertikal yang diberikan sampai putus (Lailyningtyas dkk., 2020). Uji kuat tarik plastik *biodegradable* dilakukan dengan menggunakan alat tension testing (Lailyningtyas dkk., 2020). Pengujian dilakukan dengan cara menjepit kedua ujung bioplastik pada mesin penguji. Selanjutnya dicatat panjang awal dan ujung tinta pencatat diposisikan pada grafik 0. Knob start dinyalakan dan alat akan menarik sampel bioplastik hingga terputus, kemudian dicatat gaya kuat tariknya (Khotimah dkk., 2022). Kuat tarik ditentukan dengan beban maksimum saat bioplastik ditarik dengan gaya tertentu hingga robek dan persen pemanjangannya didasarkan atas pemanjangan bioplastik saat putus (Lusiana dkk., 2021).

Elongasi adalah perpanjangan saat putus (*elongation of break*). Perpanjangan didefinisikan sebagai persentase perubahan panjang plastik pada saat ditarik sampai putus (Nababan dkk., 2025). Pemanjangan atau regangan dapat

didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang terhadap panjang awal akibat pengaruh suatu gaya, khususnya gaya tarik (Lailyningtyas dkk., 2020).

2.9 Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

FTIR merupakan karakterisasi yang didasarkan oleh getaran atom atau molekul dengan melewatkan radiasi inframerah melalui bahan atau sampel dan menghitung energi yang diserap, energi tersebut berkorespondensi dengan frekuensi getaran atom pada bahan (Nababan dkk., 2025). Analisis FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan interaksi antar komponen penyusun bioplastik (Khotimah dkk., 2022). Sampel akan menghasilkan intensitas transmisi dan panjang gelombang dalam besaran bilangan gelombang pada spektrum inframerah. Sampel akan menghasilkan intensitas transmisi dan panjang gelombang dalam besaran bilangan gelombang pada spektrum inframerah (Clarinsa & Sutoyo, 2021).



Gambar 2.6 *Thermo Scientific Nicolet iS10*
(Lab. Divisi Karakterisasi Material ITS)

2.10 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM merupakan metode untuk membentuk bayangan permukaan sampel secara mikroskopis (Nababan dkk., 2025). *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan citra permukaan sampel dengan resolusi tinggi. Pengukuran ini dilakukan untuk pengamatan permukaan bioplastik (Maneking dkk., 2020). Uji SEM dilakukan untuk mengidentifikasi morfologi serta ukuran serat dari sampel. Sampel yang diuji merupakan sampel yang memberikan karakteristik terbaik hasil perlakuan penambahan nanosilika (Warsiki dkk., 2020).



Gambar 2.7 SEM FEI Inspect S50
(Lab. Sentral UM)

2.11 Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling sering digunakan. XRD digunakan untuk mengukur kristalinitas sampel (Maneking dkk., 2020). Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi suatu material serta menentukan sifat kristalin atau kristalinitas berdasarkan fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter kisi. Ketika berkas sinar-X berinteraksi dengan lapisan permukaan kristal, sebagian sinar-X ditransmisikan, diserap, direfleksikan dan sebagian lagi dihamburkan serta didifraksikan. XRD digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai struktur kristal dari selulosa dan nanoselulosa (Nababan dkk., 2025). XRD biasa digunakan untuk menguji kristalinitas bioplastik (Warsiki dkk., 2020).



Gambar 2.8 XRD
(Lab. Divisi Karakterisasi Material ITS)

2.12 Pengujian Statistik

MANOVA (*Multivariate Analysis of Varance*) dapat diartikan sebagai suatu teknik statistik yang digunakan untuk menghitung pengujian signifikansi perbedaan rata-rata secara bersamaan antara kelompok untuk dua atau lebih variabel terikat (Sutrisno & Wulandari, 2018). Metode MANOVA ini sangat memungkinkan jika digunakan pengujian beberapa variabel dependen secara simultan (Auralia dkk., 2025). Metode ini juga lebih fleksibel untuk data dengan ukuran sampel terbatas, menjadikannya relevan diterapkan pada penelitian pendidikan di Indonesia (Gestyaki dkk., 2025).

Tujuan dilakukan analisis MANOVA adalah untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara kelompok dalam beberapa variabel dependen. MANOVA berguna ketika ada beberapa variabel respons yang cenderung berkorelasi (Sayekti dkk., 2024). MANOVA dapat dibagi menjadi MANOVA satu arah dan MANOVA dua arah (desain faktorial). Perbedaan antara MANOVA satu arah dan MANOVA dua arah (desain faktorial) adalah jumlah kategori variabel bebas (Iqbal dkk., 2020).

2.13 Gap Analysis

Gap analysis merupakan analisis terhadap perbedaan atau kesenjangan yang muncul berdasarkan data empiris di lapangan maupun temuan dari penelitian sebelumnya. Maka dari itu, *Gap analysis* yang menjadi dasar kajian pada penelitian ini disajikan pada tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 *Gap Analysis*

Kondisi Eksisting	Kondisi Ideal
• Limbah plastik konvensional masih menumpuk di TPA dan lingkungan karena bersifat non <i>biodegradable</i> dan sulit terurai (Sun dkk., 2022). • Tingkat pemanfaatan limbah bonggol jagung di Indonesia masih rendah, umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar	• Pengurangan penggunaan plastik konvensional dengan beralih ke bioplastik yang lebih mudah terurai dan ramah lingkungan. • Limbah bonggol jagung dimanfaatkan sebagai sumber selulosa atau pati dalam pembuatan bioplastik untuk

Kondisi Eksisting	Kondisi Ideal
atau dibakar begitu saja (Nurhayati dkk., 2023). Sifat mekanis bioplastik berbasis selulosa masih kurang kuat dan elastis dibanding plastik konvensional (Fauzi dkk., 2022).	meningkatkan nilai ekonomi dan mengurangi limbah pertanian. Penambahan <i>plasticizer</i> seperti gliserol dan sorbitol dalam pembuatan bioplastik untuk memaksimalkan sifat mekanis.

2.14 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan tabel perbandingan penelitian terdahulu dalam pembuatan bioplastik, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Penelitian terdahulu

No	Sumber	Material	Variasi	Hasil			
				Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Swelling (%)	Biodegradasi (hari)
1	(Hayati dkk., 2020)	Selulosa, Kitosan, Gliserol	3:3,5:3	4,22	3,28	70,93	14 hari 80%-100%
2	(Tarigan & Cahyonugroho, 2024)	Selulosa, Kitosan, Sorbitol	5:3,5:2 (b/v)	2,41	20,9	2,37	66,53 %
3	(Muhammad dkk., 2020)	Pati, Kitosan, Gliserol	5:1:10 mL	4,00	54,5	10,32	100% 16 hari
4	(Kanani dkk., 2021)	Pati, Kitosan, Gliserol	10:1:2-6 mL	6,69	6,0	6,57	100% 3 hari
5	(Lestari dkk., 2022)	Selulosa, Kitosan, Gliserol	10:2:3 mL	0,15	2,7	-	85% 10 hari

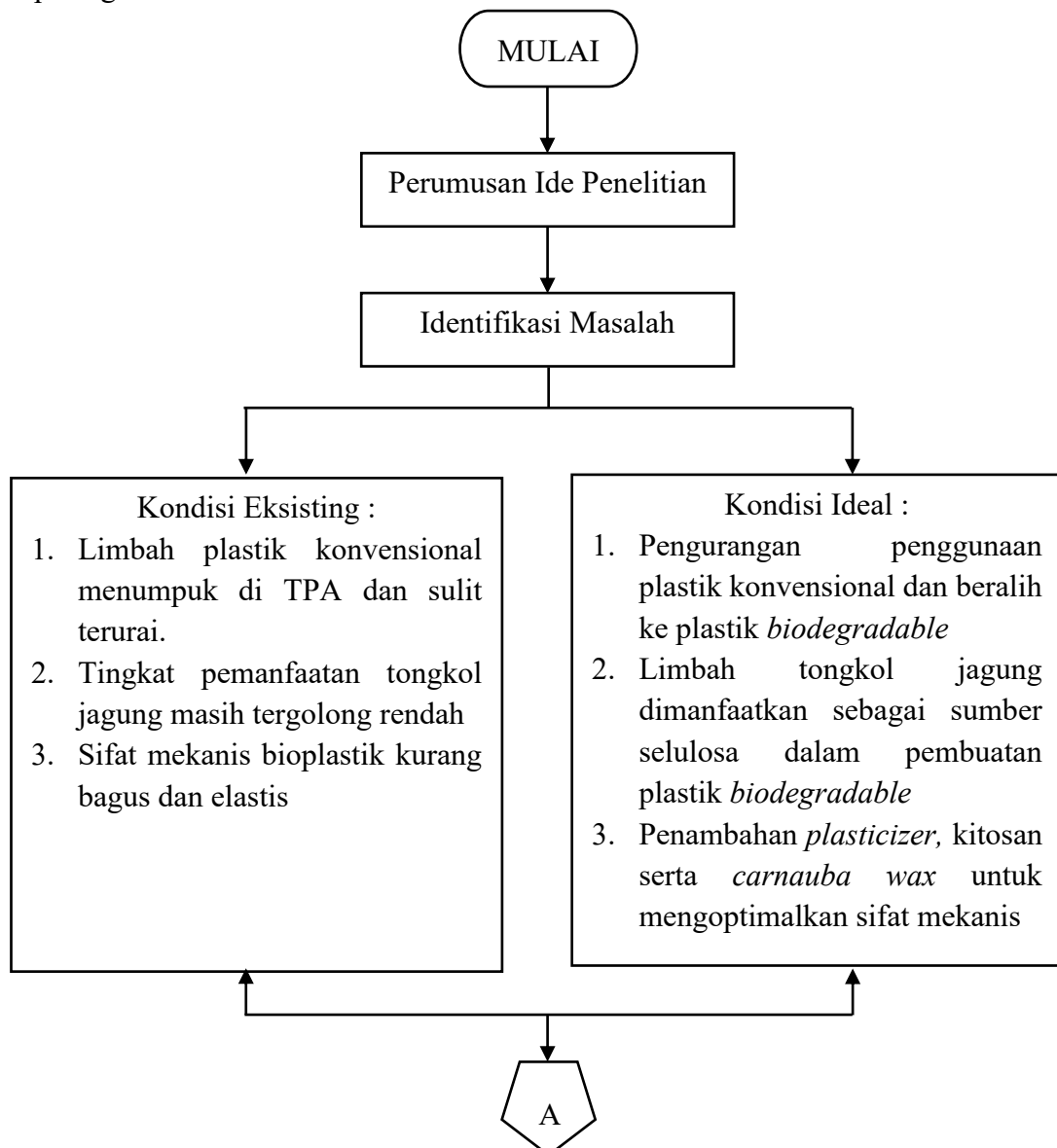
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

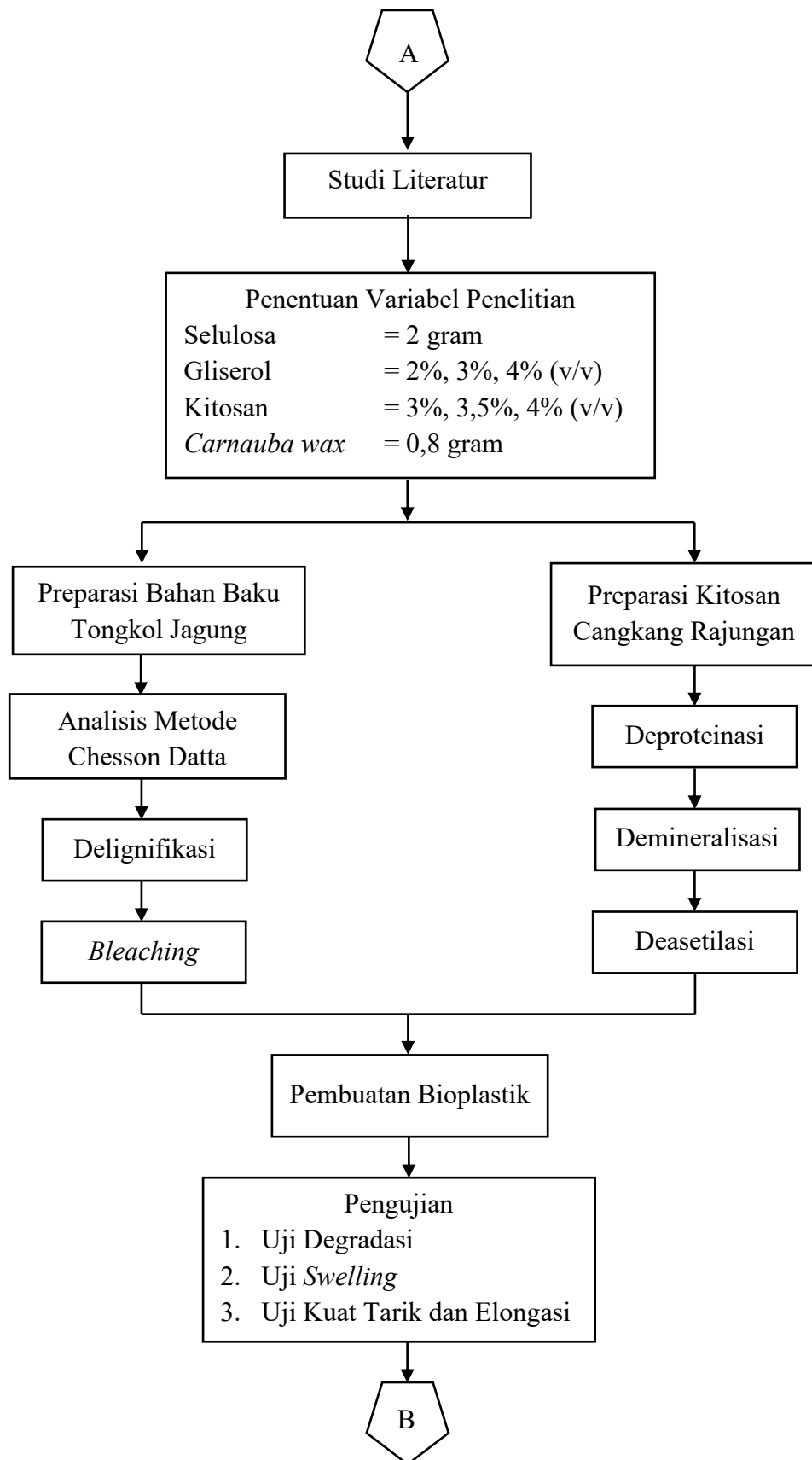
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

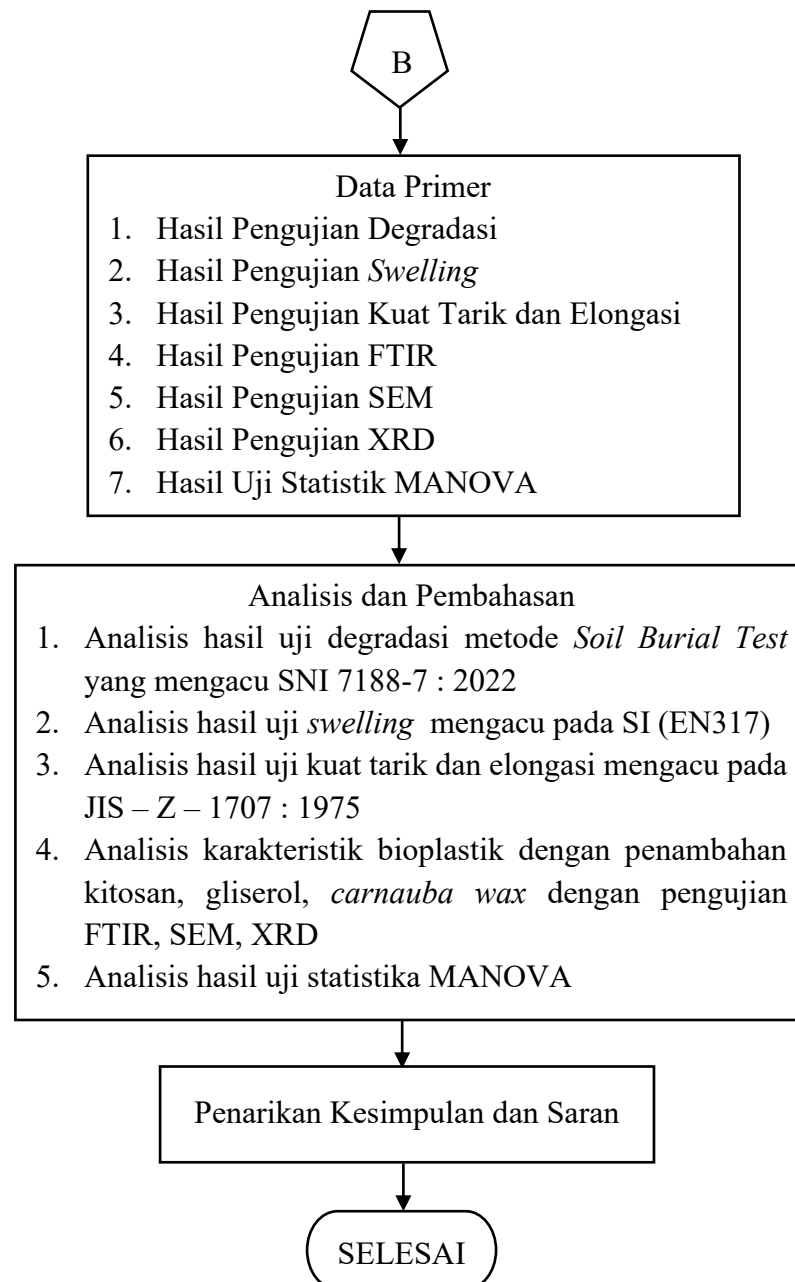
Diagram alir penelitian merupakan penggambaran sistematis dari tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Tujuan diagram alir penelitian adalah memberikan gambaran yang jelas, sistematis, dan terstruktur mengenai tahapan pelaksanaan penelitian, sehingga alur penelitian dapat dipahami dan dilaksanakan secara tepat. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian
(Lanjutan 1)



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian
(Lanjutan 2)

3.2 Perumusan Ide Penelitian

Perumusan ide penelitian ini berawal dari hasil pengamatan langsung terhadap kondisi lingkungan sekitar yang menunjukkan adanya penumpukan sampah, khususnya sampah berbasis plastik, yang sulit terurai secara alami dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Kondisi tersebut menjadi

permasalahan lingkungan yang hingga saat ini masih sulit ditangani secara optimal. Selain itu, ditemukan pula limbah pertanian berupa tongkol jagung yang jumlahnya melimpah setelah masa panen, namun belum dimanfaatkan secara maksimal. Limbah tongkol jagung tersebut umumnya hanya dibuang atau dibakar, sehingga tidak memberikan nilai tambah dan justru berpotensi menimbulkan polusi udara.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan studi literatur secara mendalam untuk mengkaji potensi pemanfaatan limbah tongkol jagung. Hasil studi literatur menunjukkan bahwa tongkol jagung merupakan biomassa lignoselulosa yang mengandung selulosa dalam jumlah cukup tinggi. Kandungan selulosa ini menjadikan tongkol jagung berpotensi untuk diolah lebih lanjut sebagai bahan baku bioplastik yang ramah lingkungan. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai bioplastik diharapkan tidak hanya dapat mengurangi ketergantungan terhadap plastik konvensional, tetapi juga mampu meningkatkan nilai guna limbah pertanian serta mendukung upaya pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

3.3 Perumusan Masalah dan Tujuan

Perumusan masalah dan tujuan penelitian ini disusun berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, yaitu tingginya penggunaan plastik konvensional yang sulit terurai secara alami serta meningkatnya jumlah timbulan limbah tongkol jagung yang belum dikelola secara optimal. Kondisi tersebut menunjukkan adanya permasalahan lingkungan sekaligus peluang pemanfaatan limbah pertanian yang memiliki potensi nilai guna lebih tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya alternatif yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan dari plastik konvensional serta meningkatkan pemanfaatan limbah tongkol jagung.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan tongkol jagung sebagai bahan baku pembuatan bioplastik melalui penambahan *plasticizer* berupa kitosan alami yang berasal dari cangkang rajungan serta gliserol. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi konsentrasi kitosan dan gliserol terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Analisis yang dilakukan meliputi uji tarik, uji pertambahan panjang, uji ketahanan

air, uji degradasi, serta karakterisasi struktur dan morfologi menggunakan uji SEM, FTIR, dan XRD.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan teoritis dan acuan utama dalam pelaksanaan penelitian, mulai dari tahap perumusan masalah, penentuan metode, hingga analisis dan pembahasan hasil penelitian. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi buku teks, jurnal ilmiah, artikel, tugas akhir, tesis, serta laporan penelitian yang relevan dan mendukung topik penelitian yang dikaji.

3.5 Penentuan Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu dan Lokasi penelitian menggambarkan rentang pelaksanaan penelitian yang digunakan untuk mengidentifikasi perkiraan penyelesaian penelitian serta menjelaskan tempat penelitian dilaksanakan dalam upaya memecahkan suatu permasalahan.

3.5.1 Waktu

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

3.5.2 Lokasi

Lokasi penelitian selama proses pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) untuk proses pembuatan bioplastik, sedangkan pengujian sampel bioplastik dilaksanakan di Laboratorium ITS.



Gambar 3.4 Lokasi Pembuatan Bioplastik
Google Earth Pro



Gambar 3.5 Lokasi Pengujian Bioplastik
Google Earth Pro

3.6 Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan sasaran ilmiah yang menjadi fokus penelitian untuk memperoleh informasi dan data sesuai dengan tujuan serta kegunaan tertentu. Pada penelitian ini, objek penelitian melalui beberapa tahapan. Tahap awal meliputi proses ekstraksi selulosa dari tongkol jagung. Selanjutnya dilakukan pembuatan sampel bioplastik sebanyak 9 sampel dengan variasi komposisi bahan dan persentase *plasticizer*. Sampel bioplastik yang dihasilkan kemudian dicetak menggunakan cetakan akrilik sehingga diperoleh bentuk balok dengan ukuran $15\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 0,5\text{ cm}$. Setelah itu, sampel dipotong menjadi ukuran $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ untuk keperluan pengujian *soil burial test*.

Variasi sampel yang menunjukkan tingkat degradasi dan nilai kuat tarik terbaik berdasarkan hasil uji degradasi *soil burial test* dan uji kuat tarik selanjutnya dipilih untuk dilakukan pengujian karakteristik bioplastik, meliputi pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan *X-Ray Diffraction* (XRD) di Laboratorium ITS.

3.7 Penentuan Variabel Penelitian

Variabel penelitian pada penelitian ini menggunakan variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Pengertian masing masing variabel adalah sebagai berikut :

3.7.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat memberikan pengaruh utama pada penelitian ini. Variabel bebas pada penelitian ini adalah :

1. Variasi *plasticizer* yang digunakan yakni 2%, 3%, 4% dari selulosa tongkol jagung yang digunakan.
2. Variasi konsentrasi kitosan alami cangkang rajungan 3%, 3,5%, 4%.

3.7.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dapat berubah dan dapat dipengaruhi (*dependent*) oleh variabel bebas. Berikut merupakan variabel terikat pada penelitian ini :

1. Tingkat degradabilitas bioplastik
2. Nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik
3. Nilai % ketahanan air (*swelling*) bioplastik

3.7.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dijaga tetap atau konstan selama penelitian berlangsung untuk memastikan bahwa perubahan yang diamati pada variabel lain (biasanya variabel terikat) disebabkan oleh manipulasi variabel bebas, variabel kontrol pada penelitian ini adalah massa selulosa dari tongkol jagung sebesar 2 gram dan *carnauba wax* 40% (b/b) dari berat selulosa.

3.8 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan saat proses melakukan penelitian mulai dari persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji, pengujian, dan analisis pembahasan hingga mampu menunjukkan hasil akhir.

3.8.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Saringan 100 mesh
2. Wadah bersih
3. Timbangan Digital (i2000 0,01 gr)
4. *Hot Plate Magnetic Stirrer (Thermo Scientific Cimatec)*
5. Pipet
6. Oven (JISICO J-300M)
7. Cetakan Akrilik ukuran 15 cm x 20 cm
8. Pengaduk
9. *Glassware*

10. *Furnace*

11. Statif dan klem

12. Cawan porselin

13. Desikator

Bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Limbah tongkol jagung

2. Limbah cangkang rajungan

3. *Carnauba wax*

4. *Aquadest*

5. Gliserol merck

6. Asam Asetat (CH_3COOH)

7. Asam Klorida (HCl)

8. Asam Sulfat (H_2SO_4)

9. Natrium Hidroksida (NaOH)

10. *Tween 20*

3.8.2 Pengambilan Sampel

Bahan utama dalam proses pembuatan bioplastik pada penelitian ini adalah limbah tongkol jagung untuk kandungan selulosa dari tongkol jagung, gliserol sebagai *plasticizer*, dan kitosan dari cangkang rajungan. Bahan limbah tongkol jagung diperoleh dari salah satu wilayah yang ada di Kecamatan Saradan Kabupaten Madiun. Limbah cangkang rajungan diambil dari Panggulan, Kaduara, Kecamatan Pragaan, Kabupaten Sumenep, Madura.

3.8.3 Penentuan Variasi Penelitian

Penentuan variasi *plasticizer* bioplastik digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan setiap bahan yang akan digunakan dan pengaruhnya terhadap kekuatan bioplastik (Hayati., 2020). Berikut merupakan tabel variasi komposisi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Variasi Penelitian

Massa Selulosa Limbah Tongkol Jagung	<i>Carnauba wax</i>	Variasi <i>Plasticizer</i> Gliserol			Variasi Kitosan
		2% (A)	3% (B)	4% (C)	
2 gram	0,8 gram	A1	B1	C1	3% (1)
		A2	B2	C2	3,5% (2)
		A3	B3	C3	4% (3)

3.8.4 Preparasi Bahan Baku Tongkol Jagung

Preparasi bahan baku tongkol jagung dilakukan untuk mengubah tongkol jagung limbah pertanian menjadi serbuk halus yang siap digunakan pada proses selanjutnya (Ifanka & Viona, 2024). Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran III. Berikut merupakan cara pembuatan serbuk limbah tongkol jagung :

1. Tongkol jagung dibersihkan dari kotoran lalu dikeringkan untuk menghilangkan pengotor dan mengurangi kadar air awal.
2. Tongkol jagung dipotong kecil agar lebih mudah saat proses dihaluskan
3. Tongkol jagung kering dihaluskan menggunakan alat grinding untuk memperkecil ukuran partikel sehingga lebih mudah diayak
4. Serbuk hasil penggilingan diayak dengan ayakan 100 mesh agar diperoleh ukuran partikel yang seragam
5. Serbuk tongkol jagung yang telah lolos ayakan digunakan untuk analisis kandungan dengan metode *chesson datta* guna mengetahui karakteristik kandungan bahan

3.8.4.2 Analisis Metode *Chesson Datta*

Metode ini dilakukan untuk mengidentifikasi perbedaan jumlah kandungan selulosa dan lignin sebelum dan sesudah proses delignifikasi (Setiawan dkk., 2021). Sampel direndam dalam larutan untuk memisahkan selulosa dan lignin, kemudian residu dikeringkan dan ditimbang untuk dihitung kadarnya. Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran I. Berikut merupakan proses analisis metode *Chesson Datta* :

1. 1 g sampel kering (a) dicampur dengan 150 ml aquadest dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam, setelah itu campuran dicuci dengan aquadest dan disaring
2. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan (b)
3. Sampel kering kemudian dicampur dengan 150 ml H₂SO₄ 1 N lalu dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam, setelah itu campuran dicuci dengan aquadest dan disaring
4. Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan (c)
5. Sampel kering kemudian direndam dalam 10 ml H₂SO₄ 72% selama 4 jam pada suhu ruang
6. Tambahkan 150 ml H₂SO₄ 1 N lalu direfluks selama 1 jam dengan suhu 100°C
7. Sampel dicuci dengan 400 ml aquadest lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan (d)
8. Sampel dipanaskan hingga menjadi abu dan timbang beratnya (e)
9. Persentase selulosa dan lignin dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\% \text{ selulosa} = \frac{(c-d)}{a} \times 100 \% \quad (3.1)$$

$$\% \text{ lignin} = \frac{(d-e)}{a} \times 100 \% \quad (3.2)$$

Dimana :

a = Berat awal (g)

b = Berat setelah dicuci aquadest (g)

c = Berat setelah dicampur H₂SO₄ (g)

d = berat setelah direfluks (g)

e = Berat abu (g)

3.8.4.3 Delignifikasi Limbah Tongkol jagung

Delignifikasi biasanya disebut juga dengan pulping adalah proses awal penghilangan lignin dalam material lignoselulosa sehingga hasil yang diperoleh dari pemrosesan tersebut sudah dalam bentuk selulosa dengan kemurnian yang tinggi. Tujuan dari proses delignifikasi adalah untuk menghilangkan lignin (D. P. Sari dkk., 2018). Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran III. Berikut merupakan proses delignifikasi limbah tongkol jagung :

1. Tongkol jagung ditimbang sebanyak 40 gram untuk memastikan jumlah bahan baku yang akan diproses sesuai dan konsisten dengan rancangan penelitian
2. Tambahkan 10% NaOH dengan perbandingan 1:15 (b/v), sambil diaduk selama 2 jam dengan suhu 80°C untuk melarutkan dan menghilangkan lignin serta komponen non-selulosa lain sehingga struktur serat lebih terbuka
3. Residu hasil reaksi dicuci berulang kali dengan aquadest hingga pH netral untuk menghilangkan sisa NaOH dan produk samping reaksi yang dapat mengganggu proses selanjutnya
4. Residu yang telah netral disaring dan dikeringkan dalam oven hingga berat konstan untuk memastikan seluruh kadar air hilang sehingga berat sampel yang terukur akurat
5. Sampel yang telah kering dilanjutkan ke proses *bleaching* untuk menghilangkan sisa lignin yang masih tertinggal sehingga selulosa yang dihasilkan lebih murni dan warna yang dihasilkan lebih putih.

3.8.4.4 *Bleaching* Limbah Tongkol Jagung

Bleaching dilakukan untuk mendegradasi sisa lignin yang masih tertinggal setelah proses sebelumnya dilakukan. Tahap ini juga dapat meningkatkan kemurnian selulosa yang diharapkan lignin yang masih tersisa dapat larut dan tidak ada dalam pulp. *Bleaching* umumnya dilakukan untuk mengubah warna pada bahan agar terlihat lebih putih dari sebelumnya. Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran IV. Berikut merupakan proses *bleaching* mengacu pada jurnal (Harpendi dkk., 2020) :

1. Sampel hasil tahap delignifikasi ditimbang sebanyak 10 gram untuk memastikan jumlah bahan yang diproses pada tahap *bleaching* sesuai dan konsisten
2. Sampel ditambahkan larutan H₂O₂ 5% dengan perbandingan 1:20 (b/v) sebagai agen pemutih untuk mengoksidasi dan melarutkan sisa lignin serta zat warna yang masih tertinggal pada serat
3. pH larutan diatur menjadi basa sekitar 9 karena kondisi basa diperlukan agar H₂O₂ lebih aktif dan efektif menguraikan lignin selama proses *bleaching*.

4. Campuran dipanaskan pada suhu 60°C selama 90 menit sambil diaduk untuk mempercepat reaksi oksidasi antara H₂O₂ dan lignin/zat warna sehingga proses pemutihan berlangsung optimal.
5. Residu dicuci berulang kali dengan air hingga pH-nya netral untuk menghilangkan sisa H₂O₂ dan produk hasil reaksi yang dapat memengaruhi hasil analisis selanjutnya.
6. Residu disaring menggunakan *vacum filter* untuk memisahkan padatan (serat) dari cairan secara lebih cepat dan efisien dibanding penyaringan biasa.
7. Residu yang telah disaring dikeringkan dalam oven sampai benar-benar kering untuk menghilangkan sisa kadar air sehingga berat sampel stabil dan akurat.
8. Serat tongkol jagung yang telah mengalami delignifikasi dan bleaching kini siap dianalisis kandungan selulosa, hemiselulosa, dan ligninnya menggunakan metode *chesson-datta* untuk mengetahui komposisi serat murni hasil perlakuan.

3.8.5 Preparasi Kitosan Cangkang Rajungan

Kitosan dari cangkang rajungan sebagai salah satu pemanfaatan limbah hasil laut. Kitosan dapat dikatakan berkualitas apabila memiliki standar mutu yang baik dan parameternya dapat dilihat setelah proses pembuatan kitosan selesai (Windhono dkk., 2023). Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran V. Berikut merupakan proses pembuatan kitosan dari limbah cangkang kerang rajungan mengacu pada (Febiyanti dkk., 2020) :

1. Demineralisasi

Berikut langkah-langkah dalam proses demineralisas :

- a. Cangkang rajungan dicuci bersih untuk menghilangkan sisa daging, kotoran, dan bau, lalu dikeringkan untuk mengurangi kadar air sehingga bahan lebih stabil dan mudah diproses selanjutnya.
- b. Cangkang kering dihaluskan menjadi serbuk hingga ukurannya seragam dan lolos ayakan 100 mesh agar luas permukaan bahan lebih besar sehingga reaksi kimia pada tahap berikutnya dapat berlangsung lebih cepat dan merata.

- c. Serbuk cangkang direndam dalam larutan NaOH 3,5% dengan perbandingan 1:10 sebagai pelarut basa untuk melarutkan dan menghilangkan kandungan protein yang menempel pada struktur kitin
- d. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer agar larutan NaOH kontak secara merata dengan seluruh permukaan sampel sehingga proses pelarutan protein berlangsung optimal.
- e. Campuran dipanaskan pada suhu 80–90°C selama 1 jam untuk mempercepat reaksi penguraian dan pelarutan protein, kemudian didinginkan agar suhu sampel turun sebelum dilakukan penyaringan.
- f. Padatan hasil reaksi disaring lalu dicuci berulang kali dengan aquadest hingga pH-nya netral untuk menghilangkan sisa NaOH dan protein terlarut yang dapat mengganggu tahap proses berikutnya.
- g. Padatan (kitin hasil deproteinasi) dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air sisa pencucian sehingga bahan menjadi kering dan stabil.
- h. Sampel kering dibiarkan hingga mencapai suhu ruang agar tidak terjadi perubahan struktur akibat suhu tinggi dan aman untuk ditimbang atau dilanjutkan ke tahap berikutnya

2. Deproteinasi

Berikut langkah-langkah dalam proses deproteinasi :

- a. Padatan hasil demineralisasi direndam dalam larutan HCl 1N dengan perbandingan 1:15 sebagai pelarut asam untuk melarutkan dan menghilangkan kandungan mineral
- b. Campuran diaduk sambil dipanaskan pada suhu 70–80°C selama 1 jam agar reaksi antara HCl dan mineral berlangsung lebih cepat dan merata ke seluruh bagian sampel, ditandai dengan timbulnya gelembung gas CO₂ sebagai indikasi mineral terlarut
- c. Campuran didinginkan hingga mencapai suhu ruang agar reaksi berhenti dan sampel aman untuk disaring tanpa risiko perubahan struktur akibat suhu tinggi.

- d. Endapan (residu kitin) disaring lalu dicuci berulang kali dengan air hingga pH-nya netral untuk menghilangkan sisa HCl dan garam hasil reaksi yang dapat mengganggu tahap proses selanjutnya.
- e. Endapan yang telah netral dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air sehingga diperoleh kitin kering dan stabil.
- f. Sampel kering dibiarkan hingga mencapai suhu ruang agar tidak terjadi perubahan struktur akibat suhu tinggi dan siap ditimbang atau dilanjutkan ke tahap berikutnya

3. Deasetilasi

Berikut langkah-langkah dalam proses deasetilasi :

- a. Kitin direbus dalam larutan NaOH pekat (50%) dengan perbandingan 1:10 pada suhu tinggi (100°C) selama 1,5 jam untuk melepaskan gugus asetil (deasetilasi) dari struktur kitin sehingga terbentuk gugus amina bebas dan diperoleh kitosan.
- b. Padatan hasil reaksi dicuci berulang kali dengan air hingga pH-nya netral untuk menghilangkan sisa NaOH yang masih menempel pada produk sehingga kitosan yang dihasilkan bersih dan aman dianalisis.
- c. Padatan yang telah netral dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 4 jam untuk menghilangkan kadar air sisa pencucian sehingga diperoleh kitosan dalam bentuk kering dan stabil.
- d. Kitosan kering yang dihasilkan merupakan produk akhir dari rangkaian proses ekstraksi kitosan

Untuk memastikan produk akhir yang dihasilkan adalah kitosan perlu dilakukan karakterisasi analisis gugus fungsi senyawa kitosan menggunakan FTIR (Husni dkk., 2020). Sampel dianalisis menggunakan instrumen FTIR. Data hasil pengujian FTIR dapat menentukan nilai derajat deasetilasi merujuk pada (Hasibuan dkk., 2025) dengan persamaan berikut :

$$\%DD = 1 - \left(\frac{A_{1648}}{A_{3359}} \times \frac{1}{1,33} \right) \quad (3.3)$$

Dimana :

A₁₆₄₈ = Absorbansi pada panjang gelombang 1648 cm untuk serapan

gugus -C=O
A3359 = Absorbansi pada panjang gelombang 3359 cm⁻¹ untuk serapan
gugus -NH
1,33 = Konstanta untuk derajat deasetilasi yang sempurna.

3.8.6 Preparasi *Carnauba wax*

Carnauba wax berfungsi untuk meningkatkan sifat hidrofobisitas dalam bioplastik yang dibuat (Correa-Filho dkk., 2024). Berikut adalah proses pelelehan *carnauba wax* :

1. *Carnauba wax* ditimbang sebanyak 0,8 gram untuk memastikan jumlah bahan yang digunakan sesuai dan konsisten dengan variasi
2. Aquadest sebanyak 20 ml dipanaskan di atas *hot plate* sebagai media pemanas (*water bath*) yang akan digunakan untuk melelehkan *carnauba wax* secara tidak langsung.
3. Wadah berisi *carnauba wax* diletakkan di atas beaker glass berisi air panas agar *wax* meleleh secara perlahan dan merata tanpa risiko gosong, mengingat *carnauba wax* memiliki titik leleh yang cukup tinggi (sekitar 80-86°C).
4. Suhu pemanasan dinaikkan sedikit demi sedikit (tidak langsung tinggi) agar *carnauba wax* meleleh secara terkontrol dan mencegah perubahan struktur atau degradasi akibat pemanasan yang terlalu cepat/ekstrem.
5. Campuran diaduk selama 5–10 menit untuk mempercepat proses pelelehan dan memastikan *carnauba wax* benar-benar larut secara homogen, sehingga diperoleh larutan/lelehan *wax* yang siap digunakan pada tahap formulasi selanjutnya.

3.8.7 Pembuatan Bioplastik

Penelitian ini memanfaatkan selulosa dari limbah tongkol jagung sebagai bahan dasar bioplastik, dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dan kitosan dari cangkang rajungan. Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran VI. Berikut metode pembuatan bioplastik mengacu pada penelitian (Hayati dkk., 2020) :

1. Kitosan dengan masing-masing variasi konsentrasi ditimbang dan dimasukkan ke dalam beaker glass sebagai bahan dasar utama pembentuk matriks bioplastik sesuai rancangan penelitian.
2. Larutan asam asetat 1% ditambahkan sebagai pelarut kitosan karena kitosan hanya larut dalam kondisi asam, sambil diaduk agar kitosan terlarut sempurna membentuk larutan homogen.
3. Larutan kitosan dipanaskan pada suhu 60–70°C sambil diaduk cepat selama 15 menit untuk mempercepat kelarutan kitosan dan membentuk larutan film-forming yang homogen dan matang.
4. Larutan selulosa ditambahkan ke dalam campuran dan diaduk selama 15 menit untuk memperkuat struktur matriks bioplastik sebagai bahan penguat sehingga meningkatkan kekuatan mekanik film yang dihasilkan.
5. Gliserol ditambahkan sebagai *plasticizer* (bahan pelentur) agar bioplastik yang terbentuk tidak rapuh, lebih fleksibel, dan elastis sesuai variasi konsentrasi yang diuji.
6. *Carnauba wax* yang telah diencerkan menggunakan Tween20 ditambahkan ke dalam campuran agar wax dapat tercampur merata dengan larutan berbasis air (mengingat wax bersifat hidrofobik) sekaligus berfungsi meningkatkan sifat ketahanan air (*water resistance*) bioplastik.
7. Campuran diaduk dengan cepat agar carnauba wax terdispersi merata ke seluruh larutan bioplastik sehingga dihasilkan campuran yang homogen dan tidak terjadi pemisahan fase.
8. Larutan bioplastik dituang ke dalam cetakan akrilik berukuran 15×20 cm lalu diratakan agar diperoleh lapisan film dengan ketebalan yang seragam di seluruh permukaan
9. Cetakan berisi larutan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C untuk menguapkan pelarut secara perlahan sehingga terbentuk lembaran film yang padat dan kering tanpa merusak struktur bioplastik akibat suhu terlalu tinggi.
10. Bioplastik yang telah kering dikeluarkan dari oven lalu didiamkan pada suhu ruang agar suhunya turun secara bertahap sehingga film tidak mudah retak atau berubah bentuk saat dilepas dari cetakan, dan siap dilakukan pengujian karakteristik

3.8.8 Pengujian Degradasi *Soil Burial Test*

Pengujian *soil burial test* mengacu pada SNI 7188.7 : 2022 sebagai acuan dalam pedoman waktu pengujian dan persentase degradasinya, pengujian *soil burial test* dilakukan dengan cara memotong sampel bioplastik dengan ukuran 2cm x 2cm kemudian sampel di tanam dalam tanah sedalam 10 cm kemudian dilakukan pengamatan visual dan dilakukan penimbangan setiap hari maksimal 180 hari atau terdegradasi 90% dari sampel awal (Hayati dkk., 2020). Dokumentasi penelitian terdapat pada Lampiran VIII. Selanjutnya, sampel ditimbang menggunakan neraca analitik menggunakan rumus presentase kehilangan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Biodegradabilitas (\%)} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (3.4)$$

Dimana :

W_i = Berat awal bioplastik (g)

W_f = Berat akhir bioplastik (g)

3.8.9 Pengujian *Swelling*

Pengujian *swelling* pada bioplastik dilakukan untuk mengidentifikasi terjadinya ikatan dalam polimer yang ditentukan melalui presentase penambahan berat polimer setelah setelah mengalami pengembangan. Sifat ketahanan bioplastik terhadap air ditentukan dengan uji *swelling* . Berikut merupakan tahapan pengujian penyerapan air (*swelling*) merujuk pada (Aisyi dkk., 2024) :

1. Potong sampel dengan ukuran $\pm 2\text{cm} \times 2\text{cm}$ dan timbang berat awal (W_0).
2. Siapkan cawan petri dan masukan 30 ml aquadest.
3. Masukan sampel kedalam cawan petri yang berisi aquadest dan rendam selama 30 menit.
4. Sampel yang telah direndam diangkat dan dikeringkan dengan tisu.
5. Timbang berat akhir sampel setelah di rendam (W).
6. Hitung daya serap air pada sampel menggunakan persamaan :

$$\text{Air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad (3.5)$$

Dimana :

A = Penyerapan air (%)

W = Berat uji awal

W_o = Berat uji setelah perendaman

7. Hitung daya tahan air menggunakan persamaan :

$$\text{Ketahanan air} = 100\% - \%swelling$$

Pengujian ketahanan air bioplastik dilakukan dengan pemotongan sampel bioplastik berukuran 2 cm x 2 cm dan ditimbang berat awalnya. Sampel kemudian dimasukkan kedalam wadah yang telah diisi aquades. Sampel kemudian dibiarkan selama 2 menit dan langkah berikutnya adalah mengambil sampel dan menghilangkan air di permukaan dengan filter paper lalu sampel ditimbang kembali

3.8.10 Pengujian Sifat Mekanis Bioplastik

Pengujian sifat mekanis bioplastik yang dilakukan adalah pengujian kekuatan tarik bioplastik dan juga ketahanan air bioplastik berbahan dasar limbah tongkol jagung dengan gliserol sebagai *plasticizer*. Kuat tarik dalam pengujian bioplastik bertujuan untuk menentukan besaran gaya yang diperlukan agar dapat mencapai titik tarikan maksimum saat sampel mengalami perenggan atau perpanjangan. Sedangkan uji elongasi dilakukan untuk mengidentifikasi dan menilai ketahanan bioplastik terhadap air. Nilai kuat Tarik dapat dihitung menggunakan :

$$\sigma = \frac{F \text{ maks}}{A} \quad (3.6)$$

Dimana :

σ = Kuat tarik (N/m^2)

$F \text{ maks}$ = Gaya tarik maksimal (N)

A = Luas penampang (m^2)

Persentase (%) perpanjangan atau elongasi dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (3.7)$$

Dimana :

ε = Elongasi (%)

ΔL = $(L - L_o)$ pertambahan panjang (mm)

L_o = Panjang awal (mm)

3.8.11 Karakterisasi FTIR, SEM, dan XRD

Pengujian karakteristik biopastik dilakukan untuk menganalisis karakteristik bioplastik yaitu FTIR, SEM, dan XRD. Morfologi permukaan bioplastik beserta material komposit dianalisis menggunakan SEM FEI S50 yang dioperasikan pada 20 KV dan pengujian SEM ini dilakukan setelah uji degradasi. Untuk uji XRD dilakukan menggunakan XRD pada rentang suhu 10°C - 90°C untuk mengidentifikasi kristalinitas bioplastik. Menghitung pengaruh variasi kitosan terhadap persentase kristalinitas (CR) dan indeks kristalinitas (Ic) dengan menggunakan persamaan.

3.9 Uji Statistik

Uji statistik digunakan dengan tujuan untuk mengidentifikasi pengaruh variasi gliserol sebagai *plasticizer*, variasi kitosan cangkang rajungan sebagai stabilizer terhadap uji persentase degradasi, persentase *swelling*, hasil uji kuat tarik dan elongasi bioplastik. Uji normalitas digunakan untuk mengidentifikasi apakah penyebaran data berdistribusi normal atau tidak normal (Hayati dkk., 2020). Berikut merupakan hipotesis yang digunakan dipenelitian ini yaitu :

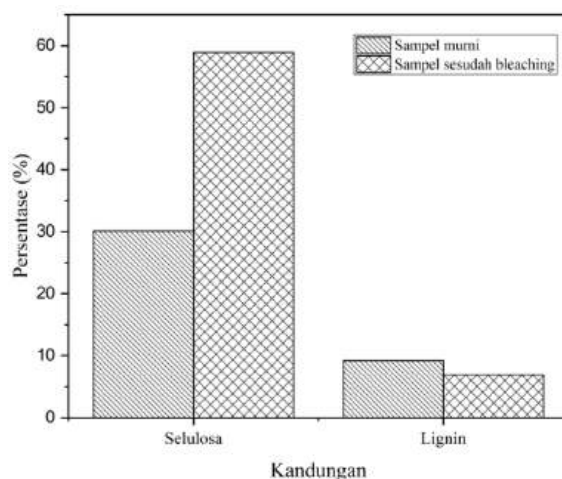
1. H0A = Tidak adanya pengaruh antara variasi kitosan dan gliserol terhadap persentase kuat tarik dan elongasi.
H1A = Adanya pengaruh antara variasi kitosan dan gliserol terhadap persentase kuat tarik dan elongasi.
2. H0B = Tidak adanya pengaruh variasi kitosan dan gliserol terhadap persentase *swelling* dan persentase degradabilitas bioplastik.
H1B = Adanya pengaruh variasi kitosan dan gliserol terhadap persentase *swelling* dan persentase degradabilitas bioplastik.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis *Chesson Data*

Analisis *chesson datta* dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan dari bahan tongkol jagung yang digunakan (Yusuf dkk., 2024). *Chesson datta* adalah analisis gravimetri yang dimana setiap komponennya dilarutkan. Pada penelitian ini dilakukan analisis *chesson datta* pada limbah tongkol jagung sebelum dan sesudah proses *bleaching* dengan tujuan untuk mengidentifikasi berapa besar nilai selulosa dan lignin yang terkandung di dalam tongkol jagung (Abdullah dan Eka, 2024). *Chesson datta* dilakukan secara kuantitatif dengan cara pengurangan massa awal dan massa akhir sampel dari tiap proses (Zulfikar dkk., 2020). Selulosa yang terkandung dalam tongkol jagung dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik hasil analisis *chesson datta*

Pada Gambar 4.1 hasil analisis *chesson datta* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pada kandungan selulosa dan penurunan kandungan lignin. Perubahan kadar ini membuktikan bahwa pada proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH mampu meningkatkan kadar selulosa dan menurunkan kadar lignin, dikarenakan NaOH mengikat kandungan lignin pada selulosa, sehingga kadar selulosa meningkat dan kandungan lignin menurun (Mustofa dkk., 2025). Semakin tinggi konsentrasi NaOH yang ditambahkan dalam proses delignifikasi, semakin mudah lignin mengalami degradasi karena sifat lignin yang memiliki titik leleh

yang rendah (Rahmatullah dkk., 2020). Perhitungan hasil analisis *chesson datta* terdapat pada Lampiran VI.

Proses delignifikasi menggunakan NaOH 10% dengan perbandingan bahan dan larutan sebesar 1:15, menghasilkan rendemen sebesar 10,368 gram dari berat awal 40 gram tongkol jagung murni atau setara dengan penyusutan 74,08%. Penyusutan rendemen yang cukup besar ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH 10% dengan perbandingan 1:15 bekerja terlalu agresif dalam melarutkan komponen lignoselulosa tongkol jagung. Peningkatan konsentrasi NaOH sejalan dengan jumlah selulosa yang diperoleh, tetapi konsentrasi yang terlalu tinggi menyebabkan tidak hanya melarutkan lignin tetapi juga ikut melarutkan sebagian selulosa yang seharusnya dipertahankan. Sejalan dengan penelitian Yuliatun & Santoso. (2022) mengatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH cenderung semakin kecil rendemen selulosa yang diperoleh. Proses delignifikasi menyebabkan lignoselulosa terdegradasi, sehingga jumlah selulosa meningkat. Penurunan jumlah lignin penghalang yang membungkus selulosa terjadi seiring dengan pemecahan struktur lignoselulosa yang disebabkan oleh pemanasan, semakin lama waktu pemanasan, maka semakin banyak lignin yang terurai (Yusuf dkk., 2024), agar lebih maksimal dalam menghilangkan lignin dari tongkol jagung terdapat tahap selanjutnya yaitu proses *bleaching*.

Proses *bleaching* dilakukan untuk mendegradasi sisa lignin yang masih terdapat dalam *pulp*. Proses *bleaching* dilakukan dengan penambahan larutan H₂O₂ dengan konsentrasi 2%. Proses ini bertujuan untuk memperbaiki *brightness*, meningkatkan kemurnian selulosa dan serat selulosa yang didegradasi seminimal mungkin. Untuk meningkatkan *brightness* (derajat putih), proses *bleaching* menggunakan bahan kimia yang reaktif untuk melarutkan sisa lignin yang ada didalam pulp (Harpendi dkk., 2020).



Gambar 4.2 Tongkol jagung sebelum *bleaching*



Gambar 4.3 Tongkol jagung setelah *bleaching*

Berdasarkan gambar diatas terlihat perbedaan pada warna tongkol jagung sebelum proses *bleaching* dan sesudah proses *bleaching*. Perbedaan warna tersebut juga dapat menyimpulkan jika proses *bleaching* telah berhasil merubah warna yang awalnya kekuningan menjadi putih.

4.2 Hasil Ekstraksi Kitosan

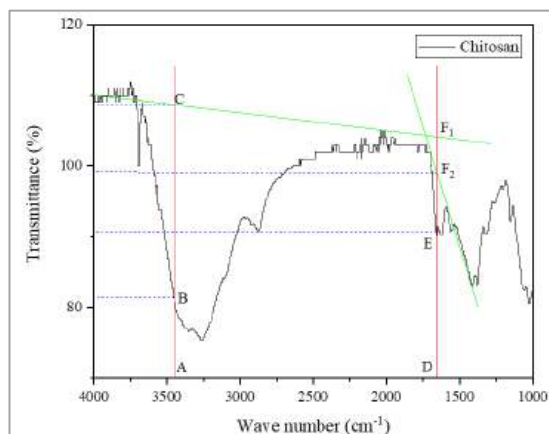
Dalam mengoptimasikan cangkang rajungan dapat digunakan sebagai bahan baku kitosan. Kitosan merupakan hasil proses deasetilasi kitin dengan rumus D-Glukosamin, yang merupakan polimer kationik dengan jumlah monomer sekitar 2.000 - 3.000 dan tidak beracun (Fatin dkk., 2024). Isolasi kitin menjadi kitosan dilakukan melalui beberapa tahap yaitu demineralisasi, deproteinasi, dan deasetilasi. Kemurnian kitosan sangat ditentukan oleh derajat deasetilasinya, semakin banyak gugus asetil yang dihilangkan, maka semakin tinggi derajat deasetilasinya. Proses deasetilasi adalah tahap merubah gugus asetil menjadi gugus amina (Mitantsoa dkk., 2021). Proses deasetilasi dipengaruhi beberapa faktor yaitu waktu, proses deasetilasi, suhu, dan konsentrasi NaOH. Hasil pembuatan kitosan cangkang rajungan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.4.1 Data hasil pembuatan kitosan

No	Tahap	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Rendemen (%) (b/b)
1.	Demineralisasi	71,42	46,34	64,88
2.	Deproteinasi	46,43	34,18	73,61
3.	Deasetilasi	34,18	11,06	32,25

Dari hasil deasetilasi didapatkan berat akhir 11,06 gr dari berat awal 71,42 gr serbuk cangkang rajungan. Berat awal hingga menjadi kitosan cangkang rajungan

memperoleh nilai rendemen 15,48%. Rendemen tersebut diperoleh dari awal proses demineralisasi hingga deasetilasi. Waktu dan proses deasetilasi yang semakin lama dan banyak akan mempengaruhi berat molekul sehingga semakin kecil berat kitosan yang dihasilkan (Kozma dkk., 2022).



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Karakterisasi FTIR

Dalam penelitian ini menggunakan konsentrasi NaOH sebesar 50% dan setelah dilakukan uji karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) diperoleh nilai derajat deasetilasi sebesar 76,9%. Perhitungan derajat seasetilasi hasil pengujian FTIR terdapat pada Lampiran IV. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Sartika dkk., (2016) memperoleh derajat deasetilasi hasil dari pengujian FTIR sebesar 70,75% dengan konsentrasi NaOH yang sama sebesar 50%. Djaenudin dkk. (2019) menyebutkan bahwa derajat deasetilasi dipengaruhi oleh konsentrasi NaOH dan lama perendaman dalam NaOH yang mengakibatkan terjadinya depolimerisasi yang memutuskan ikatan antara gugus karboksil dengan atom. Derajat deasetilasi dapat berpotensi lebih tinggi dengan meningkatkan waktu perendaman. Nilai derajat deasetilasi yang tinggi menandakan kinerja kitosan baik.

4.3 Hasil Pembuatan Bioplastik

Larutan bioplastik yang dibuat dengan penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dan asam asetat sebagai pelarut kitosan cangkang rajungan menunjukkan perbedaan tekstur pada setiap perlakuan berdasarkan hasil pengamatan visual. Secara umum, seluruh perlakuan menghasilkan bioplastik yang berwarna putih kekuningan karena adanya penambahan *carnauba wax* dalam formula. Produk bioplastik yang berasal dari limbah tongkol jagung dengan penambahan gliserol

sebagai *plasticizer* serta asam asetat sebagai pelarut kitosan cangkang rajungan disajikan pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Hasil pembuatan bioplastik dari tongkol jagung

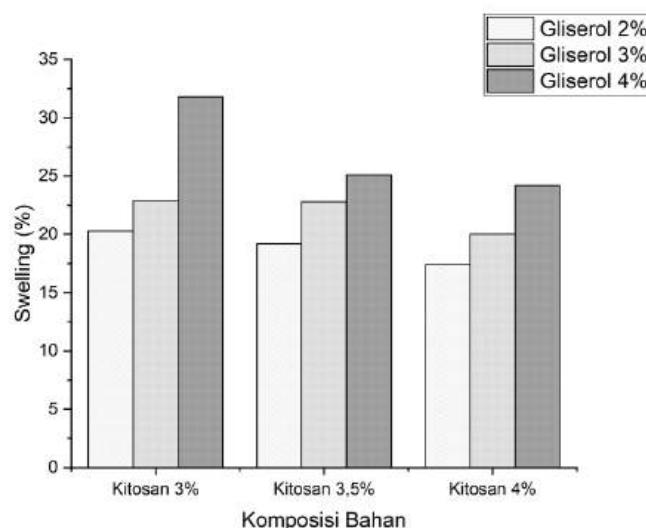
Berat Bahan	Variasi		Gambar	Hasil
	Gliserol	Kitosan		
2 gram	2 %	3 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat tekstur <i>carnauba wax</i> c. Campuran <i>carnauba wax</i> kurang homogen d. Kuat tarik : 0,29 MPa e. Elongasi : 119 %
2 gram	3 %	3 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus menandakan campuran telah homogen dengan sempurna c. Kuat tarik : 0,26 MPa d. Elongasi : 92,4 %
2 gram	4 %	3 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Terdapat gumpalan kecil di sisi tengah kiri (menandakan kitosan belum sepenuhnya homogen) c. Kuat tarik : 0,55 MPa d. Elongasi : 112,4 %
2 gram	2 %	3,5 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus menandakan campuran telah homogen dengan sempurna c. Terdapat bagian yang menyusut karena suhu oven terlalu tinggi d. Kuat tarik : 0,99 MPa e. Elongasi : 63,8 %

Berat Bahan	Variasi		Gambar	Hasil
	Gliserol	Kitosan		
2 gram	3 %	3,5 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Terdapat gumpalan kecil di sisi ujung bawah (menandakan kitosan belum sepenuhnya homogen) c. Kuat tarik : 0,91 MPa d. Elongasi : 74,7 %
2 gram	4 %	3,5 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus tetapi ada beberapa titik terlihat <i>carnauba wax</i> belum larut seluruhnya c. Kuat Tarik: 0,59 MPa d. Elongasi : 95,8 %
2 gram	2 %	4 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus menandakan campuran telah homogen dengan sempurna c. Terdapat beberapa titik terlihat menyusut dikarenakan suhu oven terlalu tinggi d. Kuat tarik : 1,78 MPa e. Elongasi : 66,7 %
2 gram	3 %	4 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus tetapi ada beberapa titik terlihat <i>carnauba wax</i> belum larut seluruhnya c. Kuat tarik : 1,24 MPa d. Elongasi : 69,3 %

Berat Bahan	Variasi		Gambar	Hasil
	Gliserol	Kitosan		
2 gram	4 %	4 %		a. Bioplastik berwarna putih kekuningan b. Tampilan visual terlihat halus menandakan campuran telah homogen dengan sempurna c. Kuat tarik : 1,03 MPa d. Elongasi : 104,6 %

4.4 Hasil Pengujian *Swelling*

Pengujian *swelling* (daya serap air) bertujuan untuk mengidentifikasi pembentukan ikatan dalam polimer serta tingkat keteraturan ikatan tersebut yang ditentukan berdasarkan persentase peningkatan berat polimer setelah mengalami penyerapan air. Uji daya serap air bertujuan untuk mengidentifikasi terjadinya hubungan pada polimer serta keseimbangan ikatan pada polimer yang dapat ditentukan melalui presentase penambahan berat plastik setelah mengalami pengembunan (Nababan dkk., 2025). Hasil pengujian *swelling* dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :



Gambar 4.3 Hasil Pengujian *Swelling*

Pengaruh peningkatan konsentrasi kitosan menurunkan nilai *swelling* secara konsisten pada setiap seri gliserol yang sama. Kitosan cenderung menurunkan daya serap air akibat sifatnya yang lebih tahan terhadap kelembapan,

sehingga semakin tinggi kandungan kitosan maka daya serap air pada bioplastik semakin menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Rahadi dkk. (2020), bahwa kitosan berperan dalam menurunkan kemampuan bioplastik menyerap air, karena gugus amina yang bersifat hidrofobik mengisi rongga-rongga pada matriks polimer bioplastik.

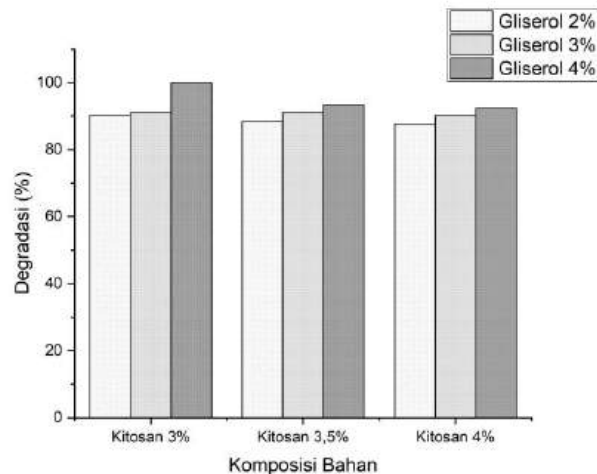
Data hasil *swelling* menunjukkan pola yang sejalan dengan variasi C1 memiliki komposisi gliserol tertinggi (4%) namun kitosan terendah (3%) menghasilkan nilai *swelling* paling tinggi. Sejalan dengan penelitian Benitez dkk., (2024), menjelaskan bahwa pengaruh konsentasi gliserol yang tinggi dapat meningkatkan nilai *swelling* pada bioplastik. Gliserol bersifat hidrofilik sehingga molekul air lebih mudah masuk ke dalam matriks polimer apabila gliserol ditambahkan secara berlebihan. Penambahan gliserol menyebabkan pemanjangan bioplastik bertambah, sedangkan kitosan digunakan sebagai biopolimer pencampur untuk meningkatkan sifat mekanik, karena dapat membentuk ikatan hidrogen antar rantai dengan komponen selulosa.

Carnauba wax yang tersebar pada permukaan bioplastik dengan jumlah yang sama di semua variasi membentuk lapisan tipis yang menutupi pori bioplastik, sehingga jalur masuknya air ke dalam matriks selulosa-gliserol-kitosan menjadi lebih sempit. Kondisi ini menjadikan bioplastik memiliki nilai *swelling* yang relatif rendah, yaitu berkisar 17,4% hingga 31,8%, meskipun gliserol yang bersifat hidrofilik telah ditambahkan pada setiap variasi dengan konsentrasi yang bervariasi. (Silva dkk., 2017) menyebutkan jika *carnauba wax* umum digunakan sebagai bahan pelapis untuk mempertahankan kualitas pangan karena memiliki sifat hidrofobik yang tinggi (Yang dkk., 2025). *Carnauba wax* dengan jumlah yang sama pada seluruh sampel menjadi faktor pendukung yang konsisten dalam menjaga ketahanan air bioplastik, sehingga perbedaan nilai *swelling* antar variasi lebih dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi gliserol dan kitosan.

4.5 Hasil Pengujian Degradasi

Pengujian biodegradasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan bioplastik terurai secara alami oleh mikroorganisme di dalam tanah dalam jangka waktu tertentu. Pengujian dilakukan menggunakan metode *soil burial test* dengan

menanam sampel bioplastik didalam tanah, kemudian dilakukan pengukuran kehilangan berat disetiap harinya, untuk mengidentifikasi persentase degradasi yang terjadi disetiap harinya pada tiap variasi. Hasil pengujian biodegradasi bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Biodegradasi

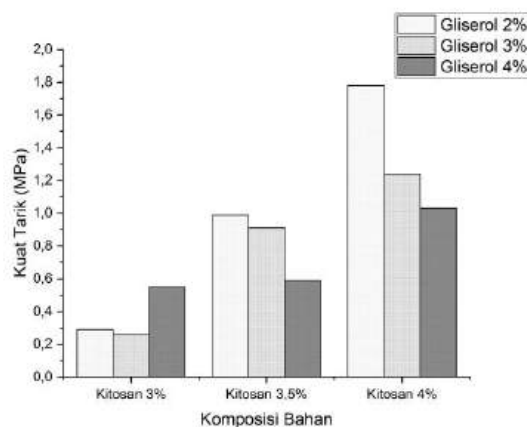
Peningkatan konsentrasi kitosan menurunkan laju biodegradasi bioplastik pada penelitian ini. Kitosan membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan selulosa, sehingga jaringan polimer menjadi lebih rapat dan lebih sulit diuraikan oleh mikroorganisme tanah. Hal ini sejalan dengan teori bahwa peningkatan kandungan kitosan secara signifikan menurunkan daya serap air karena berkurangnya gugus hidroksil bebas yang bersifat hidrofilik, sekaligus meningkatkan ketahanan pada kelembapan, sehingga dominasi komponen hidrofilik lain akan meningkatkan laju biodegradasi akibat tingginya kandungan gugus yang mudah diuraikan mikroorganisme. Hasil pengujian membuktikan teori tersebut, yaitu pada gliserol 2%, nilai degradasi menurun dari 90,16% (kitosan 3%) menjadi 87,69% (kitosan 4%). Matriks film yang lebih rapat akibat kitosan tinggi membuat mikroorganisme tanah lebih sulit menembus dan mengurai struktur polimer bioplastik.

Peningkatan konsentrasi gliserol meningkatkan laju biodegradasi bioplastik (Kurniawati dkk., 2022). Gliserol bersifat hidrofilik dan mudah menyerap air, sehingga mempercepat proses hidrolisis polimer oleh mikroorganisme di dalam tanah (Dean dkk., 2023). Daya serap air yang tinggi mempercepat proses penguraiannya. Hal ini terlihat jelas pada hasil pengujian,

yaitu pada kitosan 3%, nilai degradasi meningkat dari 91,03% (gliserol 3%) menjadi 100% (gliserol 4%). Gliserol yang berlebih menyebabkan struktur bioplastik menjadi lebih teruka dan berpori, sehingga air dan mikroorganisme tanah lebih mudah masuk dan mempercepat proses penguraian bioplastik.

4.6 Hasil Pengujian Kuat Tarik dan Elongasi

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengidentifikasi besarnya gaya maksimum yang dapat ditahan oleh film bioplastik per satuan luas area sebelum mengalami kerusakan atau putus, di mana kuat tarik (*tensile strength*) dipengaruhi oleh jenis dan jumlah bahan pemlastis, serta penguat yang ditambahkan dalam proses pembuatan bioplastik. Pengujian kuat tarik dilakukan pada 9 sampel dengan variasi kitosan, dan gliserol yang mengacu pada standar ASTM D882. Hasil pengujian kuat tarik bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Kuat Tarik

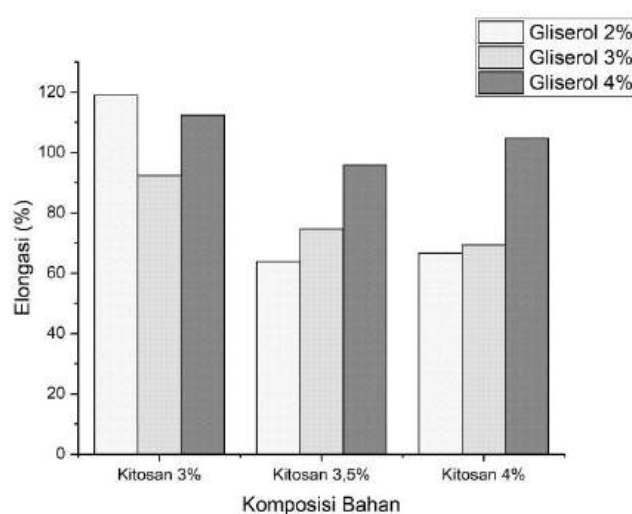
Pengaruh kenaikan konsentrasi kitosan meningkatkan nilai kuat tarik bioplastik pada setiap seri gliserol yang sama. Kitosan merupakan struktur polisakarida yang menyerupai selulosa, sehingga kitosan dapat bereaksi dengan selulosa untuk memberikan ikatan homogen dan menghasilkan struktur plastik yang lebih rapat dan kuat (Yustinah dkk., 2023). Semakin tinggi kandungan kitosan maka akan diiringi oleh kenaikan dari kuat tarik (Lidya dkk., 2023). Hal ini terlihat jelas dimana pada variasi gliserol 2%, nilai kuat tarik meningkat dari 0,29 Mpa pada kitosan 3% menjadi 1,78 Mpa pada kitosan 4%. Penambahan kitosan terbukti berfungsi sebagai penguat yang memperbaiki karakteristik mekanik bioplastik secara konsisten. Penambahan kitosan berguna untuk memperbaiki karakteristik

produk bioplastik, dan hasil bioplastik terbaik diperoleh pada perbandingan variasi kitosan yang lebih tinggi terhadap massa bahan pengisi, dengan nilai kuat tarik yang lebih besar dibandingkan variasi kitosan rendah.

Pengaruh konsentrasi gliserol menurunkan nilai kuat tarik bioplastik pada setiap variasi kitosan yang sama (Lestari dkk., 2025). Gliserol memiliki berat molekul yang rendah dan ukuran molekul yang kecil sehingga dapat menyusup dengan mudah di antara rantai polimer, dan kehadiran gliserol ini secara efektif memutus atau melemahkan ikatan hidrogen antar rantai polimer. penambahan gliserol mampu mengurangi kerapuhan dan meningkatkan fleksibilitas bioplastik, sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan gliserol inilah yang sangat berpengaruh terhadap nilai elongasi suatu bioplastik (Muhammad dan Ridara, 2021). Peningkatan konsentrasi gliserol menyebabkan penurunan nilai kuat tarik pada bioplastik (Aripin dkk., 2017). Data penelitian ini membuktikan teori tersebut, yaitu pada variasi kitosan 4%, nilai kuat tarik menurun dari 1,78 Mpa pada gliserol 2% menjadi 1,03 Mpa pada gliserol 4%. Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi SNI 7818 : 2014, dimana dalam SNI tersebut standar minimum kuat tarik sebesar 13,7 Mpa.

Berdasarkan grafik hasil pengujian kuat tarik pada Gambar 4.7 terdapat data hasil pengujian kuat tarik, di mana variasi gliserol 4% pada kitosan 3% menghasilkan kuat tarik sebesar 0,55 MPa yang lebih tinggi dibandingkan variasi gliserol 2% pada kitosan 3% sebesar 0,29 Mpa. Secara teori peningkatan konsentrasi gliserol seharusnya menurunkan kuat tarik. Hasil tersebut diduga disebabkan oleh perbedaan ketebalan film yang terbentuk pada kedua variasi tersebut. Kuat tarik juga dipengaruhi oleh ketebalan plastik, di mana plastik yang tipis menyebabkan kuat tarik yang dapat diterima hanya sedikit, sedangkan plastik yang tebal menyebabkan tekanan yang semakin meningkat, karena ikatan bahan-bahan yang terkandung dalam satu plastik yang tebal akan lebih menguatkan ikatan. Pada penelitian ini, film bioplastik dengan gliserol 4% memiliki ketebalan sebesar 0,55 mm sedangkan gliserol 2% memiliki ketebalan sebesar 0,57 mm. Perbedaan ketebalan ini menjadi faktor yang turut mempengaruhi nilai kuat tarik yang dihasilkan. Bioplastik yang semakin tebal akan meningkatkan kuat tarik karena

susunan bioplastik semakin kompak sehingga bioplastik yang dihasilkan semakin kuat dan kokoh. Pada penelitian ini pengadukan dilakukan dengan cara manual sehingga memungkinkan adonan bioplastik tidak tercampur secara homogen dan kekuatan tarik juga dipengaruhi oleh ketebalan plastik yang disebabkan karena pada pencetakan bioplastik masih secara manual (Zulnazri dkk., 2019).



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Elongasi

Peningkatan konsentrasi kitosan menurunkan nilai elongasi bioplastik (Ekariski dkk., 2019). Kitosan membentuk ikatan yang lebih kaku dengan selulosa, sehingga rantai polimer menjadi lebih sulit untuk meregang dan diberi gaya tarik. Seiring peningkatan konsentrasi kitosan, bioplastik akan mengalami peningkatan kekuatan tarik, namun menurunkan perpanjangan elongasi bioplastik. Hasil penelitian ini sejalan dengan teori tersebut, yaitu pada gliserol 4%, nilai elongasi cenderung menurun seiring naiknya konsentrasi kitosan dari 3% (112,4%) menuju 3,5% (95,8%). Kitosan yang lebih banyak membentuk jaringan ikatan yang lebih rapat, sehingga ruang gerak rantai polimer untuk meregang menjadi terbatas dan film menjadi lebih kaku.

Peningkatan konsentrasi gliserol meningkatkan nilai elongasi bioplastik (Lestari dkk., 2025). Gliserol berfungsi sebagai *plasticizer* yang menyusup di antara rantai polimer, sehingga memberikan ruang gerak lebih besar bagi rantai tersebut untuk bergeser dan meregang. Semakin besar konsentrasi gliserol maka nilai

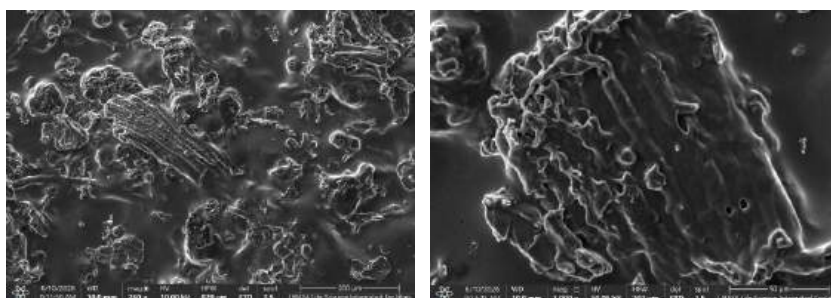
elongasi bioplastik akan meningkat, sedangkan nilai kuat tarik akan menurun. Hal ini terlihat jelas pada data penelitian, dimana pada kitosan 3%, nilai elongasi meningkat dari 92,4% (gliserol 3%) menjadi 112,4% (gliserol 4%). Molekul gliserol bertindak sebagai pelumas internal yang melemahkan ikatan hidrogen antar rantai polimer, sehingga material menjadi lebih elastis namun kekuatan mekaniknya menurun.

Berdasarkan Gambar 4.8 terdapat hasil pengujian elongasi bioplastik, khususnya pada kitosan 3% di mana nilai elongasi gliserol 2% sebesar 119,1% lebih tinggi dibandingkan gliserol 3% sebesar 92,4%, meskipun secara teori peningkatan konsentrasi gliserol seharusnya meningkatkan elongasi bioplastik. Faktor yang mungkin terjadi adalah fenomena *anti-plasticization*, di mana molekul gliserol dalam jumlah yang berada di bawah ambang batas kritis justru mengisi rongga kosong dalam matriks polimer dan membatasi mobilitas rantai polimer, sehingga pada konsentrasi gliserol 2% yang rendah, film berperilaku lebih elastis karena ikatan antar rantai polimer yang longgar akibat sedikitnya kitosan (3%) belum terganggu secara signifikan oleh molekul gliserol. Fenomena tersebut terjadi ketika molekul gliserol dalam jumlah sedikit justru mengisi rongga kosong dan membatasi mobilitas rantai polimer sehingga menghasilkan sifat mekanik yang tidak linear (Said dan Sari, 2026).

Nilai elongasi dan kuat tarik dari hasil penelitian menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik (Lidya dkk., 2023). Nilai elongasi memiliki nilai yang bertolak belakang dengan nilai kuat tarik, jika komposisi ditambahkan semakin banyak maka pada bioplastik nilai elongasinya semakin kecil. Variasi gliserol 2% dan kitosan 3% menghasilkan elongasi tertinggi 119%, namun memiliki kuat tarik yang rendah, sedangkan variasi A3 dengan gliserol 2% dan kitosan 4% memiliki kuat tarik tertinggi namun elongasinya rendah (66,7%). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan kitosan memperkuat bioplastik, namun mengurangi fleksibilitasnya, sementara peningkatan gliserol meningkatkan fleksibilitas bioplastik namun mengurangi kekuatannya.

4.7 Analisis Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

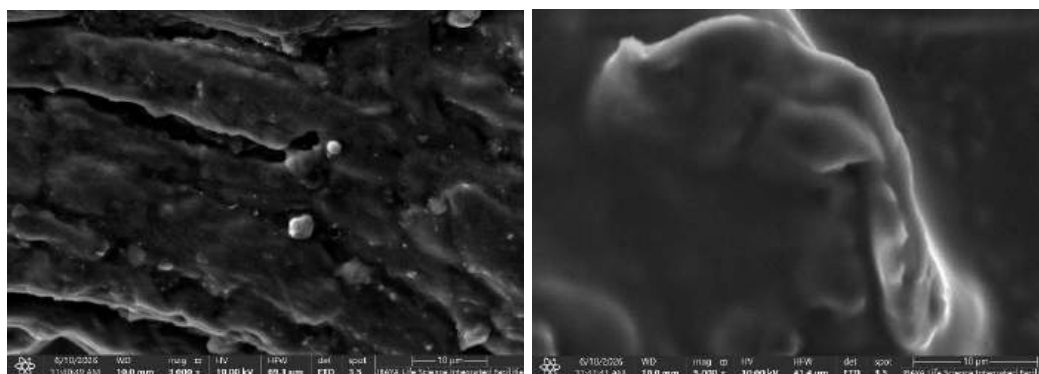
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan bioplastik secara mikroskopis. Pengujian SEM dilakukan pada perbesaran 250 kali, 1000 kali, 3000 kali, dan 5000 kali untuk mengamati struktur permukaan secara lebih detail pada setiap tingkat perbesaran. Pengujian SEM dilakukan pada sampel bioplastik dengan nilai kuat tarik terbaik yaitu sebesar 1,78 Mpa dari semua variasi yang telah dibuat.



Gambar 4.7 Hasil Pengujian SEM perbesaran 250x dan 1000x

Hasil pengujian SEM pada perbesaran 250 kali menunjukkan permukaan bioplastik yang tidak rata dan terdapat gumpalan pada beberapa titik. Gumpalan yang terlihat pada permukaan bioplastik mengindikasikan terjadinya aglomerasi (penumpukan) komponen penyusun pada titik tertentu. Aglomerasi selulosa pada titik tertentu dapat mengakibatkan interaksi antar pengisi dan matriks melemah, dan aglomerasi ini disebabkan tidak meratanya persebaran pengisi pada matriks bioplastik (Ritonga dkk., 2024). Selulosa yang digunakan sebagai pengisi bersifat tidak larut sempurna dalam matriks sehingga menghasilkan permukaan yang kurang homogen.

Hasil pengujian SEM pada perbesaran 1000 kali memperlihatkan serat selulosa tongkol jagung yang masih tampak berbentuk bundel panjang dengan permukaan berlekuk (Maneking dkk., 2020). Struktur serat yang masih terlihat jelas ini menunjukkan bahwa selulosa belum terdispersi secara sempurna ke dalam matriks kitosan-gliserol. Hal ini terjadi karena konsentrasi kitosan yang tinggi (4%) membentuk matriks yang lebih kental dan padat, sehingga proses pencampuran dengan serat selulosa menjadi kurang sempurna pada beberapa bagian.

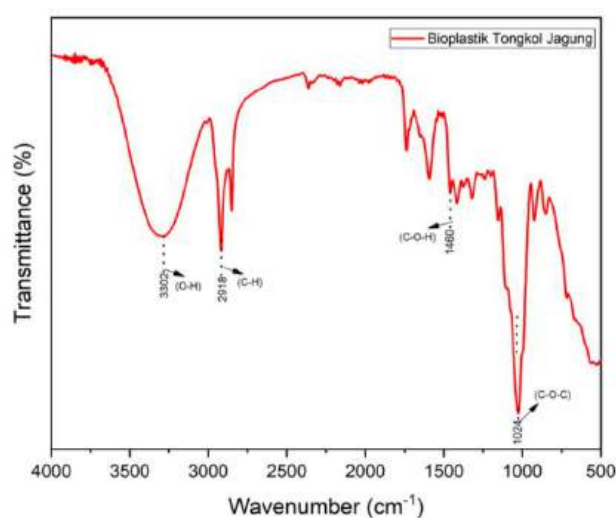


Gambar 4.8 Hasil Pengujian SEM perbesaran 3000x dan 5000x

Hasil SEM pada perbesaran 3000 kali dan 5000 kali menunjukkan adanya partikel-partikel kecil berbentuk bulat yang menempel pada permukaan serat selulosa. Pencampuran yang kurang merata terhadap matriks bioplastik dapat menurunkan sifat mekanis bioplastik (Celebi & Kurt, 2025). Partikel kecil tersebut merupakan *carnauba wax* yang terdispersi pada permukaan film namun belum tersebar secara merata ke seluruh bagian matriks. Keberadaan partikel *carnauba wax* yang menempel pada permukaan serat selulosa ini sejalan dengan fungsi *carnauba wax* sebagai agen hidrofobik yang membentuk lapisan pelindung pada permukaan bioplastik.

4.8 Analisis Pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada bioplastik.



Hasil pengujian FTIR menunjukkan empat serapan utama yang mengindikasikan keberadaan seluruh komponen penyusun bioplastik. Puncak serapan pada gelombang $3301,13\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fungsi O-H yang berasal dari selulosa (Padmanabhan dkk., 2022), sedangkan puncak pada 2916 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi C-H yang berasal dari *carnauba wax* (Ge dkk., 2022). Puncak serapan pada $1460,11\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fungsi C-O-H yang berasal dari gliserol, sedangkan puncak pada $1024,20\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus fungsi C-O-C yang berasal dari kitosan.

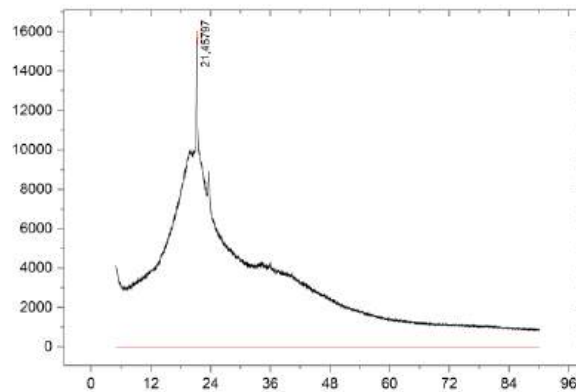
Tabel 4.3 Bilangan Gelombang FTIR

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang	Referensi
O-H	332,13	(Padmanabhan dkk., 2022)
C-O-C	1024,20	(Frenchibai dkk., 2025)
C-O-H	1460,11	(Stanciu, 2026)
C-H	2916	(Ge dkk., 2022)

Keempat gugus fungsi yang terindikasi pada bioplastik merupakan gugus fungsi asli dari masing-masing bahan penyusun, tanda adanya gugus fungsi baru yang muncul akibat reaksi kimia. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa, kitosan, gliserol, dan *carnauba wax* tercampur secara fisik melalui ikatan hidrogen, tanpa membentuk ikatan kovalen baru antar komponen. Keberadaan gugus O-H yang kuat pada bilangan gelombang $3301,13\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan bahwa selulosa dan kitosan saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen, yang berkontribusi terhadap kekuatan mekanik bioplastik. Ikatan hidrogen yang terbentuk antara gugus hidroksil selulosa dan gugus amina kitosan inilah yang mendukung hasil uji kuat tarik tertinggi, karena interaksi antar gugus fungsi tersebut memperkuat jaringan polimer dalam matriks bioplastik. Hasil identifikasi gugus fungsi pada bioplastik membuktikan bahwa pencampuran selulosa tongkol jagung, kitosan cangkang rajungan, gliserol, dan *carnauba wax* berhasil dilakukan tanpa merusak struktur kimia dasar masing-masing komponen.

4.9 Analisis Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan tingkat kristalinitas bioplastik yang dihasilkan dari selulosa tongkol jagung, kitosan cangkang rajungan, gliserol, dan *carnauba wax*.



Gambar 4.9 Diafraktogram XRD Bioplastik

Hasil analisis XRD pada sampel bioplastik menunjukkan pola diafraktogram memiliki puncak-puncak yang ditandai dengan kurva tajam (Maneking dkk., 2020). Sampel bioplastik memiliki *Crystallinity Index* (CI) sebesar 81,02% dan persentase kristalinitas sebesar 84,05%. Tingginya nilai kristalinitas pada sampel bioplastik menunjukkan bahwa selulosa tongkol jagung dan kitosan cangkang rajungan membentuk jaringan polimer yang teratur dan rapat, sehingga menghasilkan struktur material yang kompak.

Keberadaan *carnauba wax* dalam bioplastik turut berkontribusi terhadap tingginya nilai kristalinitas, karena *carnauba wax* memiliki struktur kristal tersendiri yang ditandai dengan munculnya difraksi pada $2\theta = 21,2^\circ$ dan $23,6^\circ$ dalam diafraktogram XRD. Penambahan *carnauba wax* pada matriks biopolimer terbukti mempertahankan dan bahkan meningkatkan keteraturan struktur kristal film, sehingga menghasilkan sifat hidrofobik dan kemampuan penghalang uap air yang lebih baik

Penambahan gliserol sebagai *plasticizer* seharusnya dapat menurunkan kristalinitas material, karena gliserol bekerja dengan memasuki celah antar rantai polimer dan mengganggu keteraturan struktur kristal. Penambahan gliserol menurunkan kristalinitas film, yang memengaruhi sifat mekanik film tersebut (Lubis dkk., 2021). Namun, nilai kristalinitas yang tetap tinggi pada bioplastik mengindikasikan bahwa ikatan kristal antar selulosa tongkol jagung dan kitosan cangkang rajungan sangat kuat, sehingga gliserol lebih banyak terdistribusi di daerah amorf tanpa secara signifikan merusak daerah kristal yang sudah terbentuk.

4.10 Analisis Pengujian Statistik

Hasil penelitian meliputi *swelling*, degradabilitas, kuat tarik dan elongasi selanjutnya dilakukan analisis statistik menggunakan *software* SPSS.

Tabel 4.4 Uji Normalitas Terhadap Gliserol

Test of Normality					
Shapiro Wilk					
Pengujian	Gliserol	Statistic	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	2%	0,845	6	0,144	Normal
	3%	0,841	6	0,133	Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
Elongasi	2%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
<i>Swelling</i>	2%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
Degradasi	2%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal

Tabel 4.5 Uji Normalitas Terhadap Kitosan

Test of Normality					
Shapiro Wilk					
Pengujian	Kitosan	Statistic	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3,4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,960	6	0,820	Normal
Elongasi	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3,4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
<i>Swelling</i>	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3,4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal

Test of Normality					
Shapiro Wilk					
Pengujian	Kitosan	Statistic	df	Sig	Keterangan
Degradasi	3%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	3,4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal
	4%	0,683	6	0,004	Tidak Normal

Nilai signifikansi (*p-value*) dari hasil uji Shapiro-Wilk kurang dari nilai $\alpha = 0,05$ maka disimpulkan bahwa data tersebut berdistribusi tidak normal, dan sebaliknya jika (*p-value*) lebih dari $\alpha = 0,05$, maka data tersebut tidak berdistribusi normal (Pratama dan Permatasari, 2021).

Tabel 4.6 Hasil Uji Homogenitas Terhadap Variasi Kitosan dan Gliserol

Test of Homogeneity			
Shapiro Wilk			
Pengujian	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	2	0,048	Tidak Homogen
Elongasi	2	0,048	Tidak Homogen
Swelling	2	0,968	Homogen
Degradasi	2	0,968	Homogen

Data hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kitosan dan gliserol terlihat tidak homogen karena nilai signifikansinya lebih kecil dari 0,05. Sementara itu data pengujian *swelling* dan degradasi memperoleh nilai signifikan lebih dari 0,05 sehingga kedua data tersebut dapat dinyatakan homogen (Nurhaswinda dkk., 2025).

Berdasarkan hasil uji normalitas dan homogenitas, sebagian data penelitian tidak memenuhi asumsi distribusi normal dan terdapat ketidakhomogenan ragam pada variabel, sehingga analisis statistik parametrik tidak dapat diterapkan secara langsung. Oleh karena itu, pengujian dilanjutkan menggunakan uji kruskal-wallis sebagai metode statistik non-parametrik yang tidak mengharuskan data terdistribusi normal maupun memiliki ragam yang homogen (Al Dianty., dkk 2026). Uji kruskal-wallis merupakan salah satu metode statistik nonparametrik yang digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok variabel independen terhadap variabel dependen (Jamco & Balami, 2022). Berikut adalah tabel hasil pengujian dengan metode kruskal-wallis :

Tabel 4.7 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Gliserol

Kruskal-Wallis Test			
Pengujian	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	2	0,932	Tidak Berpengaruh
Elongasi	2	0,080	Tidak Berpengaruh
<i>Swelling</i>	2	0,002	Berpengaruh
Degradasi	2	0,002	Berpengaruh

Tabel 4.8 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Kitosan

Kruskal-Wallis Test			
Pengujian	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	2	0,067	Tidak Berpengaruh
Elongasi	2	0,031	Berpengaruh
<i>Swelling</i>	2	0,264	Tidak Berpengaruh
Degradasi	2	0,398	Tidak Berpengaruh

Tabel 4.9 Uji Kruskal-Wallis Terhadap Variasi Kitosan dan Gliserol

Kruskal-Wallis Test			
Pengujian	df	Sig	Keterangan
Kuat Tarik	8	0,624	Tidak Berpengaruh
Elongasi	8	0,032	Berpengaruh
<i>Swelling</i>	8	0,048	Berpengaruh
Degradasi	8	0,069	Tidak berpengaruh

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa elongasi bioplastik lebih dipengaruhi oleh variasi konsentrasi kitosan dan interaksinya dengan gliserol, sedangkan kuat tarik bioplastik tidak dipengaruhi secara signifikan oleh kedua faktor tersebut maupun kombinasinya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Variasi kitosan dan gliserol mempengaruhi kuat tarik dan elongasi bioplastik tongkol jagung. Kitosan tinggi meningkatkan kuat tarik tetapi menurunkan elongasi. Gliserol tinggi menurunkan kuat tarik tetapi meningkatkan elongasi. Kuat tarik tertinggi terdapat pada variasi gliserol 2% dan kitosan 4% sebesar 1,78 Mpa yang dimana angka tersebut belum memenuhi SNI 7818 : 2014. Elongasi tertinggi terdapat pada variasi gliserol 2% dan kitosan 3% sebesar 119,1%. Uji Kruskal-Wallis menunjukkan elongasi dipengaruhi signifikan oleh kitosan dan interaksinya dengan gliserol. Kuat tarik tidak dipengaruhi signifikan oleh kedua faktor tersebut.
2. Variasi kitosan dan gliserol mempengaruhi *swelling* dan degradasi bioplastik tongkol jagung. Kitosan tinggi menurunkan *swelling* dan laju degradasi. Gliserol tinggi meningkatkan *swelling* dan laju degradasi. *Swelling* terendah terdapat pada variasi gliserol 2% dan kitosan 4% sebesar 17,4%. Degradasi tertinggi terdapat pada variasi gliserol 4% dan kitosan 3% sebesar 100% pada hari ke-11 angka tersebut telah memenuhi SNI 7188.7 : 2022.
3. Hasil pengujian SEM pada variasi terbaik (gliserol 2% dan kitosan 4%) menunjukkan permukaan yang belum sepenuhnya homogen akibat aglomerasi dan serat selulosa yang belum terdispersi sempurna, namun partikel *carnauba wax* tetap teridentifikasi sebagai lapisan pelindung hidrofobik pada permukaan serat. Hasil pengujian FTIR menunjukkan empat gugus fungsi asli, yaitu O-H dari selulosa, C-H dari *carnauba wax*, C-O-H dari gliserol, dan C-O-C dari kitosan, yang membuktikan bahwa seluruh komponen tercampur secara fisik melalui ikatan hidrogen tanpa membentuk ikatan kovalen baru. Hasil pengujian XRD menunjukkan indeks kristalinitas sebesar 81,02% dan persentase kristalinitas sebesar 84,05%, yang tergolong tinggi dan membuktikan bahwa selulosa tongkol

jagung dan kitosan cangkang rajungan membentuk jaringan polimer yang teratur dan kompak.

5.2 Saran

1. Mengurangi konsentrasi NaOH saat proses delignifikasi agar randemen yang dihasilkan lebih banyak saat proses delignifikasi.
2. Menambahkan variasi *carnauba wax* ke dalam komposisi bioplastik karena sifatnya yang hidrofobik sehingga diharapkan dapat menambah sifat mekanik dari bioplastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, & Eka, A. N. (2024). *Kinetics Study of Bioethanol Production from Cassava Peels Waste using Saccharomyces diastaticus*. *International Journal of Chemical and Biochemical Science (IJCBS)*, 25(19), 884–892.
- Aisyi, H. N., Holly, M., Akbar, R. M., Iffa, M., Devika, N., & Swantomo, D. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Tepung Tapioka dan Tepung Beras Ketan dengan Penambahan Filler. 1(4), 278–285.
- Al Dianty, M., Rineliana, Impran, A., Rahman, F., Herlina, F., Taufikurahman, M. R., Sartika, I., Cahyani, F. N., Herawati, S., & Mardikawati, B., 2026. *Statistik dan Validitas Penelitian*. Batam: Rey Media Grafika.
- Anggraini, T. F., Pratama, Y. P., Kartika, R. N., Jakarta, P. N., Universitas, K., & Depok, I. (2025). Pengembangan Bioplastik Dari Limbah Pelepah Bambu Dengan Uji Biodegradable. 1(Mei), 111–117.
- Ardana, B. M. K., Sofariah, E., Zahra, A. S., Delillah, A. G. G., & Setiadji, S. (2024). Pengaruh Konsentrasi CaCl₂ terhadap Bioplastik dari Pati Garut (*Maranta Arundinacea L.*) dan Karagenan.
- Arinda, Y., Fitriana, N., & Fitri, A. S. (2019). Uji Lipid pada Minyak Kelapa , Margarin , dan Gliserol *Lipid Tests on Coconut Oil , Margarin , and Glycerol*. 16(1), 19–23.
- Aripin, S., Saing, B., Kustiyah, E., Bhayangkara, U., & Raya, J. (2017). Studi Pembuatan Bahan Alternatif Plastik Biodegradable dari Pati Ubi Jalar dengan Metode Plasticizer Gliserol dengan Metode Melt Intercalation. *Jurnal Teknik Mesin*, 06(2), 79–84.
- Asmini, Ismawati, Sucihati, R., & Rachman, Rosyidah, Iqbal, M. (2023). Pelatihan Pembuatan Jamur Tongkol Jagung Dan “Jakris Tj” Sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah Jagung Di Desa Sekokat Kecamatan Labangka. 3(1),

186–192.

Atika, M., Adila, N., Wijayanto, D. S., Rohman, N., Studi, P., Teknik, P., Sebelas, U., & Surakarta, M. (2024). Karakteristik Minyak Pirolisis Campuran Biomassa Tongkol Jagung dan Sabut Kelapa dengan Plastik Polypropylene. 17(2), 100–106.

Auralia, K., Larasati, Y. N., Marthalia, K., Nasrudin, M., & Pujiarto, T. (2025). Analisis Keberhasilan Penanganan Tuberkulosis di Wilayah Jawa Timur pada Tahun 2023 menggunakan One-Way MANOVA. 8(5)

Ayun, Q., Kurniawan, S., Saputro, W. A., Program, M., Agribisnis, S., Duta, U., Surakarta, B., Agribisnis, P. S., Duta, U., & Surakarta, B. (2020). Perkembangan konversi lahan pertanian di bagian negara agraris. 5(2), 38–44.

Bani, M. D. S. (2019). Variasi Volume Gliserol terhadap Sifat Fisis Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Pati Ubi Kayu (Manihot Esculenta Cranz). 7(1), 61–78.

Benitez, J. J., Florido-Moreno, P., Porras-Vázquez, J. M., Tedeschi, G., Athanassiou, A., Heredia-Guerrero, J. A., & Guzman-Puyol, S. (2024). *Transparent, Plasticized Cellulose-Glycerol Bioplastics for Food Packaging Applications. International Journal of Biological Macromolecules*, 273(June).

Celebi, H., & Kurt, A. (2025). Effects of processing on the properties of chitosan/cellulose nanocrystal films. *Carbohydrate Polymers*, 133, 284–293.

Clarinsa, M. R., & Sutoyo, S. (2021). Pembuatan Dan Karakterisasi Plastik Biodegradable Dari Komposit Hdpe (High Density Polyethylene) Dan Pati Umbi Suweg (Amorphophallus Campanulatus). 10(1), 85–95.

Correa-Filho, C. L., Junior, Santos, dos R. J., Andresa, R. V., Ana, M. P., Habert, C. A., Carvalho, de P. W. C., Soares, G. A., Tonon, V. R., & Cabral, C. M. L.

(2024). *Chitosan-based nanocomposite films with carnauba wax , rosin resin , and zinc oxide nanoparticles*. 188(March).

Dean, K., Sangwan, P., Way, C., Zhang, X., Martino, V. P., Xie, F., Halley, P. J., Pollet, E., & Avérous, L. (2023). *Glycerol plasticised chitosan: A study of biodegradation via carbon dioxide evolution and nuclear magnetic resonance*. *Polymer Degradation and Stability*, 98(6), 1236–1246.

Devi, S. L., Kalita, S., Mukherjee, A., & Kumar, S. (2022). *Trends in Food Science & Technology Carnauba wax-based composite films and coatings : recent advancement in prolonging postharvest shelf-life of fruits and vegetables*. *Trends in Food Science & Technology*, 129(September), 296–305.

Djaenudin, Budianto, E., Saepudin, E., Nasir, M., Penelitian, L., Bersih, T., Ilmu, L., Indonesia, P., Kimia, D., & Indonesia, U. (2019). *Ekstraksi Kitosan Dari Cangkang Rajungan Pada Lama Dan Pengulangan Perendaman Yang Berbeda*. *Chitosan Extraction Of Crab Shell On Different Time And*. 10(1), 49–59.

Ekariski, D., Basito, B., & Yudhistira, B. (2019). *Studi Karakteristik Fisik Dan Mekanik Edible Film Pati Ubi Jalar Ungu Dengan Penambahan Kitosan*. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 10(2), 128.

Fatin, A., Salsabilla, A., Winarto, A. P., & Hakim, M. F. (2024). *Analisis Derajat Deasetilasi Kitosan Dari Limbah Cangkang Rajungan Dengan Penambahan Variasi NaBH₄ Dan Suhu*. 10(20), 96–104.

Fatnah, N., Cahyani, M. D., & Azizah, D. (2024). *Pemanfaatan limbah kulit rajungan mejadi kitosan*. 5(225), 784–793.

Febiyanti, M., Ghozali, A. A., Redjeki, S., Studi, P., Kimia, T., Studi, P., Industri, T., Teknk, F., Raya, J., Madya, R., & Anyar, G. (2020). *Edible Film Dari Tepung Kappa Karagenan Dan Kitosan*. 01(01), 16–21.

- Frenchibai, P. B. B., Vinayagam, R., Ambigapathi, D., Anbazhagan, G. K., Elumalai, L., Palaniyandi, S., Siddan, N., Thangam, G. S., & Dharmalingam, K. (2025). Chitosan from Shells of Crustaceans and its Application in the Synthesis of Biodegradable Polymers. *Biomedical Materials and Devices*, 0123456789.
- Ge, C., Xu, X., Ma, F., Zhou, J., & Du, C. (2022). *Biomimetic Modification of Water-Borne Polymer Coating with Carnauba Wax for Controlled Release of Urea. International Journal of Molecular Sciences*, 23(13).
- Gestyaki, J. A., Audrey, T., Hadin, A., Anggie, E. N., & Nasrudin, M. (2025). Penerapan Repeated Measures MANOVA One-i pada Analisis Data Pendidikan Dasar di Indonesia Application of Repeated Measures MANOVA One-i in Data Analysis of Elementary Education in Indonesia Publisher : Universitas Muhammadiyah Palu. 8(11), 6753–6766.
- Harpendi, R., Padil, & Yelmida. (2020). Proses Pemurnian Selulosa Pelepeh Sawit Sebagai Bahan Baku Nitroleselulosa dengan Variasi pH dan Konsentrasi H₂O₂.
- Hasibuan, H. N., Ridwanto, Nasution, M. H., & Rani, Z. (2025). *ORIGINAL ARTICLE Antifungal Activity of Chitosan from Bamboo Shells (Solen corneus) in the Production of Hydrogel Against Trichophyton mentagrophytes Aktivitas Antijamur Kitosan Dari Cangkang Kerang Bambu (Solen corneus) Pada Pembuatan Hidrogel Terhad. 8(3), 1654–1674.*
- Hayati, K., Setyaningrum, C. C., & Fatimah, S. (2020). Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Karakteristik Plastik Biodegradable dari Limbah Nata de Coco dengan Metode Inversi Fasa. 9–14.
- Hidayati, N., Rahayu, P., Rachma, N. R., & Anggraini, H. (2021). Pengaruh Penambahan Zat Pembastik Gliserol Terhadap Sifat Mekanik pada Pembuatan Bioplastik dari Kitosan - Umbi Porang (*Amorphophallus Muelleri* Blume). 9(1).

- Husni, P., Junaedi, J., & Gozali, D. (2020). Potensi Kitosan Bersumber dari Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) dalam Bidang Farmasi. 5(1), 32–38.
- Ifanka, & Viona. (2024). Pembuatan Nanoserat Selulosa Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bioplastik dengan Plasticizer Sorbitol. 1–53.
- Iqbal, M., Salsabila, I., Syahbani, D. A., & Douw, J. (2020). Analisis MANOVA Satu Arah untuk Melihat Perbedaan Status Gizi Balita Berdasarkan Wilayah Pembangunan Utama di Indonesia Tahun 2017. 3(1), 50–61.
- Jamco, S. C. J., & Balami, M. A. (2022). Analisis Kruskal-Wallis untuk Mengetahui Konsentrasi Belajar Mahasiswa Berdasarkan Bidang Minat Program Studi Statistika FMIPA UNPATTI. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Terapannya*, 1(1), 39–44.
- Jessica, D. D., Nurany, F., & Nawansih, O. (2024). Karakteristik Biodegradable Film Berbasis Selulosa Bungkil Inti Sawit (Bis) Dengan Variasi Konsentrasi Plasticizer Gliserol Dan Filler Glukomanan. 3(2), 209–222.
- Jin, J., Luo, B., Xuan, S., Shen, P., Jin, P., Wu, Z., & Zheng, Y. (2024). *International Journal of Biological Macromolecules Degradable chitosan-based bioplastic packaging: Design , preparation and applications. International Journal of Biological Macromolecules*, 266(P1), 131253.
- Katiandagho, A. C., Jaya, A. H., & Adda, H. W. (2023). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Melalui Pembuatan Briket Sebagai Upaya Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Di Desa Sibalaya Selatan. 2(1), 138–145.
- 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).
- Khodijah, S., & Tobing, L. M. J. (2023). Tinjauan Plastik Biodegradable dari

Limbah Tanaman Pangan sebagai Kantong Plastik Mudah Terurai. 17(1).

Kholiq, K., & Kusuma, W. (2024). *Characterization of Sodium Alginate and Chitosan Bioplastic with the Addition of Glycerol and Glutaraldehyde*. 13(1).

Khotimah, K., Ridlo, A., & Suryono, C. A. (2022). Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Komposit dari Alginat dan Karagenan. 11(3), 409–419.

Kitosan, P., Cangkang, D., & Portunus, R. (2021). *The Production of Chitosan from Crab Shell (Portunus sp .) at Room Temperature*. 24, 301–309.

Kozma, M., Acharya, B., & Bissessur, R. (2022). *Chitin, Chitosan, and Nanochitin: Extraction, Synthesis, and Applications*. 1–28.

Kurniawati, Sutrisno, J., Walujo, A., & Prijo, S. (2022). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Manis (Zea Mays L Saccharata) Sebagai Bahan Bioplastik Dengan Penambahan Zno Dan Gliserol. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 13(2), 78–84.

Kurniawati, T. C., Sutrisno, J., Walujo, A. D., & Sembodo, P. B. (2022). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Manis (Zea Mays L Saccharata) Sebagai Bahan Bioplastik Dengan Penambahan Zno Dan Gliserol. 20.

Lailyningtyas, D. I., Lutfi, M., & Ahmad, A. M. (2020). Uji Mekanik Bioplastik Berbahan Pati Umbi Ganyong (Canna edulis) dengan Variasi Selulosa Asetat dan Sorbitol. 8(1), 91–100.

Lestari, D., Puspita, I., & Kusmita, T. (2025). Rekayasa Film Bioplastik Selulosa-Kitosan Berbasis Limbah Batang Pisang : Peran Gliserol dalam Optimasi Karakteristik Material. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 2(2), 26–30.

Lidya, D., Syakdani, A., Purnamasari, I., & Salsabilah, S. R. (2023). Pembuatan

Bioplastik Dengan Memanfaatkan Limbah Nasi Menggunakan Variasi Kitosan Dan Plasticizer Gliserol. *Jedchem (Journal Education and Chemistry)*, 5(2), 116–123.

Lubis, I. F., Kusmono, & Wildan, W. (2021). *Fabrication and Characterization of Chitosan / Cellulose Nanocrystal/Glycerol Bio-Composite Films*.

Lusiana, A. R., Suseno, A., Haris, A., Sari, N. I., Kimia, D., & Diponegoro, U. (2021). Karakterisasi Fisikokimia Bioplastik Berbahan Dasar Kitosan Tertaut Silang Asam Suksinat / Pati / Poly Vinyl Alcohol. 6(02), 145–155.

Maneking, E., Frans, H., Herlina, S., Tongkukut, J., Fmipa, F., & Sam, U. (2020). *Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol*. 9(1), 23–27.

Mantika, F. G., Prasetyaningsih, Y., Kusumastuti, Y., & Hidayat, M. (2024). *Isolasi Selulosa dari Tongkol Jagung dengan Menggunakan Metode Konvensional dan Deep Eutectic Solvent (DES)*. *Senastitan Iv*.

Marlina, L., & Nurhalliza, G. (2021). Pengaruh Variasi Konsentrasi Gliserol Terhadap Karakteristik Biodegradasi Dan Water Uptake Bioplastik Dari Serbuk Tongkol Jagung. 279–286.

Mitantsoa, T. J., Ravelonandro, H. P., Arimalala, F., & Rafihavanana, R. (2021). *Elaboration and characterization of bioplastic films based on bitter cassava starch (Manihot esculenta) reinforced by chitosan extracted from crab (Shylla seratta) shells*. *International Journal of Science, Engineering and Technology*.

Muhammad, Ridara, M. (2021). Sintesis Bioplastik Dari Pati Biji Alpukat Dengan Bahan Pengisi Kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 2(November), 85–100.

- Muhammad, Ridara, R., & Masrullita. (2020). Sintesis Bioplastik Dari Pati Biji Alpukat Dengan Bahan Pengisi Kitosan. 2(November), 1–11.
- Muharran, I. F. (2020). Penambahan kitosan pada biofoam berbahan dasar pati. 5(2).
- Muliawati, C. E., Afrimansyah, M. H., Firnanda, M. Y., & Al-Mubayyina. (2025). Review : Produksi Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Tongkol Jagung sebagai Bahan Kemasan. 11(1), 177–194.
- 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*.
- Mulyana, E., Purnamasari, I., & Yerizam, M. (2024). Plastik Biodegradable Dari Selulosa Tongkol Jagung Menggunakan Metode Solution Casting. 7(2), 11–16.
- Mustofa, A., Susilowati, F., Suprianti, L., Studi, P., Kimia, T., & Pembangunan, U. (2025). *Isolasi Selulosa dari Tongkol Jagung Melalui Delignifikasi Ultrasonik*. 10(3), 653–662.
- Nababan, F. A., Nasution, H., & Masyithah, Z. (2025). Jurnal Teknik Kimia USU Pemanfaatan Selulosa dari Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) pada Penyediaan Bioplastik Berbasis Pati Biji Durian (*Durio zibethinus* Murr) yang Bersifat Biodegradable Utilization of Cellulose from Sugar Cane Bagasse (*Saccharum*. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 14(2), 47–56.
- Natalia, A. D., Dharmayanti, N., & Dewi, R. F. (2021). *The Production of Chitosan from Crab Shell (Portunus sp .) at Room Temperature*. 24, 301–309.
- Naurah, A., Azhar, H., Pambudi, T. S., Yurohman, & Riswoko, A. (2024). *Eksplorasi Material Bioplastik dari Limbah Kulit Jeruk untuk Perancangan*

Produk Tas Belanja. 8(1), 89–95.

Noviansyah, K., Jumiati, E., & Lubis, R. Y. (2023). *Pengaruh Penambahan Serbuk Pati Jagung dan Kitosan Terhadap Mutu Sifat Fisis Bioplastik*. 12(3), 466–471.

Nurhaswinda, Zulkifli, A., Gusniati, J., Zulefni, S. M., Afendi, A. R., Asni, W., & Fitriani, Y. (2025). Tutorial uji normalitas dan uji homogenitas dengan menggunakan aplikasi SPSS. *Jurnal Cahaya Nusantara*, 1(2), 3093–8113.

Padmanabhan, S. K., Lionetto, F., Nisi, R., Stoppa, M., & Licciulli, A. (2022). Sustainable Production of Stiff and Crystalline Bacterial Cellulose from Orange Peel Extract. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4).

Panatarani, C., Putri, E. A., Khalista, F. S., Faizal, F., Maulana, W. D., & Joni, I. M. (2024). Pengenalan Pemanfaatan Tongkol Jagung Sebagai Bahan Dasar Biodegradable Plastic Di Desa Bojong , Kabupaten Bandung , Jawa Barat. 13(3), 336–342.

Prasetya, I., Istiqomah, S. H., & Yamtana. (2016). Pembuatan Bioplastik Berbahan Bonggol Pisang Dengan Penambahan Gliserol.

Pratama, & Permatasari, I. R. (2021). Pengaruh Penerapan Standar Operasional Prosedur dan Kompetensi Terhadap Produktivitas Kerja Karyawan Divisi Ekspor PT. Dua Kuda Indonesia. *Jurnal Ilmiah*, 138(1), 38–47.

Pratama, U. F., Rahmawati, W., Wisnu, K. F., & Suharyatin, S. (2023). *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering Pemanfaatan Bonggol Jagung Sebagai Bahan Campuran Pembuatan Paving block Porous Utilization of Corn Cogs as Mixing Materials for Porous Paving block*.

Purbasari, A., Wulandari, A. A., & Marasabessy, F. M. (2020). Sifat Mekanis Dan Fisis Bioplastik Dari Limbah Kulit Pisang : Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi

Pemlastis. 42(2), 66–73.

Rahadi, B., Setiani, P., & Antonius, R. (2020). Karakteristik Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Cair Tahu (Whey) dengan Penambahan Kitosan dan Gliserol. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(2), 81–89.

Rahmatullah, Selpiana, Sari, E. O., Putri, R. W., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2020). Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap Kadar Selulosa pada Proses Delignifikasi dari Serat Kapuk sebagai Bahan Baku Biodegradable Plastic Berbasis Selulosa Asetat. *Seminar Nasional AVoER XII 2020, November*, 305–308.

Rahmidar, L., Wahidiniawati, S., & Sudiarti, T. (2018). Pembuatan Dan Karakterisasi Metil Selulosa Dari Bonggol Dan Kulit Nanas (Ananas Comosus). 2(1), 88–96.

Riska, A., Alfianty, D., & Oleo, U. H. (2025). Kajian berbagai jenis penggunaan plasticizer terhadap pembuatan edible film. 3(3), 356–363.

Ritonga, H., Mashuni, M., & Hardima, W. (2024). Optimasi Sifat Mekanik Komposit Bioplastik dari Selulosa Ampas Sagu dan Kitosan Cangkang Kepiting. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 20(2), 190.

Saccharata, M. L., Bahan, S., Dengan, B., Zno, P., & Gliserol, D. A. N. (2022). Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Manis (Zea Mays L Saccharata) Sebagai Bahan Bioplastik Dengan Penambahan Zno Dan Gliserol. 20.

Said, & Sari, P. P. (2026). JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Analisis Komparatif Pengaruh Plasticizer Gliserol dan Sorbitol Terhadap Sifat Mekanik Film Bioplastik Berbasis Kitosan : Sebuah Pendekatan Meta-Analisis. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 9(1).

Saputra, B. R. M., & Supriyo, E. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable Ravi,

- M., Saputra, B., & Supriyo, E. (2020). Pembuatan Plastik Biodegradable Zno Dan Stabilizer Gliserol. 01(1), 41–51.
- Saputra, D., Erlina, Y., & Barbara, B. (2023). *Analisis Trend Produksi Dan Konsumsi Jagung Pipilan Di Indonesia*. 17(1), 30–46.
- Sari, D. P., Puri, A. W., & Hanum, D. (2018). Delignifikasi Bonggol Jagung Dengan Metode Microwave Alkali. 1(November).
- Sari, Ernawati, D., & Wurjani, W. (2022). *Edible Film from Corn Cob and Plasticizer with Mixing Process*. 01001, 3–6.
- Sari, M. P., Deliana, Y., & Rochdiani, D. (2021). *Integrasi Pasar Jagung di Indonesia*. 5(2), 147–160.
- Sariningpuri, M. J., Rifin, A., & Hasbunallah, R. (2017). *The Competitiveness Of Manual And Mechanized Corn Cultivation*. 3(1), 24–33.
- Sartika, I. D., Amin, M., Noor, A., Nasution, E., Perikanan, F., & Airlangga, U. (2016). Isolasi Dan Karakterisasi Kitosan Dari Cangkang Rajungan (Portunus Pelagicus). 18(2), 98–112.
- Sayekti, K. A. N. A., Sofro, A., & Ariyanto, D. (2024). Analisis Matematis Pengaruh Lokasi Rumah Terhadap Harga Jual , Luas Rumah Dan Jumlah Kamar Dengan. 5(1), 584–590.
- Septiati, Y. A., Karmini, M., Kamaludin, A., Fatimah, F., Lingkungan, J. K., Bandung, P. K., & Barat, J. (2024). Analisis Luas Buka-an Udara Penyimpanan Makanan terhadap Kadar Air dan Total Jamur Makanan Terkemas Bioplastik. 23(2), 226–233.
- Setiawan, A., Anggraini, M. D. F., Ramadani, A. T., Cahyono, L., & Rizal, C. M.

(2021). Pemanfaatan Jerami Padi Sebagai Bioplastik Dengan Menggunakan Metode Perlakuan Pelarut Organik. 17(2), 69–80.

Silva, P. de C. e, Pereira, L. A. S., de Carvalho, G. R., Campelo, P. H., Botrel, D. A., Oliveira, J. E., & Marconcini, J. M. (2017). *Production and Stability of Carnauba Wax Nanoemulsion. Advanced Science, Engineering and Medicine*, 9(11), 977–985.

Sina, F. W. N., Sukmaria, A. A., & Redjeki, S. (2020). *Kinetics Study of Fermentation Reaction from Corn Cobs Cellulose using Cellulase Enzyme at Batch Reactor*. 1(02), 0–5.

Sitorus, B., Novianti, I., Adhityawarman, & Antonius. (2025). Peningkatan Biodegradabilitas dan Penyerapan Air Akibat Penambahan Mikroselulosa Hasil Isolasi Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Bioplastik. 12(2), 335–343.

Sriyana, Y. H., Rahayu, H. L., & Febriana, E. M. (2022). Bioplastik Dari Limbah Kulit Buah Nanas Dengan Modifikasi Gliserol Dan Kitosan. 40–44.

Stanciu, I. (2026). *Chemical composition of hemp determined by IR spectroscopy. International Journal of Research in Engineering*, 8(1), 01–03.

Susanti, A., Septya, H., Kana, D., Bustanul, A., Agustina, E., & Baqih, L. (2021). Pembuatan dan Karakterisasi Biodegradable Plastic Berbasis Campuran Pati dan Selulosa dari Limbah Jagung Fabrication and Characterization of Biodegradable Plastic Based on Mixture of Starch and Cellulose from Corn Waste. 18(2), 49–55.

Sutrisno, & Wulandari, D. (2018). Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) untuk Memperkaya Hasil Penelitian Pendidikan A . Pendahuluan Pendidikan merupakan sebuah proses belajar yang tidak cukup sekedar mengejar masalah kecerdasan saja . Berbagai potensi peserta didik lainnya juga ha. 9(1), 37–53.

- Syiami, D., Handayani, R., & Najihudin, A. (2021). Pengaruh Plastisizer Terhadap Elastisitas Dan Kelenturan Edible Film *The Impact Of Plasticizers To The Elasticity And Flexibility Of Edible Films*. 12(02), 152–158.
- Tarigan, E. M., & Cahyonugroho, O. H. (2024). Pemanfaatan Limbah Kerajinan Rumput Laut Menjadi Plastik Biodegradable. *Ix*(1), 8302–8309.
- Warsiki, E., Setiawan, Iwan, & Hoerudin. (2020). Sintesa Komposit Bioplastik Pati Kulit Singkong- Partikel Nanosilika Dan Karakterisasinya. 42(2), 37–45.
- Wening, D. N., & Amalia, R. (2023). Optimasi kondisi operasi pembuatan plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung dan pati kulit singkong dengan penambahan PVa dan TiO₂ sebagai smart packaging. 17, 139–147.
- Windhono, F., Dzaky, M. M., Dewati, R., Windhono, F., Dzaky, M. M., & Dewati, R. (2023). *Utilization Of Chitosan From Cramb Shell As A Biocoagulant In Industrial Wastewater Tofu*. 56–60.
- Yang, X., Tian, W., & Yu, H. (2025). Hydrophobicity, UV resistance, and antioxidant properties of carnauba wax-reinforced CG bio-polymer film. *E-Polymers*, 25(1).
- Yanti, R. N., Ifmalinda, Feri, A., & Mia, F. (2023). Pengaruh Penggunaan Lilin Carnauba Terhadap Mutu Buah Alpukat (Persea Americana Mill) Varietas Mega Paninggahan. 239–248.
- Yuliatun, & Santoso, E. M. (2022). Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida pada Isolasi Selulosa dari Ampas Tebu. *Indonesian Sugar Research Journal*, 2(1), 12–21.
- Yustinah, Y., AB, S., Solekhah, P. P., Novitasari, G. P., Nuryani, F., Djaeni, M., & Buchori, L. (2023). Pengaruh Jumlah Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Selulosa Sabut Kelapa dengan Pemplastik Gliserol. *JRST*

(Jurnal Riset Sains Dan Teknologi), 7(2), 143.

Yusuf, S. I. A. A., Abadi, I. S., & Sariwahyuni. (2024). *Delignifikasi Kandungan Lignoselulosa Bagas Tebu (Saccarum officinarium) dengan Variasi Ukuran dan Waktu Pretreatment Delignification of Lignocellulosic Content of Sugarcane Bagasse (Saccarum officinarium) with Variations in Size and Pretreatment Time*. 9(2).

Zulfikar, A., Putu, N., Novi, S., Putri, K., Umindya, G., & Tajalla, N. (2020). *Studi Pengaruh Waktu Alkalisasi pada Ekstraksi Selulosa Berbasis Serat Eceng Gondok (Eichhornia crassipes)*. 4(2), 1–12.

Zulnazri, Rahmadani, S., & Dewi, R. (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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I
PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

3. Pembuatan Pembuatan H₂SO₄

$$\text{Konsentrasi awal H}_2\text{SO}_4 = 95\%$$

$$\text{Massa jenis H}_2\text{SO}_4 = 1,84 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Mr H}_2\text{SO}_4 = 98,08 \text{ gr/mol}$$

$$\begin{aligned} N &= \frac{((10 \times \text{konsentrasi awal H}_2\text{SO}_4 \times \rho) \times \text{valensi})}{Mr} \\ &= \frac{((10 \times 95\% \times 1,84 \text{ gr/ml}) \times 2)}{98,08} \\ &= 35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

$$35 \text{ N} \times V_1 = 1 \text{ N} \times 1000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 28,5 \text{ ml}$$

4. Pembuatan Larutan H₂SO₄ 72% sebanyak 10 mL

$$\% \text{ H}_2\text{SO}_4 = 98\%$$

$$\text{Massa jenis H}_2\text{SO}_4 = 1,84 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Mr H}_2\text{SO}_4 = 98,08 \text{ gr/mol}$$

$$M_1 = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

$$M_1 = \frac{10 \times 98 \times 1,83}{98,08}$$

$$M_1 = 18,3 \text{ M}$$

$$M_2 = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

$$M_2 = \frac{10 \times 72 \times 1,83}{98,08}$$

$$M_2 = 13,4 \text{ M}$$

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

$$V_1 = \frac{M_2 \times V_2}{M_1}$$

$$V_1 = \frac{13,4 \times 10 \text{ ml}}{18,3}$$

$$V_1 = 7,32 \text{ ml}$$

5. Perhitungan NaOH 10%

$$\text{Konsentrasi} = \frac{M}{V}$$

$$\text{NaOH } 10\% = \frac{10 \text{ gr NaOH}}{100 \text{ ml aquadest}} \text{ (dalam 100 ml aquadest)}$$

$$\text{NaOH } 10\% = \frac{100 \text{ gr NaOH}}{1000 \text{ ml aquadest}} \text{ (dalam 1000 ml aquadest)}$$

LAMPIRAN II
ANALISIS *CHESSON DATA*

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Dokumentasi Analisis *Chesson Datta*

		
Tongkol jagung ditimbang 1 gram	Tongkol jagung ditambahkan aquadest 150ml lalu dipanaskan menggunakan refluks kondensor dengan suhu 100°C selama 1 jam	Suspensi disaring
		
Residu tongkol jagung dikeringkan menggunakan oven lalu ditimbang dan menghasilkan data (b)	Tongkol jagung data (b) ditambahkan larutan 150 ml H_2SO_4 1N	Suspensi tersebut dipanaskan menggunakan refluks kondensor dengan suhu 100°C selama 1 jam
		
Suspensi disaring	Residu hasil penyaringan dikeringkan menggunakan oven lalu ditimbang dan menghasilkan data (c)	Membuat larutan 10ml H_2SO_4 72%

		
Tongkol jagung hasil data (c) ditambahkan larutan 10ml H ₂ SO ₄ 72%	Direndam selama 4jam	Suspensi tersebut ditambahkan dengan larutan 150 ml H ₂ SO ₄ 1N, lalu dipanaskan menggunakan refluks kondensor dengan suhu 100°C selama 1 jam
		
Suspensi disaring	Residu hasil penyaringan dikeringkan menggunakan oven lalu ditimbang dan menghasilkan data (d)	Serbuk data (d) kemudian di <i>furnace</i> hingga menjadi abu lalu ditimbang dan menghasilkan data (e)

B. Perhitungan Analisis *Chesson Datta*

1. Selulosa sebelum delignifikasi

$$\text{Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Selulosa} = \frac{0,402 \text{ gr} - 0,1 \text{ gr}}{1,004 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\text{Selulosa} = 30,08 \%$$

2. Selulosa setelah delignifikasi

$$\text{Selulosa} = \frac{c-d}{a} \times 100\%$$

$$\text{Selulosa} = \frac{0,734 \text{ gr} - 0,145 \text{ gr}}{1,002 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$\text{Selulosa} = 57,78 \%$$

3. Lignin sebelum delignifikasi

$$Lignin = \frac{d-e}{a} \times 100\%$$

$$Lignin = \frac{0,1 \text{ gr} - 0,008 \text{ gr}}{1,004 \text{ gr}} \times 100\%$$

$$Lignin = 9,16 \%$$

4. Lignin sesudah delignifikasi

$$Lignin = \frac{d-e}{a} \times 100\%$$

$$Lignin = \frac{0,145 \text{ gr} - 0,075 \text{ gr}}{1,002 \text{ gr}} \times 100\%$$

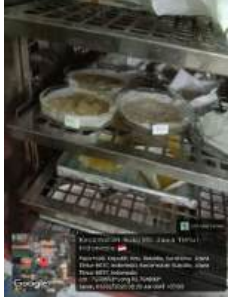
$$Lignin = 6,99 \%$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN III
PROSES DELIGNIFIKASI TONGKOL JAGUNG

Halaman ini sengaja dikosongkan

		
Tongkol jagung diambil dari petani jagung yang ada di Desa Klargon, Kec. Saradan, Kab. Madiun	Tongkol jagung dicuci dan dibilas beberapa kali hingga bersih agar tidak ada debu dan kotoran yang tidak diinginkan	Tongkol jagung dijemur dibawah sinar matahari hingga kering
		
Tongkol jagung di grinding agar partikel lebih kecil	Tongkol jagung disaring menggunakan ayakan 100 mesh	Tongkol jagung ditimbang 40gram
		
NaOH ditimbang 60gr	Melarutkan NaOH ke dalam 600ml aquadest	Mencampurkan serbuk tongkol jagung dengan larutan NaOH lalu dipanaskan menggunakan <i>hoteplate</i> dengan suhu 60°C selama 2 jam

		
Suspensi didinginkan lalu dicuci hingga pH netral	setelah proses pemanasan menunjukkan suspensi memiliki pH 13	Cuci beberapa kali hingga pH 7 (netral)
		
Suspensi disaring menggunakan <i>vacum filter</i>	Residu hasil penyaringan di panaskan menggunakan oven hingga kering	Berat akhir tongkol jagung setelah melewati proses delignifikasi

LAMPIRAN IV
PROSES *BLEACHING* TONGKOL JAGUNG

Halaman ini sengaja dikosongkan

		
Tongkol jagung hasil proses delignifikasi ditimbang 10 gram	Membuat larutan aquadest dengan H ₂ O ₂ 5%	Mencampurkan larutan dengan tongkol jagung lalu menaikkan pH hingga basa
		
Suspensi dipanaskan menggunakan <i>hotplate</i> selama 90 menit dengan suhu 60°C	Suspensi dicuci hingga netral	Suspensi disaring menggunakan <i>vacum filter</i>
		
Residu tongkol jagung dipanaskan menggunakan oven hingga kering	Berat akhir tongkol jagung setelah melewati proses <i>bleaching</i>	

Halaman ini sengaja dikosongkan

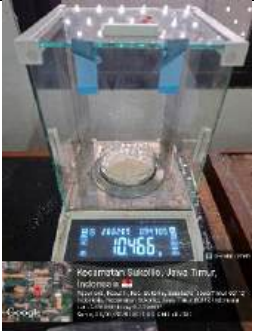
LAMPIRAN V
KITOSAN CANGKANG RAJUNGAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Dokumentasi Pembuatan Kitosan Cangkang Rajungan

		
Cangkang rajungan diambil dari industri rumah	Cangkang rajungan dicuci dan dibilas beberapa kali hingga bersih	Cangkang rajungan dijemur hingga kering
		
Cangkang rajungan ditumbuk agar ukuran lebih kecil sebelum masuk mesin grinding	Cangkang rajungan di grinding agar partikel lebih kecil	Cangkang rajungan disaring menggunakan ayakan 100mesh
		
Menimbang serbuk cangkang rajungan (tahap demineralisasi)	Mencampurkan serbuk cangkang rajungan dengan larutan HCl 37% dengan perbandingan 1:7 (b/v) lalu dipanaskan menggunakan <i>hotplate</i>	Mencuci suspensi tersebut hingga pH netral

		
Menyaring suspensi menggunakan <i>vacum filter</i>	Mengeringkan residu yang tersaring dengan oven hingga kering lalu ditimbang dan menjadi hasil akhir tahap demineralisasi	Menimbang NaOH sesuai kebutuhan lalu diencerkan menggunakan 500ml aquadest sehingga terbentuk larutan NaOH 3N 500ml (tahap deproteinasi)
		
Mencampurkan larutan 500ml NaOH 3N dengan cangkang rajungan hasil akhir pada proses demineralisasi lalu dipanaskan menggunakan <i>hotplate</i>	Mencuci suspensi tersebut hingga pH netral	Menyaring suspensi menggunakan <i>vacum filter</i>
		
Mengeringkan residu yang tersaring dengan oven hingga kering lalu ditimbang dan menjadi	Mencampur dan memanaskan menggunakan <i>hotplate</i> larutan suspensi serbuk cangkang rajungan dari	Mencuci suspensi tersebut hingga pH netral

hasil akhir tahap deproteinasi	tahap deproteinasi dengan larutan NaOH 50% dengan perbandingan 1:20 (b/v) (tahap deasetilasi)	
		
Menyaring suspensi menggunakan <i>vacum filter</i>	Mengeringkan residu yang tersaring dengan oven hingga kering	Menimbang hasil akhir setelah dikeringkan pada oven hingga berat konstan dan didapat hasil akhir kitosan cangkang rajungan

B. Perhitungan Larutan Kitosan

1. Perhitungan Tahap Demineralisasi Larutan HCl 1N

- Pembuatan Larutan HCl 1N

Rasio larutan : bahan = 1 : 7 (b/v)

Serbuk Cangkang Rajungan = 71,42 gr

Volume larutan HCl = 500 ml

Konsentrasi HCl (bahan) = 37 %

Densitas HCl (ρ) = 1,19 mg/L

Mr HCl = 36,5 g/mol

$$M = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

$$M = \frac{10 \times 37 \% \times 1,19 \text{ mg/L}}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$M = 12,06 \text{ M}$$

- Pengenceran HCl 1N sebanyak 500 ml

$$\text{Volume kebutuhan HCl} = (M_1 \times V_1) = (M_2 \times V_2)$$

$$(12,06 \text{ M} \times V_1) = (1 \text{ N} \times 500 \text{ ml})$$

$$V_1 = \frac{500}{12,06}$$

$$V_1 = 41,459 \approx 41,5 \text{ ml}$$

2. Perhitungan Tahap Deproteinasi Larutan NaOH 3N

$$\text{Rasio larutan : bahan} = 1 : 10 \text{ (b/v)}$$

$$\text{Serbuk cangkang rajungan} = 46,34 \text{ gr}$$

$$\text{Konsentrasi NaOH} = 3 \text{ N}$$

$$\text{Mr NaOH} = 40 \text{ g/mol}$$

$$\text{Volume larutan} = 500 \text{ ml}$$

$$N = \frac{m}{Mr \times V}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH (g)} &= \left(\frac{M_1}{V_1} \right) = \left(\frac{M_2}{V_2} \right) \\ &= N \times Mr \times V \\ &= 3 \text{ N} \times 40 \text{ g/mol} \times 0,5 \text{ L} \\ &= 60 \text{ gr (kebutuhan NaOH)} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Tahap Deasetilasi NaOH 50%

$$\text{Rasio larutan : bahan} = 1 : 20 \text{ (b/v)}$$

$$\text{Serbuk cangkang rajungan} = 34,18 \text{ gr}$$

$$\text{Konsentrasi NaOH} = 50 \%$$

$$\text{Larutan NaOH} = 500 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= \left(\frac{M_1}{V_1} \right) = \left(\frac{M_2}{V_2} \right) \\ &= \left(\frac{50 \text{ gr}}{100 \text{ ml}} \right) = \left(\frac{M_2}{500 \text{ ml}} \right) \end{aligned}$$

$$M_2 = 250 \text{ gr (kebutuhan NaOH)}$$

C. Perhitungan Derajat Deasetilasi

Perhitungan derajat deasetilasi kitosan cangkang rajungan setelah uji FTIR

$$AB = 81,44$$

$$AC = 108,66$$

$$DE = 90,68$$

$$DF_2 = 99,08$$

$$\bullet \quad A_{3450} = \log \left(\frac{AC}{AB} \right)$$

$$A_{3450} = \log \left(\frac{108,66}{81,44} \right)$$

$$A_{3450} = 0,1252$$

$$\bullet \quad A_{1655} = \log \left(\frac{DF_2}{DE} \right)$$

$$A_{1655} = \log \left(\frac{99,08}{90,68} \right)$$

$$A_{1655} = 0,0384$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat Deasetilasi (\%)} &= \left(1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{100}{1,33} \right) \times 100 \\ &= \left(1 - \frac{0,0384}{0,1252} \times \frac{100}{1,33} \right) \times 100 \\ &= 76,9\% \end{aligned}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN VI
PROSES PEMBUATAN BIOPLASTIK

Halaman ini sengaja dikosongkan

		
Selulosa tongkol jagung ditimbang 2gram	Ditambahkan 20mL aquadest	Larutan selulosa diaduk menggunakan magnetic stirrer diatas <i>hotplate</i>
		
Kitosan ditimbang sesuai variasi	Dicampurkan dengan larutan asam asetat 1% sebanyak 80mL	Jika kitosan sudah larut sempurna, tambahkan larutan selulosa
		
Tambahkan gliserol sesuai variasi lalu panaskan hingga suhu 75-80°C	Timbang <i>carnauba wax</i> sesuai kebutuhan	Panaskan lalu tambahkan tween20 menggunakan metode <i>double boiler</i> hingga mencair sepenuhnya
		
Tambahkan <i>carnauba wax</i> cair pada larutan bioplastik	Aduk dengan cepat hingga semua homogen dengan sempurna	Tuang pada cetakan akrilik

	
Panaskan dalam oven hingga kering	Hasil jadi bioplastik

LAMPIRAN VII
PENGUJIAN *SWELLING*

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Dokumentasi Pengujian *Swelling*

Variasi	Berat Awal	Berat Akhir
Gliserol 2% + Kitosan 3%		
Gliserol 2% + Kitosan 3,5%		
Gliserol 2% + Kitosan 4%		
Gliserol 3% + Kitosan 3%		
Gliserol 3% + Kitosan 3,5%		

Variasi	Berat Awal	Berat Akhir
Gliserol 3% + Kitosan 4%		
Gliserol 4% + Kitosan 3%		
Gliserol 4% + Kitosan 3,5%		
Gliserol 4% + Kitosan 4%		

B. Perhitungan persentase *swelling*

$$\begin{aligned}
 A1 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,133-0,106}{0,133} \times 100\% \\
 &= 10,3 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A2 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,203-0,164}{0,203} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 19,2 \%$$

$$\begin{aligned} A3 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,253-0,209}{0,253} \times 100\% \\ &= 17,4 \%$$

$$\begin{aligned} B1 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,144-0,111}{0,144} \times 100\% \\ &= 22,9\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,193-0,149}{0,193} \times 100\% \\ &= 22,8 \%$$

$$\begin{aligned} B3 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,155-0,124}{0,155} \times 100\% \\ &= 20 \%$$

$$\begin{aligned} C1 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,333-0,227}{0,333} \times 100\% \\ &= 31,8 \%$$

$$\begin{aligned} C2 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,187-0,140}{0,187} \times 100\% \\ &= 25,1 \%$$

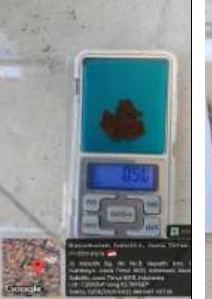
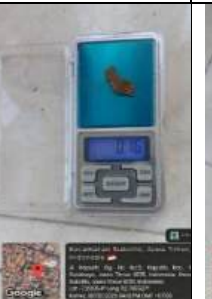
$$\begin{aligned} C3 &= \frac{\text{sesudah-sebelum}}{\text{sesudah}} \times 100\% \\ &= \frac{0,264-0,200}{0,264} \times 100\% \\ &= 24,2 \%$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

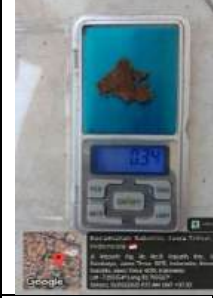
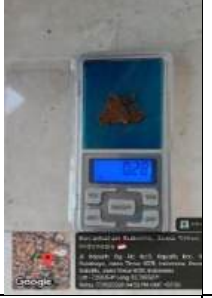
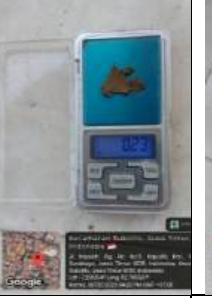
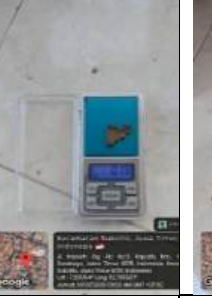
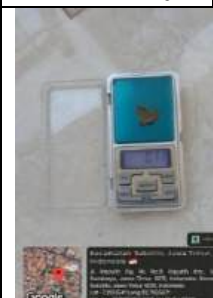
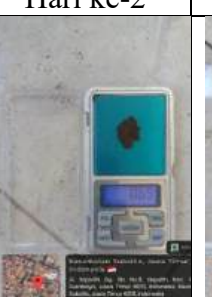
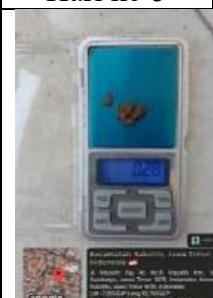
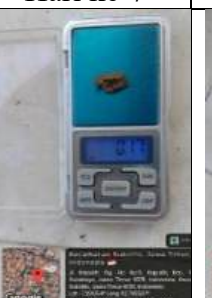
LAMPIRAN VIII
PENGUJIAN DEGRADABILITAS (*SOIL BURIAL TEST*)

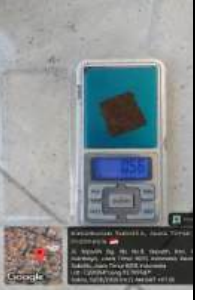
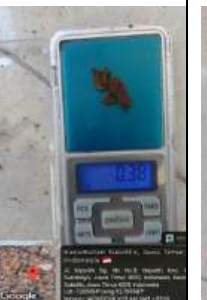
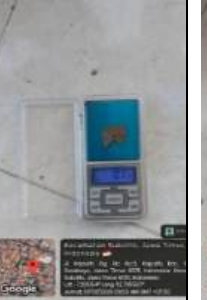
Halaman ini sengaja dikosongkan

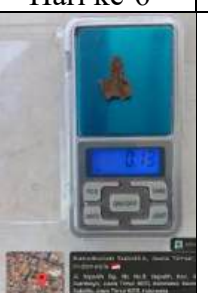
A. Dokumentasi Pengujian Degradasi

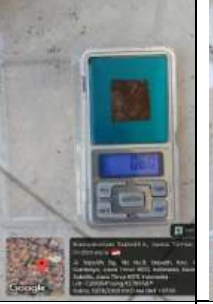
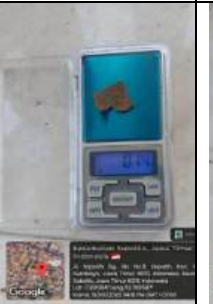
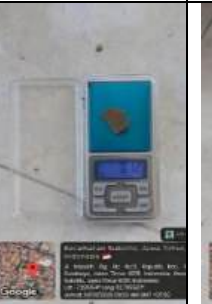
Variasi A1				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				
Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi A2				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19

Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi A3				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi B1				

Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				
Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi B2				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				

Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi B3				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				
Hari ke-10	Hari ke-11			
		-	-	-
Variasi C1				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4

				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				
Hari ke-10	Hari ke-11			
	-	-	-	-
Variasi C2				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-9
				
Hari ke-10	Hari ke-11			

		-	-	-
Variasi C3				
Berat Awal	Hari ke-1	Hari ke-2	Hari ke-3	Hari ke-4
				
Hari ke-5	Hari ke-6	Hari ke-7	Hari ke-8	Hari ke-19
				
Hari ke-10	Hari ke-11	-	-	-
		-	-	-

B. Perhitungan Persentase Degradasi

$$\begin{aligned} A1 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,61-0,06}{0,61} \times 100\% \\ &= 90,16 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A2 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,69-0,08}{0,69} \times 100\% \\ &= 88,41 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A3 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,65-0,08}{0,65} \times 100\% \\ &= 87,69 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B1 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,78-0,07}{0,78} \times 100\% \\ &= 91,03 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,78-0,07}{0,78} \times 100\% \\ &= 91,03 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B3 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,61-0,06}{0,61} \times 100\% \\ &= 90,16 \, \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C1 &= \frac{\text{sebelum}-\text{sesudah}}{\text{sebelum}} \times 100\% \\ &= \frac{0,49-0}{0,49} \times 100\% \\ &= 100 \, \% \end{aligned}$$

$$C2 = \frac{sebelum-sesudah}{sebelum} \times 100\%$$

$$= \frac{0,61-0,04}{0,61} \times 100\%$$

$$= 93,44 \%$$

$$C3 = \frac{sebelum-sesudah}{sebelum} \times 100\%$$

$$= \frac{0,53-0,04}{0,53} \times 100\%$$

$$= 92,45 \%$$

LAMPIRAN IX
HASIL PENGUJIAN KUAT TARIK DAN ELONGASI

Halaman ini sengaja dikosongkan

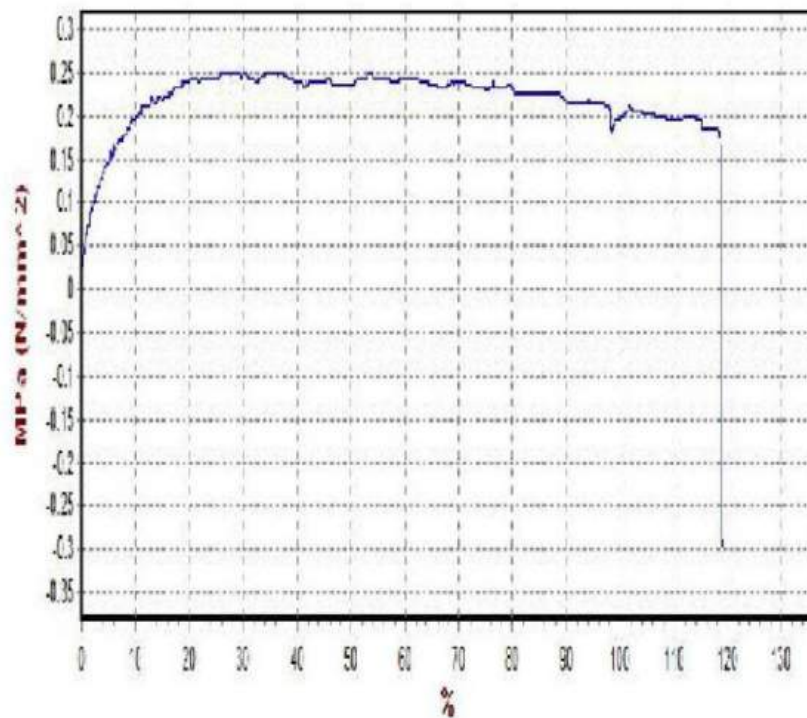


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3 Al 9-2	17.100	5.0	0.13	0.29	1.48	119,1



Tester. : _____

Customer : _____

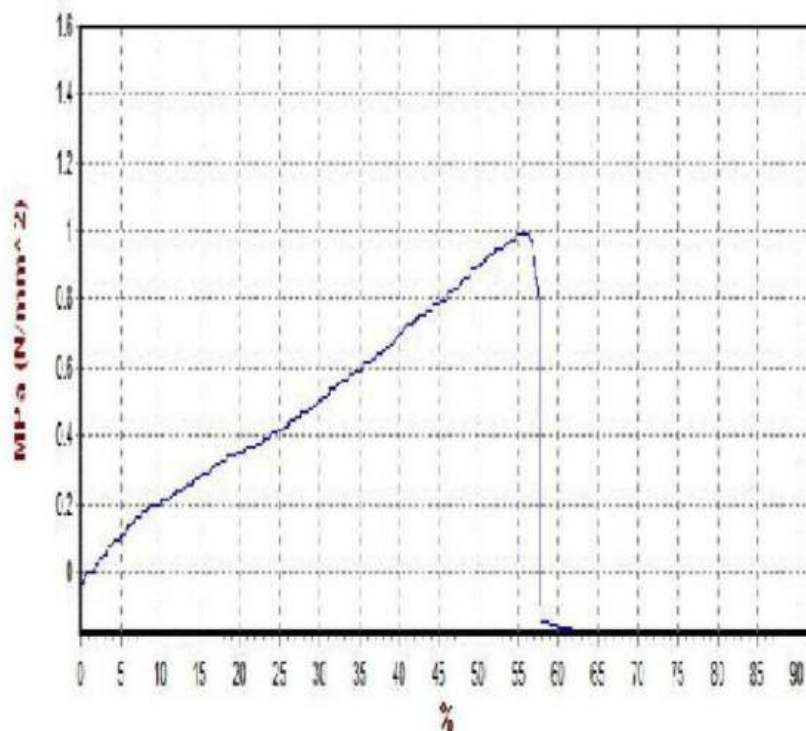


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3.5 A2 9-2	11.100	11.0	0.29	0.99	1.58	63,9



Tester : _____

Customer : _____

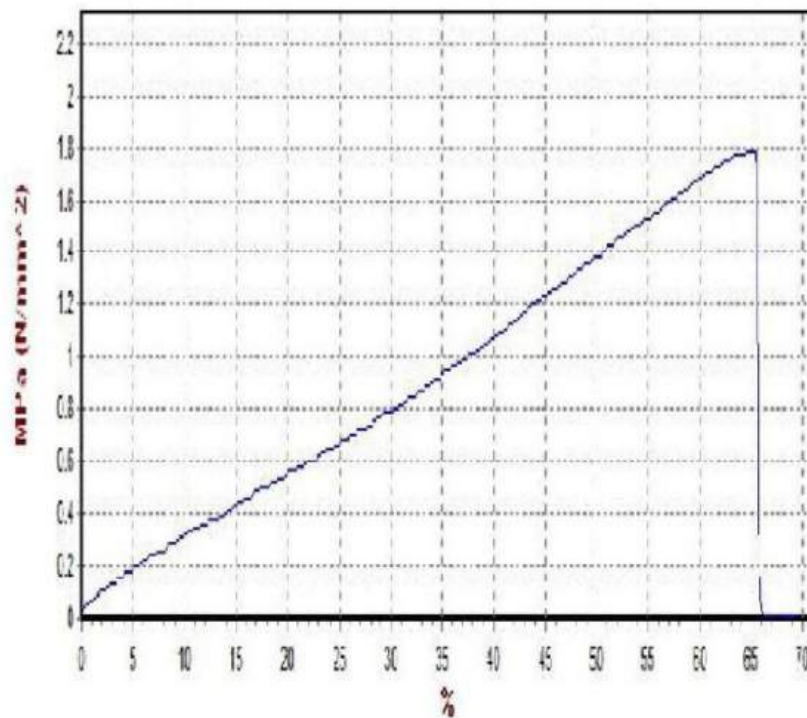


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 $\%$
K4 A3 9-2	11.100	19.8	0.79	1.78	2.58	66,7



Tester : _____

Customer : _____

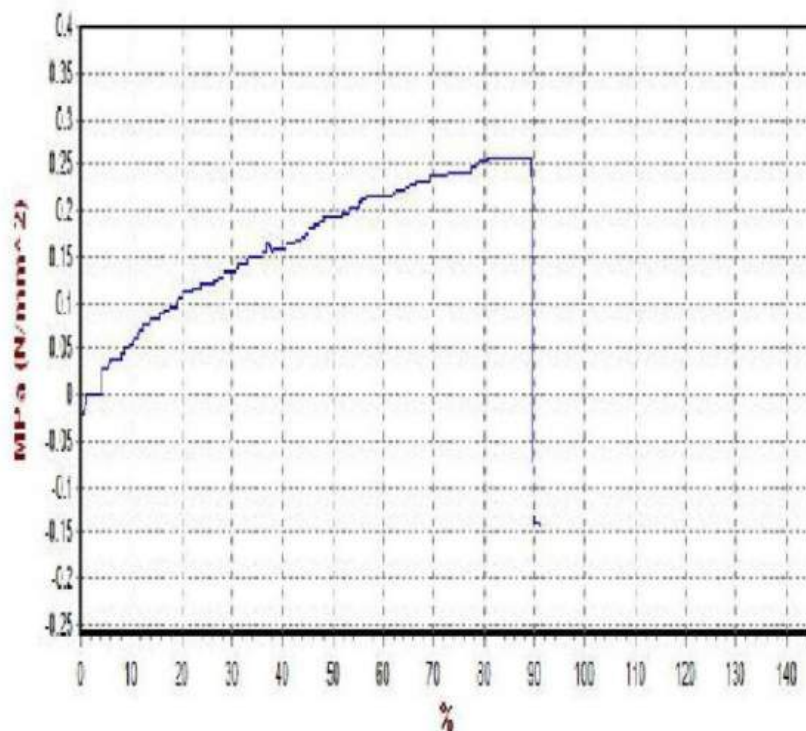


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3 B1 9-3	16.500	4.2	0.26	0.26	0.33	92,4



Tester : _____

Customer : _____

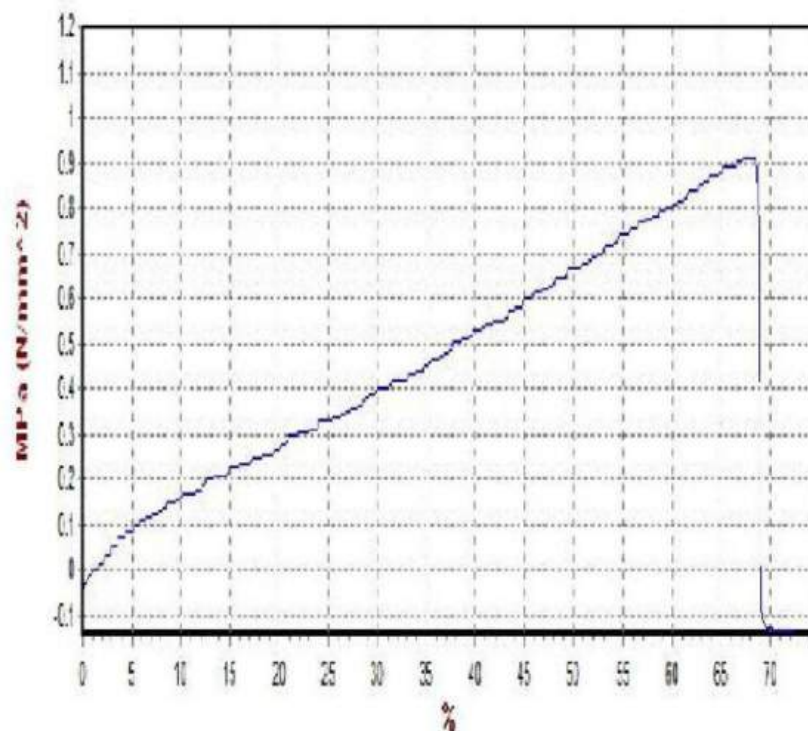


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3.5 B2 9-3	11.700	10.6	0.21	0.91	1.25	74,7



Tester : _____

Customer : _____

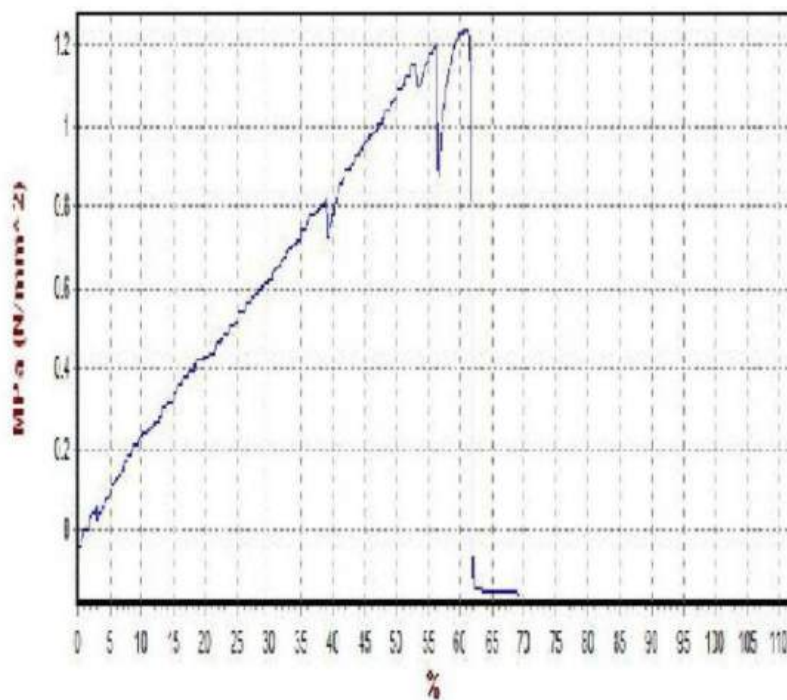


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 $\%$
K4 B3 9-3	10.500	13.0	0.42	1.24	1.95	69,3



Tester. : _____

Customer : _____

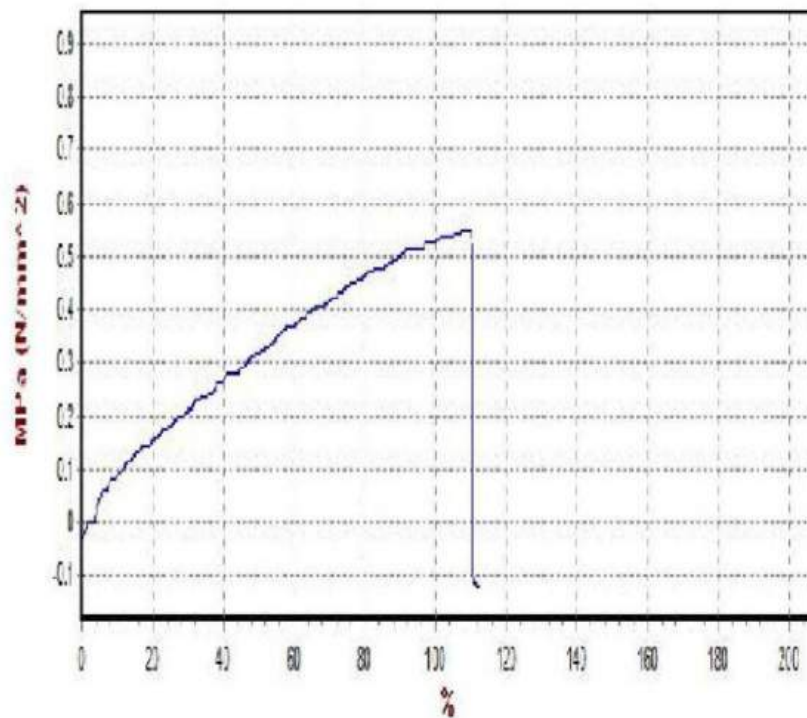


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3 C1 9-4	16.500	9.1	0.19	0.55	0.54	112,4



Tester. : _____

Customer : _____

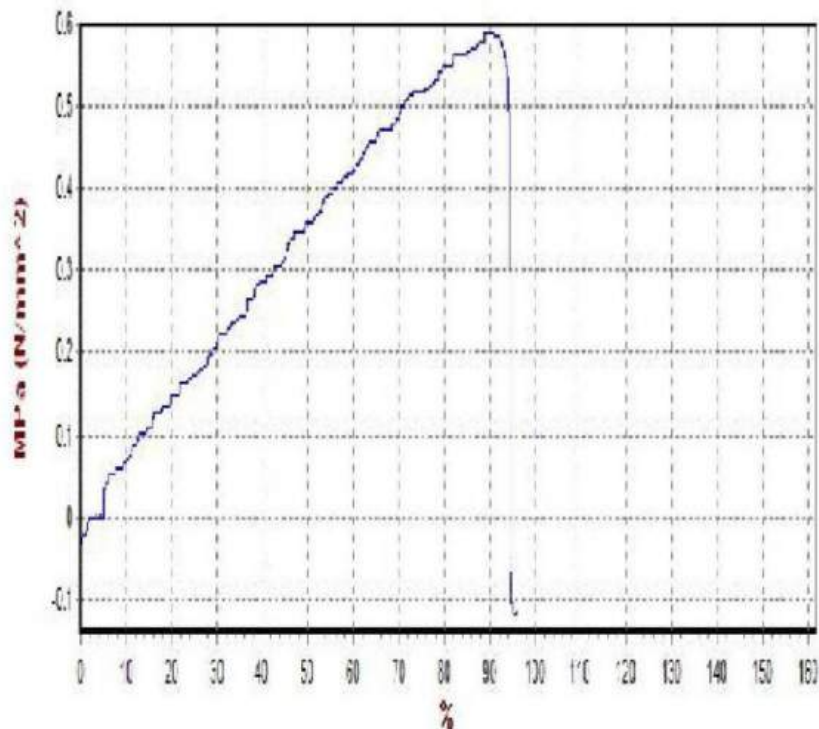


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K3.5 C2 9-4	12.300	7.3	0.59	0.59	0.76	95,8



Tester : _____

Customer : _____

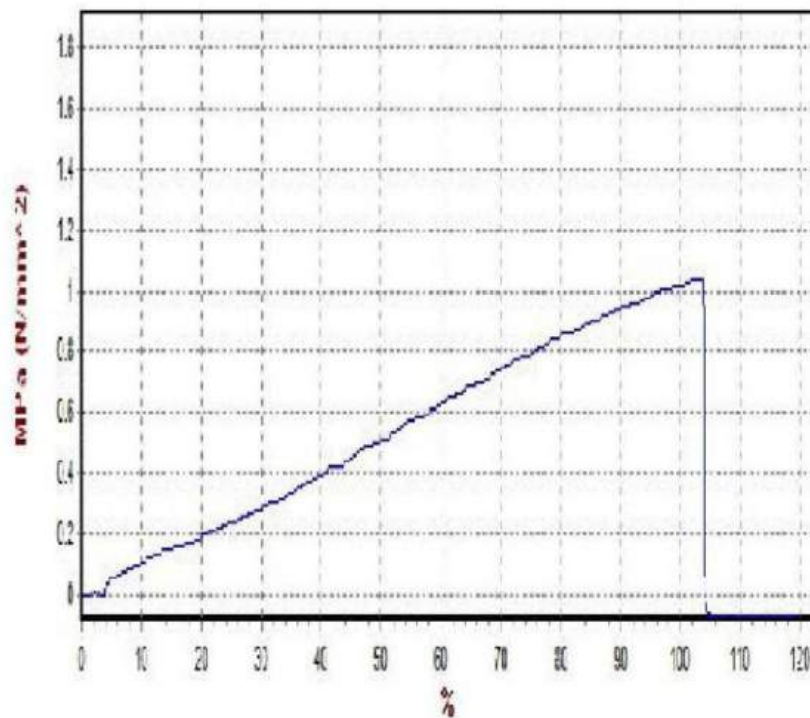


TEST REPORT

Information : putu cahya

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 %
K4 C3 9-4	11.700	12.1	0.24	1.03	1.16	104,6



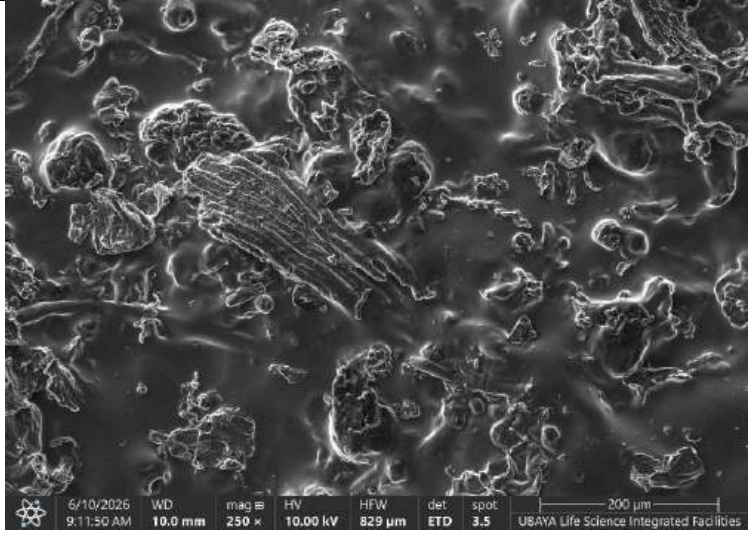
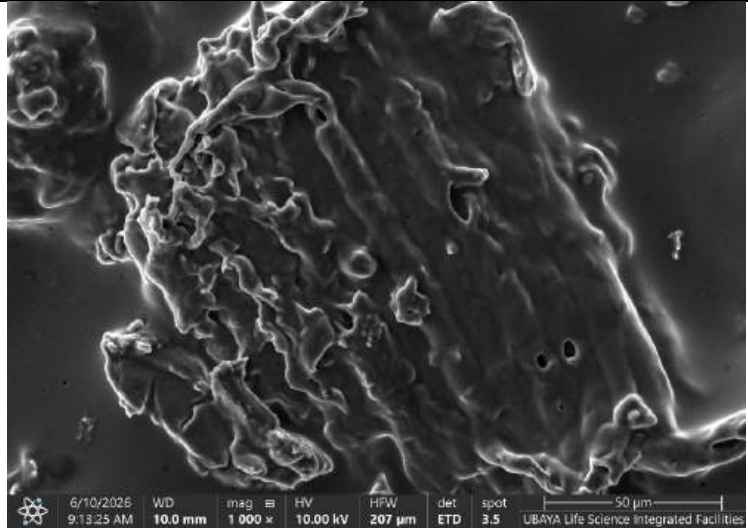
Tester : _____

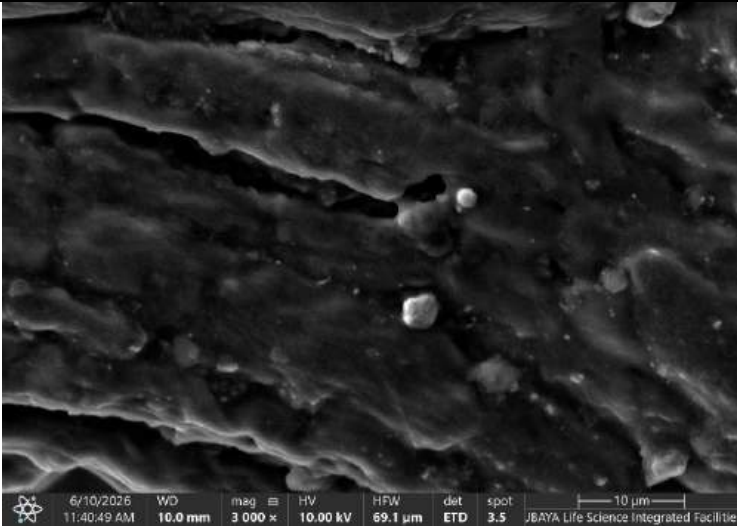
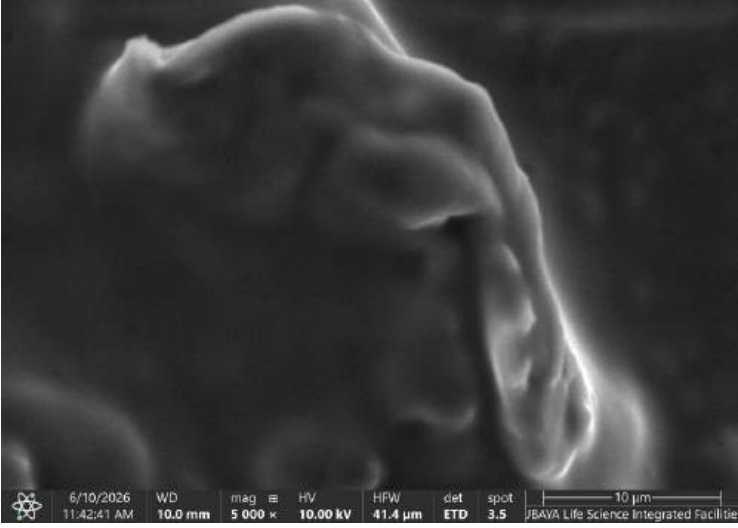
Customer : _____

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN X
HASIL PENGUJIAN SEM

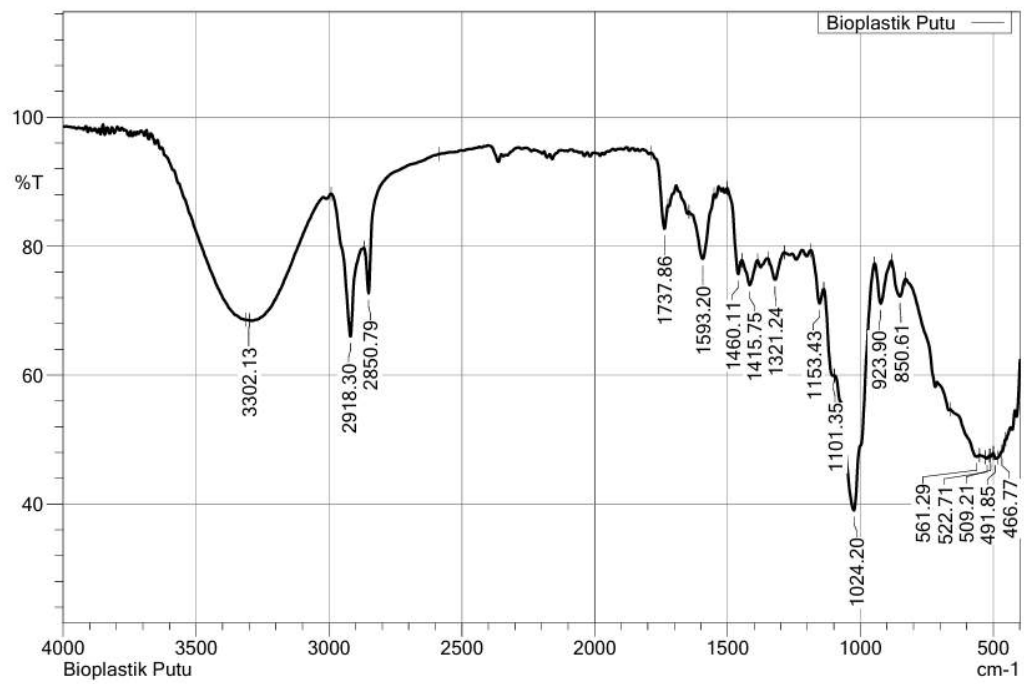
Halaman ini sengaja dikosongkan

Hasil pengujian SEM	Perbesaran
 6/10/2026 9:11:50 AM WD 10.0 mm mag 250 x HV 10.00 kV HFW 829 µm det ETD spot 3.5 200 µm UBAYA Life Science Integrated Facilities	250x
 6/10/2026 9:13:25 AM WD 10.0 mm mag 1 000 x HV 10.00 kV HFW 207 µm det ETD spot 3.5 50 µm UBAYA Life Science Integrated Facilities	1000x

 6/10/2026 11:40:49 AM WD 10.0 mm mag 3 000 x HV 10.00 kV HFW 69.1 μm det ETD spot 3.5 10 μm JBAYA Life Science Integrated Facilities	3000x
 6/10/2026 11:42:41 AM WD 10.0 mm mag 5 000 x HV 10.00 kV HFW 41.4 μm det ETD spot 3.5 10 μm JBAYA Life Science Integrated Facilities	5000x

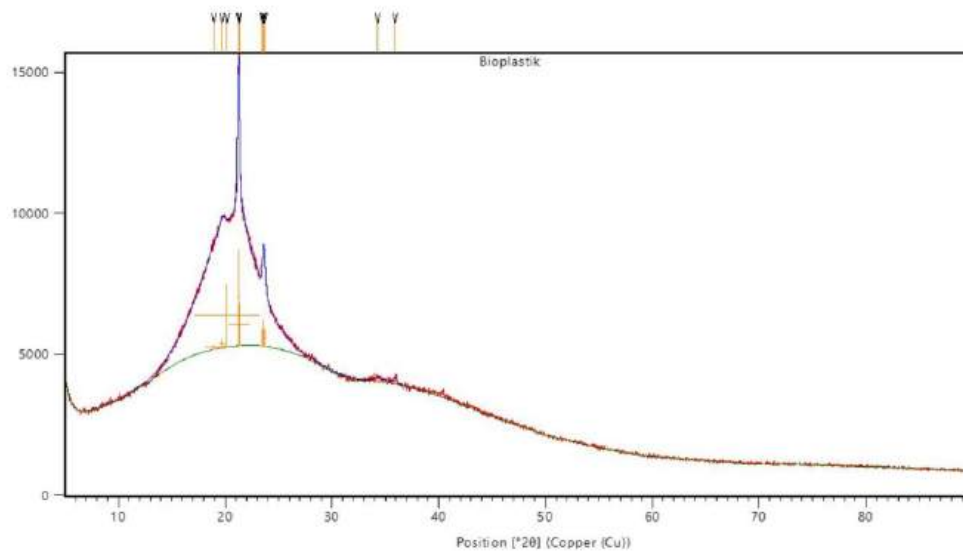
LAMPIRAN XI
HASIL PENGUJIAN FTIR

Halaman ini sengaja dikosongkan



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN XII
HASIL PENGUJIAN XRD



Peak List

Pos. [°2θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
18,9718	148,71	1,6461	4,67401	4,35
19,7266	278,01	0,6329	4,49684	8,13
20,1583	2225,22	6,1232	4,40149	65,06
21,2511	3420,29	0,2498	4,17755	100,00
21,3610	1498,76	1,8446	4,15632	43,82
23,4792	584,75	0,1280	3,78593	17,10
23,6155	926,73	0,1023	3,76438	27,09
23,7204	617,85	0,1858	3,74797	18,06
34,3168	115,63	0,6593	2,61106	3,38
35,9088	150,14	0,3180	2,49886	4,39

Perhitungan XRD

1. *Crystallinity Index (CI)*

$$CI = \frac{I_{cr} - I_{am}}{I_{cr}} \times 100\%$$

$$CI = \frac{15685 - 2977}{15685} \times 100\%$$

$$CI = 81,02 \%$$

2. *Crystallinity* (CR)

$$\text{Cr} = \frac{I_{\text{cr}}}{I_{\text{cr}} + I_{\text{am}}} \times 100\%$$

$$\text{Cr} = \frac{15685}{15685 + 2977} \times 100\%$$

$$\text{Cr} = 84,05 \%$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN XIII
HASIL UJI STATISTIKA

Halaman ini sengaja dikosongkan

Tests of Normality

	Gliserol	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Uji_Kuat_Tarik	2%	.275	6	.174	.845	6	.144
	3%	.189	6	.200*	.841	6	.133
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004
Standardized Residual for Uji_Elongasi	2%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004

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

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

	Kitosan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Uji_Kuat_Tarik	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3,5%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.150	6	.200*	.960	6	.820
Standardized Residual for Uji_Elongasi	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3,5%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004

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

a. Lilliefors Significance Correction

Test of Homogeneity of Variance

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Standardized Residual for Uji_Kuat_Tarik	Based on Mean	3.750	2	15	.048
	Based on Median	3.750	2	15	.048
	Based on Median and with adjusted df	3.750	2	10.000	.061
	Based on trimmed mean	3.750	2	15	.048
Standardized Residual for Uji_Elongasi	Based on Mean	.004	2	15	.996
	Based on Median	.004	2	15	.996
	Based on Median and with adjusted df	.004	2	9.840	.996
	Based on trimmed mean	.003	2	15	.997

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Uji_Swelling	2%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004
Standardized Residual for Uji_Degradasi	2%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Standardized Residual for Uji_Swelling	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3,5%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004
Standardized Residual for Uji_Degradasi	3%	.319	6	.056	.683	6	.004
	3,5%	.319	6	.056	.683	6	.004
	4%	.319	6	.056	.683	6	.004

a. Lilliefors Significance Correction

Test of Homogeneity of Variance

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Standardized Residual for Uji_Swelling	Based on Mean	.032	2	15	.968
	Based on Median	.030	2	15	.970
	Based on Median and with adjusted df	.030	2	11.808	.970
	Based on trimmed mean	.032	2	15	.968
Standardized Residual for Uji_Degradasi	Based on Mean	.000	2	15	1.000
	Based on Median	.000	2	15	1.000
	Based on Median and with adjusted df	.000	2	5.329	1.000
	Based on trimmed mean	.000	2	15	1.000

Kruskal

Test Statistics^{a,b}

	Uji_Kuat_Tari k	Uji_Elongasi	Uji_Swelling	Uji_Degradasi
Kruskal-Wallis H	.140	5.053	12.772	12.484
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.932	.080	.002	.002

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Gliserol

Test Statistics^{a,b}

	Uji_Kuat_Tari k	Uji_Elongasi	Uji_Swelling	Uji_Degradasi
Kruskal-Wallis H	5.415	6.924	2.667	1.844
df	2	2	2	2
Asymp. Sig.	.067	.031	.264	.398

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Kitosan

Test Statistics^{a,b}

	Uji_Kuat_Tari k	Uji_Elongasi	Uji_Swelling	Uji_Degradasi
Kruskal-Wallis H	6.211	16.842	15.649	14.516
df	8	8	8	8
Asymp. Sig.	.624	.032	.048	.069

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: kelompok

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN XIV
HASIL PENGUJIAN DI LABORATORIUM LIMBAH

Halaman ini sengaja dikosongkan

HASIL PENGUJIAN DI LABORATORIUM LIMBAH

Nama Praktikan : Putu Cahya Gita Berlianti
NRP : 1022040057
Tanggal : 08 Juni 2026 hingga 11 Juni 2026

1. Pengujian Chesson Datta

No.	Sampel Tongkol Jagung	Kadar Selulosa (%)	Kadar Lignin (%)
1.	Bahan Mentah	30,1	9,2
2.	Setelah <i>Bleaching</i>	58,9	6,9

2. Pengujian Swelling

a. Kode Sampel

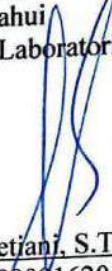
Massa Selulosa Tongkol Jagung	Asam Asetat	<i>Carnauba</i> <i>Wax</i>	Variasi Gliserol			Variasi Kitosan Cangkang Rajungan
			2%	3%	4%	
2 gram	1%	0,8 gram	A1	B1	C1	3%
			A2	B2	C2	3,5%
			A3	B3	C3	4%

b. Hasil Pengujian

No.	Sampel	Berat Awal (W_0)	Berat Akhir (W_1)	<i>Swelling</i> (%)	Ketahanan Air (%)
1.	A1	0.106	0.133	20.3	79.7
2.	A2	0.164	0.203	19.2	80.8
3.	A3	0.209	0.253	17.4	82.6
4.	B1	0.111	0.144	22.9	77.1
5.	B2	0.149	0.193	22.8	77.2
6.	B3	0.124	0.155	20.0	80.0
7.	C1	0.227	0.333	31.8	68.2

No.	Sampel	Berat Awal (W_0)	Berat Akhir (W_1)	Swelling (%)	Ketahanan Air (%)
8.	C2	0.140	0.187	25.1	74.9
9.	C3	0.200	0.264	24.2	75.8
Rata - rata				22,6	77,4

Surabaya, 25 Juni 2026
Mengetahui
Kepala Laboratorium Limbah


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

BIODATA PENULIS



Putu Cahya Gita Berlianti, lahir di Madiun pada tanggal 13 Mei 2002. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Mejayan 1, SMPN 1 Mejayan, dan SMAN 1 Mejayan. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Pengolahan Limbah periode 2024 dan *Marine Robotic Community* periode 2023/2024. Penulis berkesempatan melaksanakan *On the Job Training* di PT Nusantara Power UP-Paiton Divisi Lingkungan pada bulan Maret – April 2025, PT Paiton Operation and Maintenance Indonesia Divisi *Chemist Engineer* pada bulan Mei – Juli 2025, dan PT Arwana Citramulia Tbk Plant 5 Divisi *Research and Development* pada bulan Agustus – November 2025. Segala kritik, saran, serta pertanyaan mengenai penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat disampaikan melalui email putucahyaa@gmail.com.