

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK PATI KULIT
KENTANG (*Solanum tuberosum*) DENGAN ASAM SITRAT
SEBAGAI AGEN PENGIKAT SILANG**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia**



**Diajukan oleh
RUDHOTUL MUHTASANA
NIM 2108036048**

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2025**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK PATI
KULIT KENTANG (*Solanum tuberosum*) DENGAN ASAM
SITRAT SEBAGAI AGEN PENGIKAT SILANG**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam Ilmu Kimia**

RUDHOTUL MUHTASANAH

NIM 2108036048

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Naskah tugas akhir berikut ini:

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Pati Kulit Kentang (*Solanum tuberosum*) dengan Asam Sitrat sebagai Agen Pengikat Silang**
Penulis : Rudhotul Muhtasanah
NIM : 2108036048
Jurusan : Kimia

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

Semarang, 30 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si.
NIP. 197407162009122001

Sekretaris



Nana Misrochah, S.Si., M.Pd.
NIP. 198608282019032009

Penguji Utama I



Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M.Sc.
NIP. 198504052011012015



Penguji Utama II



Kholidah, M.Sc.
NIP. 198508112019032008

Pembimbing



Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si.
NIP. 197407162009122001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rudhotul Muhtasanah

NIM : 2108036048

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**"SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK PATI KULIT
KENTANG (*Solanum tuberosum*) DENGAN ASAM SITRAT SEBAGAI
AGEN PENGIKAT SILANG"**

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

Semarang, 25 Juni 2025

Pembuat Pernyataan,



Rudhotul Muhtaasanah

NIM. 2108036048

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2025

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo

Di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

Dengan ini memberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **"SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK PATI KULIT KENTANG (*Solanum tuberosum*) DENGAN ASAM SITRAT SEBAGAI AGEN PENGIKAT SILANG"**

Penulis : Rudhotul Muhtasanah

NIM : 2108036048

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing,



Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si
NIP. 197407162009122001

ABSTRAK

Sumber bahan plastik yang berasal dari minyak bumi menyebabkannya sulit untuk terurai di alam meski telah tertimbun puluhan tahun. Hal tersebut menyebabkan permasalahan sampah plastik terus mengalami peningkatan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, telah banyak dilakukan riset terkait pembuatan bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat dan sorbitol terhadap karakteristik bioplastik pati kulit kentang (kulintang). Pembuatan bioplastik dilakukan dengan menambahkan asam sitrat sebanyak 5%, 10%, dan 15% (b/b pati), sedangkan sorbitol dengan variasi 0,5 mL dan 1 mL pada bioplastik pati kulintang. Bioplastik yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR, diuji sifat mekanik, daya serap air dan biodegradabilitasnya. Bioplastik pati kulintang memiliki kuat tarik yang tinggi yaitu sebesar 30,168 - 50,597 MPa. Penambahan asam sitrat menyebabkan kuat tarik bioplastik turun menjadi 1,033-14,828 MPa. Hasil spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat muncul gugus karbonil C=O pada bilangan gelombang sekitar 1714 cm^{-1} yang menunjukkan adanya reaksi esterifikasi pada bioplastik yang terikat silang. Peningkatan konsentrasi asam sitrat menyebabkan turunnya daya serap air dan meningkatkan kemampuan biodegradasi. Pada penambahan sorbitol, kuat tarik dan persen elongasi meningkat. Nilai optimum penambahan sorbitol pada penelitian ini adalah 0,5 mL dengan nilai kuat tarik 28,619 MPa dan persen elongasi 4,000% mengacu pada SNI 7818:2014. Peningkatan jumlah sorbitol menyebabkan tingkat daya serap air semakin tinggi dan kemampuan biodegradasi menurun.

Kata kunci: Kulit Kentang, Pati, Bioplastik, Asam Sitrat, Ikatan Silang, Sorbitol.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya serta pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Pati Kulit Kentang (*Solanum tuberosum*) dengan Asam Sitrat sebagai Agen Pengikat Silang”** ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang. tidak lupa shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, junjungan kita yang kelak dinantikan syafaatnya di hari akhir nanti.

Terselesaikannya skripsi ini tentu tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Nizar Ali, M. Ag., Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. H. Musahadi, M. Ag., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Ibu Dr. Mulyatun, M. Si., selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Walisongo Semarang.

4. Ibu Ana Mardliyah, M. Si., selaku dosen wali yang memberikan arahan dan motivasi selama masa perkuliahan.
5. Ibu Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta arahan dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Bapak/Ibu dosen serta seluruh staf di lingkungan Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama masa studi.
7. Kedua orang tua tercinta, alm. Bapak Ridlo Mujahid dan almh. Ibu Endang Martini yang doanya penulis yakini selalu menyertai langkah ini, meski kini raganya telah tiada.
8. Kakak saya, Rusdul Muttaqin yang senantiasa menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah. Terima kasih telah memberikan semangat, doa, serta dukungan moril maupun materil kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Seluruh keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, serta semangat yang tiada henti selama proses studi hingga penyusunan skripsi ini.
10. Ita Nofiatul Farida dan Novi syafa'atun. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan moril, dan semangat yang

senantiasa kalian berikan dalam proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Kehadiran kalian telah menjadi penguat dalam melewati setiap tantangan selama masa perkuliahan.

11. Defikha, Ninik, Hanik, Vika, Viki, Maula, Vivi, Putbin, Fifi, yang telah memberikan semangat, dukungan, dan keceriaan selama proses studi hingga penyusunan skripsi ini.
12. Mbak Nadaa Haniyyah, S. Si., yang telah bersedia memberikan penjelasan dan bantuan saat penulis mengalami kebingungan dalam penyusunan skripsi ini.
13. Kepada teman-teman seperjuangan kelas Kimia B angkatan 2021 yang telah menjadi bagian dari perjalanan ini. Terima kasih atas semangat, candaan, dan kebersamaan selama masa studi.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi tambahan wawasan di bidang ilmu kimia, khususnya dalam topik bioplastik.

Semarang, 25 Juni 2025

Penulis

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Rudhotul Muhtasanah', written in a cursive style.

Rudhotul Muhtasanah

TRANSLITER ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Meteri Agama dan Meteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I Nomor: 158/1987 dan Nomor: 054/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sanding [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	t
ب	B	ظ	z
ت	T	ع	'
ث	Ś	غ	Gh
ج	J	ف	F
ح	h	ق	Q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	z	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	ه	H
ش	Sy	ء	"
ص	ş	ي	Y
ض	ḍ		

Bacaan Madd:

a > = a panjang

i > = i panjang

u > = u panjang

Bacaan Diftong:

au = أُؤ

ai = أَيَّ

iy = إِي

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
NOTA DINAS.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
TRANSLITER ARAB-LATIN	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	9
C. Tujuan	9
D. Manfaat	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
A. Landasan Teori.....	11
1. Kulit Kentang.....	11
2. Pati.....	13
3. Sorbitol	15
4. Asam Sitrat.....	17
5. Ikatan Silang.....	18
6. Plastik <i>Biodegradable</i>	21
B. Karakterisasi Bioplastik.....	22
1. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	22
2. Sifat Mekanik.....	26
3. Daya Serap Air	29
4. Uji Biodegradasi.....	30
C. Kajian Pustaka.....	31
D. Hipotesis.....	36
BAB III METODE PENELITIAN.....	37
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	37

B. Alat dan Bahan.....	37
1. Alat	37
2. Bahan.....	37
C. Prosedur Kerja.....	38
1. Pembuatan Pati Kulit Kentang (Pati Kulintang).....	38
2. Pembuatan Bioplastik	39
3. Karakterisasi Bioplastik	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
A. Pembuatan Pati Kulit Kentang (Pati Kulintang) dan Karakterisasinya	45
B. Sintesis dan Karakteristik Bioplastik	49
1. Bioplastik Pati Kulintang.....	49
2. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat	55
3. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol	65
BAB V PENUTUP.....	72
A. Kesimpulan	72
B. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN.....	82
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	1046

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Kulit kentang	12
Gambar 2. 2	Struktur amilopektin	14
Gambar 2. 3	Struktur amilosa	14
Gambar 2. 4	Struktur sorbitol.....	16
Gambar 2. 5	Struktur asam sitrat	17
Gambar 2. 6	Reaksi ikatan silang pati dengan asam sitrat....	20
Gambar 2. 7	Instrumen FTIR ATR.....	25
Gambar 4. 1	Pati kulintang	46
Gambar 4. 2	Uji iod pati kulintang.....	47
Gambar 4. 3	Reaksi uji iodin	47
Gambar 4. 4	Spektrum FTIR pati kulintang.....	48
Gambar 4. 5	Bioplastik pati kulintang dengan variasi massa pati a) 1 g, b) 1,25 g, c) 2 g, d) 2,5 g, e) 3 g, f) 3,75 g.....	51
Gambar 4. 6	Spektra FTIR bioplastik pati kulintang	53
Gambar 4. 7	Bioplastik pati kulintang-asam sitrat dengan variasi konsentrasi asam sitrat a) 5%, b) 10%, c) 15%.....	56
Gambar 4. 8	Reaksi ikatan silang pati-asam sitrat	57
Gambar 4. 9	Spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat	58
Gambar 4. 10	Bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol dengan variasi sorbitol a) 0 mL, b) 0,5 mL, c) 1 mL.....	65
Gambar 4. 11	Interaksi antara pati-asam sitrat-sorbitol.....	65
Gambar 4. 12	Spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan kimia pada kulit kentang	13
Tabel 2. 2 Standar mutu bioplastik.....	22
Tabel 2.3 Serapan vibrasi IR bioplastik pati kulit kentang ...	25
Tabel 2. 4 Serapan vibrasi IR bioplastik pati sagu dengan asam sitrat sebagai <i>crosslinker</i>	26
Tabel 3. 1 Komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat.	40
Tabel 3. 2 Komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat.	41
Tabel 4. 1 Interpretasi data spektum FTIR pati kulintang....	47
Tabel 4. 2 Kuat tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang.....	50
Tabel 4. 3 Interpretasi data spektra FTIR bioplastik pati kulintang.....	54
Tabel 4. 4 Daya serap air bioplastik pati kulintang.....	54
Tabel 4. 5 Kuat tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat.....	60
Tabel 4. 6 Daya serap air bioplastik pati kulintang-asam sitrat	62
Tabel 4. 7 Hasil uji biodegradasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat.....	64
Tabel 4. 8 kuat Tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol.....	67
Tabel 4. 9 Daya serap air bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol.....	68
Tabel 4. 10 Hasil uji biodegradasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Pati Kulintang.....	82
Lampiran 2 Pembuatan Bioplastik	83
Lampiran 3 Karakterisasi Bioplastik.....	86
Lampiran 4 Perhitungan Rendemen Pati Kulintang.....	88
Lampiran 5 uji Daya Serap Air Bioplastik.....	89
Lampiran 6 Uji Biodegradabilitas Bioplastik.....	91
Lampiran 7 Interpretasi Data Spektra FTIR Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat.....	98
Lampiran 8 Interpretasi Data Spektra FTIR Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol.....	99
Lampiran 9 Dokumentasi	100
Lampiran 10 Spektrum FTIR Pati Kulintang	104
Lampiran 11 Spektrum FTIR Asam Sitrat.....	105
Lampiran 12 Spektrum FTIR Sorbitol	106
Lampiran 13 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-5%AS	107
Lampiran 14 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS.....	108
Lampiran 15 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-15%AS.....	109
Lampiran 16 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS-0,5S ..	110
Lampiran 17 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS-1S.....	111
Lampiran 18 Hasil Uji Kuat Tarik Bioplastik.....	112

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Plastik menjadi permasalahan yang serius di Indonesia. Sumber bahan plastik yang berasal dari minyak bumi menjadikan plastik sulit untuk terdegradasi meskipun telah tertimbun puluhan tahun. Hal tersebut menjadi pemicu tercemarnya lingkungan akibat penimbunan sampah plastik (Afif *et al.*, 2018). Produksi plastik selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya dan pada tahun 2015 mencapai 322 juta ton. Jumlah ini diperkirakan akan meningkat 100 juta kali lipat pada tahun 2050 mendatang. Selain itu, sampah yang ada di laut didominasi oleh sampah plastik yaitu sekitar 60-80% (Firmansyah *et al.*, 2021). Pencemaran yang diakibatkan oleh plastik tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga pada kesehatan manusia, seperti unit penyusun polivinil klorida (PVC) yang merupakan polimer dari rantai monomer vinil klorida yang dapat memicu timbulnya kanker (Angsad *et al.*, 2020).

Permasalahan sampah plastik merupakan permasalahan yang disebabkan oleh manusia itu sendiri. Hal ini dijelaskan dalam QS. Ar-Rum 30:41

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: "Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)." Dari Tafsir Ibnu Katsir, Ibnu Abbas, Ikrimah, Ad-Dahhak, As-Saddi serta yang lainnya menjelaskan maksud dari ayat tersebut yaitu kerusakan yang terjadi di darat maupun di laut, seperti kekeringan, kurangnya curah hujan, serta merebaknya adanya penyakit maupun wabah, ditimbulkan dari perbuatan maksiat yang sering dilakukan oleh umat manusia. Hal itu merupakan akibat atau hukuman atas perbuatan mereka di dunia, dengan harapan agar mereka sadar, bertaubat kepada Allah, dan meninggalkan perbuatan dosa, sehingga kondisi mereka membaik dan kehidupan mereka menjadi lebih teratur (Karulina, 2021).

Salah satu upaya dalam menangani tingginya jumlah sampah plastik dilakukan dengan mendaur ulang plastik yang telah digunakan. Meski begitu, daur ulang plastik juga tidak efektif dalam mengatasi permasalahan sampah plastik, karena memberikan dampak negatif bagi kesehatan serta perlunya biaya yang besar dalam

pengolahannya. Oleh karena itu, perlu adanya alternatif lain untuk membantu menekan jumlah sampah plastik yang beredar. Di era modern ini, telah banyak dilakukan riset dan terobosan baru terkait pembuatan plastik yang lebih ramah lingkungan dan mudah terdegradasi di alam yang dikenal dengan sebutan bioplastik. Pengembangan bioplastik untuk kemasan pangan juga mampu memberikan kualitas produk yang lebih aman, karena tersusun dari bahan alami yang tidak toksik sehingga kecil resiko kontaminasi pada makanan (Jabbar, 2017). Upaya tersebut diharapkan mampu mengatasi permasalahan sampah plastik dan menggantikan plastik konvensional yang beredar saat ini. Selain itu, pembuatan bioplastik dengan memanfaatkan limbah organik seperti limbah biji dan kulit tumbuhan dapat membantu mengurangi penumpukan limbah organik. Bahan dasar yang digunakan dalam pembuatan bioplastik bersumber dari senyawa-senyawa organik yang terkandung dalam tumbuhan, seperti pati, selulosa, protein serta lipid yang akan lebih mudah dan cepat didegradasi oleh mikroorganisme (Alim *et al.*, 2023).

Bioplastik dengan bahan dasar pati memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki karakteristik yang hampir sama dengan bahan plastik konvensional, mudah

terurai, dan merupakan bahan terbarukan. Pati dapat diperoleh dari biji-bijian dan umbi-umbian. Kentang termasuk ke dalam salah satu macam umbi umbian yang bisa dijadikan sumber pati. Umumnya, kentang hanya dimanfaatkan pada bagian dagingnya saja, sedangkan bagian kulit hanya akan menjadi limbah. Pada pengolahan kentang akan menghasilkan sekitar 15-40% limbah kulit kentang (Rahmawati *et al.*, 2023). Limbah kulit tersebut dimungkinkan masih mengandung pati yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar bioplastik. Limbah kulit kentang mengandung kadar pati sebanyak 8,65% (Genalda & Udjiana, 2021). Selain itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Jabbar (2017) diperoleh rendemen pati sebesar 12,25% dalam 1 kg kulit kentang. Meskipun kadar pati yang terkandung hanya sedikit, kulit kentang berpotensi digunakan sebagai bahan dasar bioplastik karena jumlahnya yang melimpah dan merupakan produk sampingan dari hasil pengolahan kentang yang biasanya hanya akan menjadi limbah, sehingga hal ini tidak akan merusak ketahanan pangan (Rahmawati *et al.*, 2023).

Pati merupakan biopolimer yang sangat berpotensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan bioplastik, karena dapat menghasilkan sifat film dengan

kuat tarik dan penghalang gas yang baik, serta pati dapat diperbarui, tersedia dalam kemurnian tinggi dengan biaya produksi yang rendah dan dapat terurai sepenuhnya di alam (Menzel *et al.*, 2013). Bioplastik berbahan dasar pati akan menghasilkan film yang kaku dan rapuh. Oleh karena itu, perlu adanya penambahan pemlastis (*plasticizer*) yang dapat membantu meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas bioplastik. Salah satu jenis pemlastis yang sering digunakan yaitu sorbitol. Hasil penelitian oleh Putra *et al.* (2017) menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol menghasilkan nilai kuat tarik dan elongasi yang lebih unggul dibandingkan gliserol. Penambahan pemlastis mampu mengurangi gaya antarmolekul dengan cara memperluas ruang kosong pada molekul dan melemahkan ikatan rantai polimer (Ayu *et al.*, 2023). Bioplastik yang terbuat dari pati dan pemlastis akan menyebabkan film bersifat hidrofilik. Bioplastik dengan sifat hidrofilik akan memiliki kemampuan penghalang kelembapan yang buruk dan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap air dibandingkan dengan bioplastik yang diproduksi dari polimer sintesis seperti polipropilena dan polietilena. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap kualitas daya simpan dari bioplastik.

Untuk memperbaiki sifat hidrofilik tersebut diperlukan modifikasi kimia, seperti pengikatan silang pati dengan menambahkan agen pengikat silang atau *crosslinking Agent* (Menzel *et al.*, 2013). Ikatan silang adalah proses menghubungkan dua atau lebih molekul secara kimia melalui ikatan kovalen. Metode ikatan silang merupakan metode modifikasi kimia yang sering digunakan karena mampu menghasilkan pati yang tahan terhadap suhu tinggi, tekanan mekanis, dan asam (Ahmad, 2017). Modifikasi kimia dengan metode ikatan silang melibatkan pengenalan gugus fungsi baru seperti karboksil, hidroksipropil, akrilamida, amina, atau yang lainnya ke dalam molekul pati tanpa mengubah distribusi ukuran atau morfologinya (Dhull *et al.*, 2023). Metode ini dilakukan dengan mencampurkan pati dengan senyawa bi- atau multifungsional yang bisa bereaksi dengan gugus -OH pada struktur amilopetin atau amilosa, sehingga satu molekul pati akan saling terhubung dengan molekul lainnya melalui ikatan silang (Hidayat, 2023). Senyawa yang digunakan sebagai agen pengikat silang yaitu senyawa yang memiliki dua atau lebih ujung reaktif yang dapat terhubung dengan gugus fungsi yang ada pada polimer, seperti amina primer, sulfhidril, ujung karboksilat dan lain sebagainya. Agen pengikat silang

kimia memiliki ujung yang reaktif seperti -COOH , -NH_2 , $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, dan -SH yang dapat terhubung dengan berbagai gugus fungsi secara kimia (Dudeja *et al.*, 2023). Contoh agen pengikat silang diantaranya yaitu glutaraldehida, asam borat, dan epiklorohidrin. Namun, beberapa agen pengikat silang tersebut bersifat toksik dan terbatas dalam aplikasi biomaterial (Ghanbarzadeh *et al.*, 2011). Asam sitrat merupakan salah satu agen pengikat silang yang aman digunakan untuk aplikasi biomaterial. Asam sitrat dipilih sebagai pengikat silang karena sifatnya yang biokompatibel, dapat larut dalam air, dan merupakan asam organik yang ringan (Awadhiya *et al.*, 2016).

Asam sitrat merupakan asam organik dengan tiga gugus karboksil dan satu gugus hidroksil. Gugus karboksil asam sitrat akan berinteraksi dengan gugus hidroksil pati membentuk ikatan yang kokoh serta mampu mengurangi gugus hidroksil bebas pada pati sehingga membuat ketahanan air pada bioplastik meningkat. Penambahan asam sitrat dengan konsentrasi 10% akan meningkatkan kuat tarik bioplastik, sedangkan konsentrasi $>10\%$ akan menurunkan kuat tariknya (Kawijia *et al.*, 2017).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Istiani *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa penambahan asam sitrat dapat menyebabkan nilai kuat tarik menurun

sebesar 47,9%, karena adanya hidrolisis ikatan glikosida pada pati oleh asam sitrat. Hasil yang berbeda ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Kawijia *et al.*, (2017) bahwa penambahan asam sitrat dapat meningkatkan kuat tarik pada konsenstrasi penambahan 10%. Penelitian yang dilakukan oleh Awadhiya *et al.*, (2016) juga menunjukkan bahwa asam sitrat sebagai pengikat silang pada bioplastik mampu meningkatkan kuat tarik hingga lebih dari dua kali lipat yaitu 25,1 MPa (bioplastik kontrol) menjadi 52,7 MPa (bioplastik terikat silang) dan mampu menurunkan daya serap air bioplastik. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Menzel *et al.*, (2013) bahwa asam sitrat yang ditambahkan pada lapisan film akan menghasilkan lapisan film yang memiliki sifat penghalang air yang ditingkatkan pada kelembaban yang relatif tinggi. Dari penelitian diatas pengaruh penambahan asam sitrat memiliki dua kemungkinan yaitu meningkatkan kuat tarik atau justru sebaliknya, menurunkan kuat tarik bioplastik. Penambahan asam sitrat dan sorbitol pada pembuatan bioplastik akan mempengaruhi kuat tarik dan persen elongasi dari film yang dihasilkan. Kombinasi kedua bahan tersebut juga mempengaruhi tingkat daya serap air dan biodegradasi dari bioplastik.

Berdasarkan latar belakang, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh penambahan asam sitrat dan sorbitol terhadap karakteristik bioplastik. Oleh karena itu, penelitian yang akan dilakukan yaitu **“Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Pati Kulit Kentang (*Solanum Tuberosum*) dengan Asam Sitrat sebagai Agen Pengikat Silang”**.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik bioplastik pati kulintang (kulit kentang)?
2. Bagaimana pengaruh asam sitrat terhadap karakteristik bioplastik pati kulintang-asam sitrat?
3. Bagaimana pengaruh sorbitol terhadap karakteristik bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol?

C. Tujuan

1. Untuk mengetahui karakteristik bioplastik pati kulintang (kulit kentang)
2. Untuk mengetahui pengaruh asam sitrat terhadap karakteristik bioplastik pati kulintang-asam sitrat
3. Untuk mengetahui pengaruh sorbitol terhadap karakteristik bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol

D. Manfaat

1. Memberikan inovasi terkait pemanfaatan kulit kentang sebagai bahan baku pembuatan bioplastik yang lebih ramah lingkungan.
2. Sebagai bahan masukan untuk pemerintah dalam menanggulangi permasalahan sampah plastik yang meningkat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Kulit Kentang

Kentang (*Solanum tuberosum L.*) ialah tanaman macam umbi umbian yang tergolong dalam jenis tanaman yang tidak berumur panjang. Kentang bersifat menjalar dan batangnya tidak berkayu. Umbi pada kentang bersumber dari cabang yang kemudian masuk ke dalam tanah. Cabang tersebut berfungsi untuk menyimpan karbohidrat yang menyebabkan pembengkakan dan dapat dimakan. Umbi mampu mengeluarkan tunas yang nantinya akan membentuk cabang baru. Kentang mengandung karbohidrat dalam jumlah yang tinggi, vitamin B, vitamin A, sumber mineral, antosianin, protein, asam amino esensial, elemen-elemen mikro, Magnesium dan lain-lain (Kunsah & Widyastuti, 2018).

Saat ini pemanfaatan umbi kentang semakin meningkat dan berperan penting terhadap perekonomian Indonesia. Meningkatnya penggunaan kentang untuk produksi beragam jenis bahan makanan, baik sebagai makanan ringan ataupun lauk sayuran dan pola konsumsi masyarakat Indonesia

yang berubah saat ini mempengaruhi peningkatan kebutuhan kentang (Yusdian *et al.*, 2022). Klasifikasi dari tanaman kentang yaitu sebagai berikut (Mustofa, 2019):

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisio	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisio	: <i>Angiospermae</i>
Clasis	: <i>Dycotiledone</i>
Ordo	: <i>Solanes</i>
Familia	: <i>Solanaceae</i>
Genus	: <i>Solanum</i>
Spesies	: <i>Solanum tuberosum</i> Linn



Gambar 2. 1 Kulit kentang
(Dokumentasi Pribadi)

Bagian lain dari kentang yang biasanya dimanfaatkan kandungannya yaitu kulit kentang. Gambar kulit kentang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kulit kentang sering dianggap sebagai limbah karena tidak bisa dikonsumsi secara langsung. Dalam bidang

material, kulit kentang dapat dijadikan sebagai bahan baku material plastik ramah lingkungan. Kulit kentang telah dimanfaatkan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Imoisili & Jen, (2023) sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik dengan tambahan gliserol. Kandungan kimia yang terdapat dalam kulit kentang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Kandungan kimia pada kulit kentang

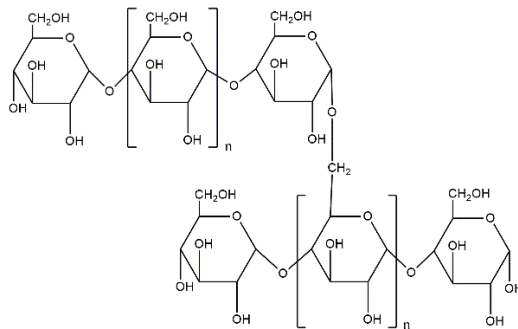
Kandungan Kimia	Kadar (%)
Pati	8,65%
Protein	21,87%
Gula dekstrosa	1,44%
Serat Kasar	20,69%
Ekstrak eter	2,55%

(Jabbar, 2017)

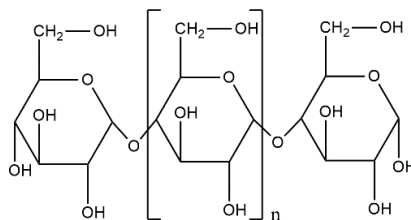
2. Pati

Pati ialah senyawa karbohidrat kompleks yang memiliki ikatan α -glikosidik. Pati tersusun dari serangkaian glukosa yang terdiri dari fraksi rantai bercabang (amilopektin) dan fraksi rantai lurus (amilosa), sehingga umumnya kandungan amilopektin dalam pati lebih tinggi dibandingkan amilosa (Noviansyah *et al.*, 2023). Amilosa adalah fraksi rantai lurus yang memiliki rantai panjang dari

unit α -D-glukosa yang secara bersama-sama terhubung melalui ikatan α 1,4 glikosida, sedangkan amilopektin terhubung melalui ikatan α -1,4 glikosida dan ikatan cabang α -1,6 glikosida sehingga memiliki fraksi rantai yang bercabang (Jabbar, 2017). Berat molekul antara amilopektin dan amilosa pada setiap sumber pati berbeda-beda. Jumlah amilopektin amilosa dalam pati berpengaruh pada sifat mekanik film bioplastik (Firmansyah et al., 2022). Struktur amilopektin dan amilosa ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan 2.3.



Gambar 2. 2 Struktur amilopektin



Gambar 2. 3 Struktur amilosa

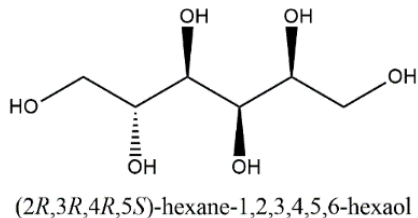
Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati menerapkan prinsip gelatinisasi. Pati yang dihasilkan memiliki kandungan air dan meninggalkan lapisan film dengan sifat yang kaku serta stabil (Angsad *et al.*, 2020). Pati ialah polisakarida yang disusun berdasarkan unit-unit glukosa yang saling terikat melalui ikatan glikosidik. Dalam bentuk murninya, pati tidak larut dalam air pada suhu ruang karena memiliki struktur kristalin berbentuk granula. Namun, pati dapat larut dalam larutan asam asetat dengan konsentrasi 1% hingga 2% (Karulina, 2021). Pati dapat diuji dengan menggunakan iodium. Reaksi pati dengan iodium akan menghasilkan warna biru terang yang disebabkan oleh ikatan koordinasi antara ion iodida dengan pati. Intensitas warna biru yang dihasilkan bergantung pada kandungan amilosa yang terdapat dalam pati (Jabbar, 2017).

3. Sorbitol

Sorbitol merupakan bahan tambahan yang berperan sebagai pemlastis dalam pembuatan bioplastik karena sifatnya yang ramah lingkungan, melimpah di alam dan tidak bersifat toksik serta membantu menghambat penguapan air pada produk (Angsad *et al.*, 2020). Sorbitol terbilang efektif untuk

dapat digunakan guna meningkatkan sifat plastik film karena memiliki bobot molekul yang rendah (Fatima *et al.*, 2023). Sama seperti gliserol, sorbitol ialah pemlastis yang sesuai untuk digunakan dalam pembuatan bioplastik berbasis pati. Sorbitol dapat mengurangi kekakuan bioplastik dan membuatnya lebih lentur.

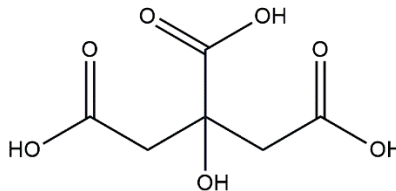
Kuat tarik yang dihasilkan dari penggunaan sorbitol sebagai pemlastis lebih baik dibandingkan dengan gliserol. Pada uji elongasi bioplastik, sorbitol juga lebih unggul dibandingkan gliserol (Karulina, 2021). Salah satu kelebihan sorbitol sebagai agen pemlastis adalah kemampuannya dalam meningkatkan kekuatan tarik pada material polimer. Hal ini disebabkan oleh ukuran molekul sorbitol yang relatif besar, sehingga sulit untuk menyusup ke dalam ikatan dan mengganggu hubungan antar molekul (Afidin, 2021). Struktur sorbitol yaitu seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Struktur sorbitol

4. Asam Sitrat

Asam sitrat ialah salah satu dari jenis asam organik yang sering dimanfaatkan pada bidang industri. Asam sitrat menjadi salah satu bahan yang seringkali ditambahkan pada makanan dan minuman, karena aman dan juga mudah didapatkan (Amalia *et al.*, 2020). Asam sitrat tersusun atas satu gugus hidroksil dan tiga gugus karboksil. Dalam buah jeruk dan nanas, asam sitrat menjadi asam organik utama yang dapat diekstrak (Ghanbarzadeh *et al.*, 2011). Struktur dari asam sitrat yaitu seperti pada Gambar 2.5.



2-hydroxypropane-1,2,3-tricarboxylic acid

Gambar 2. 5 Struktur asam sitrat

Asam sitrat sering dipilih sebagai agen pengikat silang karena sifatnya yang tidak beracun, biaya produksi yang rendah, dan reaktivitas yang tinggi terhadap polisakarida. Keunggulan asam sitrat dibandingkan dengan agen pengikat silang kimia lainnya yaitu menciptakan ikatan kovalen yang lebih

baik pada permukaan substrat, sehingga membentuk struktur yang kuat (Dudeja *et al.*, 2023). Selain itu, keuntungan dari asam sitrat adalah asam yang tidak bereaksi akan bertindak sebagai *plasticizer* (Azeredo *et al.*, 2015). Beberapa penelitian juga telah melaporkan bahwa sintesis film bioplastik menggunakan agen pengikat silang asam sitrat menghasilkan sifat fisik dan penghalang air yang baik (Ranote *et al.*, 2024).

Asam sitrat memiliki struktur multikarboksilat yang memungkinkan terjadinya reaksi esterifikasi antara gugus karboksil asam sitrat dengan gugus hidroksil polisakarida, sehingga membantu meningkatkan ketahanan film terhadap air. Jika dibandingkan dengan gugus hidroksil pada pemlastis, gugus karboksil pada asam sitrat nantinya membentuk ikatan hidrogen yang lebih kuat dengan gugus hidroksil campuran polimer polisakarida, sehingga meningkatkan interaksi antara molekul dan dengan demikian asam sitrat juga dapat bertindak sebagai pemlastis (Muralidharan *et al.*, 2020).

5. Ikatan Silang

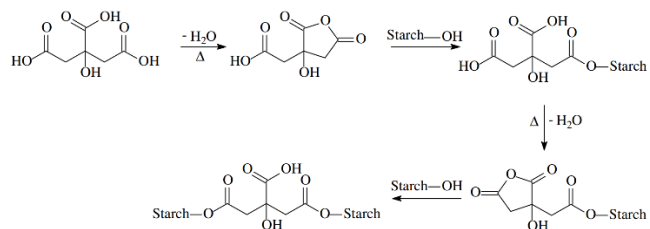
Ikatan silang merupakan salah satu proses kimia yang melibatkan pembentukan ikatan kovalen

antara rantai molekul pati yang berbeda, sehingga menghasilkan sifat pati yang lebih stabil dan kuat. Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas ikatan silang yaitu pH reaksi, jenis pati yang digunakan, konsentrasi dan fraksi agen ikatan silang, suhu reaksi, waktu reaksi, dan tingkat substitusi (Dhull *et al.*, 2023). Ikatan silang adalah proses pembentukan ikatan antar molekul yang berdekatan dengan bantuan zat kimia tertentu yang disebut agen pengikat silang. Proses ini sering digunakan sebagai salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanik dan kestabilan pati dalam air (Ahmad, 2017).

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat fisik dari bioplastik yaitu dengan modifikasi film yang dilakukan dengan menambahkan agen pengikat silang (*crosslinking agent*). Penambahan agen pengikat silang diharapkan mampu membentuk film dengan stabilitas termal, sifat mekanik, serta ketahanan air yang lebih baik (Istiani *et al.*, 2022). Beberapa contoh agen pengikat silang yaitu *sodium trimetaphosphate* (STMP), *phosphorous oxychloride*, *sodium tripolifosfat* (STPP), epiklorohidrin, formaldehid, asam borat, dan lain sebagainya. Kondisi reaksi ikatan silang bergantung pada agen pengikat

silang yang digunakan. Pati yang terikat silang akan lebih unggul dibandingkan pati murni karena memiliki struktur yang lebih kuat, sehingga menghasilkan sifat termal dan mekanik yang tinggi, lebih stabil dalam air, serta tahan terhadap pH rendah (Ahmad, 2017).

Reaksi terjadinya ikatan silang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Reaksi diawali dengan terbentuknya anhidrida siklik dari gugus karboksil asam yang selanjutnya bereaksi dengan hidroksil dari karbohidrat. Reaksi tersebut membentuk ikatan di-ester antarmolekul kovalen antara gugus hidroksil dari polisakarida dan dua gugus karboksil dari agen pengikat silang (Azeredo *et al.*, 2015).



Gambar 2. 6 Reaksi ikatan silang pati dengan asam sitrat
(Utomo *et al.*, 2020)

6. Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* juga dikenal dengan sebutan bioplastik. Bioplastik adalah jenis polimer yang mudah terdegradasi secara alami oleh pengaruh mikroorganisme ataupun perubahan cuaca. Bioplastik adalah jenis plastik yang memiliki fungsi serupa dengan plastik konvensional, namun lebih ramah lingkungan sebab mampu terurai dan terdegradasi oleh mikroorganisme ketika dibuang. Berbeda dengan plastik konvensional yang dibuat dari bahan tak terbarukan seperti minyak bumi, batu bara, gas alam, bioplastik dibuat dari bahan-bahan yang dapat diperbaharui, seperti senyawa yang berasal dari tumbuhan misalnya pati, selulosa serta dari hewan, seperti kolagen, kasein, protein, dan lipid (Saputro & Ovita, 2017).

Pembuatan bioplastik dapat menjadi alternatif bahan pembungkus atau kemasan yang lebih ramah lingkungan, karena plastik yang biasa digunakan dibuat dengan bahan minyak bumi, sehingga akan lebih sulit terurai. Bioplastik memiliki kekuatan mekanik yang cenderung lebih rendah dibandingkan plastik sintetis. Oleh karena itu, diperlukan penambahan bahan aditif seperti kitosan

sebagai pengisi (filler) dan gliserol sebagai pemlastis untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas bioplastik (Ermawati & Haryanto, 2020). Standar mutu bioplastik ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Standar mutu bioplastik

Parameter	Kualitas Standar
Kuat tarik	Minimal 13,7 Mpa (SNI 7818:2014)
Elongasi	<5% (SNI 7818:2014)
Daya serap air	Maksimal 21,5% pada 25°C (Sofia <i>et al.</i> , 2017)
Biodegradasi	90% selama maksimal 180 hari (SNI 7188-7:2022)

B. Karakterisasi Bioplastik

Untuk dapat mengetahui karakteristik pati dan bioplastik yang dihasilkan, dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Selain itu, untuk menguji kekuatan serta kualitas biplastik yang disintesis, dilakukan uji kuat tarik dan elongasi, uji daya serap air serta uji biodegradasi.

1. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) spektrofotometer adalah alat yang biasanya digunakan guna mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa, serta menganalisis

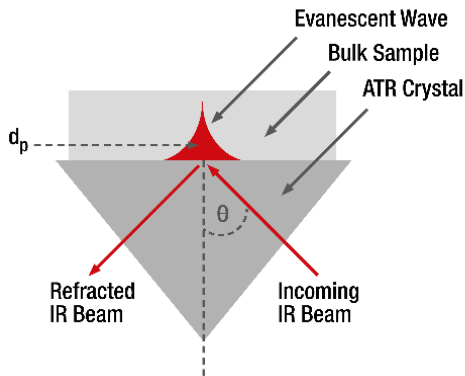
campuran dalam suatu sampel tanpa menyebabkan kerusakan pada sampel tersebut. FTIR dapat digunakan untuk mengetahui spektrum vibrasi suatu molekul (Sari dkk., 2018). FTIR digunakan untuk memperkirakan struktur suatu senyawa kimia. Teknik ini merupakan bagian dari spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk mendeteksi dan menganalisis spektrum yang dihasilkan. Spektroskopi inframerah berguna dalam mengidentifikasi senyawa organik yang memiliki spektrum kompleks, ditandai dengan banyaknya puncak yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi berdasarkan nilai bilangan gelombangnya (Sanjiwani *et al.*, 2020).

Prinsip kerja FTIR didasarkan pada interaksi antara energi dengan materi. Sinar inframerah diarahkan melalui celah menuju sampel, dengan celah tersebut berfungsi sebagai pengatur intensitas energi yang diteruskan ke sampel. Sebagian energi akan diserap oleh sampel, sementara sisanya ditransmisikan melalui permukaannya. Energi inframerah yang berhasil melewati sampel kemudian ditangkap oleh detektor, dan sinyal yang dihasilkan akan dikirim serta direkam oleh komputer dalam

bentuk spektrum berupa puncak-puncak (Sari *et al.*, 2018). Analisis gugus fungsi dalam suatu sampel yang dilakukan dengan mencocokkan pita serapan yang muncul pada spektrum inframerah dengan spektrum senyawa referensi yang sudah diketahui sebelumnya (Sari *et al.*, 2018).

Teknik spektrometri inframerah terbagi menjadi dua, yaitu transmisi dan reflektansi. Teknik transmisi digunakan untuk menguji sampel dalam bentuk cair, padat, dan gas dengan prosedur persiapan sampel yang tepat. Teknik reflektansi merupakan teknik yang dikembangkan untuk menguji berbagai jenis sampel dengan persiapan yang minimal. Metode ini disebut *Attenuated Total Reflectance* (ATR), yang memanfaatkan pantulan radiasi inframerah dari elemen optik yang diarahkan melalui bagian tengah prisma tipis. Instrumen FTIR ATR ditunjukkan pada Gambar 2.7. Sampel ditempatkan di atas permukaan prisma yang bersifat transparan terhadap inframerah dan memiliki indeks bias lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tersebut. Sampel pada ATR-FTIR tidak dicampur dengan KBr seperti pada transmisi-FTIR, sampel diletakkan secara langsung pada pelat sampel dari

atas jendela optik dengan kristal seng selenida (ZnSe), kemudian dijepit oleh *micrometer controlled* untuk mendapatkan kontak yang baik antara sampel dengan kristal (Sulistyani & Huda, 2018).



Gambar 2. 7 Instrumen FTIR ATR

Tabel 2.3 Serapan vibrasi IR bioplastik pati kulit kentang

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
-OH	3390,74
C-H	2936,75
C-O	1153,57

(Imoisili & Jen, 2023)

Tabel 2. 4 Serapan vibrasi IR bioplastik pati sagu dengan asam sitrat sebagai *crosslinker*

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
-OH	3000 - 3600
C=O ester	1700 - 1750
C-O	±1250

(Rachmah, 2012)

2. Sifat Mekanik

Sifat mekanik dari suatu bahan merupakan hal yang penting, karena hal tersebut juga menentukan kualitas dari bahan tersebut. Sifat mekanik suatu material dapat diuji melalui pengujian kuat tarik & elongasi. Kuat tarik ialah tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh material sebelum mengalami putus. Pada plastik biodegradable berbasis pati, nilai kuat tarik dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: konsentrasi pati, jumlah filler yang digunakan, kadar pemlastis, serta tingkat homogenitas dari plastik tersebut. Semakin banyak pati yang ditambahkan, maka kuat tarik yang dihasilkan semakin menurun. Semakin besar jumlah kitosan yang ditambahkan, maka kekuatan tarik bioplastik akan semakin tinggi. Namun, jika konsentrasi pemlastis yang digunakan masih berada di bawah kadar optimum, maka

kekuatan tarik yang dihasilkan akan rendah. Selain itu, semakin tinggi tingkat homogenitas suatu bioplastik, maka semakin besar pula nilai kuat tarik yang dihasilkan (Arini *et al.*, 2017).

Penambahan protein dapat meningkatkan kekuatan tarik suatu film, karena protein dapat membentuk ikatan panjang dengan pati, sehingga menghasilkan nilai kuat tarik yang lebih tinggi. Namun, jika suhu terlalu tinggi, pati dapat terkarbonisasi sehingga ikatannya mudah terurai dan rantai molekulnya menjadi lebih pendek. Sebaliknya, penggunaan suhu yang lebih rendah dengan waktu gelatinasi yang lebih lama cenderung membentuk rantai yang lebih panjang. Besar kuat tarik ditentukan menggunakan Persamaan 2.1.

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

Dengan σ adalah kuat tarik (N/m^2), F_{maks} adalah gaya tarik maksimum (N), dan A adalah luas Penampang (m^2) (Nuriyah *et al.*, 2018).

Elongasi adalah ukuran sejauh mana film dapat mengalami perubahan panjang maksimal sebelum akhirnya putus. Pengujian elongasi dilakukan dengan membandingkan pertambahan panjang material saat uji tarik dengan panjang

awalnya (Arini *et al.*, 2017). Penambahan pemlastis dapat meningkatkan nilai elongasi bioplastik, karena pemlastis memiliki fungsi untuk mengurangi gaya tarik antar molekul dalam rantai polimer, sehingga mampu meningkatkan fleksibilitas bioplastik. Selain itu, pemlastis juga berperan dalam melemahkan ikatan antar molekul seperti amilosa, amilopektin, dan pati, termasuk ikatan hidrogen dalam struktur molekul pati. Nilai elongasi pada material polimer sangat bergantung pada tingkat mobilitas rantai polimernya. Besar elongasi ditentukan menggunakan Persamaan 2.2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan ε adalah elongasi (%) dan ΔL adalah pertambahan panjang ($L - L_0$) (Nuriyah *et al.*, 2018).

Modulus young merupakan rasio antara tegangan tarik dan regangan tarik pada suatu material. Nilai *modulus young* menggambarkan elastisitas dari sampel yang diuji (Putra & Thamrin, 2022). *Modulus young* menunjukkan kekakuan dari suatu material, semakin tinggi *modulus young* maka semakin kaku material tersebut. *Modulus young* dari sampel bioplastik dipengaruhi oleh suhu dan waktu gelatinisasi. Semakin tinggi suhu dan waktu saat

proses gelatinisasi, maka semakin meningkat nilai *modulus young* dari sampel bioplastik (Pujawati et al., 2021). *Modulus young* berbanding lurus dengan kuat tarik dan berbanding terbalik dengan persen elongasi sampel (Ayu et al., 2023). Besar *modulus young* ditentukan menggunakan Persamaan 2.3.

$$\text{Modulus Young} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (2.3)$$

Dengan σ adalah kuat tarik (Mpa) dan ε adalah persen elongasi (%) (Nurhabibah & Kusumaningrum, 2021).

3. Daya Serap Air

Pengujian daya serap dilakukan dengan mengukur tingkat ikatan polimer atau massa polimer setelah mengalami pembengkakan secara sistematis, guna memastikan keberadaan ikatan dalam struktur polimer (Saputra & Supriyo, 2020). Pengujian daya serap air dilakukan supaya dapat mengetahui seberapa besar kemampuan sampel menyerap air, sehingga dapat dinilai sejauh mana ketahanan sampel terhadap air. Bioplastik yang menunjukkan nilai serapan air yang rendah dianggap memiliki kualitas yang baik. Artinya, semakin kecil nilai daya serap air suatu bioplastik, maka semakin tinggi ketahanannya terhadap air (Masahid et al., 2023). Sebaliknya, jika bioplastik memiliki daya serap air yang tinggi, maka

kualitasnya cenderung menurun karena memengaruhi ketahanannya selama penyimpanan. Pengujian daya serap air penting dilakukan untuk mengevaluasi apakah sifat bioplastik yang dihasilkan sudah mendekati karakteristik plastik konvensional, mengingat masyarakat cenderung memilih plastik yang memiliki ketahanan tinggi terhadap air (Ahmad, 2017).

4. Uji Biodegradasi

Untuk mengetahui apakah produk bioplastik yang dihasilkan dapat terdegradasi dengan baik pada lingkungan maka perlu dilakukan uji biodegradasi. Pengujian biodegradasi dilakukan dengan cara menanam sampel bioplastik ke dalam campuran tanah dan kompos, di mana proses pengomposan mempercepat penguraian bioplastik. Salah satu metode kuantitatif sederhana untuk mengevaluasi tingkat biodegradasi polimer adalah dengan mengukur penurunan massa bahan polimer. Pengukuran ini dilakukan dengan membandingkan massa polimer sebelum juga sesudah proses biodegradasi dalam rentang waktu tertentu (Saputra & Supriyo, 2020).

Biodegradasi adalah proses penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana seperti air dan karbon dioksida, yang berlangsung dengan bantuan aktivitas mikroorganisme. Beberapa jenis mikroorganisme yang berperan dalam penguraian limbah plastik antara lain bakteri *Pseudomonas sp.*, *Streptomyces sp.*, *Staphylococcus sp.*, dan *Bacillus sp.* Selain menghasilkan air dan karbon dioksida, proses degradasi polimer juga dapat menghasilkan senyawa organik lain seperti asam organik dan aldehida yang bersifat ramah lingkungan. Pada umumnya proses degradasi disebabkan oleh mikroorganisme yang memanfaatkan senyawa dalam bioplastik sebagai nutrisi pertumbuhannya. Beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan proses degradasi yaitu jenis polimer, ketebalan polimer, kelembaban, jenis mikroorganisme, temperatur, dan pH (Karulina, 2021).

C. Kajian Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Dudeja *et al.* (2023) ditunjukkan bahwa asam sitrat telah dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai macam biopolimer, seperti film, bioplastik, membran, komposit, hidrogel, dan lain-lain. Pada penelitian ini dinyatakan bahwa asam sitrat

mampu meningkatkan sifat fisik dan fungsional bahan polimer yang berbasis polisakarida, karena ikatan silang yang terjadi antara gugus karboksil dari asam sitrat dengan hidroksil dari biopolimer akan membentuk ikatan kovalen yang kuat.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Imoisili & Jen (2023) diperoleh hasil bahwa pati kulit kentang merupakan alternatif potensial untuk polimer konvensional yang tersedia saat ini. Bioplastik yang dihasilkan memiliki sifat film yang sangat hidrofilik karena struktur pati dan gliserol bersifat higroskopis. Peningkatan volume gliserol dari 1,5 mL menjadi 2,5 mL dapat meningkatkan kuat tarik dari $0,3 \pm 0,05$ MPa hingga $0,56 \pm 0,05$ MPa dan kuat tarik menurun pada penambahan 3,5 mL. Namun, mengalami peningkatan persen elongasi dari $2,2 \pm 0,05\%$ menjadi $2,8 \pm 0,05\%$ seiring dengan bertambahnya volume gliserol hingga pada penambahan 3,5 mL. Kelemahan dari penelitian ini yaitu tidak ada penambahan bahan yang membantu mengurangi sifat hidrofilik dari bioplastik.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati *et al.* (2023) diperoleh sampel bioplastik dengan penambahan asam asetat dan CMC memiliki rata-rata nilai kuat tarik sebesar $15,72 \text{ N/mm}^2$, perpanjangan putus $14,29\%$,

ketebalan 146,17 μm , dan ketahanan air 146,17% - 365%. Sampel bioplastik tanpa penambahan asam asetat dan CMC memiliki rata-rata nilai kuat tarik 10,76 N/mm², perpanjangan putus 4,26%, ketebalan 133 μm dan ketahanan air 24%. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa asam asetat mampu membantu meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Hal ini karena asam organik seperti asam asetat dan asam sitrat yang ditambahkan pada biopolimer akan memperbaiki struktur pati dan mengecilkan celah pada lapisan polimer.

Penelitian yang dilakukan oleh Desramadhani & Kusuma (2023) ditunjukkan bahwa sorbitol memberikan pengaruh pada sifat fisik dan juga mekanik pada bioplastik. Penambahan sorbitol sebanyak 1,5% pada bioplastik pati kentang dan pati talas menghasilkan kuat tarik sebesar 3,77 MPa dan 2,53 MPa, persen elongasi 19,96% dan 8,53%, serta nilai daya serap air 25,10% dan 33,53%. Pada penelitian ini nilai daya serap air yang dimiliki bioplastik belum memenuhi standar bioplastik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Krisnadi *et al.* (2019) diperoleh hasil bahwa penggunaan jenis pemlastis yang berbeda akan mempengaruhi

karakteristik dari bioplastik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan dari uji kuat tarik, elongasi, uji *swelling* serta degradasi diperoleh hasil terbaik pada penggunaan pemlastis sorbitol dengan kualitas bioplastik yang dihasilkan memiliki kuat tarik 64,27 MPa, elongasi 3,33%, *swelling* 30,77% dan degradasi 63,64%. Pada penelitian ini menunjukkan bioplastik yang dihasilkan memiliki permukaan yang kurang rata dan berongga.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kawijia *et al.* (2017) diketahui penambahan asam sitrat sebanyak 10% akan menyebabkan kuat tarik meningkat, sedangkan pada konsentrasi 20% dan 30% akan menurunkan kuat tarik dari film. Hal ini karena asam sitrat sebagai agen pengikat silang akan meningkatkan keterikatan antar molekul polimer sehingga memperkuat nilai kuat tarik film. Namun, pada konsentrasi tertentu, penambahan asam sitrat justru dapat menurunkan kuat tarik karena sisa asam sitrat yang berlebihan dapat melemahkan interaksi antar molekul pati dan bertindak sebagai pemlastis.

Penelitian yang dilakukan oleh Azeredo *et al.* (2015) ditunjukkan ikatan ester yang terbentuk antara asam sitrat dan polisakarida menghasilkan struktur yang lebih padat. Ikatan silang yang menghubungkan

molekul polisakarida memberikan interaksi antarmolekul yang lebih baik, sehingga menurunkan tingkat penyerapan air. Pada penelitian ini, asam sitrat bertindak sebagai agen pengikat silang dan juga sebagai *plasticizer*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Awadhiya *et al.* (2016) ditunjukkan bahwa ikatan silang pada bioplastik meningkatkan kuat tarik hingga lebih dari dua kali lipat yaitu 25,1 MPa (bioplastik kontrol) menjadi 52,7 MPa (bioplastik terikat silang). Ikatan silang juga menurunkan daya serap air bioplastik. Hal ini karena kebebasan bergerak rantai biopolimer yang terikat silang akan mengalami penurunan dan jumlah gugus hidroksil bebas juga akan berkurang, sehingga mengurangi jumlah air yang diserap saat direndam dengan air.

Berdasarkan penelitian terdahulu, kulit kentang berpotensi sebagai bahan baku pembuatan bioplastik, namun belum ada yang mengkombinasikan pati kulit kentang dengan asam sitrat sebagai agen pengikat silang dan sorbitol sebagai pemlastis. Oleh karena itu, dilakukan penelitian terkait pengaruh asam sitrat dan sorbitol terhadap karakteristik bioplastik pati kulit kentang.

D. Hipotesis

Jika asam sitrat memiliki kemampuan sebagai agen pengikat silang pada pati dan sorbitol memiliki kemampuan sebagai pemlastis, maka pati yang ditambahkan asam sitrat dan sorbitol akan menjadi bioplastik yang memiliki kuat tarik, persen elongasi, daya serap air, dan sifat biodegradabilitas yang berbeda dengan bioplastik dari pati saja. Hal ini terjadi karena ikatan silang membentuk ikatan kovalen antara gugus karboksil pada asam sitrat dengan gugus hidroksil pada pati yang menyebabkan sifat mekanik bioplastik dan daya serap air berubah.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan November tahun 2024 hingga Mei tahun 2025 di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang dan karakterisasi hasil penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Walisongo Semarang serta Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Perlitan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas beaker, tabung reaksi, magnetik stirer DLAB MS7-H550-S, termometer, neraca analitik, pipet tetes, gelas ukur, kaca arloji, lumpang dan alu, spatula, blender, ayakan ukuran 100 mesh, cetakan, wadah untuk uji biodegradasi. Instrumen yang digunakan yaitu FTIR Bruker ALPHA II Compact dan *Universal Testing machine* (CORES-DU_R-7.8 LHU).

2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan pada penelitian ini yaitu kulit kentang, sorbitol (RZBC), akuades, asam

sitrat ($C_6H_8O_7$) teknis (RZBC), larutan iodine (I_2) p.a (Merck), kain saring, kertas saring, tanah kompos.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan Pati Kulit Kentang (Pati Kulintang)

Pembuatan pati kulit kentang dilakukan berdasarkan prosedur yang dilakukan oleh Nurlaila & Purnomo (2020). Kulit kentang yang akan digunakan dicuci terlebih dahulu. Selanjutnya diblender dengan tambahan akuades 2:1 (b:v) hingga menjadi bubur. Bubur kulit kentang disaring dan diambil filtratnya. Filtrat tersebut diendapkan selama 24 jam. Endapan pati yang terbentuk dipisahkan dari filtratnya dan direndam kembali dengan akuades selama 24 jam. Kemudian disaring dan dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $50^{\circ}C$ selama ± 24 jam. Ditimbang berat dan dihitung persen rendemen pati yang dihasilkan. Pati kering biasanya akan menggumpal, sehingga perlu ditumbuk hingga halus dan diayak dengan ayakan 100 mesh. Selanjutnya pati diletakkan dalam wadah kering dan kedap udara. Pati yang dihasilkan kemudian diuji secara kualitatif menggunakan larutan iodium dan dikarakterisasi menggunakan FTIR.

2. Pembuatan Bioplastik

a. Bioplastik Pati Kulit Kentang (Pati Kulintang)

Proses pembuatan bioplastik mengikuti prosedur penelitian yang dilakukan oleh Jabbar (2017). Bioplastik kulit kentang dibuat dengan variasi massa pati 1 g, 1,25 g, 2 g, 2,5 g, 3 g, dan 3,75 g untuk mengetahui massa pati optimal. Masing-masing variasi pati ditambahkan akuades hingga volume 50 mL. Kemudian diaduk menggunakan magnetik stirer selama 25 menit pada suhu 65-75°C hingga homogen. Dituang campuran ke dalam cetakan dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°. Bioplastik yang terbentuk dilepas dari cetakan. Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, diuji sifat mekanik, dan daya serap air.

b. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat

Proses pembuatan bioplastik pati kulintang asam sitrat dilakukan dengan variasi asam sitrat 5%, 10%, dan 15% (b/b) dari berat pati yang ditambahkan. Komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Bioplastik	Pati (g)	% Asam Sitrat (b/b)
3P-5%AS	3	5
3P-10%AS	3	10
3P-15%AS	3	15

Keterangan :

P : Pati

AS : Asam Sitrat

Campuran ditambahkan akuades hingga volume 50 mL dan diaduk menggunakan magnetik stirer selama 30 menit pada suhu 65-75 °C hingga homogen. Dituang campuran ke dalam cetakan dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°C . Bioplastik yang terbentuk dilepas dari cetakan. Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, diuji sifat mekanik, daya serap air dan sifat biodegradabilitas.

c. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol

Proses pembuatan bioplastik dilakukan dengan variasi konsentrasi asam sitrat yang digunakan yaitu 0,5 mL dan 1 mL. Komposisi

bioplastik pati kulintang-asam sitrat ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Bioplastik	Pati (g)	% Asam Sitrat (b/b)	Sorbitol (mL)
3P-10%AS-0,5S	3	10	0,5
3P-10%AS-1S	3	10	1

Keterangan :

P : Pati

AS : Asam Sitrat

S : Sorbitol

Campuran ditambahkan akuades hingga volume 50 mL dan diaduk menggunakan magnetik stirer selama 30 menit pada suhu 65-75 °C hingga homogen. Dituang campuran ke dalam cetakan dan dikeringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu 60°C . Bioplastik yang terbentuk dilepas dari cetakan. Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, diuji sifat mekanik, daya serap air dan sifat biodegradabilitas.

3. Karakterisasi Bioplastik

a. Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR

Instrumen FTIR digunakan untuk menganalisis gugus fungsi dari pati kulintang, bioplastik pati kulintang, bioplastik pati kulintang-asam sitrat, dan bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol. Informasi gugus fungsi diperoleh berdasarkan data serapan yang dihasilkan. Metode FTIR yang digunakan yaitu metode ATR.

b. Uji Daya Serap Air (%) Bioplastik

Uji daya serap air dilakukan pada sampel bioplastik pati kulintang, bioplastik pati kulintang-asam sitrat dan bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol secara triplo. Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1x1 cm. Ditimbang berat awal sampel kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia yang berisi 30 mL akuades selama 10 detik. Selanjutnya sampel diangkat, dikeringkan menggunakan tisu dan ditimbang berat akhir untuk memperoleh persentase air yang diserap (Afidin, 2021). Persentase daya serap

sampel bioplastik dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$DSA = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Dengan *DSA* adalah daya serap air, w_1 adalah berat awal sampel dan w_2 adalah berat akhir sampel (Noviansyah *et al.*, 2023).

c. Uji Sifat Mekanik

Uji elongasi dan kuat tarik dilakukan pada sampel bioplastik pati kulintang, bioplastik pati kulintang-asam sitrat, dan bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol. Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1x5 cm. Elongasi dihitung dengan cara menghitung perubahan panjang sampel sebelum akhirnya terputus. Kemudian dilakukan perhitungan elongasi. Uji kuat tarik dilakukan dengan menarik sampel dari dua arah sehingga panjangnya bertambah dan diameternya berkurang. Dicatat pertambahan panjang dan besarnya beban yang digunakan selama pengujian. Kemudian dilakukan perhitungan kuat tarik (Karulina, 2021).

d. Uji Biodegradabilitas

Uji biodegradabilitas dilakukan pada sampel bioplastik pati kulintang-asam sitrat dan bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol secara triplo. Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1,5x1,5 cm. Ditimbang berat awal sampel kemudian dipendam dalam tanah kompos. Pengamatan terhadap pengurangan berat sampel dilakukan dalam rentang 24 jam sekali hingga sampel terdegradasi sempurna. Ditimbang berat akhir sampel untuk memperoleh persen biodegradasi. Persen biodegradasi sampel bioplastik dapat dihitung dengan Persamaan 3.2.

$$Weightloss = \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \quad (3.2)$$

Dengan *Weightloss* adalah pengurangan berat sampel bioplastik, w_0 adalah berat awal sampel dan w_1 adalah berat akhir sampel (Noviansyah *et al.*, 2023).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian dan pembahasan terkait sintesis dan karakterisasi bioplastik pati kulit kentang (*solanum tuberosum*) dengan asam sitrat sebagai agen pengikat silang.

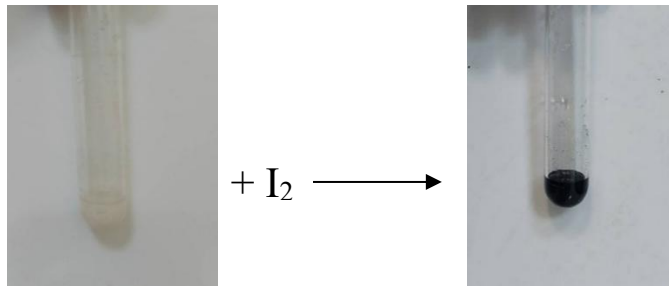
A. Pembuatan Pati Kulit Kentang (Pati Kulintang) dan Karakterisasinya

Pembuatan pati kulintang dilakukan dengan menghaluskan kulit kentang yang telah dicuci bersih. Kemudian disaring menggunakan kain dan diendapkan filtratnya selama 12 jam. Endapan yang terbentuk dipisahkan dari filtratnya dan direndam kembali menggunakan akuades selama 12 jam. Tujuan dari perendaman ini yaitu untuk mencuci pati, karena pati kulit kentang akan cenderung berwarna coklat. Selanjutnya endapan disaring dan dikeringkan didalam oven. Pati yang telah kering dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Pati yang dihasilkan berwarna putih sedikit kecoklatan dan memiliki rendemen 0,78% dari 6 kg kulit kentang. Hasil pati kulintang yang disintesis ditunjukkan pada Gambar 4.1.

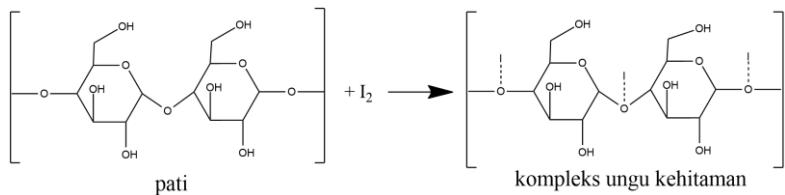


Gambar 4. 1 Pati kulintang

Pati kulintang selanjutnya diuji kualitatif menggunakan larutan iod dan dikarakterisasi menggunakan FTIR. Hasil uji iod menunjukkan warna ungu kehitaman yang menunjukkan bahwa hasil uji iod positif. Reaksi tersebut terjadi karena struktur rantai heliks yang ada dalam pati memungkinkan molekul iodin (I_2) masuk dan membentuk kompleks iodin-amilosa. Reaksi uji iodin ditunjukkan pada Gambar 4.3. Kompleks iod-amilosa menyebabkan adanya perubahan warna menjadi ungu kehitaman yang merupakan indikasi adanya pati. Pada reaksi iod-amilopektin akan menghasilkan warna merah kecoklatan atau coklat pucat. Uji iod pada pati akan didominasi oleh reaksi antara iod dan amilosa, karena pada amilopektin tidak membentuk rantai heliks panjang yang stabil, sehingga interaksi iod dan amilopektin terbatas (Ai & Jane, 2017). Gambar hasil uji iod pati kulintang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Uji iod pati kulintang

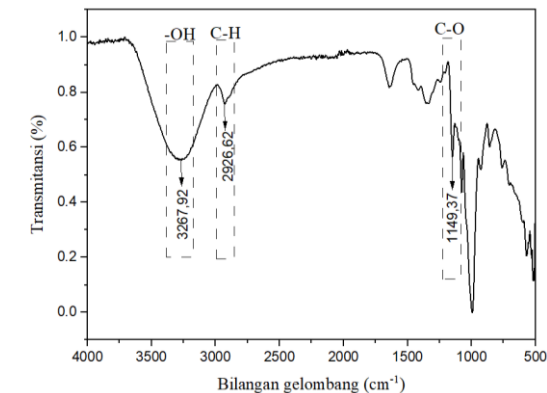


Gambar 4. 3 Reaksi uji iodin

Selain uji iodin, pati yang dihasilkan juga dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada pati. Spektrum FTIR pati kulit kentang yang disintesis ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Tabel 4. 1 Interpretasi data spektrum FTIR pati kulintang

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
-OH	3267,92
C-H	2926,62
C-O	1149,37



Gambar 4. 4 Spektrum FTIR pati kulintang

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa pati kulintang memiliki gugus fungsi -OH yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $3267,92 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan ini sesuai dengan dengan penelitian Combrzyński *et al.* (2021) yang menunjukkan adanya serapan gugus fungsi -OH pada bilangan gelombang $3100\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$. Muncul puncak pada bilangan gelombang $2926,62 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak serapan gugus C-H. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sofia *et al.* (2017) yang menunjukkan vibrasi C-H alkana yang dimiliki pati terjadi pada bilangan gelombang $2924,50 \text{ cm}^{-1}$. Terdapat puncak serapan gugus C-O pada bilangan gelombang $1149,37 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $1000\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya peregangan ikatan C-O (Warren *et al.*, 2016).

B. Sintesis dan Karakteristik Bioplastik

1. Bioplastik Pati Kulintang

Bioplastik pati kulintang dibuat dengan variasi massa pati 1 g, 1,25 g, 2 g, 2,5 g, 3 g, dan 3,75 g. Tujuan dari variasi ini yaitu untuk menentukan massa optimal pati untuk tahap selanjutnya. Secara fisik seiring bertambahnya massa pati, bioplastik yang dihasilkan semakin tebal dan warnanya semakin gelap. Gambar bioplastik pati kulintang ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Bioplastik pati kulintang menghasilkan bioplastik yang kuat, namun memiliki persen elongasi yang rendah. Kuat tarik yang dimiliki bioplastik pada penelitian ini berada pada rentang 30,168 - 50,597 MPa. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian serupa yang dilakukan oleh Imoisili & Jen (2023) yaitu 0,89 MPa dan Jabbar (2017) yaitu 3,0097 MPa. Hal tersebut dipengaruhi oleh kemurnian dan ukuran granul pati serta metode pembuatan bioplastik. Pati dengan kemurnian yang tinggi akan membentuk matriks yang lebih homogen. Ukuran granul pati yang seragam akan membentuk matriks yang lebih padat dan kuat. Metode pembuatan bioplastik yang

menggunakan suhu dan waktu yang tepat juga akan membantu mengoptimalkan proses gelatinisasi, sehingga menghasilkan matriks polimer yang homogen. Pada pati kulit kentang, suhu dan waktu gelatinisasi dimulai pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 3-5 menit (Mileti *et al.*, 2024). Nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik pati kulintang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Kuat tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang

Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	Persen Elongasi (%)	Modulus Young (Mpa)
A	30,168	3,000	10,056
B	39,623	3,833	10,337
C	50,597	5,000	10,119
D	47,591	5,833	8,833
E	46,267	5,500	8,412
F	43,146	4,667	9,244

Keterangan:

A : Bioplastik pati 1 g

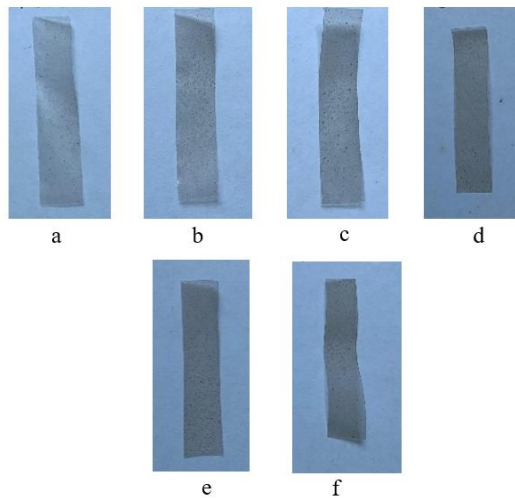
B : Bioplastik pati 1,25 g

C : Bioplastik pati 2 g

D : Bioplastik pati 2,5 g

E : Bioplastik pati 3 g

F : Bioplastik pati 3,75 g



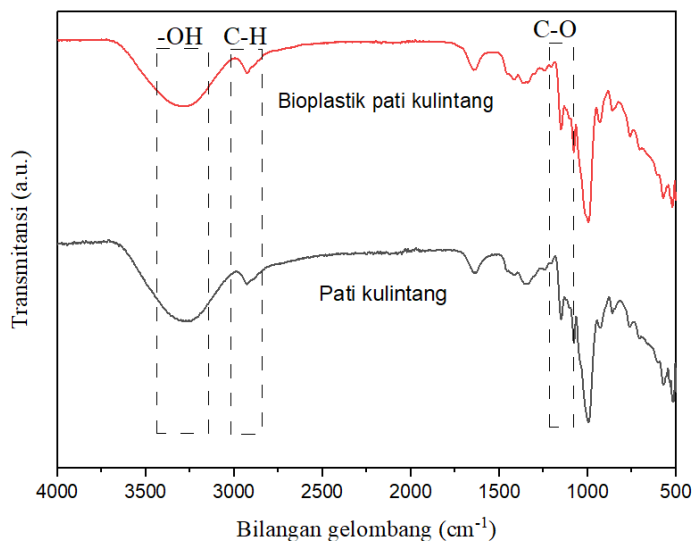
Gambar 4. 5 Bioplastik pati kulintang dengan variasi massa pati a) 1 g, b) 1,25 g, c) 2 g, d) 2,5 g, e) 3 g, f) 3,75 g

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa kuat tarik meningkat seiring bertambahnya massa pati, namun pada massa yang semakin tinggi kuat tarik menurun. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra & Thamrin (2022) yang menyatakan penambahan massa pati yang semakin tinggi akan menghasilkan kuat tarik yang semakin rendah. Hal tersebut disebabkan karena massa pati yang ditambahkan berlebihan akan membentuk film yang cenderung padat dan kaku. Meningkatnya jumlah massa pati akan meningkatkan jumlah gugus hidroksil yang tersedia untuk membentuk ikatan

hidrogen antarmolekul yang sangat kuat baik dalam satu rantai pati (intramolekuler) maupun antar rantai pati yang berdekatan (intermolekuler). Ini akan memperkuat jaringan ikatan hidrogen yang ada, sehingga menyebabkan material menjadi jauh lebih kaku. Ketika bioplastik diberikan tegangan tarik, retakan akan muncul menyebar dengan cepat melalui matriks yang kaku tanpa ada kemampuan rantai polimer untuk bergerak dan meredam tegangan. Akibatnya, bioplastik terputus pada beban tarik yang relatif rendah.

Berdasarkan Tabel 4.2 persen elongasi meningkat seiring bertambahnya massa pati, namun pada massa 3 g persen elongasi menurun. Banyaknya pati menyebabkan ikatan hidrogen antar pati menjadi lebih dominan. Ikatan-ikatan kuat tersebut tidak mampu bergeser ataupun meregang secara signifikan hingga akhirnya terputus pada regangan yang lebih rendah. Penambahan jumlah pati tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap persen elongasi bioplastik seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Putra & Thamrin (2022). Nilai dari *modulus young* mempengaruhi kekakuan dari sampel bioplastik. Semakin besar nilai *modulus young*, maka

semakin kaku bioplastik. Berdasarkan Tabel 4.2 *modulus young* terbesar dimiliki sampel bioplastik dengan massa pati 1,25 g. Sedangkan *modulus young* terkecil dimiliki sampel bioplastik dengan massa 3 g. Hal ini menunjukkan sampel yang paling kaku adalah sampel bioplastik massa 1,25 g.



Gambar 4. 6 Spektra FTIR bioplastik pati kulintang

Pada Tabel 4.3 dapat dilihat data spektra FTIR pati kulintang dan bioplastik pati kulintang. Bioplastik pati kulintang memiliki gugus fungsi -OH yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $3100\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ (Combrzyński *et al.*, 2021). Terdapat vibrasi ulur C-H pada puncak

serapan sekitar 2900 cm^{-1} (Warren *et al.*, 2016). Puncak serapan $1000\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya peregangan ikatan C-O (Warren *et al.*, 2016).

Tabel 4. 3 Interpretasi data spektra FTIR bioplastik pati kulintang

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
	Pati Kulintang	Bioplastik Pati Kulintang
-OH	3267,92	3278,55
C-H	2926,62	2926,32
C-O	1149,37	1149,62

Tabel 4. 4 Daya serap air bioplastik pati kulintang

Bioplastik	Daya serap air (%)	Standar
A	68,11	
B	38,00	maksimal
C	33,33	21,5% pada
D	22,43	suhu 25°C
E	19,62	(Sofia <i>et al.</i> , 2017)
F	13,92	

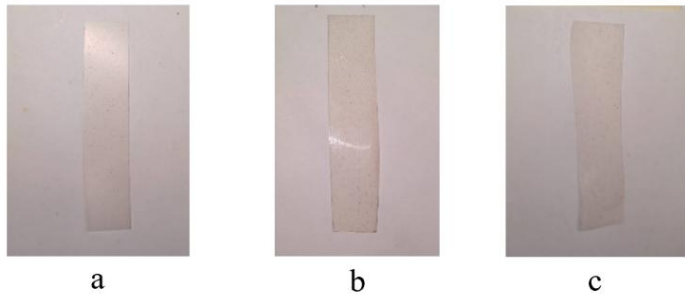
Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa daya serap air menurun seiring bertambahnya massa pati. Hal ini juga menunjukkan semakin tinggi massa pati semakin rendah kemampuan bioplastik dalam mengikat ataupun menyerap air. Penurunan daya serap air terjadi karena peningkatan konsentrasi pati

dapat menyebabkan kepadatan struktur yang lebih tinggi pada bioplastik dan mengurangi ruang antar molekul yang membantu menghambat masuknya air. Akibatnya, meskipun jumlah total gugus hidroksil meningkat, aksesibilitasnya terhadap molekul air menurun, sehingga daya serap air menurun (Singan & Chiang, 2017).

Berdasarkan variasi massa pati yang digunakan pada bioplastik pati kulintang, massa 3 g dipilih sebagai massa optimal, karena memiliki nilai *modulus young* paling rendah. Semakin kecil nilai *modulus young* menunjukkan semakin tidak kaku sampel bioplastik. Oleh karena itu, massa optimal yang digunakan yaitu sebanyak 3 g pati.

2. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat

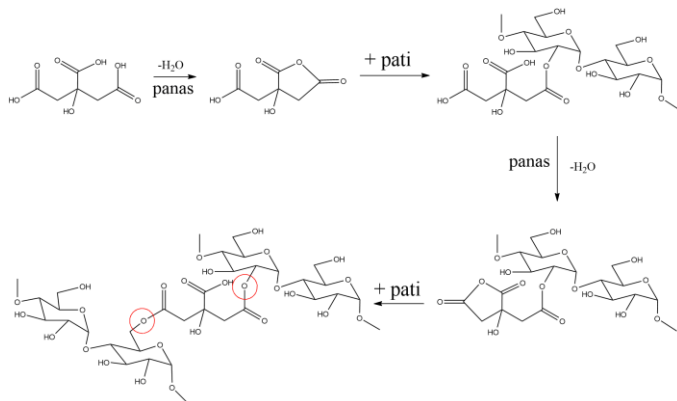
Bioplastik pati kulintang-asam sitrat dibuat dengan variasi asam sitrat 5%, 10% dan 15% (b/b) dari berat pati. Tujuan dari penambahan asam sitrat yaitu untuk melihat pengaruh asam sitrat sebagai agen pengikat silang terhadap karakteristik bioplastik pati kulintang. Gambar bioplastik pati kulintang-asam sitrat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Bioplastik pati kulintang-asam sitrat dengan variasi konsentrasi asam sitrat a) 5%, b) 10%, c) 15%

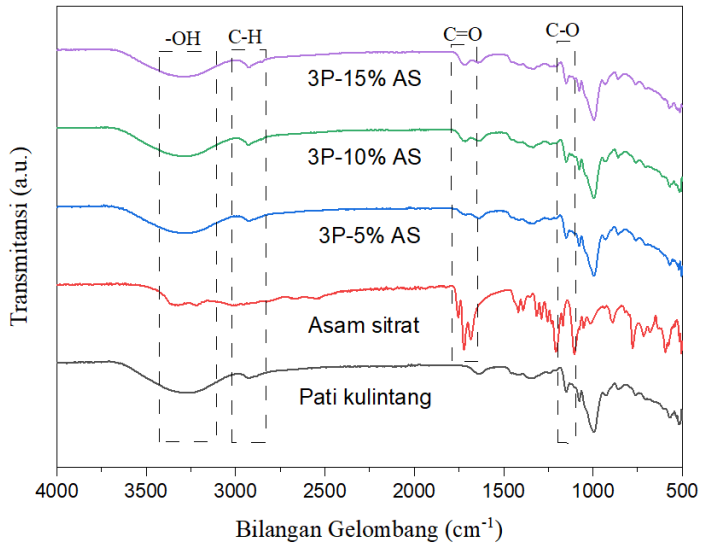
Reaksi ikatan silang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Proses terbentuknya ikatan silang diawali dengan pemanasan campuran pati dan asam sitrat. Ketika campuran dipanaskan maka terjadi pelepasan H_2O dari asam sitrat membentuk anhidrida siklik yang memungkinkan terjadinya ikatan silang dengan pati. Selanjutnya gugus karboksil dari asam bereaksi dengan hidroksil dari pati membentuk ikatan silang melalui reaksi esterifikasi. Reaksi tersebut membentuk ikatan di-ester antarmolekul kovalen gugus hidroksil dari pati dan dua gugus karboksil dari asam sitrat (Azeredo et al., 2015). Meskipun asam sitrat memiliki tiga gugus karboksil, satu molekul asam sitrat hanya dapat mengikat satu atau dua rantai polimer, baik rantai polimer yang

berbeda maupun yang sama. Hal ini karena gugus karboksilat hanya menerima proton selama reaksi esterifikasi yang terjadi dua kali, tri-ester tidak dapat membentuk ikatan silang (Dudeja et al., 2023).



Gambar 4. 8 Reaksi ikatan silang pati-asam sitrat

Bioplastik pati kulintang-asam sitrat dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada didalamnya dan untuk mengetahui apakah ikatan silang telah terbentuk. Spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat ditunjukkan pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Berdasarkan lampiran 6 yang memuat tabel interpretasi data spektra FTIR dapat diketahui bahwa bioplastik pati kulintang-asam sitrat memiliki gugus fungsi -OH yang ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $3269,34 \text{ cm}^{-1}$; $3280,73 \text{ cm}^{-1}$; $3294,22 \text{ cm}^{-1}$. Terdapat vibrasi ulur C-H pada puncak serapan $2926,98 \text{ cm}^{-1}$; $2925,20 \text{ cm}^{-1}$; $2924,52 \text{ cm}^{-1}$. Gugus C-O pada $1149,30 \text{ cm}^{-1}$; $1149,45 \text{ cm}^{-1}$; $1149,35 \text{ cm}^{-1}$. Pada ketiga variasi penambahan asam sitrat muncul puncak tambahan yang menunjukkan

ikatan C=O dari gugus karbonil yaitu pada bilangan gelombang sekitar 1714 cm^{-1} yang menunjukkan adanya reaksi esterifikasi akibat penambahan asam sitrat (Miller *et al.*, 2024). Selain itu, pada bilangan gelombang sekitar 1500 cm^{-1} tidak muncul puncak serapan seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Miller *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa puncak pada bilangan gelombang 1576 cm^{-1} menghilang namun, hanya muncul serapan karbonil dari asam karboksilat dan ester yang tumpang tindih pada bilangan gelombang 1725 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan diferensiasi antara gugus karboksilat dan ester dari asam sitrat bebas dan dari yang terikat silang/di-esterifikasi. Semakin banyak konsentrasi asam sitrat semakin meningkat intensitas serapan pada gugus karbonil. Selain itu, intensitas puncak gugus hidroksil pada variasi bioplastik asam sitrat juga menurun akibat reaksi esterifikasi antara gugus hidroksil pati dan gugus karboksilat asam sitrat yang membentuk ikatan ester pada bioplastik yang terikat silang (Istiani *et al.*, 2022).

Berdasarkan bentuk fisik, bioplastik pati kulintang-asam sitrat lebih lentur dibandingkan

bioplastik pati kulintang. Hasil uji kuat tarik pati kulintang-asam sitrat ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Kuat tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	Persen Elongasi (%)
3P-5%AS	14,828	5,167
3P-10%AS	11,910	1,333
3P-15%AS	1,033	0,500

Berdasarkan Tabel 4.5 penambahan asam sitrat menurunkan kuat tarik dan persen elongasi pada bioplastik. Jumlah penambahan asam sitrat berpengaruh terhadap sifat mekanik bioplastik. Pada penelitian ini, meningkatnya jumlah asam sitrat yang ditambahkan dapat menyebabkan nilai kuat tarik dan persen elongasi semakin menurun. Asam sitrat sebagai agen pengikat silang akan membentuk gugus karboksil dan ester yang berikatan dengan gugus hidroksil pati yang akan meningkatkan kuat tarik bioplastik. Namun, penambahan asam sitrat yang berlebihan akan menghasilkan residu asam sitrat yang dapat melemahkan interaksi antarmolekul pati, sehingga struktur plastik menjadi lemah dan menyebabkan turunnya kuat tarik serta persen elongasi bioplastik (Wahyuningtyas *et al.*, 2019).

Bioplastik pati dengan penambahan asam sitrat memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan bioplastik pati tanpa penambahan asam sitrat. Hal ini disebabkan oleh reaksi hidrolisis yang terjadi pada ikatan glikosida pati (Istiani *et al.*, 2022). Reaksi tersebut mengakibatkan ikatan antar molekul pati menjadi lemah, sehingga menurunkan kuat tarik bioplastik. Pada proses gelatinisasi, asam sitrat akan menyebabkan terjadinya hidrolisis yang memecah rantai panjang pati menjadi fragmen-fragmen yang lebih pendek. Pati dengan rantai yang lebih pendek akan memiliki interaksi antarmolekul yang lemah. Peningkatan keasaman akibat penambahan asam sitrat dengan konsentrasi yang lebih tinggi juga dapat memengaruhi viskositas dan karakteristik gelatinisasi pati. Pada tingkat asam yang tinggi, campuran memiliki viskositas yang rendah. Proses pembentukan film bioplastik yang baik memerlukan viskositas yang optimal selama pengeringan untuk memastikan pembentukan material yang kuat. Jika viskositas terlalu rendah, film yang terbentuk menjadi rapuh dan tidak padat.

Tabel 4. 6 Daya serap air bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Bioplastik	Daya Serap Air (%)	Standar
3P-5%AS	29,23	maksimal 21,5% pada suhu 25°C (Sofia <i>et al</i> , 2017)
3P-10%AS	20,08	
3P-15%AS	19,68	

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan tingkat daya serap air pada variasi penambahan asam sitrat. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan persen daya serap air yang dimiliki bioplastik semakin turun. Asam sitrat bertindak sebagai agen pengikat silang yang membentuk ikatan ester antara gugus hidroksil (-OH) pada molekul pati dan gugus karboksil (-COOH) pada asam sitrat. Ikatan silang yang terbentuk memberikan interaksi antarmolekul yang berdampak pada penurunan tingkat penyerapan air. Ketersediaan gugus hidroksil yang berkurang dan substitusi gugus ester hidrofobik juga berkontribusi terhadap pengaruh kandungan asam sitrat terhadap kelarutan air (Azeredo *et al.*, 2015).

Jika dibandingkan dengan bioplastik pati kulintang, daya serap air bioplastik pati kulintang-asam sitrat lebih tinggi. Penurunan kelarutan pati

akibat ikatan silang dapat menyebabkan peningkatan interaksi antara molekul pati dan air. Hal ini berpengaruh pada peningkatan daya serap air, meskipun secara umum ikatan silang bertujuan untuk mengurangi sifat hidrofilik pati. Penambahan asam sitrat bertujuan untuk meningkatkan kuat tarik dan menurunkan tingkat daya serap air. Namun, pada penelitian ini justru sebaliknya. Hal tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya yaitu reaksi esterifikasi yang tidak optimal, meningkatnya gugus hidrofilik bebas, dan persebaran asam sitrat yang tidak merata.

Berdasarkan Tabel 4. 7 Bioplastik pati kulintang-asam sitrat memiliki waktu degradasi yang cukup lama, tetapi masih memenuhi SNI 7188-7:2022 yaitu 90% selama maksimal 180 hari. Proses degradasi bioplastik ditandai dengan rusaknya permukaan plastik, kemudian menjadi rapuh dan menjadi potongan-potongan yang lebih kecil hingga akhirnya terurai sempurna. Waktu degradasi tercepat terjadi pada sampel bioplastik 3P-15%AS yaitu 45 hari dan waktu terlama terjadi pada bioplastik 3P-5%AS yaitu 57 hari. Semakin tinggi konsentrasi asam sitrat menyebabkan waktu

biodegradasi semakin cepat. Hal ini terjadi karena pecahnya rantai pati menjadi lebih pendek akibat reaksi hidrolisis menyebabkan menurunnya ukuran pati dan meningkatkan paparan mikroorganisme (Moreno-Bohorquez *et al.*, 2025).

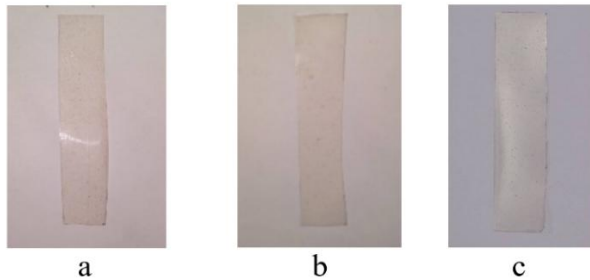
Tabel 4. 7 Hasil uji biodegradasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat

Hari ke-	Biodegradasi (%)		
	3P-5%AS	3P-10%AS	3P-15%AS
10	7,78	17,08	28,21
24	17,62	34,31	50,75
32	27,45	56,05	77,84
38	37,29	70,96	89,39
45	55,14	80,2	100
49	74,14	100	100
51	83,75	100	100
57	100	100	100

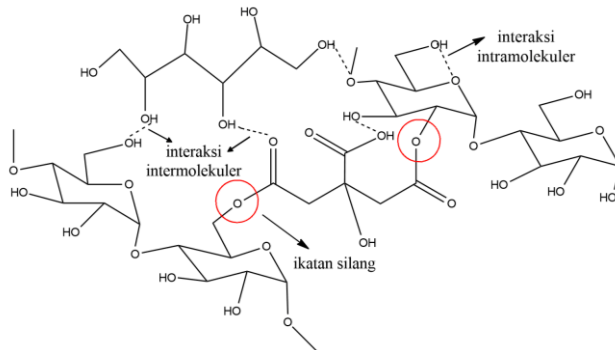
Berdasarkan data sifat mekanik, komposisi bioplastik pati kulintang-asam sitrat yang digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu 3P-10%AS, karena elongasi yang dimiliki memenuhi SNI 7818:2014 yaitu <5%. Namun, persen elongasi yang dimiliki masih rendah sehingga perlu penambahan pemlastis yaitu sorbitol.

3. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol

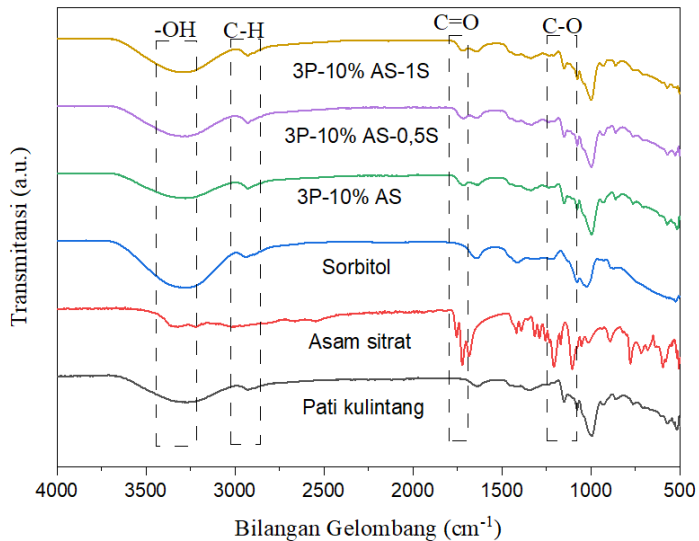
Bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol dibuat dengan variasi penambahan sorbitol sebanyak 0,5 mL dan 1 mL. Gambar bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol dengan variasi sorbitol a) 0 mL, b) 0,5 mL, c) 1 mL



Gambar 4. 11 Interaksi antara pati-asam sitrat-sorbitol



Gambar 4. 12 Spektra FTIR bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol

Berdasarkan Gambar 4.12 ditampilkan perbandingan spektra FTIR pati kulintang, asam sitrat, sorbitol, dan tiga bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol dengan variasi jumlah sorbitol yaitu, 0 mL, 0,5 mL, dan 1 mL. Tabel interpretasi spektra bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol terlampir pada lampiran 7. Puncak serapan pada bilangan gelombang $3267,92\text{ cm}^{-1}$; $3320,18\text{ cm}^{-1}$; $3269,33\text{ cm}^{-1}$; $3280,73\text{ cm}^{-1}$; $3299,46\text{ cm}^{-1}$; $3287,23\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus -OH. Munculnya puncak ini menunjukkan peregangan vibrasi ikatan

antar dan intramolekul antara gugus hidroksil pati dan sorbitol. Semakin banyak jumlah sorbitol, intensitas serapan gugus -OH juga semakin meningkat. Terdapat vibrasi ulur C-H pada bilangan gelombang $2926,62\text{ cm}^{-1}$; $2939,32\text{ cm}^{-1}$; $2925,20\text{ cm}^{-1}$; $2925,69\text{ cm}^{-1}$; $2927,63\text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $1721,28\text{ cm}^{-1}$; $1714,67\text{ cm}^{-1}$; $1715,79\text{ cm}^{-1}$; $1716,38\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus karbonil C=O dari asam sitrat dan bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol. Terdapat vibrasi ulur C-O pada bilangan gelombang $1149,37\text{ cm}^{-1}$; $1168,77\text{ cm}^{-1}$; $1149,45\text{ cm}^{-1}$; $1149,50\text{ cm}^{-1}$; $1149,74\text{ cm}^{-1}$.

Tabel 4. 8 kuat Tarik dan persen elongasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol

Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	Persen Elongasi (%)
3P-10%AS	11,910	1,333
3P-10%AS-0,5S	28,619	4,000
3P-10%AS-1S	10,427	55,167

Berdasarkan Tabel 4.8 penambahan jumlah sorbitol mempengaruhi kekuatan bioplastik. Penambahan jumlah sorbitol 0,5 mL akan meningkatkan kuat tarik dan persen elongasi. Sedangkan penambahan jumlah sorbitol 1 mL akan

menurunkan kuat tarik dan meningkatkan persen elongasi. Sorbitol berperan sebagai *plasticizer* melalui ikatan hidrogen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Sorbitol akan menurunkan interaksi intermolekul dengan menyisip di antara rantai-rantai pati dan membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil pati hingga interaksi molekuler pada pati menjadi berkurang. Semakin banyak jumlah sorbitol yang ditambahkan, maka persen elongasi meningkat, tetapi kuat tariknya menurun (Hidayati Sri *et al.*, 2015). Dengan berkurangnya ikatan antar rantai pati, pergerakan rantai-rantai pati menjadi lebih bebas. Hal tersebut akan meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas bioplastik.

Tabel 4. 9 Daya serap air bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol

Bioplastik	Daya Serap Air (%)	Standar
3P-10%AS-0S	20,08	maksimal 21,5% pada suhu 25°C (Sofia <i>et al.</i> , 2017)
3P-10%AS-0,5S	16,93	
3P-10%AS-1S	19,64	

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan tingkat daya serap air pada variasi penambahan sorbitol. Semakin banyak jumlah sorbitol yang ditambahkan maka semakin

tinggi persen daya serap air bioplastik. Namun, bioplastik dengan penambahan sorbitol memiliki tingkat daya serap yang lebih rendah dibandingkan dengan bioplastik pati kulintang-asam sitrat. Hal tersebut terjadi karena sorbitol membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil pada pati. Interaksi tersebut mengurangi ikatan hidrogen intramolekul dan intermolekul pada rantai pati dan asam sitrat. Bioplastik pati kulintang asam sitrat memiliki daya serap air yang rendah karena efek ikatan silang dari asam sitrat. Sorbitol membantu mengisi celah dan meningkatkan kepadatan pada struktur yang sudah diikat silang oleh asam sitrat. Kombinasi ini menciptakan material yang lebih padat, kurang berpori, dan lebih tahan air. Meskipun sorbitol bersifat hidrofilik, ketika ia terintegrasi secara efektif ke dalam matriks polimer dan membantu menciptakan struktur yang lebih padat dan terikat silang, maka sorbitol mampu menurunkan tingkat daya serap dari bioplastik. Hal ini karena kemampuan air untuk masuk dan tertahan dalam struktur menjadi lebih sulit.

Tabel 4. 10 Hasil uji biodegradasi bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol

Hari ke-	Biodegradasi (%)		
	3P-10%AS-0S	3P-10%AS-0,5S	3P-10%AS-1S
10	17,08	11,85	26,00
24	34,31	37,82	40,89
32	56,05	52,56	47,51
38	70,96	66,34	58,15
45	80,2	75,48	64,53
49	100	83,01	75,41
51	100	100	82,03
57	100	100	86,99
63	100	100	100

Berdasarkan Tabel 4. 10 bioplastik pati kulintang-asam sitrat-sorbitol memiliki waktu degradasi yang cukup lama yaitu selama 63 hari. Meski begitu, waktu degradasi masih memenuhi SNI 7188-7:2022 yaitu 90% selama maksimal 180 hari. Waktu degradasi tercepat terjadi pada sampel bioplastik 3P-10%AS-0S yaitu 49 hari dan waktu terlama terjadi pada bioplastik 3P-10%AS-1S yaitu 63 hari. Penambahan sorbitol menyebabkan kemampuan biodegradasi bioplastik menurun. Hal ini terjadi karena sorbitol membuat struktur polimer yang terikat silang menjadi lebih padat sehingga

mengurangi akses mikroba yang menyebabkan biodegradasi bioplastik menjadi lebih lambat.

Berdasarkan hasil uji mekanik dan uji biodegradasi, komposisi bioplastik terbaik yaitu pada bioplastik 3P-10%AS-0,5S. Hal ini karena hasil uji kuat tarik dan persen elongasi bioplastik 3P-10%AS-0,5S memenuhi SNI 7818:2014 dimana kuat tarik minimal 13,7 Mpa dan persen elongasi <5%. Hasil uji biodegradasi juga masih memenuhi SNI 7188-7:2022 yaitu 90% selama maksimal 180 hari. Selain itu, daya serap air bioplastik 3P-10%AS-0,5S juga paling rendah. Oleh karena itu, komposisi bioplastik terbaik yaitu 3P-10%AS-0,5S.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Bioplastik pati kulintang memiliki kuat tarik yang tinggi hingga mencapai 50,597 MPa dan persen elongasi yang sangat rendah yaitu 3,000%. Semakin banyak massa pati yang ditambahkan maka semakin rendah kemampuan bioplastik dalam menyerap air.
2. Penambahan asam sitrat menurunkan kuat tarik dari 46,267 MPa menjadi 1,033-14,828 MPa, namun tidak berpengaruh signifikan pada persen elongasi. Semakin banyak asam sitrat yang ditambahkan menyebabkan nilai daya serap air semakin turun dan kemampuan biodegradasi semakin cepat. Dari hasil FTIR muncul gugus karbonil C=O pada bilangan gelombang sekitar 1714 cm^{-1} yang menunjukkan adanya reaksi esterfikasi pada bioplastik yang terikat silang.
3. Penambahan sorbitol pada campuran pati kulintang dan asam sitrat meningkatkan kuat tarik dan elongasi. Nilai optimum penambahan sorbitol pada penelitian ini adalah 0,5 mL dengan nilai kuat tarik 28,619 MPa dan persen elongasi 4,000% mengacu pada SNI 7818:2014. Semakin banyak sorbitol yang

ditambahkan menyebabkan elastisitas dan daya serap air pada bioplastik semakin meningkat serta kemampuan biodegradasi semakin lambat.

B. Saran

1. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan modifikasi ikatan silang dengan agen pengikat silang lain dan dengan variasi konsentrasi yang berbeda untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik bioplastik.
2. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan uji kadar amilosa dan amilopektin pada pati yang disintesis.
3. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan pembuatan bioplastik dengan komposisi pati dan sorbitol.
4. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan uji biodegradasi pada bioplastik pati.

DAFTAR PUSTAKA

- Afidin, I.M.Z. 2021. *Pengaruh Penambahan Kitosan dan Sorbitol Terhadap Bioplastik Berbasis Selulosas Asetat Dari Ampas Tebu*.
- Afif, M., Wijayati, N. & Mursiti, S. 2018. Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Biji Alpukat-Kitosan dengan Plasticizeafifr Sorbitol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2): 102–109.
- Ahmad, F. Al. 2017. *Pengaruh Konsentrasi Bahan Penaut Silang terhadap Karakteristik Plastik Biodegradable Hasil Taut Silang Pati Umbi Gadung (Dioscorea hispida Dennst)*. UIN Alauddin Makassar.
- Ai, Y. & Jane, J. lin. 2017. *Understanding Starch Structure and Functionality*. Elsevier Ltd.
- Amalia, I.W., Nurnanda, D., Hendrianie, N. & Darmawan, R. 2020. Proses Pembuatan Asam Sitrat dari Molasses dengan Metode Submerged Fermentation. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2): 145–149.
- Angsad, A., Marudin, E.J. & Cahyo, D.S. 2020. Kualitas Bioplastik dari Umbi Singkong Karet dengan Penambahan Kombinasi Plasticizer Gliserol dengan Sorbitol dan Kitosan. , 6(Maret): 36–44.
- Arini, D., Ulum, M.S. & Kasman, K. 2017. Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, 6(3): 276–283.
- Awadhiya, A., Kumar, D. & Verma, V. 2016. Crosslinking of agarose bioplastic using citric acid. *Carbohydrate Polymers*, 151: 60–67.

- Ayu, N., Jumiati, E. & Husnah, M. 2023. Analisis Uji Mekanik Bioplastik Berbahan Pati Tepung Sagu- Kitosan Dan Sorbitol. *Journal Online of Physics*, 8(3): 47–50.
- Azeredo, H.M.C., Kontou-Vrettou, C., Moates, G.K., Wellner, N., Cross, K., Pereira, P.H.F. & Waldron, K.W. 2015. Wheat straw hemicellulose films as affected by citric acid. *Food Hydrocolloids*, 50: 1–6.
- Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 7818:2014 *Kantong plastik mudah terurai*.
- Badan Standardisasi Nasional. 2022. SNI 7188-7:2022 *Kriteria ekolabel-Bagian 7: Kategori produk, kemasan produk dan wadah bioplastik yang dapat dikomposkan*.
- Combrzyński, M., Oniszczyk, T., Kupryaniuk, K., Wójtowicz, A., Mitrus, M., Milanowski, M., Soja, J., Budziak-Wieczorek, I., Karcz, D., Kamiński, D., Kulesza, S., Wojtunik-Kulesza, K., Kasprzak-Drozd, K., Gancarz, M., Kowalska, I., Ślusarczyk, L. & Matwijczuk, A. 2021. Physical properties, spectroscopic, microscopic, x-ray, and chemometric analysis of starch films enriched with selected functional additives. *Materials*, 14(10).
- Dani Alim, M., Karangan, A. & Nandini, A. 2023. Utilization of Aking Rice Waste With Addition of Chitosan and Sorbitol in Bioplastics Production. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2): 111–115.
- Desramadhani, R. & Kusuma, Ss.B.W. 2023. The Effect of Sorbitol Concentration on The Characteristics of Starch-Based Bioplastics. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(2): 130–142.
- Dhull, S.B., Chandak, A., Chawla, P., Goksen, G., Rose, P.K. & Rani, J. 2023. Modifications of native lotus (*Nelumbo nucifera* G.) rhizome starch and its overall characterization: A

- review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253: 1–16.
- Dudeja, I., Mankoo, R.K., Singh, A. & Kaur, J. 2023. Citric acid: An ecofriendly cross-linker for the production of functional biopolymeric materials. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 36(September): 1–20.
- Ermawati, U. & Haryanto. 2020. Pengaruh Penambahan Kitosan Dan Gliserol Terhadap Karakteristik Film Bioplastik dari Pati Biji Nangka. *University Research Colloquium*, 1(1): 101–106.
- Fatima, S., Abdullah, A., Masriani, M. & Hasriani, H. 2023. Konsentrasi Sorbitol dan Volume Larutan Terbaik pada Cetakan Film Edibel dari Pati Sagu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 28(1): 59–64.
- Firmansyah, G., Purnama, F., Mairiza, L. & Rinaldi, W. 2022. Pengaruh Penambahan Gliserol dan Sorbitol Terhadap Sifat Ketahanan Air dan Biodegradabilitas Bioplastik Berbahan Pati Biji Durian. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 3(3): 19–22.
- Firmansyah, Y.W., Fuadi, M.F., Ramadhansyah, M.F., Sugiester S, F., Widyantoro, W., Lewinsca, M.Y., Diyana, S., Marlina, N.I.V., Arumdani, I.S., Pratama, A.Y., Azhari, D., Sukaningtyas, R. & Hardiyanto, A. 2021. Keberadaan Plastik di Lingkungan, Bahaya terhadap Kesehatan Manusia, dan Upaya Mitigasi: Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 6(4): 2279–2285.
- Genalda, M.S.S. & Udjiana, S.S. 2021. Pembuatan Plastik Biodegradable Dari Pati Limbah Kulit Kentang (*Solanum Tuberosum* L.) Dengan Penambahan Filler Kalsium Silikat. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7: 320–327.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. & Entezami, A.A. 2011. Improving

the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and Products*, 33(1): 229–235.

Hidayat, T.N. 2023. *Karakteristik Tepung Suweg Termodifikasi secara Kimia Melalui Asetilasi dan Crosslinking*. Universitas PGRI Semarang.

Hidayati Sri, Zuidar Ahmad Sapta & Ardiani Astri. 2015. Aplikasi Sorbitol Pada Produksi Biodegradable Film dari Nata De Cassava. *Reaktor*, 15(3).

Imoisili, P.E. & Jen, T.-C. 2023. Synthesis and characterization of bioplastic films from potato peel starch; effect of glycerol as plasticizer. *Materials Today: Proceedings*: 1–5.

Istiani, A., Yusuf, Y., Irfandy, F. & Puspitasari, M. 2022. Karakterisasi Sifat Fisik Biodegradable Film dari Pati Garut, Gliserol dan Asam Sitrat. *Eksergi*, 19(3): 148–152.

Jabbar, U.F. 2017. *Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Karakteristik Bioplastik dari Pati Kulit Kentang (Solanum tuberosum. L)*.

Karulina, G. 2021. *Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Pati (Bonggol Pisang Kepok)-Kitosan dengan Variasi Sorbitol*.

Kawijia, Atmaka, W. & Lestariana, S. 2017. Studi Karakteristik Pati Singkong Utuh Berbasis Edible Film dengan Modifikasi Cross-linking Asam Sitrat. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 18(2): 143–152.

Krisnadi, R., Handarni, Y. & Udyani, K. 2019. Pengaruh jenis plasticizer terhadap karakteristik plastik biodegradable dari bekatul padi. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*: 125–130.

Kunsah, B. & Widyastuti, R. 2018. *Uji Toksisitas Akut Kulit*

Kentang (Solanum tuberosum L.) Terhadap Larva Artemia salina Leach Dengan Metode BSLT (Brine Shrimp Lethality Test).

- Masahid, A.D., Aniza Aprillia, N., Witono, Y. & Azkiyah, L. 2023. Karakteristik Fisik Dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong Dengan Penambahan Whey Keju Dan Plastisiser Gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 24(1): 23–34.
- Menzel, C., Olsson, E., Plivelic, T.S., Andersson, R., Johansson, C., Kuktaite, R., Järnström, L. & Koch, K. 2013. Molecular structure of citric acid cross-linked starch films. *Carbohydrate Polymers*, 96(1): 270–276.
- Mileti, O., Baldino, N., Marchio, V., Lupi, F.R. & Gabriele, D. 2024. Rheological and Textural Investigation to Design Film for Packaging from Potato Peel Waste. *Gels*, 10(11).
- Miller, K., Reichert, C.L., Schmid, M. & Loeffler, M. 2024. Impact of Citric Acid on the Structure, Barrier, and Tensile Properties of Esterified/Cross-Linked Potato Peel-Based Films and Coatings. *Polymers*, 16(24).
- Moreno-Bohorquez, E., Arias-Tapia, M.J., Martínez-Villadiego, K., Rhenals-Julio, J.D. & Jaramillo, A.F. 2025. Effect of Starch Variety and Environmental Conditions on the Aerobic Biodegradation of Citric Acid-Compatibilized Thermoplastic Starch/Polylactic Acid Blends. *Polymers*, 17(10).
- Muralidharan, V., Arokianathan, M.S., Balaraman, M. & Palanivel, S. 2020. Tannery trimming waste based biodegradable bioplastic: Facile synthesis and characterization of properties. *Polymer Testing*, 81: 1–10.
- Mustofa, M. 2019. Penentuan Sifat Fisik Kentang (*Solanum tuberosum L.*): Sphericity, Luas Permukaan Volume dan

- Densitas. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 4(2): 46–51.
- Noviansyah, K., Jumiati, E. & Lubis, R.Y. 2023. Pengaruh Penambahan Serbuk Pati Jagung dan Kitosan Terhadap Mutu Sifat Fisis Bioplastik. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3): 466–471.
- Nurhabibah, S.A. & Kusumaningrum, W.B. 2021. Karakterisasi bioplastik dari k-karagenan. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 43(2): 82–94.
- Nuriyah, L., Saroja, G., Ghufro, M., Razanata, A. & Rosid, N.F. 2018. Tensile Strength and Elongation Characteristics of Bioplastics Made from Cilembu Sweet Potatoes Starch with Various Types of Plasticizers. *Natural B*, 4(4): 177–182.
- Nurlaila, F. & Purnomo, Y.S. 2020. Pemanfaatan Limbah Kulit Kentang Sebagai Pengisi (Filler) Pembuatan Plastik Biodegradable. *Enviroous*, 1(1): 1–8.
- Pujawati, D., Hartiati, A. & Suwariani, N.P. 2021. Karakteristik Komposit Bioplastik Pati Ubi Talas-Karagenan pada Variasi Suhu dan Waktu Gelatinisasi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 9(3): 277.
- Putra, A.D., Johan, V.S. & Efendi, R. 2017. Pembuatan Edible Film Pati Sukun the Addition of Sorbitol As a Plasticizer in the Production Edible Films Based Breadfruit Starch. *Jom Fakultas Pertanian*, 4(2): 1–15.
- Putra, E.P.D. & Thamrin, E.S. 2022. Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik dari Pati Kulit Pisang Ambon (Musa paradisiacal) dengan Plasticizer Sorbitol. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(2): 164–174.
- Rachmah, S. 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Pati*

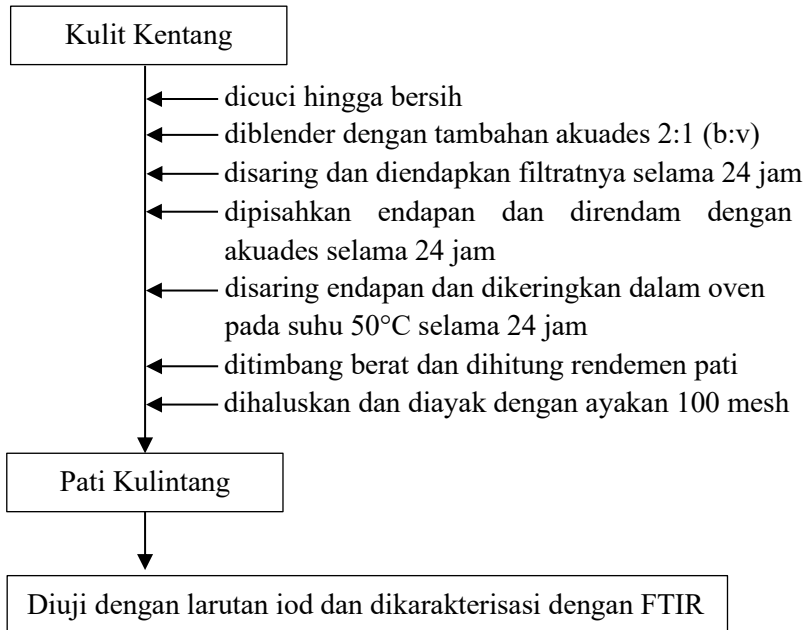
Sagu (Sago starch) dengan Agen Crosslink Asam Sirat.
Universitas Jember.

- Rahmawati, F., Fahmi Hakim, M. & Pathun Ni, K. 2023. Karakteristik Mekanik Film Plastik Berbahan Dasar Pati Limbah Kulit Kentang (*solanum tuberosum* L.) dengan Variasi Asam Asetat dan CMC Mechanical Characteristics of Plastic Films Made from Potato Peel Waste (*solanum tuberosum* L.) with Variations of Acetic . *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Pertanian*, 4(3): 195–202.
- Ranote, S., Kowalczyk, M., Guzenko, N., Duale, K., Chaber, P., Musioł, M., Jankowski, A., Marcinkowski, A., Kurcok, P., Chauhan, G.S., Chauhan, S. & Kumar, K. 2024. Towards scalable and degradable bioplastic films from *Moringa oleifera* gum/poly(vinyl alcohol) as packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 269: 1–17.
- Sanjiwani, N.M.S., Ayu, D., Paramitha, I., Chandra, A.A., Ariawan, I.M.D., Megawati, F., Wayan, N., Dewi, T., Ayu, P., Mariati, M. & Wayan, I. 2020. Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari*, 21(1).
- Saputra, M.R.B. & Supriyo, E. 2020. Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol. *Pentana*, 1(1): 41–51.
- Saputro, A.N.C. & Ovita, A.L. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Kitosan-Pati Ganyong (*Canna Edulis*). *JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)*, 2(1): 13.
- Sari, N.W., Fajri, M.Y. & Anjas W. 2018. Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L.). *IJOBB*, 2(1): 30–34.
- Singan, G. & Chiang, L.K. 2017. The Relationship Between

- Absorbency and Density of Bioplastic Film Made from Hydrolyzed Starch. *AIP Conference Proceedings*, 1901.
- Sofia, A., Prasetya, A.T. & Kusumastuti, E. 2017. Komparasi Bioplastik Kulit Labu Kuning-Kitosan dengan Plasticizer dari Berbagai Variasi Sumber Gliserol. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2): 110–116.
- Sulistiyani, M. & Huda, N. 2018. Perbandingan Metode Transmisi dan Reflektansi Pada Pengukuran Polistirena Menggunakan Instrumentasi Spektroskopi Fourier Transform Infra Red. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2): 195–198.
- Utomo, P., Nizardo, N.M. & Saepudin, E. 2020. Crosslink modification of tapioca starch with citric acid as a functional food. *AIP Conference Proceedings*, 2242(June).
- Wahyuningtyas, D., Dwi Sukmawati, P., Muthia, D.N. & Fitria, A. 2019. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan' Optimasi Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Kulit Singkong dengan Penambahan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent. , (April): 1–8.
- Warren, F.J., Gidley, M.J. & Flanagan, B.M. 2016. Infrared spectroscopy as a tool to characterise starch ordered structure - A joint FTIR-ATR, NMR, XRD and DSC study. *Carbohydrate Polymers*, 139: 35–42.
- Yusdian, Y., Santoso, J. & Dasimah, I. 2022. Keragaan Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Varietas Granola Akibat Perlakuan Pupuk Anorganik. *Agrot atanen*, 4(1): 8–14.

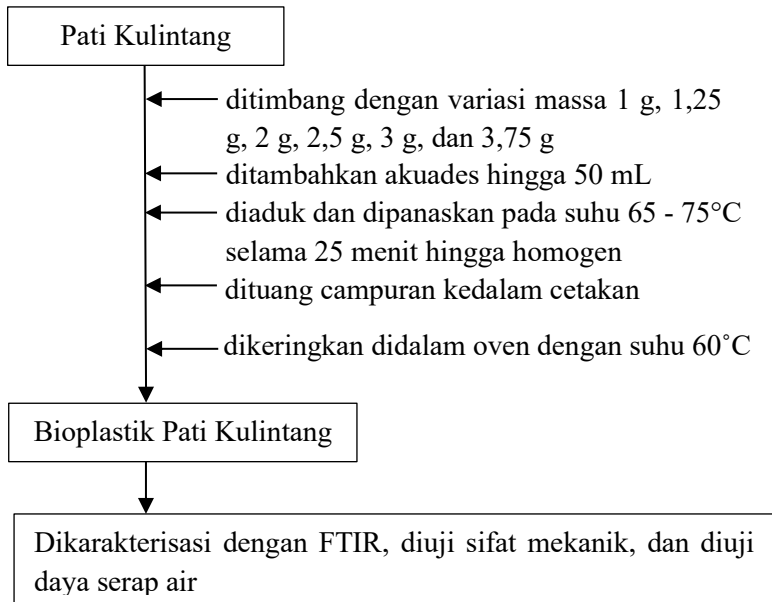
LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan Pati Kulintang

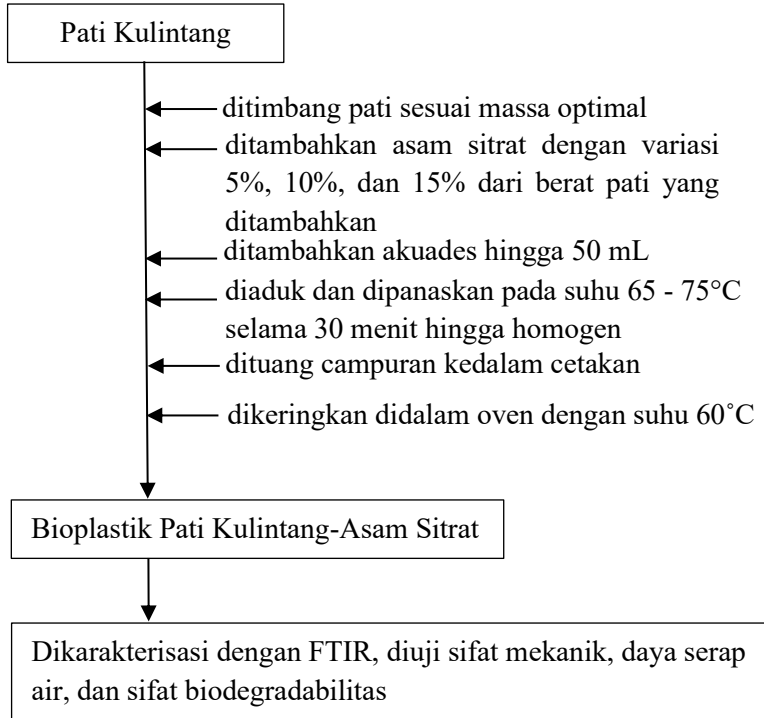


Lampiran 2 Pembuatan Bioplastik

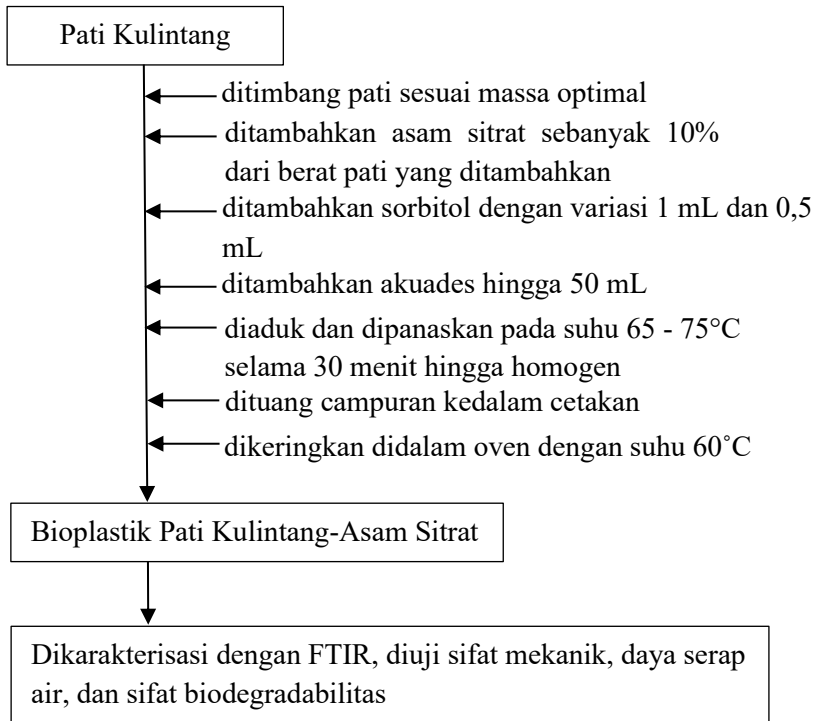
a. Bioplastik Pati Kulintang



b. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat

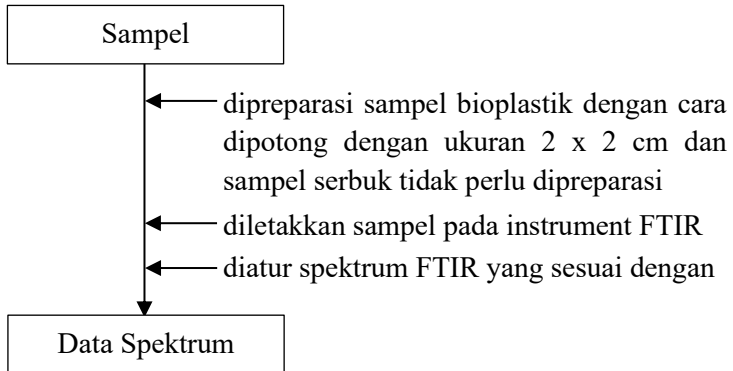


c. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol

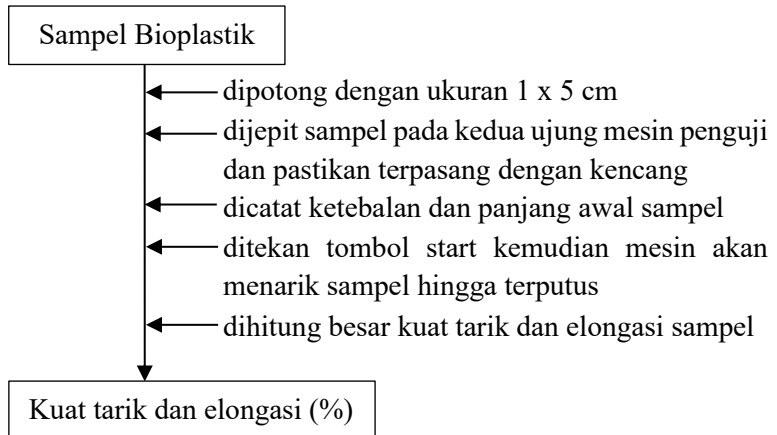


Lampiran 3 Karakterisasi Bioplastik

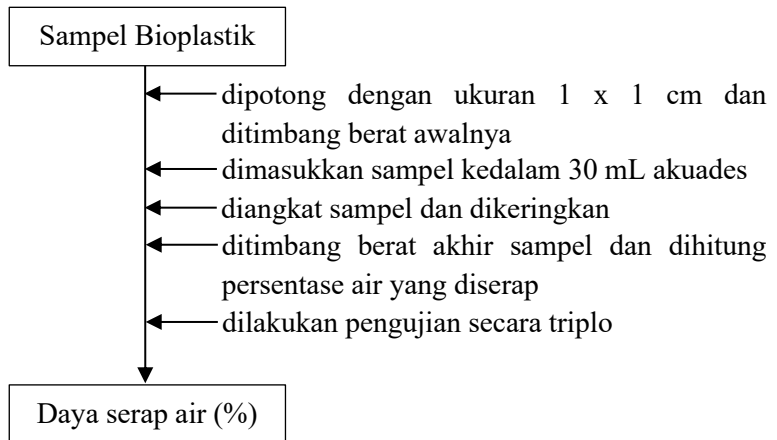
a. Karakterisasi FTIR



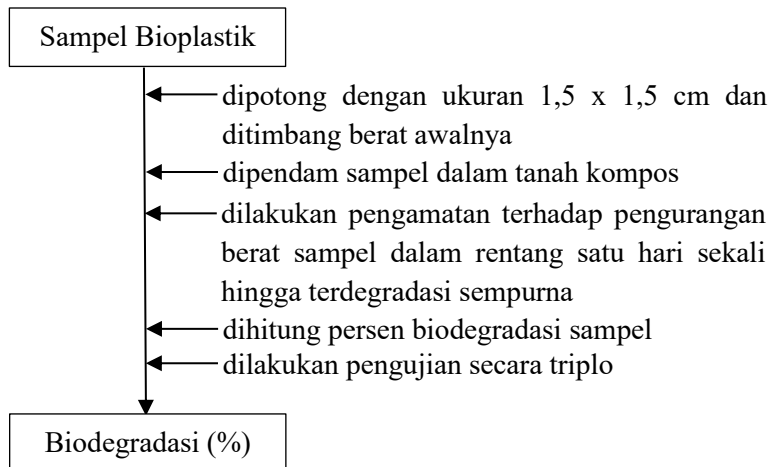
b. Uji Sifat Mekanik



d. Uji Daya Serap



e. Uji Biodegradabilitas



Lampiran 4 Perhitungan Rendemen Pati Kulintang

$$\begin{aligned}\text{Rendemen} &= \frac{\text{Berat hasil sintesis}}{\text{Berat Bahan Baku}} \times 100\% \\ &= \frac{47,06 \text{ g}}{6000 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 0,78 \%\end{aligned}$$

Lampiran 5 uji Daya Serap Air Bioplastik

- a. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-5%AS

$$\begin{aligned} DSA &= \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0221 - 0,0171}{0,0171} \times 100\% \\ &= 29,23\% \end{aligned}$$

- b. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-10%AS

$$\begin{aligned} DSA &= \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0275 - 0,0229}{0,00229} \times 100\% \\ &= 20,08\% \end{aligned}$$

- c. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-15%AS

$$\begin{aligned} DSA &= \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0231 - 0,0193}{0,0193} \times 100\% \\ &= 19,68\% \end{aligned}$$

- d. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol 3P-10%AS-0,5S

$$\begin{aligned} DSA &= \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0290 - 0,0248}{0,0248} \times 100\% \\ &= 16,93\% \end{aligned}$$

- e. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol 3P-
10%AS-1S

$$\begin{aligned} DSA &= \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0268 - 0,0224}{0,0224} \times 100\% \\ &= 19,64\% \end{aligned}$$

Lampiran 6 Uji Biodegradabilitas Bioplastik

a. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-5%AS

Hari ke-10

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0403}{0,0437} \times 100\% \\ &= 7,78\% \end{aligned}$$

Hari ke-24

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0360}{0,0437} \times 100\% \\ &= 17,62\% \end{aligned}$$

Hari ke-32

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0317}{0,0437} \times 100\% \\ &= 27,45\% \end{aligned}$$

Hari ke-38

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0274}{0,0437} \times 100\% \\ &= 37,29\% \end{aligned}$$

Hari ke-45

$$\begin{aligned}\text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0196}{0,0437} \times 100\% \\ &= 55,14\%\end{aligned}$$

Hari ke-49

$$\begin{aligned}\text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0113}{0,0437} \times 100\% \\ &= 74,14\%\end{aligned}$$

Hari ke-51

$$\begin{aligned}\text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0437 - 0,0043}{0,0437} \times 100\% \\ &= 83,75\%\end{aligned}$$

b. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-10%AS

Hari ke-10

$$\begin{aligned}\text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0644 - 0,0534}{0,0644} \times 100\% \\ &= 17,08\%\end{aligned}$$

Hari ke-24

$$\begin{aligned}\text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0644 - 0,0423}{0,0644} \times 100\% \\ &= 34,31\%\end{aligned}$$

Hari ke-32

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0644 - 0,0283}{0,0644} \times 100\% \\ &= 56,05\% \end{aligned}$$

Hari ke-38

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0644 - 0,0187}{0,0644} \times 100\% \\ &= 70,96\% \end{aligned}$$

Hari ke-45

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0644 - 0,0128}{0,0644} \times 100\% \\ &= 80,12\% \end{aligned}$$

- c. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat 3P-15%AS

Hari ke-10

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0528 - 0,0379}{0,0528} \times 100\% \\ &= 28,21\% \end{aligned}$$

Hari ke-24

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0528 - 0,0260}{0,0528} \times 100\% \\ &= 50,75\% \end{aligned}$$

Hari ke-32

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0528 - 0,0117}{0,0528} \times 100\% \\ &= 77,84\% \end{aligned}$$

Hari ke-38

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0528 - 0,0056}{0,0528} \times 100\% \\ &= 89,39\% \end{aligned}$$

- d. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol 3P-10%AS-0,5S

Hari ke-10

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0550}{0,0624} \times 100\% \\ &= 11,85\% \end{aligned}$$

Hari ke-24

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0388}{0,0624} \times 100\% \\ &= 37,82\% \end{aligned}$$

Hari ke-32

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0296}{0,0624} \times 100\% \\ &= 52,56\% \end{aligned}$$

Hari ke-38

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0210}{0,0624} \times 100\% \\ &= 66,34\% \end{aligned}$$

Hari ke-45

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0153}{0,0624} \times 100\% \\ &= 75,48\% \end{aligned}$$

Hari ke-49

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0624 - 0,0106}{0,0624} \times 100\% \\ &= 83,01\% \end{aligned}$$

- e. Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol 3P-5%AS-1S

Hari ke-10

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0313}{0,0423} \times 100\% \\ &= 26,00\% \end{aligned}$$

Hari ke-24

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0250}{0,0423} \times 100\% \\ &= 40,89\% \end{aligned}$$

Hari ke-32

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0222}{0,0423} \times 100\% \\ &= 47,51\% \end{aligned}$$

Hari ke-38

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0177}{0,0423} \times 100\% \\ &= 58,15\% \end{aligned}$$

Hari ke-45

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0150}{0,0423} \times 100\% \\ &= 64,53\% \end{aligned}$$

Hari ke-49

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0104}{0,0423} \times 100\% \\ &= 75,41\% \end{aligned}$$

Hari ke-51

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0076}{0,0423} \times 100\% \\ &= 82,03\% \end{aligned}$$

Hari ke-57

$$\begin{aligned} \text{Weightloss} &= \frac{w_1 - w_0}{w_1} \times 100\% \\ &= \frac{0,0423 - 0,0055}{0,0423} \times 100\% \\ &= 86,99\% \end{aligned}$$

Lampiran 7 Interpretasi Data Spektra FTIR Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				
	Pati Kulintang	Asam Sitrat	Bioplastik Pati Kulintang	3P-5%AS	3P-10% AS
O-H	3267,92	3320,18	3278,55	3269,34	3294,22
C-H	2926,62	-	2926,32	2926,98	2925,20
C-O	1149,37	1168,77	1149,62	1149,30	1149,45
C=O	-	1721,28	-	1714,67	1715,14

Lampiran 8 Interpretasi Data Spektra FTIR Bioplastik Pati Kulintang-Asam Sitrat-Sorbitol

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)						
	Pati Kulintang	Asam Sitrat	Sorbitol	Bioplastik Pati Kulintang	3P-10% AS	3P-10%AS -0,5S	3P-10%AS -1S
O-H	3267,92	3320,18	3269,33	3278,55	3294,22	3299,46	3287,23
C-H	2926,62	-	2939,32	2926,32	2925,20	2925,69	2927,63
C-O	1149,37	1168,77	-	1149,62	1149,45	1149,50	1149,74
C=O	-	1721,28	1077,22	-	1714,67	1715,79	1716,38

Lampiran 9 Dokumentasi**a. Sintesis Pati Kulintang**

Kulit kentang
dicuci bersih



Filtrat
diendapkan



Filtrat dicuci

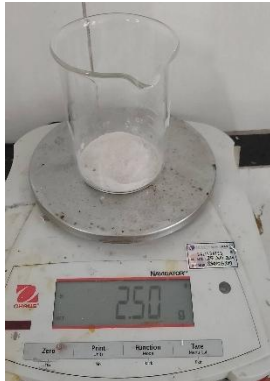


Pati dikeringkan
menggunakan oven



Pati dihaluskan

b. Sintesis Bioplastik



Bahan ditimbang



Dipanaskan hingga tergelatinisasi



Dicetak dan dikeringkan menggunakan oven

c. Uji Daya Serap Bioplastik



Penimbangan berat sampel



Perendaman sampel dalam akuades

d. Uji Biodegradasi Bioplastik



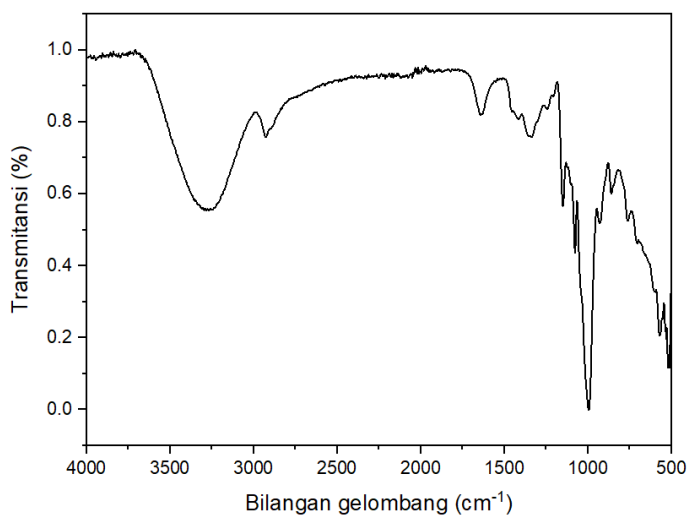
Penimbangan pengurangan berat
bioplastik

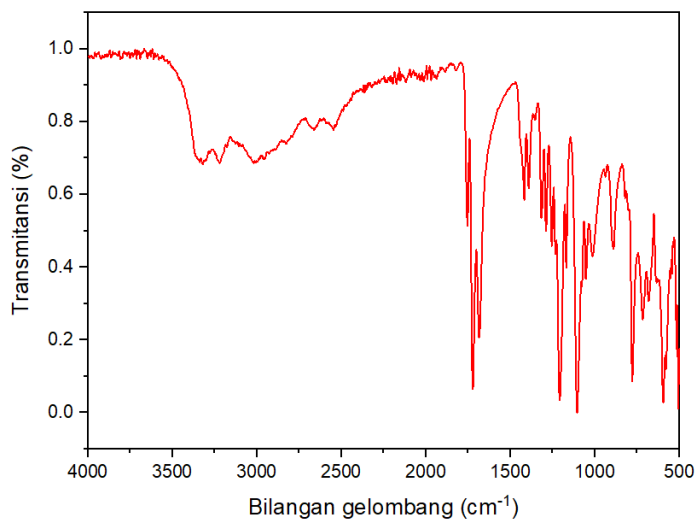


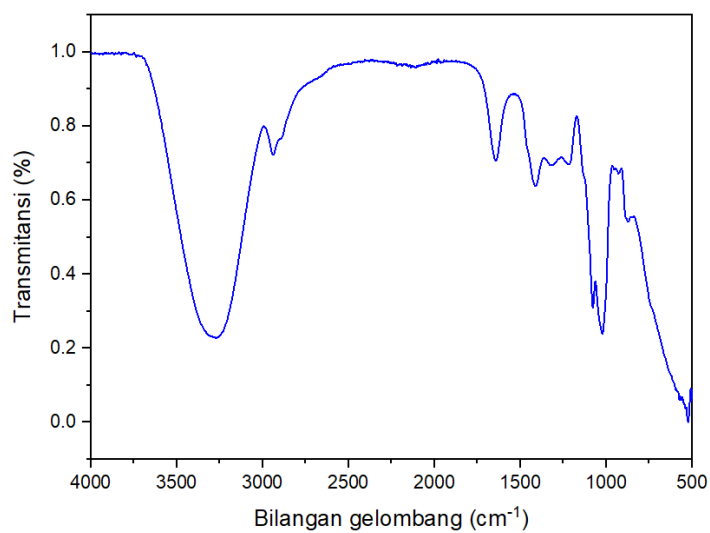
Bioplastik mulai terurai

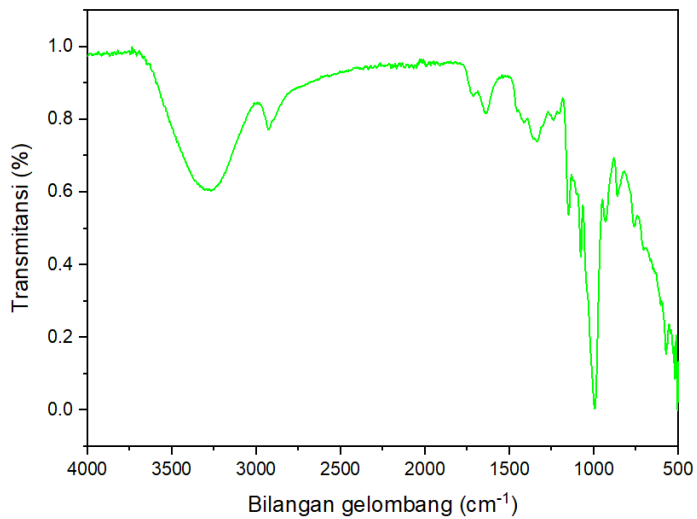


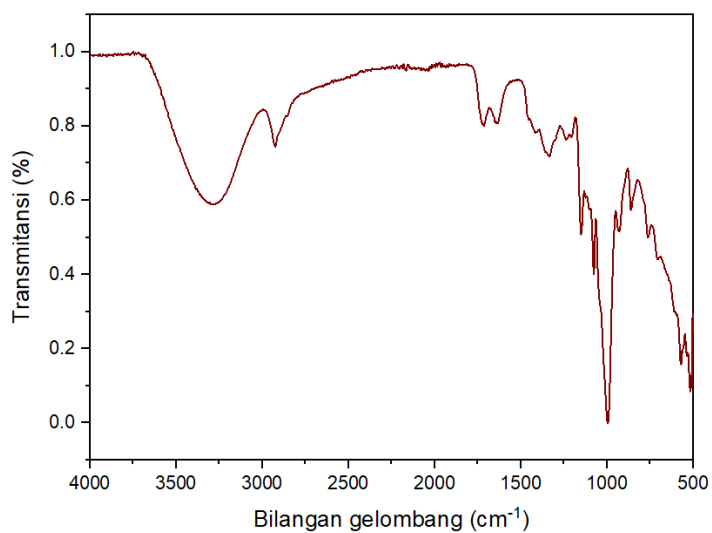
Biodegradasi dalam tanah
kompos

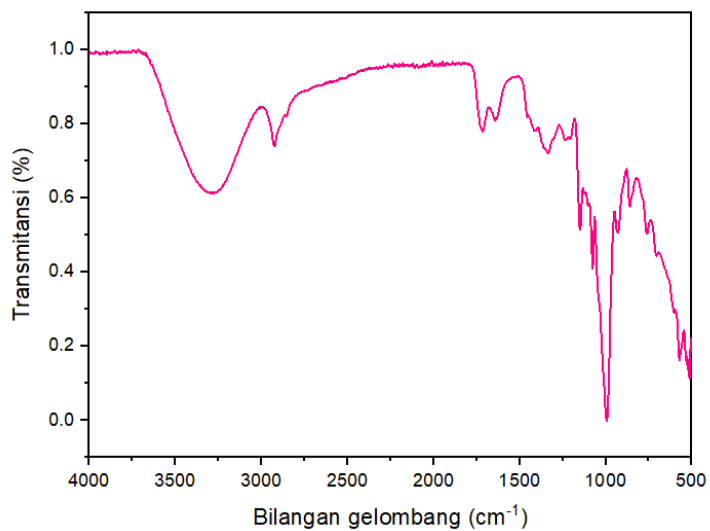
Lampiran 10 Spektrum FTIR Pati Kulintang

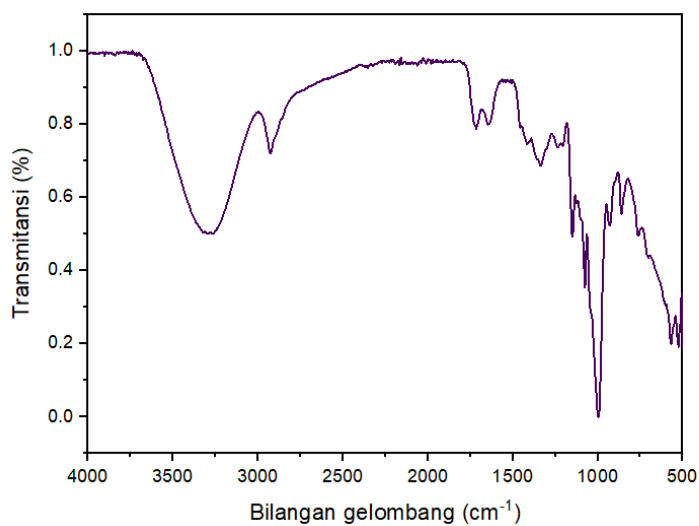
Lampiran 11 Spektrum FTIR Asam Sitrat

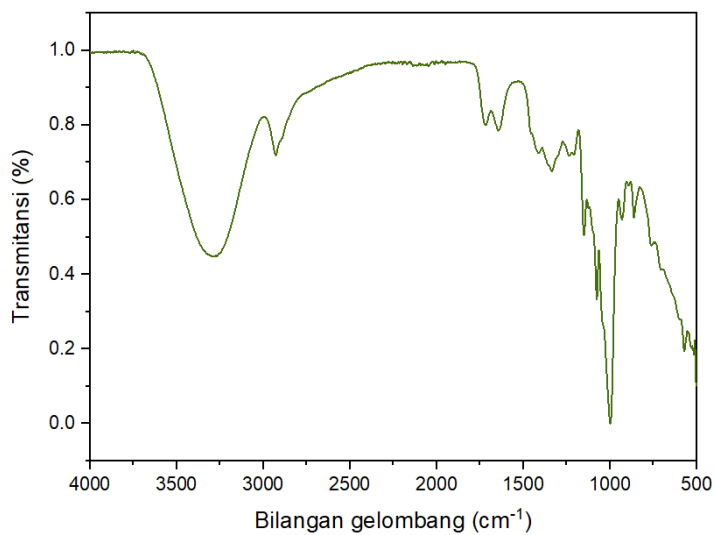
Lampiran 12 Spektrum FTIR Sorbitol

Lampiran 13 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-5%AS

Lampiran 14 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS

Lampiran 15 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-15%AS

Lampiran 16 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS-0,5S

Lampiran 17 Spektrum FTIR Bioplastik 3P-10%AS-1S

Lampiran 18 Hasil Uji Kuat Tarik Bioplastik



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
 Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip
 Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia
 Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241
 Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>
 E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

LAPORAN HASIL UJI (LHU)

No. Seri : 2024 - 2068

Nomor Kode Sampel Uji : (SP24-2741-34-05-1) - (SP24-2741-34-05-6)
 Jenis Sampel Uji / Pengujian : Bioplastik / Tensile Strength
 Nama Pelanggan : Rudhotul Muhtasanah (UIN Walisongo Semarang)
 Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 12-12-2024
 Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -
 Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -
 Tanggal Pengujian Contoh : 13-12-2024

Trigger : 4,5 g
 Deff : 60 mm
 Speed : 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP24-2741-34-05-1 (BPKK 1)	30	5	0,06	0,30	0,90	923,5	9,050	30,168	3,000
2.	SP24-2741-34-05-2 (BPKK 1,25)	30	5	0,08	0,40	1,15	1617,3	15,849	39,623	3,833
3.	SP 24-2741-34-05-3 (BPKK 2)	30	5	0,10	0,50	1,50	2581,5	25,299	50,597	5,000
4.	SP 24-2741-34-05-4 (BPKK 2,5)	30	5	0,12	0,60	1,75	2913,8	28,555	47,591	5,833
5.	SP 24-2741-34-05-5 (BPKK 3)	30	5	0,13	0,65	1,65	3068,8	30,074	46,267	5,500
6.	SP 24-2741-34-05-6 (BPKK 3,75)	30	5	0,13	0,65	1,40	2861,8	28,045	43,146	4,667

Keterangan:

Catatan:

- UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro tidak bertanggung jawab terhadap penyalahgunaan hasil pengujian ini.
- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel uji yang dikirimkan ke UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.
- Dilarang mengutip/meng-copy dan/atau mempublikasikan sebagian isi laporan atau sertifikat ini tanpa seijin UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Semarang, 13 Desember 2024
 Ketua Bidang Pengujian dan Sertifikasi

 Prof. Dr. Melly Satriyanti, M.S.
 NIP. 19600510198092001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
 Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip
 Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia
 Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241
 Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>
 E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

LAPORAN HASIL UJI (LHU)

No. Seri : 2025 - 0579

Nomor Kode Sampel Uji : (SP25-0752-34-05-1) - (SP25-0752-34-05-4)
 Jenis Sampel Uji / Pengujian : Bioplastik/Tensile Strength
 Nama Pelanggan : Rudhotul Muhtasanah (UIN Walisongo Semarang)
 Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 25-04-2025
 Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -
 Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -
 Tanggal Pengujian Contoh : 28-04-2025

Trigger : 4,5 g
 Deff : 60 mm
 Speed : 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP25-0752-34-05-1(3P+5%AS+0,5S)	30	5	0,13	0,65	0,85	1625,0	15,925	24,500	2,833
2.	SP25-0752-34-05-2(3P+15%AS+0,5S)	30	5	0,13	0,65	1,00	614,5	6,022	9,265	3,333
3.	SP25-0752-34-05-3(3P+5%AS)	30	5	0,13	0,65	1,55	983,5	9,638	14,828	5,167
4.	SP25-0752-34-05-4(3P+15%AS)	30	5	0,13	0,65	0,15	68,5	0,671	1,033	0,500

Keterangan:

Catatan:

- UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro tidak bertanggung jawab terhadap penyalahgunaan hasil pengujian ini.
- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel uji yang dikirimkan ke UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.
- Dilarang mengutip/meng-copy dan/atau mempublikasikan sebagian isi laporan atau sertifikat ini tanpa seijin UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Semarang, 28 April 2025
 Kepala Bidang Pengujian dan Sertifikasi



Ir. Agus Hadivanto, M.T.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia
Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241
Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>
E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

LAPORAN HASIL UJI (LHU)

No. Seri : 2025 - 0458

Nomor Kode Sampel Uji : (SP25-0621-34-05-1) - (SP25-0621-34-05-4)
Jenis Sampel Uji / Pengujian : Bioplastik/Tensile Strength
Nama Pelanggan : Roudotul Jannah (Jalan Margoyoso II No.47, RT.05/RW.04)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 14-04-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -
Tanggal Pengujian Contoh : 15-04-2025
Trigger : 4,5 g
Deff : 60 mm
Speed : 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP25-0621-34-05-1 (3P + 10%AS + 0,5S)	30	5	0,16	0,80	1,20	2336,3	22,895	28,619	4,000
2.	SP25-0621-34-05-2 (3P + 10%AS)	30	5	0,17	0,85	0,40	1033,0	10,123	11,910	1,333
3.	SP 25-0621-34-05-3 (3P + 15%AS + 1S)	30	5	0,15	0,75	14,25	479,5	4,699	6,265	47,500
4.	SP 25-0621-34-05-4 (3P + 5%AS + 1S)	30	5	0,18	0,90	11,15	1294,3	12,684	14,093	37,167

Keterangan:

Catatan:

- UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro tidak bertanggung jawab terhadap penyalahgunaan hasil pengujian ini.
- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel uji yang dikirimkan ke UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.
- Dilarang mengutip/meng-copy dan/atau mempublikasikan sebagian isi laporan atau sertifikat ini tanpa seijin UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Semarang, 15-04-2025
Ketua Badan Pengujian dan Sertifikasi
Prof. Dr. Melly Suherly, M.S.
NIP. 196003101989032001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN
TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip
Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia
Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241
Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>
E-mail: labterpadu@live.undip.ac.id

LAPORAN HASIL UJI (LHU)

No. Seri : 2025 - 0419

Nomor Kode Sampel Uji	: SP25-0517-34-05-1
Jenis Sampel Uji / Pengujian	: Bioplastik/Tensile Strength
Nama Pelanggan	: Rudhotul Muhtasanah (UIN Walisongo Semarang)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai)	: 19-03-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai)	: -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat	: -
Tanggal Pengujian Contoh	: 21-03-2025
Trigger	: 4,5 g
Defl	: 60 mm
Speed	: 1,0 mm/s

No.	Nama Sampel Uji	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas (mm ²)	Deformasi (mm)	Force		Tensile Strength (MPa)	Elongation at break (%)
							gram	newton		
1.	SP25-0517-34-05-1(3P-AS 10%-S)	30	5	0,14	0,70	16,55	744,8	7,299	10,427	55,167

Keterangan:

Catatan:

- UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro tidak bertanggung jawab terhadap penyalahgunaan hasil pengujian ini.
- Hasil analisis ini hanya berlaku untuk sampel uji yang dikirimkan ke UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.
- Dilarang mengutip/meng-copy dan/atau mempublikasikan sebagian isi laporan atau sertifikat ini tanpa seijin UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.


 Semarang, 21-03-2025
 Kepala Bidang Pengujian dan Sertifikasi
 Prof. Dr. Meiny Suzzy, M.S.
 NIP. 196005101989032001

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama : Rudhotul Muhtasanah
2. Tempat & Tanggal Lahir : Ternate, 15 Mei 2003
3. Alamat : Turen, RT/RW 02/01,
Karakan, Weru, Sukoharjo, Jawa Tengah
4. No. Telepon : 085742648061
5. E-mail : muhtasanahr@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- | | |
|-----------------------|------------|
| 1. TK Seruni | Lulus 2009 |
| 2. SDN 2 Indonesiana | Lulus 2015 |
| 3. MTs Al-Islam Turen | Lulus 2018 |
| 4. SMA Negeri 1 Weru | Lulus 2021 |