PENGARUH PENAMBAHAN ZnO PADA BIOPLASTIK BERBASIS PROTEIN AMPAS TAHU

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Dalam Ilmu Kimia

Disusun Oleh :
FADHILA AULIA NUR AFIQOH
NIM.2108036001

PROGAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Fadhila Aulia Nur Afiqoh

NIM : 2108036001

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

PENGARUH PENAMBAHAN ZnO PADA BIOPLASTIK BERBASIS PROTEIN AMPAS TAHU

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

Semarang, 24 Juni 2025

Pembuat Pernyataan



Fadhila Aulia Nur Afiqoh

NIM: 2108036001

PENGESAHAN

Naskah tugas akhir berikut ini:

Judul	: **Pengaruh Penambahan ZnO Pada Bioplastik Berbasis Protein Ampas Tahu**
Penulis	: Fadhila Aulia Nur Afiqoh
NIM	: 2108036001
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, 7 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang	Sekretaris
Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si.	**Kholidah, M. Sc.**
NIP. 197407162009122001	NIP. 198305042011012008
Penguji Utama I	Penguji Utama II
Dr. Eng. Anissa Adiwena Putri, M. Sc.	**Nana Misrochah, M. Pd.**
NIP. 198504052011012015	NIP. 198608280019032029

Pembimbing

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

NOTA DINAS

Semarang, 24 Juni 2025

Yth. Ketua Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Walisongo Semarang

Assalamualaikum wr. Wb

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

Judul : Pengaruh Penambahan ZnO Pada Bioplastik Berbasis Protein Ampas Tahu

Nama : Fadhila Aulia Nur Afiqoh

NIM : 2108036001

Jurusan : Kimia

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

Wassalamualaikum wr. Wb

Pembimbing

Dr. Ervin Tri Suryandari, M. Si

NIP. 197407162009122001

MOTTO

“ Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya.”
(QS. Al Baqarah 2 : 286)

"Setiap perjalanan akan ada ujian yang memiliki dua pilihan, terus berjalan dan berhasil atau berhenti dan gagal."
(BJ.Habibie)

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN ZnO PADA BIOPLASTIK BERBASIS PROTEIN AMPAS TAHU

Fadhila Aulia Nur Afiqoh
NIM. 2108036001

Bioplastik merupakan salah satu solusi yang menjanjikan karena membutuhkan waktu yang lebih cepat untuk terdegradasi di alam. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis protein dari ampas tahu dan mengkarakterisasi bioplastik protein ampas tahu-gliserol (PAT) dengan variasi protein ampas tahu (2,5%, 3%, 3,5% dan 4% b/v), sedangkan bioplastik protein ampas tahu-gliserol-ZnO (PAT-Z) ditambahkan variasi ZnO (0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% b/v). Ampas tahu diisolasi menggunakan metode presipitasi, kemudiaan dilakukan sintesis bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol-ZnO. Protein ampas tahu yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR mengindikasikan adanya gugus fungsi amida pada bilangan gelombang 3274,19 cm^{-1} dan 1624,70 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi regangan NH dan C=O yang menandakan terbentuknya struktur protein. Hasil karakterisasi FTIR pada bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol-ZnO menunjukkan keberadaan gugus fungsi pada bilangan gelombang 1625,16 cm^{-1}, 1539,34 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya polimer protein dalam bioplastik. Selain itu gugus fungsi OH dari gliserol muncul pada bilangan gelombang 3269,82 cm^{-1} dan serapan pada bilangan gelombang 493,44 cm^{-1} mengindikasikan keberhasilan penambahan ZnO ke dalam struktur bioplastik. Bioplastik dengan hasil terbaik adalah bioplastik PAT 3% dengan kuat tarik sebesar 3,038 MPa, elongasi 116,667%, daya serap air 23,26% waktu terdegradasi 9 hari dan PAT-Z 1% dengan kuat tarik 4,479 MPa, persen elongasi 196,833% , daya serap air 22,31% serta waktu terdegradasi 10 hari.

Kata kunci : Ampas Tahu, Protein, Bioplastik, Gliserol, ZnO

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil Alamin segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahankan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "**Pengaruh Penambahan ZnO Pada Bioplastik Berbasis Protein Ampas Tahu**" sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Progam Sarjana (S1) Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi umat Islam di seluruh dunia.

Selama penyusunan skripsi ini, penulis menyadari tidak akan selesai tanpa bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

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

4. Ibu Dr. Hj. Malikhatul Hidayah, S. T, M. Pd. selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan arahan dan dukungan kepada penulis selama melaksanakan studi di UIN Walisongo Semarang.
5. Ibu Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan sabar, arahan, serta motivasi dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, inspirasi dan pelajaran berharga bagi penulis.
7. Kedua orang tua penulis, yang selalu memberikan curahan kasih sayang, mendidik dengan sabar, memberikan do'a dengan tulus dan dukungan materi tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan sehingga penulis mampu melangkah dan meyelesaikan perjalanan ini.
8. Adik tercinta Muhammad Rif'an, yang selalu memberi semangat dan dukungan serta menjadi penghibur dikala penat dan lelah.
9. Teman-teman Kimia A 2021 yang telah menjadi bagian dari perjalanan selama perkuliahan.

10. Warga Jupan Posko 78 tercinta yang selalu menghibur dan membangkitkan semangat penulis untuk tidak menyerah.
11. Keluarga besar Pondok Pesantren Darul Falah Besongo Semarang, khususnya Asrama B9 yang telah menjadi tempat pulang dan rumah kedua selama masa perjuangan menuntut ilmu. Terima kasih atas kehangatan, dukungan dan kebersamaan yang selalu menyertai langkah penulis.
12. Kamar slebew (3.2) Hasna, Latif, Nila, Puput, Icup yang telah menjadi tempat berbagi tawa, cerita dan semangat di setiap langkah perjalanan penulis. Di balik dinding kamar yang sederhana, terima kasih sudah selalu menerangi hari-hari yang penuh tantangan.
13. Cici Meiyanti, Wafiq Allifa selaku sahabat penulis yang sudah membersamai setiap langkah dari awal perkuliahan sampai saat ini.
14. Miftakul miyah selaku sahabat penulis yang senantiasa memberikan dukungan serta motivasi sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar. Semoga persahabatan ini terus terjaga dan

kenangan indah bersama selalu menguatkan perjalanan kita ke depan.

15. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu .

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran serta dengan adanya tugas akhir yang penulis susun ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Aamiin Yaa Rabbal'alamiin.

Semarang, 27 September 2024

Fadhila Aulia Nur Afiqoh

DAFTAR ISI

MOTTO ..... **iv**
ABSTRAK ..... **v**
KATA PENGANTAR ..... **i**
DAFTAR ISI ..... **v**
DAFTAR GAMBAR ..... **ii**
DAFTAR TABEL ..... **iii**
BAB 1 ..... **1**
PENDAHULUAN **1**
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 11
C. Tujuan Penelitian 12
D. Manfaat Penelitian 12
BAB II **13**
TINJAUAN PUSTAKA **13**
A. Kajian Teori 13
1. Bioplastik 13
2. Ampas Tahu 17
3. ZnO 19
4. Gliserol 21
5. Uji Protein 23
6. Analisis FT-IR 27
7. Uji Sifat Mekanik 30
8. Uji Daya Serap Air 31
9. Uji Biodegradasi 32

B. Kajian Hasil Penelitian yang Relevan 33
C. Hipotesis 36
BAB III 37
METODE PENELITIAN 37
A. Bahan dan Alat 37
1. Bahan 37
2. Alat 37
B. Prosedur Kerja 38
1. Preparasi Bahan 38
2. Sintesis Bioplastik 39
3. Uji dan Karakterisasi 41
BAB IV 47
HASIL DAN PEMBAHASAN 47
A. Isolasi Protein Ampas Tahu 47
B. Sintesis Bioplastik 57
1. Bioplastik Protein Ampas Tahu- Gliserol (PAT) 57
2. Bioplastik Protein Ampas Tahu- Gliserol-ZnO (PAT-Z) 59
C. Karakterisasi Bioplastik 60
1. Karakterisasi FTIR 60
2. Uji Sifat Mekanik 63
3. Uji Daya Serap Air 71
4. Uji Biodegradabilitas 74
BAB V 77
KESIMPULAN 77
A. Kesimpulan 77
B. Saran 78

DAFTAR PUSTAKA **79**
LAMPIRAN **87**
DAFTAR RIWAYAT HIDUP **100**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus Degradasi Polimer 15
Gambar 2. 2 Siklus Biodegradasi Polimer Plastik Biodegradable 16
Gambar 2. 3 Ampas Tahu 18
Gambar 2. 4 Struktur Zno (a) *cubic rocksalt*, (b) *cubic zinc blende*, (c) *hexagonal wurtzite* (warna abu-abu dan hitam adalah atom Zn dan O) 20
Gambar 2. 5 Struktur Senyawa Gliserol 22
Gambar 2. 6 Struktur asam amino 25
Gambar 2. 7 Skema Alat Spektrofotometer Inframerah 28
Gambar 2. 8 Hasil Uji FTIR (Suryani et al., 2021) 28
Gambar 2. 9 Alat Uji Kuat Tarik 30
Gambar 4. 1 Reaksi Penggumpalan Protein dengan NaOH 48
Gambar 4. 2 Reaksi Hidrolisis Protein dengan HCl 49
Gambar 4. 3 Hasil Isolasi Protein Ampas Tahu 49
Gambar 4. 4 Hasil Uji Biuret 51
Gambar 4. 5 Reaksi Protein dengan Reagen Biuret 51
Gambar 4. 6 Hasil Destruksi 53
Gambar 4. 7 Spektra FTIR Protein Ampas Tahu 55
Gambar 4. 8 Bioplastik PAT 2,5% (a) PAT 3% (b) PAT 3,5% (c) PAT 4% (d) 59
Gambar 4. 9 Bioplastik PAT-Z 0,5% (a) PAT-Z 1% (b) PAT-Z 1,5% (c) PAT-Z 2% (d) 60
Gambar 4. 10 Spektrum FTIR Bioplastik PAT, PAT-Z 61
Gambar 4. 11 Skema Interaksi Protein, Glisero, ZnO 66

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar mutu bioplastik 14
Tabel 2. 2 Kandungan Gizi Ampas Tahu 19
Tabel 2. 3 Hasil Uji Gugus Fungsi Bioplastik Ampas Tahu 29
Tabel 3. 1 Variasi Protein Ampas Tahu- Gliserol 40
Tabel 3. 2 Variasi Protein Ampas Tahu- Gliserol- ZnO 41
Tabel 4. 1 Hasil Uji Unsur Penyusun Protein 50
Tabel 4. 2 Hasil Identifikasi Uji Biuret 52
Tabel 4. 3 Hasil analisis gugus fungsi Protein Ampas Tahu 57
Tabel 4. 4 Hasil analisis gugus fungsi Bioplastik PAT, PAT-Z 61
Tabel 4. 5 Hasil Uji Kuat Tarik PAT 63
Tabel 4. 6 Hasil Uji Kuat Tarik PAT- Z 65
Tabel 4. 7 Hasil Uji Elongasi PAT 68
Tabel 4. 8 Hasil Uji Elongasi PAT- Z 69
Tabel 4. 9 Hasil Daya Serap Air PAT 71
Tabel 4. 10 Hasil Daya Serap Air PAT- Z 72
Tabel 4. 11 Hasil Uji Biodegradabilitas PAT 74
Tabel 4. 12 Hasil Uji Biodegradabilitas PAT-Z 75

BAB 1
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Permasalahan sampah mengalami peningkatan pesat dan sudah menjadi permasalahan yang dihadapi di seluruh dunia termasuk Indonesia (Thotagamuge et al., 2021). Berdasarkan data dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS) menyebutkan bahwa Indonesia adalah negara penghasil sampah plastik ke laut di posisi kedua setelah Tiongkok. Pencemaran sampah plastik di laut meningkat hingga mencapai 1,29 juta ton per tahun (Khodijah & Tobing, 2023). Menurut data dari sistem informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2024), persentase sampah plastik dalam total timbunan sudah mencapai 19,64%. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan sekitar hingga 2% dibandingkan data tahun 2023.

Penumpukan sampah setiap hari semakin bertambah, salah satunya disebabkan oleh kehidupan manusia yang tidak bisa lepas dari plastik. Plastik sintesis merupakan salah satu jenis plastik yang umum digunakan masyarakat. Hal ini dikarenakan plastik sintesis tersedia dengan harga yang relatif terjangkau dan memiliki

berbagai keunggulan diantaranya fleksibilitas, ringan, kuat dan tahan lama, serta bervariasi dalam jenis dan fungsinya. Namun tumpukan sampah plastik tersebut menjadi permasalahan jika terus diabaikan akan berdampak pada lingkungan dan ekosistem, diantaranya menyebabkan pencemaran tanah, menimbulkan bau yang tidak sedap, timbulnya berbagai penyakit, bahkan dapat menyebabkan terjadinya bencana alam (Yang et al., 2022). Sebagaimana yang telah dijelaskan dalam Q.S Ar-Rum ayat 41 sebagai berikut:

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 tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar kembali (ke jalan yang benar)"(Q.S Ar-Rum [30]:41).

Dalam tafsir Al-Misbah, M. Quraish Shihab berpendapat mengenai rusaknya lingkungan, sosial, dan setiap individu termasuk perbuatan manusia yang mengabaikan norma-norma keagamaan. Hal ini dijelaskan bahwa kerusakan telah terlihat di daratan, seperti krisis

air, kekurangan hasil pangan, terancamnya keamanan, serta di lautan dengan terjadinya ketertenggelaman dan penurunan hasil laut maupun air sungai. Hal tersebut merupakan akibat dari perbuatan tangan manusia yang durhaka. Semakin parah kerusakan di lingkungan, maka semakin besar dampak buruk yang dirasakan oleh manusia. Tingkat kerusakan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya berbagai kejahatan manusia (Shihab, 2019). Permasalahan ini terjadi akibat kurangnya rasa tanggung jawab dan rasa sadar dalam diri manusia terhadap lingkungan yang menyebabkan berbagai kerusakan lingkungan. Kerusakan lingkungan salah satunya disebabkan oleh tumpukan sampah plastik. Plastik yang umum digunakan dalam aktivitas sehari-hari sulit terurai oleh alam, sehingga menumpuk diberbagai tempat, baik di daratan maupun lautan. Sampah plastik ini mencemari ekosistem, mengancam kehidupan satwa liar dan merusak kualitas tanah serta air. Selain itu, sampah plastik juga menghambat proses alami seperti penyerapan air hujan, yang bisa menyebabkan banjir. Jika tidak ditangani maka akumulasi sampah plastik akan terus memperburuk pada kondisi lingkungan dan membahayakan keberlanjutan kehidupan di bumi. Oleh karena itu, mengganti plastik sintesis dengan bioplastik

merupakan salah satu langkah untuk meminimalisir sampah plastik.

Plastik sebagian besar terbuat dari minyak bumi, sehingga sumber daya tersebut akan menipis jika di gunakan secara terus menerus (Yamada et al., 2020). Penggunaan plastik per hari mencapai 100 juta, yang didominasi oleh penggunaan plastik konvensional berbahan dasar petroleum. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan sekitar 7 juta barel minyak setiap harinya sebagai bahan dasar produksi plastik (Putnarubun *et al*., 2022). Proses degradasi plastik sintetik berlangsung dalam waktu yang lama sekitar 500-1000 tahun, seperti polipropilena (PP), polikarbonat (PC), polietilen (PE), polipropilen, polivinil klorida (PVC) dan polistirena (PS). Purwaningrum (2016), mengatakan bahwa mendaur ulang merupakan langkah yang sudah banyak dilakukan hingga saat ini, tetapi terdapat sisi negatif karena tidak semua plastik dapat di daur ulang dengan cara yang sama dan biaya yang diperlukan untuk pengolahan limbah tergolong cukup mahal, sehingga berdampak pada peningkatan harga produk limbah plastik. Maka dari itu, untuk menangani permasalahan tersebut adalah dengan melakukan inovasi pembuatan bioplastik *degradabel* yang lebih ramah lingkungan.

Bioplastik merupakan salah satu solusi yang menjanjikan karena membutuhkan waktu yang lebih cepat untuk terdegradasi di alam, sehingga dapat meminimalisir tumpukan sampah (Yang et al., 2021). Metode yang tepat untuk pembuatan bioplastik adalah dengan menggunakan bahan yang mengandung polimer alami terbarukan.

Protein merupakan salah satu bahan hidrokoloid yang dapat diperoleh dari kolagen, kasein, kulit udang, dan isolat protein (Antonius et al., 2020). Protein dapat digunakan sebagai bahan baku bioplastik dikarenakan termasuk polimer alami yang tersusun atas asam amino dan memiliki kemampuan membentuk film melalui ikatan hidrogen antar rantai polimer. Protein termasuk bahan yang bersifat hidrokolid (mampu membentuk dispersi kental atau gel ketika larut dalam air), sehingga memungkinkan protein untuk membentuk film yang memiliki karakteristik mirip dengan plastik. Protein memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh polimer lain seperti polisakarida diantaranya memiliki struktur yang terdiri dari 20 jenis monomer asam amino melalui ikatan kovalen. Protein dapat diperoleh dalam bentuk kosentrat atau isolat. Isolasi protein pada dasarnya memiliki dua tahap yaitu ekstraksi dan koagulasi (penggumpalan)

(Triyono, 2021). Isolasi protein biasanya dapat diisolasi menggunakan metode presipitasi dalam kondisi basa (pH >8) atau metode presipitasi isoelektrik. Metode presipitasi adalah metode pemisahan yang digunakan untuk mengendapkan zat terlarut dari larutan dengan cara menambahkan reagen. Metode presipitasi memiliki beberapa kelebihan diantaranya metode yang sangat sederhana, memerlukan biaya yang relatif rendah serta menggunakan zat pengendap yang mudah diperoleh (Fadlilah et al., 2018).

Ampas tahu merupakan limbah hasil samping dari proses produksi tahu yang mengandung karbohidrat dan protein dengan kadar yang sebanding dengan produk utama. Limbah ampas tahu yang diperoleh masih mengandung nutrisi yang tinggi terutama protein. Kandungan protein kasar mencapai 27,55%, lemak 4,93%, serat kasar 7,11% dan BETN 44,50% (Ummah, 2019). Ampas tahu termasuk limbah yang memiliki kandungan gizi cukup tinggi, nilai ekonominya masih tergolong rendah, daya simpan yang terbatas, memiliki nilai pH rendah sekitar 4-5 sehingga berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang ke lingkungan tanpa adanya proses daur ulang (Suryani et al., 2021). Selain itu, jika limbah ampas tahu dibuang langsung keperairan dalam

waktu yang singkat juga akan menimbulkan bau busuk dari gas H_2S, amonia dan fosfin (PH_3) sebagai akibat proses fermentasi limbah organik, sehingga dapat menimbulkan kerusakan ekosistem perairan (Idzni, 2020). Pemanfaatan ampas tahu saat ini masih terbatas hanya untuk makanan ternak, tetapi terdapat kesulitan pada hewan ketika proses pencernaan karena kandungan serat ampas tahu yang terlalu tinggi. Ampas tahu juga dapat dijadikan olahan kue maupun tempe gembus, tetapi berdasarkan Program Penelitian Teknologi Hasil Pertanian bahwa sekitar 75% kurang diminati oleh masyarakat karena memiliki tekstur yang kasar dan warna yang kurang menarik (Patricia, 2021). Penelitian sebelumnya oleh Selpiana (2016), dijelaskan bahwa protein kedelai merupakan bahan yang sangat berpotensi untuk pembuatan bioplastik karena setiap rantainya mengandung 20 jenis asam amino. Selanjutnya penelitian oleh Suryani, (2021) bahwa dengan bioplastik dari ampas tahu serta penambahan kitosan dan *plastisizerglycerin* diperoleh hasil kuat tarik sebesar 1,40-2,12 MPa, daya serap air sebesar 49,7% serta terdegradasi dalam waktu 7-14 hari. Berdasarkan penelitian tersebut maka protein berpotensi sebagai bahan dasar bioplastik. Namun, bioplastik dari protein ampas tahu saja belum mampu

menghasilkan sifat fisik yang optimal seperti kerapuhan, transparansi dan elastisitas. Hal ini dikarenakan adanya interaksi yang luas antara molekul-molekul pada polimer (Suryadri, 2021). Oleh karena itu, perlu penambahan bahan seperti *plastisizer*, filler seperti ZnO (*Zinc Oxide*).

ZnO merupakan penguat logam yang dapat berperan sebagai *filler* untuk meningkatkan kualitas material, termasuk dalam hal kekakuan, daya tahan serta stabilitas dimensi (Awang, 2018). Peran ZnO sebagai *filler*, dapat meningkatan pembentukan ikatan hidrogen dalam matriks polimer. Semakin banyak ikatan hidrogen maka semakin rendah elastisitas pada bioplastik. Penambahan ZnO yang relatif sedikit dapat menyebabkan ikatan hidrogen yang terbentuk juga masih sedikit. Namun apabila penambahan ZnO yang relatif banyak dan sudah mencapai titik jenuh, maka akan memperlemah ikatan hidrogen pada polimer. Hal ini terjadi karena ZnO akan membentuk ikatan tersendiri, yang dapat memperbesar ruang bebas pada matriks polimer sehingga jarak antar ikatan menjadi lebih jauh (Latifa et al., 2024). ZnO sebagai *filler* termasuk jenis logam yang ramah lingkungan dan jika diaplikasikan meningkatkan sifat mekanis dan daya tahan material (Hermansyah & Marbun, 2012). Hasil penelitian oleh Fatimah (2023), bahwa penambahan ZnO

mempengaruhi sifat mekanik berupa peningkatan kekuatan tarik dan perpanjangan putus. ZnO juga sering digunakan sebagai *filler* dalam polimer karena toksitasnya yang rendah dan kemampuan beradaptasi dengan lingkungan setelah degradasi, efisiensi biaya, tidak mengandung air permukaan serta proses produksi yang mudah (Rahman, 2020). Penelitian yang telah dilakukan oleh Latifa (2024), penambahan ZnO mempengaruhi nilai kekuatan tarik yang semakin besar, ketahanan hidrolisis air, penurunan nilai elongasi dan waktu degradasi. Kekuatan tarik yang diperoleh sebesar 7,848 MPa, nilai elongasi 13,285%, nilai *swelling* 31,8182% dan waktu terdegradasi selama 20 hari.

Kekuatan dan kelenturan *(elastisitas)* yang baik merupakan sifat penting yang harus dimiliki bioplastik agar tidak mudah putus selama uji sifat mekanik, serta harus memiliki *permeabilitas* yang lebih besar terhadap gas, uap air, dan zat terlarut, oleh karena itu perlu ditambahkan *plasticizer* (Harini et al., 2019). *Plasticizer* merupakan senyawa organik dengan berat molekul tergolong relatif rendah yang berfungsi untuk mengurangi gaya tarik antarmolekul pada rantai polimer yang berinteraksi secara langsung. Senyawa ini berfungsi meningkatkan sifat elastis dan menurunkan kekakuan

bioplastik dengan cara melemahkan ikatan hidrogen serta memperbesar jarak antar molekul dalam struktur polimer (Huwaidi, 2022). Semakin banyak penambahan *plasticizer* maka, sifat kelenturan bioplastik akan meningkat. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya gaya yang diperlukan untuk menekan. Pembuatan bioplastik berbasis protein biasanya memerlukan tambahan sedikit *plasticizer* untuk mengurangi kekakuan. Jenis *plastisizer* yang biasa digunakan pada bioplastik diantaranya gliserol, polietilen glikol (PEG), sorbitol, dan CMC *(Carboxy Methyl Cellulose*). Namun, *plastisizer* yang baik sebagai pemlastis dari bahan protein adalah gliserol (Valencia, 2019). Gliserol merupakan jenis *plasticizer* yang memiliki titik didih tinggi, bersifat polar, larut dalam air, tidak mudah menguap, dan larut dengan protein. Gliserol memiliki kemampuan menyerap air dan berat molekul yang tergolong rendah, sehingga mampu memasuki struktur rantai protein dengan mudah serta mampu membentuk ikatan hidrogen dengan gugus reaktif pada protein (Al Awwaly et al., 2010). Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Putri (2022), yaitu bioplastik pati limbah kulit pisang, ZnO dan gliserol diperoleh hasil bahwa penambahan gliserol memiliki peranan penting dalam meningkatkan sifat elastisitas bioplastik. Kandungan ZnO

30%, pati 5 g serta gliserol 2,5 mL memberikan hasil terbaik dengan nilai kuat tarik 14,76 MPa, elongasi 115,1%, daya serap air 22,56% dan kehilangan massa dalam tanah 57,62% selama 60 hari.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, pada penelitian ini dilakukan pembuatan bioplastik dengan bahan baku protein ampas tahu, penguat ZnO, serta *plasticizer* gliserol yang sebelumnya belum pernah dilakukan. Serta pada penelitian ini dilakukan uji sifat mekanik, uji daya serap air, uji biodegradasi, uji FTIR *(Fourier Transform Infra Red*) dan uji protein. Pembuatan bioplastik berbasis protein dari ampas tahu ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik bioplastik yang dihasilkan. Penelitian ini juga merupakan bagian dari implementasi program *green chemistry* guna memanfaatkan limbah secara berkelanjutan.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik protein dari ampas tahu?
2. Bagaimana karakteristik bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol- ZnO?
3. Bagaimana sifat biodegradasi dari bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol-ZnO?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik protein dari ampas tahu.
2. Untuk mengetahui karakteristik bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol-ZnO?
3. Untuk mengetahui sifat biodegradasi dari bioplastik protein ampas tahu-gliserol dan protein ampas tahu-gliserol- ZnO?

D. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat mengembangkan bahan bioplastik yang lebih ramah lingkungan.
2. Untuk mengembangkan potensi peneliti serta membuka peluang pemanfaatan limbah secara berkelanjutan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Bioplastik

Bioplastik adalah salah satu jenis plastik yang dihasilkan dari bahan-bahan alami atau sumber hayati yang dapat diperbaharui. Plastik jenis ini umunya disebut plastik *biodegradable*, yaitu plastik yang ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan proses penguraian terjadi secara alami dengan bantuan mikroba, oksigen, dan kondisi lingkungan tertentu, sehingga plastik ini dapat terdegradasi dalam waktu yang jauh lebih singkat daripada plastik konvensional (Elisusanti et al., n.d.). Bioplastik telah dikenal dan dikembangkan secara umum, termasuk di Indonesia sebagai plastik *biodegradable*. Bahan baku untuk pembuatan bioplastik melimpah dan dapat diperbaharui yang berasal dari sektor pertanian, perkebunan, maupun perikanan (Putnarubun et al., 2022).

Bioplastik atau plastik *biodegradable* diklasifikasikan menjadi tiga kategori menurut komposisi bahan dan prosedur kerja. Kategori pertama diperoleh melalui ekstraksi atau isolasi langsung dari biomassa seperti polisakarida (pati dan selulosa) serta protein (kasein dan

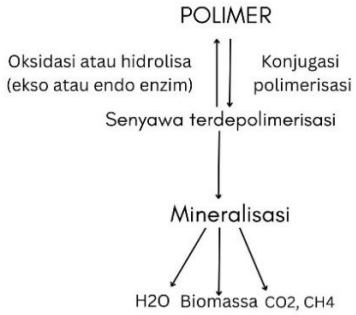
gluten). Kategori kedua berasal dari sintesis kimia melalui monomer-monomer yang berbasis bio terbarukan (r*enewable*) contohnya asam poli asetat, biopoliester yang dipolimerisasi dari asam laktat monomer yang diproduksi melalui fermentasi bahan baku karbohidrat, serta kategori III yang diproduksi dari mikroorganisme atau bakteri hasil rekayasa genetika (Stephen & Temitope, 2018).

Karakteristik bioplastik dikatakan berhasil apabila memenuhi parameter SNI (Standar Nasional Indonesia). SNI No.7818:2014 menetapkan standar untuk kantong plastik dan bioplastik tanpa cetakan yang digunakan sebagai bahan kemasan. Standar ini mencakup batas maksimum yang diperbolehkan serta metode pengujian verifikasi sesuai ketentuan SNI yang dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Standar mutu bioplastik

No.	Parameter	Nilai
1.	Kuat tarik	Minimal 13,7 MPa (SNI 7818:2014)
2.	Persen elongasi	400-1.120% (SNI 7818:2014)
3.	Biodegradasi	90% maksimal 180 hari (SNI 7188-7:2022, 2023)

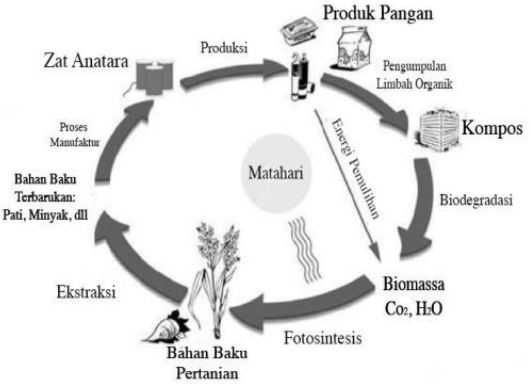
Polimer *biodegradable* adalah jenis polimer yang dapat terurai secara biologis melalui pemutusan rantai utama atau ikatan antar monomer menjadi bagian yang lebih pendek oleh mikroorganisme. Polimer dalam bioplastik dapat diuraikan melalui proses depolimerisasi menjadi biomassa, air, karbondioksida, dan metana melalui reaksi mineralisasi dan depolimerisasi (pemutusan rantai). Proses terjadinya biodegradasi polimer dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Siklus Degradasi Polimer

Berdasarkan Gambar 2.1 yaitu proses biodegradasi polimer terjadi diluar sel. Proses ini melibatkan mekanisme secara endonuklease dan eksonuklease. Endonuklease merupakan terjadinya pemutusan rantai utama polimer secara acak, sedangkan eksonuklease merupakan pemutusan polimer dari ujung rantai. Oligomer yang

dihasilkan dari proses pemutusan rantai akan masuk ke dalam sel dan terjadi proses mineralisasi yang menghasilkan air, biomassa, serta gas karbondioksida (CO_2), metana (CH_4) dan nitrogen (N_2) (Noezar et al., 2018). Proses biodegradasi polimer bioplastik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Siklus Biodegradasi Polimer Plastik Biodegradable

Penguraian bioplastik oleh mikroorganisme (bakteri, jamur, *algae*) pada Gambar 2.2 merupakan bagian dari siklus produk yang ramah lingkungan. Proses penguraian bioplastik juga dapat berfungsi dalam peningkatan unsur hara serta kualitas tanah. Hal ini dikarenakan bahan dasar bioplastik berasal dari sumber tanaman pertanian sehingga memudahkan proses biodegradasi. Tanaman pertanian dimanfaatkan melalui proses ekstraksi untuk memperoleh

pati, protein, dan komponen lainnya yang berfungsi sebagai bahan dasar pembuatan bioplastik. Proses ini tergolong efektif dan efisien dikarenakan memanfaatkan berbagai jenis polimer alami. Namun demikian, bioplastik yang dihasilkan umumnya memiliki sifat mekanik yang relatif rendah, dan cenderung rapuh, rentan terhadap kerusakan akibat pengaruh termal, sehingga memerlukan penambahan bahan pemlastis dan penguat. Bioplastik ini digunakan dalam kemasan pangan dan setelah digunakan dapat terurai di dalam tanah menjadi kompos yang bermanfaat untuk tumbuhan (Ibaw, 2005).

2. Ampas Tahu

Tahu merupakan produk pangan yang dihasikan dari pengolahan kedelai. Tahu memiliki gizi tinggi, harga relatif murah dan terjangkau, khususnya bagi kalangan masyarakat kelas menengah ke bawah. Produk ini dapat diolah dalam berbagai bentuk sebagai alternatif sumber pangan pengganti sayuran maupun lauk pauk. Tingkat konsumsi makanan berbahan dasar tahu yang melimpah, maka mengakibatkan limbah ampas tahu yang dihasilkan dari produksi tahu juga meningkat. Sampel ampas tahu dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Ampas Tahu

Secara umum limbah ampas tahu tahu dalam hal pemanfaatannya masih terbatas hanya sebagai pakan hewan ternak maupun makanan (tempe gembus). Namun, ampas tahu memiliki kekurangan diantaranya nilai jual yang rendah, ketidakmampuan untuk disimpan dalam jangka waktu lama akibat kadar air yang tinggi serta potensi pencemaran lingkungan apabia tidak dikelola dengan baik.

Berdasarkan data dari Dinas Peternakan Propinsi Jawa Timur, (2012) bahwa ampas tahu mengandung berbagai komposisi kimia seperti protein, lemak, air, dan abu yang dapat dilhat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan Gizi Ampas Tahu

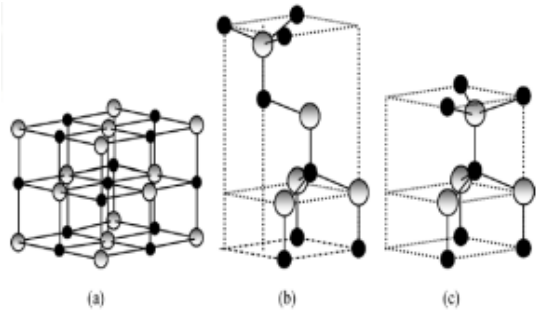
Nutrisi	Ampas Tahu (%)	
	Basah	**Kering**
Bahan kering	14,69	88,35
Protein total (Kasar)	29,1	23,39
Serat total (Kasar)	3,76	19,44
Kandungan Lemak Kasar	1,39	9,96
Kandungan mineral (abu)	0,58	4,58
BETN (Ekstrak Tanpa Nitrogen)	6,05	30,48

3. ZnO

ZnO adalah senyawa anorganik yang umumnya berwujud serbuk putih atau *zinicite* mineral, tidak larut dengan air tetapi larut dengan asam. Penggunaan ZnO memiliki kelebihan diantaranya harganya murah, persediaannya melimpah, struktur kimia stabil, dapat digunakan mendoping material, mobilitas elektron yang tinggi, transparansi yang baik serta celah pita energi yang besar (Prastyo R et al., 2012).

ZnO merupakan kristal yang terbentuk dari senyawa utama yang terdiri dari kation dan anion yang memiliki pola teratur dan berulang. Keteraturan pola tersebut menghasilkan kisi kristal dengan bentuk yang bervariasi. Zno memiliki tiga jenis struktur kristal, yaitu struktur

hexagonal wurtzite, cubic zinc blende, dan *cubic rocksalt (Rochelle salt).* Bentuk struktur ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Hayati, 2018).



Gambar 2.4 Struktur Zno (a) *cubic rocksalt*, (b) *cubic zinc blende*, (c) *hexagonal wurtzite* (warna abu-abu dan hitam adalah atom Zn dan O)

Berdasarkan Gambar 2.4 pada struktur *wurtzite* dan *cubic zinc blende* setiap anion berikatan dengan empat kation dalam konfigurasi tetrahedral. Namun, struktur *wurtzite* lebih stabil dibandingkan dengan bentuk kristal ZnO lainnya. Hal ini dikarenakan mampu bertahan dalam kondisi tekanan normal pada suhu ruang. Sementara itu, struktur ZnO *zinc blende* biasanya terbentuk pada substrat dengan struktur kubik, sedangkan struktur *rocksalt* hanya terbentuk ketika ZnO berada dibawah tekanan yang tinggi.

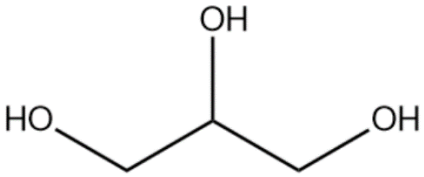
ZnO termasuk semikonduktor bertipe-n dari golongan IIB-IVA dengan *band gap* sebesar 3,2 *Ev* pada suhu kamar.

Selain itu, ZnO bersifat aman secara biologis (*bio-safe*) dan kompatibel dengan jaringan hidup (*bio-compatible)* sehingga dapat digunakan dalam aplikasi medis tanpa memerlukan lapisan pelindung tambahan. ZnO juga memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap dan menahan radiasi. Material ZnO ini sudah banyak dilakukan penelitian aktivitasnya untuk antijamur, antibakteri, antiinflamasi, antimikroba, antioksidan, antikanker, antikorosi dan sensor gas (Yunita et al., 2020). Penelitian yang telah dilakukan oleh Eldo, (2012) yaitu penambahan ZnO sebagai penguat pada pembuatan bioplastik dari pati ubi jalar, serta tambahan gliserol diperoleh nilai kuat tarik yang semakin meningkat.

4. Gliserol

Gliserol merupakan senyawa yang memiliki tiga gugus hidroksil dan termasuk kelompok alkohol polihidrat. Senyawa ini memiliki rumus kimia C_3H_8O dan dikenal dengan nama 1,2,3-propanatriol. Gliserol memiliki berat molekul gliserol sebesar 92,10 dan massa jenis mencapai 1,23 g/cm^3 (Hayati, 2018). Proses produksi gliserol dapat dilakukan melalui beberapa tahapan, antara lain reaksi transterifikasi, saponifikasi serta hidrolisis minyak (Heraton, 2022).

Gliserol merupakan molekul kecil dan bersifat tidak beracun yang berperan dalam mengurangi interaksi antar rantai polimer serta meningkatkan jarak antar molekul. Hal ini menyebabkan peningkatan fleksibilitas dan daya regang pada bioplastik. Fungsi penambahan *plasticizer* gliserol untuk meningkatkan kekuatan fisik dan mekanik dari bioplastik (Ningsih, 2015). Gliserol merupakan *plasticizer* yang efektif untuk film berbasis hidrofilik, seperti pektin, pati, gel, serta pati termodifikasi dan digunakan dalam produksi bioplastik berbasis berbahan dasar protein. Struktur senyawa gliserol dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur Senyawa Gliserol

Sifat fisika dari gliserol sebagai berikut:(Heraton, 2022)

Rumus Kimia	: C_3H_8O
Berat molekul	: 92,095 g/mol
Wujud	: cair, kuning pucat
Titik leleh	: 290^0 C
Titik didih	: 18^0 C

Densitas : 1,261 g/cm^3

Kemurnian : 99%

Keunggulan gliserol sebagai *plasticizer* terletak pada bentuknya yang cair, sehingga mudah larut dalam larutan pembentuk film maupun dalam air. Hal ini berbeda dengan sorbitol berbentuk serbuk yang cenderung lebih sulit larut serta mudah mengalami kristalisasi pada suhu ruang (Al Awwaly et al., 2010). Selain itu gliserol juga memiliki sifat higrokopis, yaitu kemampuannya untuk menyerap uap air dari udara (Ningsih, 2015).

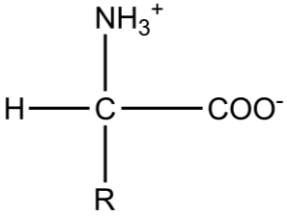
Penelitian yang telah dilakukan oleh Selpiana (2016) yaitu bioplastik dari protein ampas tahu dan selulosa ampas tebu serta penambahan kitosan dan gliserol diperoleh hasil bahwa penambahan gliserol berpengaruh terhadap bioplastik yang dihasilkan. Semakin banyak penambahan gliserol akan berbanding lurus dengan meningkatnya nilai elongasi yaitu sebesar 11,95% pada penambahan gliserol 3 mL dan 3 g kitosan, serta nilai kuat tarik sebesar 13,2175 Kgf/cm^2.

5. Uji Protein

Protein secara etimologis berasal dari bahasa Yunani "protos" yang berarti paling utama. Oleh karena itu, protein dikategorikan sebagai senyawa organik kompleks dengan massa molekul besar. Protein memiliki rumus kimia COOH-

RH-NH2 dan tersusun sekitar 21 jenis asam amino. Asam amino memiliki keragaman pada rantai sampingnya, sehingga dapat memengaruhi sifat-sifat protein yang terbentuk. Berbagai jenis asam amino dapat menghasilkan protein dengan struktur sekunder dan tersier yang sangat bervariasi. Protein yang mengandung asam amino polar dalam jumlah tinggi umumnya memiliki kelarutan yang lebih baik dalam air (Dwiningrum et al., 2023).

Asam amino merupakan unit monomerik penyusun protein dan termasuk hasil utama dari proses penguraian protein. Gugus amino ($-NH_2$) dan gugus karboksil (-COOH) merupakan komponen yang terdapat dalam setiap asam amino. Dua asam amino yang berikatan akan terbentuk senyawa yang disebut dipeptida. Sementara itu, ikatan antara tiga asam amino menghasilkan tripeptida. Rangkaian asam amino yang jumlahnya kurang dari sepuluh disebut dengan istilah oligopeptida. Apabila kurang dari lima puluh dinamakan polipeptida. Ikatan peptida terbentuk melalui reaksi antara gugus karboksil dan gugus amino yang disertai pelepasan satu molekul air (H_2O) dalam proses kondensasi (Subagiono, 2019). Struktur asam amino dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur asam amino

Penentuan kadar protein dapat dilakukan dengan mendeteksi sifat kimia maupun fisik yang dimiliki oleh protein serta menentukan kandungan nitrogen secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu zat, gugus fungsi maupun senyawa tertentu dalam sampel. Beberapa analisis kualitatif dapat dilakukan dengan uji ninhydrin, uji reaksi Biuret dan uji reaksi million (Caron & Markusen, 2016).

Analisis kuantitatif adalah metode untuk menentukan kadar protein dalam suatu sampel. Adapun analisis kuantitatif biasanya menggunakan metode kjeldahl, spektrofotometri UV dan turbidimetri atau kekeruhan (Pakerti & Purnama, 2022). Metode *makro kjeldahl* SNI 01-2891-1992 dapat digunakan untuk menguji kadar protein pada sampel yang diinginkan. Metode *makro* kjeldahl merupakan metode yang sederhana untuk mengukur kadar protein secara keseluruhan dengan menentukan

persentase nitrogen (N%) dalam suatu sampel (Pakerti & Purnama, 2022).

Metode makro *Kjeldahl* melibatkan tiga tahapan diantaranya destruksi, destilasi, dan titrasi. Metode *Kjeldahl* memiliki kelebihan diantaranya jumlah sampel dan pereaksi yang diperlukan relatif sedikit, waktu yang diperlukan singkat. Prinsip metode *Kjeldahl* meliputi proses oksidasi senyawa yang mengandung nitrogen sehingga terbentuk amonia. Amonia tersebut kemudian bereaksi dengan asam pekat untuk menghasilkan garam amonium. Selanjutnya, larutan basa ditambahkan untuk menetralkan larutan, dan campuran didestilasi dengan asam. Terakhir, jumlah nitrogen yang telah dikonversi diukur melalui titrasi. Adapun rumus untuk menghitung kadar protein menggunakan Persamaan 2.1 (Rumenser et al., 2021).

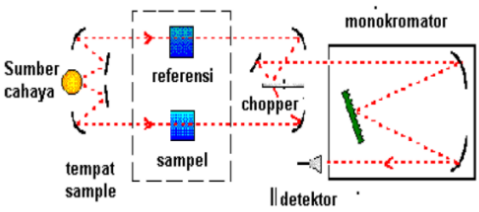
$$\% \text{ protein} = \frac{(V1-V2) \times N \times \text{Ar N x fk x fp}}{W} \text{ x } 100 \% \qquad (2.1)$$

Dengan V_1 adalah jumlah HCI 0,01 N pada titrasi dan V_2 adalah jumlah HCI pada blanko. Adapun N adalah normalitas pada HCI, sedangkan Ar N yaitu massa atom nitrogen (14,008 g/mol) dan W adalah berat sampel yang digunakan untuk analisis.

6. Analisis FT-IR

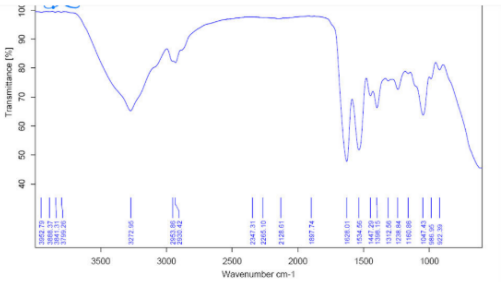
Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) adalah teknik spektroskopi serapan yang menggunakan cahaya inframerah dari spektrum elektromagnetik untuk menghasilkan spektrum. Spektroskopi inframerah berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa (Nandiyanto et al., 2020).

Spektroskopi FTIR adalah teknik spektroskopi serapan yang memanfaatkan radiasi inframerah dari spektrum elektromagnetik untuk menghasilkan spektrum senyawa. Prinsip kerja spektroskopi FTIR yaitu interaksi antara energi radiasi inframerah dengan tingkat energi vibrasi (getaran) ikatan antar atom dalam molekul. Molekul yang menyerap radiasi inframerah akan terjadi eksitasi pada mode vibrasi sehingga amplitudo getaran atom-atom yang berikatan meningkat. Setelah molekul kembali ke keadaan dasar, energi yang telah diserap dilepaskan, terutama pada suhu tinggi. Penyerapan radiasi inframerah sangat dipengaruhi oleh jenis ikatan dalam molekul. Molekul dengan jenis ikatan yang berbeda akan menyerap gelombang inframerah pada panjang gelombang yang berbeda (Isnaini, 2019). Skema gambar alat spektrofotometer inframerah ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema Alat Spektrofotometer Inframerah (Isnaini, 2019)

Spektrum inframerah diperoleh dengan cara mengirimkan cahaya inframerah melalui sampel, kemudian intensitas cahaya yang ditranmisikan diukur menggunakan detektor. Nilai intensitas ini diinterpretasikan dengan membandingkan terhadap intensitas tanpa sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang. Hasil pengukuran yang diperoleh diplotkan dengan hubungan antara intensitas dengan energi atau bilangan gelombang (cm^{-1}) (Septiani, 2022). Hasil spektrum FTIR limbah ampas tahu dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hasil Uji FTIR Protein Ampas Tahu (Suryani et al., 2021)

Berdasarkan Gambar 2.8 hasil karakterisasi uji gugus fungsi menggunakan FTIR oleh Suryani, (2021) diperoleh hasil bahwa menunjukkan keberadaan senyawa amida dalam protein ampas tahu, yang merupakan bahan utama dalam pembuatan bioplastik. Senyawa amida dan lipid terdeteksi pada rentang bilangan gelombang 1628-1635 cm^{-}, 1230-1238 cm^{-}, 1517-1576 cm^{-}, dan 1649-1652 cm^{-}. Hasil uji gugus fungsi ini menunjukkan bahwa tidak mengalami penambahan gugus fungsi baru, tetapi hanya terjadi pembuatan bioplastik protein ampas tahu yang bereaksi secara fisika. Selain itu diperoleh adanya panjang gelombang transmisi sekitar 3.277.49 cm^{-} 3.272.95 cm^{-} pada setiap sampel yang diuji. Nilai transmisi yang terdeteksi menunjukkan keberadaan senyawa OH^{-} yang berasal dari *plasticizer* gliserin. Gliserin mengandung senyawa dari golongan alkohol yang memiliki tiga gugus hidroksil atau OH dalam satu molekulnya. Hasil uji gugus fungsi dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Hasil Uji Gugus Fungsi Bioplastik Ampas Tahu

Sampel	**Gugus fungsi**	**Bilangan gelombang (cm^{-1})**
Protein+*Glycerin* 40%+kitosan	Gugus Hidroksil	3273, 87
	Amida	1630, 42
	Metilen CH	1448, 20
	Amino Primer	1039, 95
	Metilen CH	920, 10

7. Uji Sifat Mekanik

Analisis kekuatan tarik diperlukan untuk mengetahui kekuatan bioplastik terhadap gaya yang berasal dari luar. Hasil dari pengujian ini memiliki kaitan erat dengan jumlah dan karakteristik komponen penyusun material. Kuat tarik yaitu gaya maksimum yang dapat ditahan oleh bioplastik yang dipengaruhi oleh penambahan bahan plastik (Patricia, 2021). Selain itu, kuat tarik merupakan akibat dari interaksi ikatan antara atom dalam polimer serta ikatan sekunder antar rantai polimer ketika material mengalami gaya dari luar (Wiradipta, 2017). Alat uji kuat tarik ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Alat Uji Kuat Tarik

Nilai uji yang diperoleh dapat digunakan rumus Persamaan 2.2 (Khotimah et al., 2022).

$$TS=\frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dengan TS adalah kekuatan tarik (kg/c m^2), F adalah beban maksimum (kg) sedangkan A adalah luas permukaan awal (cm^2).

Elongasi merupakan persentase peningkatan panjang bioplastik setelah mengalami putus akibat gaya yang diberikan. Nilai elongasi diperoleh dengan menghitung perubahan panjang yang terjadi pada selama pengujian dengan menggunakan Persamaan 2.3 (Khotimah et al., 2022).

$$\text{Elongasi} = \frac{L - Lo}{Lo} \quad (2.3)$$

Dengan L adalah panjang akhir (cm) dan Lo adalah panjang mula-mula (cm).

8. Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui ketahanan air pada bioplastik yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan plastik memiliki berbagai macam penggunaan sehingga diperlukan ketahanan air yang tinggi. Uji daya serap dilakukan dengan mengamati pembentukan ikatan pada komponen yang diuji serta tingkat keteraturan pada ikatan berdasarkan peningkatan massa polimer selama proses pengembungan. Persentase pdaya serap air air dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.4 (Khotimah et al., 2022).

$$\text{A \%} = \frac{W - Wo}{Wo} \text{ x } 100\% \quad (2.4)$$

Dengan A adalah persen daya serap air, W adalah berat uji setelah perendaman(g), W_0 adalah berat uji mula-mula (g). Persentase air yang diserap kemudian dihitung lebih lanjut menggunakan rumus pada Persamaan 2.5.

Ketahanan Air (%) = 100% - persen air yang diserap (2.5)

9. Uji Biodegradasi

Uji biodegradasi bertujuan untuk menguji kemampuan bioplastik dalam mengalami penguaraian secara sempurna saat berada di dalam tanah. Uji ini menunjukkan bahwa bioplastik dapat terdegradasi secara sempurna apabila persentase berat bioplastik menurun (% *weight loss*) mencapai 100%. Nilai hasil uji biodegradasi dihitung menggunakan Persamaan 2.6 (Nadialista Kurniawan, 2021).

$$\%W = \frac{Wi - Wf}{Wi} \times 100\% \quad (2.6)$$

Dengan Wi adalah berat kering awal sebelum diletakan dalam media (g), dan Wf adalah berat kering akhir (g).

B. Kajian Hasil Penelitian yang Relevan

Penelitian terdahulu merupakan acuan peneliti dalam mencari perbandingan dan menggali inovasi untuk penelitian yang dilakukan.

Suryani et al (2021) telah melakukan penelitian pembuatan bioplatik dari ekstrak protein ampas tahu dengan penambahan kitosan dan *plasticizer* gliserol. Bioplastik yang dihasilkan memiliki kuat tarik 1,40-2,12 MPa, daya serap air sebesar 49,7% serta waktu degradasi selama 7-14 hari. Kelebihan penelitian tersebut yaitu kemampuan menghasilkan bioplastik yang cepat terdegradasi, namun daya serap air yang tinggi yang bisa mengurangi ketahanan terhadap air pada bioplasik.

Prasatyawati (2024) telah mensintesis bioplastik dari pati ganyong dan protein kasein susu afkir. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa kandungan protein yang tinggi menjadikan bioplastik lebih kuat dan kaku tetapi elongasi menurun. Namun, pada kandungan protein yang rendah menjadikan nilai kuat tarik menurun dan elongasi meningkat. Dengan demikian, protein dapat digunakan sebagai salah satu bahan pembuatan bioplastik dikarenakan memiliki struktur polimer alami yang tersusun dari rantai asam amino yang memungkinkan terbentuknya ikatan antar molekul membentuk film bioplastik. Selain itu,

kemampuan untuk terurai secara alami menjadikan protein berpotensi sebagai bahan baku untuk pembuatan bioplastik yang lebih ramah lingkungan.

Peningkatan sifat mekanik bioplastik dapat dicapai melalui penambahan ZnO. Amni (2015) telah melakukan penelitian perbandingan penguat ZnO dan nano serat jerami padi pada bioplastik. Hasil yang diperoleh adalah bioplastik dengan penguat ZnO memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar dibandingkan dengan bioplastik berpenguat nano serat jerami padi maupun campuran keduannya. Hal ini dikarenakan gugus dari ZnO dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil (OH) yang terdapat pada rantai polimer, sehingga keduannya mampu berikatan. Kekuatan tarik pada bioplastik sangat dipengaruhi oleh jumlah penguat yang ditambahkan. Semakin tinggi kosentrasi penguat, maka semakin banyak interaksi ikatan hidrogen yang terbentuk dalam struktur film sehingga kuat tarik akan meningkat (-OH...O-Zn).

Putri (2022) juga mengkaji karakteristik bioplastik dari pati limbah kulit pisang dengan ZnO dan gliserol. Dari penelitian diperoleh hasil terbaik pada ZnO 30% dan gliserol 25 mL dengan kuat tarik 14,76 MPa, elongasi 115,1%, daya serap air 22,56% dan wakti terdegradasi dalam tanah 57,62% selama 60 hari. Elastisitas dan daya

serap air yang diperoleh sudah memenuhi standar SNI bioplastik SNI 7188.7:2016, namun kuat tarik yang dihasilkan terlalu tinggi dan waktu terdegradasi sangat lama. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh massa ZnO yang ditambahkan terlalu banyak.

Latifa et al (2024) memanfaatkan pati umbi ganyong dengan penambahan ZnO dan gliserol. Hasil menunjukkan bahwa penambahan ZnO meningkatkan kuat tarik sebesar 7,848 MPa namun menurunkan nilai elongasi dan waktu terdegradasi hingga 20 hari. Kelebihan dari penelitian ini adalah peningkatan yang signifikan pada kekuatan mekanik karena penambahan ZnO, tetapi terdapat kekurangan pada elastisitas dan waktu terdegradasi yang lama.

Gliserol dapat digunakan sebagai pemlastis pada bioplastik berbasis protein ampas tahu. Permata et al (2024) telah melakukan penelitian mengenai variasi gliserol pada bioplastik limbah cair tahu. Penambahan gliserol berpengaruh pada peningkatan nilai elongasi, daya serap air, kuat tarik dan biodegradabilitas. Semakin tinggi kosentrasi gliserol maka daya serap air, elongasi dan waktu terdegradasi meningkat, tetapi menurunkan kuat tarik. Variasi gliserol paling optimum pada kosnetrasi 7% (b/v) dengan kuat tarik 12,2 MPa, elongasi 15,39%, daya serap air 52,54% dan terdegradasi 8,26%/hari. Dengan demikian,

dalam penelitian ini digunakan gliserol sebagai pemlastis pada pembuatan bioplastik.

C. Hipotesis

Jika ZnO dapat meningkatkan sifat mekanik dan menurunkan daya serap air pada bioplastik berbahan dasar pati miaka, penambahan ZnO pada bioplastik berbasis protein ampas tahu juga dapat meningkatkan kuat tarik dan menurunkan daya serap airnya. Hal ini disebabkan karena ZnO dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil (-OH) pada rantai polimer melalui ikatan hidrogen. Oleh karena itu, dapat meningkatkan kekuatan material serta sifat hidrofobik yang mampu menurunkan daya serap airnya.

BAB III
METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan bioplastik diantaranya ampas tahu yang diambil dari pabrik tahu daerah Mijen sebagai sumber protein, serbuk ZnO, gliserol, natrium hidroksida (NaOH) 2N, NaOH 10%, NaOH 50%, NaOH 30%, (NaOH) 0,1 N (Merck), aquades (H_2O), selenium , tembaga sulfat ($CuSO_4$) 0,2% (Merck), asam sulfat (H_2SO_4) pekat (Merck), asam klorida (HCI) 0, 01 N, HCI 2N (Merck), larutan asam borat 2%, batu didih, Indikator Phenolphthalein dan bahan untuk uji biodegradasi yaitu tanah kompos.

2. Alat

Alat yang digunakan antara lain gelas *beaker* (Duran), gelas erlenmeyer (*pyrex*), batang pengaduk (*pyrex*), pipet tetes (*pyrex*), kertas saring, cawan porselen, Indikator pH, pH meter (Hanna), oven, blender, *sentrifuge* (TOMY, TX-160), 1 set alat dekstruksi, 1 set alat destilasi, buret, statif, neraca analitik (Precisa XT 220 A), gelas ukur, pipet volume 5

mL, *hotplate*, plat kaca 20 cm×20 cm, *Magnetic stirrer (*Thermolyne Cimarec-2)*,* corong gelas, kain bersih, dan desikator. Alat analisis diantaranya FTIR *(Fourer Tranform Infrared)* Shimadzu (Parkin-Elimer UATR Spectrum Two) dan alat *tensile strength* (TO-101G).

B. **Prosedur Kerja**

1. Preparasi Bahan

a. Proses Isolasi Protein Ampas Tahu

Proses isolasi protein dari ampas tahu dimulai dengan mencampurkan ampas tahu basah dengan aquades hingga terendam semua. Langkah berikutnya diekstraksi dengan NaOH 2 N sampai pH 8 pada suhu 50^0 C, kemudian dibiarkan selama 1 jam. Hasil ekstraksi kemudian disaring menggunakan kain dan kertas saring. Protein terekstrak yang diperoleh ditambahkan larutan HCI 2 N sampai pH 4,5 dan disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 10^0 C selama 15 jam. Kemudian disentrifuse dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan endapan protein. Proses ini diikuti dengan mencuci endapan protein menggunakan aquades sampai pH netral sesuai dengan pH aquades yang digunakan dan disentrifuse kembali dengan

kecepatan yang sama selama 10 menit. Protein yang telah diisolasi dikeringkan dengan oven pada suhu 50^0 C selama 24 jam. Kemudian dihaluskan dengan menggunakan grinder dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk mendapatkan hasil protein ampas tahu yang murni. Protein ampas tahu yang terbentuk dikarakterisasi dengan FTIR dan dilakukan uji kualitatif protein maupun uji kuantitatif protein menggunakan metode kjeldahl (Nurdjannah & Usmiati, 2006).

2. Sintesis Bioplastik

a. Pembuatan bioplastik dari protein ampas tahu dan gliserol (PAT)

Protein ampas tahu (2,5%, 3%, 3,5% dan 4% b/v) masing-masing dilarutkan dengan 100 mL aquades hingga homogen. Langkah berikutnya dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 80^0 C dan di aduk dengan *magnetic stirrer* agar tidak terjadi pengendapan. Langkah selanjutnya dilakukan pengadukan hingga homogen (gel). Gel yang telah terbentuk dituangkan ke dalam plat kaca yang berukuran 20 cm x 20 cm, dan proses pengovenan dilakukan selama 24 jam pada suhu

tetap 60°C. Bioplastik yang telah terbentuk didiamkan pada suhu ruang. Setelah bioplastik kering dapat dilepas dari cetakan plat kaca. Masing-masing bioplastik yang terbentuk dikarakterisasi dengan FTIR dan uji sifat mekanik (Latifa et al., 2024). Variasi ampas tahu dan gliserol disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Protein Ampas Tahu- Gliserol

Kode sampel	Protein ampas tahu (g)	Gliserol (mL)
PAT 2,5%	2,5	1
PAT 3%	3	1
PAT 3,5%	3,5	1
PAT 4%	4	1

b. Pembuatan bioplastik dari protein ampas tahu- gliserol-ZnO (PAT-Z)

Bioplastik dari protein ampas tahu dan gliserol dengan hasil terbaik dilanjutkan dengan penambahan variasi ZnO. Komposisi ampas tahu terbaik dilarutkan dengan 100 mL aquades hingga homogen dengan menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen. Selanjutnya dilakukan penambahan variasi variasi ZnO (ditunjukkan

pada tabel 3.2) serta dilakukan pengadukan hingga homogen (gel). Gel yang telah terbentuk dituangkan ke dalam plat kaca yang berukuran 20 cm x 20 cm, dan proses pengovenan dilakukan selama 24 jam pada suhu tetap 60°C. Bioplastik yang telah terbentuk didiamkan pada suhu ruang. Setelah bioplastik kering dapat dilepas dari cetakan plat kaca. Masing-masing bioplastik yang terbentuk dikarakterisasi dengan FTIR, uji sifat mekanik, uji daya serap air, dan uji *biodegradabilitas* (Latifa et al., 2024)**.** Variasi ampas tahu-gliserol-ZnO disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Variasi Protein Ampas Tahu- Gliserol-ZnO

Kode sampel	**Protein ampas tahu + Gliserol (g)**	**ZnO (g)**
PAT-Z 0,5%	3	0, 5
PAT- Z 1%	3	1
PAT-Z 1,5%	3	1,5
PAT-Z 2%	3	2

3. Uji dan Karakterisasi

a. Uji Kualitatif Protein

Pengujian kualitatif protein dilakukan dengan menganalis kandungan unsur penyusun protein.

Sebanyak 1 g sampel protein ampas tahu dimasukkan ke dalam cawan porselen kemudian ditutup dengan kaca dan dipanaskan hingga muncul uap air. Hasil positif pengujian ini ditandai dengan terbentuknya embun pada kaca yang menunjukkan keberadaan unsur hidrogen (H) dan oksigen (O). Langkah selanjutnya apabila tercium aroma seperti bau rambut terbakar maka mengindikasikan adanya unsur nitrogen (N). Terakhir dilakukan pemanasan dan jika terjadi pengarangan maka menunjukkan adanya atom karbon (C) (Yuliana et al., 2021).

Pengujian selanjutnya yaitu dilakukan uji Biuret. Dua tabung reaksi disiapkan dan masing-masing diisi dengan 2 mL sampel. Kemudian, 1 mL NaOH 10% dan $CuSO_4$ 0,2% ditambahkan ke setiap tabung dan dicampur hingga merata. Hasil positif ditandai dengan terjadinya warna ungu yang menunjukkan adanya protein (Yuliana et al., 2021).

b. Uji Kuantitatif Protein

Penentuan kadar protein menggunakan metode kjeldahl terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap dekstruksi, tahap distilasi dan tahap titrasi.

Sampel protein ampas tahu sebanyak 0,51 g dimasukkan ke dalam labu *Kjeldahl*, kemudian ditambahkan 2 g selenium dan 25 mL H_2SO_4 pekat. Selanjutnya, dilakukan proses destruksi hingga larutan menjadi jernih berwarna hijau. Setelah itu, larutan dibiarkan dingin dan diencerkan hingga tanda batas ke dalam labu ukur 100 mL. Langkah selanjutnya dimasukkan 5 mL larutan, kemudian ditambahkan 5 ml NaOH 30% ke dalam alat destilasi serta hasil distilat ditampung dalam 10 mL larutan asam borat 2% dan ditambah beberapa tetes indikator PP. Setelah diperolah hasil distilat, selanjutnya dilakukan titrasi dengan HCI 0,01 N serta larutan blanko yang sebelumnya sudah dilakukan standarisasi dengan larutan $Na_2B_4O_7$ 0,01 N. Selanjutnya dilakukan perhitungan penentuan kadar protein menggunakan rumus 2.1 (Rumenser et al., 2021).

c. Analisa Gugus Fungsi FT-IR

Pada pengujian FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk sampel protein ampas tahu ditimbang sebanyak 1 mg dan KBr sebanyak 100 mg kemudian dimasukkan ke dalam mortar dan

digerus sampai halus serta tercampur merata. Selanjutnya dimasukkan ke dalam alat pres, lalu dipres alat sampai terbentuk lapisan tipis transparan pelet KBr. Kemudian dikeluarkan pelet KBr dan diletakkan pada holder sampel dan dilakukan pengukuran.

Pada pengujian bioplastik protein ampas tahu- gliserol dan bioplastik protein ampas tahu-gliserol-ZnO diletakkan dalam wadah uji. Sampel dianalisis pada daerah serapan 500 hingga 4000 cm^{-1} untuk memperoleh spektrum FTIR. Tujuan karakterisasi FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada protein ampas tahu dan bioplastik (Sulistyani & Huda, 2018).

d. Uji Sifat Mekanik

Pada pengukuran nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik digunakan alat instrumen (*tensile strength*) dan dilakukan secara duplo. Proses ini dimulai dengan memotong sampel bioplastik dengan ukuran 2 x 8 cm. Selanjutnya, kedua ujung sampel tersebut dijepit erat pada genggaman mesin uji. Dengan mesin uji ini, dilakukan pengukuran beban dan tegangan yang diterapkan

pada sampel bioplastik. Kecepatan pengujian diatur sesuai dengan laju yang diinginkan untuk menghasilkan data yang akurat. Setelah pengujian selesai, nilai tegangan-beban pada saat putus dicatat (Sri, 2018) kemudian dilakukan perhitungan dengan Persamaan 2.2.

Uji elongasi bioplastik dilakukan dengan memotong sampel berukuran 2×8 cm. Perhitungan persentase elongasi berdasarkan perubahan panjang plastik *biodegradable* tepat sebelum putus. Nilai elongasi dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.3 (Sri, 2018).

e. Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air dilakukan secara duplo, dimulai dengan memotong bioplastik dengan ukuran 2x2 cm dan ditimbang untuk memperoleh berat awal. Selanjutnya bioplastik direndam di dalam gelas kimia yang diisi dengan aquades 10 mL selama 10 detik. Setelah proses perendaman, bioplastik diangkat dari dalam wadah berisi aquades dan permukaannya dilap menggunakan tisu. Setelah kering selanjutnya ditimbang untuk memperoleh berat akhir sempel, sehingga akan didapatkan persentase air yang

diserap. Setelah diperoleh hasil penimbangan berat maka, dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2.4 dan 2.5 (Rojtica, 2021).

f. Uji Biodegradabilitas

Bioplastik PAT dan PAT-Z dipotong berbentuk persegi panjang dengan ukuran 2x3 cm kemudian ditimbang. Selanjutnya dipendam di dalam 100 g tanah kompos dengan posisi kedalaman yang sama dengan interval waktu perhari, yaitu 0 hari, 1 hari, 2 hari, 3 hari, sampai terdegradasi sempurna. Selanjutnya dilakukan pengukuran penurunan massa untuk menentukan lama waktu yang dibutuhkan bioplastik terurai sempurna dalam tanah kompos. Pengujian ini dilakukan secara duplo dan hasil pengujian kemudian dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan 2.6 (Septiani, 2022).

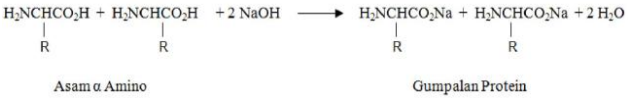
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian dan pembahasan tentang sintesis dan karakterisasi bioplastik berbasis protein protein ampas tahu-gliserol- ZnO.

A. Isolasi Protein Ampas Tahu

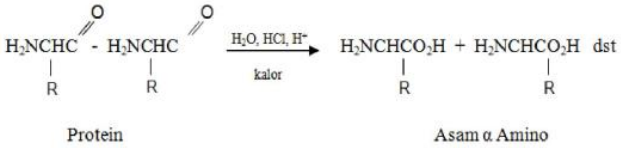
Isolasi protein ampas tahu diawali dengan penambahan aquades hingga terendam semua. Fungsi penambahan aquades untuk mengurangi kekentalan pada ampas tahu, sehingga mempermudah proses ekstraksi. Tahap selanjutnya yaitu ekstraksi dengan menggunakan pelarut NaOH 2N sampai pH 8 pada suhu 50^0 C selama 1 jam. Proses ekstraksi adalah metode pemisahan zat dari larutan dengan menggunakan pelarut. Pelarut tersebut dapat mengekstrak subtansi tanpa melibatkan komponen lain (Pratiwi, 2021). Metode yang digunakan adalah metode pengendapan atau presipitasi. Presipitasi protein adalah proses pengendapan yang disebabkan oleh penggumpalan sebagian protein (Sari & Moulina, 2020). Penambahan NaOH berfungsi untuk melarutkan protein dan mengubah kondisi basa dikarenakan secara umum asam amino bermuatan negatif pada pH diatas titik isoelektrik, sehingga akan saling tolak menolak dengan muatan yang sejenis. Hal ini menyebabkan kelarutan protein meningkat dikarenakan minimnya interaksi antara residu

asam amino. Oleh karena itu kelarutan protein lebih besar pada suasana basa. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nurdjannah (2006), bahwa meningkatnya pH yang digunakan dalam ekstraksi protein maka protein yang berhasil terekstrak juga semakin banyak. Tetapi juga bisa dapat menyebabkan kemungkinan protein dapat terhidrolisa dan mengalami denaturasi kembali. Setelah mencapai pH 8 semua protein pada ampas tahu mengalami penggumpalan. Proses penggumpalan ini terjadi akibat reaksi penetralan pada gugus-gugus fungsional protein. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 4.1 (Aziz, 2013).



Gambar 4. 1 Reaksi Penggumpalan Protein dengan NaOH

Hasil ekstraksi disaring untuk memisahkan antara residu dan protein terekstrak. Protein terekstrak yang diperoleh kemudian ditambahkan HCI 2N pada pH 4,5. Penambahan HCI dilakukan untuk membantu proses terbentuknya endapan dan menurunkan pH untuk mencapai titik isoelektrik protein. Dalam kondisi asam, protein akan mengalami hidrolisis, yang memungkinkan protein menjadi larut. Reaksi hidrolisis protein yang terjadi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2 (Aziz, 2013).



Gambar 4. 2 Reaksi Hidrolisis Protein dengan HCl

Langkah selanjutnya protein terekstrak disimpan di lemari pendingin pada suhu 10^0 selama 15 jam untuk membantu proses pembentukan protein. Hasil ekstraksi protein ampas tahu disentrifuse dengan kecepatan 2500 rpm yang bertujuan untuk memisahkan endapan protein. Endapan hasil sentrifuse dicuci dengan aquades hingga pH netral sesuai dengan pH aquades yang digunakan. Protein yang telah diisolasi dikeringkan dengan oven pada suhu 50^0 C selama 24 jam. Selanjutnya protein yang dihasilkan dihaluskan dengan grinder dan disaring dengan ayakan 80 mesh. Protein yang dihasilkan kemudian dilakukan uji kualitatif dan kuantitatif protein serta karakterisasi menggunakan FTIR. Hasil isolasi protein dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3.



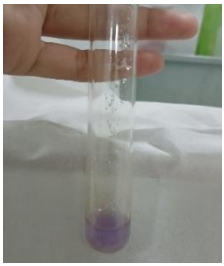
Gambar 4. 3 Hasil Isolasi Protein Ampas Tahu

Uji unsur penyusun protein pada ampas tahu secara kualitatif menunjukkan hasil bahwa ampas tahu mengandung unsur-unsur yang membentuk protein yang terdiri dari asam amino yang mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N) yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Uji Unsur Penyusun Protein

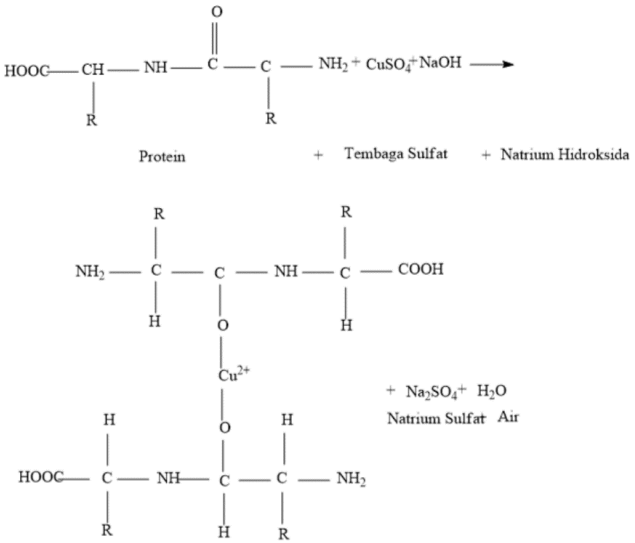
Pengujian	Hasil	Keterangan
Hidrogen	Positif (+)	Terbentuk uap air
Oksigen	Positif (+)	Munculnya uap air
Karbon	Positif (+)	Terjadi pembentukan arang
Nitrogen	Positif (+)	Tercium aroma seperti rambut terbakar

Selain uji unsur penyusun protein, dilakukan juga uji kualitatif protein menggunakan metode biuret yang berfungsi sebagai tahap awal untuk memastikan adanya ikatan peptida yang merupakan ciri struktur protein dalam sampel. Namun, uji biuret hanya memberikan informasi secara kualitatif mengenai keberadaan protein tanpa adanya struktur kimia secara spesifik. Prinsip kerja metode biuret adalah pada keadaan basa ion Cu^{2+} akan membentuk kompleks dengan ikatan peptida (-CO-NH) (Yuliana et al., 2021). Hasil uji biuret ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil Uji Biuret

Reaksi uji biuret yang terjadi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.5 (Purnama et al., 2019).



Gambar 4. 5 Reaksi Protein dengan Reagen Biuret

Berdasarkan Gambar 4.5 terbentuknya kompleks melalui interaksi ion Cu^{2+} dengan gugus -CO dalam rantai

peptida protein yang menunjukkan hasil positif yaitu menghasilkan warna ungu. Hasil ini sesuai dengan literatur bahwa uji positif ikatan peptida dengan metode biuret akan menghasilkan warna ungu serta kepekatan warna bergantung pada banyaknya asam amino dalam ikatanya. Selanjutnya setelah diperoleh keberadaan protein pada sampel ampas tahu, dilakukan karakterisasi lebih lanjut dengan menggunakan spektroskopi FTIR.

Hasil uji identifikasi protein secara biuret ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Identifikasi Uji Biuret

Pengujian	Reaksi	Warna	Hasil
Sampel (protein ampas tahu)	Sampel + NaOH + $CuSO_4$	Ungu	Positif Mengandung protein
Kontrol (aquades)	Aquadest + NaOH + $CuSO_4$	Biru	Tidak mengandung protein

Metode makro *Kjeldahl* dalam penentuan kadar protein dilakukan dalam tiga tahap diantaranya tahap penghancuran (destruksi), tahap netralisasi (destilasi), dan tahap titrasi. Dalam proses destruksi suatu reaksi terjadi penguraian senyawa organik menjadi senyawa anorganik. Pada tahap ini,

0,51 g sampel dimasukkan ke dalam labu *Kjeldahl* dan dipanaskan dengan 2 g katalisator selenium dan 25 mL H_2SO_4 sehingga senyawa yang terurai berubah menjadi unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Pemanasan saat proses destruksi dilakukan pada suhu 400^0 C agar unsur nitrogen dapat terpisah dengan unsur lainnya. Senyawa yang dihasilkan pada tahap ini adalah ammonium sulfat $(NH_4)_2SO_4$ dengan warna larutan hijau jernih. Selanjutnya destruat didinginkan, lalu diencerkan ke dalam labu ukur 100 mL. Hasil proses destruksi dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Hasil Destruksi

Reaksi pada tahap dekstruksi ditunjukkan pada Persamaan 4.1 (Ryan et al., 2013).

$$CHON\ (sampel) + H_2SO_{4\,(l)} \longrightarrow CO_{2\,(g)} + (NH_4)_2SO_{4\,(aq)} + H_2O_{\,(l)} \qquad (4.1)$$

Pada tahap destilasi ini dilakukan pemisahan zat melalui proses pemecahan dari ammonium sulfat $(NH_4)_2SO_4$ menjadi amonia (NH_3) dengan 5 mL NaOH 30% dan beberapa tetes indikator fenolflatein 1%. Fungsi penambahan NaOH bertujuan sebagai reaktan pada ammonium sulfat (NH_4SO_4) yang menjadi ammonium hidroksida (NH_4OH). Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan 4.2.

$$(NH_4)_2SO_{4\,(aq)} + 2\ NaOH_{\,(aq)} \longrightarrow 2\ NH_{3\,(g)} + 2\ H_2O_{\,(l)} + Na_2SO_{4\,(aq)} \quad (4.2)$$

Setelah penambahan NaOH diperoleh uap ketika melewati pendingin pada alat destilasi yang kemudian diubah menjadi fase cair berupa amonia (NH_3) yang akan ditangkap oleh larutan penampung yang berisi 10 mL larutan borat 2%. Reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan 4.3.

$$4NH_{3\,(g)} + 2H_3BO_{3\,(aq)} \longrightarrow 2(NH_4)_3BO_{3\,(aq)} + H_{2\,(g)} \quad (4.3)$$

Tahap berikutnya proses titrasi dengan HCl 0,01 N dan indikator fenolflatein 1% hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda yang sebelumnya sudah distandarisasi dengan larutan standar primer boraks untuk menentukan kosentrasi larutan dengan tepat. Reaksi yang terjadi pada tahap titrasi ditunjukkan pada Persamaan 4.4.

$$(NH_4)_3BO_{3\,(aq)} + 3HCl_{\,(aq)} \longrightarrow 3NH_4Cl_{\,(aq)} + H_3BO_{3\,(aq)} \quad (4.4)$$

Perhitungan % kadar protein menggunakan rumus 2.1 (Rumenser et al., 2021).

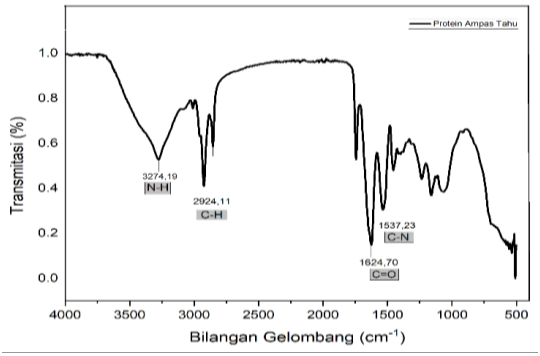
$$\% \text{ protein} = \frac{(V1-V2) \times N \times Ar\ N \times fk \times fp}{W} \times 100\ \%$$

$$\% \text{ protein} = \frac{(32{,}35-0{,}3) \times 0{,}09205\ \ 0{,}014 \times 6{,}25 \times 1}{0{,}5021} \times 100\ \%$$

$$\% \text{ protein} = 51{,}41\% \qquad (4.5)$$

Berdasarkan perhitungan % kadar protein sesuai SNI 01-2891-19992 diperoleh hasil sebesar 51,41%. Hasil tersebut termasuk protein yang kandungannya relatif tinggi daripada dengan hasil penelitian sebelumya hanya diperoleh sebesar 23,55% (Kharisma, 2022).

Karakterisasi protein pada ampas tahu menggunakan FTIR bertujuan untuk mendeteksi gugus fungsi yang ada pada protein. Spektrum hasil FTIR dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Spektra FTIR Protein Ampas Tahu

Berdasarkan Gambar 4.7 spektrum FTIR yang diperoleh menunjukkan puncak serapan yang terdiri dari gugus amida A, amida I dan amida II. Pada bilangan gelombang 3274,19 cm^{-1} menunjukkan puncak serapan amida A yang mengidentifikasikan vibrasi regangan NH. Adapun puncak serapan pada bilangan gelombang 2924,11 cm^{-1} mengindikasikan vibrasi ulur dari ikatan C-H alkana. Bilangan gelombang 1624,70 cm^{-1} menunjukkan puncak serapan amida I yang mengidentifikasi vibrasi regangan gugus C=O. Hasil ini sesuai dengan literatur bahwa daerah serapan amida I berada dikisaran 1600-1690 cm^{-1}. Puncak serapan pada amida II terdeteksi pada bilangan gelombang 1537,23 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk NH dan regangan CN (Djenar, 2022).

Berdasarkan uji gugus fungsi yang ditemukan pada hasil uji FTIR yaitu adanya senyawa amida. Senyawa amida merupakan senyawa organik yang memiliki gugus fungsi -$CONH_2$, yang terikat pada gugus karboksil (-COOH) dari gugus amina (NH_2) dari asam amino satu dengan. Oleh karena itu, sesuai dengan literatur menurut Suryani, (2021) bahwa tanda adanya protein dapat dibuktikan adanya senyawa amida. Sehingga hasil spektrum FTIR yang diperoleh menunjukan

protein ampas tahu berhasil disintesis. Hasil analisis gugus fungsi protein ampas tahu ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil analisis gugus fungsi Protein Ampas Tahu

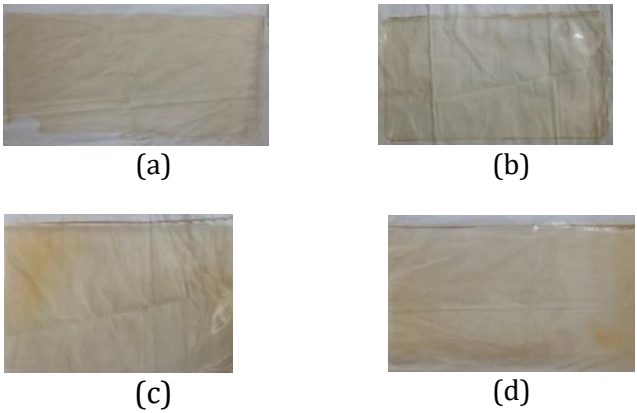
Gugus Fungsi	Bilangan gelombang Protein Sintesis (cm^{-1})	Bilangan Gelombang Protein Literatur (cm^{-1})
Amida A (N-H *Stretching*)	3274,19	3226,91-3431 (Miao et al., 2017)
CH alkana	2924,11	2800-3000 (Sanjiwani et al., 2020)
Amida 1 (C=O *stretching*)	1624,70	1620-1640 (Djenar, 2022)
Amida II (CN *streching*, NH *bending*)	1537,23	1527-1552 (Miao et al., 2017)

B. Sintesis Bioplastik

1. Bioplastik Protein Ampas Tahu- Gliserol (PAT)

Bioplastik dari campuran antara protein ampas tahu dengan variasi 2,5%, 3%, 3,5% serta 4% dan penambahan gliserol menghasilkan permukaan bioplastik yang halus, lentur dan bening kekuningan dengan tingkat banyaknya penambahan jumlah protein. Sifat elastis yang dihasilkan bioplastik disebabkan oleh penambahan gliserol. Hal ini dikarenakan gliserol dapat berinteraksi dengan molekul protein untuk meningkatkan elastisitas dan homogenitas

struktur film berbasis protein. Interaksi tersebut terjadi ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (-OH) pada gliserol dengan gugus amina ($-NH_2$) pada rantai protein (Ayunita & Fahrullah, 2024). Selain itu, penambahan gliserol dapat memperluas ruang antar rantai dalam struktur polimer, sehingga jarak antar ikatan hidrogen menjadi lebih besar. Akibatnya, nilai kuat tarik menurun dan menghasilkan bioplastik dengan sifat yang lebih elastis. Hasil ini sesuai dengan pernyataan Latifa, (2024) bahwa peningkatan tingkat elastisitas pada bioplastik dapat dicapai melalui penambahan gliserol dibandingkan dengan bioplastik protein ampas tahu saja. Namun disisi lain juga masih memiliki kelemahan dalam hal kekuatannya. Oleh sebab itu, perlu tambahan bahan penguat guna memperbaiki sifat mekanik bioplastik. Hasil bioplastik protein ampas tahu, gliserol dapat dilihat pada Gambar 4.8.



(a) (b)

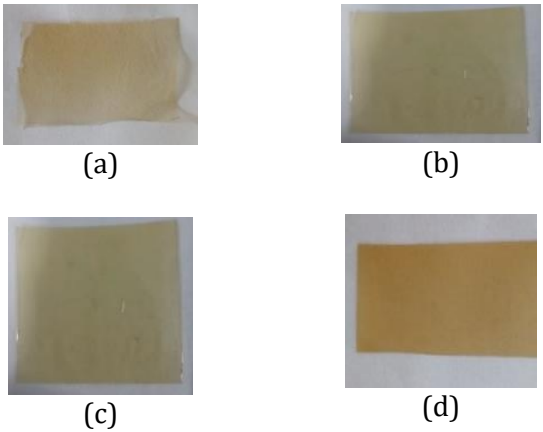
(c) (d)

Gambar 4. 8 Bioplastik PAT 2,5% (a) PAT 3% (b) PAT 3,5% (c) PAT 4% (d)

2. Bioplastik Protein Ampas Tahu- Gliserol-ZnO (PAT-Z)

Bioplastik dari protein ampas tahu, gliserol dengan berbagai variasi ZnO 0,5%, 1%, 1,5% dan 2% menghasilkan bioplastik dengan karakteristik permukaan yang halus, kuning transparan buram, dan lentur serta bersifat cukup kuat. Hal ini dikarenakan peran ZnO sebagai *filler* mampu berikatan dengan polimer protein melalui ikatan hidrogen sehingga dapat meningkatkan kekuatan tariknya. Pada variasi penambahan ZnO terdapat perubahan warna bioplastik yang dihasilkan yaitu warna putih yang semakin pekat. Hasil ini sesuai dengan literatur bahwa kandungan ZnO yang semakin banyak maka bioplastik yang dihasilkan akan memiliki warna putih yang semakin pekat (Latifa et al.,

2024). Hasil bioplastik PAT-Z dapat dilihat pada Gambar 4.9.



(a) (b)

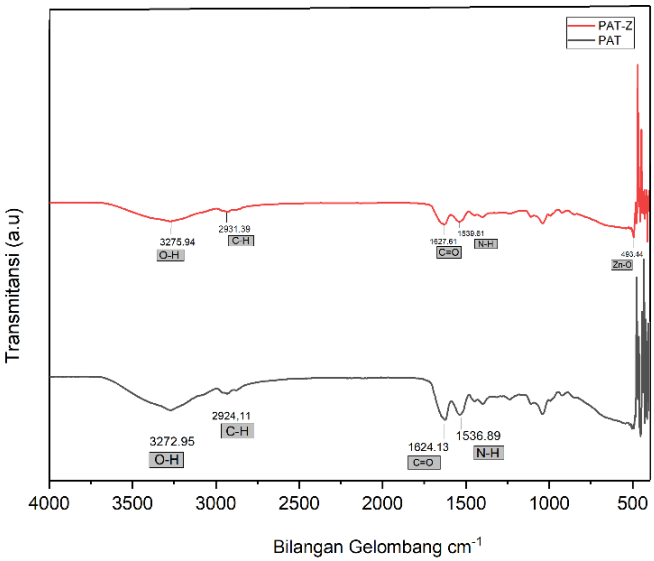
(c) (d)

Gambar 4. 9 Bioplastik PAT-Z 0,5% (a) PAT-Z 1% (b) PAT-Z 1,5% (c) PAT-Z 2% (d)

C. Karakterisasi Bioplastik

1. Karakterisasi FTIR

Karakterisasi sampel dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan gugus fungsi yang ada pada bioplastik yang dihasilkan yaitu bioplastik PAT dan bioplastik PAT-Z. Hasil karakterisasi FTIR bioplastik dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.4.



Gambar 4. 10 Spektrum FTIR Bioplastik PAT, PAT-Z

Tabel 4. 4 Hasil analisis gugus fungsi Bioplastik PAT, PAT-Z

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		
	PAT	PAT-Z	Bilangan Gelombang Literatur (cm^{-1})
OH (senyawa hidroksil)	3272,95	3275,94	3226-3431 (Djenar, 2022)
Methylene CH	2924,11	2931,39	2800-3000 (Sanjiwani et al., 2020)
Amida 1 (C=O *stretching*)	1624,13	1627,61	1620-1640 (Djenar, 2022)
Amida II (NH *bending*)	1536,89	1534,61	1527-1552 (Miao et al., 2017)
Zn-O	-	493,44	400-580 (Yunita et al., 2020)

Berdasarkan Tabel 4.4 hasil spektrum FTIR yang diperoleh pada bioplastik PAT dan PAT-Z menunjukkan adanya serapan pada bilangan gelombang 2924,11 cm^{-1} dan 2931,39 cm^{-1} yang menandakan keberadaan gugus C-H yang merupakan gugus utama penyusun bioplastik (Maladi, 2019). Pada bilangan gelombang 3272,95 cm^{-1} dan 3275,94 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus fungsi OH dari gliserol. Sementara itu, pada bilangan gelombang 1624,13 cm^{-1}, 1627,61 cm^{-1}, 1536,89 cm^{-1} dan 1539,34 cm^{-1} menunjukkan adanya senyawa amida yang terdapat pada polimer protein. Perbedaan kedua sampel tidak jauh berbeda, hanya keberadaan gugus fungsi Zn-O pada PAT-Z yang terdeteksi pada bilangan gelombang 439,44 cm^{-1}. Hal ini dikarenakan adanya penambahan ZnO untuk bioplastik PAT-Z. Hasil ini sesuai dengan literatur oleh penelitian menurut Yunita, (2020) bahwa rentang serapan puncak 580-400 cm^{-1} terdapat vibrasi gugus fungsi Zn-O.

Dengan demikian, panjang gelombang yang dihasilkan tidak mengindikasikan terbentuknya gugus fungsi baru. Namun, menunjukkan bahwa bioplastik hasil sintesis memiliki karakteristik panjang gelombang yang mirip dengan bahan baku yang digunakan yaitu protein ampas tahu, gliserol dan ZnO.

2. Uji Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik bioplastik meliputi uji kuat tarik dan persen elongasi. Hasil uji kuat tarik dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan persen elongasi pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Kuat Tarik PAT

Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	SNI 7818:2014
PAT 2,5%	2,728	
PAT 3%	3,038	Minimal 13,7 MPa
PAT 3,5%	4,153	
PAT 4%	2,942	

Berdasarkan Tabel 4.5 hasil nilai kuat tarik yang diperoleh berada pada rentang 2,728 MPa sampai 4,153 MPa. Bioplastik protein-gliserol yang memiliki nilai kuat tarik tertinggi pada variasi PAT 3,5%. Penambahan jumlah protein maka nilai kuat tarik yang diperoleh semakin meningkat. Hal ini disebabkan adanya interaksi gaya tarik menarik yang semakin kuat antar molekul. Peningkatan kosentrasi protein berpengaruh signifikan terhadap kekuatan film bioplastik. Semakin tinggi jumlah protein yang ditambahkan, maka semakin kuat ikatan hidrogen dalam film sehingga kekuatan tariknya juga meningkat (Eva

Agustina et al., 2024). Peningkatan kuat tarik tersebut menunjukkan kesesuaian antara hasil dengan teori bahwa semakin tinggi kadar protein semakin tinggi juga nilai kuat tarik. Kadar protein yang diperoleh yaitu sebesar 51,41%. Pernyataan ini juga sejalan dengan pernyataan Warkoyo, (2014) bahwa tingginya kosentrasi asam amino dalam larutan bioplastik akan meningkatkan jumlah polimer yang terbentuk dalam matriks, memperkuat ikatan antar polimer sehingga nilai kuat tarik juga semakin meningkat. Namun, pada kosentrasi PAT 4% diperoleh nilai kuat tarik yang menurun. Hal ini disebabkan oleh massa protein yang terlalu tinggi sehingga dapat terjadi penurunan struktur film yang kurang homogen dan terjadi aglomerasi protein yang menyebabkan melemahnya ikatan antar molekul (Hartatik, 2014). Berdasarkan nilai yang diperoleh pada bioplastik PAT belum memenuhi standar SNI 7818:2014 yaitu minimal 13,7 MPa. Oleh karena itu diperlukan penambahan ZnO guna meningkatkan nilai kuat tarik.

Variasi PAT 3% digunakan sebagai variasi lanjutan didasarkan pada kestabilan struktur film yaitu ketebalan. Pada PAT 3% diperoleh ketebalan film yang paling tipis dibandingkan variasi lainnya. Data ketebalan dapat dilihat dilampiran 3. Ketebalan ini menandakan bahwa penyebaran campuran dalam larutan bioplastik terjadi

lebih merata sehingga menghasilkan film yang lebih homogen. Ketebalan menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan kualitas bioplastik karena ketebalan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidakaturan struktur film serta berpotensi menjadi mudah patah (Syahrir et al., 2021).

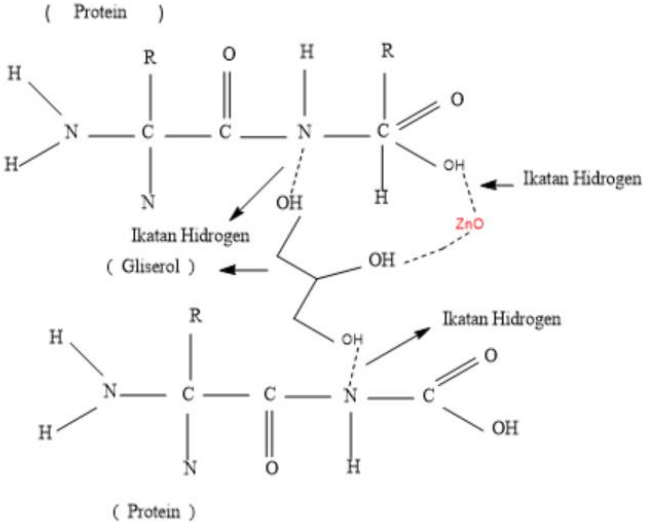
Bioplastik setelah penambahan ZnO diperoleh nilai kuat tarik yang semakin meningkat. Nilai kuat tarik setelah penambahan ZnO ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Uji Kuat Tarik PAT- Z

Bioplastik	**Kuat Tarik (MPa)**	**SNI 7818:2014**
PAT-Z 0%	3,038	
PAT- Z 0,5%	3,598	Minimal 13,7 MPa
PAT- Z 1%	4,479	
PAT- Z 1,5%	2,439	
PAT- Z 2%	4,022	

Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada penambahan ZnO sebesar 1% yang menghasilkan nilai 4,479 MPa. Hal ini dikarenakan penambahan ZnO berfungsi sebagai *filler* penguat yang mampu menjadikan struktur molekul bioplastik semakin rapat dan tersebarnya partikel ZnO di dalam matriks polimer juga menyebabkan ikatan dalam

bioplastik menjadi lebih kuat sehingga dapat meningkatkan kuat tarik pada bioplastik. Peningkatan kuat tarik tersebut dikarenakan adanya interaksi ZnO dengan protein dan gliserol. Gugus dari ZnO akan berinteraksi dengan gugus hidroksil (OH) pada protein sehingga keduanya dapat berikatan. Skema interaksi antara ZnO, protein dan gliserol dapat dilihat pada Gambar 4.11 (Maladi, 2019).



Gambar 4. 11 Skema Interaksi Protein, Gliserol, ZnO

Penambahan ZnO tidak selalu meningkatkan kekuatan tarik tetapi dalam kondisi tertentu, kelebihan ZnO dalam matriks bioplastik dapat menyebabkan penurunan nilai kuat tarik. Hasil ini dibuktikan pada penambahan ZnO 1,5% yang mengalami penurunan nilai kuat tarik yaitu menjadi

2,439 MPa. Pada kosentrasi tersebut memungkinan terjadinya agregasi atau penggumpalan partikel ZnO, sehingga dapat mengurangi homogenitas ZnO dalam matriks film bioplastik. Selain itu, pada partikel ZnO terjadi penghambatan ikatan antar partikel penyusun komposit sehingga ikatan yang terjadi menjadi lemah serta hanya bertaburan dan tidak berikatan sehingga nilai kuat tarik menurun. Namun, pada kosentrasi ZnO 2% terjadi peningkatan nilai kuat tarik kembali sebesar 4,022 MPa. Hal ini disebabkan terjadinya partikel ZnO yang sudah mulai tersebar kembali atau berinteraksi secara kompleks dengan matriks polimer dan gliserol, sehingga ikatan hidrogen mampu meningkatkan kembali kuat tarik (Lestari, 2021).

Bioplastik setelah penambahan ZnO pada PAT- Z 0,5%, PAT- Z 1%, PAT- Z 1,5%, dan PAT- Z 2% diperoleh nilai kuat tarik masing-masing 3,598; 4,479; 2,439 dan 4,022 MPa. Meskipun penambahan ZnO pada bioplastik PAT-Z sudah mengalami peningkatan nilai kuat tarik dibandingkan dengan bioplastik PAT (tanpa ZnO), namun nilai yang diperoleh masih belum memenuhi standar SNI 7818:2014 sebesar minimal 13,7 MPa.

Hasil uji elongasi bioplastik PAT dapat ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Uji Elongasi PAT

Bioplastik	Persen Elongasi (%)	SNI 7818:2014
PAT 2,5%	170,167	
PAT 3%	116,667	400-1.120%
PAT 3,5%	111,000	
PAT 4%	199,833	

Berdasarkan **Tabel 4.7** bahwa hasil nilai elongasi dari variasi protein dan penambahan ZnO memiliki nilai yang berbeda. Pada variasi protein diperoleh nilai elongasi yang semakin menurun seiring meningkatnya kosentrasi protein. Namun, pada kosentrasi protein PAT 4% diperoleh nilai elongasi yang meningkat yaitu sebesar 199,833%. Hal ini dikarenakan massa yang ditambahkan pada protein terlalu tinggi sehingga berpengaruh terhadap meningkatnya nilai elongasi yang seharusnya menurun. Pada kosentrasi protein yang terlalu tinggi menyebabkan permukaan bioplastik menjadi lebih kaku dan kurang elastis. Namun, secara umum peningkatan kosentrasi protein dapat meningkatkan kekuatan film karena pembentukan ikatan molekuler yang lebih banyak. Tetapi jika kosentrasi terlalu tinggi atau protein yang berlebih maka film menjadi lebih kaku dan padat sehingga mengurangi fleksibilitas film dan nilai elongasi menurun

(Hutabarat et al., 2023). Hasil ini sesuai dengan pernyataan Selpiana, (2015) bahwa meningkatnya kandungan di dalam komposit dapat mengurangi deformasi pada permukaan matriks, sehingga dapat menurunkan nilai elongasi.

Bioplastik setelah penambahan ZnO terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai elongasi. Nilai persen elongasi setelah penambahan ZnO ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Hasil Uji Elongasi PAT- Z

Bioplastik	**Persen Elongasi (%)**	**SNI 7818:2014**
PAT-Z 0%	116,667	
PAT- Z 0,5%	109,500	400-1.120%
PAT- Z 1%	196,833	
PAT- Z 1,5%	141,500	
PAT- Z 2%	117,833	

Berdasarkan Tabel 4.8 bahwa bioplastik PAT-Z 1% memiliki nilai persen elongasi tertinggi yaitu sebesar 196,833%. Pada penambahan ZnO variasi 0,5% mengalami penurunan nilai elongasi sebesar 109,500%. Hal ini dikarenakan terjadi agregasi partikel ZnO yang tidak terdispersi secara merata pada kosentrasi rendah. Namun, variasi diatas 1% menurunkan nilai elongasi yaitu pada PAT-Z 1,5% dan 2%. Hal ini dikarenakan, pada penambahan

ZnO dalam jumlah sedikit dapat meningkatkan elongasi dikarenakan ZnO masih berfungsi sebagai pengisi yang memperbaiki interaksi antar molekul polimer dan ikatan yang terjadi tidak terlalu kaku, sehingga dapat meningkatkan elastisitas. Namun, semakin tinggi kosentrasi ZnO maka semakin banyak dan semakin kuat ikatan yang terjadi sehingga bioplastik menjadi lebih kaku dan mengakibatkan penurunan nilai elongasi (Widhiantari et al., 2021). Berkurangnya nilai elongasi tersebut menunjukkan kesesuaian antara hasil dengan teori bahwa penurunan sifat mekanik perpanjangan putus. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Syaputra, (2017) bahwa peningkatan jumlah bahan pengisi dalam bioplastik akan menyebabkan ikatan antara bahan pengisi dan matriks menjadi lebih kuat. Akibatnya, bioplastik yang dihasilkan memiliki sifat yang lebih kaku dam perpanjangan putus menurun. Oleh karena itu, ZnO dalam jumlah sedikit mampu meningkatkan elongasi dengan memperbaiki struktur tanpa mengurangi fleksibilitas, tetapi dalam jumlah yang banyak akan menurunkan elongasi karena matriks bioplastik terlalu kaku (Lestari, 2021).

Persen elongasi dari bioplastik PAT 2,5%, PAT 3%, PAT 3,5%, PAT 4%, PAT- Z 0,5%, PAT- Z 1%, PAT- Z 1,5%, dan PAT- Z 2% yang dihasilkan masing-masing mencapai

170,167; 116,667; 111,000; 199,833; 109,500; 196,833; 141,500; dan 117,833%. Berdasarkan nilai persen elongasi yang diperoleh belum memenuhi SNI 7818:2014 yaitu 400-1.220%. Oleh karena itu nilai yang diperoleh pada penelitian ini dikatakan belum memenuhi standar SNI yang ditetapkan.

3. Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air bertujuan untuk mengetahui jumlah air yang diserap oleh bioplastik. Bioplastik dengan daya serap air yang tinggi cenderung memiliki ketahanan air yang lebih rendah. Kondisi ini menyebabkan tingkat kerusakan bioplastik meningkat serta penyerapan air semakin bertambah sehingga kerusakan bioplastik menjadi lebih cepat. Bioplastik yang dihasilkan masing-masing dilakukan penimbangan terlebih dahulu dan dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.1. Hasil uji daya serap air dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Daya Serap Air PAT

Bioplastik	**Penyerapan air (%)**	**Standar Mutu** (Sofia et al., 2017)
PAT 2,5%	21,26 %	Maksimal 21,5% pada suhu 25^0 C dan 69,09% pada suhu 100^0 C
PAT 3%	23,26%	
PAT 3,5%	29,64%	
PAT 4%	33,59%	

Berdasarkan Tabel 4.9 bioplastik yang memiliki daya serap tinggi yaitu pada bioplastik protein-gliserol 4% sebesar 33,59% dan bioplastik dengan daya serap air yang paling rendah pada bioplastik protein-gliserol 2,5%. Pada bioplastik protein-gliserol memiliki nilai daya serap yang lebih tinggi dibandingkan setelah penambahan ZnO. Hal ini dikarenakan semakin banyak protein yang ditambahkan maka akan meningkatkan daya serap air. Pada protein memiliki gugus hidrofilik seperti gugus -OH dan -NH_2 yang mampu mengikat molekul air sehingga bioplastik menjadi lebih mudah menyerap air (Suryani et al., 2021). Selain itu, gliserol juga bersifat hirofilik sehingga mudah menyerap air. Gugus -OH pada gliserol tersebut yang menyebabkan mampu berikatan dengan air melalui ikatan hidrogen (Yuana, 2016).Namun, bioplastik setelah penambahan ZnO daya serap air semakin menurun. Hasil uji daya serap air setelah penambahan ZnO dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Daya Serap Air PAT- Z

Bioplastik	**Penyerapan air (%)**	**Standar Mutu** (Sofia et al., 2017)
PAT-Z 0%	23,26%	Maksimal 21,5% pada
PAT-Z 0,5%	23,48%	suhu 25^0C
PAT-Z 1%	22,31%	dan 69,09% pada
PAT-Z 1,5%	21,09%	suhu 100^0 C
PAT-Z 2%	13,22%	

Berdasarkan **Tabel 4.10** terlihat bahwa daya serap air yang diperoleh mengalami penurunan. Hasil ini sesuai dengan literatur menurut (Hidayat et al., 2019) bahwa peningkatan kosentrasi ZnO dapat memperkuat ikatan hidrogen sehingga mampu mengurangi kemampuan berikatan dengan air. Selain itu, menurut (Yuana, 2016) bahwa daya serap air berkurang seiring penambahan ZnO yang bersifat hidrofobik sehingga dapat menghambat penyerapan air pada bioplastik. Oleh karena itu semakin besar kosentrasi ZnO dapat menghambat difusi air ke dalam struktur material.

Berdasarkan standar mutu daya serap air bioplastik sebesar 21,5% pada suhu 25^0 C dan 69,09% pada suhu 100^0 C (Sofia et al., 2017). Sedangkan bioplastik yang dihasilkan menunjukkan nilai daya serap air berkisar antara 13,22% hingga 33,59% sehingga pada PAT dan PAT-Z yang memiliki nilai diatas 21,5% dapat dikatakan tidak memenuhi standar SNI, dikarenakan nilai yang diperoleh melebihi batas maksimum. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bioplastik yang dihasilkan pada PAT 2,5% dan PAT-Z 2% sudah memenuhi standar mutu yang ditetapkan pada suhu ruang 25-30^0C.

4. Uji Biodegradabilitas

Uji biodegradasi bioplastik dilakukan dengan mengukur kecepatan degradasi bioplastik sehingga dapat diperkirakan waktu yang diperlukan untuk terurai sempurna dalam tanah. Hasil uji biodegradasi pada bioplastik dapat ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil Uji Biodegradabilitas PAT

Bioplastik	Lama Terurai 100 (%) hari	SNI 7188-7:2022
PAT 2,5%	6	
PAT 3%	7	90% maksimal 180
PAT 3,5%	8	hari
PAT 4%	9	

Berdasarkan Tabel 4.11 bahwa hasil uji biodegradasi film bioplastik PAT dapat terdegradasi oleh tanah antara 6-9 hari secara sempurna. Pada bioplastik PAT menunjukkan waktu terdegradasi di tanah yang lebih cepat dibandingkan PAT-Z. Sampel bioplastik yang memiliki waktu terdegradasi tercepat pada PAT 2,5% selama 6 hari, sedangkan waktu terdegradasi paling lama pada PAT 4% selama 9 hari. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa interaksi antara protein memberikan pengaruh yang nyata terhadap kemampuan degradasi bioplastik. Semakin kecil kosentrasi

protein menyebabkan laju biodegradasi semakin cepat. Hal ini dikarenakan gliserol dan protein bersifat hidrofilik maka memungkinkan senyawa tersebut dengan mudah menarik dan mengikat molekul air sehingga pada kondisi yang lembap menyebabkan bioplastik menjadi lebih mudah terurai karena mikroorganisme dapat tumbuh dan berkembang dengan baik sehingga mempercepat laju degradasi.

Hasil uji biodegradabilitas setelah penambahan ZnO ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Hasil Uji Biodegradabilitas PAT-Z

Bioplastik	Lama Terurai 100 (%) hari	SNI 7188-7:2022
PAT-Z 0%	7	
PAT-Z 0,5%	7	90% maksimal
PAT-Z 1%	8	180
PAT-Z 1,5%	9	hari
PAT-Z 2%	10	

Berdasarkan Tabel 4.12 bahwa hasil uji biodegradasi film bioplastik PAT-Z membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan tanpa penambahan ZnO. Hal ini dikarenakan partikel ZnO berperan dalam memperlambat laju difusi air ke dalam matriks polimer. Oleh karena itu, proses biodegradasi bioplastik lebih lambat (Sumiati et al., 2020). Hasil ini sesuai dengan pernyataan Maslahah, (2019) bahwa

semakin banyak ZnO maka laju degradasi semakin lambat sedangkan semakin sedikit penambahan ZnO laju degradasi semakin cepat. Hal ini dikarenakan ikatan hidrogen semakin kuat sehingga polimer terhalangi oleh laju difusi air (Lestari, 2021).

Komponen utama penyusun film bioplastik merupakan faktor paling berpengaruh terhadap kecepatan degradasi. Bioplastik yang dihasilkan ini terbuat dari bahan alam sehingga pada saat kondisi dan waktu tertentu struktur kimia bioplastik akan lebih cepat mengalami perubahan akibat pengaruh lingkungan serta aktivitas mikroorganisme seperti jamur, bakteri dan *algae* sehingga terjadi proses pemutusan rantai polimer menjadi monomer-monomernya. Oleh karena itu proses degradasi bioplastik yang dihasilkan lebih ramah terhadap lingkungan. Berdasarkan hasil yang diperoleh yaitu bioplastik PAT dan PAT-Z dapat dikatakan sebagai plastik yang ramah lingkungan. Menurut standar SNI 7188-7:2022 biodegradabilitas bioplastik dapat terurai dalam waktu maksimal 180 hari. Pada penelitian ini mampu terdegradasi sempurna dalam waktu 10 hari. Dengan demikian, biopastik hasil penelitian ini dapat dikatakan telah memenuhi standar SNI 7188-7:2022 (SNI 7188-7:2022, 2023).

BAB V
KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya mengenai sintesis dan karakterisasi bioplastik berbasis protein ampas tahu-gliserol-ZnO, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Isolat protein dari ampas tahu memiliki karakteristik serbuk halus berwarna putih kecoklatan dengan adanya gugus fungsi amida A (3274,19 cm^{-1}), C-H_2 (2924,11 cm^{-1}), C-H (2853,86 cm^{-1}), Amida I (1624,70 cm^{-1}), Amida II (1537,23 cm^{-1}), serta pada uji biuret diperoleh warna ungu yang menandakan keberadaan protein pada ampas tahu.
2. Bioplastik PAT memiliki karakteristik halus, lentur dan bening kekuningan Sedangkan bioplastik PAT-Z memiliki karakteristik permukaan yang halus, kuning transparan buram, dan lentur serta bersifat cukup kuat dengan kuat tarik tertinggi diperoleh pada sampel PAT 3,5% sebesar 3,038 MPa, PAT-Z 1% sebesar 4,479 MPa dan persen elongasi terbaik pada PAT 2,5% sebesar 116,667% dan PAT-Z 1% sebesar 196,833%. Sedangkan,

daya serap air terbaik pada sampel PAT 2,5% sebesar 21,26% dan PAT-Z 1,5% sebesar 21,09%. Dari data FTIR menunjukkan gugus fungsi N-H dan C=O pada bilangan gelombang 1536,89 cm^{-1} dan 1624,13 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan polimer protein dalam bioplastik dan bilangan gelombang 3269,82 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus OH dari gliserol serta pada bilangan gelombang 439,44 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi Zn-O.)

3. Bioplastik PAT terdegradasi sempurna pada hari ke-9, sedangkan bioplastik PAT-Z terdegradasi lebih lama yaitu pada hari ke-10. Hal ini dikarenakan partikel ZnO berperan dalam memperlambat laju difusi air ke dalam matriks polimer.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan saran agar penelitian selanjutnya dilakukan analisis FTIR tambahan setelah bioplastik mengalami degradasi, guna mengetahui perubahan pada spektrum serapan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

Al Awwaly, K. U., Manab, A., & Wahyuni, E. (2010). Production of Whey Protein Edible Film: The Study of Protein *and Glycerol Ratio on Physical and Chemical Properties. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak, 5*(1), 45–56

Al Kausar, R., & Suryani, A. (2022). Penetapan Kadar Protein Kulit Pisang Kepok (Musa acuminata balbisiana colla) dan Kulit Pisang Tanduk (Musa corniculata) dengan Metode Kjeldahl. *Jurnal Analisis Farmasi*, *7*(2), 164–174

Alma Alfiani, Nia Sasria, M. P. D. L., & Teknik. (2023). *Pengaruh Carboxymethyl Celulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Menggunakan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Pati Ampas Tahu*. *12*(1), 12–16

Amalia, D., & Fajri, R. (2020). Analisis Kadar Nitrogen Dalam Pupuk Urea Prill Dan Granule Menggunakan Metode Kjeldahl Di Pt Pupuk Iskandar Muda. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, *2*(1), 28–32.

Anastasia Yudistirani, S., Susanty, & , Reva Deddy U., H. N. (2019). Pengaruh Variasi Gliserol Dari Minyak Jelantah Terhadap Nilai Uji Tarik Bioplastik Dari Pemanfaatan Limbah Kulit Ari Kacang Kedelai. *8*(1), 55–60

Antonius, R., Simamora, L. L. B., Setiani, P., Sitorus, T. A., Luthfiyana, H., & Idris, Z. Y. (2020). Production of biodegradable package material from tofu industry byproduct. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *475*(1)

Arbita, E. (Ernest). (2014). Studi Awal Pembuatan Biodegradable Plastic dari Hasil Esterifikasi Gelatin dan Alkohol Rantai Panjang. *E-Journal Graduate Unpar*, *1*(1), 183071

Ayunita, N., & Fahrullah, F. (2024). Jurnal Biologi Tropis Protein-Based Films with Different Glycerol Concentrations : Thickness , Gelation Time and Microstructure.

Awang, M., & Wan Mohd, W. R. (2018). Comparative studies of Titanium Dioxide and Zinc Oxide as a potential filler in Polypropylene reinforced rice husk composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *342*(1).

Ayunita, N., & Fahrullah, F. (2024). Jurnal Biologi Tropis Protein-Based Films with Different Glycerol Concentrations : Thickness , Gelation Time and Microstructure.

Aziz, A. (2013). Pengambilan Isoleusin dalam Konsentrat Protein Blondo Virgin Coconut Oil (VCO). Jurnal Article Universitas Muhammadiyah Surakarta, 1969, 4–27.

Caron, J., & Markusen, J. R. (2016). Analisis Kandungan Protein Pada Biji Kacang Hazel (Corylus avellanna) Yang Berasal Dari Kabupaten Sinjai Dengan Menggunakan Metode Kjeldahl. *Fito Medicine : Journal Pharmacy and Sciences ISSN*, *12*(Nomor: 1, Juli 2020), 1–23.

Ditta Kharisma. (2022). Utilization of Tofu Dregs in the Making of High-Fiber and Low-Fat Flours As Alternative Functional Food Ingredients. Jurnal Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Jember, 1(1), 27–35.

Djenar, N. S., & Suryadi, J. (2022). Isolasi dan Pemurnian Protein dari Lembaga Jagung (Corn Germ) Menggunakan Metode Presipitasi dan Dialisis. KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 8(1), 60–66.

Dwiningrum, R., Pisacha, I. M., & Nursoleha, E. (2023). Review: Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Kandungan Protein Pada Olahan Bahan Pangan. Journal Pharmacy Aisyah, 2(2), 60–67.

Elisusanti, Illing, I., & Alam, N. (n.d.). Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok/ Selulosa Serbuk Kayu Gergaji. 1 No.1(1).

Eva Agustina, Purnamasari, R., Nasrul Fuad Erfansyah, Funsu Andiarna, Nova Lusiana, & Hidayati, I. (2024). Pemanfaatan Limbah Pucuk Tebu sebagai Sumber Selulosa Bahan Baku

Plastik Biodegradable. Biotropic : The Journal of Tropical Biology, 8(1), 39–54.

Fadlilah, I., Prasetya, A., & Mulyono, P. (2018). Recovery Ion Hg2+ dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida. Jurnal Rekayasa Proses, 12(1), 23.

Hartatik, Y. D., & Nuriyah, L. (2014). Pengaruh Komposisi Kitosan terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradable Bioplastik. 3–6.

Hayati, N. (2018). Pembuatan Bioplastik Dari Tepung Jagung (Zeamays) Menggunakan Penguat Logam ZnO Dan Potensinya Sebagai Media Interaktifadobflash Pada Materi Polimer. 12–30.

Heraton, S. P. (2022). Penngaruh Suhu Dan Waktu Pengadukan Dalam Pemurnian Gliserol Dengan Proses Asidifikasi Asam Sulfat. Jurnal Teknik Kimia, 4–7.

Hermansyah, H., & Marbun, E. S. (2012). Sintesis Bioplastik Dari Pati Ubi Jalar Dengan Penguat Logam ZnO dan Penguat Alami Clay. Jakarta: Universitas Indonesia.

Hidayat, S., Abdullah, A. H. D., Septiyanto, R. F., Muchtar, Y. R. D., & Affifah, I. (2019). Perbandingan Sifat Mekanik Bioplastik Terhadap Penambahan Zinc Oxide (ZnO). Gravity : Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Fisika, 5(2), 8–12.

Hutabarat, J., Bimantio, M. P., & Widyowanti, R. A. (2023). Karakteristik Edible Film Komposit Protein Biji Karet (Hevea Brasiliensis) dan Kitosan dengan Penambahan Gliserol sebagai Plasticizer. BIOFOODTECH : Journal of Bioenergy and Food Technology, 1(02), 76–94.

Huwaidi, A. F., & Supriyo, E. (2022). Pembuatan Plastik Biodegradable Pati Jagung Terplastisasi Sorbitol dengan Pengisi Selulosa dari Ampas Tebu. Equilibrium Journal of Chemical Engineering, 6(1), 45–49.

Ibaw, A. (2005). Highlights in Bioplastics.

Idzni, A. (2020). Dampak Pembuangan Limbah Industri Tahu Terhadap Kualitas Air Tanah Di Desa Menduran Kecamatan Brati Kabupaten Grobogan. In *Otonomi* (Vol. 20).

Khodijah, S., & Tobing, J. M. L. (2023). Tinjauan Plastik Biodegradable dari Limbah Tanaman Pangan sebagai Kantong Plastik Mudah Terurai. Teknotan, 17(1), 21.

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

Latifa, A. C., Dewi, P. P. ., Lestari, I., & Irfandy, F. (2024). Pembuatan Bioplastik dari Pati Umbi Ganyong Menggunakan Penguat Seng Oksida dan Plastilizer Gliserol dengan Metode Melt Intercalation. Eksergi, 21(2), 122.

Lestari, C. A. (2021). Pengaruh Kosentrasi ZnO (Seng Oksida) Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Dasar Pati Umbi Ganyong (Canna Edulis).

Maladi, I. (2019). Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong (Manihot utilissima) Dengan Penguat Seluosa Jerami Padi, Polivinil Alcohol dan Bio-Compatible Zink Oksida.

Miao, Y., Yang, R., Deng, D. Y. B., & Zhang, L. M. (2017). Poly(l-lysine) modified zein nanofibrous membranes as efficient scaffold for adhesion, proliferation, and differentiation of neural stem cells. *RSC Advances*, *7*(29), 17711–17719.

Nafiayanto, I. (2019). Pembuatan Plastik Biodegradable dari Limbah Bonggol Pisang Kepok dengan Plasticizer Gliserol dari Minyak Jelantah dan Komposit Kitosan dari Limbah Cangkang Bekicot (Achatina fullica). *Integrated Lab Journal*, *07*(01), 75–89.

Ningsih, S. H. (2015). Pengaruh Plasticizer Gliserol Terhadap Karakteristik Edible Film Campuran Whey dan Agar.

Noezar, I., Praptowidodo, V. S., Nugraheni, R., & Nasution, M. H. (2018). Biodegradable polymer dari asam laktat. In Jurnal Teknik Kimia Indonesia (Vol. 6, Issue 2, p. 626).

Nurdjannah, N., & Usmiati, S. (2006). Isolasi Dan Karakterisasi Protein Ampas Tahu. In Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian (Vol. 3, Issue 2, pp. 83–95). http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/jpasca/article/view/10199

Pakerti, A. L., & Purnama, R. C. (2022). Analisis Kadar Protein Pada Tepung Jagung (Zea mays L.) Yang Dibeli Dengan Merek L Di Daerah Pasar Semuli Jaya Lampung Utara Dengan Menggunakan Metode Kjeldahl. Jurnal Analis Farmasi, 7(2), 119–129.

Prastyo R, T., Wahyu R.W., E., Nofrizal, Wahyu N., D., Ikono, R., Bambang W., W., Sukarto, A., & Rochman, N. T. (2012). Pengaruh Nanopartikel ZnO terhadap Struktur Mikro Semen Gigi Seng Fosfat. Jurnal Sains Materi Indonesia, 3(April), 27–30.

Pratiwi, E. (2021). Ekstraksi Minyak Dedak Padi Menggunakan Metode Maserasi dengan Pelarut Heksana. 3–14.

Purnama, R. C., Retnaningsih, A., & Aprianti, I. (2019). Comparison Of The Protein Content Of UHT Full Cream Liquid Milk At Room Temperature With Variations In Storage Time By The Kjeldahl Method. 7(3), 31–38.

Putnarubun, C., Ngabalin, ; Daniel, Bugis, & ; Musli. (2022). Studi Pendahuluan Pembuatan Bioplastik Dari Alga TUDI Caulerpa sp. Dengan Variasi Kosentrasi Asam Asetat. 4(1), 46–51.

Rastini, E. K., Astuti, S., Handoko, F., & Vitasari, P. (2020). Pelatihan Pembuatan Bioplastik untuk Peningkatan Kreativitas Siswa ii Sma Nasional Malang. JASTEN Jurnal Aplikasi Sains Teknologi Nasional, 01(01), 7–13. www.google.com

Rojtica, M. A. (2021). Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Selulosa Asetat Limbah Tebu-Kitosan-Gliserol (Vol. 75, Issue 17).

Rumenser, D. C., Langi, T. M., & Koapaha, T. (2021). Karakteristik Kimia dan Organoleptik Snack Bar Berbasis Tepung Ampas

Kelapa (Cocos nucifera L.) dan Tepung Kacang Hijau (Vigna radiata). Sam Ratulangi Journal of Food Research, 1(1), 27–34. https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/srjfr/index

Ryan, Cooper, & Tauer. (2013). Sampel ajinomoto. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents, 12–26.

Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Chandra, A. A., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, T. W. N., Miarati, P. A. M., & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya Dananalisis Dengan Fourier Transform Infrared. *Jurnal Widyadari*, *21*(1), 249–262.

Sari, M., & Moulina, M. A. (2020). the Effect of Variation of Sample Soaking Timing and. Agritepa, VII(1), 51–56.

Septiani, M. I. (2022). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Selulosa Asetat Jerami Padi dengan CMC Sebagai Plasticizer. Skripsi, 1–113.

Shihab, M. Q. (2019). Tafsir AL-Misbah. In Sustainability (Switzerland) (Vol. 11, Issue 1).

Simarmata, E. O., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2020). Karakteristik Komposit Bioplastik Dalam Variasi Rasio Pati Umbi Talas (Xanthosoma sagittifolium)-Kitosan. Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno, 5(2), 75.

SNI 7188-7:2022. (2023). Kriteria Ekolabel – Bagian 7: Kategori Produk, Kemasan Produk dan Wadah Bioplastik yang dapat Dikomposkan. Badan Standarisasi Nasional, September.

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), 111–115.

Sri, wahyuni. (2018). Pembuatan Bioplastik dari Kitosan dan Pati Jagung dengan Menggunakan Glutaraldehid sebagai Pengikat Silang. Uin Alauddin Makasar, 1–86. http://repositori.uin-alauddin.ac.id/1178/1/rezki.pdf?cv=1

Stephen, E. C., & Temitope, D. F. (2018). Trends on Bio-Synthesis of Plastics. 10(5).

Subagiono, A. G. K. (2019). Analisis Profil Protein Tulang.

Sulistyani, 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.

Sumiati, Nainggolan, & Riris, I. D. (2020). Preparing of Cornstarch (Zea mays) Bioplastic Using ZnO Metal. Indonesian Journal of Chemical Science and Technology, 3(2), 49–52.

Suryadri, H. (2021). Perbandingan Penambahan CMC dan Sorbitol dengan Penambahan Gelatin dan Gliserol terhadap Edible Film yang Terbuat dari Limbah Cair Tahu. Chempublish Journal, 5(2), 93–104.

Suryani, R. R., Hakim, A., Yusrianti, Y., Auvaria, S. W., & Mustika, I. (2021). Penambahan Chitosan Dan Plasticizerglycerin Dalam Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Ekstrak Protein Ampas Tahu. Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan), 7(2), 159–169.

Syahrir, M., Pratiwi, D. E., & Hasri. (2021). Synthesis and characterization of bioplastics made from chitosan combined using glycerol plasticizer INDONESIAN JOURNAL OF FUNDAMENTAL SCIENCES. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, *7*(2), 110–119.

Triyono, A. (2021). Proteins. Mempelajari Pengaruh Penambahan Asam Pada Proses Isolasi Protein Terhadao Tepus Protein Isolat Kacang, 49–121.

Ummah, M. S. (2019). Analisis Daya Guna Ampas Tahu Dari Pabrik Tahu Lin's Kuok Sebagai Sumber Protein Pada Ransum Sapi Potong. Sustainability (Switzerland), 11(1), 1–14.

Valencia, V. (2019). Analisis Kulaitas Air (Al, Cr, B, DAN F-) Pada Mata Air Pegunungan Di Desa Tacipong Kecamatan Amali

Kabupaten Bone. *Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952.*, *2*.

Viera Valencia, L. F., & Garcia Giraldo, D. (2019). Analisis Kualitas Air (Al, Cr, B, DAN F-) Pada Mata Air Pegunungan Di Desa Tacipong Kecamatan Amali Kabupaten Amali Kabupaten Bone. Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952., 2.

Wahyudi, B., Bahrul, M., Kasafir, H., Rokhmat, M., & Hidayat, T. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Talas Dengan Selulosa Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XVI*, *1*(September), 1–12.

Widhiantari, I. A., Hidayat, A. F., Muttalib, S. A., Khalil, F. I., & Puspitasari, I. (2021). Sifat Mekanik Bioplastik Berbasis Kombinasi Pati Biji Nangka Dan Tongkol Jagung. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem, 9(1), 76–83.

Wiradipta, A. (2017). Pembuatan Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Selulosa Dari Tongkol Jagung. Departemen Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institu Teknologi Sepuluh Nopember, 123(10), 1–87.

Yuana, K. S. (2016). Synthesis of chitosan-pati bioplastics kepok banana. Jurnal Teknik Kimia, 10(2), 40–48.

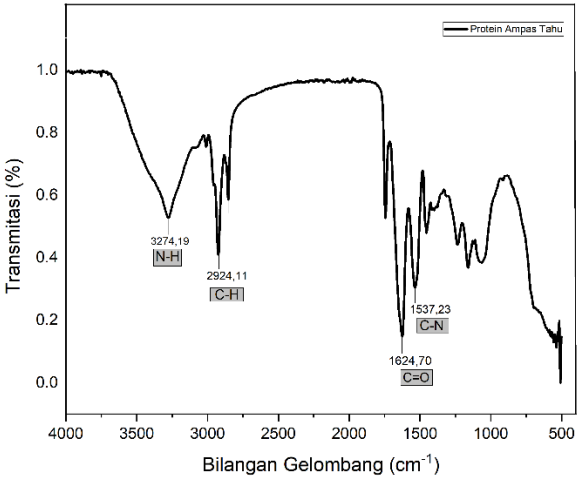
Yuliana, A., Adlina, S., & Rahmawati, L. (2021). Penggunaan Limbah Tahu Sebagai Nutrisi Subtitusi Pada Media Pertumbuhan Staphylococcus aureus. Journal of Pharmacopolium, 4(2), 57–66.

Yunita, Y., Nurlina, N., & Syahbanu, I. (2020). Sintesis Nanopartikel Zink Oksida (ZnO) dengan Penambahan Ekstrak Klorofil sebagai Capping Agent. Positron, 10(2), 44.

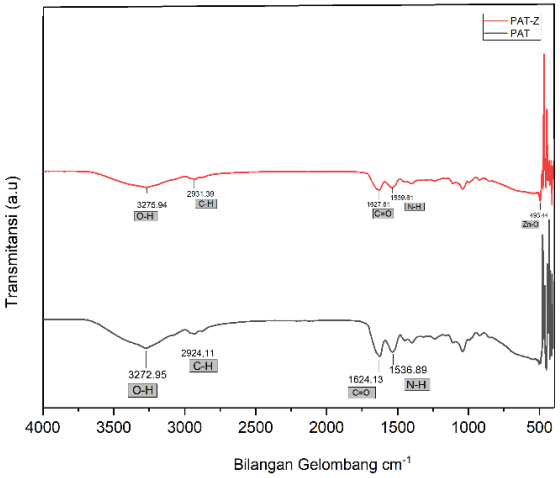
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data FTIR

a. FTIR Protein



b. FTIR Bioplastik PAT, PAT-Z



Lampiran 2 Uji Kuantitatif Protein *(Makro Kjeldahl)*

PERHITUNGAN PROTEIN

Jenis Contoh : Ampas Tahu (AK2. 73)

Kode Contoh	Penimbangan			V titar (mL)	V blanko (mL)	(V titar - V blanko) (mL)	FK	N HCl	Protein (%)	RERATA (%)
	Bobot wadah+contoh (gram)	Bobot wadah (gram)	Bobot contoh (gram)							
AK2.73-1	2.2828	1.7833	0.4995	32.0	0.3	31.7	6.25	0.09205	51.116	51.41
AK2.73-2	2.2898	1.7851	0.5047	32.7	0.3	32.4	6.25	0.09205	51.706	

Lampiran 3 Uji Sifat Mekanik

a. Hasil Uji Kuat Tarik PAT

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 - 0446

Nomor Kode Sampel Uji	: (SP25-0598-34-05-1) - (SP25-0598-34-05-4)
Jenis Sampel Uji / Pengujian	: Bioplastik/Tensile Strength
Nama Pelanggan	: Fadhila (UIN Walisongo Semarang)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai)	: 10-04-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai)	: -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat	: -
Tanggal Pengujian Contoh	: 11-04-2025

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.	SP25-0598-34-05-1 (PAT-G 2,5%)	30	5	0,18	0,90	51,05	250,5	2,455	2,728	170,167
2.	SP25-0598-34-05-2 (PAT-G 3%)	30	5	0,17	0,85	35,00	263,5	2,582	3,038	116,667
3.	SP 25-0598-34-05-3 (PAT-G 3,5%)	30	5	0,25	1,25	33,30	529,8	5,192	4,153	111,000
4.	SP 25-0598-34-05-3 (PAT-G 4%)	30	5	0,25	1,25	59,95	375,3	3,677	2,942	199,833

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, 14 April 2025
Kepala Unit Pengujian dan Sertifikasi

Prof. Dr. Ir. [illegible], M.Si.
NIP. [illegible]

b. Hasil Uji Kuat Tarik PAT-Z

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 - 0545

Nomor Kode Sampel Uji	: (SP25-0694-34-05-1) - (SP25-0694-34-05-4)
Jenis Sampel Uji / Pengujian	: Bioplastik/Tensile Strength
Nama Pelanggan	: Fadhila (UIN Walisongo Semarang)
Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai)	: 21-04-2025
Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai)	: -
Titik Pengambilan Contoh / koordinat	: -
Tanggal Pengujian Contoh	: 23-04-2025

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.	SP25-0694-34-05-1(PATG-ZnO 1%)	30	5	0,22	1,10	59,05	502,8	4,927	4,479	196,833
2.	SP25-0694-34-05-2 (PATG-ZnO 0,5%)	30	5	0,23	1,15	32,85	422,3	4,138	3,598	109,500
3.	SP 25-0694-34-05-3 (PATG-ZnO 1,5%)	30	5	0,35	1,75	42,45	435,5	4,268	2,439	141,500
4.	SP 25-0694-34-05-4 (PATG-ZnO 2%)	30	5	0,26	1,30	35,35	533,5	5,228	4,022	117,833

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, 23 Des 2025
Kepala Bidang Pengujian dan Sertifikasi

Prof. Dr. Mochy Sutresno, M.Si.
NIP. 196005101989032001

Lampiran 4 Uji Daya Serap Air

1. Untuk Sampel Bioplastik PAT 2,5%

   Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

   $= \frac{0,1354-0,10135}{0,10135}$ x 100%

   = 33,59%

2. Untuk Sampel Bioplastik PAT-G 3%

   Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

   $= \frac{0,1672-0,11695}{0,11695}$ x 100%

   = 29,64%

3. Untuk Sampel Bioplastik PAT 3,5%

   Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

   $= \frac{0,16745-0,13585}{0,13585}$ x 100%

   = 23,26%

4. Untuk Sampel Bioplastik PAT 4%

   Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

   $= \frac{0,18365-0,15145}{0,15145}$ x 100%

   = 21,26%

5. Untuk Sampel Bioplastik PAT-Z 0,5%

Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

$= \frac{0,16245-0,13155}{0,13155}$ x 100%

= 23,48%

6. Untuk Sampel Bioplastik PAT-Z 1,5%

Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

$= \frac{0,2220-0,1815}{0,1815}$ x 100%

= 22,31%

7. Untuk Sampel Bioplastik PAT 1,5%

Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

$= \frac{0,2440-0,2015}{0,2045}$ x 100%

= 21,09%

8. Untuk Sampel Bioplastik PAT-G 2%

Daya Serap (%) $= \frac{W-Wo}{Wo}$ x 100%

$= \frac{0,1772-0,1565}{0,13585}$ x 100%

= 13,22%

Lampiran 5 Uji Biodegradasi

Sampel	Pengurangan Masa Hari Ke (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PAT 2,5%	11,69	27,81	32,09	66,19	82.49	100			
PAT 3%	10,19	25,98	41,80	66,17	75.53	86,54	100		
PAT 3,5%	11,39	13,34	19,69	59	82,5	86,5	91,81	100	
PAT 4%	6,21	11,36	14,43	55,90	68,32	69,89	86,05	90,62	100
PAT-Z 0,5%	7,16	11,29	18,91	65,08	71,91	86,12	100		
PAT-Z 1%	3,70	9,40	12,46	46,13	56,43	69,65	95,36	100	
PAT-Z 1,5%	5,67	19,96	22,74	40,3	60,13	65,63	80,75	92,54	100
PAT-Z 2%	6,74	10,94	23,26	43,58	56,37	63,3	69,91	85,22	90,76

Lampiran 6 Dokumentasi

a. Proses Isolasi Protein Ampas Tahu



Pengambilan sampel di pabrik tahu



Penyaringan



Proses ekstraksi dengan NaOH pH 8



Penambahan HCl



Disimpan dalam lemari pendingin



sentrifuse



pengeringan dengan oven



Penghalusan



Hasil protein

b. Uji Kuantitatif Protein (Metode Kjeldahl)



Proses Dekstruksi



Hasil dekstruksi + indikator PP



Proses Destilasi



Sebelum titrasi



Sesudah titrasi

c. Uji Kualitatif (Uji Unsur Protein)

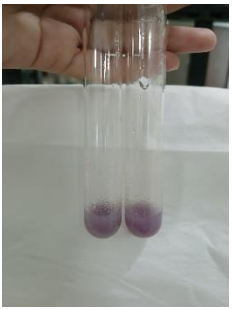


Uji Hidrogen, Oksigen



Uji Karbon

d. Uji Kualitatif (Uji Biuret)



e. Pembuatan Bioplastik



Pemanasan + pengadukan menggunakan *magnetic stirer* suhu 80^0 C



Pengovenan bioplastik

f. Sintesis Bioplastik



Bioplastik PAT 2,5%



Bioplastik PAT 3%



Bioplastik PAT 3,5%



Bioplastik PAT 4%



Bioplastik PAT-Z 0,5%



Bioplastik PAT-Z 1%



Bioplastik PAT-Z 1,5%



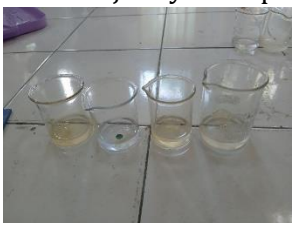
Bioplastik PAT-Z 2%

g. Proses Uji Sifat Mekanik





h. Proses Uji Daya Serap Air



i. Proses Uji Biodegradasi



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Diri

Nama Lengkap	: Fadhila Aulia Nur Afiqoh
Tempat, Tgl Lahir	: Pati, 15 April 2003
Alamat	: Ds. Kedalon 03/01 Kec. Batangan Kab. Pati Jawa Tengah
No. Telepon	: 088221101233
Email	: fadhilaaulia86@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1.	SDN Kedalon 01	Lulus Tahun 2015
2.	MTs Tarbiyatul Islamiyah Lengkong	Lulus Tahun 2018
3.	MAN 2 REMBANG	Lulus Tahun 2021

Semarang, 24 Juni 2025

Fadhila Aulia Nur Afiqoh
NIM. 2108036001