SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK DARI PATI KENTANG (*Solanum tuberosum* L.) DAN GLISEROL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN PENAMBAHAN TiO_2

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana Kimia

Oleh:
Siwi Qoirinisa
18106030021

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2022

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2880/Un.02/DST/PP.00.9/12/2022

Tugas Akhir dengan judul : Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (Solanum tuberosum L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO2

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SIWI QOIRINISA
Nomor Induk Mahasiswa : 18106030021
Telah diujikan pada : Jumat, 25 November 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 63a56f12aac10

Penguji I

Dr. Dodi Irwanto, M.Eng.
SIGNED

Valid ID: 63a56bed5e213

Penguji II

Karmanto, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 63a53331197cc

Yogyakarta, 25 November 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 63a9493cebfa0

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

1/1 27/12/2022

Dipindai dengan CamScanner

NOTA DINAS KONSULTASI

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga FM-UINSK-BM-05-03/R0

NOTA DINAS KONSULTASI

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Siwi Qoirinisa
NIM : 18106030021
Judul Skripsi. : Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2

sudah benar dan sesuai ketentuan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Kimia.

Demikian kami sampaikan. Atas perhatiannya, kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 23 Desember 2022
Konsultan

Dr. Dodi Irwanto, M.Eng.
NIP. 19830916 200911 1 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Dipindai dengan CamScanner

PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Siwi Qoirinisa
NIM : 18106030021
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Kimia.

Dengan ini kami mengharapkan agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Juli 2022

Pembimbing I	Pembimbing II
Endaruji Sedyadi, S.Si., M.Sc.	**Dr. Dodi Irwanto, M.Eng**
NIP. 19820205 201503 1 003	NIP. 19830916 000000 1 301

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
UNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Siwi Qoirinisa
NIM	: 18106030021
Tempat, Tanggal Lahir	: Sleman, 8 Oktober 1998
Jurusan	: Kimia
Fakultas	: Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "**Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2**" adalah asli hasil karya atau penelitian saya sendiri, bukan plagiat dari hasil karya orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 11 November 2022
Yang membuat pernyataan

Siwi Qoirinisa
NIM. 18106030021

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

Setiap orang memiliki cerita dan jalannya masing-masing, jangan pernah membandingkan kisahmu dengan yang lain, cukup nikmati dan syukuri setiap prosesnya, lakukan yang terbaik karena Allah adalah pembuat skenario terbaik.

"A million dreams are keeping me awake"

(**The Greatest Showman**)

"Yesterday is history, tomorrow is a mystery, today is God's gift, that's why we call it the present"

(**Joan Rivers**)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta tidak lupa shalawat dan salam kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, karya ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tuaku Bapak Sukriyono dan Ibu Sukarsinem.

Dosen Pembimbing Bapak Endaruji Sedyadi, S.Si., M.Sc.

Terima kasih atas seluruh dukungan materi, ilmu dan doa yang selalu kalian panjatkan

Untuk Almamater tercinta,

Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin. Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya mulai dari awal penelitian sampai penyusunan skripsi dan terealisasinya pembuatan skripsi dengan judul "Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2". Shalawat dan salam tidak lupa Penyusun panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga syafaatnya tercurah kepada seluruh umatnya. Skripsi ini merupakan salah satu tugas akhir dan syarat utama penyusun untuk menyandang gelar sarjana sains bidang kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih dengan penuh rasa hormat dan rendah hati. Ucapan terima kasih tersebut penyusun sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Ibu Dr. Imelda Fajriati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi.
4. Bapak Endaruji Sedyadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan sabar memberikan pengarahan, bimbingan dan saran dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Dodi Irwanto, M.Eng selaku pembimbing dan pendamping laboratorium yang telah membantu dan memberikan bimbingan dalam melaksanakan penelitian.
6. Ibu Dr. Maya Rahmayanti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberi pengarahan.
7. Seluruh Dosen dan Staf Program studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
8. Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik yang sudah memberi izin untuk melaksanakan penelitian.
9. Seluruh Staf Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik yang telah membantu dalam melaksanakan penelitian.
10. Keluarga tercinta, Bapak Sukriyono, Ibu Sukarsinem dan kakak-kakakku yang selalu sabar dan selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam bentuk material dan spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar
11. Teman-teman sebimbingan yaitu Risma Nurohmah Ramdani dan Mutiara Eka Permata yang selalu menjadi teman diskusi, memberikan dukungan, saran dan menerima keluh kesah selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
12. Sahabatku Astri Arnamalia yang selalu memberikan motivasi, semangat, bantuan dalam segala hal dan selalu mendengarkan keluh-kesah selama ini.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

13. Sahabat-sahabat Pejuang Chemiskripsweet Desi Kusuma Dewi, Humaira Nurhikmah dan Salsabila Firdausi yang selalu memberikan dukungan, selalu ada waktu untuk mendengarkan keluh kesah dan bertukar cerita selama ini.
14. Keluarga Caffeine (Kimia angkatan 2018) yang bersedia menemani, memberi masukan dan dukungan selama ini.

Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi mahasiswa Program Studi Kimia. Penyusun mengakui laporan skripsi ini jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan, maka dari itu penyusun sangat berterima kasih apabila ada kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan laporan skripsi ini.

Yogyakarta, 30 Juni 2022

Penyusun

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR ii
NOTA DINAS KONSULTASI iii
PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI v
MOTTO vi
HALAMAN PERSEMBAHAN vii
DAFTAR ISI x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang Masalah 1
B. Batasan Masalah 5
C. Rumusan Masalah 6
D. Tujuan Penelitian 6
E. Manfaat Penelitian 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 8
A. Tinjauan Pustaka 8
B. Landasan Teori 12
1. Kentang (*Solanum tuberosum L.*) 12
2. Pati 13
3. Plastik *Biodegradable* 16
4. Gliserol dari Minyak Jelantah 17
5. Titanium Dioksida (TiO_2) 19
6. Sifat Mekanik 22
7. Biodegradasi 24
8. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) 25
9. *Scanning Electron Microscope* (SEM) 27
10. Uji Statistika 28
C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian 29
BAB III METODE PENELITIAN 33
A. Waktu dan Tempat Penelitian 33
B. Alat-alat Penelitian 33
C. Bahan Penelitian 33
D. Cara Kerja Penelitian 34
E. Karakterisasi Bioplastik Pati Kentang dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2 36
F. Teknik Analisis Data 37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 38
A. Gliserol dari Minyak Jelantah 38
1. Preparasi Gliserol dari Minyak Jelantah 38

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2. Karakterisasi Gliserol dari Minyak Jelantah 39
B. Bioplastik 43
C. Uji Mekanik Bioplastik 44
D. Analisis FTIR Bioplastik 50
E. Analisis SEM Bioplastik 53
F. Uji Biodegradasi Bioplastik 56
G. Teknik Analisis Data 58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 67
A. Kesimpulan 67
B. Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 68
LAMPIRAN 74

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur amilosa dan amilopektin 14
Gambar 2.2. Reaksi transesterifikasi. 18
Gambar 2.3. Struktur fasa kristal TiO_2. 20
Gambar 4.1. Gliserol dari minyak jelantah tanpa pemurnian (a), gliserol dengan pemurnian arang aktif (b) dan gliserol dengan pemurnian *bleaching earth* (c). 41
Gambar 4.2. Grafik FTIR gliserol komersial..... 41
Gambar 4.3. Grafik ketebalan bioplastik dengan variasi penambahan TiO_2. 45
Gambar 4.4. Grafik nilai kuat tarik bioplastik variasi TiO_2. 46
Gambar 4.5. Grafik nilai *elongasi* bioplastik dengan variasi TiO_2..... 48
Gambar 4.6. Grafik nilai *modulus Young* bioplastik dengan variasi TiO_2. ... 50
Gambar 4.7. Bioplastik dengan variasi TiO_2 0% (a), 1% (b), 2% (c), 3% (d), dan 4% (e). 52
Gambar 4.8. Bioplastik variasi TiO_2 0% resolusi 100x (a), 0% resolusi 5000x (b), 1% resolusi 100x (c), 1% resolusi 5000x (d), 2% resolusi 100x (e), 2% resolusi 5000x (f), 3% resolusi 100x (g), 3% resolusi 5000x (h), 4% resolusi 100x (i), dan 4% resolusi 5000x (j) 51
Gambar 4.9. Grafik laju biodegradasi bioplastik dengan variasi TiO_2..... 54

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat beberapa jenis pati 15
Tabel 2.2. Kriteria, ambang batas dan verifikasi bioplastik 16
Tabel 2.3. Sifat mekanik bioplastik sesuai SNI..... 17
Tabel 2.4. Sifat-sifat gliserol. 17
Tabel 4.1. Persamaan linier dan gradien laju biodegradasi bioplastik 58
Tabel 4.2. Hasil uji Kruskal-Wallis ketebalan 60
Tabel 4.3. Hasil uji Spearman ketebalan 60
Tabel 4.4. Hasil uji ANOVA *one way* kuat tarik 61
Tabel 4.5. Hasil uji Spearman kuat tarik 61
Tabel 4.6. Hasil uji Kruskal-Wallis *elongasi* 62
Tabel 4.7. Hasil uji Spearman *elongasi* 63
Tabel 4.8. Hasil uji Kruskal-Wallis *modulus Young* 63
Tabel 4.9. Hasil uji Spearman *modulus Young*..... 63
Tabel 4.10. Hasil uji Kruskal-Wallis laju biodegradasi 64
Tabel 4.11. Hasil uji Spearman laju biodegradasi 64

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Densitas gliserol dari minyak jelantah..... 74
Lampiran 2. Gambar hasil pembuatan gliserol dari minyak jelantah 74
Lampiran 3. Gambar hasil bioplastik 76
Lampiran 4. Hasil uji sifat mekanik bioplastik 78
Lampiran 5. Hasil uji FTIR bioplastik 83
Lampiran 6. Hasil uji SEM bioplastik..... 85
Lampiran 7. Hasil uji biodegradasi bioplastik 88
Lampiran 8. Perhitungan susut bobot..... 90
Lampiran 9. Uji normalitas sifat mekanik bioplastik..... 92
Lampiran 10.Uji homogenitas sifat mekanik bioplastik 92

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRAK

Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Pati Kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2.

Oleh: Siwi Qoirinisa
Pembimbing 1: Endaruji Sedyadi, S.Si., M.Sc.
Pembimbing 2: Dr. Dodi Irwanto, M.Eng.

Pembuatan bioplastik dari pati kentang (*Solanum tuberosum* L.) dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2 telah dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi TiO_2. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan TiO_2 terhadap sifat fisik, mekanik serta laju biodegradasi bioplastik dari pati singkong dan gliserol dari minyak jelantah. Penelitian dilakukan dengan membuat gliserol dari minyak jelantah, pembuatan film bioplastik dengan variasi konsentrasi TiO_2 0; 1; 2; 3 dan 4%, karakterisasi bioplastik yang meliputi sifat fisik, mekanik dan kimia serta uji biodegradasi menggunakan metode *soil burial test*. Penambahan TiO_2 sebagai *filler* bioplastik dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik dan laju biodegradasi dalam tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, setiap penambahan 1% TiO_2 meningkatkan ketebalan 22,966 mikron, meningkatkan nilai kuat tarik 0,0853 N/mm^2, menurunkan *elongasi* 5,0987%, dan meningkatkan *modulus Young* rata-rata sebesar 0,0599 MPa. Hasil uji mekanik bioplastik terbaik dihasilkan pada komposisi pati 2,5 gram dan 2% (b/v) partikel TiO_2. Penambahan TiO_2 tidak memiliki beda nyata yang signifikan terhadap laju biodegradasi. Namun, memiliki korelasi yang erat antara hilangnya massa bioplastik dengan lama penguburan.

Kata Kunci: *Bioplastik, Gliserol minyak jelantah, TiO_2, Laju biodegradasi.*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

ABSTRACT

Synthesis and Characterization of Bioplastics from Potato Starch (*Solanum tuberosum* L.) and Glycerol from Leech Oil with the Addition of TiO_2.

By: Siwi Qoirinisa
Supervisor 1: Endaruji Sedyadi, S.Si., M.Sc.
Supervisor 2: Dr. Dodi Irwanto, M.Eng.

The manufacture of bioplastics from potato starch (*Solanum tuberosum* L.) and glycerol from leech oil with the addition of TiO_2 has been done by varying the concentration of TiO_2. This study aims to study the effect of the addition of TiO_2 on the physical, mechanical properties and bioplastic biodegradation rate of cassava starch and glycerol from leech oil. The research was conducted by making glycerol from used cooking oil, making bioplastic films with various concentrations of TiO_2 0; 1; 2; 3 and 4%, characterization of bioplastics which includes physical, mechanical and chemical properties as well as biodegradation tests using the soil burial test method. The addition of TiO_2 as a bioplastic filler can affect the physical, mechanical properties and the rate of biodegradation in the soil. The results showed that each addition of 1% TiO_2 increased the thickness by 22,966 microns, increased the tensile strength value of 0.0853 N/mm^2, decreased elongation by 5.0987%, and increases the average Young's modulus by 0.0599 MPa. The best bioplastic mechanical test results were produced at a starch composition of 2.5 grams and 2% (w/v) of TiO_2 particles. The addition of TiO_2 did not have a significant noticeable difference to the rate of biodegradation. However, it has a close correlation between the loss of bioplastic mass and the length of burial.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Keywords: Bioplastics, Glycerol oil, TiO_2, Biodegradation rate.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Plastik menjadi material yang paling banyak digunakan di kalangan masyarakat karena sifatnya yang kuat, ringan dan stabil. Banyaknya plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari menimbulkan masalah karena sebagian besar plastik yang beredar merupakan plastik yang dibuat dari bahan baku minyak bumi sehingga sulit terurai secara alami oleh mikroorganisme (Darni dan Herti, 2010). Penguraian sampah plastik oleh mikroorganisme memerlukan waktu yang lama bahkan sampai ratusan tahun dalam tanah. Apabila sampah plastik dibakar maka akan menghasilkan gas karbon yang berbahaya bagi kesehatan dan mencemari udara (Cengristitama & Insan, 2020).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2019, terdapat sekitar 79% sampah plastik yang terakumulasi di tempat pembuangan sampah dan di alam dan hanya sekitar 9% sampah plastik yang telah didaur ulang sedangkan sekitar 12% dimusnahkan (insinerasi). Tren sampah plastik di Indonesia akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan pertumbuhan penduduk. Hal ini dapat dilihat dari tahun 2014 sampah plastik yang dihasilkan Indonesia sebesar 8,94 juta ton atau sekitar 14% dari total sampah. Jumlah itu meningkat pada tahun 2016 menjadi 16% atau 10,43 juta ton. Berdasarkan analisa KLHK dan *World Bank* penanganan sampah di Indonesia belum dapat tertangani dengan baik. Hal tersebut terbukti dari cakupan pelayanan sampah dan jumlah persen pengurangan sampah yang relatif masih rendah,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

sehingga menimbulkan berbagai masalah lingkungan (Qodriyatun, Indahri, Andina, Suryani, & Prasetyawan, 2019). Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satunya adalah dengan plastik *biodegradable*.

Plastik *biodegradable* atau bioplastik adalah plastik yang disintesis dari bahan alam sehingga mudah didegradasi oleh mikroorganisme. Saat ini bahan baku yang sudah banyak digunakan dalam sintesis plastik *biodegradable* adalah pati (Agustin & Padmawijaya, 2016). Bioplastik dari pati dapat terurai 20 kali lebih cepat dibandingkan plastik konvensional yang saat ini banyak digunakan. Limbah dari bioplastik juga dapat dimanfaatkan sebagai bubuk kompos karena meningkatkan unsur hara dalam tanah (Nur, Nazir, & Taib, 2020). Pati sangat mudah didapatkan karena banyak terdapat di alam. Pati termasuk golongan hidrokoloid polimer organik. Pati memiliki kandungan amilosa dan amilopektin yang merupakan senyawa glukosa. Pati banyak terdapat dalam umbi-umbian seperti kentang. Kentang (*Solanum tuberosum* L.) adalah jenis umbi-umbian yang memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi (Nurlaila & Purnomo, 2020). Kentang sendiri mengandung pati sebesar 22-28%, amilosa 26%, dan amilopektin 74% dengan suhu gelatinisasi 72-74 ºC (Radhiyatullah, Indriani, & Ginting, 2015). Akan tetapi, sama halnya dengan bioplastik dari bahan baku pati, bioplastik dari pati kentang memiliki kelemahan yaitu kekuatan tarik dan *modulus Young* yang rendah, bersifat hidrofilik, dan tidak cukup kuat. Oleh karena itu, dalam pembuatan bioplastik dari pati perlu adanya bahan tambahan seperti *plasticizer* sebagai pengelastis, sedangkan untuk memperbaiki sifat hidrofobiknya

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

perlu ditambahkan biopolimer lain seperti karbohidrat, kitosan dan selulosa (Darni & Utami, 2010). *Plasticizer* yang banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah gliserol karena sifatnya yang lebih baik dibandingkan *plasticizer* lain seperti sorbitol. Gliserol dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada intermolekuler (Radhiyatullah, Indriani, & Ginting, 2015).

Minyak goreng menjadi kebutuhan masyarakat dalam mengolah makanan sehari-hari maupun untuk usaha-usaha makanan. Minyak goreng yang telah digunakan beberapa kali akan menghasilkan limbah minyak goreng yang disebut minyak jelantah (*waste cooking oil*). Minyak jelantah ditinjau dari komposisi kimianya mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik yang berasal dari proses penggorengan, sehingga pemakaian minyak jelantah terus menerus dapat menimbulkan penyakit kanker dan mengurangi kecerdasan generasi selanjutnya. Banyak limbah jelantah dari rumah tangga maupun usaha makanan yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Upaya untuk mengurangi buangan limbah tersebut dapat dengan memanfaatkan limbah jelantah sebagai bahan baku untuk menghasilkan gliserol (Pratiwi & Sinaga, 2017). Minyak jelantah memiliki kandungan asam kaprilat 8%, asam kaprat 7%, asam laurat 48%, asam miristat 17,5%, asam palmitat 8,8%, asam stearat 2%, asam oleat 6% dan asam linoleat 2,5%. Pemanfaatan minyak jelantah sebagai pembuat gliserol melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa kuat dan alkohol (Cengristitama & Insan, 2020).

Penambahan *plasticizer* pada plastik *biodegradable* masih memiliki kekurangan yaitu mudah rusak dan bersifat hidrofilik sehingga perlu ditambahkan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

filler atau pengisi yang dapat memperbaiki sifat mekaniknya. *Filler* yang paling banyak digunakan adalah kitosan. Tetapi penggunaan kitosan sebagai *filler* masih memiliki kelemahan karena struktur kitosan tidak tahan terhadap asam (Sriwahyuni, 2018). Oleh karena itu, perlu adanya pembaruan *filler* atau pengisi yang digunakan salah satunya dengan logam titanium dioksida (TiO_2). Penambahan pengisi anorganik seperti TiO_2 dapat memperbaiki sifat mekanik bioplastik, ramah lingkungan dan sangat mudah terurai secara alami (Ates & Kuz, 2020). Selain berfungsi sebagai pengisi, TiO_2 juga dapat mempengaruhi laju degradasi bioplastik. Partikel TiO_2 merupakan bahan yang tidak beracun dan sangat reaktif terhadap sinar ultraviolet, sehingga sering digunakan sebagai *photocatalytic degradation* (Merisiyanto & Mawarni, 2013). Titanium dioksida juga memiliki sifat antimikroba terhadap bakteri gram positif dan negatif, serta jamur karena partikel TiO_2 memiliki sifat antioksidan yang tinggi, sehingga dapat merusak mikroorganisme (Bukit & S., 2019). Menurut Athir, *et al*., (2020) TiO_2 rutil paling banyak digunakan sebagai pelindung sinar UV. Selain itu baik anatas maupun rutil memiliki sifat anti jamur dan tidak memiliki perbedaan yang signifikan tehadap sifat mekaniknya.

Beberapa penelitian mengenai penambahan logam TiO_2 dalam bioplastik antara lain, Hastuti dengan memvariasikan konsentrasi TiO_2 1, 2, 3, dan 5% pada pati biji durian dan gliserol dengan tujuan mengetahui pengaruh TiO_2 sebagai perlindungan terhadap sinar UV pada *smart packaging*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 dapat meningkatkan intensitas serapan sinar UV dan ketahanan terhadap biodegradasi. Penambahan TiO_2

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

menyebabkan transmitansi Ti-O menjadi lebih tajam, O-H karboksil, C-H *streatching*, C-H *bending*, C-O-C *streatching* dan C=O karbonil. Namun, bioplastik yang dihasilkan memiliki kelemahan yaitu permukaannya yang kasar dan bergelembung (Hastuti, 2020).

Oleyaei, Zahedi, Ghanbarzadeh, & Moayedi, (2016) juga melakukan penelitian dengan menambahkan nanopartikel TiO_2 ke dalam pati film untuk memodifikasi sifat termal, fisik dan kimia pati film. Penambahan TiO_2 dilakukan dengan variasi konsentrasi 0, 0,5, 1 dan 2%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 dapat menurunkan permeabilitas uap air dan serapan kelembaban, kenaikan absorbansi sinar UV yang besar dan memperkuat pati film. Namun penambahan TiO_2 menyebabkan menurunnya kekuatan mekanik yang diakibatkan aglomerasi berlebihan dari TiO_2 dengan konsentrasi 2%.

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, maka penelitian ini perlu dilakukan dengan sintesis dan karakterisasi bioplastik dari pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan partikel titanium dioksida (TiO_2) rutil menggunakan metode *melt intercalation*. Sintesis bioplastik ini diharapkan dapat memperbaiki dan meningkatkan sifat fisik, mekanik dan laju biodegradasi dari bioplastik yang dihasilkan.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pati yang digunakan adalah pati kentang dengan merek Mr. Food

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2. Gliserol dibuat dari minyak jelantah yang diperoleh dari penjual gorengan, limbah rumah tangga dan Pesantren Ulul Albab.
3. Partikel TiO_2 yang digunakan diperoleh dari Toko Raja Kimia dengan struktur Rutil merek Lomon R 996.
4. Metode pembuatan bioplastik menggunakan metode *melt intercalation*.
5. Uji mekanik yang dilakukan adalah uji ketebalan, *elongasi*, kuat tarik dan *modulus Young*
6. Uji biodegradasi dilakukan dengan metode *soil burial test*.
7. Media tanah yang digunakan untuk uji biodegradasi berasal dari daerah Seyegan, Sleman.

C. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan TiO_2 terhadap sifat mekanik bioplastik berbasis pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah?

2. Bagaimana pengaruh penambahan TiO_2 terhadap laju biodegradasi bioplastik berbasis pati kentang dengan gliserol dari minyak jelantah?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh penambahan TiO_2 terhadap sifat mekanik bioplastik berbasis pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah

2. Studi pengaruh penambahan TiO_2 terhadap laju biodegradasi pada bioplastik berbasis pati kentang dengan gliserol dari minyak jelantah.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh informasi terkait sifat mekanik bioplastik dari pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2.
2. Memperoleh informasi terkait laju degradasi bioplastik dari pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Radhiyatullah, Indriani, & Ginting (2015) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh berat pati dan volume *plasticizer* gliserol terhadap karakteristik film bioplastik pati kentang. Pembuatan film bioplastik dilakukan dengan melarutkan 10 g pati dengan 100 ml air, ditambahkan asam asetat 3 ml, dan gliserol 10 ml. Campuran pati dipanaskan selama 1 jam pada suhu 72-74 °C hingga terbentuk gelatin dan ditambahkan NaOH 0,1 M dan kitosan 1% sebanyak 100 ml. lalu dicetak dan didiamkan selama 2 hari pada suhu ruang. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan film bioplastik yang dibuat dengan metode *blending* memiliki kekuatan tarik maksimal pada variasi volume gliserol 0 ml dengan berat pati 10 gram yaitu 9,397 MPa. Pada analisis menggunakan FTIR terjadi pergeseran OH, C=C dan C-H serta permukaan film bioplastik yang dihasilkan tidak rata. Persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah jenis pati dan *plasticizer* yaitu pati kentang dan gliserol. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah *filler*, metode dan adanya uji biodegradasi.

Fajriati, Sedyadi, & Sudarlin (2017) melakukan penelitian mengenai sintesis komposit film kitosan-TiO_2 menggunakan sorbitol sebagai *plasticizer*. Pembuatan komposit film kitosan-TiO_2 tersebut dilakukan dengan metode sol gel pada suhu kamar dengan prekursor TTIP. Bibit nanokristal TiO_2 disintesis dengan cara TTIP ditambahkan secara tetes perlahan dalam asam asetat 10% diaduk selama 24 jam sampai terbentuk sol keruh dan didiamkan selama 7 hari. Sol

kemudian ditambahkan larutan kitosan 3% dan didiamkan selama 7 hari. Setelah proses *aging*, larutan ditambahkan sorbitol dengan variasi 0, 3, dan 5 % kemudian dikeringkan dengan oven selama 120 menit. Hasil dari penelitian ini diperoleh adanya keseragaman fasa anatase dalam film kitosan-TiO_2 dengan struktur monokristal. Film komposit kitosan-TiO_2 rata-rata memiliki ketebalan 0,01 mm, kuat tarik dan nilai *elongasi* optimum terjadi pada konsentrasi sorbitol 3%, serapan air semakin tinggi dengan bertambahnya kadar sorbitol. Terdapat penurunan intensitas dan pergeseran bilangan gelombang dari gugus -OH, -NH, -C=O, -C-OH dan C-O-C. Pita serapan gugus O-Ti-O menjadi lebih tajam dan lebar. Berdasarkan uraian tersebut, persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah penggunaan logam oksida TiO_2 sebagai bahan tambahan pembuatan film. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu bahan baku yang digunakan pada penelitian tersebut berupa kitosan, jenis *plasticizer*, metode pembuatan film serta adanya uji biodegradasi film.

Agustin & Padmawijaya (2016) telah melakukan penelitian sintesis bioplastik dari kitosan, pati kulit pisang kapok dengan penambahan seng oksida (ZnO) sebagai penguat. Penelitian tersebut dilakukan dengan memvariasi pati, kitosan, gliserol dan ZnO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi optimum untuk membuat bioplastik dari kitosan, pati kulit pisang kapok, gliserol dan ZnO adalah 4% kitosan-30% pati-5 ml gliserol-5% ZnO dan semakin besar nilai kuat tarik, nilai *elongasi* akan menurun. Gugus fungsi utama dari bioplastik dengan analisis FTIR menunjukkan O-H (3431 cm^{-1}), C-H (2923 cm^{-1}), -NH

(1632 cm^{-1}), dan Zn-O (585 cm^{-1}). Berdasarkan uraian tersebut, persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu menggunakan bahan baku pati dan bahan tambahan merupakan logam oksida dan metode karakterisasi yang digunakan. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu jenis pati dan logam oksida, bahan tambahan, uji laju degradasi, dan metode yang digunakan.

Maryanti, Pasaribu, Adfa, S., & Fitriani (2016) juga telah melakukan penelitian pembuatan bioplastik berbahan pati ubi jalar, gliserin, dan penambahan nanopartikel ZnO menggunakan metode *melt-intercalation*. Pembuatan dilakukan dengan mencampurkan gliserin dan nanopartikel ZnO dengan variasi konsentrasi 1, 3 dan 5% (b/b) lalu disonikasi selama 25 menit setelah ditambahkan pati dan dipanaskan selama 20 menit pada suhu 80-90 ^{o}C lalu dicetak dan dikeringkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bioplastik yang dihasilkan tidak berwarna (bening), transparan dan bioplastik bersifat elastis. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bioplastik pati ubi jalar mengandung gugus fungsi OH, C-H, C-O. Berdasarkan penjelasan tersebut, persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah menggunakan pati dan gliserol, penambahan logam semikonduktor. Perbedaan penelitian tersebut dengan dengan penelitian ini yaitu jenis pati, gliserol dan logam semikonduktor yang digunakan, serta uji karakterisasi.

Ates & Kuz (2020) telah melakukan penelitian mengenai bioplastik berbahan baku pati jagung dan gliserol dengan penambahan TiO_2, CFME, dan nanoclay MMT sebagai *packaging industry*. Sintesis bioplastik dilakukan dengan mencampurkan 25 gram dengan 30 ml HCl 0.1 M dan 20 ml gliserin dan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

dipanaskan selama 15 menit. Kemudian, dicetak dan dikeringkan dengan oven pada suhu 30 ^{o}C lalu ditambahkan masing-masing TiO_2, CFME dan MMT dengan variasi konsentrasi tiap bahan 1%, 3% dan 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TiO_2, CFME dan MMT memiliki pengaruh yang hampir sama yaitu meningkatkan kekuatan bioplastik, kelarutan dalam H_2SO_4, HCl, NaOH, etil alkohol dan asetonitril. Selain itu *velocity* rata-rata dan gaya *breaking force* yang dihasilkan 366,07 mm/s dan 11973. Berdasarkan uraian diatas, persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah bioplastik berasal dari pati dengan *plasticizer* gliserin dan adanya penambahan TiO_2. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu jenis pati yang digunakan adalah pati kentang, adanya uji laju biodegradasi dan metode pembuatan bioplastik.

Amin, Chowdhury, & Kowser (2019) telah melakukan penelitian mengenai performa dan karakteristik komposit bioplastik yang disintesis dari pati jagung dengan titanium dioksida (TiO_2). Sintesis bioplastik dilakukan dengan mencampurkan 50 mg pati jagung dengan 300 ml akuades yang kemudian ditambahkan 25 mg gliserol, 30 ml asam asetat dan 30 mg TiO_2. Campuran kemudian dipanaskan dan diaduk selama 5 menit dan dicetak pada aluminium foil atau *dye* dan disimpan selama 10 hari hingga kering. Hasil penelitian tersebut bioplastik yang dihasilkan memiliki karakteristik tidak transparan, kuat tarik meningkat, *elongasi* menurun, stabilitas panas tinggi, absorbansi pada gugus C-H dan C-O-H meningkat. Pada uji *soil burial degradation* menunjukkan penambahan TiO_2 memperlambat degradasi. Berdasarkan penelitian tersebut terdapat persamaan penelitian tersebut dengan penelitian ini yaitu menggunakan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

pati, gliserol dengan penambahan TiO_2 serta uji mekanik dan uji biodegradasi. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah jenis pati yang digunakan pati kentang.

Berdasarkan uraian tinjauan pustaka, maka kebaruan pada penelitian ini adalah pada sintesis bioplastik dari pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2 menggunakan metode *melt intercalation*. Penambahan TiO_2 diharapkan bioplastik memiliki sifat fisik dan mekanik serta laju degradasi yang lebih baik. Uji yang akan dilakukan pada bioplastik ini adalah uji mekanik meliputi ketebalan, kuat tarik, *elongation*, *modulus Young* dan analisis gugus fungsi dan permukaan dengan *fourier transform infrared* (FTIR), *scanning electron microscopy* (SEM) serta uji biodegradasi dengan metode *soil burial test*.

B. Landasan Teori

1. Kentang (*Solanum tuberosum L.*)

Kentang merupakan tanaman semusim yang berbentuk semak atau perdu. Umur tanaman kentang cenderung variasi antara 85-120 hari, dengan tinggi sekitar 50-120 cm dengan diameter kanopi sekitar 50 cm (Asgar, 2013). Klasifikasi tanaman kentang menurut Rukmana (1997):

Kingdom	: *Plantae*
Divisi	: *Spermatophyta*
Subdivisi	: *Angiospermae*
Kelas	: *Dicotyledonae*
Ordo	: *Solanales*
Famili	: *Solanaceae*
Genus	: *Solanum*
Spesies	: *Solanum tuberosum* L.
Kultivar	: *Granola Vietnam*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan salah satu jenis umbi-umbian yang digunakan sebagai sumber karbohidrat tinggi dan menjadi makanan pokok setelah gandum, jagung dan beras. Kentang memiliki perbandingan protein yang lebih tinggi dari biji serelia dan umbi lainnya. Kandungan yang terdapat dalam kentang antara lain serat makanan 3,3%, asam askorbat 42 mg/100g, kalium 693,8 mg/100g , karotenoid total 2700 mcg/100 g, asam klorogenat 1570 mcg/100 g, α-solanin 0,001-47,2 mg/100 g, asam amino yang seimbang, mineral, vitamin B, vitamin C dan protein (Asgar, 2013). Selain itu kentang juga memiliki kandungan enzim *catecholase* yang dapat dimanfaatkan dalam bidang kecantikan seperti masker wajah. Kentang memiliki ukuran granula pati yang terbesar diantara granula pati-pati komersial lainnya yaitu berkisar antara 5-100 µm. Bentuk dari granula pati kentang berupa oval atau bulat telur. Pati kentang memiliki suhu gelatinisasi 58-68 °C (Oktaviasari & Zulkarnain, 2017).

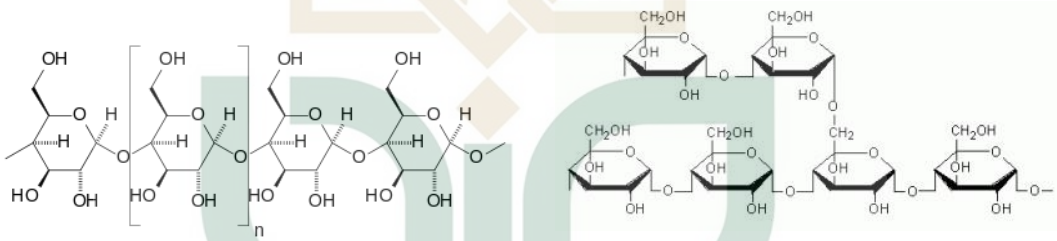
Penggunaan pati sebagai bahan baku pembuatan bioplastik merupakan upaya untuk mengurangi limbah sampah plastik konvensional yang sulit terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme. Selain mudah terdegradasi penggunaan pati kentang ini karena keberadaanya yang melimpah di Indonesia sehingga mudah didapatkan.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2. Pati

Pati adalah polisakarida hasil proses fotosintesis yang memiliki bentuk kristal berganda yang tidak larut dalam air pada suhu ruang. Pati merupakan komponen yang banyak ditemukan di tanaman berupa cadangan karbohidrat. Pati banyak dimanfaatkan dalam industri makanan sebagai pengental, *gelling agent*,

bulking agent dan water retention agent (Danimayostu, Shofiana, & Permatasari, 2017). Pati terdiri dari sebagian besar berkisar 80-90% amilopektin dan sisanya adalah amilosa. Sebagian besar pati di alam memiliki kandungan amilopektin yang cukup tinggi. Amilosa tersusun dari molekul-molekul α-glukosa dengan ikatan glikosida α-(1-4) yang membentuk rantai linier. Amilopektin tersusun dari amilosa-amilosa yang terbentuk dari ikatan α-(1-4) yang saling terikat dengan cabang ikatan glikosida α-(1-6). Amilosa dan amilopektin dalam pati memiliki peran yang berbeda, amilosa berfungsi untuk meningkatkan kekerasan dan amilopektin berfungsi untuk meningkatkan kerenyahan (H. & Y., 2013). Struktur amilosa dan amilopektin disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Struktur amilosa dan amilopektin (Melani, Herawati, & Kurniawan, 2017).

Pati telah banyak digunakan dalam penelitian pembuatan plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan. Pemanfaatan ini karena pati merupakan bagian dari senyawa karbohidrat yang dapat menghasilkan lembaran tipis film pati. Salah satu pati yang sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan plastik *biodegradable* adalah pati kentang. Pati kentang mengandung amilosa sekitar 23% dan amilopektin 77% (Anita, Akbar, & Harahap, 2013). Sifat beberapa jenis pati disajikan pada Tabel 2.1.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tabel 2.1. Sifat beberapa jenis pati (Radhiyatullah, Indriani, & Ginting, 2015)

Sumber	Pati (%)	Amilosa (%)	Amilopektin (%)	Suhu gelatinisasi (°C)
Jagung	64-74	26	74	62-70
Gandum	87,2-93,5	26	74	68-75
Beras	60-77	1	99	67,5-74
Sorgum	57-74	17	83	58,5-70
Tapioka	14-28	20	80	-
Kentang	22-28	26	74	72-74

Pati kentang memiliki nilai *swelling power* dan viskositas dari pati kentang lebih tinggi dibandingkan pati lainnya (Danimayostu, Shofiana, & Permatasari, 2017). Suhu gelatinisasi merupakan suhu ketika granula pati mengalami pembengkakan dan melewati titik maksimum hingga akhirnya pecah. Gelatinisasi akan menyebabkan peningkatan viskositas. Penurunan suhu gelatinisasi dipengaruhi oleh konsentrasi pati, semakin kental maka suhu gelatinisasi akan semakin lambat sampai pada suhu tertentu kekentalannya tidak berubah. Suhu gelatinisasi sangat dipengaruhi oleh kadar amilosa, amilopektin serta kuat lemahnya ikatan dalam granula. Gelatinisasi akan merubah bentuk amilosa amorphous ke bentuk helik (Mandasari, Amanto, & A., 2015).

Pembuatan bioplastik dari bahan dasar pati pada dasarnya menggunakan prinsip gelatinisasi. Gelatinisasi dilakukan dengan mencampurkan pati dengan air dan dipanaskan hingga granula pati membengkak. Akibatnya, terbentuk ikatan hidrogen intermolekul dan antar molekul yang menyebabkan bioplastik memiliki sifat hidrofilik sehingga mudah terdegradasi (Maslahah, Kajian Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Umbi Garut dengan Filler ZnO dan Plasticizer

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Gliserol, 2019). Oleh karena itu, pembuatan bioplastik dari bahan pati dapat menjadi alternatif dalam mengurangi limbah plastik karena sifatnya yang mudah terdegradasi.

3. Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat diurai secara alami oleh aktivitas mikroorganisme menjadi air dan karbondioksida setelah tidak dipakai dan dibuang ke lingkungan sehingga dikategorikan sebagai plastik yang ramah lingkungan. Plastik *biodegradable* dapat digunakan seperti plastik konvensional pada umumnya. Berdasarkan bahan baku yang digunakan plastik *biodegradable* dibagi menjadi dua jenis yaitu plastik *biodegradable* berbahan baku petrokimia dan berbahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa (Anita, Akbar, & Harahap, 2013).

Penelitian tentang plastik *biodegradable* telah banyak dilakukan, hal tersebut diharapkan dapat mengurangi permasalahan lingkungan. Plastik *biodegradable* agar dapat digunakan seperti plastik konvensional, tetapi tetap ramah lingkungan maka harus memenuhi persyaratan lingkungan yang telah ditetapkan oleh Badan Standarisasi Nasional mengenai bioplastik. Kriteria, ambang batas dan verifikasi bioplastik disajikan pada Tabel 2.2. Sifat mekanik plastik sesuai SNI disajikan pada Tabel 2.3

Tabel 2.2. Kriteria, ambang batas dan verifikasi bioplastik (Melani, Herawati, & Kurniawan, 2017)

Aspek Lingkungan	Persyaratan
Penggunaan bahan aditif	Tidak menggunakan zat warna azo
Degredibilitas	Pertumbuhan mikroba pada permukaan produk >60% selama 1 minggu
Kandungan logam berat	Cd : < 0,5 ppm dan Pb : < 50 ppm
Tansile elongation	Kuat beban yang diberikan maksimal < 50 kgf/cm^2

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tabel 2.3. Sifat mekanik bioplastik sesuai SNI (Melani, Herawati, & Kurniawan, 2017)

No.	Karakteristik	Nilai
1.	Kuat tarik (Mpa)	24,7-302
2.	Persen elongation	21-220
3.	Hidrofobisitas	99

Pembuatan bioplastik merupakan upaya untuk mengurangi penggunaan plastik konvensional yang tidak ramah lingkungan karena sulit terdegradasi secara alami. Pembuatan bioplastik dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu eksfoliasi atau adsorpsi, polimerisasi in situ interkalatif, interkalasi larutan dan *melt intercalation*. Pada penelitian ini digunakan metode *melt intercalation* yang merupakan metode ramah lingkungan karena tidak menggunakan pelarut anorganik seperti pada metode eksfoliasi, polimerisasi in situ interkalatif dan interkalasi larutan yang menggunakan pelarut anorganik (Melani, Herawati, & Kurniawan, 2017). Metode *melt intercalation* adalah teknik inversi fasa dengan penguapan pelarut setelah proses pencetakan pada plat akrilik (Nafiyanto, 2019).

4. Gliserol dari Minyak Jelantah

Gliserol merupakan salah satu jenis *plasticizer* yang banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik untuk mengubah sifat dan karakteristik bioplastik menjadi lebih baik. Sifat-sifat gliserol disajikan pada Tabel 2.4.

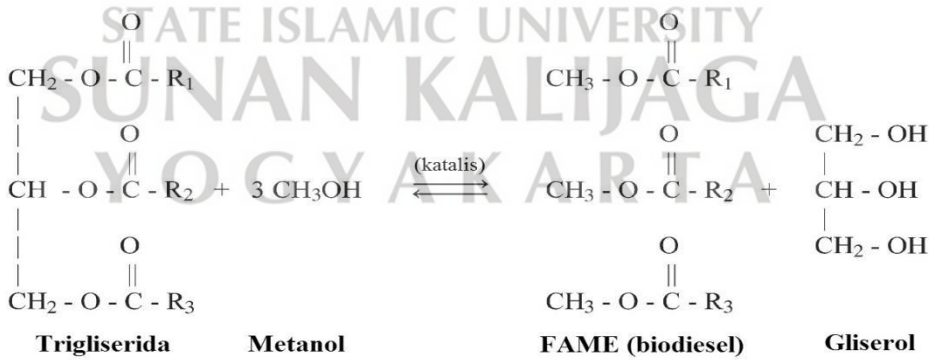
Tabel 2.4. Sifat-sifat gliserol (Radhiyatullah, Indriani, & Ginting, 2015).

Sifat	Nilai
Bentuk	Cair
Kemurnian	95-99,5%
Titik didih	290 °C pada 1013 hPa
Densitas relatif	1,26 pada 20 °C
Viskositas	1410 mPas pada 20 °C
Tegangan Permukaan	63,4 Mn/m pada 20 °C

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Gliserol termasuk dalam senyawa alkohol yang memiliki 3 gugus hidroksi (1,2,3 propanatriol) yang merupakan senyawa alkohol trihidrat. Gliserol atau gliserin memiliki sifat higroskopis, kental, jernih, tidak berbau, memiliki rasa manis, dan titik lebur 18,2 °C. Gliserol dapat ditemukan dalam susunan minyak dan lemak nabati maupun hewani dan sering dijumpai berkombinasi dengan asam stearat, asam oleat, asam palmitat, dan asam laud. Selain itu, gliserol merupakan senyawa trihidroksi alkohol yang dapat membentuk senyawa monogliserida, digliserida dan trigliserida karena dapat mengikat 1, 2, 3 molekul asam lemak dalam bentuk ester.

Gliserol dapat diperoleh dari reaksi transesterifikasi lemak atau minyak. Gliserol yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi memiliki rasa agak manis, cair tidak berwarna, larut dalam air dan tidak larut dalam eter. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan minyak dan alkohol dengan bantuan katalis basa kuat (Wulandari, Saktihono, & Susilowati, 2016). Reaksi transesterifikasi disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Reaksi transesterifikasi (Haryanto, Silviana, Triyono, & Prabawa, 2015).

Penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* dalam pembuatan bioplastik dapat memperbaiki sifat mekanik dengan mengurangi ikatan hidrogen sehingga menjadi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

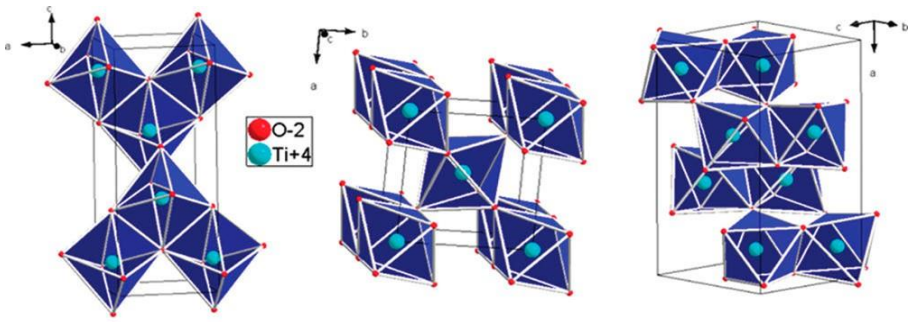
lebih elastis dan meningkatkan jarak antar molekul dari polimer. Penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* karena gliserol memiliki kelarutan yang relatif lebih tinggi dari *plasticizer* lain seperti sorbitol. Gliserol juga memiliki kemampuan yang efektif untuk mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekul (Sinaga, Ginting, Ginting, & Hasibuan, 2014).

Plasticizer merupakan pelarut organik yang ditambahkan untuk mengurangi kekakuan, sehingga akumulasi gaya intermolekuler pada rantai panjang akan menurun menyebabkan pemanjangan, kelenturan dari bioplastik. Prinsip dari penambahan *plasticizer* ini adalah adanya dispersi molekul *plasticizer* ke dalam bioplastik, ketika *plasticizer* memiliki gaya interaksi dengan polimer maka proses dispersi akan berlangsung dalam skala molekul dan terbentuk larutan polimer *plasticizer* (Melani, Herawati, & Kurniawan, 2017).

5. Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida atau titania dengan rumus kimia TiO_2 memiliki berat molekul 79,90 g/mol, dan densitas 4,26 g/cm^{-3}. Material TiO_2 merupakan material yang memiliki banyak keunggulan baik dari segi fisik maupun kimia, sehingga material TiO_2 banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti penjernih air, adsorben, dan penguat sifat-sifat polimer. Karakteristik TiO_2 dipengaruhi oleh metode pembuatan, ukuran partikel, kristalinitas, kemurnian, dan fasanya. Titanium dioksida (TiO_2) di alam terdapat dalam tiga fasa kristal yaitu anatas, rutil dan brooklit (Sopamena, 2019). Struktur fasa kristal disajikan pada Gambar 2.3.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Anatase Rutil Brooklit

Gambar 2.3. Struktur fasa kristal TiO_2 (Sang, Zhao, & Burda, 2013).

Fasa kristal brooklit TiO_2 memiliki struktur ortorombik yang jarang ditemukan dan sulit untuk dibuat. Fasa kristal anatas dan rutil memiliki struktur tetragonal dengan tetapan kisi kristal dan sifat fisik yang berbeda. Struktur TiO_2 rutil pada suhu tinggi cenderung lebih stabil dibandingkan struktur anatas yang stabil pada suhu rendah. Selain itu, struktur rutil memiliki warna putih yang cemerlang, sehingga banyak digunakan dalam pembuatan cat, plastik, dan kertas. Material TiO_2 merupakan material yang sangat stabil dalam suhu tinggi dan bereaksi secara lambat karena adanya ikatan yang kuat antara ion titanium tetravalen dan ion-ion oksigen bivalen. Titanium dioksida merupakan material berupa serbuk putih dengan lebur 1855 ^{o}C yang memiliki indeks bias yang tinggi. Kristal dalam TiO_2 bersifat asam yang tidak larut dalam air, HCl, HNO_3 tetapi larut dalam H_2SO_4 pekat membentuk titanium sulfat ($TiSO_4$) dan asam florida (Nasution & Fitri, 2018). Titanium dioksida (TiO_2) memiliki sifat kimia yang stabil, tidak beracun dan ramah lingkungan sehingga telah banyak digunakan dalam berbagai aspek antara lain:

a. Fotovoltaik berbasis zat pewarna (sel Gratzel) dan fotovoltaik berbasis *quantum dot*.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

b. Fotokatalis, TiO_2 digunakan sebagai pembersih organik dalam rangka pemurnian lingkungan air dan udara.
c. Fotohidrofil yaitu pengembangan hidrofil aktif permukaan oleh sinar matahari dan ultraviolet (UV).
d. TiO_2 sebagai anti bakteri

Titanium dioksida akan aktif ketika terpapar radiasi UV yang memiliki panjang gelombang dibawah λ=385 nm (Sutrisno, Ariswan, & Purwaningsih, 2016). Energi gap yang dimiliki partikel TiO_2 sebesar 3,2 eV sehingga dapat menghamburkan sebagian sinar UV dari sinar matahari, menyerap sebagian lainnya dan hanya sedikit sekali yang diteruskan. Selain memiliki sifat dapat menghamburkan sinar UV, titanium dioksida (TiO_2) memiliki sifat hidrofilik banyak digunakan untuk melapisi suatu material. Pelapisan material dengan TiO_2 akan membuat material bersifat anti *fogging* dan swa-bersih (*self-cleaning*) karena sudut kontak tetesan air hanya sekitar 10° dan terus berkurang ketika disinari dengan sinar UV (Sari & Astuti, 2013). Titanium dioksida memiliki sifat antimikroba seperti bakteri gram positif, bakteri gram negatif, virus dan jamur. Hal tersebut dikarenakan TiO_2 memiliki sifat oksidan yang kuat sehingga akan menyebabkan kerusakan pada mikroorganisme. Sifat oksidan dari TiO_2 dikarenakan band gap pada TiO_2 akan menghasilkan pasangan elektron lubang yang menyebabkan reaksi redoks pada permukaan TiO_2 ketika diradiasikan dengan cahaya. Elektron yang bermuatan negatif akan menyatu dengan oksigen menjadi O_2 sementara lubang yang bermuatan positif dan air akan membentuk

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

radical oxygen species (ROS) dapat teroksidasi menjadi karbon dioksida (CO_2) dan air (Bukit & S., 2019).

Kochkina & Butikova (2018) penambahan TiO_2 sebagai *filler* dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik bioplastik menjadi lebih baik serta memiliki sifat spesial seperti antibakteri, fotokatalis, pelindung UV, sehingga dapat digunakan untuk kesehatan, kosmetologi dan bidang pertanian. Film berbasis pati-logam oksida memiliki keunggulan yaitu sifat mekanik dan fisik yang kuat serta dapat meminimalkan kontaminasi dari mikroorganisme (Tunma, 2017). Oleh karena itu, penambahan TiO_2 rutil juga akan mempengaruhi sifat fisik, mekanik dan laju biodegradasi pada metode *soil burial test* karena bersifat antimikroba dan memiliki sifat hidrofilik yang rendah karena tidak mudah larut dalam air.

6. Sifat Mekanik

Plastik biodegradable dari pati memiliki sifat mekanik yang kurang baik, sehingga perlu ditambahkan bahan tambahan seperti *plasticizer* dan *filler*. *Plasticizer* yang banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah gliserol sebagai pemlastis. *Filler* digunakan sebagai pengisi atau penguat dari bioplastik. *Filler* dapat berupa karbohidrat, selulosa dan kitosan. Selain itu, pengisi juga dapat berupa partikel logam seperti TiO_2, ZnO, $CaCO_3$. Parameter yang digunakan untuk evaluasi sifat sebagai ketebalan, kuat tarik (*tensile strength*), *elongasi* dan *modulus Young*.

a. Ketebalan

Ketebalan bioplastik merupakan parameter penting dalam menentukan sifat mekanik bioplastik. Semakin tebal bioplastik maka kemampuan dalam menahan

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

beban akan semakin besar, umur simpan akan semakin panjang dan akan memiliki permeabilitas O, CO_2 dan uap air yang lebih baik. Ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh banyaknya fraksi terlarut, luas dan volume dalam cetakan. Selain itu ketebalan juga dipengaruhi oleh konsentrasi dari bahan pembuat plastik (Nur, Nazir, & Taib, 2020). Ketebalan dapat dihitung melalui rata-rata perhitungan lima titik dari film menggunakan rumus:

$$\text{Ketebalan rata-rata} = \frac{(\text{titik } 1 + \text{titik } 2 + \text{titik } 3 + \text{titik } 4 + \text{titik } 5)}{5} \quad \text{.....(2.1)}$$

(Maslahah, Alisaputra, & Sedyadi, Biodegradation Bioplastic Based on Arrowroot Starch with Glycerol Plasticizer and ZnO Fillers, 2021).

b. Kuat tarik

Kuat tarik (*tensile strength*) merupakan parameter yang penting dalam menentukan kualitas dari bioplastik. Kuat tarik berkaitan dengan kemampuan bioplastik melindungi produk dan sangat berkaitan dengan ketebalan. Semakin tebal bioplastik, maka kuat tariknya juga akan meningkat. Nilai kuat tarik menunjukkan tegangan dan gaya maksimum yang dapat diterima bioplastik sebelum putus (Nur, Nazir, & Taib, 2020). Nilai kuat tarik dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\sigma = \frac{F}{A0} \quad \text{.....(2.2)}$$

Keterangan:
σ = kuat tarik (N/m^2)
F = beban tarik (N)
A_0 = luas penampang (m^2)

c. *Elongasi*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Elongasi merupakan persentase perpanjangan bioplastik setelah plastik itu putus karena adanya gaya yang diberikan. Uji *elongasi* akan menghasilkan nilai *elongasi* yang menggambarkan fleksibilitas dan daya regang dari bioplastik (Nur, Nazir, & Taib, 2020). Nilai *elongasi* dapat dihitung dengan persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{lo} \quad \text{.....(2.3)}$$

Keterangan:
l = panjang setelah pengujian
lo = panjang awal
ε = elongasi

d. *Modulus Young*

Modulus Young merupakan parameter dalam menentukan kekakuan dari bioplastik. Nilai *modulus Young* tergantung pada besarnya kuat tarik dan *elongasi*. *Modulus Young* atau elastisitas bioplastik dapat ditentukan dengan perbandingan kuat tarik dengan *elongasi* (persen pemanjangan) (Nur, Nazir, & Taib, 2020). Persamaan untuk menentukan *modulus Young* sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \text{.....(2.4)}$$

Keterangan:
E = *modulus Young*
σ = kuat tarik (MPa)
ε = *elongasi* (persen pemanjangan)

7. Biodegradasi

Biodegradasi adalah perubahan senyawa kimia menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan mikroorganisme. Proses biodegradasi terdiri dari dua tahap yaitu tahap pertama (*Primary Biodegradation*) yang merupakan proses dimana terjadi perubahan sebagian molekul kimia menjadi komponen lain yang lebih sederhana, lalu tahap biodegradasi tuntas (*Ultimate Biodegradation*) yang merupakan proses perubahan molekul kimia secara bertahap hingga terbentuk

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

CO_2, H_2O dan senyawa organik lain (Hastuti, 2020). Proses biodegradasi dapat terjadi melalui proses hidrolisis (degradasi kimiawi), bakteri atau jamur, enzim (degradasi enzimatik), oleh angin dan abrasi (degradasi mekanik), cahaya (fotodegradasi). Proses degradasi juga dapat dilakukan melalui proses aerobik dan anaerobik (Harnist & Darni, 2011).

Uji biodegradabilitas dilakukan dengan media tanah karena dalam tanah terdapat berbagai mikroorganisme seperti jamur dan bakteri. Uji biodegradasi dilakukan dengan metode *soil burial test*. Uji biodegradabilitas metode *soil burial test* yaitu metode penguburan bioplastik dalam media tanah. Uji dilakukan dengan uji kehilangan massa dan laju kehilangan massa dalam kurun waktu yang ditentukan. Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kehilangan massa} = \frac{Wi - Wf}{Wi} \times 100\% \quad (2.5)$$

Keterangan:
W_i = massa sampel sebelum diinkubasi
W_f = massa sampel sesudah dibiodegradasi

Penentuan laju kehilangan massa (v) dapat ditentukan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$v = \frac{Wi - Wf}{\Delta t} \quad (2.6)$$

Keterangan:
v = laju kehilangan massa
t = waktu yang dibutuhkan untuk biodegradasi (Anas, Ariefta, Nurfiana, & Rohaeti, 2016).

8. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan metode spektroskopi inframerah yang berfungsi untuk menentukan gugus fungsi dan ikatan molekul

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

antara senyawa kimia. Spektrofotometer FTIR dapat memberikan hasil spektrum IR yang lebih cepat dibandingkan dengan spektrofotometer tradisional. Instrumen FTIR akan menghasilkan berkas radiasi IR yang dipancarkan dari benda hitam yang berpendar. Berkas tersebut akan melewati interferometer untuk proses pengkodean spektral. Rekombinasi *beams* dengan panjang jalur yang berbeda di interferometer menghasilkan interferensi konstruktif dan destruktif yang disebut interferogram. Berkas lalu masuk ke kompartemen sampel dan sampel akan menyerap frekuensi energi tertentu yang menunjukkan karakteristik sampel. Detektor akan mengukur sinyal interferogram khusus dalam energi berbanding waktu pada semua frekuensi secara bersamaan. Sementara itu, balok dilapiskan untuk memberikan referensi untuk pengoperasian instrumen. Spektrum FTIR dari sampel akhirnya diperoleh dengan perangkat lunak komputer transformasi *Fourier*.

Spektrum IR pada spektrofotometer FTIR terletak pada daerah antara 4000 dan 666 cm^{-1}. Energi transisi yang sesuai menyebabkan perubahan energi vibrasi pada gugus fungsional terletak pada daerah 4000-400 cm^{-1}, pita absorpsi pada daerah tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsional tertentu. Biasanya, ada empat wilayah jenis ikatan yang dapat dianalisis dari spektrum FTIR seperti ikatan tunggal (OH, CH, NH) dapat dideteksi pada bilangan gelombang 2500-4000 cm^{-1}, ikatan rangkap pada daerah 2000-2500 cm^{-1} dan ikatan rangkap tiga pada bilangan gelombang 1500-2000 cm^{-1}.

Sampel menjadi parameter yang sangat penting untuk memperoleh spektrum FTIR, maka sangat penting untuk mengetahui jenis sampel atau

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

senyawanya. Oleh karena itu, penting untuk menentukan metode preparasi sampel yang tepat. Semua parameter preparasi sampel harus sesuai untuk mendapatkan spektrum FTIR yang baik, meliputi puncak yang tajam, intensitas yang baik dan resolusi yang baik. Umunya, puncak intensitas yang lebih tinggi disebabkan karena adanya pengotor dalam sampel (Mohamed, Jaafar, Ismail, Othman, & Rahman, 2017).

9. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning electron microscope (SEM) merupakan salah satu teknik mikroskopi yang digunakan untuk menentukan bentuk dan ukuran partikel. Prinsip pada SEM adalah ketika berkas elektron ditembakkan pada permukaan elektron dengan gambar diperoleh dari hasil deteksi elektron yang dihambur balikkan atau dari elektron sekunder. Elektron sekunder adalah elektron yang berasal dari permukaan sampel dan memiliki energi rendah sekitar 5-50 eV. Elektron yang dihambur balikkan berasal dari sampel bagian dalam yang memberikan informasi terkait komposisi sampel, karena elektron yang lebih berat menghambur balikkan secara lebih kuat dan pada gambar yang dihasilkan lebih terang. Analisis SEM dilakukan pada keadaan vakum yaitu pada tekanan 10^{-4} bar agar elektron hanya bereaksi dengan sampel yang akan diteliti. Sampel yang akan diteliti haruslah memiliki sifat konduktif, bebas air dan lemak. Jika sampel tidak bersifat konduktif, maka sampel harus dilapisi lapisan tipis Au atau Pt (Setiabudi, Hardian, & Mudzakir, 2012). Aplikasi SEM telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian salah satu contohnya digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari film bioplastik.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

10. Uji Statistika

Pengujian statistika yang digunakan dalam penelitian ini adalah ANOVA, Kruskal-Wallis dan korelasi Spearman. Data yang akan dianalisis adalah data sifat mekanik bioplastik dan laju biodegradasi. Analisis ANOVA (*Analysis of variance*) adalah teknik statistika yang digunakan untuk membandingkan 3 atau lebih rata-rata dan untuk memisahkan variasi yang disebabkan oleh perubahan faktor yang dikendalikan. Uji ANOVA dalam banyak penelitian digunakan untuk menguji adanya kesamaan atau perbedaan dari kelompok yang dibandingkan. Hipotesis dalam uji dapat dituliskan sebagai berikut: H0: $\mu1=\mu2\ \mu3=0$, hipotesis nol pada uji ANOVA adalah rata-rata ke-1, 2, 3 hingga ke-n adalah sama tidak ada perbedaan. Sementara hipotesis alternatifnya dituliskan H1: tidak semua μ adalah sama, pada hipotesis alternatif menunjukkan bahwa adanya salah satu rata-rata yang berbeda dengan rata-rata kelompok lain (Rahman, 2019).

Uji Kruskal-Wallis adalah analisis uji non parametik yang bertujuan untuk membandingkan 3 peringkat data. Uji kruskal-Wallis serupa dengan *one way* ANOVA dalam statistika parametrik. Statistika nonparametrik mempunyai ciri sebagai berikut: (1) metode bebas, (2) jika $n < 30$ dan terdistribusi tidak normal, dan melibatkan *ranking* dan kategorisasi data. Hasil akhir dari uji Kruskall-Wallis adalah nilai P *value*, apabila nilainya <0,05 maka kesimpulannya H1 diterima dan H0 ditolak (Rahman, 2019).

Sedangkan uji korelasi Spearman merupakan salah satu teknik statistika yang berfungsi untuk mencari hubungan antara variabel. Penggunaan uji korelasi Spearman berfungsi untuk menilai seberapa baik fungsi monotonik (suatu fungsi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

yang sesuai digunakan untuk menggambarkan hubungan dua variabel tanpa membuat asumsi distribusi frekuensi dari variabel-variabel) (Yanti & Akhri, 2021). Kelebihan dari penggunaan uji korelasi ini adalah analisis berbasis rangking lebih mudah dan data digunakan untuk mengetahui korelasi pada non linear. Uji korelasi Spearman menghitung nilai korelasi dari -1 (korelasi sempurna dalam derajat kemiringan negatif) dan +1 (korelasi sempurna dalam derajat kemiringan positif). Hubungan korelasi juga dapat dilihat pada nilai diantara -1 dan +1, jika angka di atas 0,5 atau di bawah 0,5, maka hubungan tersebut disebut moderat atau cukup kuat (Moedjahedy, Setyanto, & Aryasa, 2020).

Oleh karena itu, uji ANOVA, Kruskal-Wallis dan korelasi Spearman tersebut dapat digunakan untuk menganalisis adakah perbedaan dan pengaruh penambahan TiO_2 pada bioplastik yang dihasilkan dari pati kentang dengan gliserol dari minyak jelantah.

C. Kerangka Berfikir dan Hipotesis Penelitian

Pati merupakan polimer yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik *biodegradable* yang ramah lingkungan karena dapat terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme. Pemanfaatan pati sebagai bahan baku untuk pembuatan plastik *biodegradable* masih memiliki beberapa kekurangan yaitu mudah rusak, hidrofilik dan kaku. Oleh karena itu, perlu ditambahkannya bahan tambahan lain yaitu *plasticizer* dan *filler* untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Menurut Radhiyatullah, Indriani, & Ginting (2015) penambahan *plasticizer* dapat merubah karakteristik dan sifat plastik

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

biodegradable menjadi lebih elastis, karena *plasticizer* dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekular sehingga akan meningkatkan ruang molekul dan mobilitas dari biopolimer. Penambahan partikel TiO_2 menurut Hastuti (2020) dapat menguatkan dan menghambat biodegradasi bioplastik. Titanium dioksida (TiO_2) akan terdistribusi dan menghambat pembentukan matriks film dari *plasticizer* dan pati. Partikel TiO_2 yang masuk ke dalam jaringan tiga dimensi matriks film akan mengganggu interaksi pati dan *plasticizer*, sehingga memperlemah ikatan antar polimer. Hal tersebut akan mengurangi *elongasi* dari bioplastik. Sebaliknya, dengan menurunnya nilai *elongasi* maka bioplastik akan semakin kuat karena adanya ikatan antara TiO_2 dengan gugus OH yang rapat sehingga bioplastik akan semakin susah merenggang.

Hipotesis 1: Jika TiO_2 dapat membentuk ikatan dengan gugus –OH yang rapat dalam bioplastik dan memperlemah ikatan antar polimer, maka penambahan TiO_2 akan mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristik dari bioplastik yang dihasilkan.

Hipotesis 1 diuji dengan analisis uji mekanik meliputi uji ketebalan, kuat tarik (*tensile strength*), *elongasi* dan *modulus Young* pada sampel bioplastik dengan variasi konsentrasi TiO_2. Analisis gugus fungsi yang terdapat dalam bioplastik menggunakan instrumen FTIR serta analisis permukaan bioplastik menggunakan SEM.

Penambahan TiO_2 akan mempengaruhi laju biodegradasi dari bioplastik. Penambahan TiO_2 dalam pembuatan bioplastik akan menghambat proses biodegradasi dalam tanah karena TiO_2 memiliki sifat antimikroba. Serbuk logam oksida sederhana seperti TiO_2, ZnO, CaO, dan MgO menunjukkan aktivitas antimikroba yang cukup signifikan di bawah cahaya dan dalam jumlah kecil tanpa

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

adanya cahaya. Menurut Amin, Chowdhury, & Kowser (2019) bioplastik pati tanpa penambahan partikel TiO_2 menunjukkan persentase penurunan massa lebih cepat dibandingkan bioplastik dengan partikel TiO_2. Hal tersebut dikarenakan mikroorganisme tidak mudah menyerang bioplastik dengan TiO_2 yang bersifat antibakteri. Rata-rata persentase penurunan berat pada bioplastik pati tanpa partikel TiO_2 sebesar 81% sedangkan pada bioplastik dengan TiO_2 sebesar 61%.

Selain itu, berdasarkan penelitian El-Wakil, Hassan, Abou-Zeid, & Dufrense, (2015) porositas dan hidrofilitas dapat meningkatkan adsorpsi air dari lingkungan, sehingga akan mengurangi kekuatan fisik dan mekanik dan menjadi media yang cocok untuk mikroorganisme tumbuh. Oleh karena itu, untuk mengurangi kekurangan tersebut dengan meningkatkan sifat mekanik dan pengalang adsorpsi air perlu dilakukan modifikasi misalnya dengan penambahan montmorillonit, penggabungan nanokristal. Penambahan TiO_2 akan membentuk ikatan hidrogen Ti-O dengan –OH dari pati yang menyebabkan penurunan jaringan film bebas dan jumlah absorpsi air. Hal itu juga menyebabkan ruang dan struktur dari bioplastik lebih rapat sehingga penetrasi molekul air kedalam film bioplastik makin sulit. Partikel TiO_2 juga memiliki hidrofilisitas yang rendah sehingga dapat bertindak sebagai penghalang difusi air dalam film bioplastik (Oleyaei, Zahedi, Ghanbarzadeh, & Moayedi, 2016). Efek ketebalan film bioplastik juga mempengaruhi biodegradasi karena semakin tebal film maka film akan memakan waktu yang lama untuk hancur. Oleh karena itu, dalam hal ini waktu hancur merupakan fungsi dari ketebalan dan bioplastik yang memiliki sifat

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

mudah rapuh secara fisik lebih mudah terurai di lingkungan (Hayati & Lazulva, 2018).

Hipotesis 2: Jika biodegradasi dipengaruhi sifat fisik dan mekanik, maka penambahan TiO_2 yang dapat meningkatkan kekuatan fisik dan mekanik akan memperlambat laju biodegradasi bioplastik dalam tanah.

Hipotesis 2 diuji dengan menggunakan uji biodegradasi melalui metode *soil burial test* yaitu dengan penguburan bioplastik dalam tanah selama 15 hari dan dihitung penyusutan massa masing-masing sampel dengan variasi konsentrasi TiO_2.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2021 sampai Maret 2022 di Laboratorium Balai Besar Kulit, Karet dan Plastik (BBKKP) Yogyakarta untuk preparasi sampel, pembuatan bioplastik, pengujian sifat fisik, mekanik, dan analisis gugus fungsi. Analisis permukaan dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

B. Alat-alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, seperangkat alat gelas, *hot plate*, *magnetic stirrer*, pengaduk, oven, corong pisah, sendok sungu, gelas arloji, corong gelas, cawan akrilik, termometer, neraca analitik, alu dan lumpang porselen, kertas saring, statif dan klem, mikrometer sekrup, vakum, satu set instrumen *Universal Testing Machine* (UTM), instrumen analisis *fourier transform infrared* (FTIR) dan *scanning electron microscope* (SEM)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

C. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah pati kentang, minyak jelantah, TiO_2 rutil merek Lomon R 996, akuades, metanol (CH_3OH) teknis, NaOH p.a, gliserol komersil, H_2SO_4 p.a, arang aktif teknis, *bleaching earth* teknis dan media tanah.

D. Cara Kerja Penelitian

1. Pembuatan gliserol dari minyak jelantah

Gliserol diperoleh dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi antara minyak jelantah dengan alkohol yang pada penelitian ini menggunakan metanol p.a. Pertama, membuat larutan metoksida dengan mencampurkan 9 gram NaOH dengan metanol 200 ml diaduk sampai semua NaOH larut dan larutan menjadi homogen. Kemudian panaskan 800 ml minyak jelantah sampai suhunya mencapai 50 °C, setelah mencapai suhu 50 °C ditambahkan dengan larutan metoksida, dipanaskan dalam *hotplate* dengan suhu dijaga konstan antara 70-75 °C sambil dilakukan pengadukan dengan kecepatan 500 rpm selama 1 jam. Larutan akan terpisah menjadi 2 lapisan yaitu lapisan atas berwarna kuning bening yang merupakan biodiesel dan lapisan bawah berwarna coklat pekat yang merupakan gliserol. Larutan kemudian didiamkan selama 1 malam.

2. Pemurnian Gliserol

a. Pemurnian menggunakan karbon aktif

Gliserol terbentuk dipisahkan dari biodiesel, kemudian ditambahkan larutan H_2SO_4 31,45% sebanyak 17 ml. Larutan dipanaskan dan diaduk sampai larutan homogen dan larut semua. Setelah itu akan terbentuk 3 lapisan yaitu lapisan FFA, gliserol, dan garam. Gliserol yang terbentuk dipisahkan dan dinetralkan pH nya menggunakan larutan NaOH. Kemudian gliserol dipanaskan sampai volumenya menjadi sepertiga dari volume semula dan terbentuk *crude glycerol*. *Crude glycerol* ditambahkan metanol sebanyak 4 kali volume *crude glycerol*. Larutan kemudian ditambahkan 18 gram karbon aktif yang telah dihaluskan, diaduk

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

sampai tercampur semua. Saring karbon aktif menggunakan vakum beberapa kali dan dicuci menggunakan metanol. Larutan gliserol kemudian dilakukan evaporasi pada suhu 110 °C hingga metanol dan air telah menguap semua dan tersisa gliserol.

b. Pemurnian menggunakan *bleaching earth*

Gliserol terbentuk dipisahkan dari biodiesel, kemudian ditambahkan larutan H_2SO_4 31,45% sebanyak 17 ml. Larutan dipanaskan dan diaduk sampai larutan homogen dan larut semua. Setelah itu akan terbentuk 3 lapisan yaitu lapisan FFA, gliserol, dan garam. Gliserol yang terbentuk dipisahkan dan dinetralkan pH nya menggunakan larutan NaOH. Kemudian gliserol dipanaskan sampai volumenya menjadi sepertiga dari volume semula sampai terbentuk *crude glycerol*. *Crude glycerol* dipanaskan sampai suhu 90 °C kemudian ditambahkan *bleaching earth* sebesar 1% (b/v). Larutan dipanaskan sampai suhu 110 °C selama 30 menit. Larutan didiamkan pada suhu ruang sampai larutan dingin agar serbuk *bleaching earth* mengendap. Endapan *bleaching earth* kemudian disaring menggunakan kertas saring.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

3. Pembuatan Bioplastik dengan Variasi TiO_2

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan mencampurkan TiO_2 dengan variasi konsentrasi 0, 1, 2, 3, dan 4% (b/v) dengan gliserol sebanyak 1 ml. Pati kentang sebesar 2,5 gram dilarutkan dalam 50 ml akuades dan ditambahkan 1 ml gliserol. Larutan dipanaskan pada suhu 70-75 °C selama ±30 menit dan diaduk dengan kecepatan 400 rpm sampai terjadi gelatinisasi. Campuran tersebut kemudian ditambahkan larutan TiO_2 sebanyak 100 ml dengan konsentrasi 0, 1, 2, 3, dan 4%

(b/v). Larutan diaduk dan dipanaskan pada suhu 70-75 °C sampai terjadi gelatinisasi kembali. Suspensi film bioplastik kemudian dicetak pada cetakan akrilik dan dikeringkan dalam oven selama 3-4 jam dengan suhu 60 °C. Bioplastik yang telah terbentuk didiamkan dalam suhu kamar sampai kering. Bioplastik didiamkan dalam suhu ruang sampai bioplastik dapat dikeluarkan dari cetakan.

E. Karakterisasi Bioplastik Pati Kentang dan Gliserol dari Minyak Jelantah dengan Penambahan TiO_2

1. Pengukuran ketebalan

Ketebalan bioplastik diukur menggunakan mikrometer sekrup 0,001 mm. Ketebalan bioplastik diukur pada lima titik yang berbeda. Hasil ketebalan dihitung berdasarkan rata-rata dari lima titik tersebut dan dalam satuan mm.

2. Uji kuat tarik, *elongasi*, dan *modulus Young*

Uji kuat tarik dan *elongasi* diukur menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Sebelum diukur film bioplastik dipotong terlebih dahulu dengan ukuran 10 x 1 cm kemudian diukur ketebalannya. Nilai kuat tarik diperoleh berdasarkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh film bioplastik. Nilai *elongasi* diperoleh ketika film bioplastik terputus. *Modulus Young* yang merupakan nilai kekakuan bioplastik diperoleh berdasarkan perbandingan kuat tarik dengan *elongasi*.

3. Uji *fourier transform infrared* (FTIR)

Uji analisis gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR dengan cara membuat pelet bioplastik. Bioplastik dipotong kecil-kecil yang kemudian

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

dicampurkan dengan bubuk KBr di kemudian diletakkan di *set holder*. Analisis gugus fungsional dilakukan pada bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1}.

4. Uji *scanning electron microscope* (SEM)

Uji permukaan bioplastik (morfologi) dilakukan dengan instrumen SEM. Pengujian dilakukan dengan cara film bioplastik diletakkan diatas tempat sampel. Analisis permukaan dengan SEM dilakukan pada resolusi 100x, 300x, 1000x dan 5000x.

5. Uji biodegradasi

Uji biodegradasi dilakukan melalui metode *soil burial test*. Pengujian dilakukan dengan cara memotong film bioplastik menjadi beberapa bagian kecil (3 x 3 cm) kemudian dikubur di dalam tanah selama 15 hari. Laju biodegradasi dapat ditentukan berdasarkan nilai susut bobot yang diukur secara berkala pada waktu yang telah ditetapkan yaitu hari ke-7, 11 dan 15.

F. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan pada uji mekanik yang meliputi uji ketebalan, *elongasi*, kuat tarik dan *modulus Young*. Gugus fungsional pada bioplastik dianalisis menggunakan FTIR dan permukaan bioplastik (morfologi) dianalisis menggunakan SEM. Uji biodegradasi dilakukan dengan metode *soil burial test*. Data kuantitatif yang diperoleh dari uji-uji tersebut akan dianalisis uji beda dan korelasinya menggunakan uji statistika ANOVA, Kruskal-Wallis dan korelasi Spearman dengan aplikasi SPSS.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gliserol dari Minyak Jelantah

1. Preparasi Gliserol dari Minyak Jelantah

Pembuatan gliserol dari minyak jelantah menghasilkan gliserol dengan warna coklat. Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan gliserol ini adalah minyak jelantah yang diperoleh dari Pondok Pesantren Ulul Albab, penjual gorengan dan limbah rumah tangga. Pembuatan gliserol dilakukan dalam 3 metode pembuatan yang berbeda yaitu tanpa pemurnian, menggunakan arang aktif dan menggunakan *bleaching earth*. Pembuatan gliserol dari minyak jelantah pernah dilakukan oleh Novitasari, Ratnasari, & Setyawardhani (2021) dengan hasil *crude glycerol* yang memiliki densitas 1,15 g/ml, kadar air 10,03% dengan warna coklat. Gliserol hasil pemurnian karbon aktif berwarna bening-kehitaman, pemurnian dengan *bleaching earth* berwarna coklat-bening terang.

Proses pembuatan gliserol dari minyak jelantah menggunakan prinsip reaksi transesterifikasi. Pembuatan gliserol dimulai dengan membuat larutan metoksi. Penambahan larutan metoksi akan menyebabkan terjadi pemutusan 3 rantai gugus ester dari setiap cabang trigliserida dalam minyak jelantah. Adanya NaOH berfungsi sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi. Proses pembuatan pada gliserol 1 tanpa pemurnian, diperoleh gliserol berbentuk padatan dan membeku. Hal itu dikarenakan pada proses transesterifikasi, gliserol yang dihasilkan berupa *crude glycerol* yang mengandung impuritas yang tinggi seperti sabun, garam, metanol dan katalis sehingga gliserol mudah membeku. Maka dari itu, pada

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

pembuatan gliserol 2 dan 3 dilakukan pemurnian menggunakan arang aktif dan *bleaching earth*.. Penambahan asam sulfat berfungsi untuk menetralkan katalis basa yang masih terdapat dalam gliserol. Penambahan asam akan memecah sabun menjadi asam lemak bebas dan garam sehingga larutan akan membentuk 3 lapisan yaitu lapisan asam lemak bebas, gliserol dan garam. Gliserol dipanaskan untuk menguapkan air dan metanol yang masih tersisa dalam gliserol dari proses netralisasi.

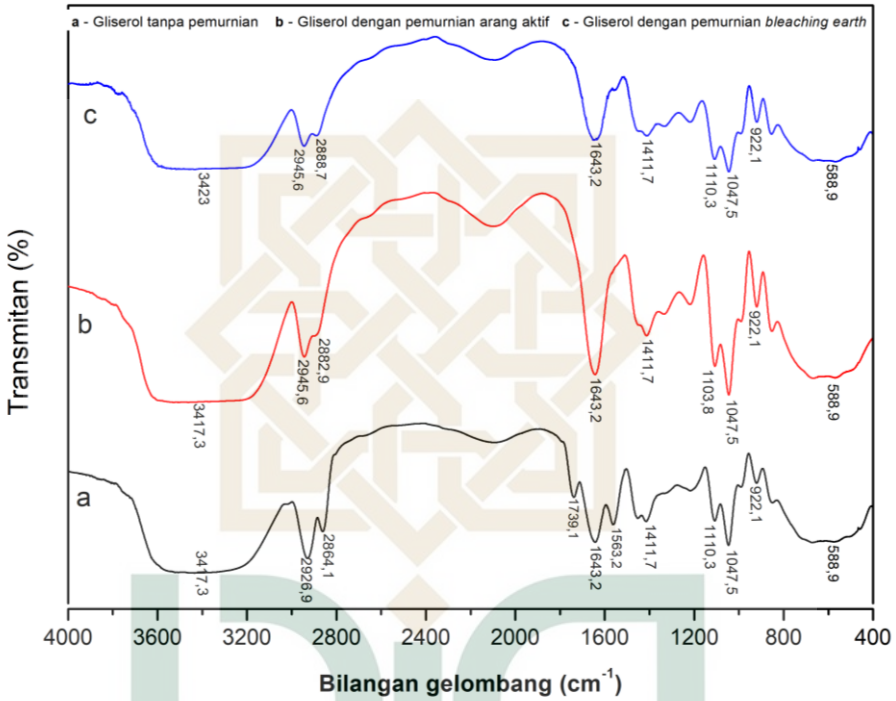
Proses pembuatan gliserol 2, sepertiga gliserol ditambahkan metanol dan arang aktif. Arang aktif terlebih dahulu dihaluskan agar memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga akan mempercepat reaksi dan dapat mengadsorpsi kotoran secara optimal. Larutan kemudian destilasi pada suhu 110 °C untuk menghilangkan metanol dan air. Gliserol yang dihasilkan berwarna coklat kehitaman karena warna dari arang aktif ikut terlarut selama proses adsorpsi, sehingga gliserol menghitam. Proses pembuatan gliserol 3 yang dimurnikan dengan *bleaching earth.* Gliserol yang dihasilkan berwarna cokelat terang. Hal ini dikarenakan penambahan *bleaching earth* dapat mengadsorpsi warna dan kotoran dalam gliserol. *Bleaching* dapat mengadsorbansi cairan yang memiliki viskositas yang lebih rendah maupun lebih tinggi.

2. Karakterisasi Gliserol dari Minyak Jelantah

Pengujian gugus fungsi dalam gliserol dari minyak jelantah dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR. Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui bahwa gliserol hasil minyak jelantah telah terbentuk dan dibandingkan dengan gliserol komersial. Hasil uji FTIR gliserol dari minyak

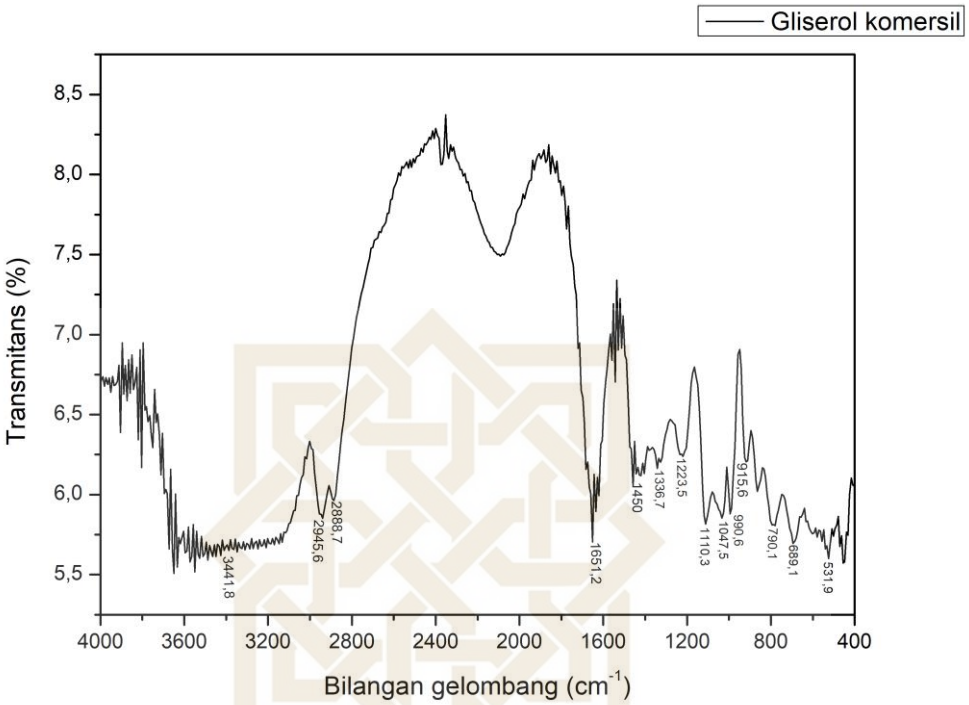
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

jelantah dapat dilihat pada Gambar dan grafik FTIR gliserol komersial disajikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Gliserol dari minyak jelantah tanpa pemurnian (a), gliserol dengan pemurnian arang aktif (b) dan gliserol dengan pemurnian *bleaching earth* (c).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Gambar 4.2. Grafik FTIR gliserol komersial

Hasil spektrum IR gliserol dari minyak jelantah kemudian dibandingkan dengan spektrum IR dari gliserol komersial, untuk menganalisis gugus fungsi pada gliserol dari minyak jelantah. Berdasarkan spektrum FTIR gliserol komersial terdapat pita serapan pada bilangan gelombangan 3441,8 cm^{-1} yang mengindikasikan gugus OH *streaching*. Sementara pada puncak 2888,7-2945,6 cm^{-1} merupakan gugus C-H *streaching*. Peregangan ikatan OH dengan ikatan hidrogen antar atau intramolekul yang juga dapat dibentuk oleh molekul air deformasi sudutnya terdapat pada puncak 1651,2 cm^{-1} dan gugus C-O *streaching* yang mengindikasikan senyawa alkohol primer pada bilangan gelombang 1110,3 cm^{-1}. Sementara gugus metil (CH_2) dari asam lemak bebas terlarut terdapat pada puncak 1318-1450 cm^{-1}. Vibrasi dari ikatan-ikatan glikosidik ditunjukkan pada bilangan gelombang 850-990 cm^{-1}.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Spektrum dari gliserol minyak jelantah tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Perbedaan tersebut terletak pada intensitas puncak dan juga terdapat beberapa puncak yang hilang pada gliserol komersial. Serapan puncak pada bilangan gelombang 1563,2 cm^{-1} yang terdapat dalam gliserol tanpa pemurnian menghilang pada gliserol dengan pemurnian arang aktif dan *bleaching earth*. Gugus tersebut merupakan gugus COO yang mengindikasikan pengotor sabun dan garam yang tidak larut. Pada bilangan gelombang 2926,9 cm^{-1} yang merupakan *stretching* gugus C-H dalam gliserol 1 memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan pada gliserol 2 dan gliserol 3. Hal itu menunjukkan pada gliserol tanpa pemurnian rantai gugus C-H masih panjang, sehingga masih terdapat senyawa ester (minyak jelantah) dalam gliserol yang dihasilkan. Gugus O-H *bending* terdapat pada bilangan gelombang 922,1 cm^{-1} dan Gugus C-O-H *bending* terdapat pada puncak 1400 hingga 1420 cm^{-1}.

Menurut penelitian Danish, Mumtaz, Fakhar, & Rashid (2016) *crude glycerol* memiliki gugus OH pada frekuensi 3321,78 cm^{-1}. Kemudian pada 1739,61 cm^{-1} terdapat puncak tajam gugus C=O *streatching* yang mengindikasikan ester dalam minyak jelantah. Pada bilangan gelombang 910,22 cm^{-1} merupakan gugus O-H *bending*, kemudian pada bilangan gelombang 1548,80 cm^{-1} terdapat grup COO mengindikasikan kotoran sabun dan garam terlarut. Pada puncak 3009,99 cm^{-1} terdapat gugus C=C yang merupakan alkil bagian dari rantai asam lemak. Spektrum gliserol yang telah dimurnikan dengan arang aktif hampir sama dengan gliserol mentah. Terdapat gugus OH *streatching* pada bilangan gelombang 3265 cm^{-1}, C-H *bending* pada puncak 2810-2950 cm^{-1}.

Sementara gugus C=O pada 1655 cm^{-1} yang terdapat pada gliserol mentah tidak ditemukan pada gliserol yang telah dimurnikan. Puncak yang mengindikasikan garam pada puncak 1560 cm^{-1} juga tidak ditemukan pada gliserol yang telah dimurnikan. Pada puncak 1400-1420 cm^{-1} merupakan gugus C-O-H *bending* dan C-O *streatching* dari gugus C-O alkohol primer.

Berdasarkan uji densitas gliserol dari minyak jelantah memiliki nilai yang mendekati densitas gliserol komersial. Gliserol komersial memiliki nilai densitas sebesar 1,552 g/cm^3. Gliserol dari minyak jelantah dengan pemurnian arang aktif dan *bleaching earth* memiliki densitas sebesar 1,47 g/cm^3 dan 1,48 g/cm^3. Berdasarkan uji pH gliserol dengan pemurnian *bleaching earth* memiliki pH yang mendekati pH netral yaitu 6,66 sedangkan gliserol dengan pemurnian arang aktif memiliki pH 6,62. Oleh karena itu, dalam pembuatan bioplastik ini digunakan gliserol dari minyak jelantah dengan pemurnian *bleaching earth*

B. Bioplastik

1. Pembuatan bioplastik pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah.

Bioplastik yang dihasilkan pada proses pembuatan tanpa penambahan TiO_2 memiliki sifat yang elastis, transparan dan sedikit kecoklatan. Warna coklat tersebut berasal dari penambahan gliserol minyak jelantah. Bioplastik dibuat dari 2,5 gram pati kentang dengan 1 ml gliserol dari minyak jelantah yang dilarutkan dalam 50 ml akuades. Pemilihan akuades sebagai pelarut dikarenakan sifatnya yang ramah lingkungan. Penambahan gliserol dari minyak jelantah berfungsi sebagai *plasticizer*, agar bioplastik memiliki sifat yang lebih elastis dan tidak mudah rusak. Larutan dipanaskan pada suhu 70-75 °C dengan pengadukan selama

kurang lebih 30 menit sampai terjadi gelatinisasi. Suspensi film pati kentang berwarna putih kecoklatan dan terdapat gelembung-gelembung. Menurut Nugraha, Aditya (2020), pati kentang memiliki gelembung yang lebih banyak dibandingkan dengan jenis pati lainnya.

2. Pembuatan bioplastik pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2

Bioplastik yang dihasilkan dari pembuatan bioplastik pati kentang dan gliserol dari minyak jelantah dengan penambahan TiO_2 memiliki sifat yang elastis tidak transparan berwarna putih. Warna putih berasal dari partikel TiO_2 rutil yang memiliki pigmen warna putih. Semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka warna putih pada bioplastik semakin tebal. Selain itu, penambahan TiO_2 juga meningkatkan kekakuan, ketebalan bioplastik dan kekasaran permukaan bioplastik. Hal itu selaras dengan penelitian Sreekumar, Al-Harthi, & De, (2012) yang menunjukkann bahwa penambahan nano-TiO_2 menyebabkan efek pada permukaan dan sifat morfologi komposit matriks.

C. Uji Mekanik Bioplastik

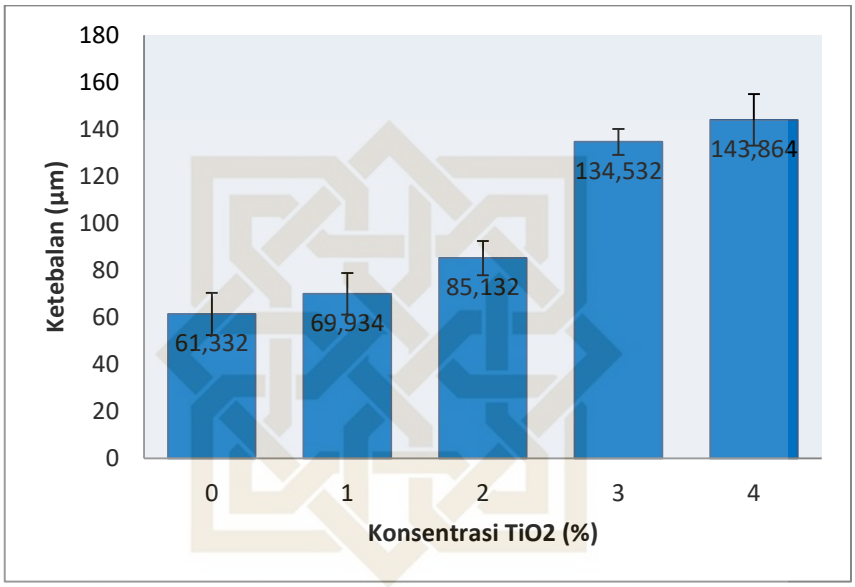
Pengujian sifat mekanik bioplastik dilakukan di Laboratorium Balai Besar Kulit Karet dan Plastik (BBKKP) Yogyakarta. Uji mekanik yang dilakukan meliputi uji ketebalan, kuat tarik, *elongasi* dan *modulus Young*. Uji ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dari bioplastik.

1. Pengukuran Ketebalan

Proses pengukuran ketebalan bioplastik dilakukan menggunakan mikrometer sekrup. Pengukuran dilakukan pada lima titik di bagian bioplastik

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

yang berbeda. Nilai ketebalan bioplastik diperoleh dari rata-rata pengukuran ketebalan. Hasil analisis ketebalan bioplastik dengan penambahan TiO_2 sebagai *filler* disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik ketebalan bioplastik dengan variasi penambahan TiO_2.

Berdasarkan grafik tersebut, penambahan TiO_2 mengakibatkan peningkatan ketebalan bioplastik. Hal ini dikarenakan penambahan TiO_2 menyebabkan semakin banyak padatan yang terdapat dalam larutan, sehingga nilai ketebalan bioplastik juga semakin meningkat. Penambahan TiO_2 akan membentuk ikatan dengan gugus OH, sehingga akan semakin memadatkan polimer matriks. Ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi bahan, cetakan yang digunakan, sementara volume larutan masing-masing larutan bioplastik yang dituangkan sama (Budiman, Nopianti, & Lestari, 2018).

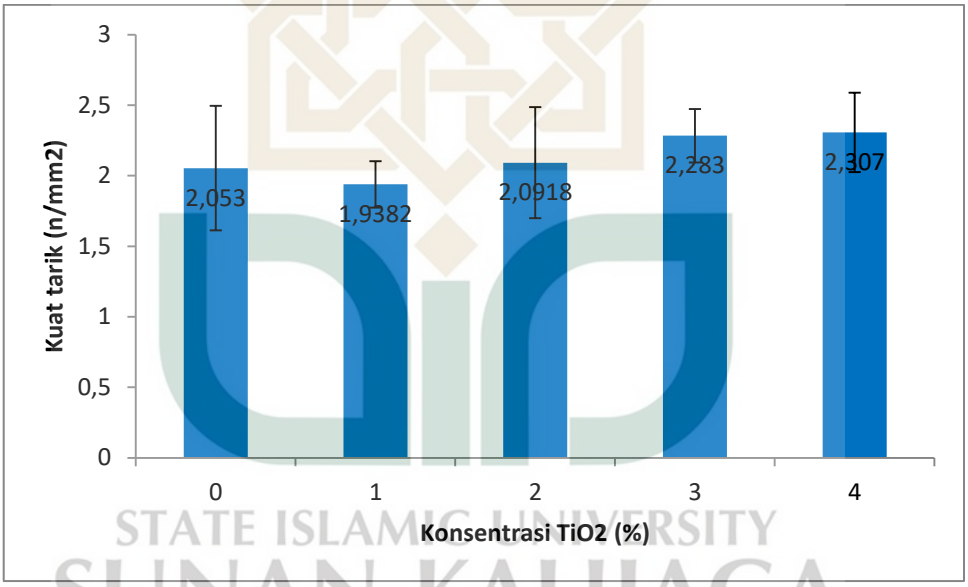
Yousefi, Savadkoohi, Zahedi, Hatami, & Ako (2019) telah melakukan penelitian bahwa penambahan nanopartikel TiO_2 dapat mempengaruhi ketebalan film. Penambahan nanopartikel menghasilkan sedikit peningkatan kadar air

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

sehingga meningkatkan ketebalan film, meskipun perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.

2. Uji Kuat Tarik (*Tensile strength*)

Uji kuat tarik bioplastik dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM) berdasarkan ASTM D 882-18 yang merupakan standar pengujian polimer. Uji kuat tarik digunakan untuk mengetahui ketahanan bioplastik dalam menahan beban. Hasil analisis pengaruh penambahan TiO_2 terhadap nilai kuat tarik disajikan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik nilai kuat tarik bioplastik variasi TiO_2.

Berdasarkan gambar 4.4 dapat dilihat bahwa, penambahan TiO_2 mengakibatkan peningkatan nilai kuat tarik bioplastik. Namun, pada sampel T1 nilai kuat tarik mengalami penurunan dari T0. Hal ini dikarenakan permukaan bioplastik yang tidak merata, sehingga ketebalan dari film bioplastik berbeda-beda. Selain itu, juga dikarenakan tidak homogennya larutan pati dengan TiO_2,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

sehingga menyebabkan adanya gumpalan-gumpalan TiO_2 (ketidakhomogenan larutan pati dengan TiO_2 dapat dilihat pada uji SEM).

Menurut Fathi, Almasi, & Pirouzifard (2019) penambahan nanopartikel TiO_2 menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap sifat mekanik *modulus Young* dan kuat tarik film biodegradabel. Hal ini dikarenakan adanya interaksi antar permukaan antara matriks dengan *filler*. Nanopartikel TiO_2 memperkuat film dengan membentuk ikatan hidrogen antara rantai protein dan nanopartikel. Namun penambahan TiO_2 yang berlebihan akan menyebabkan penurunan nilai kuat tarik karena membentuk agregasi nanopartikel TiO_2. Konsentrasi nanopartikel TiO_2 yang tinggi akan membentuk konsentrasi stres poin dan menurunkan nilai kuat tarik film. Penambahan nanopartikel TiO_2 mengubah matriks yang bersifat homogen menjadi bersifat heterogen (Kustiningsih, *et al*., 2021). Dispersi nanopartikel TiO_2 yang tidak homogen pada konsentrasi yang berlebih akan membentuk retakan dan rongga yang menyebabkan pengangkatan film biodegradable selama uji mekanik (Fathi, Almasi, & Pirouzifard, 2019).

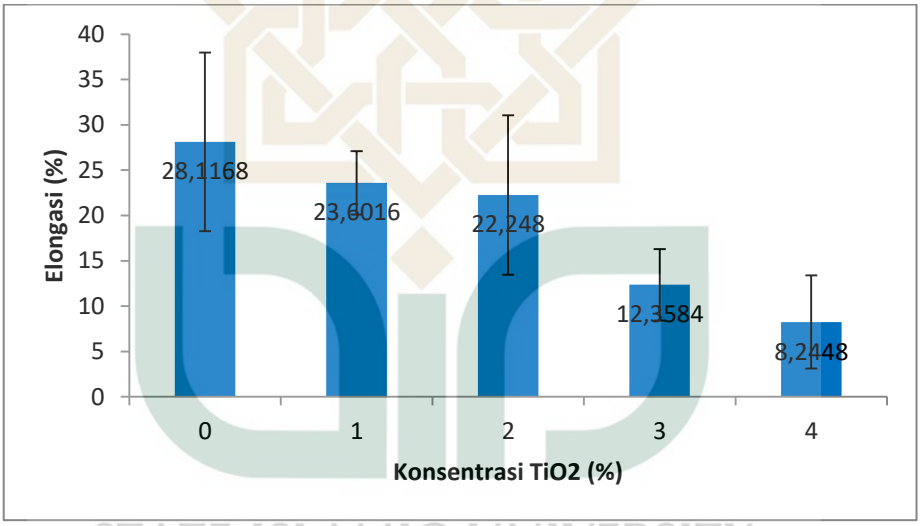
Penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 3 dan 4% memiliki nilai kuat tarik yang besar, tetapi bioplastik T3 dan T4 sudah berbeda dari T0, T1 dan T2. Variasi T3 dan T4 memiliki matriks TiO_2 karena massa TiO_2 lebih besar dibandingkan massa pati. Oleh karena itu, T3 dan T4 tidak dapat digunakan dalam menentukan konsentrasi optimum dalam menghasilkan bioplastik yang memiliki kuat tarik yang terbaik. Namun secara keseluruhan nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan sesuai dengan teori, dimana semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka semakin kuat karena adanya ikatan antara TiO_2 dengan gugus OH yang rapat,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

sehingga bioplastik akan semakin susah merenggang. Nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan masih jauh dari nilai kuat tarik bioplastik SNI yang berkisar 24-230 MPa.

3. Uji *Elongasi*

Pengujian *elongasi* bioplastik dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dengan metode ASTM D 882-18 yang merupakan metode standar untuk pengujian polimer. Hasil analisa nilai *elongasi* bioplastik dapat dilihat Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik nilai *elongasi* bioplastik dengan variasi TiO_2

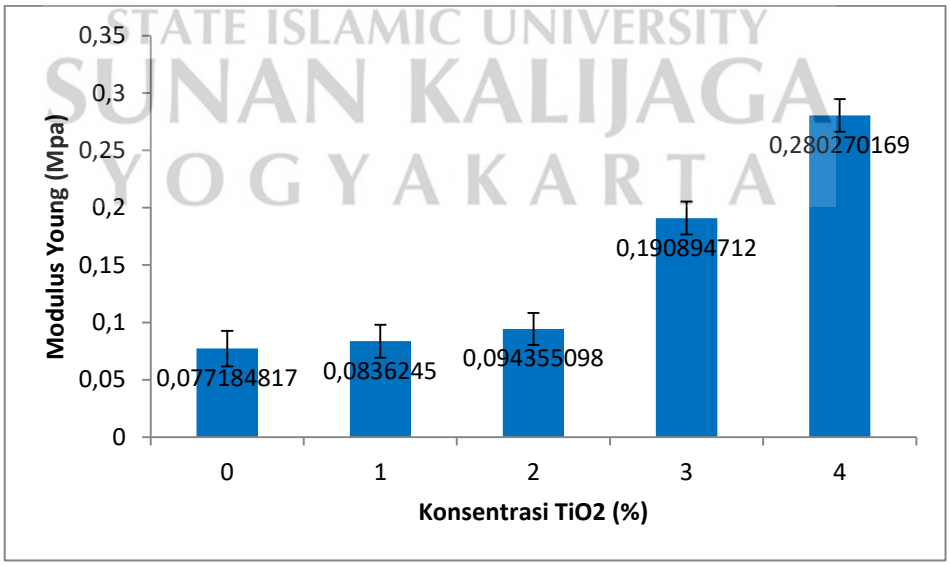
Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa, semakin banyak konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan maka semakin menurun nilai *elongasi* bioplastik. Hal ini dikarenakan penambahan TiO_2 masuk ke dalam jaringan tiga dimensi matriks film dan mengganggu interaksi pati dan *plasticizer* gliserol, sehingga memperlemah ikatan antar polimer. Menurut penelitian Qu, *et al*., (2019) penambahan nanopartikel TiO_2 menyebabkan nilai *elongasi* sedikit berkurang. *Filler* yang berlebihan dapat mengurangi sifat mekanik film, agregasi

akan melemahkan sifat-sifat film dan keteraturan jaringan struktur film. Penambahan nanopartikel TiO_2 yang proporsional dan sesuai meningkatkan kuat tarik dan mengurangi *elongasi* akibat interaksi antara berbagai molekul. Titanium dioksida (TiO_2) akan terdistribusi dan menghambat pembentukan matriks film dari *plasticizer* dan pati. Partikel TiO_2 yang masuk ke dalam jaringan tiga dimensi matriks film akan mengganggu interaksi pati dan *plasticizer*, sehingga memperlemah ikatan antar polimer (Hastuti, 2020).

Berdasarkan nilai *elongasi* yang dihasilkan sudah sesuai dengan teori semakin banyak penambahan TiO_2, maka akan mengurangi nilai *elongasi* bioplastik. Kriteria *elongasi* bioplastik sesuai SNI berkisar 21-220%, sehingga bioplastik yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar SNI pada penambahan konsentrasi TiO_2 0, 1, dan 2% (b/v).

4. Uji *Modulus Young*

Modulus Young merupakan parameter yang tergantung nilai kuat tarik dan *elongasi* bioplastik.



Gambar 4.6. Grafik nilai *modulus Young* bioplastik dengan variasi TiO_2.

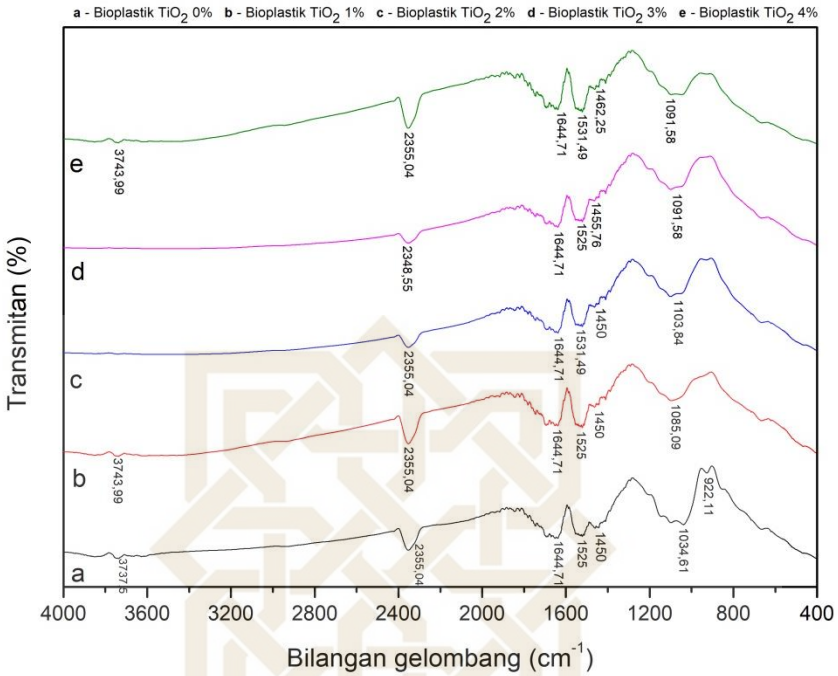
STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Berdasarkan gambar 4.6 dapat dilihat bahwa, penambahan TiO_2 memberikan pengaruh dengan meningkatkan nilai *modulus Young*. Nilai *modulus Young* merupakan kekakuan dari bioplastik yang dipengaruhi oleh tegangan yaitu kuat tarik dan regangan yaitu *elongasi*. Apabila penambahan TiO_2 mempengaruhi nilai kuat tarik dan nilai *elongasi*, maka penambahan TiO_2 juga berpengaruh terhadap nilai *modulus Young*. Selain itu, nilai kuat tarik juga dipengaruhi oleh parameter ketebalan, dimana semakin meningkat ketebalannya maka daya kuatnya meningkat . Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa, penambahan TiO_2 mempengaruhi nilai ketebalan, kuat tarik dan *elongasi*. Penambahan TiO_2 dalam matriks film bioplastik memperbesar nilai ketebalan, kuat tarik dan menurunkan nilai *elongasi*. Oleh karena itu, semakin besar konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan maka semakin besar nilai *modulus Young* bioplastik.

D. Analisis FTIR Bioplastik

Analisis FTIR dilakukan untuk mengetahui interaksi antara atom-atom penyusun bioplastik. Analisis ini digunakan untuk mengetahui apakah penambahan TiO_2 dalam bioplastik dapat mengubah struktur atau memunculkan gugus baru pada bioplastik. Spektra FTIR bioplastik disajikan pada Gambar 4.7.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Gambar 4.7. Bioplastik dengan variasi TiO_2 0% (a), 1% (b), 2% (c), 3% (d), dan 4% (e)

Berdasarkan gambar 4.7 dapat dilihat spektrum FTIR bioplastik dengan penambahan TiO_2 tidak memiliki perbedaan dengan spektrum bioplastik tanpa TiO_2. Penambahan TiO_2 dalam pembuatan bioplastik tidak memunculkan gugus fungsi baru. Hal ini menunjukkan bahwa, interaksi yang terjadi antara TiO_2 dengan matriks pati selama proses pembuatan bioplastik berupa interaksi fisik bukan interaksi kimia. Hal itu menunjukkan bahwa, tidak ada reaksi kimia antara TiO_2 dengan matriks, sehingga tidak terbentuk zat baru yang berbeda dari bahan pokoknya. Menurut Maryanti, Pasaribu, Adfa, S., & Fitriani (2016) yang telah melakukan penelitian bioplastik dari umbi jalar, gliserin dan ZnO, penambahan ZnO tidak menghasilkan spektrum FTIR yang berbeda dari bahan pokoknya. Hal itu menunjukkan bahwa, selama proses pembuatan dan pencampuran yang terjadi adalah interaksi fisik. Interaksi yang terjadi pada hidrogen antar rantai.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Perbedaan spektrum FTIR bioplastik tanpa TiO_2 dan dengan TiO_2 terletak pada intensitas dan lebar puncaknya. Perubahan dan pergeseran puncak menunjukkan adanya perubahan vibrasi gugus fungsinya. Gugus-gugus yang terdapat adalah OH, C=O, C-H, dan C-O. Gugus fungsi OH yang berikatan dengan hidrogen ditunjukkan pada frekuensi 2400-4000 cm^{-1}. Puncak pada frekuensi cenderung mendatar, hal itu menunjukkan bahwa gugus OH antar pati saling berikatan membentuk ikatan hidrogen dan telah terbentuk bioplastik. Spektra FTIR pada bilangan gelombang 3743,99 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus OH alkohol yang berasal dari gliserol. Berdasarkan penelitian Anggraini (2013) gugus fungsi OH dari alkohol terdapat pada serapan bilangan gelombang 3700-3900 cm^{-1}. Gugus tersebut berasal dari gugus OH gliserol. Pelebaran dan perbedaan intensitas gugus disebabkan semakin berkurangnya jumlah gugus OH dari gliserol karena mengalami interaksi dengan gugus aktif pada gliserol, pelarut dan pati.

Puncak 1644,71 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O karbonil dalam bioplastik dari ikatan aldehida glukosa pati. Sementara, pada bilangan gelombang 1450 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus C-H. Kemudian pada bilangan gelombang 1034,61 cm^{-1} menunjukkan gugus C-O. Adanya pergeseran gugus C-O pada bioplastik dengan penambahan TiO_2 pada 1085,09 cm^{-1}, 1103,84 cm^{-1}, 1091,58 cm^{-1} seiring dengan bertambahnya konsentrasi TiO_2. Spektrum FTIR bioplastik tanpa TiO_2 terdapat vibrasi dari ikatan glikosidik pada frekuensi 922 cm^{-1}. Hasil penelitian ini diperkuat oleh penelitian Kochkina & Butikova (2018) yang menunjukkan puncak pada bilangan gelombang 1141 cm^{-1} yang menunjukkan

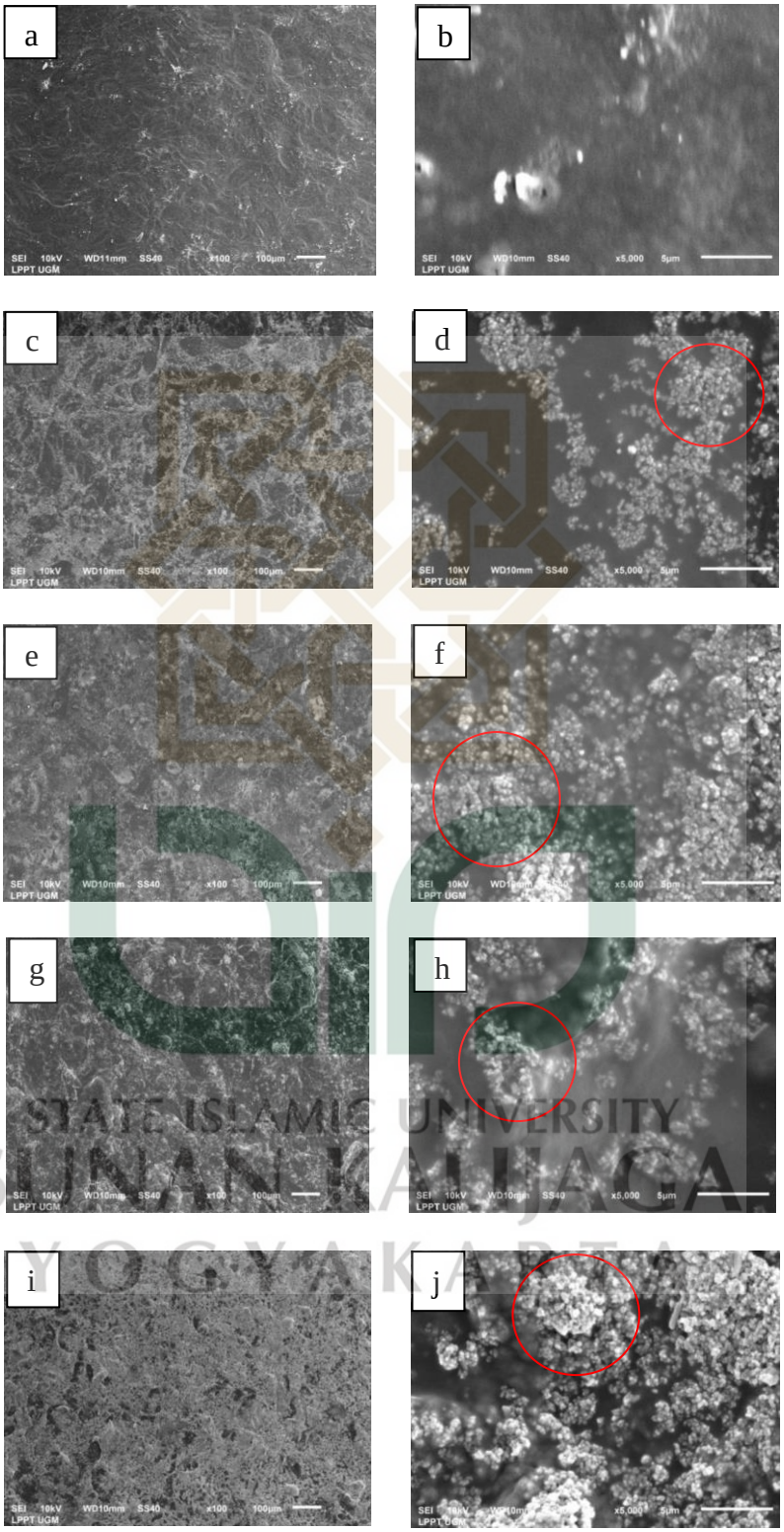
nilai serapan peregangan ikatan C-O dari bagian makromolekul. Serapan pada bilangan gelombang kisaran 770–1120 cm^{-1} menunjukkan getaran dari gugus fungsi C-O-C dari glukosa dalam pati dan ikatan C-O. Tidak adanya gugus fungsi baru dalam grafik FTIR bioplastik setelah penambahan TiO_2 dikarenakan adanya pita yang tumpang tindih dari komponen pati dan TiO_2. Perubahan intensitas pada puncak kisaran 900-1000 cm^{-1} yaitu pada rasio intensitas 995/1022 cm^{-1} dan 1047/1022 cm^{-1} diindikasikan efek yang disebabkan oleh interaksi yang lebih kuat dari molekul pati dan PVA.

Oleh karena itu, berdasarkan gambar 4.7 terdapat perbedaan intensitas ketajaman puncak pada bilangan gelombang 922 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ikatan glikosidik dan pergeseran pada daerah kisaran 1000 cm^{-1} dari spektra (a) sebelum penambahan TiO_2 dan spektra (b), (c), (d) serta (e) yang pada bilangan gelombang tersebut semakin melandai (hilang). Hal itu diindikasikan adanya interaksi antara partikel TiO_2 dan matrik bioplastik yang menyebabkan perubahan sifat mekaniknya seperti meningkatkan nilai ketebalan, kuat tarik meski tidak signifikan serta menurunkan nilai *elongasi*.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

E. Analisis SEM Bioplastik

Analisis SEM dilakukan di LPPT UGM. Uji SEM digunakan untuk mengetahui morfologi dari bioplastik yang dihasilkan. Analisis SEM dilakukan dengan resolusi 100x dan 5000x. Hasil uji SEM permukaan bioplastik disajikan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Bioplastik variasi TiO_2 0% resolusi 100x (a), 0% resolusi 5000x (b), 1% resolusi 100x (c), 1% resolusi 5000x (d), 2% resolusi 100x (e), 2% resolusi 5000x (f), 3% resolusi 100x (g), 3% resolusi 5000x (h), 4% resolusi 100x (i), dan 4% resolusi 5000x (j).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Berdasarkan gambar 4.8 dapat dilihat bahwa, larutan pati tidak bercampur secara homogen dengan partikel TiO_2. Hasil pengujian SEM pada bioplastik tanpa TiO_2 (T0) menunjukkan masih adanya butiran pati yang belum tergelatinisasi. Sampel T0 menunjukkan permukaan yang paling seragam dengan kehalusan yang lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya. Kemudian pada bioplastik dengan penambahan TiO_2 variasi T1, T2, T3, dan T4 terdapat gumpalan-gumpalan TiO_2. Hal ini dikarenakan pada proses pencampuran larutan terjadi gaya kohesi. Gaya kohesi adalah gaya tarik menarik antara dua atau lebih partikel yang sama. Partikel TiO_2 cenderung tarik menarik dengan TiO_2 lain, sehingga terbentuk agregasi gumpalan-gumpalan TiO_2. Semakin tinggi konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan maka semakin banyak agregasi yang terbentuk. Distribusi partikel TiO_2 yang tidak merata (homogen) dan adanya gumpalan-gumpalan menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan bioplastik. Selain itu, partikel TiO_2 yang tidak rata (tidak homogen) pada bioplastik menyebabkan hasil uji kuat tarik mengalami nilai yang tidak linier, dimana pada konsentrasi TiO_2 1% (b/v) mengalami penurunan. Hal itu disebabkan karena permukaan bioplastik yang tidak rata, sehingga ketika dilakukan uji kuat tarik maka bagian yang tidak rata akan mudah putus. Permukaan bioplastik TiO_2 0 dan 1% (b/v) memiliki kerapatan yang paling jarang dibandingkan dengan bioplastik TiO_2 2,3, dan 4% (b/v), sehingga sifat lentu dari bioplastik jauh lebih besar. Semakin besar konsentrasi TiO_2 menyebabkan sifat lentur berkurang dan morfologi permukaan menjadi lebih rapat yang akan berpengaruh terhadap daya tarik bioplastik. Berdasarkan hasil SEM, penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 2, 3 dan 4% (b/v) hampir terdistribusi ke

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

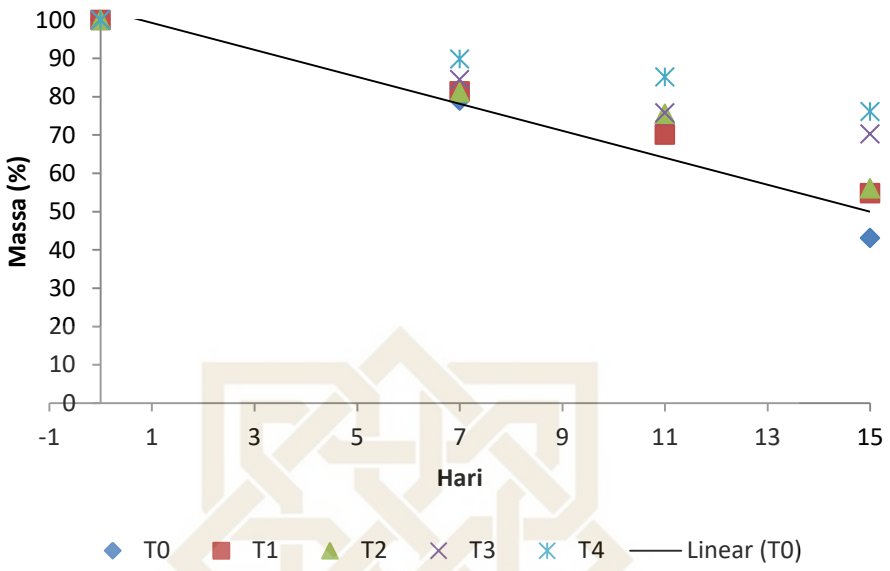
seluruh matriks film bioplastik meskipun tidak rata, sehingga dapat mengubah sifat fisik maupun mekanik bioplastik.

Menurut penelitian Amin, Chowdhury, & Kowser (2019) analisis SEM pada bioplastik dari pati jagung dengan penambahan TiO_2 memiliki permukaan yang tidak teratur dan kasar. Butiran-butiran TiO_2 belum tergelatinisasi selama proses pencampuran, sehingga menghasilkan morfologi yang khas dengan campuran yang tidak kompatibel. Permukaan yang tidak rata dan tidak teratur memiliki dampak pada nilai kuat tarik meskipun rendah. Menurut Fathi, Almasi, & Pirouzifard (2019) peningkatan TiO_2 pada konsentrasi yang lebih tinggi meningkatkan kekasaran permukaan. Distribusi nanopartikel TiO_2 yang tidak homogen dan teragregasi meningkatkan ketidakteraturan rantai komposit dan menyebabkan peningkatan kekasaran permukaan film.

F. Uji Biodegradasi Bioplastik

Uji biodegradasi bioplastik dilakukan dengan metode *soil burial test*. Metode *soil burial test* bertujuan untuk mengetahui laju biodegradasi bioplastik dalam media tanah berdasarkan nilai persen susut bobotnya. Metode ini dimulai dengan memotong bioplastik menjadi ukuran 3 x 3 cm. Bioplastik dikubur dalam tanah dengan kedalaman 5 cm. Tanah yang digunakan diambil dari tanah lapangan di Dusun Bolu, Seyegan. Tanah yang digunakan sebagai media harus dijaga kelembabannya, agar tidak terlalu kering. Pengujian laju biodegradasi dilakukan selama 15 hari dan dilakukan pengukuran secara berkala pada hari ke-7, 11 dan 15. Laju biodegradasi disajikan pada Gambar 4.9.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



Gambar 4.9. Grafik laju biodegradasi bioplastik dengan variasi TiO_2.

Berdasarkan grafik laju biodegradasi bioplastik diperoleh persamaan linier dan gradien dari masing-masing variasi bioplastik. Besarnya laju biodegradasi dapat dilihat dari gradien persamaan liniernya. Gradien menunjukkan nilai pengurangan massa bioplastik setiap harinya. Persamaan linier dan gradien laju biodegradasi disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Persamaan linier dan gradien laju biodegradasi bioplastik

Kode	Persamaan Linier	Gradien	Nilai R2
T0	y=-3,5225x + 102,81	-3,5225	0,918
T1	y=-2,9691x + 101,03	-2,9691	0,9925
T2	y=-2,7749x + 101,06	-2,7749	0,9616
T3	y=-2,0209x + 99,29	-2,0209	0,9916
T4	y=-1,5435x + 100,49	-1,54335	0,9852

Berdasarkan nilai gradien pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa, bioplastik yang tidak menggunakan TiO_2 memiliki penurunan massa paling besar setiap harinya. Sedangkan, pada bioplastik dengan penambahan TiO_2 dengan konsentrasi 1, 2 dan 3 % (b/v) memiliki nilai penurunan massa yang hampir sama berada di kisaran -2

setiap harinya. Bioplastik dengan penambahan TiO_2 4% memiliki penurunan massa yang paling kecil diantara sampel lain. Artinya, penambahan TiO_2 sebagai *filler* dalam bioplastik dapat memperlambat laju biodegradasi bioplastik dalam tanah. Berdasarkan penelitian Amin, Chowdhury, & Kowser (2019) bioplastik tanpa penambahan TiO_2 mengalami penurunan massa yang lebih cepat dibandingkan bioplastik dengan TiO_2. Rata-rata persentase penurunan berat pada bioplastik pati tanpa partikel TiO_2 sebesar 81% sedangkan pada bioplastik dengan TiO_2 sebesar 61%. Selain itu, menurut penelitian Oleyaei, Zahedi, Ghanbarzadeh, & Moayedi (2016) penambahan TiO_2 dapat mengurangi sifat hidrofilik bioplastik karena peran TiO_2 sebagai penghalang difusi air dalam bioplastik. Penambahan TiO_2 dalam bioplastik akan membentuk ikatan hidrogen Ti-O dengan –OH dari pati yang menyebabkan penurunan jaringan film bebas dan jumlah absorpsi air. Hal itu juga menyebabkan ruang dan struktur dari bioplastik lebih rapat, sehingga penetrasi molekul air kedalam film bioplastik makin sulit. Hal itu selaras dengan hasil uji morfologi SEM yang menunjukkan penambahan TiO_2 merapatkan sturukur permukaan bioplastik, sehingga menjadi lebih kuat dan tidak mudah rusak. Hal itu membuktikan bahwa, penambahan TiO_2 dalam bioplastik akan memperlambat laju biodegradasi setiap harinya. Semakin banyak konsentrasi TiO_2, maka bioplastik akan semakin lama terurai di dalam tanah.

G. Teknik Analisis Data

1. Uji statistik

Uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kruskal-Wallis pada parameter ketebalan, *elongasi* dan *modulus Young*. Hal itu dikarenakan ketiga

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

parameter tersebut tidak berdistribusi normal (lampiran 9) dan tidak homogen (lampiran 10). Oleh karena itu, uji yang dilakukan menggunakan Kruskal-Wallis yang merupakan analisis uji non parametrik yang bertujuan untuk mengetahui apakah ada perbedaan pada sifat mekanik bioplastik tanpa TiO_2 dengan bioplastik TiO_2. Hasil akhir dari uji Kruskall-Wallis adalah nilai P *value*, apabila nilainya <0,05 maka kesimpulannya H1 diterima dan H0 ditolak (Rahman, 2019) yang berarti menunjukkan adanya pengaruh penambahan TiO_2 dalam bioplastik terhadap sifat mekaniknya. Sedangkan pada parameter kuat tarik dilakukan analisis ANOVA karena data terdistribusi normal (lampiran 9) dan homogen (lampiran 10). Hasil akhir dari uji ANOVA adalah jika signifikansi lebih kecil dari nilai kritis atau 0.05 maka H0 ditolak dan H1 diterima (Rahman, 2019) yang berarti menunjukkan adanya perbedaan rata-rata penambahan TiO_2. Lain dengan uji korelasi Spearman yang bertujuan untuk mengetahui korelasi atau tingkat keeratan hubungan yang dimiliki bioplastik dengan penambahan konsentrasi TiO_2 yang berbeda-beda.

2. Data pengujian mekanik

a. Ketebalan

Penambahan TiO_2 berpengaruh pada ketebalan bioplastik yang dihasilkan. Semakin besar konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan, maka nilai ketebalan juga semakin meningkat. Hal itu dibuktikan dengan uji statistika Kruskal-Wallis yang disajikan dalam Tabel 4.2.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tabel 4.2. Hasil uji Kruskal-Wallis ketebalan

	Ketebalan
Chi-Square	20,699
df	4
Asymp. Sig.	,000

Uji Kruskal-Wallis pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa, nilai signifikansi 0.000 lebih kecil dari nilai kritis 0.05. Hal itu menunjukkan bahwa, penambahan TiO_2 berpengaruh pada ketebalan bioplastik. Setelah itu, dilakukan uji korelasi Spearman guna melihat bagaimana korelasi penambahan TiO_2 terhadap ketebalan bioplastik. Hasil analisis Spearman disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil uji Spearman ketebalan

			T	Ketebalan
Spearman's rho	T	Correlation Coefficient	1,000	.922**
		Sig. (2-tailed)		,000
		N	25	25
	Ketebalan	Correlation Coefficient	.922**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	
		N	25	25

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Uji korelasi Spearman menunjukkan bahwa, penambahan TiO_2 memiliki korelasi yang sempurna terhadap nilai ketebalan bioplastik. Koefisien korelasi yang dihasilkan bernilai positif dengan nilai 0,922. Oleh karena itu, semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka semakin tebal bioplastik yang dihasilkan.

b. Kuat tarik

Uji yang digunakan pada parameter ini adalah uji ANOVA karena data berdistribusi normal dan homogen. Uji ANOVA *one way* disajikan pada nilai kuat tarik bioplastik disajikan dalam Tabel 4.4 dan 4.5.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tabel 4.4. Hasil uji ANOVA *one way* kuat tarik

Tensile Strength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,494	4	,124	,686	,610
Within Groups	3,601	20	,180		
Total	4,095	24			

Berdasarkan hasil uji ANOVA dapat dilihat bahwa, penambahan TiO_2 tidak berpengaruh pada nilai kuat tarik bioplastik. Hal ini dibuktikan dengan nilai signifikansi sebesar 0,610 yang lebih besar dari batas kritisnya 0,05. Artinya kuat tarik tidak memiliki perbedaan rata-rata dalam setiap penambahan TiO_2. Kemudian analisis uji korelasi Spearman disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil uji Spearman kuat tarik

			T	Tensile Strength
Spearman's rho	T	Correlation Coefficient	1,000	,322
		Sig. (2-tailed)		,117
		N	25	25
	Tensile Strength	Correlation Coefficient	,322	1,000
		Sig. (2-tailed)	,117	
		N	25	25

Berdasarkan tabel 4.5 menunjukkan nilai koefisien korelasi bertanda positif dengan nilai sebesar 0,322. Hal itu menunjukkan bahwa, penambahan TiO_2 memiliki korelasi yang rendah terhadap nilai kuat tarik bioplastik. Maka dari itu, penambahan TiO_2 pada bioplastik tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai kuat tarik bioplastik.

c. *Elongasi*

Berdasarkan hasil uji Kruskal-Wallis nilai *elongasi* bioplastik menunjukkan bahwa, adanya pengaruh penambahan TiO_2 pada nilai *elongasi*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

bioplastik. Nilai signifikansi yang dihasilkan sebesar 0,001. Hasil uji Kruskal-Wallis disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil uji Kruskal-Wallis *elongasi*

	Elongasi
Chi-Square	18,188
df	4
Asymp. Sig.	,001

Kemudian pada uji korelasi Spearman dihasilkan nilai koefisien korelasi bertanda negatif dengan nilai 0,820. Hal itu membuktikan bahwa penambahan TiO_2 memiliki korelasi yang sempurna terhadap nilai *elongasi* bioplastik dengan grafik yang semakin menurun. Semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka semakin kecil nilai *elongasi* nya. Hasil uji korelasi Spearman disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil uji Spearman *elongasi*

			T	Elongasi
Spearman's rho	T	Correlation Coefficient	1,000	-.820**
		Sig. (2-tailed)		,000
		N	25	25
	Elongasi	Correlation Coefficient	-.820**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	
		N	25	25

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

d. *Modulus Young*

Hasil uji Kruskal Wallis pada nilai *modulus Young* bioplastik disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil uji Kruskal-Wallis *modulus Young*

	Modulus
Chi-Square	19,311
df	4
Asymp. Sig.	,001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Berdasarkan tabel 4.8 dapat dilihat bahwa, nilai signifikansi yang dihasilkan sebesar 0,001. Hal itu membuktikan bahwa, adanya pengaruh penambahan TiO_2 terhadap nilai *modulus Young*. Kemudian pada uji korelasi Spearman yang disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Hasil uji Spearman *modulus Young*

			T	Modulus
Spearman's rho	T	Correlation Coefficient	1,000	.879**
		Sig. (2-tailed)		,000
		N	25	25
	Modulus	Correlation Coefficient	.879**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	
		N	25	25

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Berdasarkan uji korelasi Spearman yang memiliki koefisien korelasi bernilai positif dengan nilai 0,879, maka penambahan TiO_2 memiliki korelasi yang sempurna terhadap *modulus Young*. Oleh karena itu, semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka nilai *modulus Young* yang dihasilkan semakin besar.

Berdasarkan analisis data spss maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis 1 terbukti benar. Penambahan partikel TiO_2 dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari bioplastik. Semakin banyak konsentrasi TiO_2 yang ditambahkan, maka semakin meningkatkan nilai ketebalan dan nilai kuat tarik bioplastik meskipun tidak terlalu signifikan (nyata). Sebaliknya, semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka semakin menurun nilai *elongasi* dari bioplastik.

3. Data Uji Biodegradasi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Uji Kruskal-Wallis pada pengujian biodegradasi bioplastik menghasilkan nilai signifikansi 0,457 yang lebih besar dari nilai kritis 0,05. Artinya, penambahan TiO_2 tidak berpengaruh pada laju biodegradasi bioplastik . Hasil uji Kruskal-Wallis disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Hasil uji Kruskal-Wallis laju biodegradasi

	Massa Awal	Massa Hari Ke-7	Massa Hari Ke-11	Massa Hari Ke-15
Chi-Square	19,000	19,000	19,000	19,000
df	19	19	19	19
Asymp. Sig.	,457	,457	,457	,457

Kemudian dilakukan uji korelasi Spearman pada pengujian biodegradasi yang disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Hasil uji Spearman laju biodegradasi

			Variasi	Kode
Spearman's rho	Variasi	Correlation Coefficient	1,000	.981**
		Sig. (2-tailed)		,000
		N	20	20
	Kode	Correlation Coefficient	.981**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,000	
		N	20	20
	Massa Awal	Correlation Coefficient	.846**	.812**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000
		N	20	20
	Massa Hari Ke-7	Correlation Coefficient	.877**	.848**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000
		N	20	20
	Massa Hari Ke-11	Correlation Coefficient	.865**	.839**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000
		N	20	20
	Massa Hari Ke-15	Correlation Coefficient	.944**	.917**
		Sig. (2-tailed)	,000	,000
		N	20	20

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Berdasarkan tabel 4.11 nilai koefisien korelasi pada hari ke-7, 11 dan 15 bernilai positif dengan rentan 0,846 hingga 0,944. Hal itu membuktikan bahwa, penambahan TiO_2 memiliki korelasi yang sempurna terhadap hilang massa bioplastik pada setiap harinya. Penambahan TiO_2 akan mengurangi penyusutan bobot bioplastik dalam tanah, semakin banyak TiO_2 yang ditambahkan maka semakin kecil massa bioplastik yang hilang setiap harinya.

Berdasarkan analisis data spss maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis 2 tidak terbukti. Penambahan konsentrasi TiO_2 tidak memiliki perbedaan yang nyata (signifikan) laju biodegradasi bioplastik dalam tanah. Namun, penambahan konsentrasi TiO_2 memiliki hubungan yang erat antara massa film bioplastik dengan waktu penguburan bioplastik. Hal itu dapat dilihat dari semakin kecilnya massa film bioplastik yang hilang setiap harinya pada penambahan konsentrasi TiO_2. Hal itu juga dapat dilihat berdasarkan hasil uji SEM bahwa penambahan partikel TiO_2 hampir terdistribusi ke seluruh permukaan bioplastik menjadikan struktur bioplastik menjadi lebih rapat. Partikel titanium dioksida akan mengurangi absorpsi air. Menurut Hardjono, Suharti, Permatasari, & Sari, (2016) penurunan *water resistibility* akan mengurangi tingkat kelembaban. Tingkat kelembaban yang rendah akan meminimalisasi kontaminasi mikroorganisme dalam bioplastik karena kelembaban yang tinggi menjadi habitat yang baik untuk mikroorganisme melakukan degradasi.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Selain itu juga diperkuat dengan hasil uji sifat fisik dan mekanik, dimana penambahan TiO_2 meningkatkan nilai ketebalan dan kuat tarik. Meningkatnya ketebalan menyebabkan semakin lama waktu yang dibutuhkan film bioplastik hancur di dalam tanah dan meningkatnya daya tarik menyebabkan bioplastik tidak mudah rapuh (Hayati & Lazulva, 2018).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan TiO_2 memiliki pengaruh terhadap kuat tarik bioplastik dan cukup signifikan pada ketebalan dan *elongasi* bioplastik. Setiap penambahan 1% TiO_2 meningkatkan ketebalan 22,966 mikron, nilai kuat tarik sebesar 0,0853 N/mm^2, menurunkan *elongasi* sebesar 5,0987%, dan meningkatkan *modulus Young* rata-rata sebesar 0,0599 MPa. Pada hasil uji mekanik, bioplastik terbaik dihasilkan pada komposisi pati 2,5 gram dan 2% (b/v) partikel TiO_2.

2. Penambahan konsentrasi TiO_2 tidak memiliki beda nyata yang signifikan terhadap laju biodegradasi. Namun, memiliki korelasi yang erat antara hilangnya massa bioplastik dengan lama penguburan.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan metode untuk menjernihkan warna gliserol dari minyak jelantah agar lebih jernih. Pembuatan bioplastik perlu dilakukan dengan metode lain agar partikel TiO_2 dapat bercampur secara homogen dan permukaan bioplastik lebih halus. Serta pada uji laju biodegradasi sebaiknya dilakukan menggunakan sinar UV.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

Agustin, Y., & Padmawijaya, K. (2016). Sintesis Bioplastik dari Kitosan-Pati Kulit Pisang Kepok dengan Penambahan Zat Aditif. *Jurnal Teknik Kimia, 10*(2).

Amin, M., Chowdhury, M., & Kowser, M. (2019). Characterization and Performance Analysis of Composite Bioplastics Synthesized Using Titanium Dioxide Nanoparticles With Corn Starch. *Heliyon, 5*.

Anas, A., Ariefta, N., Nurfiana, Y., & Rohaeti, E. (2016). Pengaruh Penambahan 1,4-Butanadiol dan Polietilen Glikol (PEG) 1000 terhadap Kemudahan Biodegradasi Bioplastik dari Biji Nangka (Artocarpus heterophyllus). *Eksakta: Jurnal Ilmu-Ilmu MIPA.*

Anggraini, F. (2013). *Aplikasi Plasticizer Gliserol pada Pembuatan Plastik Biodegradasi dari Biji Nangka.* Universitas Negeri Semarang. Retrieved from http://lib.unnes.ac.id/19693/1/4350408019.pdf

Anita, Z., Akbar, F., & Harahap, H. (2013). Pengaruh Penambahan Gliserol terhadap Sifat Mekanik Film Bioplastik Biodegradasi dari Pati Kulit Singkong. *Jurnal Teknik Kimia USU, 2*(2).

Asgar, A. (2013). Umbi Kentang (Solanum tuberosum L.) Klon 395195.7 dan CIP 394613.32 yang ditanam di Dataran Medium Mempunyai Harapan untuk Keripik. *Iptek Hortikultura*(9).

Ates, M., & Kuz, P. (2020). Starch-Based Bioplastic Materials for Packaging Industry. *Journal of Sustainable Construction Material and Technologies, 1*(1).

Athir, N., Shah, S. A., Shehzad, F. K., Cheng, J., Zhang, J., & Shi, L. (2020). Rutile TiO2 integrated zwitterion polyurethane composite films as an efficient photostable food packaging material. *Reactive an Functional Polymers*. doi:https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104733

Budiman, J., Nopianti, R., & Lestari, S. D. (2018). Karakteristik Bioplastik dari Pati Buah Lindur (Bruguiera gymnorrizha). *FishtecH - Jurnal Teknologi Hasil Perikanan, 7*(1), 49-59.

Bukit, B., & S., S. (2019). Preparasi Dispersi Antibakteri Berbahan Dasar Titanium Dioksida (TiO2) serta Aplikasinya pada Kain dengan Metode Dip Coating. *Jurnal Ilmiah, 03*(02).

Cengristitama, & Insan, V. (2020). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi dan Minyak Jelantah untuk Pembuatan Bioplastik. *14*(1).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Danimayostu, A., Shofiana, N., & Permatasari, D. (2017). Pengaruh Penggunaan Pati Kentang (Solanum tuberosum) Termodifikasi Asetil-Oksidasi sebagai Gelling Agent terhadap Stabilitas Gel Natrium Diklofenak. *Pharmaceutical Journal of Indonesia, 3*(1), 25-32.

Danish, M., Mumtaz, M. W., Fakhar, M., & Rashid, U. (2016). Reponse Surface Methodology based Optimized Purification of the Residual Glycerol from Biodiesel Production Process. *Chiang Mai Journal of Science, 43*(X), 1-13.

Darni, Y., & Utami, H. (2010). Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas Bioplastik dari Pati Sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, 7*(4), 88-93.

El-Wakil, N. A., Hassan, E. A., Abou-Zeid, R. E., & Dufrense, A. (2015). Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. *Carbohydrate Polymers*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.076

Fajriati, I., Sedyadi, E., & Sudarlin. (2017). Sintesis Komposit Film Kitosan-TiO2 Menggunakan Sorbitol sebagai Plasticizer. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, 13*(1), 75-94.

Fathi, N., Almasi, H., & Pirouzifard, M. K. (2019). Sesame Protein Isolate Based Bionanocomposite Films Incorporated with TiO2 Nanoparticles: Study on Morphological, Physical and Photocatalytic Properties. *Polymer Testing, 77*.

H., A., & Y., D. (2013). Isolasi Amilosa dan Amilopektin dari Pati Kentang. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, 2*(3), 57-62.

Hardjono, Suharti, P. H., Permatasari, D. A., & Sari, V. A. (2016). Pengaruh Penambahan Asam Sitrat Terhadap Karakteristik Film Plastik Biodegradable dari Pati Kulit Pisang Kepok (musa Acuminata Balbisina Colla). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan, 5*(1), 22-28. doi:DOI 10.15294/jbat.v4i2.5965

Harnist, R., & Darni, Y. (2011). Penentuan Kondisi Optimum Konsentrasi Plasticizer pada Sintesa Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Pati Sorgum. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II.* Universitas Lampung.

Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., & Prabawa, S. (2015). Produksi Biodiesel dari Transesterifikasi Minyak Jelantah dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya dan Waktu Reaksi terhadap Rendemen dan Karakteristik Biodiesel. *AGRITECH, 35*(2).

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Hastuti, E. (2020). *Pengaruh Penambahan TiO2 terhadap Perlindungan Sinar Ultra Violet pada Smart Packaging dengan Bahan Pati Biji Durian.* Malang: Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim.

Hayati, N., & Lazulva. (2018). Preparing of Cornstarch (Zea mays) Bioplastic Using ZnO Metal. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology, 01*(1), 23-30.

Kochkina, N., & Butikova, O. (2018). Effect of Fibrous on the Structural, Mechanical, Barrier and Optical of Biodegradable Maize Strach/PVA Composite Films. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.07.213

Kustiningsih, I., Barleany, D. R., Abriyani, D., Ridwan, A., Syairazy, M., & Firdaus, M. A. (2021). TiO2/Chitosan Bioplastic as Antibacterial of Stephylococcus aureus for Food Preservation. *World Chemical Engineering Journal, 5*(1), 18-24.

Mandasari, R., Amanto, B., & A., A. (2015). Kajian Karakteristik Fisik, Kimia, Fisikokimia dan Sensori Tepung Kentang Hitam (Coleus tuberosus) Termodifikasi Menggunakan Asam Laktat. *Jurnal Teknosains Pangan, 4*(3).

Marpaung, J., Sutrisno, A., & Lumintang, R. (2017). Penerapan Metode ANOVA untuk Analisis Sifat Mekanik Komposit Serabut Kelapa. *Jurnal Online Poros Teknik Kimia, 6*(2), 151-162.

Maryanti, E., Pasaribu, C., Adfa, M., S., S., & Fitriani, D. (2016). Pembuatan Bioplastik Berbahan Pati Ubi Jalar (Ipomoea batatas L.), Gliserin dan Penambahan Nanopartikel ZnO dengan Menggunakan Metode Melt-Intercalation. *Jurnal Gradien, 12*(2), 1175-1180.

Maslahah, N. (2019). *Kajian Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Umbi Garut dengan Filler ZnO dan Plasticizer Gliserol.* Yogyakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.

Maslahah, N., Alisaputra, D., & Sedyadi, E. (2021). Biodegradation Bioplastic Based on Arrowroot Starch with Glycerol Plasticizer and ZnO Fillers. *Journal of Physics: Conference Series*. doi:10.1088/1742-6596/1788/1/012007

Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A. (2017). Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation (Kajian Pengaruh Jenis Filler, Konsentrasi Filler dan Jenis Plasticizer). *Distilasi, 2*(2), 53-67.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Merisiyanto, G., & Mawarni, L. (2013). Pengembangan Plastik Photobiodegradable Berbahan Dasar Umbi Ubi Jalar. *Jurnal Teknik Pomits, 2*(1).

Moedjahedy, J. H., Setyanto, A., & Aryasa, K. (2020). Analisis Perbandingan Korelasi Spearman dan Maximal Information Coefficient dalam Seleksi Fitur website Phishing Menggunakan Algoritma Machine Learning. *CSRID Journal, 12*(2), 107-116.

Mohamed, M., Jaafar, J., Ismail, A., Othman, M., & Rahman, M. (2017). *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy.* Johor: Universiti Teknologi Malaysia. doi:10.1016/B978-0-444-63776-5.00001-2

Nafiyanto, 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).

Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO2 Fasa Rutile dengan Metode Kopresitipasi. *Fisitek: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, 2*(2), 18-25.

Novitasari, D., Ratnasari, D., & Setyawardhani, D. A. (2021). Pemurnian Gliserol dari Hasil Samping Pembuatan Biodiesel. *EKUILIBRIUM, 11*(1), 13-17.

Nur, R., Nazir, N., & Taib, G. (2020). Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (Microcrystalline cellulose) dari Kulit Kakao. *Gema Agro, 25*(01), 01-10.

Nurlaila, F., & Purnomo, Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Kulit Kentang sebagai Pengisi (Filler) Pembuatan Plastik Biodegradable. *Jurnal Envirous, 1*(1).

Oktaviasari, L., & Zulkarnain, A. (2017). Formulasi dan Uji Fisik Sediaan Lotion O/W Pati Kentang (Solanum tuberosum L.) serta Aktivitasnya sebagai Tabir Surya. *Majalah Farmaseutik, 13*(1), 9-27.

Oleyaei, S., Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., & Moayedi, A. (2016). Modification pf Physicochemical and Themal properties of Starch Film by Incorporation of TiO2 Nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.04.078

Pratiwi, E., & Sinaga, F. (2017). Konversi Gliserol dari Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalisator KOH. *Jurnal Chemurgy, 01*(1).

Qodriyatun, S., Indahri, Y., Andina, E., Suryani, A., & Prasetyawan, T. (2019). *Sampah Plastik dan Implikasi Kebijakan Pembatasan Plastik Sekali Pakai terhadap Industri dan Masyarakat.* Jakarta: Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Qu, L., Chen, G., Dong, S., Huo, Y., Yin, Z., Li, S., & Chen, Y. (2019). Improved Mechanical and Antimicrobial properties of Zein/Chitosan Films by Adding Highly Dispersed Nano-TiO2. *Industrial Crops & Products, 130*, 450-458.

Radhiyatullah, A., Indriani, N., & Ginting, M. (2015). Pengaruh Berat Pati dan Volume Plasticizer Gliserol terhadap Karakteristik Film Bioplastik Pati Kentang. *Jurnal Teknik Kimia, 4*(3).

Rahman, A. (2019). *Statistika dan Kemometrika Dasar dalam Analisis Farmasi.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Rukmana, R. (1997). *Kentang Budidaya dan Pasca Panen.* Yogyakarta: Kanisius.

Sang, L., Zhao, Y., & Burda, C. (2013). TiO2 Nanoparticles as Functional Building Blocks. *Chemical Reviews*. doi:10.1021/cr400629p

Sari, L., & Astuti. (2013). Pengaruh Nanopartikel Titanium Dioksida pada Resin sebagai Material Transparan Anti UV dan Self Cleaning. *Jurnal Fisika Unand, 2*(1).

Setiabudi, A., Hardian, R., & Mudzakir, A. (2012). *Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia.* Bandung: UPI Press.

Sinaga, R., Ginting, G., Ginting, M., & Hasibuan, R. (2014). Pengaruh Penambahan Gliserol terhadap Sifat Kekuatan Tarik dan Pemanjangan Saat Putus Bioplastik dari Pati Umbi Talas. *Jurnal Teknik Kimia USU, 3*(2).

Sopamena, B. (2019). *Analisis Struktur Lapisan Semikonduktor TiO2 Mengguanakan Variasi Pelarut Organik dengan Metode Plasma.* Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Sreekumar, P., Al-Harthi, M. A., & De, S. (2012). Reinforcement of starch/polyvinyl alcohol blend using nano-titanium dioxide. *Journal of Composite Materials, 46*(25), 3181-3187. doi:DOI: 10.1177/002199831243699

Sriwahyuni. (2018). *Pembuatan Bioplastik dari Kitosan dan Pati Jagung dengan Menggunakan Glutaraldehid sebagai Pengikat Silang.* Makasar: Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Negeri Alauddin.

Sutrisno, H., Ariswan, & Purwaningsih, D. (2016). Aktivitas Antibakteri TiO2-Anatase Terdadah Vanadium dan Terdadah Kromium. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia, 12*(2), 112-127.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tunma, S. (2017). Strach Based Nanocomposites in Active Packaging for Extended Shelf Life of Fresh Fruits. *Walailak J Sci & Tech, 15*(4), 273-281.

Wulandari, D., Saktihono, P., & Susilowati, T. (2016). Kajian Pemanfaatan Biji Nangka dengan Plasticizer Gliserin dari Minyak Jelantah sebagai Bahan Pembuatan Edible Coating. *J.Rekapangan, 11*(2).

Yanti, C. A., & Akhri, I. J. (2021). Perbedaan Uji Korelasi Pearson, Spearman dan Kendall Tau dalam Menganalisis Kejadian Diare. *Jurnal Endurance: Kajian Ilmiah Problem Kesehatan, 6*(1), 51-58.

Yousefi, A., Savadkoohi, B., Zahedi, Y., Hatami, M., & Ako, K. (2019). Fabrication and Characterization of Hybrid Sodium Montmorillonite/TiO2 Reinforced Cross-linked Wheat Starch-Based Nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules, 131*, 253-263.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA