

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARAKTERISASI FILM BIOKOMPOSIT PATI
TERMOPLASTIK/ALFA SELULOSA
DI PUSAT PENELITIAN KIMIA LIPI SERPONG
(Februari-Juli 2019)



OLEH :

DATA BUKU PERPUSTAKAAN	
Tgl Terima	10/08/22
No Induk Buku	567/TKP/SB/TA/22

FARHAN ABDI NUSA

1515055

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA POLIMER
POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.
JAKARTA

2019

SUMBANGAN ALUMNI

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS
AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

KARAKTERISASI FILM BIOKOMPOSIT PATI TERMOPLASTIK/ALFA
SELULOSA.

DISUSUN OLEH :

NAMA : FARHAN ABDI NUSA

NIM : 1515055

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diperiksa dan disetujui sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik
Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta.

Jakarta, 4 Juli 2019

Menyetujui

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIDK : 8873590019

Dosen Pembimbing



Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng
NIP : 195609101984032002



Nomor : 008 /BPSDMI/STMI/III/2019
Lampiran : 1 (satu)
Perihal : Penugasan Proses
Bimbingan Tugas Akhir
Tahun Akademik 2018/2019

Jakarta, 15 Februari 2019

Kepada
Yth. Ibu Ir Rochmi Widjajanti, M.Eng
Di Jakarta

Berdasarkan Keputusan Direktur Politeknik STMI Jakarta Nomor 01/SJ-IND 7.2/KEP/01 /2019 tanggal 02 Januari 2019 tentang pengangkatan Dosen Pembimbing dan Asisten Dosen Pembimbing Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta Tahun Akademik 2018/2019, maka dengan ini kami mengharap bantuan Ibu untuk dapat memberikan bimbingan dalam penulisan / penyusunan Tugas Akhir kepada mahasiswa yang namanya tersebut di bawah ini:

Nama : Farhan Abdi Nusa
No. Induk : 1515055

Adapun judul Tugas Akhir yang bersangkutan berdasarkan proposal yang terdaftar adalah:

" Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit Pati Termoplastik Berpenguat Alpha Selulosa . "

Demikian surat penugasan ini disampaikan. Atas perhatian dan bantuan Ibu kami ucapkan terima kasih.



Dr. Mustofa, ST, MT

NIP : 19700924 200312 1 001

Tembusan

1. Pudir 1;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR :

KARAKTERISASI FILM BOKOMPOSIT PATI TERMOPLASTIK/ALFA
SELULOSA

DISUSUN OLEH :

NAMA : FARHAN ABDI NUSA

NIM : 1515055

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Tangerang Selatan, 5 Juli 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh :







Pembimbing Penelitian



Muhammad Ghozali, M.T
NIP : 198012252005021002

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Farhan Abdi Nusa
NIM : 1515055
Judul Tugas Akhir : Karakterisasi Film Biokomposit Pati
Termoplastik/Alfa Selulosa
Dosen Pembimbing : Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
13/02/19	-	<ul style="list-style-type: none">- Diskusi mengenai topik dan tempat penelitian- Diskuksi mengenai proposal penelitian yang diajukan	
15/02/19	-	<ul style="list-style-type: none">- acc proposal penelitian yang diajukan	
16/05/19	I, II, III	<ul style="list-style-type: none">- Diskusi mengenai metode kerja selama penelitian.- Diskusi mengenai hasil sampel- Revisi latar belakang, tinjauan pustaka, dan metode penelitian	
31/05/19	I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none">- Revisi rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, diagram alir, dan prosedur.- Diskusi hasil pengujian FTIR- Diskusi pelaksanaan pengujian biodegradasi	
22/06/19	I, II, III, IV	<ul style="list-style-type: none">- Perbaikan penulisan dan penyempurnaan pada setiap bab laporan tugas akhir	
26/06/19	IV	<ul style="list-style-type: none">- Diskusi mengenai hasil uji sifat mekanis, dan TGA	

28/06/19	IV	<ul style="list-style-type: none"> - Diskusi mengenai hasil pengujian biodegradasi - Revisi bab IV dan penyempurnaan penulisan 	RS
2/07/19	I, II, III, IV, V	<ul style="list-style-type: none"> - Revisi keseluruhan laporan tugas akhir 	RS
3/07/19	I, II, III, IV, V	<ul style="list-style-type: none"> - acc keseluruhan laporan tugas akhir - Revisi presentasi laporan tugas akhir 	RS
4/07/19	-	<ul style="list-style-type: none"> - acc presentasi laporan tugas akhir 	RS

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIDK : 8873590019

Dosen Pembimbing



Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng
NIP : 195609101984032002



Nomor : 067/ISJ-IND.7.2/IX/2018
Lampiran :
Perihal : **Permohonan Penelitian**

Jakarta, 10 September 2018

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Pusat Penelitian Kimia LIPI
Jl. Kawasan Puspitek , Muncul, Serpong
Kota Tangerang Selatan Banten 15314

Dalam rangka menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang didapat Mahasiswa/i di Politeknik STMI Jakarta, Kementerian Perindustrian RI, dengan ini memohon bantuan Bapak/Ibu agar bersedia menerima mereka yang namanya tersebut di bawah ini untuk melakukan Penelitian di Perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu pimpin selama kurang lebih 6 (enam) bulan.

Adapun nama mahasiswa/i yang akan melakukan Penelitian adalah:

No.	Nama	NIM	Kompetensi yang diharapkan
1.	Farhan Abdi Nusa	1515055	Teknologi Proses

Dalam pelaksanaannya kami mengharapkan bantuan bimbingan Bapak/Ibu agar mahasiswa/i kami dapat melakukannya dengan baik. Untuk selanjutnya kompetensi yang diperoleh dari hasil bimbingan Bapak/Ibu akan dipresentasikan dan mudah-mudahan dapat bermanfaat bagi perusahaan

Demikian atas bantuan dan kerjasama Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Pembantu Direktur I,

Dr. Ridzky Kramanandita, S.Kom, M.T

NIP : 19740302 200212 1 001

Tembusan:

1. Direktur STMI;
2. Ka Prodi TKP;
3. Mahasiswa yang bersangkutan;
4. Peringgal



LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(INDONESIAN INSTITUTE OF SCIENCES)
PUSAT PENELITIAN KIMIA

Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314
Telp. (+62 21) 7560929, Faks (+62 21) 7560549
website : <http://kimia.lipi.go.id>, email : rcchem@mail.lipi.go.id

Tangerang Selatan, 01 Februari 2019

Nomor : B- 091 /IPT.2/KS.02/2019
Sifat : Biasa
Lamp. : -
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

Kepada Yth,
Pembantu Rektor I
Politeknik
STMI Jakarta
Jl Letjen Suprpto No.26 Cempaka Putih,
Jakarta

Menjawab surat dari Pembantu Rektor I-Politeknik STMI Jakarta, nomor 092/SJ-IND.7.2/IX/2018 tanggal 10 September 2018, perihal Penelitian Tugas Akhir, bersama ini kami sampaikan bahwa kami bersedia menerima mahasiswa atas nama sebagai berikut :

Nama : Farhan Abdi Nusa
NIM : 1515031

Untuk melaksanakan Penelitian Tugas Akhir di Pusat Penelitian Kimia – LIPI, tehitung mulai 01 Februari 2019 hingga 30 Juni 2019 dibawah bimbingan Muhammad Ghozali, MT dengan mengikuti peraturan yang ada di Pusat Penelitian Kimia – LIPI.

Demikian atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami ucapkan terima kasih.

Kepala Pusat Penelitian Kimia - LIPI

R. Arthur Ario Lelono, Ph.D


Tembusan :

1. Koordinator Keltian Kimia Polimer -PP Kimia – LIPI
2. Muhammad Ghozali, MT
3. Arsip.

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.

**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS
AKHIR**

JUDUL TUGAS AKHIR :

**KARAKTERISASI FILM BOKOMPOSIT PATI TERMOPLASTIK/ALFA
SELULOSA**

DISUSUN OLEH :

NAMA : FARHAN ABDI NUSA

NIM : 1515055

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia
Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Selasa 6 Agustus 2019.

Jakarta, Agustus 2019

Penguji I



Syaiful Ahsan, S.T, M.T
NIP : 198407162014021001

Penguji II



Dr. Ir. Lintong Sopandi H., MS.ChE
NIP : 195803221986031002

Penguji III



Dr. Erfina Oktariani, S.T, M.T
NIP : 198210012014022001

Dosen Pembimbing



Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng
NIP : 195609101984032002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.

Nama : Farhan Abdi Nusa

NIM : 1515055

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya Tugas Akhir yang saya buat dengan judul Karakterisasi Film Biokomposit Pati Termoplastik/Alfa Selulosa.

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing, dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi, serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi yang tertera pada hasil karya tulis Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/ perguruan tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada karya Tugas Akhir saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang dipaparkan pada pernyataan diatas, maka karya Tugas Akhir saya ini dapat dibatalkan.

Jakarta, Juli 2019
TETERAI
EMPEL
10SAFF914948318
1000
RUBU RUPIAH
Farhan Abdi Nusa

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkah dan rahmat-Nya penulis dapat melaksanakan kegiatan dan penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “Karakterisasi Film Biokomposit Pati Termoplastik/Alfa Selulosa”. Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Polimer Pusat Penelitian Kimia LIPI, Gedung 452 PUSPIPTEK Serpong, Kota Tangerang Selatan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari-Juli 2019. Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung selama pelaksanaan dan penyusunan laporan ini terutama kepada :

1. Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya.
2. Orang tua penulis, yang selalu mendoakan dan mendukung.
3. Dr. Mustofa, S.T, M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
4. Ir. Roosmarihasro, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Ir. Rochmi Widjajanti, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, dan pikiran untuk mengarahkan dalam penyusunan laporan ini.
6. Fitria Ika Aryanti, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
7. Muhammad Ghozali, M.T selaku pembimbing penelitian di Laboratorium Polimer Pusat Penelitian Kimia LIPI, BPPT, Serpong.
8. Ibu Evi Triwulandari, Ibu Witta Kartika, dan Ibu Sri Fahmiati selaku asisten pembimbing penelitian di Laboratorium Polimer Pusat Penelitian Kimia LIPI , BPPT, Serpong.
9. Ibu Yenny, selaku instruktur penelitian di Laboratorium Mikrobiologi dan Lingkungan Pusat Penelitian Kimia LIPI BPPT, Serpong.

10. Seluruh karyawan di Laboratorium Polimer Pusat Penelitian Kimia LIPI, BPPT, Serpong.
11. Teman-teman di Laboratorium Polimer Pusat Penelitian Kimia LIPI, BPPT, Serpong atas dukungan dan saran-sarannya
12. Teman-teman Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2015 atas dukungan dan saran-sarannya.
13. Serta dukungan semua pihak yang terkait dan tidak bisa disebutkan satu persatu, terima kasih atas segala bantuannya.

Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan penulis sebagai manusia yang masih dalam tahap belajar. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan dan penyempurnaan laporan ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan tentunya penulis.

Jakarta, Juli 2019

Penulis

ABSTRAK

Pembuatan komposit berbasis *biodegradable* telah banyak dikembangkan, seperti biokomposit yang dibuat dari pati termoplastik dan selulosa. Penambahan selulosa pada pati termoplastik diupayakan agar dapat menambah sifat dan karakteristik dari plastik yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan persentase berat selulosa terhadap gugus fungsi, sifat mekanis, sifat termal, dan proses biodegradasi pada biokomposit pati termoplastik/selulosa. Pembuatan film biokomposit ini menggunakan metode *solvent casting*, yaitu mencampurkan pati termoplastik, dan selulosa dengan pelarut air. Variasi konsentrasi selulosa yang ditambahkan sebanyak 0%; 5%; 10%; 15% dan 20% dari berat total film biokomposit. Hasil penelitian menunjukkan tidak adanya gugus fungsi baru pada film biokomposit setelah penambahan selulosa. Komposisi penguat selulosa yang ditambahkan pada matriks pati termoplastik dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik, dan elongasi. Berdasarkan pengujian sifat termal penambahan selulosa dapat mempengaruhi suhu dekomposisi, dan stabilitas termal, serta mengurangi persentase kadar air. Berdasarkan pengujian biodegradasi penambahan selulosa dapat memperlambat proses biodegradasi oleh mikroorganisme.

Kata kunci: biokomposit, pati termoplastik, selulosa, *solvent casting* dan biodegradasi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENUGASAN DOSEN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR.....	vi
LEMBAR PENGAJUAN TUGAS AKHIR	viii
LEMBAR KETERANGAN DITERIMA TUGAS AKHIR	ix
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SEMINAR TUGAS AKHIR.....	x
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR.....	xi
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
ABSTRAK.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Plastik <i>Biodegradable</i>	6
2.1.1 Bioplastik	7
2.1.2 Biokomposit.....	9
2.2 <i>Starch/Pati</i>	9
2.3 Selulosa	12

2.3.1 Pembagian Jenis Selulosa Berdasarkan Kelarutannya	
dalam NaOH	15
2.3.2 Sifat dan Karakteristik Selulosa.....	15
2.4 Karakterisasi Film Biokomposit	15
2.4.1 Karakterisasi Sifat Mekanis	15
2.4.2 Karakterisasi Gugus Fungsi	16
2.4.3 Karakterisasi Sifat Termal	21
2.4.4 Karakterisasi Biodegradasi	23
2.5 Sejarah Penelitian.....	25
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.2.1 Alat Penelitian.....	28
3.2.2 Alat Karakterisasi Film Biokomposit	29
3.2.3 Bahan Penelitian	29
3.3 Variabel Penelitian.....	30
3.3.1 Variabel Tetap.....	30
3.3.2 Variabel Bebas	30
3.4 Diagram Alir Penelitian	31
3.5 Prosedur Penelitian Pembuatan Film Biokomposit	33
3.6 Karakterisasi Penelitian.....	35
3.6.1 Karakterisasi Sifat Mekanis	35
3.6.2 Karakterisasi Gugus Fungsi	35
3.6.3 Karakterisasi Sifat Termal	35
3.6.4 Karakterisasi Biodegradasi	36
3.7 Teknik Analisis Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi.....	40
4.1.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Sampel Selulosa.....	41
4.1.2 Karakterisasi Gugus Fungsi Sampel TPS/Selulosa 0%	42
4.1.3 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Gugus	
Fungsi Film Biokomposit	43

4.2 Hasil Karakterisasi Sifat Mekanis.....	46
4.2.1 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Nilai Kekuatan Tarik.....	46
4.2.2 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Nilai Perpanjangan Putus.....	50
4.3 Hasil Karakterisasi Sifat Termal	52
4.3.1 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 1: Proses Penguapan Air)	53
4.3.2 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 2: Proses Dekomposisi Termal).....	54
4.3.3 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 3: Proses Stabilitas Termal).....	55
4.4 Hasil Karakterisasi Biodegradasi	57
4.4.1 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Proses Biodegradasi	58
4.4.2 Analisis Hasil Uji Biodegradasi pada Sampel TPS/Selulosa 20%.....	59
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
DAFTAR LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1	Klasifikasi Polimer <i>Biodegradable</i> 8
Gambar II.2	Rumus Struktur Amilosa 10
Gambar II.3	Rumus Struktur Amilopektin 10
Gambar II.4	Sumber Selulosa dan Morfologinya 12
Gambar II.5	Rumus Struktur Selulosa 13
Gambar II.6	Selulosa, Lignin, dan Hemiselulosa 14
Gambar II.7	Skema Alat Spektrofotometer Inframerah..... 17
Gambar II.8	Spektrum Inframerah..... 18
Gambar II.9	Vibrasi Peregangan Ikatan..... 19
Gambar II.10	Vibrasi Pengerutan Ikatan 19
Gambar II.11	Tipe Kurva TGA 22
Gambar III.1	Diagram Alir Penelitian 31
Gambar IV.1	Spektrum FTIR Keseluruhan Sampel 40
Gambar IV.2	Perubahan Nilai Transmittan Gugus Fungsi O-H <i>Stretching</i> 44
Gambar IV.3	Hasil Nilai Kekuatan Tarik Film Biokomposit..... 47
Gambar IV.5	Hasil Nilai Perpanjangan Putus 50
Gambar IV.6	Hasil Kurva TGA Film Biokomposit TPS/Selulosa 52
Gambar IV.7	Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 1: Proses Penguapan Air) 53
Gambar IV.8	Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 2: Proses Dekomposisi Termal) 54
Gambar IV.9	Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 3: Proses Stabilitas Termal)..... 55
Gambar IV.10	Grafik Persentase Massa yang Hilang Selama Uji Biodegradasi pada Keseluruhan Sampel..... 58

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II.1 Perbandingan Plastik Konvensional dengan Plastik <i>Biodegradable</i> pada Beberapa Aspek	7
Tabel II.2 Sifat Fisika dan Kimia Pati Termoplastik Enviplast	12
Tabel II.3 Pembagian Jenis Selulosa Berdasarkan Kelarutannya dalam NaOH	15
Tabel II.4 Sifat dan Karakteristik Selulosa	15
Tabel II.5 Bilangan Gelombang FTIR dan Jenis Ikatannya.....	20
Tabel II.6 Penjelasan Tipe Kurva TGA	22
Tabel II.7 Jenis Pengujian Biodegradasi.....	24
Tabel II.8 Jenis Jamur yang Digunakan Untuk Pengujian Biodegradasi.....	25
Tabel III.1 Alat Penelitian.....	28
Tabel III.2 Alat Proses Karakterisasi	29
Tabel III.3 Bahan Penelitian	29
Tabel III.4 Berat Sampel Uji Penelitian.....	30
Tabel III.5 Berat Bahan Baku Penelitian	33
Tabel IV.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi FTIR Selulosa.....	41
Tabel IV.2 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi Sampel TPS/Selulosa 0%.....	42
Tabel IV.3 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi pada Grafik FTIR Sampel dengan Variasi Selulosa	45
Tabel IV.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik Film Biokomposit.....	46
Tabel IV.5 Hasil Pengujian Elongation at Break/Perpanjangan Putus	50
Tabel IV.6 Persentase Kadar Air pada Sampel Film Biokomposit TPS/Selulosa	53
Tabel IV.7 Suhu Dekomposisi Termal Film Biokomposit TPS/Selulosa.....	54
Tabel IV.8 Kandungan Residu pada Pengujian Termal dengan TGA	56
Tabel IV.9 Hasil Uji Biodegradasi Keseluruhan Sampel	57
Tabel IV.10 Hasil Uji Biodegradasi Sampel TPS/Selulosa 20%.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama beberapa tahun terakhir pembuatan komposit berbasis *biodegradable* telah banyak dikembangkan oleh para peneliti dalam bidang polimer. Hal ini dilakukan untuk mengupayakan agar pembuatan plastik *biodegradable* dapat dikomersialkan kepada masyarakat, dengan tujuan agar dapat mengurangi penggunaan plastik konvensional yang terbuat dari minyak bumi. Komposit berbasis *biodegradable* ini pada umumnya memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan plastik *biodegradable*. Salah satu kelebihan dari biokomposit adalah dapat mengurangi biaya bahan utama produksi, bersifat ringan, dapat meningkatkan sifat mekanis, sifat termal, bersifat *biodegradable*, dan lain-lain (Ghanbari dkk., 2018).

Pada saat ini hampir 85-90% produksi bioplastik yang telah dikomersialkan pada masyarakat berasal dari bahan baku pati termoplastik. Pati termoplastik merupakan gabungan antara material pati yang terbuat dari proses ekstraksi bahan nabati, seperti singkong, jagung, dan lain-lain. Setelah itu, ditambahkan *plasticizer* berbasis poliol yang dibuat dengan menggunakan mesin ekstrusi. Pati yang telah terplastisasi ini dapat dijadikan plastik dengan memprosesnya menjadi produk yang diinginkan oleh masyarakat, seperti secara umum dapat diproduksi sebagai plastik kemasan makanan, dan plastik kemasan belanja. Pati termoplastik masih memiliki kekurangan secara signifikan yang membatasi penggunaannya dalam aplikasi di industri, seperti sifat hidrofilik, sensitivitas air yang tinggi, dan sifat mekanis yang rendah (Ghanbari dkk., 2018).

Pembuatan biokomposit berbasis pati termoplastik pada penelitian ini diproses dengan menambahkan bahan penguat berupa selulosa. Penggunaan selulosa pada pati termoplastik untuk pengembangan biokomposit memiliki banyak keunggulan. Keunggulan material selulosa sangat luas, di antaranya adalah *edibility*, biokompatibel, tidak beracun, bersih atau tidak kotor, berbiaya murah, serta

melimpah luas di bumi. Selain itu, selulosa juga memberikan sifat mekanis yang cukup baik pada pati termoplastik. Material selulosa dapat berfungsi untuk menambah kekuatan tarik pada plastik *biodegradable* (Rico dkk., 2016).

Penelitian sebelumnya tentang penambahan material selulosa terhadap bioplastik berbasis pati termoplastik telah dilakukan menurut beberapa sumber. Berdasarkan pengujian gugus fungsi dengan menggunakan FTIR. Menurut Sarifuddin dkk. (2012) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan selulosa pada matriks pati tidak menunjukkan adanya gugus fungsi baru. Proses penambahan selulosa pada matriks pati merupakan proses pencampuran yang terjadi secara fisika. Diketahui bahwa tidak adanya gugus fungsi baru ini dikarenakan dua polimer penyusun biokomposit, yaitu pati dan selulosa sama-sama memiliki monomer yang sama, yaitu glukosa. Namun, penambahan selulosa pada pati mengakibatkan perubahan nilai transimitan dan pergeseran pita serapan yang mengindikasikan adanya peningkatan ikatan hidrogen dan interaksi dipolar (Sarifuddin, 2012).

Penelitian yang membahas pengujian sifat mekanis biokomposit pati termoplastik dengan selulosa menurut Li dkk. (2018) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan selulosa pada matriks pati menghasilkan biokomposit yang memiliki sifat mekanis yang lebih baik. Pada penelitian tersebut variasi komposisi selulosa terbaik untuk pengujian kekuatan tarik adalah biokomposit dengan komposisi selulosa sebesar 15% dari berat total. Adapun terdapat penurunan nilai kekuatan tarik pada komposisi selulosa sebesar 20%. Dalam konteks ini, terjadi karena pengaruh penambahan selulosa yang semakin banyak mengakibatkan agregat pada biokomposit yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai kekuatan tarik pun dapat menurun. Berdasarkan penelitian Hietala dkk. (2013) komposisi selulosa yang semakin banyak ditambahkan pada pati maka dapat menambah nilai kekuatan tarik dengan konsentrasi selulosa maksimal pada penelitian, yaitu sebesar 20%. Adapun perbedaan pada percobaan penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. (2018) dan Hietala dkk. (2013) karena menggunakan 2 metode yang berbeda pada proses pembuatannya, yaitu metode *solvent casting* dan metode ekstrusi.

Penelitian yang membahas tentang pengujian sifat termal menggunakan alat instrumentasi TGA menurut Ghanbari dkk. (2018) dan Sarifuddin dkk. (2012) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat meningkatkan suhu dekomposisi. Selain itu, penambahan selulosa mengindikasikan adanya peningkatan stabilitas termal dengan dihasilkannya hasil residu yang semakin banyak. Penelitian yang membahas pengujian biodegradasi yang dilakukan menurut Babae dkk. (2015) dan Hermansyah dkk. (2014) pada penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan selulosa pada matriks pati mengakibatkan biodegradasi berlangsung lebih lama. Pengaruh ini terjadi akibat kristalinitas selulosa yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati. Akibatnya, penambahan selulosa dapat mencegah berlangsungnya enzim pendegradasi untuk melakukan proses biodegradasi pada sampel.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa permasalahan terkait pembuatan film biokomposit yang akan dicari jawabannya dalam penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa terhadap gugus fungsi pada film biokomposit?
2. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat mekanis pada film biokomposit?
3. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat termal pada film biokomposit?
4. Bagaimana pengaruh penambahan selulosa terhadap proses biodegradasi pada film biokomposit?

1.3 Batasan Masalah

1. Metode yang digunakan pada pembuatan film biokomposit ini adalah metode *solvent casting*.
2. Bahan baku yang digunakan adalah pati termoplastik dan alfa selulosa.
3. Proses karakterisasi yang dilakukan pada film biokomposit adalah uji sifat mekanis, uji biodegradasi, gugus fungsi, dan sifat termal.

4. Variasi selulosa yang digunakan adalah 0%; 5%; 10%; 15% dan 20% dari berat total.
5. Bahan baku pati termoplastik diperoleh dari PT Inter Aneka Lestari Kimia.
6. Bahan baku alfa selulosa diperoleh dari Sigma Aldrich.
7. Bahan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah film plastik.
8. Karakterisasi biodegradasi menggunakan mikroorganisme jamur.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa terhadap gugus fungsi pada film biokomposit.
2. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat mekanis pada film biokomposit.
3. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa terhadap sifat termal pada film biokomposit.
4. Mengetahui pengaruh penambahan selulosa terhadap proses biodegradasi pada film biokomposit.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi mengenai prosedur pembuatan film biokomposit campuran pati termoplastik/alfa selulosa.
2. Mengetahui proses pembuatan film biokomposit pati termoplastik/alfa selulosa.
3. Memberikan informasi mengenai hasil karakterisasi film biokomposit pati termoplastik/alfa selulosa.
4. Memberikan informasi mengenai sifat biodegradasi film biokomposit campuran pati termoplastik/alfa selulosa.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan, didalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang diadakannya penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas, batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan, tujuan dan manfaat dari dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai plastik *biodegradable*, pati termoplastik, selulosa, karakterisasi film biokomposit, dan sejarah penelitian.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian, tahapan pembuatan film Pati termoplastik berpenguat selulosa, karakterisasi sampel, dan teknik analisis data.

BAB IV: HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengujian, analisis data berdasarkan grafik hasil pengujian, pembahasan terhadap hasil pengujian, dan analisis data.

BAB V: PENUTUP

Bab ini berisi dua bagian, kesimpulan dan saran yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang telah didapat pada bab sebelumnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik *Biodegradable*

Plastik *biodegradable* didefinisikan sebagai plastik yang dapat sepenuhnya dipecah oleh mikroorganisme di lingkungan untuk membentuk senyawa tidak beracun. Dalam kondisi aerobik senyawa ini biasanya menghasilkan karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O), sedangkan dalam kondisi anaerob senyawa ini menghasilkan gas metana (CH₄). Bioplastik berbasis *biodegradable* adalah plastik yang diproduksi dari sumber daya terbarukan yang juga dapat terurai secara hayati. Bioplastik adalah plastik yang mengandung biopolimer yang dibuat menggunakan bahan yang dapat diperbarui (seperti pati, gula dan minyak) yang diekstraksi dari tanaman. Bioplastik dapat dibuat menggunakan polimer tanaman asli yang terjadi secara alami seperti pati, selulosa dan lignin. Sebaliknya, bioplastik berbasis *non-biodegradable* adalah plastik yang dibuat dari bahan yang terbarukan, dan tidak dapat dengan mudah diuraikan oleh mikroorganisme (misalnya PP atau PE yang berasal dari bioetanol) (Barker & Safford, 2009).

Plastik *biodegradable* dibuat dari bahan nabati yang merupakan produk pertanian yang dapat diperbaharui. Oleh karena itu, produksi bahan nabati dapat berkelanjutan dan bioplastik dapat terdegradasi lebih cepat karena bersifat ramah lingkungan. Namun, harga plastik *biodegradable* relatif lebih mahal jika dibandingkan dengan plastik konvensional karena teknologinya yang belum berkembang luas. Keterbatasan bahan baku plastik konvensional berupa minyak bumi, dan meningkatnya tuntutan terhadap produk ramah lingkungan menjadi peluang bagi pengembangan plastik *biodegradable*. Tabel II.1 menampilkan perbandingan plastik konvensional dan plastik *biodegradable*. Perbandingan tersebut ditinjau dari segi aspek ketersediaan bahan baku, teknologi, sosial, ekonomi, dan lingkungan (Kamsiati & Purwani, 2017).

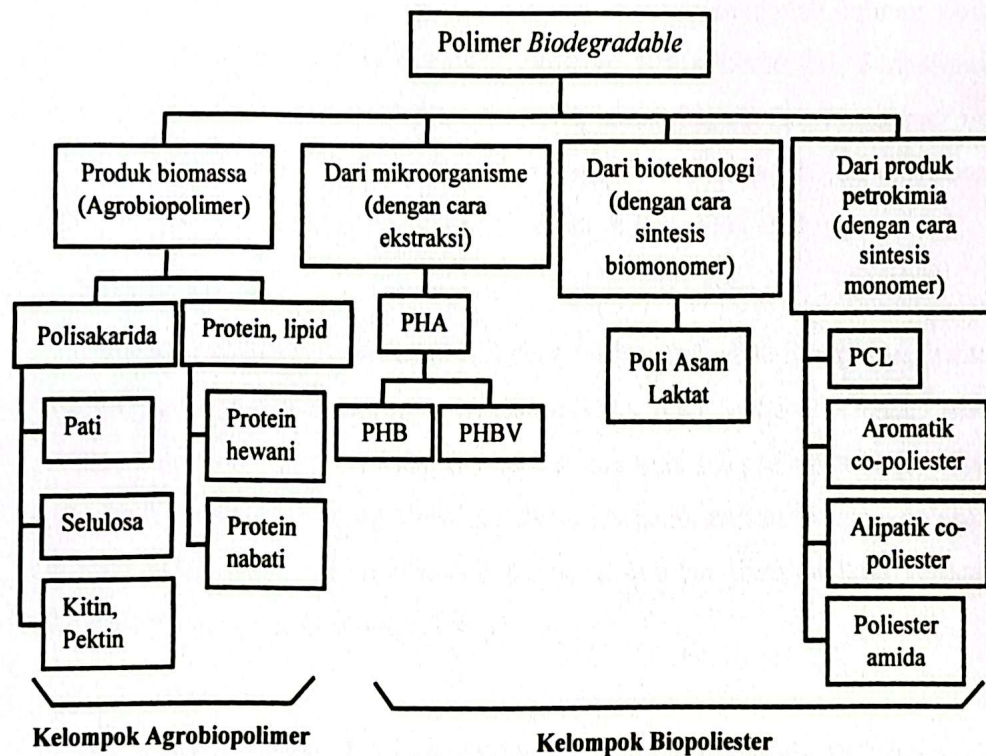
Tabel II.1 Perbandingan Plastik Konvensional dengan Plastik *Biodegradable* pada Beberapa Aspek

Aspek	Plastik Konvensional/ <i>non Biodegradable</i>	Plastik <i>Biodegradable</i> /Bioplastik
Bahan baku	Sebagian besar dibuat dari bahan yang tidak dapat diperbaharui (minyak bumi)	Dibuat dari bahan yang dapat diperbaharui (bahan nabati)
Teknologi	Sudah mapan	Sudah ada produsen yang mengembangkan. Namun masih banyak yang dalam tahap penelitian
Sosial	Sudah banyak dikenal dan digunakan masyarakat	Belum banyak dikenal masyarakat.
Ekonomi	Harga lebih murah	Harga sedikit lebih mahal
Lingkungan	Tidak bersifat ramah lingkungan (perlu ratusan tahun untuk dapat terdegradasi oleh alam). Selain itu menghasilkan emisi karbon yang tinggi	Bersifat ramah lingkungan (dapat terdegradasi oleh alam dan lingkungan dalam waktu yang singkat (sekitar 3-6 bulan). Selain itu, menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah

Sumber: Kamsiati, 2017

2.1.1 Bioplastik

Istilah bioplastik mengacu pada asal usul bahan bakunya, sedangkan sifat mudah terurai suatu plastik mengacu pada perilaku suatu plastik pada saat menjadi sampah di lingkungan. Jika suatu plastik terurai yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme sehingga plastik dapat terurai menjadi CO₂, air dan biomassa. Dalam hal ini, dapat dinyatakan bahwa di lingkungan tersebut plastik mengalami proses biodegradasi (Saptorahardjo, 2016). Bioplastik merupakan plastik yang dapat diaplikasikan, seperti plastik konvensional, tetapi memiliki perbedaan dengan plastik konvensional, yakni mampu terurai oleh aktivitas mikroorganisme. Bahan baku bioplastik merupakan bahan baku yang mudah diperoleh dan memiliki siklus waktu penyediaan bahan yang singkat (terbarukan). Selain itu, bioplastik dapat diubah menjadi kompos (*compostable*). Menurut Averous & Boquillon (2004) bioplastik dikelompokkan menjadi 2 kelompok dan empat keluarga yang berbeda yang dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Klasifikasi Polimer *Biodegradable*

Sumber: Averous & Boquillon, 2004

Kelompok utama dari bioplastik, yaitu kelompok pertama adalah agrobiopolimer yang terdiri dari polisakarida, protein dan sebagainya, dan kelompok kedua adalah biopolyester (*biodegradable polyester*), seperti poli asam laktat, *Polyhydroxyalkanoate* (PHA), aromatik dan alifatik *co-polyester*. Agrobiopolimer adalah produk produk biomassa yang diperoleh dari bahan-bahan pertanian, seperti polisakarida, protein, dan lemak. Biopolyester dapat dikelompokkan berdasarkan sumbernya. Kelompok *Polyhydroxyalkanoate* (PHA) didapatkan dari aktivitas mikroorganisme dengan cara ekstraksi. Contoh PHA diantaranya adalah *polyhydroxybutyrate* (PHB), dan *polyhydroxybutyrate co-hydroxyvalerate* (PHBV). Kelompok poli asam laktat adalah biopolyester yang didapatkan dari aplikasi bioteknologi, yaitu dengan sintesis secara konvensional monomer-monomer yang diperoleh secara biologi. Kelompok terakhir didapatkan dari produk-produk petrokimia yang disintesis secara konvensional dari monomer-monomer sintesis. Kelompok ini terdiri dari poli kaprolakton (PCL), *polyester*

amides, alipatik *co-polyester* dan aromatik *co-polyester*. Sejumlah polimer yang dapat terbiodegradasi ini (biopolimer) tersedia secara komersial. Biopolimer menunjukkan sifat polimer yang dapat terurai secara hayati. dan biopolimer ini dapat bersaing dengan polimer yang tidak dapat terurai secara hayati di bidang industri misalnya industri pengemasan (Averous & Boquillon, 2004).

2.1.2 Biokomposit

Biokomposit (komposit *biodegradable*) terdiri dari dua komponen, yaitu polimer *biodegradable* sebagai bahan matriks dan bahan penguat atau (*reinforcement* atau *filler*). Misalnya *biofibre* atau serat lignoselulosa. Selain dua komponen tersebut suatu bioplastik juga dapat ditambahkan komponen penyusun lainnya, yakni *plasticizer* apabila biokomposit tersebut dimaksudkan sebagai bioplastik (Averous & Boquillon, 2004).

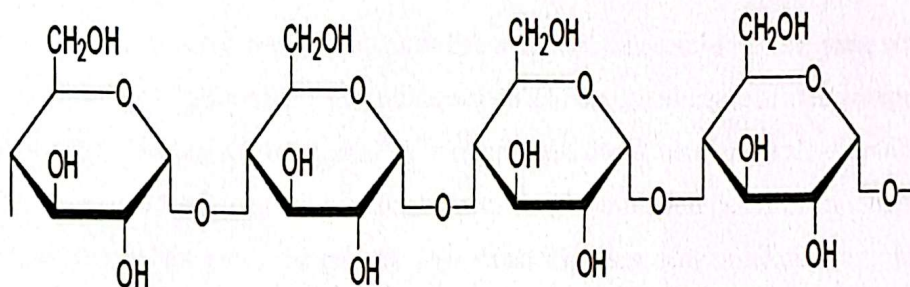
2.2 Starch/Pati

Pati merupakan bahan baku yang banyak tersedia di Indonesia. Pati diperoleh dengan cara mengekstrak bahan nabati yang mengandung karbohidrat, seperti sereal dan aneka umbi. Sumber karbohidrat yang banyak mengandung pati di antaranya jagung, sagu, ubi kayu, beras, ubi jalar, sorgum, talas, dan garut. Karakteristik fungsional pati yang unik memungkinkan pati digunakan untuk berbagai keperluan, baik sebagai bahan pangan maupun non-pangan (Kamsiati, 2017).

Kandungan, struktur fisik dan kimia dari pati dapat berbeda. Hal ini tergantung pada sumber pati yang didapatkan. Sebagai contoh: pati sereal mengandung lemak dan protein, sedangkan pati kentang memiliki kadar protein yang lebih rendah, tidak ada lemak dan memiliki kadar mineral yang berbeda. Perbedaan jenis kandungan yang terdapat dalam beberapa jenis pati seperti garam, lipid dan protein yang ada dalam pati akan memiliki pengaruh pada pemrosesan pati untuk diproduksi sebagai bioplastik (Barker & Safford, 2009).

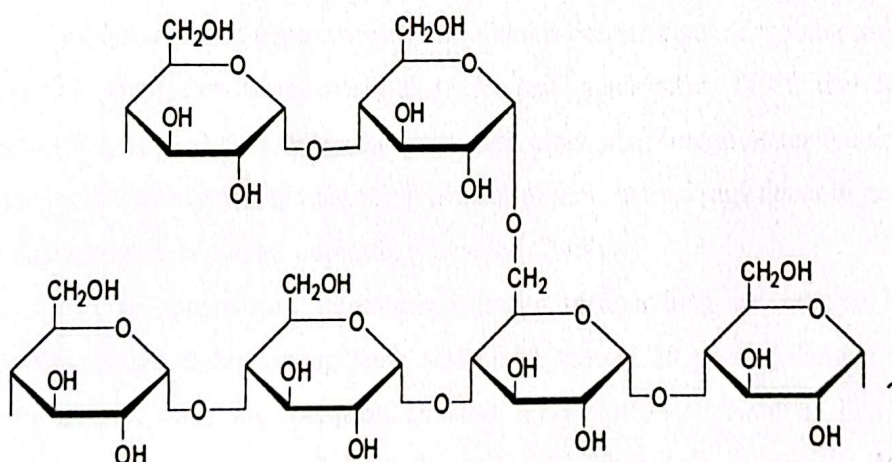
Pati merupakan campuran makro molekul amilosa dan amilopektin. Pati merupakan biopolimer yang tersusun dari molekul glukosa. Pada amilosa yang bersifat linear, monomer-monomer glukosa dihubungkan oleh ikatan α (1-4), dan

amilopektin α (1-6). Dalam tanaman pati berada sebagai granula *tuber* atau granula *roots*. Dengan rata-rata rasio amilosa sekitar 20-30% dan amilopektin sekitar 70-80%, dan dapat berasosiasi dengan makro molekul lain dalam tanaman seperti protein dan lipid (Saptorahardjo, 2016). Gambar II.2 dan gambar II.3 menunjukkan rumus struktur kimia dari amilosa dan amilopektin.



Gambar II.2 Rumus Struktur Amilosa

Sumber: Thomas dkk., 2013



Gambar II.3 Rumus Struktur Amilopektin

Sumber: Thomas dkk., 2013

Dari gambar II.2 dan II.3 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan rumus struktur kimia antara amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan unit monomer glukosa pada pati yang memiliki struktur rantai yang linear, sedangkan amilopektin merupakan unit monomer glukosa pada pati yang memiliki struktur rantai yang bercabang. Kandungan amilosa dan amilopektin berpengaruh terhadap sifat fisika dan kimia dari pati. Salah satu pengaruh amilosa dan amilopektin adalah daya serap air pati, kelarutan pati, derajat gelatinisasi pati, dan *swelling power*. Semakin tinggi kandungan amilopektin dalam pati maka pati akan cenderung sedikit menyerap air,

lebih basah, dan lengket. Selain itu, untuk amilosa semakin tinggi kandungan amilosa pada pati maka pati akan cenderung lebih banyak menyerap air, lebih kering, dan mudah melekat (Koswara, 2009) & (Kamsiati, 2017).

2.2.1 Pati Termoplastik/*Thermoplastic Starch* (TPS)

2.2.1.1 Definisi Pati Termoplastik

Pati termoplastik menggambarkan bahan amorf atau semi-kristalin yang terdiri dari pati yang digelatinisasi atau dihancurkan dan mengandung satu atau campuran dari bahan pelunak/*plasticizer*. Pati termoplastik dapat berulang kali dilunakkan dan dikeraskan sehingga dapat dengan mudah dibentuk oleh pemanasan dan gaya geser. Selain itu, pati termoplastik juga dapat diproses dengan teknik yang biasa digunakan dalam industri plastik seperti proses ekstrusi *blown film* (Carvalho, 2008).

Pati termoplastik pada umumnya diproduksi dengan cara mengolah campuran pati dan *plasticizer* dalam mesin ekstruder pada suhu antara 140°C dan 160°C. Selain itu, pada tekanan tinggi dan juga gaya geser yang tinggi. *Mixer batch* yang beroperasi dalam kondisi yang mirip dengan proses ekstrusi juga dapat digunakan untuk memproses pati termoplastik (Carvalho, 2008).

Pada komposisi pati termoplastik hanya mengandung air sebagai bahan pelunak dalam kadar kurang lebih sekitar 15 sampai 20 persen, dengan kadar tersebut pati tetap mempertahankan sifat termoplastiknya. Namun, jika suhu pemrosesan pati termoplastik lebih tinggi dari 100°C maka air yang ada didalam pati termoplastik akan menguap dan bahan akan melebur. Jika proses ini dikendalikan dengan baik maka proses penguapan air ini merupakan hal yang diinginkan. Air yang terdapat dalam pati dimungkinkan harus hilang karena akan mempengaruhi sifat dari pati termoplastik yang dihasilkan. Adapun ciri umum dari teknik proses pembuatan pati termoplastik ini adalah dengan penambahan jumlah bahan *plasticizer* dan juga bahan konsentrat lelehan yang tinggi. Menurut beberapa sumber lain pati termoplastik juga dapat diproses dengan adanya sejumlah besar air, seperti pada teknologi yang dikembangkan oleh Otey dkk. dalam (Carvalho, 2008).

2.2.1.2 Sifat Fisika dan Kimia Pati Termoplastik

Pelet pati termoplastik memiliki sifat fisika dan kimia. Pelet pati termoplastik yang diproduksi PT Inter Aneka Lestari Kimia memiliki rekomendasi zona temperatur ekstrusi untuk proses ekstrusi *blown film*. Adapun pada zona 1, 2, 3, 4 dan 5 temperatur yang diatur pada mesin ekstrusi adalah 150°C; 170°C; 170°C; 150°C dan 135°C, sedangkan suhu yang di atur pada *die* adalah 120°C. Selain itu, data sifat fisika dan kimia pelet yang dihasilkan oleh PT Inter Aneka Lestari Kimia dapat dilihat pada tabel II.2.

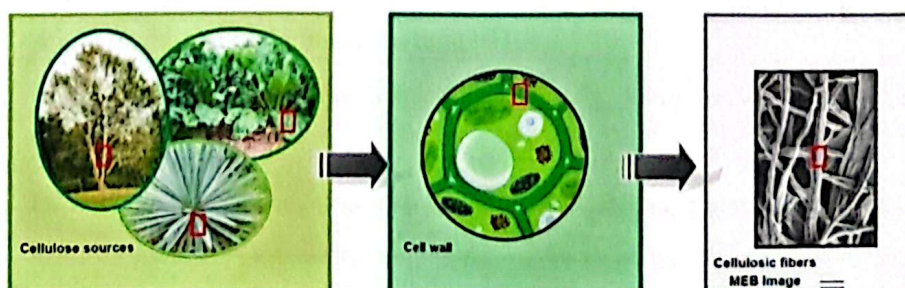
Tabel II.2 Sifat Fisika dan Kimia Pati Termoplastik Enviplast

Sifat	Metode	Satuan	Nilai
Bentuk	Visual	-	Berbentuk Pelet berwarna putih sedikit kuning
Kelarutan dalam air pada suhu 80°C	Metode internal	g/L	200
Densitas	ASTM D792	g/cm ³	1,23-1,27
<i>Melt flow index</i> (170°C / 5 kg)	ASTM D1238	g/10m	15-20
Temperatur Proses	Metode internal	°C	150-170
Kadar abu	Metode internal	%	Max 1,0
<i>Flamability</i>	Metode internal	-	<i>Not flammable</i>

Sumber: PT Inter Aneka Lestari Kimia, 2013

2.3 Selulosa

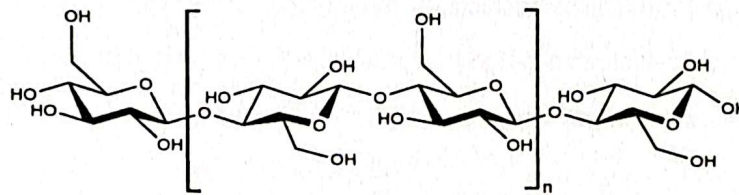
Selulosa pertama kali ditemukan oleh kimiawan asal Perancis Anselme Payen pada tahun 1838 (Thomas dkk., 2013). Selulosa dianggap sebagai senyawa organik yang paling melimpah yang berasal dari biomassa. Secara umum selulosa banyak ditemui pada material kayu. Selain itu, selulosa juga terdapat pada serat tanaman, jamur, dan bakteri (Lavoine dkk., 2012).



Gambar II.4 Sumber Selulosa dan Morfologinya

Sumber: Lavoine dkk., 2012

Pada gambar II.4 menjelaskan bagaimana selulosa hadir dialam terlepas dari sumber dimana selulosa itu didapatkan. Selulosa merupakan zat karbohidrat yang mempunyai rumus molekul $2(C_6H_{10}O_5)_n$ (dimana n adalah derajat polimerisasi). Selulosa adalah polisakarida berat molekul tinggi yang terdiri dari ikatan $\beta(1-4)$ glikosidik dan memiliki rumus struktur $(C_6H_{10}O_5)_n$ (dimana $n =$ derajat polimerisasi glukosa) (Thomas dkk., 2013). Adapun rumus struktur dari selulosa dapat dilihat pada gambar II.5.



Gambar II.5 Rumus Struktur Selulosa

Sumber: Thomas dkk., 2013

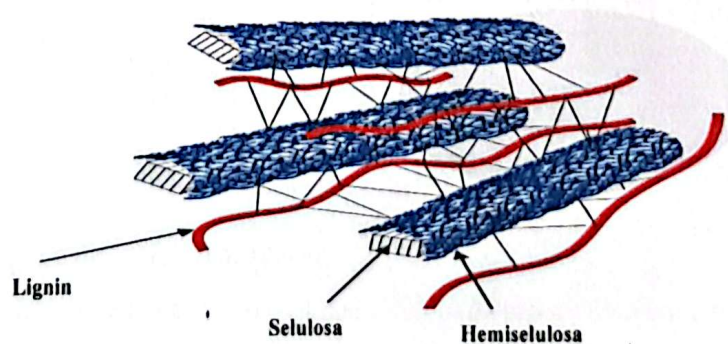
Saat ini selulosa dianggap sebagai biopolimer yang paling melimpah. Panjang suatu rangkaian dari rumus struktur selulosa tergantung pada derajat polimerisasinya. Jika suatu rangkaian selulosa semakin panjang maka rangkaian selulosa tersebut akan mempunyai serat yang lebih kuat, lebih tahan terhadap pengaruh kimia, cahaya, dan mikroorganisme. Derajat polimerisasi sangat bergantung pada sumber selulosa. Di alam, rantai selulosa memiliki derajat polimerisasi sekitar 10.000 unit dalam material kayu dan 15.000 pada kapas asli (Alvarez & Gutie, 2016). Keunggulan material selulosa sangat luas di antaranya adalah *edibility*, biokompatibel, tidak beracun, bersih atau tidak kotor, dan berbiaya murah serta melimpah luas di bumi (De Moura dkk., 2012). Selain itu, menurut Putera (2012) selulosa mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Dapat terdegradasi oleh hidrolisa, oksidasi, fotokimia, maupun secara mekanis, sehingga berat molekulnya menurun.
2. Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut dalam larutan alkali.
3. Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis, keras, dan rapuh. Jika selulosa mengandung cukup banyak air, maka selulosa akan bersifat lunak.

4. Selulosa dalam kristal mempunyai kekuatan yang lebih baik jika dibandingkan dengan bentuk amorfnya.

Komposit berbasis selulosa saat ini telah banyak dilakukan pengembangan dalam beberapa tahun terakhir sejak selulosa dapat digunakan sebagai bahan pengisi atau penguat dalam biopolimer berbasis pati. Selain itu, selulosa merupakan material yang berbiaya rendah, ketersediaan yang cukup banyak di alam, material terbarukan, bersifat ringan, dapat didimensikan dalam skala nano, kepadatan rendah, koefisien ekspansi termal yang rendah, tidak beracun, morfologi yang unik, keberlanjutan dan biodegradabilitas dari biomaterial ini memungkinkan untuk terus dilakukan pengembangan bioplastik yang berasal dari berbagai bahan struktural yang terbarukan (Alvarez & Gutie, 2016).

Selulosa adalah polisakarida yang membantu dalam proses pemeliharaan struktur sel tanaman, bakteri, jamur, ganggang, amuba, dan hewan. Selulosa tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni di alam. Akan tetapi, selalu berasosiasi dengan polisakarida lain seperti lignin, dan hemiselulosa. Setiap lapisan di dinding sel mengandung selulosa yang tertanam dalam matriks lignin dan hemiselulosa. Dengan kata lain, selulosa direkatkan oleh lignin dan hemiselulosa seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.6.



Gambar II.6 Selulosa, Lignin, dan Hemiselulosa
Sumber: Alvarez & Gutie, 2016

Dalam proses pembuatan selulosa. Bahan utama penghasil selulosa seperti kayu, serat, dan lain-lain dipisahkan bagian lignin dan hemiselulosa pada proses tertentu. Proses tersebut bertujuan untuk mengambil material selulosa yang dianggap memiliki keunggulan jika diaplikasikan menjadi sebuah produk.

2.3.1 Pembagian Jenis Selulosa Berdasarkan Kelarutannya dalam NaOH

Menurut Nuringtyas (2010) dalam Putera (2012) berdasarkan derajat polimerisasi dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5%. Selulosa dapat dibedakan menjadi tiga jenis yang ditunjukkan pada tabel II.3.

Tabel II.3 Pembagian Jenis Selulosa Berdasarkan Kelarutannya dalam NaOH

Jenis	Penjelasan
Alfa Selulosa	Selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan derajat polimerisasi sebesar 600–1.500. merupakan penentu tingkat kemurnian dari selulosa dan memiliki sifat hidrofilik yang lebih kecil diantara jenis lainnya.
Beta Selulosa	Selulosa berantai pendek, larut dalam larutan Na OH 17,5% atau basa kuat dengan derajat polimerisasi 15-90, dapat mengendap bila dinetralkan.
Gama Selulosa	Hampir sama dengan selulosa β , tetapi derajat polimerisasinya kurang dari 15.

Sumber: Putera, 2012

2.3.2 Sifat dan Karakteristik Selulosa

Untuk memproses material selulosa menjadi biokomposit maka diperlukan sifat dan karakteristik dari bahan ini. Adapun sifat dan karakteristik dari selulosa dapat dilihat pada tabel II.4.

Tabel II.4 Sifat dan Karakteristik Selulosa

Rumus Kimia	$(C_6H_{10}O_5)_n$
Densitas	1,52-1,54 g/cm ³
Berat molekul	162 g/mol
Melting point	260-270°C
Glass Transition Temperature	230-245°C

Sumber: Hossain, 2014

2.4 Karakterisasi Film Biokomposit

Berbagai pengujian/karakterisasi pada film biokomposit diantaranya adalah:

2.4.1 Karakterisasi Sifat Mekanis

Karakterisasi sifat mekanis dilakukan pengujiannya menggunakan alat *universal testing machine*. Sifat mekanis suatu material berupa kuat tarik dan elongasi menunjukkan kekuatan material tersebut. Penggunaan suatu material di dalam industri maupun kehidupan sehari-hari sangat tergantung pada sifat mekanis material. Sifat mekanis ini meliputi kuat tarik yang tinggi dan elastisitas yang baik.

Karakterisasi sifat mekanis suatu material dilakukan dengan cara menambah beban secara perlahan-lahan hingga material tersebut patah. Pada waktu yang bersamaan, pertambahan panjang yang terjadi akibat beban atau gaya yang diberikan pada material disebut dengan deformasi. Menurut Tanzi dkk. (2010) elastisitas suatu material (elongasi) dapat dicari dengan perbandingan antara pertambahan panjang semula seperti ditunjukkan dalam persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

Keterangan:

ε = elastisitas/regangan (%)

L = Panjang akhir material yang diukur (mm)

L_0 = Panjang mula-mula material yang diukur (mm)

ΔL = Pertambahan panjang

Menurut Tanzi dkk. (2010) kekuatan tarik/*tensile strength* dapat diukur berdasarkan beban maksimum (F_{maks}) yang digunakan untuk mematahkan material dibagi dengan luas penampang awal (A_0) yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Keterangan:

σ = kuat tarik (N/mm^2)

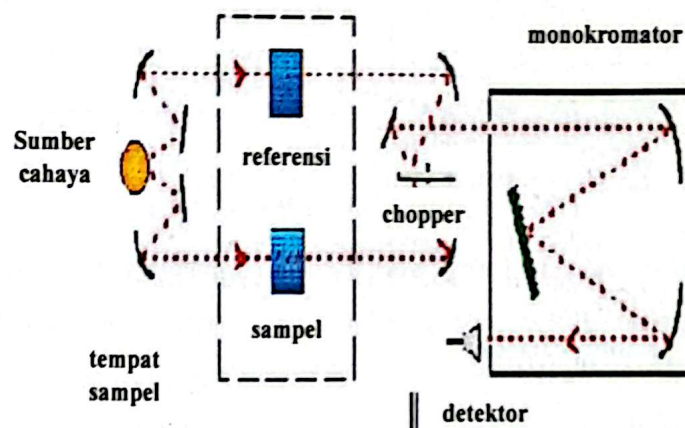
F_{maks} = beban maksimum (N)

A_0 = luas penampang awal (mm^2)

2.4.2 Karakterisasi Gugus Fungsi

Cahaya tampak terdiri dari beberapa *range* frekuensi elektromagnetik yang berbeda, dimana setiap frekuensi bisa dilihat sebagai warna yang berbeda. Radiasi inframerah juga mengandung beberapa *range* frekuensi tetapi tidak dapat dilihat oleh mata. Pengukuran pada spektrum inframerah dilakukan pada daerah cahaya inframerah tengah (*mid-infrared*), yaitu pada panjang gelombang 2,5-50 μm atau

bilangan gelombang $4.000-200\text{ cm}^{-1}$. Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi inframerah sangat khas dan spesifik untuk setiap tipe ikatan kimia atau gugus fungsi. Metode ini sangat berguna untuk mengidentifikasi senyawa organik dan organometalik. Sebagai sumber cahaya yang umum digunakan adalah lampu *tungsten*, *Narst glowers*, atau *glowbars*. Dispersi spektrofotometer inframerah menggunakan monokromator, yang berfungsi untuk menyeleksi panjang gelombang (Dachriyanus, 2004).



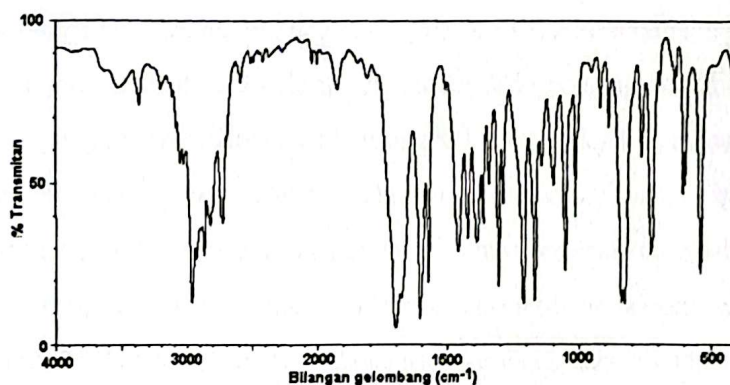
Gambar II.7 Skema Alat Spektrofotometer Inframerah
Sumber: Dachriyanus, 2004

Pada gambar II.7 jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittan.

Persen transmittan 100 berarti tidak ada frekuensi IR yang diserap oleh senyawa. Pada kenyataannya, hal ini tidak pernah terjadi. Selalu ada sedikit dari frekuensi ini yang diserap dan memberikan suatu transmittan sebanyak 95%. Transmittan 5% berarti bahwa hampir seluruh frekuensi yang dilewatkan diserap oleh senyawa. Serapan yang sangat tinggi ini akan memberikan informasi penting tentang ikatan dalam senyawa ini.

2.4.2.1 Bentuk Spektrum Inframerah

Bentuk spektrum yang dihasilkan berupa grafik yang menunjukkan persentase transmittansi yang bervariasi pada setiap frekuensi radiasi inframerah yang dapat dilihat pada gambar II.8.



Gambar II.8 Spektrum Inframerah

Sumber: Dachriyanus, 2004

Satuan frekuensi yang digunakan pada garis horizontal (aksis) dinyatakan dalam bilangan gelombang, yang didefinisikan sebagai banyaknya gelombang dalam tiap satuan panjang.

$$\text{Bilangan Gelombang} = \frac{1}{\text{panjang gelombang}} \text{ cm}^{-1}$$

Pada pertengahan garis horizontal bisa saja terjadi perubahan skala. Perubahan skala terjadi pada sekitar 2000 cm^{-1} dan sangat jarang terjadi perubahan skala pada sekitar 1000 cm^{-1} . Perubahan skala ini tidak akan mempengaruhi interpretasi spektrum inframerah karena yang dibutuhkan hanya nilai satuan yang ditunjuk skala horizontal.

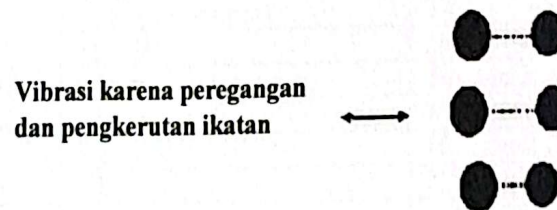
2.4.2.2 Penyebab Terjadinya Serapan Frekuensi Inframerah

Setiap frekuensi cahaya termasuk inframerah mempunyai energi tertentu. Apabila frekuensi cahaya yang dilewatkan diserap oleh senyawa yang diinvestigasi, berarti energi tersebut ditransfer pada senyawa. Besarnya energi yang diserap senyawa akan mempengaruhi kondisi molekul senyawa tersebut. Energi radiasi inframerah berhubungan dengan energi yang dibutuhkan untuk terjadinya vibrasi dari suatu ikatan.

A. Peregangan Ikatan (*Bond Stretching*)

Pada suatu ikatan kovalen, atom tidak terikat dengan suatu hubungan yang *rigid*. Dua atom yang berhubungan satu sama lain disebabkan karena kedua inti atom terikat pada pasangan elektron yang sama. Kedua inti ini bisa mengalami vibrasi kedepan-kebelakang dan atau kesamping-keatas satu sama lain.

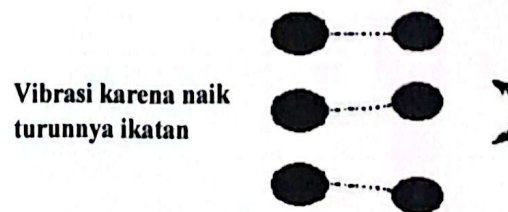
Energi yang terlibat pada vibrasi tergantung pada panjang ikatan dan massa atom-atom yang saling berikatan. Hal ini berarti bahwa setiap ikatan yang berbeda akan bervibrasi dengan cara yang berbeda dan jumlah energi yang berbeda pula. Pada dasarnya, ikatan-ikatan akan bervibrasi sepanjang waktu. Apabila ikatan tersebut diberi sejumlah energi yang tepat sama dengan besarnya energi pada ikatan maka energi ini akan menyebabkan vibrasi pada keadaan yang lebih tinggi. Jumlah energi yang dibutuhkan bervariasi pada setiap ikatan sehingga setiap ikatan akan menyerap pada frekuensi yang berbeda-beda pada radiasi inframerah.



Gambar II.9 Vibrasi Peregangan Ikatan
Sumber: Dachriyanus, 2004

B. Pengerutan Ikatan (*Bond Bending*)

Seperti halnya peregangan, ikatan juga bisa bergerak naik-turun (*bend*). Ikatan bisa bervibrasi naik-turun sepanjang waktu dan jika diberikan energi yang tepat pada ikatan ini maka vibrasinya akan semakin kuat. Naik turunnya suatu ikatan melibatkan sejumlah energi sehingga setiap ikatan akan menyerap energi pada frekuensi yang berbeda-beda dari radiasi inframerah.



Gambar II.10 Vibrasi Pengerutan Ikatan
Sumber: Dachriyanus, 2004

2.4.2.3 Cara Menginterpretasikan Spektrum Inframerah

Identifikasi setiap absorpsi ikatan yang khas dari setiap gugus fungsi merupakan basis dari interpretasi spektrum inframerah, seperti regangan O-H memberikan pita serapan yang kuat pada daerah 3350 cm^{-1} . Beberapa daerah serapan yang khas dapat digunakan pada interpretasi awal dari spektrum inframerah. Pada tabel II.5 menunjukkan bilangan gelombang FTIR dan identifikasi jenis ikatannya.

Tabel II.5 Bilangan Gelombang FTIR dan Jenis Ikatannya

Jenis Ikatan	Tipe Getaran	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
C-H	Alkana (Regangan)	3000-2850
	-CH ₃ - (Tekukan)	1450 dan 1375
	-CH ₂ - (Tekukan)	1465
	Alkena (Regangan)	3100-3000
	Aromatik (Regangan)	3150-3050
	Alkalin (Regangan)	3300
	Aldehid	2900-2700
C-C	Alkana	Tidak terinterpretatif
C=C	Alkena	1680-1600
	Aromatik	1600 dan 1475
C≡C	Alkuna	2250-2100
C=O	Aldehid	1740-1720
	Keton	1725-1705
	Asam Karboksilat	1725-1700
	Ester	1750-1730
	Amida	1680-1630
	Anhidrida	1810 dan 1760
	Asam Klorida	1800
C-O	Alkohol, Eter, Ester, Asam Karboksilat, Anhidrida	1300-1000
O-H	Alkohol, Fenol	3650-3600
	Asam Karboksilat	3400-2400
N-H	Amina Amida (Uluran)	3500-3100
	Amina Amida (Puntiran)	1640-1550
C-N	Amina	1350-1000
C≡N	Nitril	2260-2240
X=C=Y	Alkena, Isosianat, Isotiosianat	2270-1940
N=O	Nitro (R-NO ₂)	1550 dan 1350
S-H	Merkaptan	2550

Sumber: Pavia dkk., 2009

Seperti terlihat pada data tabel II.5, ada daerah serapan yang tumpang tindih sehingga bisa meragukan dalam interpretasi data. Adapun beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam menginterpretasikan spektrum IR adalah:

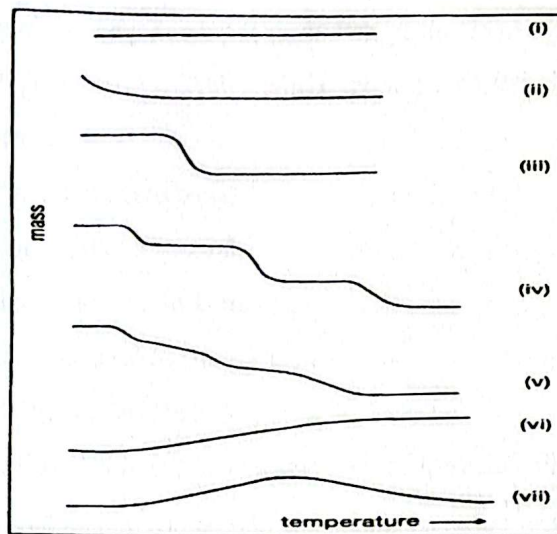
1. Spektrum harus tajam dan jelas serta memiliki intensitas yang tepat.
2. Spektrum harus berasal dari senyawa yang murni.
3. Spektrofotometer harus dikalibrasi sehingga akan menghasilkan pita atau serapan pada bilangan gelombang yang tepat.
4. Metode penyiapan sampel harus dinyatakan, jika digunakan pelarut maka jenis pelarut, konsentrasi dan tebal sel harus diketahui.

2.4.3 Karakterisasi Sifat Termal

Analisis termogravimetri adalah teknik eksperimental untuk mengukur dimana perubahan berat suatu senyawa dalam sampel diukur sebagai fungsi temperatur sampel atau sebagai fungsi waktu dalam eksperimen isothermal. Alat instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut disebut *Thermogravimetric Analysis* (TGA) (Wagner, 2018).

TGA merupakan jenis pengujian yang dilakukan pada sampel untuk menentukan perubahan berat susut (*weight loss*) dalam kaitannya dengan perubahan suhu. Analisis tersebut bergantung pada tingkat presisi yang tinggi dalam tiga pengukuran, yaitu berat, suhu, dan perubahan suhu (Sanjaya, 2012).

Hasil pengukuran analisis termogravimetri biasanya ditampilkan sebagai kurva TGA, dimana massa diplot terhadap suhu atau waktu. Representasi lain yang dapat mendukung dan saling melengkapi dari analisis termogravimetri adalah dengan menggunakan turunan pertama dari kurva TGA sehubungan dengan suhu atau waktu. Data ini menunjukkan laju perubahan massa dan dikenal sebagai kurva derivatif termogravimetri atau DTG. Kurva derivatif pada DTG dapat digunakan untuk memberitahu titik dimana berat susut paling jelas yang terjadi pada sampel. Perubahan suatu massa terjadi ketika sampel kehilangan material dan bereaksi dengan atmosfer di sekitarnya. Perubahan ini menghasilkan kurva TGA atau puncak di kurva DTG. Menurut Brown (2001) kurva TGA aktual yang diperoleh dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai tipe yang ditunjukkan pada Gambar II.11 beserta penjelasannya pada tabel II.6.



Gambar II.11 Tipe Kurva TGA
Sumber: Brown, 2001

Tabel II.6 Penjelasan Tipe Kurva TGA

Jenis Kurva	Penjelasan
Kurva 1	Jenis kurva ini sampel tidak mengalami dekomposisi dengan kehilangan massa yang mudah menguap pada kisaran suhu yang ditunjukkan. Kurva TGA ini biasanya ditunjukkan pada pengujian sampel yang tahan terhadap suatu panas dan tidak mengalami dekomposisi massa
Kurva 2	Jenis kurva ini sampel mengalami sedikit dekomposisi dengan kehilangan massa yang mudah menguap pada kisaran suhu yang ditunjukkan. Biasanya pada jenis kurva ini dilakukan pengujian ulang untuk memastikan dekomposisi massa yang terbaca pada kurva itu benar terjadi.
Kurva 3	Jenis kurva ini mewakili dekomposisi sampel dalam satu tahap. Kurva dapat digunakan untuk menentukan batas stabilitas reaktan, untuk menentukan stoikiometri reaksi, dan untuk menyelidiki kinetika reaksi
Kurva 4	Jenis kurva ini menunjukkan dekomposisi multi-tahap dengan perantara yang relatif stabil. Selain itu, batas suhu stabilitas reaktan dan zat antara dapat ditentukan dari kurva, bersama dengan stoikiometri suatu reaksi.
Kurva 5	Jenis kurva ini menunjukkan dekomposisi multi-tahap, tetapi dalam contoh ini intermediet stabil tidak terbentuk. Kurva yang dihasilkan kehilangan detail dari dekomposisi kompleks pada kurva TGA yang dihasilkan.
Kurva 6	Jenis kurva ini menunjukkan penambahan massa sebagai akibat dari reaksi sampel dengan atmosfer sekitarnya pada rentang suhu tersebut. Biasanya contoh tipikal yang dapat terjadi pada kurva ini adalah oksidasi pada suatu sampel logam.
Kurva 7	Jenis kurva ini tidak sering ditemui pada sampel saat dilakukan pengujian TGA. Pada kurva tersebut produk dari reaksi oksidasi terurai lagi pada suhu yang lebih tinggi, dan menunjukkan kurva TGA yang fluktuatif.

Sumber: Brown, 2001

2.4.3.1 Hasil Analisis yang Terdapat pada Pengujian TGA

Menurut Sanjaya (2012) hasil analisis termogravimetri dapat memberikan informasi mengenai:

- a. Stabilitas termal dari suatu bahan
- b. Stabilitas oksidatif dari suatu bahan
- c. Komposisi dari sistem multi komponen
- d. Memperkirakan daya tahan suatu bahan
- e. Kinetika penguraian dari suatu bahan
- f. Pengaruh dari kondisi reaktif atau korosif terhadap suatu bahan
- g. Kelembaban dan kandungan air dari suatu bahan

2.4.3.2 Aplikasi dan Fungsi TGA

Analisis TGA digunakan untuk mengkarakterisasi suatu material yang dapat diamati berdasarkan perubahan berat susut terhadap temperatur atau waktu. TGA dapat digunakan pada banyak industri seperti pada lingkungan, makanan, farmasi, petrokimia, dan *evolved gas analysis*. Kebanyakan pengujian TGA menggunakan sampel yang dialiri oleh gas *inert*. Hal tersebut dilakukan agar sampel hanya bereaksi terhadap suhu selama dekomposisi. Pada saat sampel dipanaskan pada atmosfer gas *inert* terjadi suatu proses yang biasanya disebut dengan pirolisis. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dari material organik dengan pemanasan saat tidak adanya oksigen atau reagen lainnya. Menurut Sanjaya (2012) aplikasi dari penggunaan TGA adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan perubahan temperatur dan berat karena adanya reaksi dekomposisi yang biasanya memungkinkan untuk menentukan analisis komposisi kuantitatif.
- b. Menentukan kelembaban, kandungan *solvent* atau *filler*.
- c. Mengetahui peristiwa reduksi atau oksidasi.
- d. Dapat digunakan untuk mengukur laju penguapan.

2.4.4 Karakterisasi Biodegradasi

Untuk mengetahui proses biodegradasi pada suatu polimer *biodegradable* maka dilakukan pengujian biodegradasi. Pengujian biodegradasi terhadap polimer

biodegradable juga dapat dilakukan pada area laut, tanah, air limbah, dan kompos. Keadaan lingkungan ini dapat mewakili lingkungan biologi yang kompleks. Mikroorganisme dalam jumlah yang besar dari spesies dan genus yang berbeda hadir pada lingkungan biologi tersebut. Menurut Chandra & Rustgi (1998) terdapat 4 jenis pengujian biodegradasi yang dapat dilihat pada tabel II.7.

Tabel II.7 Jenis Pengujian Biodegradasi

Jenis Pengujian Biodegradasi	Cara/Metode
<i>Closed bottle test</i>	Menggunakan larutan mineral <i>salt</i> dalam botol tertutup, dan mendispersikan mikroorganisme didalamnya. Sampel polimer kemudian dimasukkan dalam keadaan bubuk, dan didispersikan dengan <i>magnetic stirrer</i> . Kemudian sampel polimer dihitung hasil biodegradasinya.
<i>Petri dish screen</i>	Menggunakan jamur yang diletakkan pada cawan petri yang berisi <i>mineral salt agar</i> dan sampel biodegradasi yang ditanam.
<i>Environmental chamber method</i>	Meletakkan sampel biodegradasi pada ruang lingkungan pada kelembaban tinggi sebesar 90% untuk mendorong pertumbuhan mikroorganisme jamur.
<i>Soil burial test</i>	Mengubur sampel biodegradasi dalam tanah yang telah dikondisikan kelembaban, dan kandungannya terlebih dahulu. Kemudian dilakukan perhitungan proses biodegradasi.

Sumber: Chandra & Rustgi, 1998

2.4.4.1 Pengujian Biodegradasi *Petri Dish Screen*

Salah satu metode pengujian biodegradasi pada polimer *biodegradable* adalah menggunakan metode *petri dish screen* yang terdapat pada ASTM G21-09. Pengujian biodegradasi ini menggunakan cawan petri, mikroorganisme jamur dan *mineral salt agar* sebagai media uji biodegradasi pada sampel film biokomposit. Pengujian ini dievaluasi berdasarkan pertumbuhan mikroorganisme pada media yang digunakan. Larutan mikroorganisme yang sudah dibuat disemprotkan pada permukaan sampel dan media agar. Setelah itu, dilakukan proses inkubasi selama waktu yang ditentukan. Berat sebelum dan sesudah dilakukan pengujian dihitung untuk mengetahui tingkat biodegradasi film biokomposit setelah mengalami biodegradasi oleh mikroorganisme.

Adapun beberapa jenis mikroorganisme jamur yang dapat digunakan pada metode biodegradasi *petri dish screen* ini terdapat pada ASTM G21-09. Jenis jamur yang dapat digunakan dapat dilihat pada tabel II.8.

Tabel II.8 Jenis Jamur yang Digunakan Untuk Pengujian Biodegradasi

Jenis Jamur	Deskripsi
<i>Aspergillus Niger</i>	Jamur ini biasanya diisolasi dari tanah, sisa tumbuhan, dan udara dalam ruangan. Jamur berwarna hitam dan berbentuk bulat dapat berkembang dengan baik pada <i>potato dextrose</i> agar (PDA). Jamur ini dapat tumbuh secara optimum pada suhu 35°C.
<i>Penicillium Pinophilum</i>	Jamur ini biasanya terdapat dalam tanah dan hidup pada suhu yang dingin. Jamur berwarna biru, dan banyak ditemui pada roti yang telah kadaluarsa.
<i>Chaetomium Globosum</i>	Jamur ini biasanya terdapat pada tanaman, tanah, jerami, dan kotoran. Jamur ini tumbuh pada suhu optimum 32°C.
<i>Gliocladium Virens</i>	Jamur ini biasanya ditemukan pada tanah. Jamur ini dapat tumbuh pada suhu optimum 30°C.
<i>Aureobasidium Pullulans</i>	Jamur ini biasanya ditemukan pada tanah, air, dan udara. Jamur ini dapat tumbuh pada suhu optimum 30°C.

Sumber: ASTM G21-09

2.5 Sejarah Penelitian

Pengembangan plastik *biodegradable* berbasis pati mulai terus dikembangkan. Berbagai upaya dilakukan oleh beberapa peneliti untuk menghasilkan plastik *biodegradable* yang memiliki sifat yang dapat menandingi plastik konvensional. Adapun tujuan tersebut agar pengembangan plastik *biodegradable* dapat dikembangkan secara komersil, dan dapat digunakan oleh masyarakat luas dalam hal pemanfaatannya sebagai plastik kemasan makanan. Pati yang berfungsi sebagai matriks dari pembuatan plastik *biodegradable* dapat dikombinasikan dengan bahan pengisi/bahan penguat, yang bertujuan untuk menambah sifat dan karakteristik yang dimiliki oleh pati. Selulosa yang merupakan polimer alam pada umumnya dapat ditambahkan menjadi bahan pengisi/bahan penguat. Berbagai jenis pati telah diteliti sebelumnya, seperti pati jagung (Li dkk., 2018), pati kentang (Hietala dkk., 2013) dan pati sagu (Sariffuddin dkk., 2012). Sementara itu, untuk bahan penguat/pengisi yang telah digunakan oleh beberapa peneliti sebelumnya, seperti nanoselulosa (Ghanbari dkk., 2018), serat kenaf (Sariffuddin dkk., 2012), selulosa bakteri dan serat pisang (Hermansyah dkk., 2014). Pada uraian tersebut diketahui

terdapat perkembangan terkini dari penelitian sebelumnya, tentang penambahan selulosa pada matriks pati untuk pembuatan plastik *biodegradable*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarifuddin dkk. pada tahun 2010 membuat biokomposit berbahan dasar pati sagu, dengan pemlastis gliserol. Setelah pati terplastisasi kemudian ditambahkan serat kenaf. Variasi serat kenaf yang digunakan adalah 0%; 5%; 10%; 20%; 30% dan 35%. Metode kerja yang digunakan adalah menggunakan metode *rheomix*. Prinsip kerja metode tersebut adalah untuk mencampurkan seluruh material dengan menggunakan pemanasan dengan hasil berupa bongkahan. Setelah sampel dibuat maka dilakukan karakterisasi dengan menggunakan alat UTM, TGA, SEM dan FTIR. Hasil karakterisasi sifat termal dengan menggunakan TGA menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat meningkatkan nilai stabilitas termal. Dalam hal ini, stabilitas termal semakin meningkat seiring dengan penambahan selulosa. Adapun peningkatan hasil stabilitas termal tersebut dikorelasikan dengan pengujian FTIR. Hasil pengujian FTIR menunjukkan bahwa terdapat peningkatan ikatan hidrogen setelah pati ditambahkan selulosa pada gugus fungsi O-H. Pada penelitian tersebut diketahui jika kedua polimer antara pati dan selulosa bersifat kompatibel sehingga dapat meningkatkan ikatan hidrogen, dan stabilitas termal.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hermansyah dkk. pada tahun 2014 membuat biokomposit berbahan dasar pati jagung, dengan pemlastis gliserol. Setelah pati terplastisasi kemudian ditambahkan selulosa bakteri dan serat pisang. Variasi selulosa/serat yang digunakan adalah 0%; 5%; 10%; 15% dan 20%. Metode kerja yang digunakan adalah menggunakan metode *solvent casting*. Metode tersebut menggunakan pelarut air untuk mencampurkan seluruh material. Adapun setelah sampel dibuat karakterisasi yang dilakukan terhadap sampel adalah dengan menggunakan alat XRD, UTM, dan Biodegradasi. Hasil karakterisasi biodegradasi menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat memperlambat proses biodegradasi yang diakibatkan oleh tingginya kristalinitas yang dimiliki oleh selulosa. Penyebab tingginya kristalinitas selulosa diidentifikasi dengan pengujian kristalinitas menggunakan XRD. Akibatnya, selulosa memperlambat proses biodegradasi biokomposit pati dengan selulosa. Pernyataan tersebut juga didukung

oleh Babae dkk. yang melakukan penelitian biokomposit pati/selulosa pada tahun 2015 dimana hasil penelitian yang didapat juga memiliki kesamaan. Analisis yang dilakukan oleh Babae dkk. adalah selulosa dapat menghambat enzim pendegradasi selama sampel dikubur dalam sebuah media seperti tanah, air, udara, mikroorganisme dan lingkungan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Li dkk. pada tahun 2018 membuat biokomposit berbahan dasar pati jagung, dengan pemlastis gliserol. Setelah pati terplastisasi kemudian ditambahkan nanoselulosa. Variasi selulosa yang digunakan adalah 0%; 5%; 10%; 15% dan 20%. Metode kerja yang digunakan adalah menggunakan metode *solvent casting*. Metode tersebut menggunakan pelarut air untuk mencampurkan seluruh material. Adapun setelah sampel dibuat karakterisasi yang dilakukan terhadap sampel adalah dengan menggunakan alat XRD, DSC, UTM, *Contact Angle*, dan WVPR. Hasil karakterisasi sifat mekanis menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Dalam hal ini, nilai kekuatan tarik optimum adalah setelah dilakukan penambahan selulosa sebesar 15% dari berat total. Adapun penurunan nilai kekuatan tarik terjadi pada sampel dengan penambahan selulosa sebanyak 20%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penambahan selulosa yang semakin banyak tidak sepenuhnya dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Pengaruh ini terjadi karena penambahan selulosa dapat mengakibatkan agregat pada sampel sehingga nilai kekuatan tarik menurun.

Rangkaian penelitian yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya mengindikasikan adanya upaya pengembangan plastik *biodegradable*, dengan mencampurkannya dengan berbagai bahan. Selain itu, berbagai metode pembuatan juga mulai dikembangkan. Pada dasarnya berbagai inovasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Dengan itu, diharapkan akan terciptanya komposisi bahan yang tepat untuk memproduksi plastik ini agar bisa dikomersialkan seperti plastik konvensional.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari s.d Juli 2019. Proses pembuatan film biokomposit dilakukan di Laboratorium Polimer, dan Pengujian Biodegradasi dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi dan Lingkungan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Kimia, Kawasan PUSPIPTEK, Muncul, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten. Sesudah itu, untuk proses karakterisasi film biokomposit dilakukan di beberapa tempat, di antaranya adalah:

1. Karakterisasi Gugus Fungsi, Sifat Termal, dan Biodegradasi dilakukan di Pusat Penelitian Kimia LIPI PUSPIPTEK, Serpong.
2. Karakterisasi Sifat Mekanis dilakukan di Pusat Penelitian Biomaterial LIPI Cibinong, Bogor.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel III.1 Alat Penelitian

Daftar Alat	
<i>Hotplate Stirrer</i>	<i>Laminar Air Flow</i>
Oven	<i>Autoclave</i>
Neraca Analitik	<i>Hotplate Stirrer</i>
Botol Sampel	Labu Erlenmeyer
<i>Aluminium Foil</i>	<i>Incubator</i>
Gelas Ukur	Tabung Reaksi
<i>Beaker Glass</i>	Jarum Ose
Spatula	<i>Shaker Lab</i>
Termometer	Mikropipet <i>Eppendorf</i>
Cawan Petri	Desikator
Pinset	Lampu Spiritus

3.2.2 Alat Karakterisasi Film Biokomposit

Pada proses pembuatan film biokomposit selain dilakukan proses karakterisasi uji biodegradasi juga dilakukan karakterisasi lainnya. Pada tabel III.2 menunjukkan alat proses karakterisasi gugus fungsi, sifat mekanis, ukuran partikel dan sifat termal yang dilakukan pada penelitian ini.

Tabel III.2 Alat Proses Karakterisasi

Alat	Tipe
<i>Fourier Transform Infrared</i>	Shimadzu Prestige I21
<i>Thermogravimetric Analysis</i>	STA Linseis PT 1600
<i>Universal Testing Machine</i>	Shimadzu Tipe V
<i>Cutting Machine</i>	Elastocon AB
<i>Particle Size Analyzer</i>	Horiba LA-960

3.2.3 Bahan Penelitian

3.2.3.1 Bahan Proses Pembuatan Film Biokomposit

Adapun Bahan-bahan yang digunakan dalam proses pembuatan film biokomposit ini dapat dilihat pada tabel III.3.

Tabel III.3 Bahan Penelitian

Bahan	Keterangan
Pati termoplastik	Telah terplastisasi oleh gliserol
Selulosa	Berukuran 125 mikrometer
<i>Aquadest</i>	-

3.2.3.2 Bahan Untuk Proses Karakterisasi Biodegradasi

Bahan yang digunakan untuk proses pengujian biodegradasi terdiri dari 3, yaitu bahan untuk pembuatan media agar, bahan jamur, dan bahan tambahan lainnya.

A. Bahan Pembuatan Media Agar:

- Air Steril : 2 Liter
- *Potato Dextrose Agar* (PDA) : 30 gram
- Ammonium Nitrat (NH_4NO_3) : 2 gram
- Potasium dihidrogen Fosfat (KH_2PO_4) : 1,4 gram

- Dipotasium Hidrogen Fosfat (K_2HPO_4) : 1,4 gram
- Magnesium Sulfat ($MgSO_4$) : 1,4 gram
- Natrium Klorida ($NaCl$) : 0,01 gram
- Besi Sulfat ($FeSO_4$) : 0,004 gram
- Seng Sulfat ($ZnSO_4$) : 0,004 gram
- Mangan Sulfat ($MnSO_4$) : 0,002 gram

B. Bahan Jamur

- *Aspergillus Niger*

C. Bahan Tambahan Lainnya

- Etanol 70%
- Spiritus

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap dalam penelitian ini sebagai berikut:

- Berat total bahan baku film biokomposit : 2 gram
- Waktu melarutkan pati termoplastik : 60 menit
- Waktu pencampuran pati termoplastik-selulosa : 60 menit
- Volume Air : 20 ml

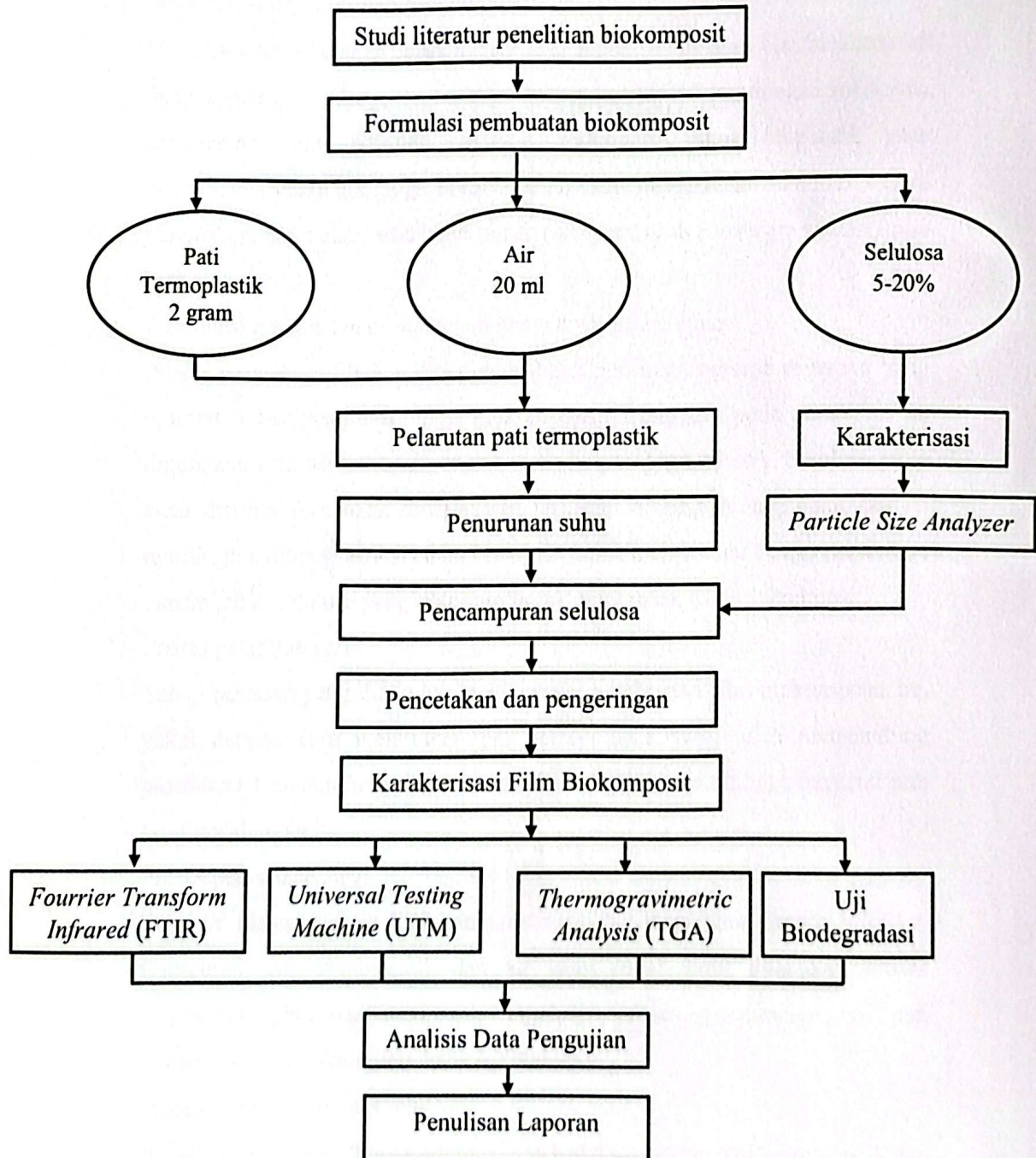
3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan pada tiap penelitian agar didapat hasil yang diinginkan. Variabel bebas memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain.

Tabel III.4 Berat Sampel Uji Penelitian

Sampel	Berat Pati (gram)	Berat Selulosa (gram)
TPS/Selulosa 0%	2	0
TPS/Selulosa 5%	1,9	0,1
TPS/Selulosa 10%	1,8	0,2
TPS/Selulosa 15%	1,7	0,3
TPS/Selulosa 20%	1,6	0,4

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

A Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dalam gambar III.1 menjelaskan tentang:

1. Studi literatur pembuatan biokomposit

Studi literatur dilakukan untuk mengetahui proses pembuatan film biokomposit dengan mempertimbangkan berbagai parameter seperti kandungan jenis pati, ketersediaan, dan dampak terhadap lingkungan untuk bioplastik yang dihasilkan. Selain itu, juga untuk menentukan penggunaan material seperti *plasticizer*, dan bahan aditif lain untuk mempermudah proses pembuatan film biokomposit.

2. Formulasi pembuatan biokomposit dengan variasi selulosa.

Proses perhitungan bahan diperlukan untuk perkiraan persentase bahan yang optimal untuk pembuatan film biokomposit. Selain itu, pada penelitian ini digunakan selulosa sebagai penguat matriks pati termoplastik. Selulosa yang akan ditambahkan akan divariasikan terhadap masing-masing berat sampel matriks pati termoplastik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa persentase penambahan selulosa yang optimum untuk pembuatan film biokomposit.

3. Proses pelarutan pati

Tahap pertama yang dilakukan pada proses pembuatan film biokomposit ini, yakni dengan cara melarutkan pati termoplastik yang telah mengandung *plasticizer* kedalam larutan air dan dilakukan pemanasan hingga material pati larut kedalam air.

4. Proses penurunan suhu

Sebelum material akan ditambahkan dengan bahan penguat berupa selulosa. Campuran pati termoplastik dan air yang sudah larut dilakukan proses penurunan suhu, dan mencegah terjadinya proses gelembung pada pati termoplastik saat akan ditambahkan selulosa.

5. Proses penambahan alfa selulosa

Bahan penguat alfa selulosa ditambahkan kedalam larutan pati termoplastik dan diproses hingga bahan penguat terdispersi secara merata kedalam larutan. Alfa selulosa sebelumnya sudah dikarakterisasi ukuran partikelnya dengan PSA, dan dihasilkan ukuran partikel sebesar 125 mikrometer.

6. Proses pencetakan dan pengeringan dalam oven

Larutan pati termoplastik yang telah diberi bahan penguat selulosa dituang kedalam cawan petri kecil dan didiamkan sebentar dalam suhu kamar. Permukaan cawan ditutup oleh *aluminium foil* dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50-60°C

7. Proses karakterisasi film biokomposit

Film biokomposit yang sudah dibuat dilakukan proses karakterisasi. Adapun proses karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah karakterisasi sifat mekanis, biodegradasi, gugus fungsi dan sifat termal.

3.5 Prosedur Penelitian Pembuatan Film Biokomposit

Prosedur penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.5.1 Proses Pembuatan Film Biokomposit

Proses pembuatan film biokomposit dibagi kedalam beberapa tahap, yaitu:

A. Proses Penimbangan Bahan

Film biokomposit yang akan dibuat pada penelitian ini menggunakan bahan pati yang sudah mengandung *plasticizer* dan berbentuk pelet. Total massa yang diperlukan untuk pembuatan film biokomposit adalah sebanyak 2 gram. Selain itu, bahan lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah alfa selulosa yang berfungsi sebagai bahan penguat. Tabel III.5 menunjukkan berat bahan baku yang akan digunakan pada penelitian ini.

Tabel III.5 Berat Bahan Baku Penelitian

Sampel	Total massa bioplastik (g)	Persentase pati (%)	Persentase selulosa (%)	Berat pati (g)	Berat selulosa (g)
TPS/Selulosa 0%	2	100%	0%	2	0
TPS/ Selulosa 5%	2	95%	5%	1,9	0,1
TPS/Selulosa 10%	2	90%	10%	1,8	0,2
TPS/Selulosa 15%	2	85%	15%	1,7	0,3
TPS/Selulosa 20%	2	80%	20%	1,6	0,4

B. Proses Pelarutan Pati Termoplastik

Setelah masing masing sampel ditimbang langkah selanjutnya adalah proses pelarutan pati dengan air. Film biokomposit dengan total massa 2 gram dilarutkan kedalam air sebanyak 20 ml. Proses pelarutan pati ini dilakukan pada *hotplate*

stirrer dengan suhu sekitar 80-90°C. Adapun waktu yang diperlukan pada proses pelarutan ini berlangsung selama 60 menit.

C. Proses Penurunan Suhu

Sebelum alfa selulosa ditambahkan kedalam larutan pati. Langkah selanjutnya adalah proses penurunan suhu hingga 60°C. Tujuan dari penurunan suhu ini adalah untuk menghilangkan gelembung yang terdapat pada permukaan *beaker glass* pada saat proses pelarutan pati yang dilakukan pada suhu yang cukup tinggi.

D. Proses Penambahan dan Pencampuran dengan Alfa Selulosa

Alfa selulosa yang ditambahkan berada dalam keadaan bubuk. Material ini juga tidak larut dalam air sehingga pada proses penambahan material ini alfa selulosa tidak dilarutkan kedalam pelarut terlebih dahulu. Akan tetapi, ditambahkan secara langsung kedalam campuran secara perlahan hingga alfa selulosa tersebar dan tercampur dengan pati termoplastik. Lama proses pencampuran antara pati dan alfa selulosa adalah selama kurang lebih 60 menit dan dilakukan pada suhu 80°C.

E. Proses Pencetakan Film Biokomposit

Film Biokomposit yang sudah dilakukan proses *stirring* akan dicetak pada cawan petri berukuran diameter 10×10 cm. Setelah sampel biokomposit dituang. Langkah selanjutnya adalah proses pendiaman film biokomposit pada suhu kamar sebelum dilakukan proses pengeringan film biokomposit.

F. Proses Pengeringan dalam Oven

Film Biokomposit yang telah dicetak kemudian dimasukkan kedalam oven pada suhu 50-60°C. Permukaan cawan petri ditutupi oleh *aluminium foil* dan diberi lubang untuk sirkulasi udara sampel film biokomposit selama proses pengeringan dalam oven. Proses pengeringan film biokomposit berlangsung selama 1 hari.

G. Proses Pelepasan Film Biokomposit dalam Cetakan

Film biokomposit yang sudah dikeringkan dalam oven, kemudian dikeluarkan dan dilepaskan pada cawan petri menggunakan spatula. Sampel film biokomposit yang sudah jadi kemudian dimasukkan kedalam plastik klip.

3.6 Karakterisasi Penelitian

Setelah dibuatkan spesimen langkah selanjutnya adalah karakterisasi dari hasil penelitian masing-masing sampel. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui hasil spesimen film biokomposit yang dihasilkan. Adapun karakterisasi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

3.6.1 Karakterisasi Sifat Mekanis

Sifat mekanis yang akan diuji adalah *tensile strength* (kekuatan tarik), dan *elongation at break* (perpanjangan putus). Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D882 menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Prosedur persiapan karakterisasi ini adalah:

1. Mengkondisikan bahan sesuai dengan suhu dan RH (*Relative Humidity*)
2. Menyiapkan film biokomposit yang akan dipotong
3. Memotong film biokomposit menggunakan mesin pemotong spesimen *dumbell*
4. Dilakukan proses pengujian menggunakan alat *universal testing machine*

3.6.2 Karakterisasi Gugus Fungsi

Sifat kimia berupa gugus fungsi yang dihasilkan pada sampel film biokomposit dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR. Karakterisasi ini akan mendeteksi gugus fungsi melalui spektrum bilangan gelombang yang dihasilkan pada FTIR.

3.6.3 Karakterisasi Sifat Termal

Sifat termal berupa temperatur degradasi dari masing-masing sampel dianalisis menggunakan TGA. Selain itu, persentase massa yang hilang selama dilakukan pengujian termal ini juga dapat diketahui melalui proses karakterisasi ini.

3.6.3.1 Prosedur Pengerjaan pada *Thermogravimetric Analysis* (TGA)

Tahapan pengujian termal TGA yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan alat STA Linseis PT 1600 adalah:

1. Menyalakan alat *power supply* dan pemutar air. Adanya sirkulasi air ditandai dengan lampu hijau.
2. Menyalakan alat STA Linseis PT 1600, tanpa menyalakan komputer terlebih dahulu.
3. Mengatur kecepatan suhu pemanasan, yaitu 10°C/menit.

4. Menaikkan *furnace* dan memasang krus kosong untuk TG.
5. Mengatur timbangan pada alat.
6. Menyalakan komputer dan membuka program STA pada *desktop* dan pada layar TG menunjukkan nilai 23 mg (total massa krus).
7. Menimbang sampel 20-25 mg dan memasukkannya ke dalam krus kemudian memasangnya pada sensor.
8. Melakukan *setting* program STA, klik *acquisition/type*: pilih TG.
9. Mengatur identitas, berat sampel, temperatur, waktu *running*, dan *zero line*.
10. Mengatur suhu, pada *temperature profile*: isi *speed* 20 deg/min dan maksimum temperatur.
11. Menekan *actual value*, memasukkan *speed* dan maksimum temperatur.
12. Menekan *option/set-up scale*, menekan *automatic zero* dan membiarkan timbangan nol.
13. Menekan *start* (*running* sampel), selama proses pengukuran meminimalisir getaran karena alat sangat sensitif.

3.6.4 Karakterisasi Biodegradasi

Karakterisasi Biodegradasi dilakukan dengan menggunakan metode ASTM G21-09. Pengujian biodegradasi ini dilakukan untuk mengetahui seberapa lama sampel terurai oleh mikroorganisme berupa jamur dalam media agar. Film biokomposit yang dibuat dipotong 2×2 cm sebanyak 2 sampel untuk tiap masing-masing variasi sampel ketika akan dilakukan pengujian.

3.6.4.1 Prosedur Kerja Karakterisasi Uji Biodegradasi

Adapun prosedur kerja dari karakterisasi uji biodegradasi ini adalah:

A. Pembuatan Media Agar

1. Menyiapkan bahan-bahan untuk pembuatan agar dan ditimbang sesuai dengan ASTM G21-09. Total volume larutan yang akan dibuat adalah sebanyak 2 liter. Adapun 250 ml liter larutan agar dibuat untuk proses pembiakan jamur, sementara sisanya digunakan untuk penanaman sampel pada media agar yang telah diberi jamur

2. Setelah bahan ditimbang, dilakukan proses pelarutan menggunakan labu erlenmeyer. Pertama-tama bahan mineral terlebih dahulu dilarutkan, dan kemudian ditambahkan agar. Adapun lama proses pelarutan bahan mineral adalah 30 menit, dan proses pelarutan bahan mineral dengan agar adalah 5 jam. Larutan di panaskan pada suhu 130°C pada *hotplate stirrer* hingga larutan menjadi homogen.
3. Larutan agar yang telah dilarutkan dilakukan UV agar steril, lalu disimpan pada *laminar* selama 1 hari untuk memastikan agar yang dibuat telah beku.
4. Setelah agar yang disimpan beku maka dilakukan pemanasan kembali untuk menuangkan media agar pada tabung reaksi untuk proses pembiakan jamur induk. Pemanasan agar yang beku bisa dilakukan pada *hotplate stirrer*, oven, ataupun menggunakan *autoclave*.
5. Jamur induk yang sudah disiapkan harus dikembangbiakkan kembali jika sudah lebih dari seminggu jamur disimpan.

B Pembiakan Jamur dan Inkubasi Jamur

1. Larutan agar sebanyak 250 ml disiapkan, dan dituang pada tabung reaksi. larutan dituang hingga mencapai setengah dari tinggi tabung reaksi.
2. Setelah dituang, tabung reaksi yang telah diberi agar kemudian dilakukan proses sterilisasi pada *autoclave* selama 90 menit pada suhu 121°C.
3. Setelah tabung reaksi yang berisi agar steril, kemudian agar dalam tabung reaksi didiamkan pada *laminar*, dan disusun pada media miring. Proses dilakukan hingga agar membeku pada permukaan tabung reaksi dan sambil dilakukan proses UV pada *laminar*.
4. Media agar yang telah membeku kemudian dimasukkan jamur. Jamur diambil menggunakan jarum ose dan digoreskan pada media agar secara zig-zag dalam tabung reaksi.
5. Setelah agar dalam tabung reaksi telah berisi jamur, maka langkah selanjutnya adalah penyimpanan pada inkubator atau oven untuk proses pembiakan jamur. Proses ini berlangsung selama 7 hari dan temperatur yang digunakan untuk proses inkubasi jamur adalah 32°C.

C. Proses Penanaman Sampel dalam Media Agar dengan Jamur

1. Setelah jamur diinkubasi selama 7 hari. Sisa dari larutan agar sebanyak 2 liter, digunakan sebagai media penanaman sampel yang diletakkan pada cawan petri kecil.
2. Larutan agar pada labu erlenmeyer terlebih dahulu disterilisasi pada *autoclave*, kemudian disimpan pada *laminar*.
3. Cawan petri disusun, lalu disiapkan larutan agar yang sudah dibuat, kemudian agar dituang ke dalam cawan petri menggunakan tabung reaksi. hingga mencapai setengah dari volume cawan petri.
4. Setelah itu larutan agar yang telah dituang pada cawan petri, kemudian didiamkan hingga membeku.
5. Setelah membeku maka langkah selanjutnya adalah proses penanaman sampel.
6. Jamur yang telah dikembangbiakkan dilakukan proses pelarutan pada media air menggunakan alat *shaker*. Jamur ini diambil pada permukaan tabung reaksi menggunakan jarum ose, dan diletakkan ke dalam erlenmeyer berisi air steril.
7. Proses pengambilan jamur terus dilakukan hingga larutan jamur pada erlenmeyer menjadi keruh dan berwarna hitam.
8. Setelah pelarutan jamur selesai. Sampel film biokomposit yang sebelumnya sudah disiapkan ditanam pada media agar, kemudian disemprotkan larutan jamur menggunakan mikropipet *eppendorf*. Proses penyemprotan larutan jamur dilakukan, hingga jamur mengenai seluruh permukaan agar dan sampel.
9. Sampel film biokomposit ditutup menggunakan penutup cawan petri dan dililiti oleh *parafilm* hingga rapat. Setelah itu permukaan cawan petri yang telah tertutup dibungkus menggunakan kertas, lalu dilakukan proses inkubasi dalam oven pada suhu 32°C selama 30 hari.

D. Proses Pelepasan Sampel Film Biokomposit Setelah 30 Hari

1. Sampel film biokomposit dikeluarkan dari oven, kemudian dilakukan sterilisasi menggunakan UV pada *laminar*.
2. Setelah di UV sampel film biokomposit dicuci dengan larutan etanol 70% dan dibersihkan jamur-jamur yang menempel pada permukaan film biokomposit yang dihasilkan.

3. Sampel film biokomposit yang telah dibersihkan, kemudian dilakukan proses pengeringan dalam oven kembali selama 1 hari pada suhu 40°C.
4. Selanjutnya sampel film biokomposit yang telah dikeringkan dalam oven dimasukkan kedalam desikator. Sampel distabilkan beratnya dari uap air selama proses pengeringan.
5. Setelah di desikator sampel kemudian ditimbang pada neraca analitik dan dicatat berat akhir yang dihasilkan pada timbangan.

3.7 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengelola data mentah yang diperoleh dari hasil karakterisasi. Setelah itu, data tersebut diolah menggunakan Ms. Excel, dan software pendukung lainnya. Salah satu, analisis data pada penelitian ini terdapat pada karakterisasi biodegradasi. Teknik analisis data untuk karakterisasi biodegradasi bertujuan untuk menghitung fraksi berat yang hilang (%) dan menghitung berat residu (%). Adapun untuk menghitung nilai tersebut adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ berat yang hilang} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 3.1})$$

$$\% \text{ berat residu} = 100\% - \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (\text{Persamaan 3.2})$$

Keterangan:

W_1 = Berat sampel sebelum ditanam dalam media agar (g)

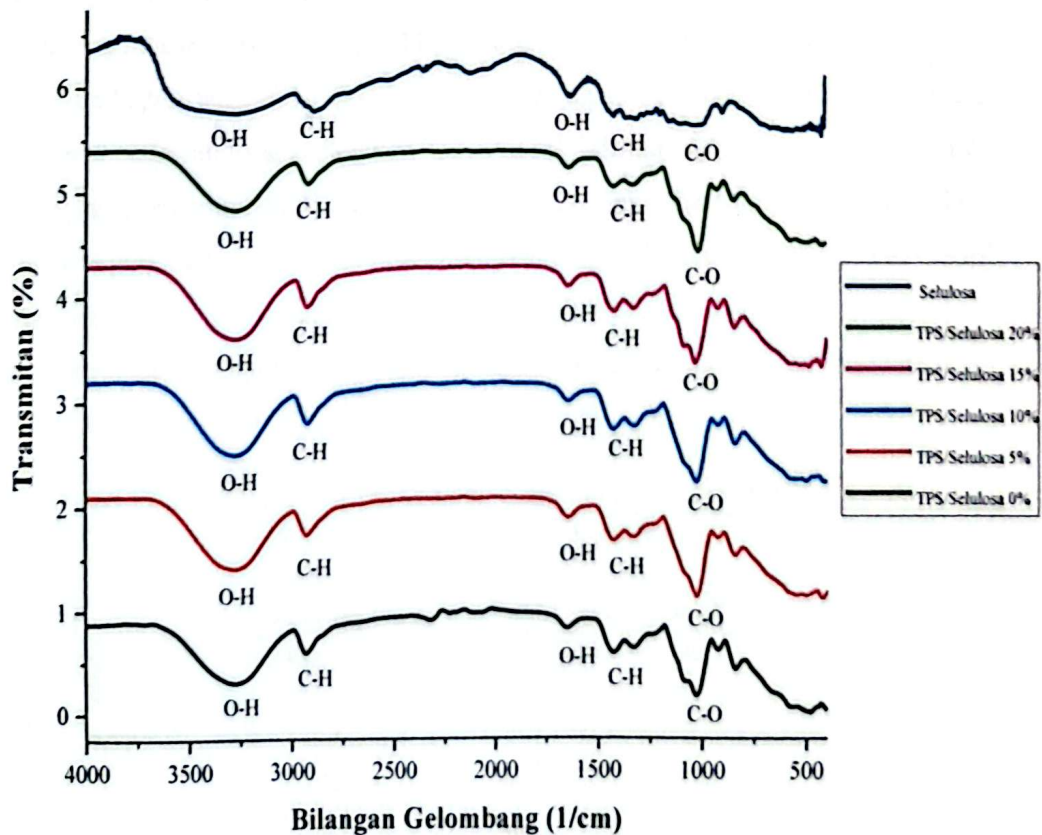
W_2 = Berat sampel setelah ditanam dalam media agar (g)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi

Untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk pada sampel maka digunakan alat FTIR. FTIR bertujuan untuk mengamati interaksi molekul yang terjadi pada sampel yang akan diuji. Data yang didapatkan pada FTIR ini merupakan gelombang inframerah dimana rentang bilangan gelombang yang dihasilkan berada pada rentang $4.000-200\text{ cm}^{-1}$. Karakterisasi gugus fungsi ini dilakukan terhadap 6 sampel di antaranya adalah sampel selulosa kontrol, blangko film pati termoplastik, dan 4 sampel film biokomposit pati termoplastik yang telah ditambahkan variasi selulosa. Gambar IV.1 menunjukkan hasil karakterisasi gugus fungsi keseluruhan sampel.



Gambar IV.1 Spektrum FTIR Keseluruhan Sampel

4.1.1 Karakterisasi Gugus Fungsi Sampel Selulosa

Identifikasi gugus fungsi pada selulosa ini akan dibandingkan berdasarkan penelitian yang dilakukan menurut Hospodarova dkk. (2018). Pada gambar IV.1 hasil spektrum FTIR selulosa kontrol menunjukkan terdapat gugus fungsi O-H, C-H, dan C-O. Beberapa puncak tajam yang terlihat pada grafik FTIR akan diidentifikasi kandungan senyawanya. Puncak yang diamati dalam kisaran bilangan gelombang 3660-2900 cm^{-1} adalah karakteristik untuk peregangan getaran ikatan O-H dan C-H dalam polisakarida. Puncak pada bilangan gelombang 3286,70 cm^{-1} mengindikasikan regangan ikatan kimia O-H dan puncak ini termasuk juga dalam getaran ikatan hidrogen antar dan intra-molekul dalam molekul selulosa. Puncak bilangan gelombang 2891,31 cm^{-1} mengindikasikan regangan ikatan kimia C-H (Hospodarova dkk., 2018).

Pita khas yang ditunjukkan untuk selulosa dapat diamati pada rentang bilangan gelombang 1630-900 cm^{-1} . Menurut penelitian tersebut puncak yang terletak pada 1641,42 cm^{-1} sesuai dengan getaran molekul air O-H *bending* yang diserap dalam selulosa. Pita serapan pada 1433,11 cm^{-1} merupakan tekukan ikatan kimia C-H dari CH_2 . Pada pita serapan 1433,11 cm^{-1} dikaitkan dengan jumlah struktur kristal yang terdapat pada selulosa, sedangkan pada Puncak bilangan gelombang 1014,56 cm^{-1} mengindikasikan terjadinya vibrasi regangan C-O *stretching* pada selulosa. Selain itu pada puncak serapan 898,83 cm^{-1} dikaitkan dengan jumlah struktur daerah amorf yang terdapat pada selulosa (Hospodarova dkk., 2018). Pada tabel IV.1 menunjukkan bilangan gelombang pada sampel selulosa kontrol beserta identifikasi jenis ikatannya.

Tabel IV.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi FTIR Sampel Selulosa

Bilangan Gelombang yang dihasilkan (cm^{-1})	Jenis Ikatan
3286,70	O-H <i>Stretching</i>
2891,31	C-H <i>Stretching</i>
1641,42	O-H <i>Bending</i>
1433,11	C-H <i>Bending</i>
1014,56	C-O <i>Stretching</i>

4.1.2 Karakterisasi Gugus Fungsi Sampel TPS/Selulosa 0%

Pada gambar IV.1 dapat dilihat bahwa hasil karakterisasi gugus fungsi pada sampel pati termoplastik kontrol menghasilkan gugus fungsi. O-H, C-H, dan C-O. Pada spektrum IR yang dihasilkan pada sampel terlihat beberapa puncak yang akan diidentifikasi kandungan senyawanya. Menurut Niazi & Broekhuis, (2015) pada bilangan gelombang 3275 cm^{-1} terdapat kandungan gugus fungsi O-H *stretching* yang teridentifikasi pada sampel. Hal ini dapat diketahui dari puncak yang cukup tajam, dan lebar yang terlihat pada spektrum FTIR. Selain itu pada bilangan gelombang $2927,94\text{ cm}^{-1}$ juga terdapat puncak yang menunjukkan adanya gugus fungsi CH *stretching*, identifikasi nilai spektrum tersebut mendekati identifikasi gugus fungsi dari penelitian yang dilakukan oleh Niazi & Broekhuis (2015) yang berada pada rentang $2922\text{-}2.921\text{ cm}^{-1}$. Pada bilangan gelombang $1651,07\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi mengandung gugus fungsi O-H *bending*. Pada bilangan gelombang $1427,32\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi mengandung gugus fungsi C-H *bending* dari CH_2 dimana nilai identifikasi spektrum tersebut hampir mendekati identifikasi gugus fungsi dari penelitian yang dilakukan oleh Niazi & Broekhuis (2015) yang berada pada rentang $1421\text{-}1361\text{ cm}^{-1}$, pada bilangan gelombang $1026,13\text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi mengandung gugus fungsi C-O *stretching* yang ditandai dengan puncak yang tajam.

Berdasarkan spektrum FTIR pada penelitian yang dilakukan oleh Niazi & Broekhuis (2015) untuk identifikasi gugus fungsi C-O *stretching* nilai spektrum FTIR tersebut hampir mendekati, dimana nilai pada penelitiannya berada pada kisaran rentang $1019\text{-}1017\text{ cm}^{-1}$. Adapun bilangan gelombang yang dihasilkan pada grafik FTIR sampel pati termoplastik I dan identifikasi jenis ikatannya dapat dilihat pada tabel IV.2.

Tabel IV.2 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi Sampel TPS/Selulosa 0%

Bilangan Gelombang yang dihasilkan (cm^{-1})	Jenis Ikatan
3275,13	O-H <i>Stretching</i>
2927,94	C-H <i>Stretching</i>
1651,07	O-H <i>Bending</i>
1427,32	C-H <i>Bending</i>
1026,13	C-O <i>Stretching</i>

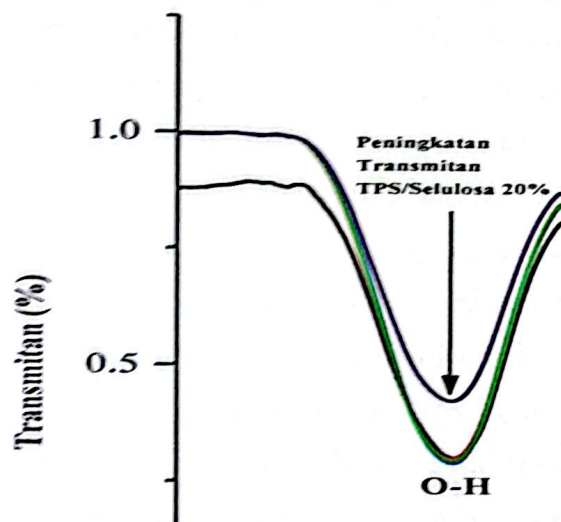
4.1.3 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Gugus Fungsi Film Biokomposit

Spektrum FTIR film biokomposit dengan variasi selulosa dianalisis untuk mengkarakterisasi ikatan kimia antara pati, dan selulosa. Puncak utama yang terdeteksi dalam spektrum film biokomposit pati termoplastik merupakan gugus fungsi dari komponen-komponen penyusunnya yakni pati termoplastik, dan alfa selulosa. Namun, terdapat pergeseran pada posisi pita serapan dan nilai transmittan pada film biokomposit yang dihasilkan. Diketahui bahwa jika dua polimer penyusun film biokomposit bersifat kompatibel satu sama lain, interaksi ikatan hidrogen, dan interaksi dipolar akan teramati diantara rantai polimer dan yang lainnya, dan mengakibatkan spektrum inframerah komponen polimer penyusunnya berubah (Sarifuddin dkk., 2012).

Spektrum FTIR film biokomposit dengan variasi selulosa pada penelitian ini akan dianalisis apakah terjadi perubahan nilai transmittan, pergeseran pita serapan, dan adanya gugus fungsi baru. Gambar IV.1 menunjukkan spektrum FTIR sampel film biokomposit dengan variasi konsentrasi selulosa.

Hasil spektrum FTIR menunjukkan terdapat gugus fungsi C-H, O-H, dan C-O. Pada kelima sampel ketika dilakukan proses pengujian. Karakteristik gugus fungsi yang dihasilkan pada grafik ini tampak tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan sampel film pati termoplastik kontrol. Penentuan gugus fungsi ini dilihat dari puncak yang dapat dilihat pada grafik FTIR dimana nilai bilangan gelombang yang dihasilkan pada spektrum FTIR dianalisis dengan melihat tabel bilangan gelombang FTIR dari beberapa buku dan literatur FTIR. Puncak gelombang pertama yang dihasilkan pada grafik FTIR yang berada pada rentang bilangan gelombang $3280,92-3277,06 \text{ cm}^{-1}$ teridentifikasi terdapatnya gugus fungsi OH-*Stretching* pada grafik FTIR. Pada kondisi ini spektrum FTIR pada keempat sampel sama-sama memberikan gugus fungsi O-H akan tetapi sampel dengan kode TPS/Selulosa 20% memiliki nilai transmittan yang lebih tinggi dibandingkan dengan keempat sampel lainnya. Menurut Sarifuddin dkk. (2012) terdapatnya perilaku peningkatan hidrogen dapat diidentifikasi pada gugus fungsi O-H

Stretching, jika setelah penambahan selulosa terdapat perubahan nilai transmittan dan memiliki rentang bilangan gelombang yang sedikit melebar, sehingga perilaku ini mungkin terjadi karena adanya pembentukan ikatan hidrogen setelah penambahan selulosa sebesar 20%. Untuk mengkonfirmasi adanya peningkatan ikatan hidrogen antar molekul, dapat diamati jika keseluruhan grafik ini digabung menjadi satu. Pada gambar IV.2 menunjukkan sampel TPS/Selulosa 20% mengalami perbedaan nilai transmittan pada masing-masing sampel lainnya.



Gambar IV.2 Perubahan Nilai Transmittan Gugus Fungsi O-H *Stretching*

Pada gambar IV.2 diketahui bahwa nilai transmittan sampel TPS/Selulosa 20% mengalami peningkatan. Akan tetapi, rentang bilangan gelombang yang dihasilkan terlihat tampak tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan sampel lainnya. Oleh sebab itu, perubahan nilai transmittan pada gugus fungsi O-H *Stretching* belum dapat sepenuhnya teridentifikasi adanya peningkatan ikatan hidrogen pada saat sampel film biokomposit ditambahkan oleh bahan penguat selulosa.

Selain itu, pada spektrum FTIR yang dihasilkan mengidentifikasi gugus fungsi C-H *stretching* pada rentang bilangan gelombang $2927,94-2926,01 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi O-H *bending* pada spektrum FTIR juga teridentifikasi pada rentang bilangan gelombang $1649,14-1651,07 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi C-H *bending* pada spektrum FTIR teridentifikasi pada rentang bilangan gelombang $1425,04-1429,25 \text{ cm}^{-1}$ yang berasal dari CH₂. Gugus fungsi C-O *stretching* pada spektrum FTIR teridentifikasi pada rentang bilangan gelombang $1014,56-1031,92 \text{ cm}^{-1}$. Masing-masing gugus

fungsi yang telah diidentifikasi juga terdapat pergeseran pita serapan yang dihasilkan pada spektrum FTIR. Untuk melihat pergeseran pita serapan dapat dilihat pada grafik yang disatukan/digabung. Grafik penggabungan masing-masing sampel film biokomposit ini dapat dilihat pada lampiran G.

Penambahan alfa selulosa sebagai penguat matriks film biokomposit pati termoplastik bertujuan untuk memodifikasi sifat pati agar menjadi lebih baik dan untuk mengetahui adanya gugus fungsi baru. Namun, dari hasil spektrum grafik FTIR panjang gelombang yang terbaca tidak menunjukkan adanya gugus fungsi baru yang terbentuk. Gugus fungsi baru yang tidak terbentuk ini menandakan amilosa dan amilopektin yang menjadi penyusun molekul pati dan molekul penyusun selulosa sama-sama terdiri dari molekul glukosa. Pada amilosa yang bersifat linear, monomer-monomer glukosa dihubungkan oleh ikatan α (1-4), dan amilopektin α (1-6), sementara pada selulosa dihubungkan oleh ikatan β (1-4).

Spektrum FTIR film biokomposit pati termoplastik dengan penambahan alfa selulosa yang dihasilkan pada grafik menunjukkan kemiripan dengan spektrum FTIR dari komponen-komponen penyusunnya, yakni pati termoplastik dan alfa selulosa. Dengan kata lain, proses pembuatan film biokomposit ini merupakan proses pencampuran yang terjadi secara fisika.

Pada tabel IV.3 menunjukkan bilangan gelombang dan gugus fungsi pada grafik FTIR sampel dengan variasi selulosa yang telah dilakukan identifikasi ikatan kimia dan gugus fungsinya.

Tabel IV.3 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi pada Grafik FTIR Sampel dengan Variasi Selulosa

Bilangan gelombang TPS Selulosa 5% (cm^{-1})	Bilangan gelombang TPS/Selulosa 10% (cm^{-1})	Bilangan gelombang TPS/Selulosa 15% (cm^{-1})	Bilangan gelombang TPS/Selulosa 20% (cm^{-1})	Ikatan kimia/gugus fungsi
1024,2	1024,2	1031,92	1014,56	C-O <i>Stretching</i>
1429,25	1429,25	1423,47	1425,4	C-H <i>Bending</i>
1651,07	1649,14	1651,07	1649,14	O-H <i>Bending</i>
2927,94	2926,01	2927,94	2926,01	C-H <i>Stretching</i>
3277,06	3277,06	3277,06	3280,92	O-H <i>Stretching</i>

4.2 Hasil Karakterisasi Sifat Mekanis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis film biokomposit pati termoplastik/selulosa. Pengujian sifat mekanis dilakukan menggunakan ASTM D882. Data yang didapatkan dari hasil uji sifat mekanis ini adalah nilai kekuatan tarik dan nilai perpanjangan putus.

4.2.1 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Pada tabel IV.4 menunjukkan hasil uji kekuatan tarik pada film biokomposit pati termoplastik dan setiap masing-masing variasi. Data hasil uji kekuatan tarik, kemudian akan dilakukan analisis berdasarkan pengaruh penambahan selulosa pada matriks pati termoplastik. Adapun pengujian ini dilakukan terhadap 3 spesimen yang berbeda terhadap 4 sampel uji.

Tabel IV.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik Film Biokomposit

Sampel	TPS/Selulosa 0% (MPa)	TPS/Selulosa 5% (MPa)	TPS/Selulosa 15% (MPa)	TPS/Selulosa 20% (MPa)
1	5,09	4,06	4,34	4,56
2	5,50	5,98	5,45	4,72
3	5,52	4,10	6,26	6,11
Rata-rata	5,37	4,71	5,35	5,13
Standar Deviasi	0,24	1,09	0,97	0,85

Dari keempat sampel hasil uji kekuatan tarik terhadap ketiga spesimen uji tarik diketahui bahwa nilai kekuatan tarik pada sampel TPS/Selulosa 0% tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sampel ini merupakan film biokomposit tanpa variasi selulosa. Hal ini karena pati termoplastik yang dilarutkan dalam air tersebar secara merata dan larut dalam air secara menyeluruh. Oleh sebab itu, nilai kekuatan tarik pada masing-masing ketiga spesimen memiliki nilai yang tidak jauh berbeda.

Namun terdapat juga perubahan yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik sampel film biokomposit kode sampel TPS/Selulosa 5%, TPS/Selulosa 15%, dan TPS/Selulosa 20%. Sampel tersebut merupakan sampel dengan variasi penambahan selulosa. Hal ini dapat terlihat pada nilai kekuatan tarik pada masing-masing sampel yang mengalami perubahan. Hal ini menandakan terdapat kemungkinan bahan penguat selulosa yang ditambahkan pada matriks film biokomposit tidak tersebar

4.2 Hasil Karakterisasi Sifat Mekanis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanis film biokomposit pati termoplastik/selulosa. Pengujian sifat mekanis dilakukan menggunakan ASTM D882. Data yang didapatkan dari hasil uji sifat mekanis ini adalah nilai kekuatan tarik dan nilai perpanjangan putus.

4.2.1 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Pada tabel IV.4 menunjukkan hasil uji kekuatan tarik pada film biokomposit pati termoplastik dan setiap masing-masing variasi. Data hasil uji kekuatan tarik, kemudian akan dilakukan analisis berdasarkan pengaruh penambahan selulosa pada matriks pati termoplastik. Adapun pengujian ini dilakukan terhadap 3 spesimen yang berbeda terhadap 4 sampel uji.

Tabel IV.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik Film Biokomposit

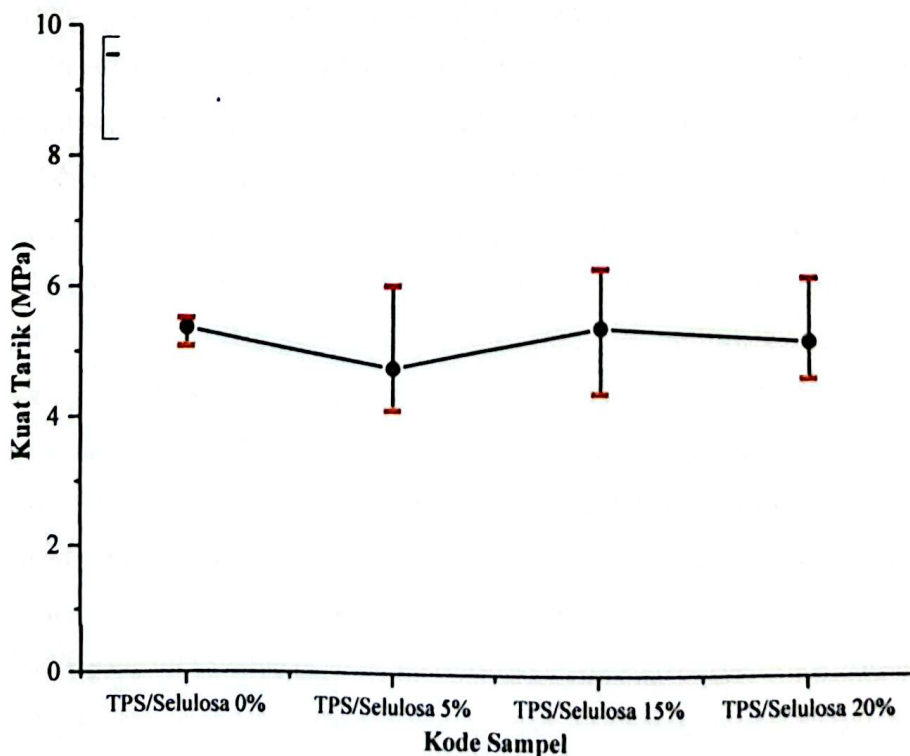
Sampel	TPS/Selulosa 0% (MPa)	TPS/Selulosa 5% (MPa)	TPS/Selulosa 15% (MPa)	TPS/Selulosa 20% (MPa)
1	5,09	4,06	4,34	4,56
2	5,50	5,98	5,45	4,72
3	5,52	4,10	6,26	6,11
Rata-rata	5,37	4,71	5,35	5,13
Standar Deviasi	0,24	1,09	0,97	0,85

Dari keempat sampel hasil uji kekuatan tarik terhadap ketiga spesimen uji tarik diketahui bahwa nilai kekuatan tarik pada sampel TPS/Selulosa 0% tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sampel ini merupakan film biokomposit tanpa variasi selulosa. Hal ini karena pati termoplastik yang dilarutkan dalam air tersebar secara merata dan larut dalam air secara menyeluruh. Oleh sebab itu, nilai kekuatan tarik pada masing-masing ketiga spesimen memiliki nilai yang tidak jauh berbeda.

Namun terdapat juga perubahan yang signifikan terhadap nilai kekuatan tarik sampel film biokomposit kode sampel TPS/Selulosa 5%, TPS/Selulosa 15%, dan TPS/Selulosa 20%. Sampel tersebut merupakan sampel dengan variasi penambahan selulosa. Hal ini dapat terlihat pada nilai kekuatan tarik pada masing-masing sampel yang mengalami perubahan. Hal ini menandakan terdapat kemungkinan bahan penguat selulosa yang ditambahkan pada matriks film biokomposit tidak tersebar

secara merata dan selulosa teragregasi pada film, sehingga mempengaruhi perubahan nilai kekuatan tarik pada masing-masing spesimen sampel. Hal ini dapat dibuktikan pada sampel film biokomposit yang dihasilkan yang dilihat secara kasat mata, yakni terlihat selulosa yang tidak larut sempurna dalam film biokomposit. Partikel selulosa yang terlihat ini dikarenakan pada proses pencampuran dengan pati termoplastik material selulosa ini tidak Larut. Selulosa merupakan bahan yang tidak larut dalam pelarut air, sehingga selulosa pada film biokomposit masih terlihat secara kasat mata.

Menurut Li dkk. (2018) bahwa agregasi pada selulosa yang menumpuk atau tidak terdispersi secara merata pada matriks pati termoplastik menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik yang cukup signifikan. Selain itu efek yang ditimbulkan dari bahan penguat selulosa yang ditambahkan pada matriks pati termoplastik berasal dari proses pembentukan *rigid network*/jaringan kaku selulosa yang dihubungkan oleh ikatan hidrogen dan keterikatan material. Gambar IV.3 menunjukkan grafik nilai kekuatan tarik yang dihasilkan



Gambar IV.3 Hasil Nilai Kekuatan Tarik Film Biokomposit

1. Analisis Nilai Kekuatan Tarik Rata-Rata Spesimen

Berdasarkan gambar IV.3 diketahui bahwa nilai yang dihasilkan pada tiap sampel mengalami fluktuatif yang disebabkan oleh perubahan nilai uji tarik pada 3 spesimen sampel uji. Film biokomposit yang mengalami perubahan yang signifikan terhadap nilai kekuatan tariknya adalah film biokomposit kode sampel TPS/Selulosa 5%, TPS/Selulosa 15%, dan TPS/Selulosa 20%. Sampel tersebut merupakan sampel film biokomposit dengan variasi penguat selulosa. Penambahan alfa selulosa yang bertindak sebagai penguat matriks biokomposit ini tidak tersebar secara merata pada permukaan film. Hal ini menyebabkan nilai kekuatan tarik mengalami penurunan, sedangkan pada umumnya mengalami peningkatan. Pada grafik nilai kekuatan tarik mengalami penurunan setelah adanya penambahan selulosa sebanyak 5%; 15% dan 20% dari sampel blangko TPS/Selulosa 0%. Sampel TPS/Selulosa 0% memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 5,37 MPa, setelah adanya penambahan selulosa 5% nilai kekuaran tarik menurun menjadi 4,71 MPa, Selanjutnya nilai kuat tarik sampel mengalami kenaikan setelah adanya penambahan selulosa sebanyak 15% nilai kekuatan tarik menjadi 5,35 MPa, dan nilai kekuatan tarik sampel kembali mengalami proses penurunan setelah adanya penambahan selulosa sebanyak 20% nilai kekuatan tarik menjadi 5,13 MPa.

Adapun dari hasil nilai kekuatan tarik rata-rata spesimen jika dilihat sampel TPS/Selulosa 0% memiliki standar deviasi yang kecil, sehingga terjadi keakuratan nilai antar spesimen. Namun, nilai standar deviasi untuk sampel saat penambahan selulosa 5%; 15% dan 20% memiliki nilai standar deviasi yang cukup besar, sehingga terjadi ketidakakuratan nilai kekuatan tarik antar spesimen. Dari hasil pemaparan analisis nilai kekuatan tarik rata-rata diperoleh hasil, yakni penambahan selulosa tidak memberikan nilai kekuatan tarik yang cukup bagus jika dibandingkan dengan sampel tanpa penambahan selulosa. Pengaruh ini terjadi karena terdapat spesimen sampel yang memiliki persebaran antara matriks pati dan penguat selulosa yang bagus maupun tidak. Penambahan selulosa sebanyak 15% merupakan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi jika dibandingkan dengan saat penambahan selulosa sebanyak 5%, dan 20%.

2. Analisis Nilai Kekuatan Tarik Tertinggi Spesimen

Berdasarkan gambar IV.3 diketahui bahwa nilai kekuatan tarik sampel yang diambil berdasarkan nilai tertinggi mengalami peningkatan daripada hasil nilai rata-rata. Pada gambar diketahui bahwa grafik mengalami proses kenaikan kuat tarik dan juga mengalami proses penurunan kuat tarik. Keempat sampel ini memiliki grafik dimana penambahan selulosa pada matriks film biokomposit ini mengalami peningkatan nilai kekuatan tarik pada masing-masing variasinya, dimana nilai optimum komposisi selulosa terbaik adalah sampel TPS/Selulosa 15% yang merupakan sampel film biokomposit dengan penguat selulosa sebesar 15%. Peningkatan nilai kekuatan tarik saat penambahan selulosa pada matriks film biokomposit pati termoplastik ini menandakan selulosa tersebar secara merata pada spesimen uji tarik.

Pada grafik selulosa yang ditambahkan pada matriks pati termoplastik sebesar 20% mengalami sedikit penurunan nilai kekuatan tarik. Hal ini terjadi karena selulosa yang ditambahkan semakin banyak, maka beban selulosa pada matriks pati termoplastik mengakibatkan pengurangan luas penampang pada film biokomposit yang disebabkan oleh ukuran partikel selulosa. Adapun interaksi selulosa pada matriks pati termoplastik mengakibatkan gaya antarmolekul pada kedua material yang tidak dapat ditransfer dengan baik, sehingga material selulosa akan teragregasi atau menggumpal pada matriks film biokomposit yang dihasilkan. Analisis pengaruh ini dapat dipastikan jika dilakukannya studi morfologi terhadap masing-masing sampel untuk melihat persebaran material selulosa pada matriks film biokomposit yang dihasilkan (Sariffuddin dkk., 2012).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hietala dkk. (2013) diketahui bahwa penambahan selulosa pada material pati terbukti menambah sifat mekanis dari matriks pati. Pada penelitiannya menunjukkan bahwa semakin banyak selulosa yang ditambahkan maka kuat tarik yang dihasilkan semakin tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Hietala dkk. (2013) menggunakan mesin ekstruksi dalam proses pencampuran selulosa terhadap pati, sehingga selulosa yang berfungsi sebagai penguat terdistribusi secara merata pada permukaan pati, serta mempengaruhi hasil uji kekuatan tarik yang dihasilkan. Pada penelitian ini selulosa yang ditambahkan

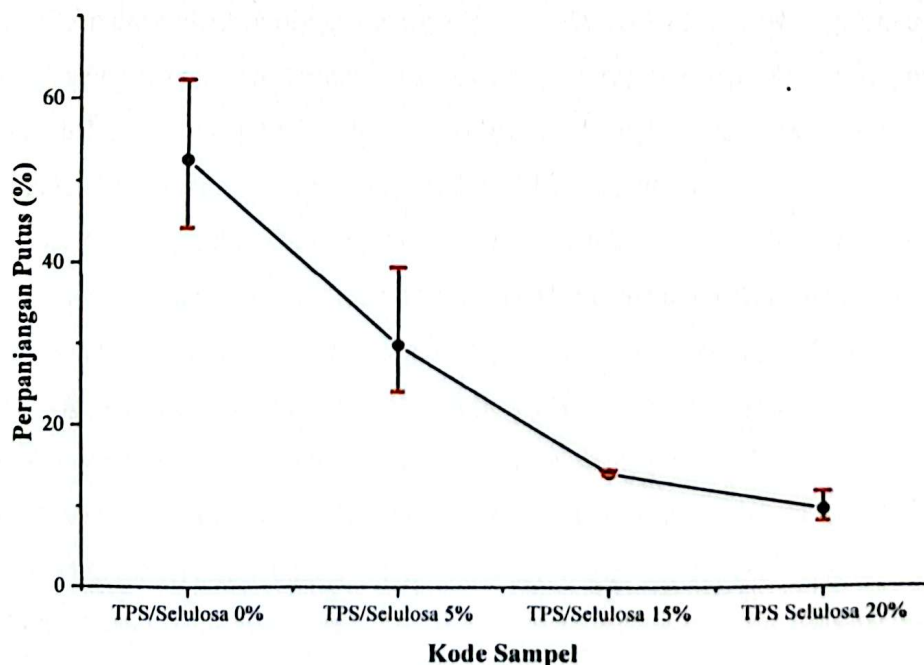
pada matriks pati termoplastik tidak menambah nilai kekuatan tarik berdasarkan nilai rata-rata percobaan 3 spesimen. Namun kenaikan terjadi pada masing-masing spesimen dengan nilai uji kekuatan tarik tertinggi.

4.2.2 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Nilai Perpanjangan Putus

Hasil pengujian ini menunjukkan nilai perpanjangan putus pada film biokomposit yang dihasilkan. Hasil nilai perpanjangan putus pada masing-masing sampel akan dianalisis berdasarkan pengaruh penambahan selulosa pada matriks pati termoplastik terhadap nilai perpanjangan putus. Adapun pengujian ini dilakukan terhadap 3 spesimen yang berbeda terhadap 4 sampel, yang dapat dilihat pada tabel IV.5 dan grafiknya pada gambar IV.4

Tabel IV.5 Hasil Pengujian *Elongation at Break*/Perpanjangan Putus

Sampel	TPS/Selulosa 0% (%)	TPS/Selulosa 5% (%)	TPS/Selulosa 15% (%)	TPS/Selulosa 20% (%)
1	62,23	25,73	13,94	8,94
2	50,83	39,24	13,95	8,20
3	44,13	23,98	14,58	11,81
Rata-rata	52,40	29,65	14,15	9,65
Standar Deviasi	9,15	8,35	0,36	1,91



Gambar IV.4 Hasil Nilai Perpanjangan Putus Film Bikomposit

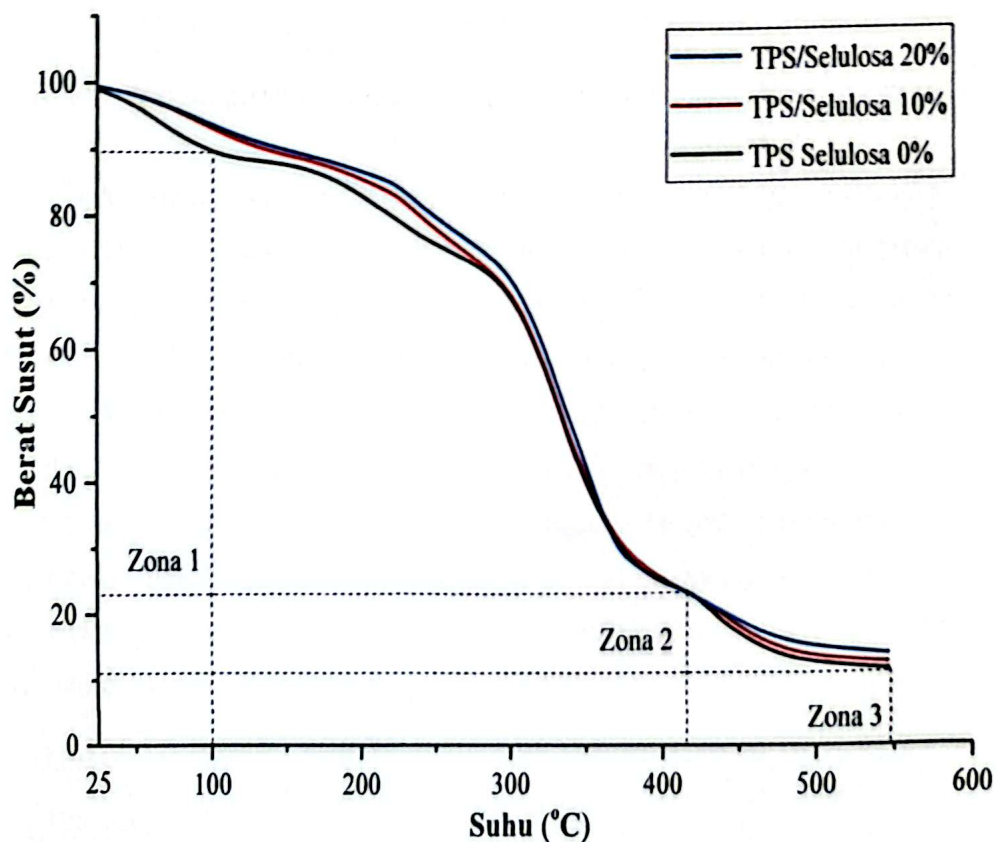
Berdasarkan hasil uji perpanjangan putus pada film biokomposit diperoleh empat data hasil uji perpanjangan putus. Data yang disajikan pada grafik diketahui bahwa penambahan alfa selulosa pada matriks film biokomposit pati termoplastik ini mengalami penurunan nilai perpanjangan putus. Hasil film biokomposit pada sampel TPS/Selulosa 0% atau sampel tanpa menggunakan variasi selulosa memiliki nilai perpanjangan putus sebesar 52,40%. Setelah film biokomposit pati termoplastik ditambahkan penguat sebesar 5% hasil elongasi mengalami penurunan yang sangat signifikan menjadi 29,65%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan selulosa cukup berpengaruh terhadap penurunan nilai elongasi, karena dengan penambahan selulosa 5% nilai elongasi pada matriks film yang dihasilkan mengalami penurunan nilai yang cukup tinggi. Hal ini juga terjadi dengan kode sampel TPS/Selulosa 15% dan TPS/Selulosa 20% yang merupakan sampel film biokomposit pati termoplastik dengan penambahan selulosa sebesar 15% dan 20%. Kedua sampel ini masing-masing mengalami penurunan nilai elongasi sebesar 14,15% dan 9,65%.

Plasticizer yang terdapat pada matriks pati termoplastik membuat material menjadi lebih lunak. Selulosa yang ditambahkan sebagai bahan penguat pada matriks mengakibatkan penurunan nilai elongasi. Hal ini terjadi karena *plasticizer* yang terdapat pada pati termoplastik tidak memplastisasi material selulosa yang ditambahkan, sehingga nilai elongasi pada sampel setelah ditambahkan selulosa semakin berkurang dan mengalami kekakuan (Li dkk., 2018).

Selain itu, penambahan selulosa yang menyebabkan penurunan nilai elongasi ini dikarenakan selulosa yang ditambahkan pada film biokomposit pati termoplastik ini memiliki ukuran partikel yang cukup besar. Berdasarkan hasil pengujian *particle size analyzer* (PSA) yang terlampir pada lampiran G. Pengujian material selulosa ini diperoleh nilai ukuran partikel selulosa sebesar 125 mikrometer. Penurunan nilai elongasi pada sampel setelah ditambahkan selulosa merupakan efek yang cukup baik karena diharapkan penggabungan material selulosa ini dapat memberikan kekakuan dan menahan deformasi pada matriks pati termoplastik yang mengarah pada penurunan tak terhindarkan dalam tingkat *ductility* material (Sarifuddin dkk., 2012).

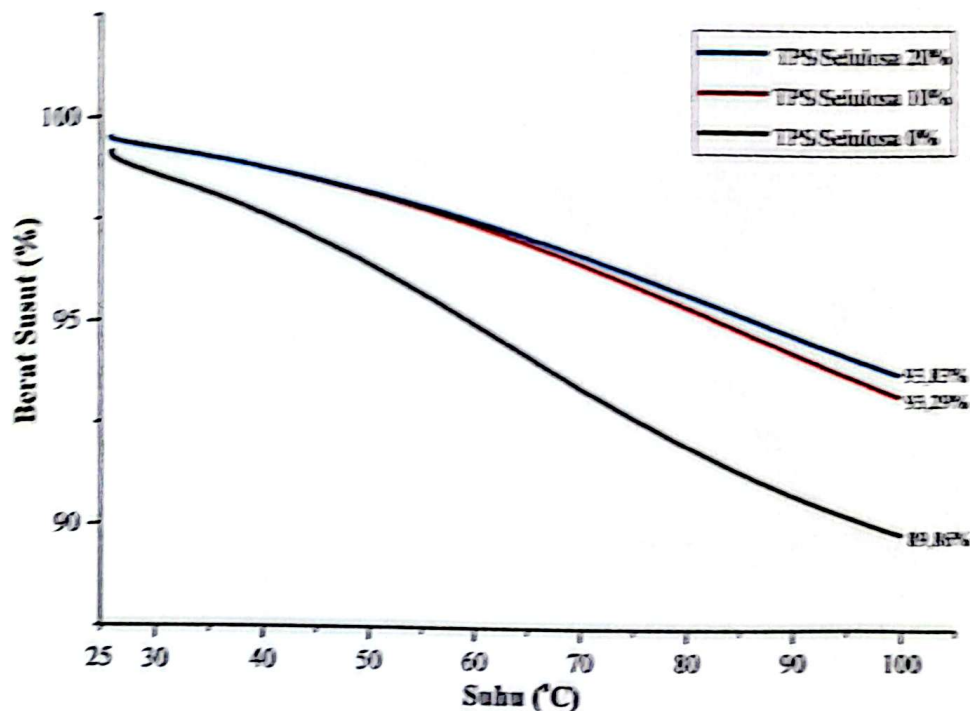
4.3 Hasil Karakterisasi Sifat Termal

Sifat termal pada penelitian ini dilakukan pengujian menggunakan TGA (*Thermogravimetric Analysis*). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan berat susut (*weight loss*) suatu material terhadap perubahan suhu. Selain itu, dapat juga mengetahui kadar air sampel, dekomposisi termal, dan stabilitas termal. Sampel yang akan diuji dilakukan injeksi gas nitrogen dengan banyaknya injeksi gas nitrogen yang dilepaskan pada sampel adalah sebanyak 20 ml/menit. Selain itu, proses pemanasan pada TGA berlangsung pada suhu 25°C sampai 550°C, dengan laju suhu sebesar 10°C/menit. Adapun sampel yang akan diuji pada pengujian TGA ini terdapat 3 sampel, yaitu TPS/Selulosa 0%; TPS/Selulosa 10% dan TPS/Selulosa 20%. Pada gambar IV.5 menunjukkan hasil kurva TGA yang dibagi menjadi 3 zona. Zona 1 merupakan proses evaporasi atau hilangnya kadar air pada sampel. Zona 2 merupakan proses terjadinya dekomposisi termal, dan zona 3 merupakan proses terjadinya stabilitas termal.



Gambar IV.5 Hasil Kurva TGA Film Biokomposit TPS/Selulosa

4.3.1 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 1: Proses Penguapan Air)



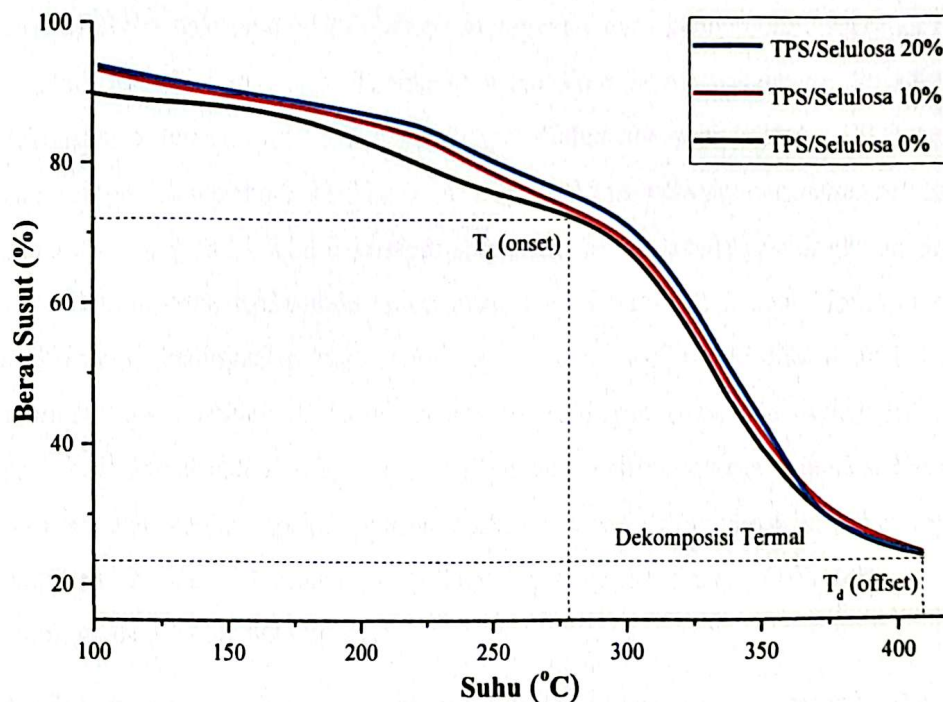
Gambar IV.6 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 1: Proses Penguapan Air)

Pada gambar IV.6 menunjukkan kurva TGA yang diplot pada suhu 25°C sampai 100°C. Proses yang terjadi pada rentang suhu tersebut adalah proses terjadinya penguapan air pada masing-masing sampel. Pada kurva menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat mengurangi kadar air yang terkandung pada sampel film biokomposit. Penurunan kadar air pada sampel setelah penambahan selulosa membuktikan bahwa terdapat pengaruh penggunaan selulosa yang membuat kemampuan menyerap air yang tinggi pada pati menjadi semakin berkurang. Pati yang bersifat hidrofilik akan mampu mengurangi tingginya kemampuan menyerap air seiring dengan penambahan selulosa. Pada tabel IV.6 menunjukkan persentase kadar air yang hilang pada sampel.

Tabel IV.6 Persentase Kadar Air pada Sampel Film Biokomposit TPS/Selulosa

Sampel	Berat Awal (%)	Berat Akhir (%)	Berat Hilang (%)
TPS/Selulosa 0%	99.21	93.83	5.38
TPS/Selulosa 10%	99.56	93.29	6.27
TPS/Selulosa 20%	99.56	89.86	9.7

4.3.2 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 2: Proses Dekomposisi Termal)



Gambar IV.7 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 2: Proses Dekomposisi Termal)

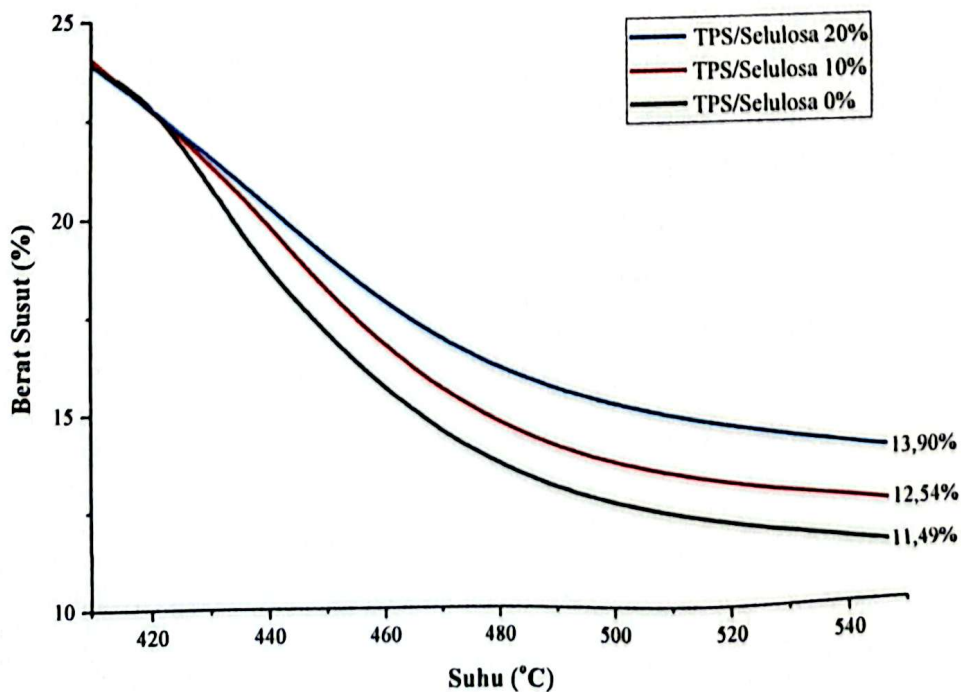
Pada gambar IV.7 menunjukkan kurva TGA Zona 2 untuk mengidentifikasi proses dekomposisi termal. Pada kurva terlihat bahwa awal mulanya terjadi dekomposisi termal dimulai pada suhu 260°C. Pada suhu tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan berat susut yang cukup signifikan. Adapun laju dekomposisi termal berakhir pada suhu 410°C. Pada suhu 410°C sekitar 80% massa hilang. Menurut Billingham (2013) dekomposisi termal mengakibatkan perubahan fisik dan kimia, sehingga dapat terjadi pemutusan ikatan suatu polimer, perubahan bentuk material, dan lain-lain. Pada tabel IV.7 menunjukkan hasil dekomposisi termal pada masing-masing sampel.

Tabel IV.7 Suhu Dekomposisi Termal Film Biokomposit TPS/Selulosa

Sampel	T _d (onset) (°C)	T _d (offset) (°C)	T _d (maks) (°C)
TPS/Selulosa 0%	262	409	333,4
TPS/Selulosa 10%	269,7	412	332,6
TPS/Selulosa 20%	268	406	355,3

Pada tabel IV.7 menunjukkan 3 suhu dekomposisi. Suhu dekomposisi (T_d onset) merupakan suhu mula-mula proses dekomposisi termal pada masing-masing sampel. Suhu dekomposisi (T_d offset) merupakan suhu akhir proses dekomposisi termal. Suhu dekomposisi (T_d maks) merupakan suhu maksimum terjadinya dekomposisi termal. Suhu maksimum dapat diidentifikasi pada kurva DTG yang telampir pada lampiran G. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat mempengaruhi suhu dekomposisi termal, dengan adanya peningkatan pada suhu dekomposisi mula-mula, suhu dekomposisi akhir, dan suhu dekomposisi maksimum. Peningkatan pada suhu dekomposisi ini mengindikasikan bahwa selulosa dapat meningkatkan ketahanan termal sehingga membentuk ikatan polimer yang kuat. Menurut Sarifuddin dkk. (2012) pada penelitiannya menunjukkan bahwa selulosa dan pati merupakan polimer biokompatibel. Penambahan selulosa dapat membentuk ikatan hidrogen yang kuat pada gugus fungsi O-H serta dapat meningkatkan suhu dekomposisi.

4.3.3 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 3: Proses Stabilitas Termal)



Gambar IV.8 Pengaruh Penambahan Selulosa pada Kurva TGA (Zona 3: Proses Stabilitas Termal)

Pada gambar IV.8 kurva dibuat dari rentang suhu dekomposisi termal akhir sampai suhu akhir pada proses pengujian termal dengan alat TGA. Pada suhu akhir akan dilihat kandungan residu selama proses pemanasan berlangsung. Diketahui bahwa suhu akhir proses karakterisasi termal dengan TGA selesai pada temperatur 550°C. Pada suhu akhir tersebut residu massa untuk sampel TPS/Selulosa 0% atau sampel film biokomposit pati termoplastik tanpa penambahan alfa selulosa adalah sebesar 11,49%. Residu massa untuk sampel TPS/Selulosa 10% atau sampel film biokomposit dengan variasi selulosa 10% sebesar 12,54%, dan residu massa untuk sampel TPS/Selulosa 20% atau sampel film biokomposit dengan variasi selulosa 20% sebesar 13,90%.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarifuddin dkk. (2012) dan Ghanbari dkk. (2018) penambahan selulosa pada pati dapat mempengaruhi kandungan residu. Hasil penelitian terdapat peningkatan residu yang mengindikasikan adanya peningkatan stabilitas termal. Hal ini menandakan bahwa material selulosa yang ditambahkan kedalam matriks pati termoplastik terbukti mampu meningkatkan stabilitas termal yang lebih tinggi, yakni jika dibandingkan dengan film biokomposit pati termoplastik tanpa penambahan selulosa. Faktor ini terjadi karena rendahnya pelepasan panas, dan kemampuan untuk menjadi arang yang tinggi pada sampel film biokomposit dengan penambahan selulosa. Selain itu, selulosa juga diketahui memiliki struktur yang kosong yang mengarah kepada konduktivitas termal yang rendah (Sarifuddin dkk., 2012).

Pengaruh penambahan selulosa terhadap stabilitas termal, jika diaplikasikan dapat berpotensi sebagai bahan pengisi untuk aplikasi film biokomposit yang tahan terhadap api (*flame retardant*) (Ghozali, 2017). Pada tabel IV.8 menunjukkan suhu dekomposisi awal dan akhir beserta persentase massa yang tersisa.

Tabel IV.8 Kandungan Residu pada Pengujian Termal dengan TGA

Sampel	T _d (off) (°C)	T (akhir) (°C)	Residu 410°C (%)	Residu 550°C (%)
TPS/Selulosa 0%	409	550	23,89	11,49
TPS/Selulosa 10%	412	550	24,05	12,54
TPS/Selulosa 20%	406	550	23,92	13,90

4.4 Hasil Karakterisasi Biodegradasi

Karakterisasi biodegradasi ini menggunakan kapang/jamur yang merupakan mikroba standar pengujian biodegradasi terhadap polimer seperti yang dijelaskan pada ASTM G21-09. Pada ASTM G21-09 ini terdapat 5 jenis jamur yang biasa digunakan. Pada pengujian biodegradasi ini jamur yang digunakan adalah jamur berjenis *aspergillus niger*. Adapun sebelum sampel film biokomposit ditanam dalam media agar dan jamur. Sampel dilakukan proses penimbangan untuk mengetahui berat awal sebelum dilakukan proses biodegradasi.

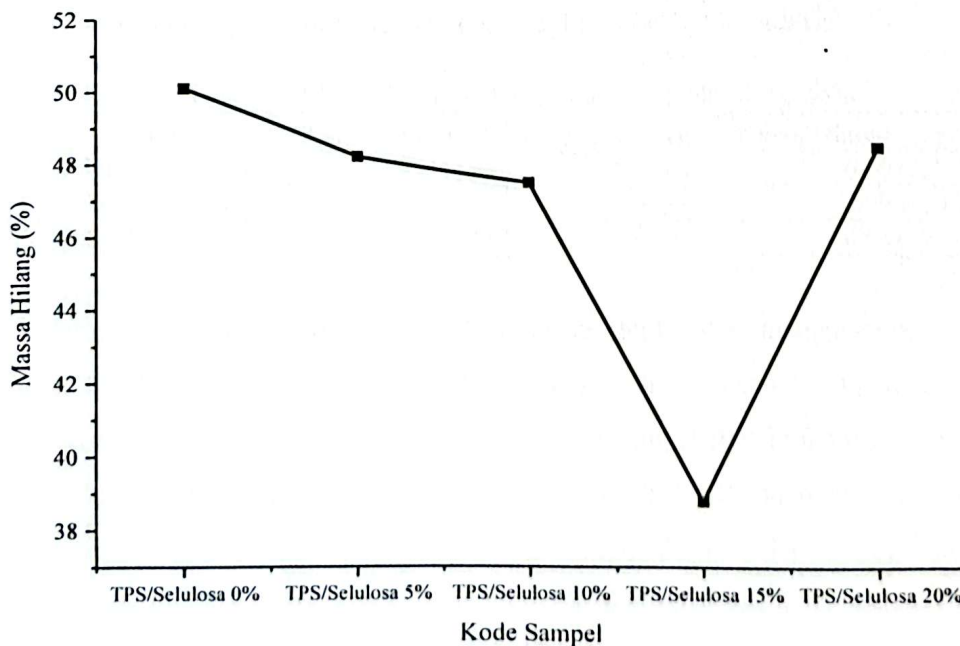
Pengujian biodegradasi ini dilakukan proses inkubasi selama 30 hari pada suhu 32°C. Setelah 30 hari sampel hasil uji biodegradasi dikeluarkan pada oven. Setelah 30 hari diketahui bahwa media agar yang digunakan untuk proses biodegradasi telah mengering. Namun, jamur yang disemprotkan pada media agar mulai berkembangbiak dan memenuhi sampel film biokomposit untuk melakukan proses biodegradasi. Media agar ini diserap oleh jamur untuk proses perkembangbiakan, sehingga proses biodegradasi sampel berlangsung lebih cepat. Sampel film biokomposit yang telah dipenuhi jamur akan dilakukan proses pembersihan menggunakan etanol, hingga jamur yang menempel pada permukaan sampel menghilang. Setelah itu akan dilakukan proses penimbangan berat akhir. Jamur *aspergillus niger* berfungsi sebagai mikroorganisme untuk membantu proses biodegradasi sampel film biokomposit. Pada tabel IV.9 menunjukkan data penurunan massa/massa yang hilang pada keseluruhan sampel sebelum dan setelah dilakukannya proses uji biodegradasi.

Tabel IV.9 Hasil Uji Biodegradasi Keseluruhan Sampel

Kode Sampel	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Massa Hilang (%)
TPS/Selulosa 0%	0.11650	0.05820	50.12600
TPS/Selulosa 5%	0.07200	0.03725	48.31600
TPS/Selulosa 10%	0.11050	0.05785	47.64100
TPS/Selulosa 15%	0.09775	0.05980	38.79800
TPS/Selulosa 20%	0.12040	0.06265	48.51700

Pada tabel IV.9 dapat dilihat bahwa proses biodegradasi sampel film biokomposit yang dihasilkan mengalami penurunan massa sebesar 40-50% selama 30 hari. Sampel film biokomposit yang memiliki persentase penurunan massa yang

besar adalah sampel film biokomposit dengan kode TPS/Selulosa 0%. Kode sampel TPS/Selulosa 0% merupakan sampel film biokomposit pati termoplastik tanpa penambahan alfa selulosa. Persentase penurunan massa pada kode sampel TPS/Selulosa 0% adalah sebesar 50,12%, sedangkan sampel film biokomposit yang memiliki persentase penurunan massa yang kecil adalah sampel film biokomposit dengan kode TPS/Selulosa 15%. Kode sampel TPS/Selulosa 15% merupakan sampel film biokomposit pati termoplastik dengan penambahan alfa selulosa sebesar 15%. Persentase penurunan massa pada kode sampel TPS/Selulosa 15% adalah sebesar 38,79%. Data yang terdapat pada tabel diketahui bahwa terdapat penurunan massa yang hilang selama proses uji biodegradasi pada sampel film biokomposit yang telah ditambahkan alfa selulosa. Namun, pada sampel dengan penambahan alfa selulosa sebesar 20% mengalami peningkatan kembali nilai massa yang hilang. Pada gambar IV.9 menunjukkan grafik persentase massa yang hilang selama uji biodegradasi pada keseluruhan sampel.



Gambar IV.9 Grafik Persentase Massa yang Hilang Selama Uji Biodegradasi pada Keseluruhan Sampel

4.4.1 Pengaruh Penambahan Selulosa terhadap Proses Biodegradasi

Berdasarkan hasil pengujian biodegradasi diketahui bahwa penambahan selulosa pada matriks pati termoplastik sebanyak 5%; 10% dan 15% membuat hasil

biodegradasi pada film bioplastik pati semakin menurun. Menurut Babae dkk. (2015) pengaruh ini dimungkinkan karena selulosa memiliki tingkat kristalinitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati, dan struktur dari selulosa yang sedikit lebih padat. Struktur selulosa yang lebih padat yang ditambahkan pada matriks pati dapat membatasi aktifitas penyebaran enzim pendegradasi, sehingga material selulosa yang ditambahkan pada pati proses biodegradasinya berlangsung lebih lama. Analisis pengaruh ini dapat dipastikan jika dilakukannya pengujian kristalinitas antara pati dan selulosa (Hermansyah dkk., 2014)

4.4.2 Analisis Hasil Uji Biodegradasi pada Sampel TPS/Selulosa 20%

Namun pada penambahan material selulosa sebanyak 20% proses biodegradasi mengalami peningkatan. Pengaruh ini mungkin terjadi karena mikroorganisme yang terdapat pada sampel film biokomposit mengalami pertumbuhan yang cepat. Pertumbuhan yang cepat ini terjadi karena penyemprotan larutan spora pada sampel film biokomposit yang tidak merata dengan sampel lainnya. Pada tabel IV.10 menunjukkan nilai persentase biodegradasi untuk sampel TPS/Selulosa 20%.

Tabel IV.10 Hasil Uji Biodegradasi Sampel TPS/Selulosa 20%

Sampel	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Massa Hilang (%)
TPS/Selulosa 20% S ₁	0.11510	0.04480	61.07732
TPS/Selulosa 20% S ₂	0.12570	0.08050	35.95863
TPS/Selulosa 20% Rata ²	0.12040	0.06265	48.51797

Pengujian biodegradasi ini dilakukan secara duplo atau menggunakan 2 sampel sebagai pembanding. Pada tabel IV.10 dapat dilihat bahwa hasil pengujian biodegradasi pada sampel TPS/Selulosa 20% atau sampel film biokomposit pati termoplastik dengan penambahan selulosa sebanyak 20%, memberikan nilai persentase biodegradasi yang tidak seimbang. Hasil pada sampel 1 menunjukkan massa yang hilang selama proses biodegradasi adalah sebanyak 61%, sedangkan pada sampel 2 sebanyak 35%. Ketidakeimbangan hasil persentase massa hilang selama proses biodegradasi ini dimungkinkan terjadi karena beberapa faktor. Salah satunya adalah pemberian larutan spora/mikroorganisme yang tidak sama dengan sampel lainnya, sehingga proses biodegradasi berlangsung lebih cepat.

Proses pengujian biodegradasi pada sampel film biokomposit yang dibuat ini menunjukkan bahwa pada kondisi lingkungan bioplastik pati dapat dengan mudah terserang oleh pengaruh mikroorganisme dan mempercepat proses biodegradasinya. Dengan penambahan selulosa ini maka dapat membantu bioplastik pati mengalami proses biodegradasi yang sedikit lebih lama. Pengaruh ini cukup bagus karena dimungkinkan agar bioplastik pati yang dibuat nanti memiliki umur simpan yang lebih lama setelah bioplastik pati ditambahkan dengan selulosa.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian film biokomposit ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR diperoleh hasil, bahwa proses pembuatan film biokomposit merupakan proses pencampuran yang terjadi secara fisika. Penambahan selulosa pada matriks pati tidak menambah gugus fungsi baru, karena kedua bahan yang digunakan sama-sama mengandung molekul glukosa. Keseluruhan sampel film biokomposit ini hanya terdapat perubahan nilai transmittan dan pergeseran pita pada spektrum IR yang dihasilkan.
2. Berdasarkan pengujian sifat mekanis nilai kekuatan tarik film biokomposit yang terbaik adalah setelah penambahan selulosa sebanyak 15%, dan nilai elongasi film biokomposit yang terbaik adalah setelah penambahan selulosa sebanyak 20%.
3. Berdasarkan pengujian sifat termal menggunakan *thermogravimetric analysis* diperoleh data bahwa penambahan selulosa pada matriks pati termoplastik dapat mengurangi persentase kadar air, dan peningkatan suhu dekomposisi termal. Selain itu, penambahan selulosa juga dapat meningkatkan stabilitas termal pada film biokomposit yang dihasilkan.
4. Berdasarkan pengujian biodegradasi menggunakan metode ASTM G21-09. Diketahui bahwa penambahan selulosa sebanyak 5%; 10% dan 15% pada matriks pati termoplastik dapat membuat proses biodegradasi berlangsung lebih lama.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan kemajuan penelitian berikutnya antara lain:

1. Penggunaan mesin ekstrusi untuk mencampur bahan pati dan selulosa.
2. Penggunaan jenis matriks film biokomposit selain pati namun masih berbasis bahan alam seperti *Polylactic acid* yang dapat meningkatkan kualitas film biokomposit dari segi kekuatan mekanis, ketahanan termal, dan lain-lain.
3. Penggunaan selulosa berukuran nano karena ukuran *filler* atau penguat matriks film biokomposit yang berukuran kecil dapat meningkatkan kualitas film biokomposit dari segi kekuatan mekanis, ketahanan termal, dan lain-lain.
4. Dilakukan pengujian TGA terhadap material selulosa agar dapat melihat stabilitas termal selulosa yang memberikan pengaruh terhadap film biokomposit pati termoplastik.
5. Dilakukan pengujian morfologi terhadap film biokomposit yang dihasilkan untuk mengetahui penyebaran bahan penguat pada matriks pati termoplastik.
6. Dilakukan pengujian kristalinitas terhadap pati termoplastik dan alfa selulosa menggunakan XRD.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, V. A., & Gutie, T. J. "Cellulosic materials as natural fillers in starch-containing matrix-based films : a review". Springer-Verlag Berlin Heidelberg. (2016).
- Averous, L., & Boquillon, N. "Biocomposites based on plasticized starch: Thermal and mechanical behaviours". *Carbohydrate Polymers*, 56(2), 111–122. (2004).
- Babae, M., Jonoobi, M., Hamzeh, Y., & Ashori, A. "Biodegradability and mechanical properties of reinforced starch nanocomposites using cellulose nanofibers". *Carbohydrate Polymers*, 132, 1–8. (2015).
- Barker, M., & Safford, R. "Industrial uses for crops : markets for bioplastics". HGCA Caledonia House, London, (450). (2009).
- Billingham, N. C. (2013). "Degradation and Stabilization of Polymers". *Material Science and Technology*.
- Brown, M. E. "Introduction To Thermal Analysis". Kluwer Academic Publisher. (2001).
- Carvalho, A. J. F. "Starch: Major sources, properties and applications as thermoplastic materials". In *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources* (hal. 321–342). (2008).
- Chandra, R., & Rustgi, R. "Biodegradable Polymers". In *Progress in Polymer Science* (Vol. 23, hal. 1273–1335). (1998).
- Dachriyanus. "Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi". Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas. (2004).
- De Moura, M. R., Mattoso, L. H. C., & Zucolotto, V. "Development of cellulose-based bactericidal nanocomposites containing silver nanoparticles and their use as active food packaging". *Journal of Food Engineering*, 109(3), 520–524. (2012).

- Ghanbari, A., Tabarsa, T., Ashori, A., Shakeri, A., & Mashkour, M. "Thermoplastic starch foamed composites reinforced with cellulose nanofibers: Thermal and mechanical properties". *Carbohydrate Polymers*, 197(June), 305–311. (2018).
- Ghozali, Muhammad, Irawan, Y., & Wihatmoko Waskitoaji. "Pengaruh Penambahan Lignin Terhadap Stabilitas Termal Biokomposit Poliasam Laktat / Lignin". *Pusat Penelitian Kimia LIPI Serpong Kawasan Puspiptek*, 45–51. (2017).
- Hermansyah, H., Carissa, R., Faiz, M. B., & Deni, P. "Food Grade Bioplastic Based on Corn Starch with Banana Pseudostem Fibre/Bacterial Cellulose Hybrid Filler". *Advanced Materials Research*, 997, 158–168. (2014).
- Hietala, M., Mathew, A. P., & Oksman, K. "Bionanocomposites of thermoplastic starch and cellulose nanofibers manufactured using twin-screw extrusion". *European Polymer Journal*, 49(4), 950–956. (2013).
- Hospodarova, V., Singovszka, E., & Stevulova, N. "Characterization of Cellulosic Fibers by FTIR Spectroscopy for Their Further Implementation to Building Materials". *American Journal of Analytical Chemistry*, 09(06), 303–310. (2018).
- Hossain, S. "Cellulose". *Forestry and Wood Technology Discipline Khulna University*, 1–27. Forestry and Wood Technology Discipline Khulna University. (2014).
- Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. "Potensi Pengembangan Plastik Biodegradable Berbasis Pati Sagu Dan Ubikayu Di Indonesia / The Development Potential of Sago and Cassava Starch-Based Biodegradable Plastic in Indonesia". *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 36(2), 67. (2017).
- Koswara, S. "Teknologi modifikasi pati". *Ebook Pangan*, 1–32. (2009).
- Lavoine, N., Desloges, I., Dufresne, A., & Bras, J. "Microfibrillated cellulose - Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review". *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 735–764. (2012).

- Li, M., Tian, X., Jin, R., & Li, D. "Preparation and characterization of nanocomposite films containing starch and cellulose nanofibers". *Industrial Crops and Products*, 123(July), 654–660. (2018).
- Niazi, M. B. K., & Broekhuis, A. A. "Surface photo-crosslinking of plasticized thermoplastic starch films". *European Polymer Journal*, 64, 229–243. (2015).
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. "Introduction To Spectroscopy". Brook / Cole Cengage Learning. (2009).
- PT. Inter Aneka Lestari Kimia. "Product Data Sheet: Enviplast Pellet Thermoplastic Starch". In Website PT. Enviplast (hal. 1–2). (2013).
- PT. Inter Aneka Lestari Kimia. "MSDS Product : Enviplast Pellet Thermoplastic Starch". In Website PT. Enviplast (hal. 1–7). (2013).
- Putera, R. D. H. "Ekstraksi Serat Selulosa Dari Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Dengan Variasi Pelarut". Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia. (2012).
- Rico, M., Rodríguez-Llamazares, S., Barral, L., Bouza, R., & Montero, B. "Processing and characterization of polyols plasticized-starch reinforced with microcrystalline cellulose". *Carbohydrate Polymers*, 149, 83–93. (2016).
- Sanjaya, H. "Analisa Instrumen 2: XRD, XRF, SEM, DTA, TGA, dan DSC". Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Padang. (2012).
- Saptorahardjo, A. "Enviplast : Starch Based Bioplastik Compound". Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Ke-5 ISSN: 2477-3298 Yogyakarta, 1–10. (2016).
- Sarifuddin, N., Ismail, H., & Ahmad, Z. "Effect of fiber loading on properties of thermoplastic sago starch/kenaf core fiber biocomposites". *Bio resource a: School of Materials and Mineral Resources Engineering, USM Engineering Campus*, 1–14. (2012).
- Tanzi, M. C., Silvia Farè, & Candiani, G. "Mechanical Properties of Materials :

Foundations of Biomaterials Engineering". In *CRC Materials Science and Engineering Handbook*, Third Edition. (2010).

Thomas, S., Durand, D., Chassenieux, C., & Jyotishkumar, P. "Handbook of Biopolymer-Based Materials: From Blends and Composites to Gels and Complex Networks". In *Handbook of Biopolymer-Based Materials: From Blends and Composites to Gels and Complex Networks*. (2013).

Wagner, M.. "Thermogravimetric Analysis in Handbook Thermal Analysis" Practice. In *Carl Hanser Verlag, Munich* (hal. 162–186). (2018)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A: GAMBAR ALAT

LAMPIRAN B: GAMBAR BAHAN

LAMPIRAN C: GAMBAR SAMPEL PENGUJIAN UTM

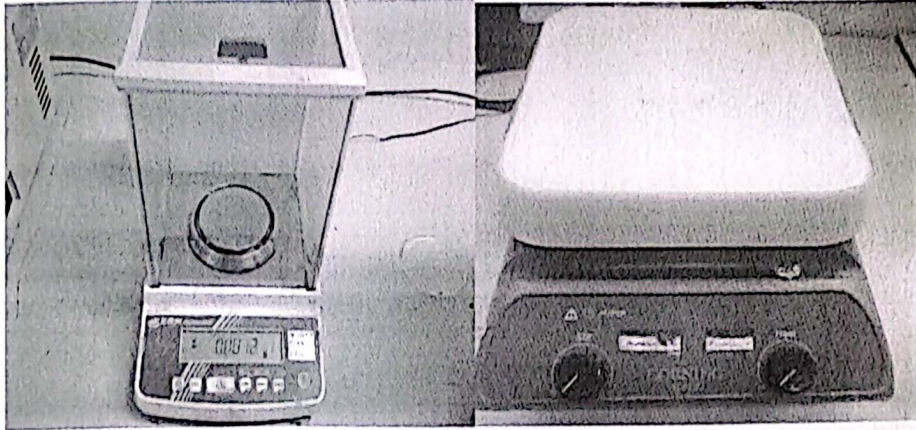
LAMPIRAN D: GAMBAR SAMPEL FILM BIOKOMPOSIT

**LAMPIRAN E: GAMBAR PROSEDUR PEMBUATAN FILM
BIOKOMPOSIT**

**LAMPIRAN F: GAMBAR PROSEDUR KARAKTERISASI
BIODEGRADASI**

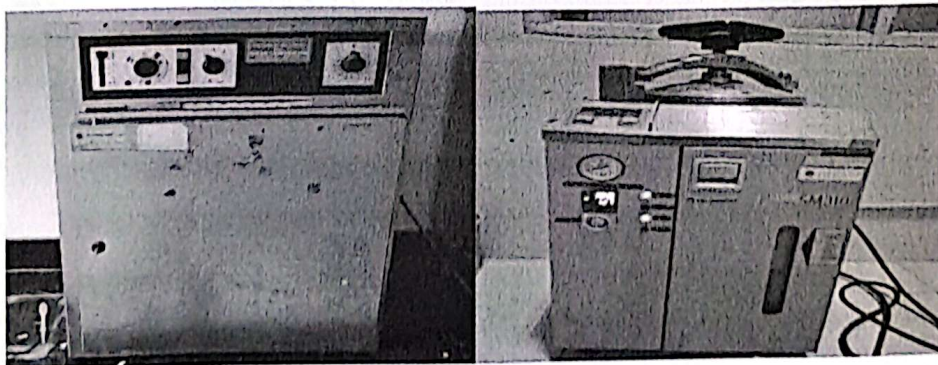
LAMPIRAN G: HASIL KARAKTERISASI PENELITIAN

LAMPIRAN A: GAMBAR ALAT



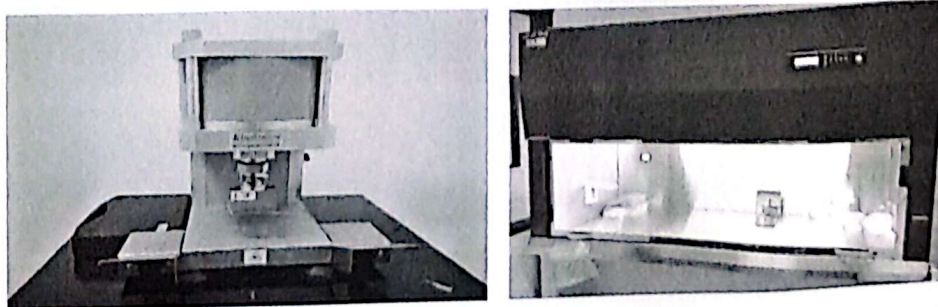
Neraca Analitik

Hotplate Stirrer



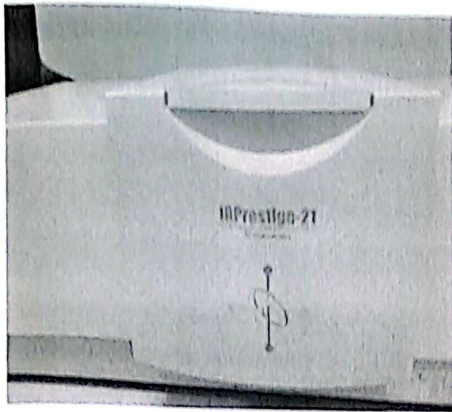
Oven

Autoclave

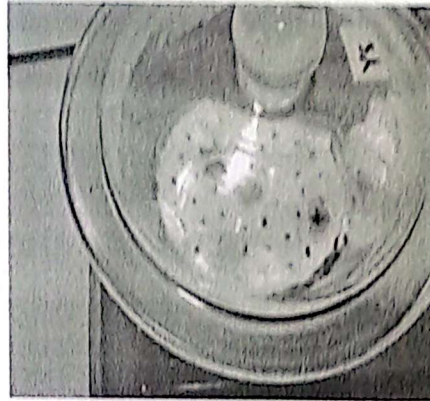


Alat pemotong sampel UTM

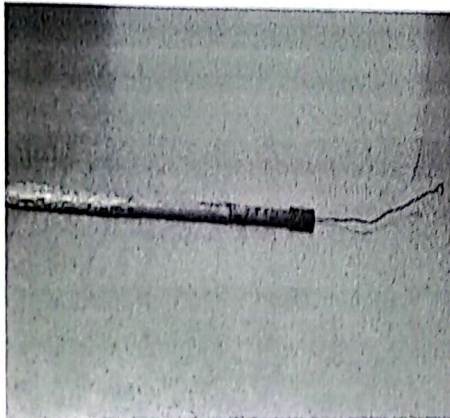
Laminar



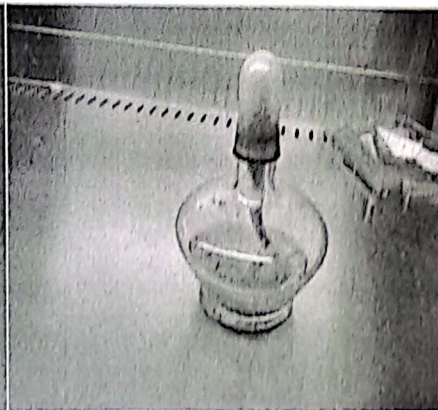
Instrumentasi FTIR



Desikator

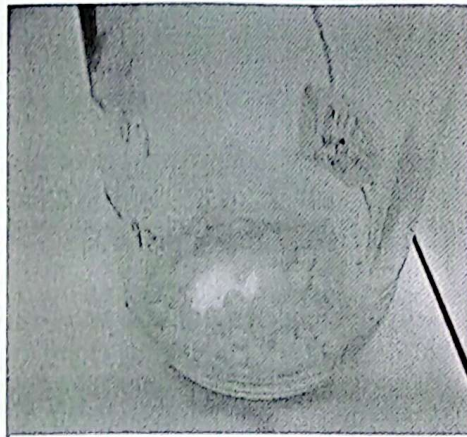


Jarum Ose

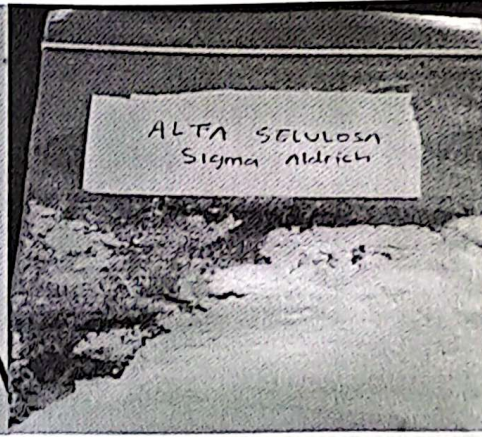


Lampu spiritus

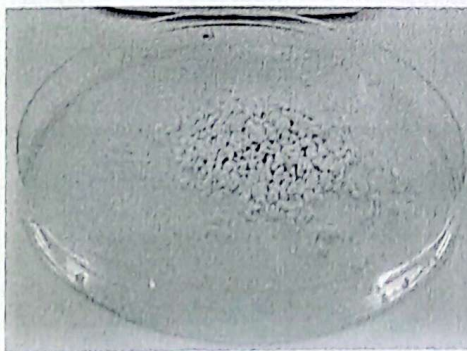
LAMPIRAN B: GAMBAR BAHAN



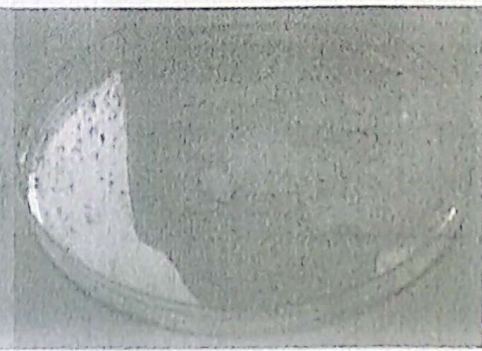
Pati Termoplastik



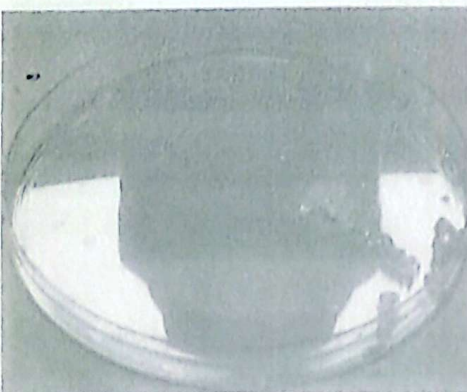
Alfa Selulosa



Potato Dextrose Agar



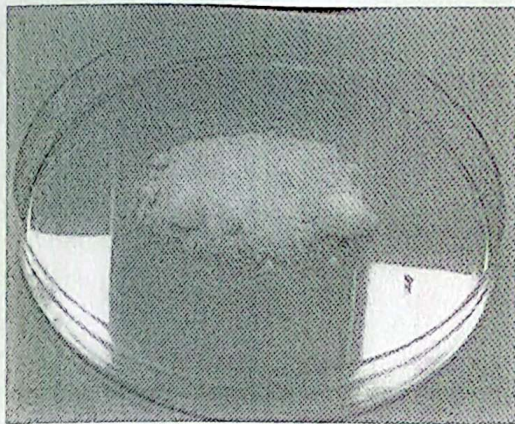
Sodium klorida



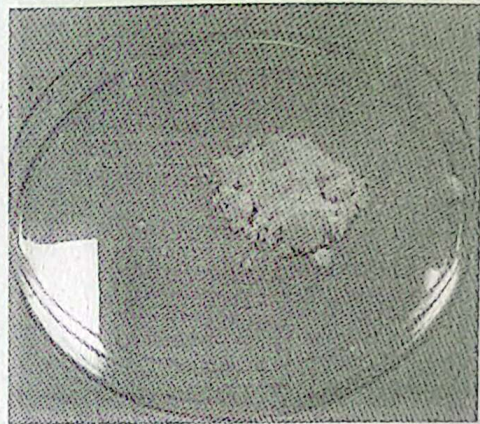
Ammonium nitrat



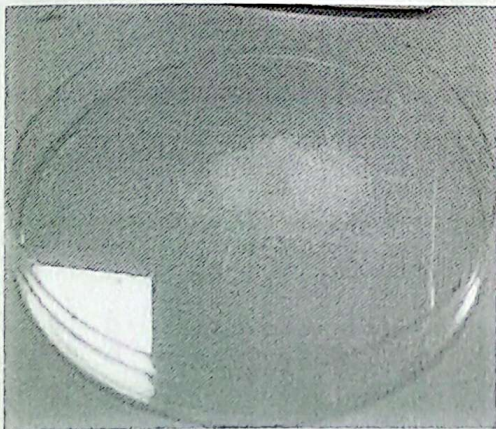
Jamur *aspergillus niger*



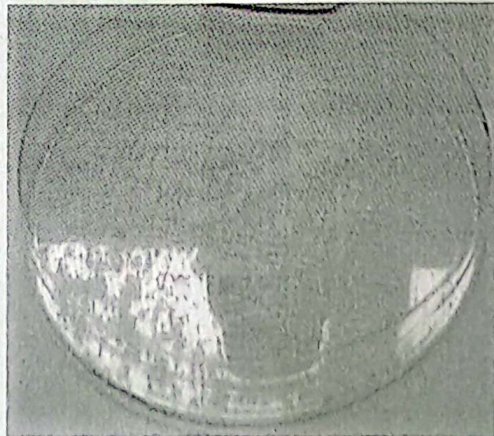
Dipotassium hidrogen fosfat



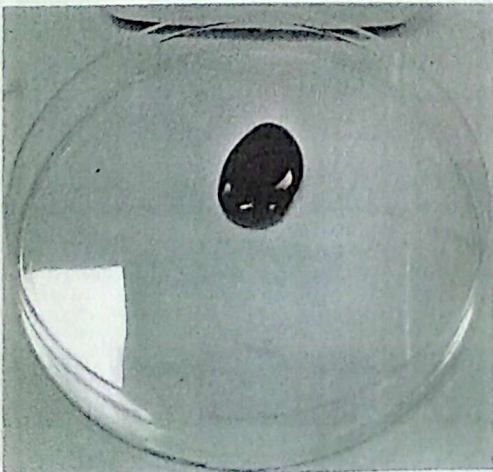
Mangan sulfat



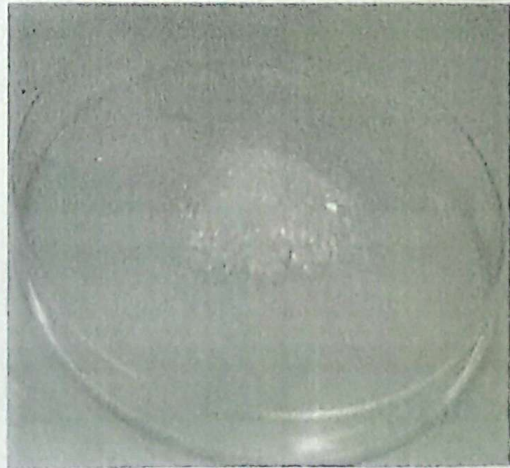
Seng sulfat



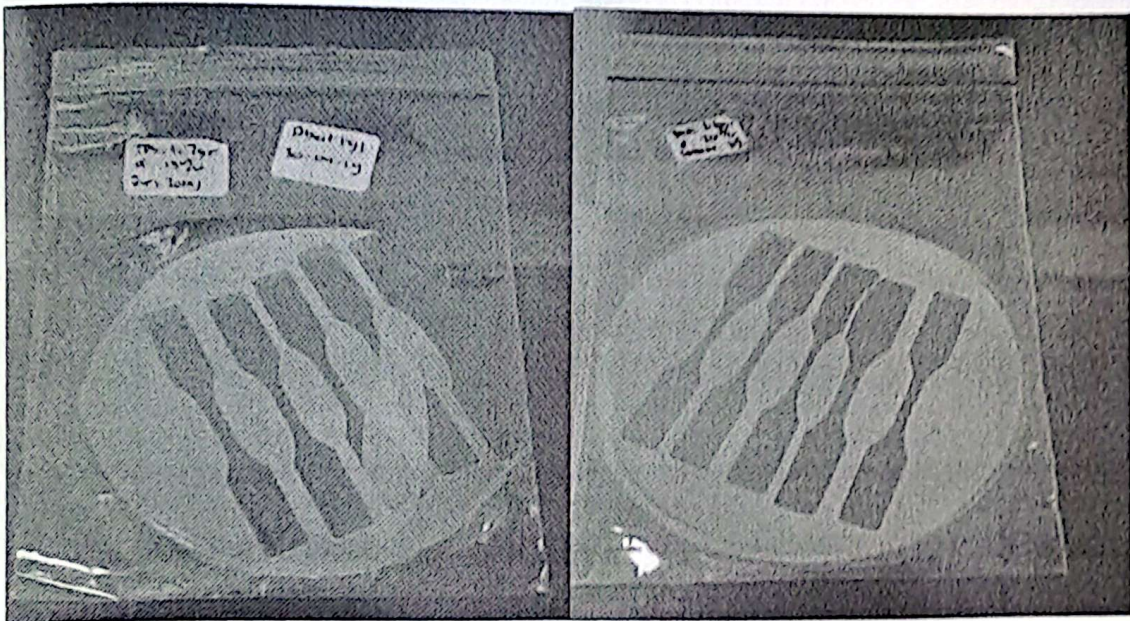
Potasium dihidrogen fosfat



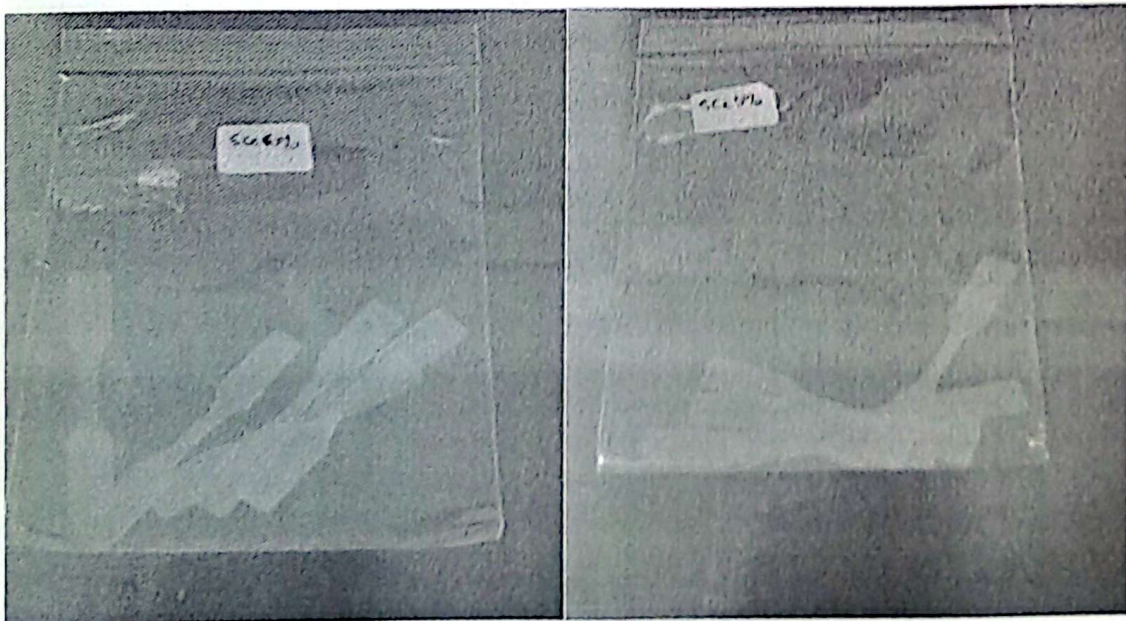
Besi sulfat



Magnesium sulfat

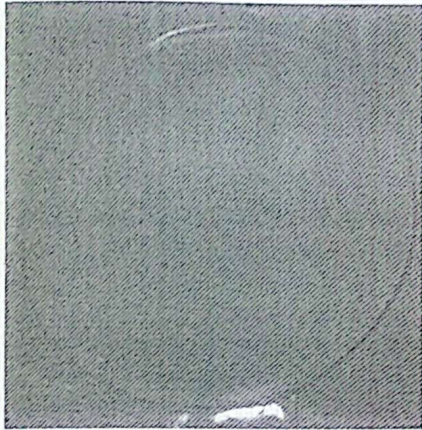


Gambar Sampel Sisa Pengujian UTM



Gambar Sampel Spesimen Untuk Pengujian UTM

LAMPIRAN D: GAMBAR SAMPEL FILM BIOKOMPOSIT



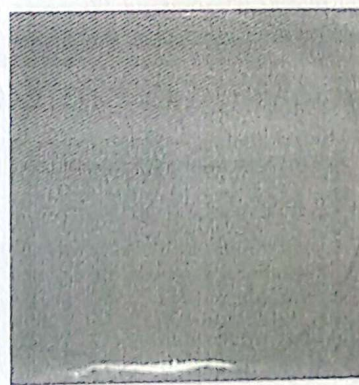
Film Biokomposit TPS/Selulosa 0%



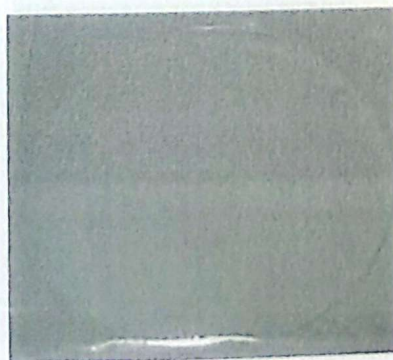
Film Biokomposit TPS/Selulosa 5%



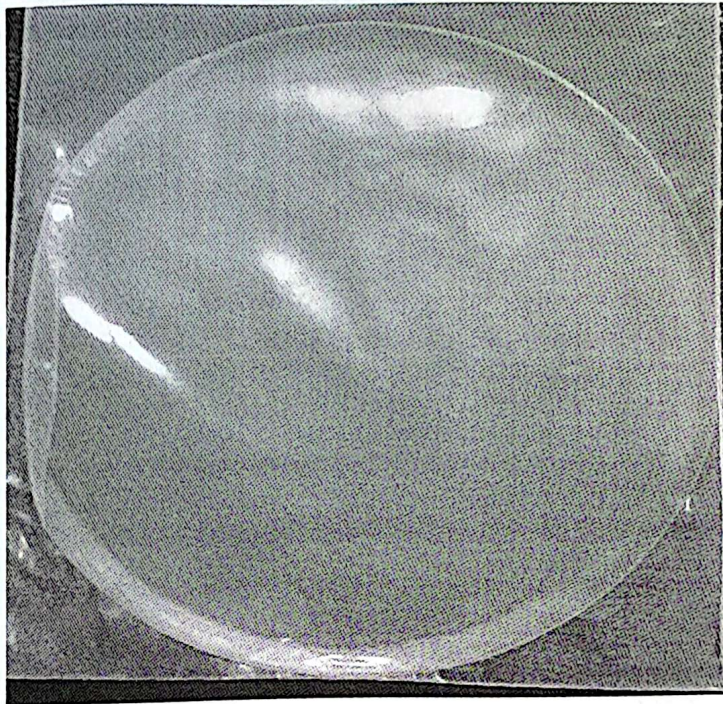
Film Biokomposit TPS/Selulosa 10%



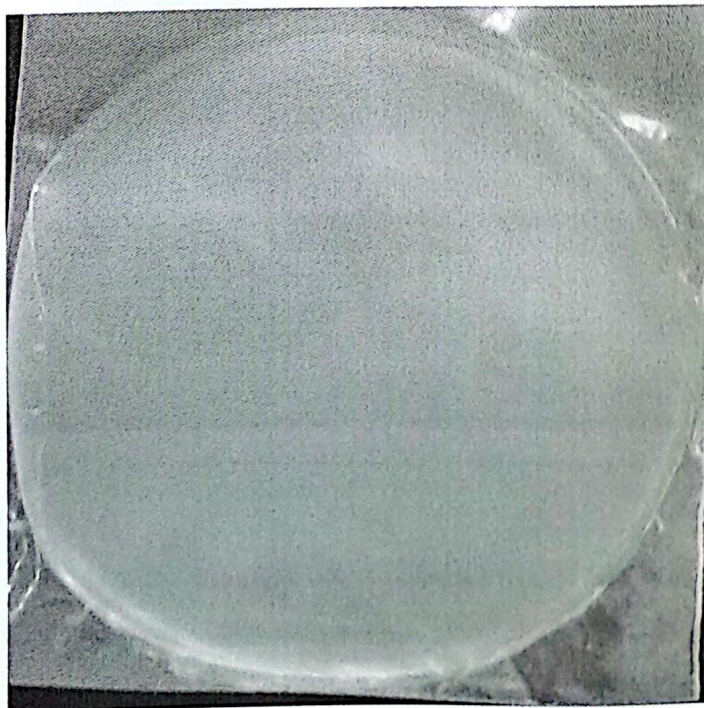
Film Biokomposit TPS/Selulosa 15%



Film Biokomposit TPS/Selulosa 20%

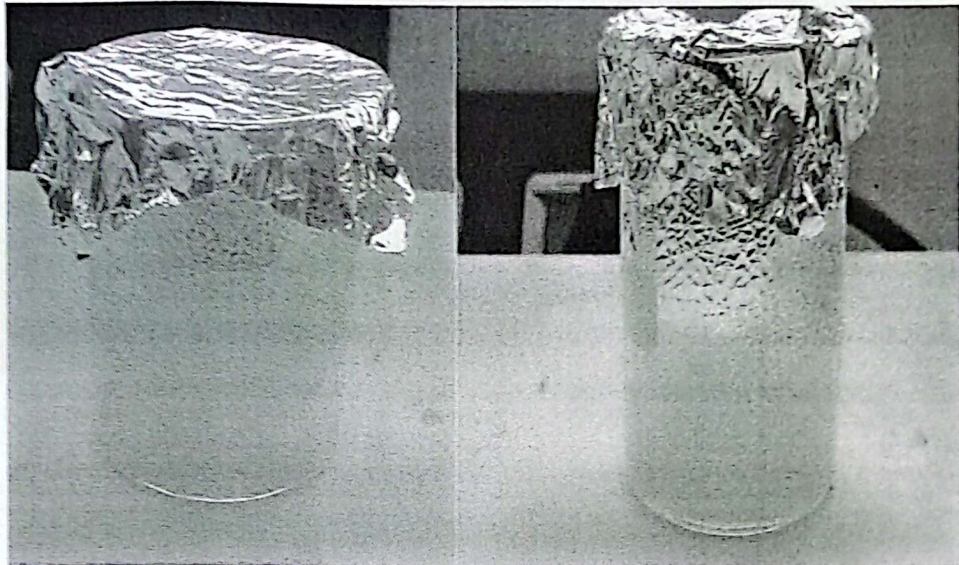


Film biokomposit tanpa penambahan selulosa (TPS/Selulosa 0%) dari jarak dekat



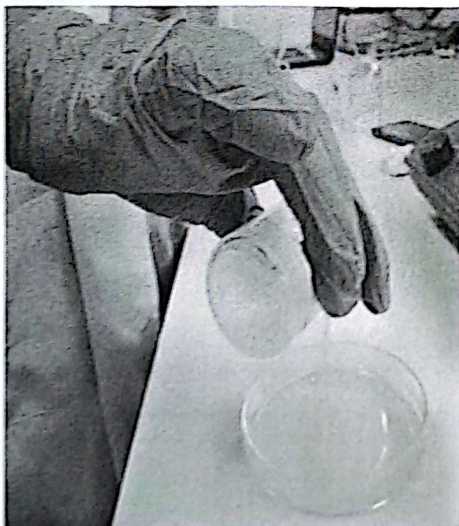
Film biokomposit dengan penambahan selulosa (TPS/Selulosa 15%) dari jarak dekat

LAMPIRAN E: GAMBAR PROSEDUR PEMBUATAN FILM
BIOKOMPOSIT

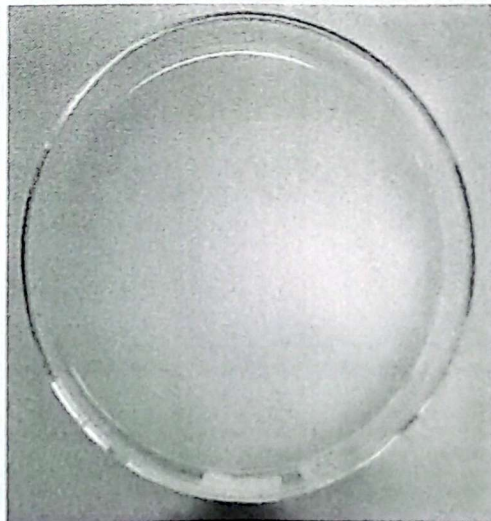


Proses *stirring* pati termoplastik

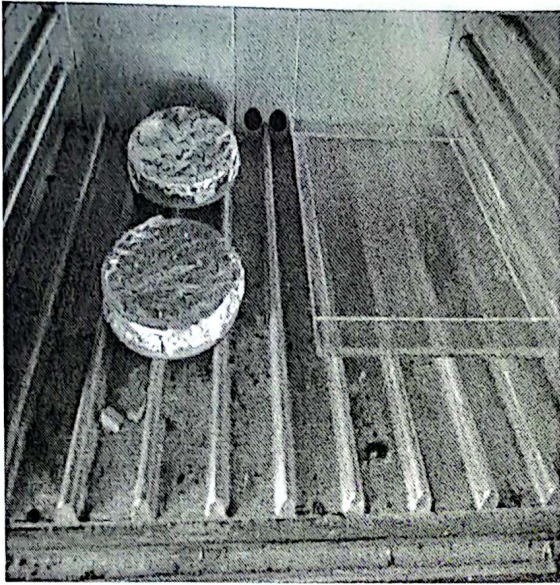
Proses *stirring* pati termoplastik
dengan selulosa



Proses penuangan larutan film
biokomposit



Proses pendiaman dan pencetakan
film biokomposit

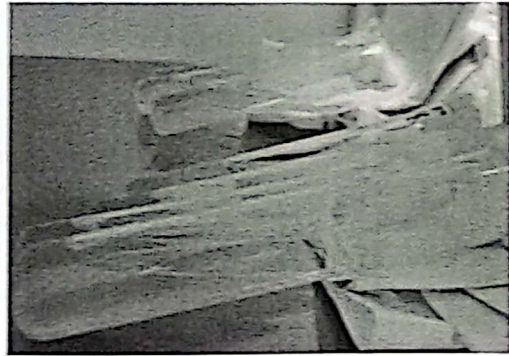


Proses pengeringan sampel dalam oven

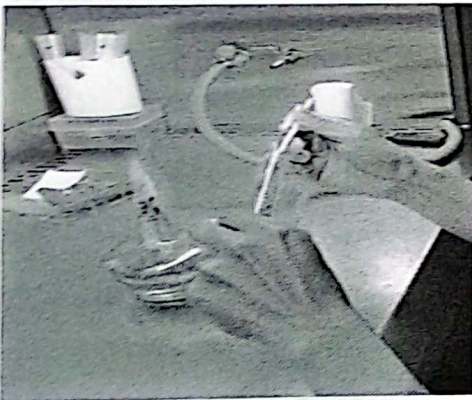
LAMPIRAN F: GAMBAR PROSEDUR KARAKTERISASI BIODEGRADASI



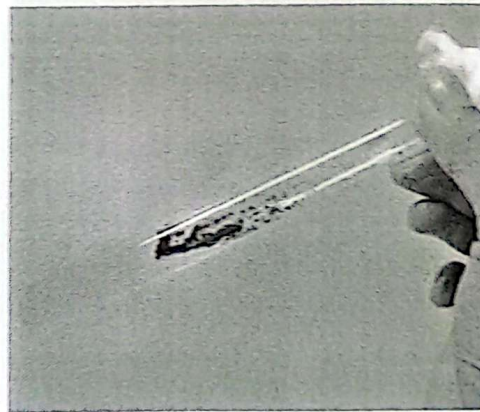
Proses pelarutan bahan agar dan bahan mineral lainnya pada labu erlenmeyer, untuk media agar.



Proses pembekuan agar pada media miring



Proses peletakkan jamur dalam tabung reaksi menggunakan jarum ose pada media agar yang sudah beku



Tabung reaksi yang telah diberikan jamur



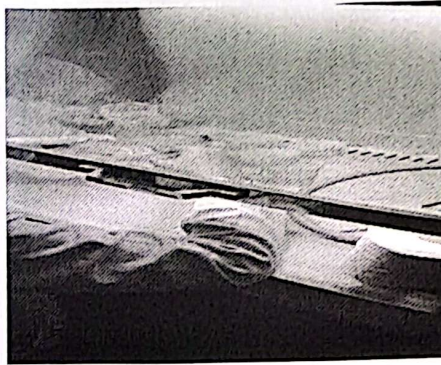
Proses pembiakan jamur pada oven / inkubator.



Jamur yang sudah berkembangbiak pada media agar



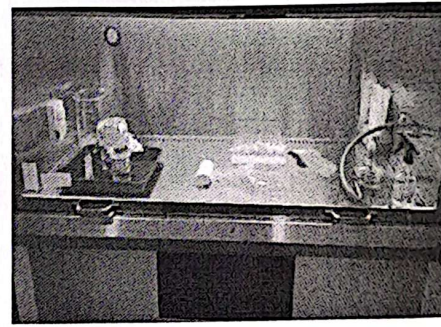
Proses *autoclave* jamur dan bahan bahan lain untuk sterilisasi



Proses peletakkan agar dan pemberian jamur pada cawan petri untuk media tanam sampel uji biodegradasi.




Proses pembekuan agar pada cawan petri di laminar



Proses UV bahan dan alat di laminar

LAMPIRAN G: HASIL KARAKTERISASI PENELITIAN

 LIPI	LABORATORIUM PUSAT PENELITIAN KIMIA LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
	HASIL ANALISA PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER HORIBA LA-960

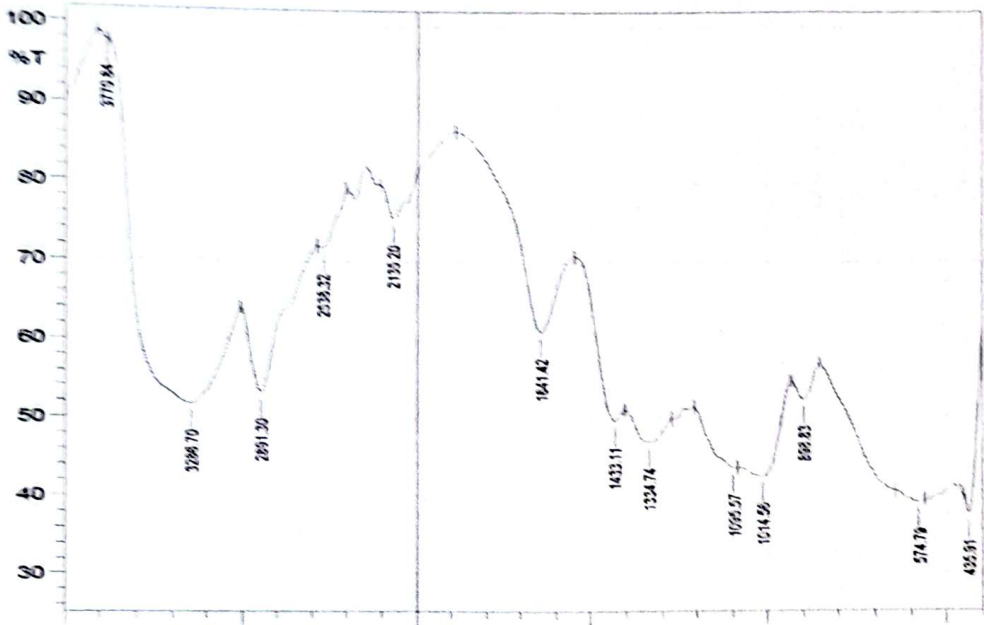
Laporan hasil pengujian

Tanggal	: 15 April 2019
Parameter Analisa	: Ukuran Partikel (Mikro)
Nomor Memo	: 0241 LPPK IV 2019

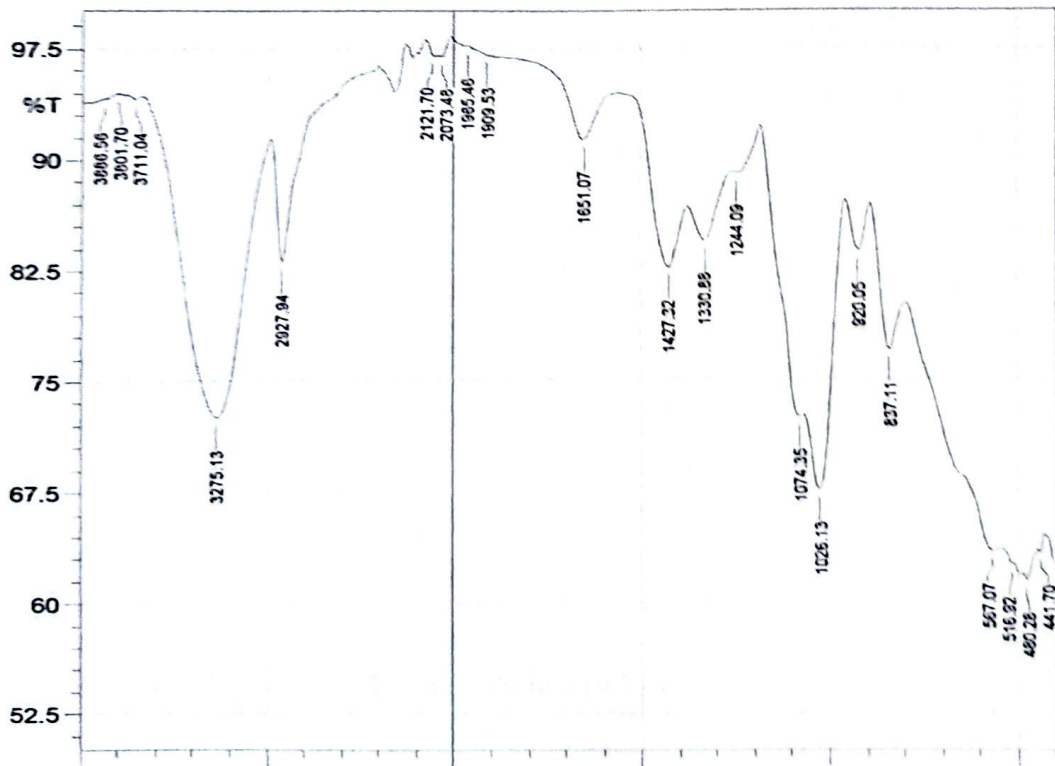
Hasil Analisa

Sampel ZnO Merck (190410-0675)			
Pengukuran 1	10,73402 μm	Pengukuran 4	10,07011 μm
Pengukuran 2	10,28414 μm	Pengukuran 5	10,46000 μm
Pengukuran 3	10,34156 μm	Pengukuran 6	10,29924 μm
Hasil rata-rata : 10,36485 \pm 0,18088 μm			
Sampel Alpha Selulosa (190410-0676)			
Pengukuran 1	125,26321 μm	Pengukuran 4	125,05863 μm
Pengukuran 2	125,77548 μm	Pengukuran 5	126,17892 μm
Pengukuran 3	125,00255 μm	Pengukuran 6	125,87012 μm
Hasil rata-rata : 125,52482 \pm 0,39501 μm			

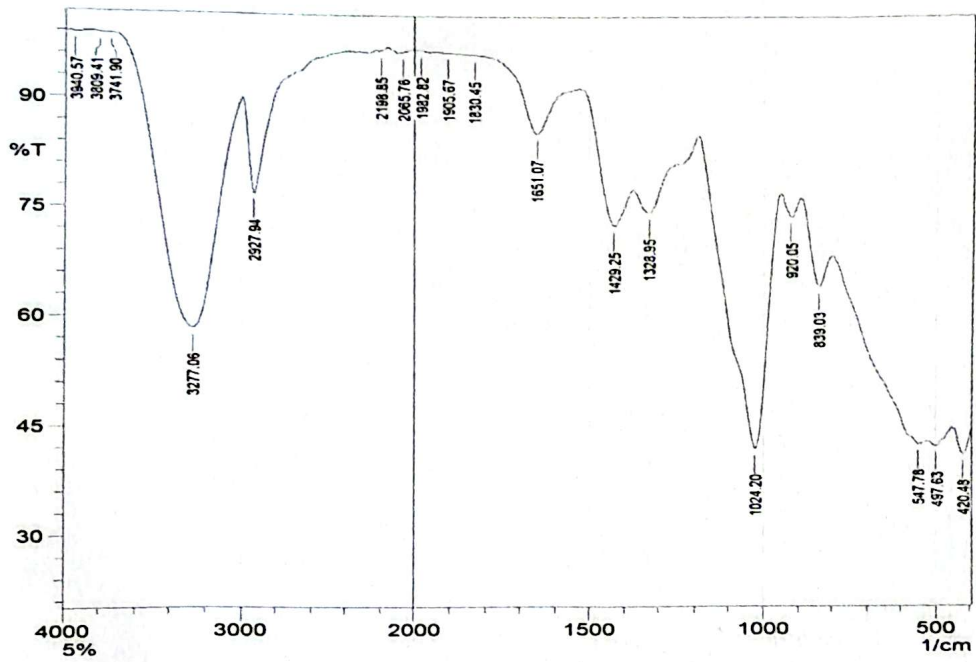
Hasil Karakterisasi PSA Alfa Selulosa



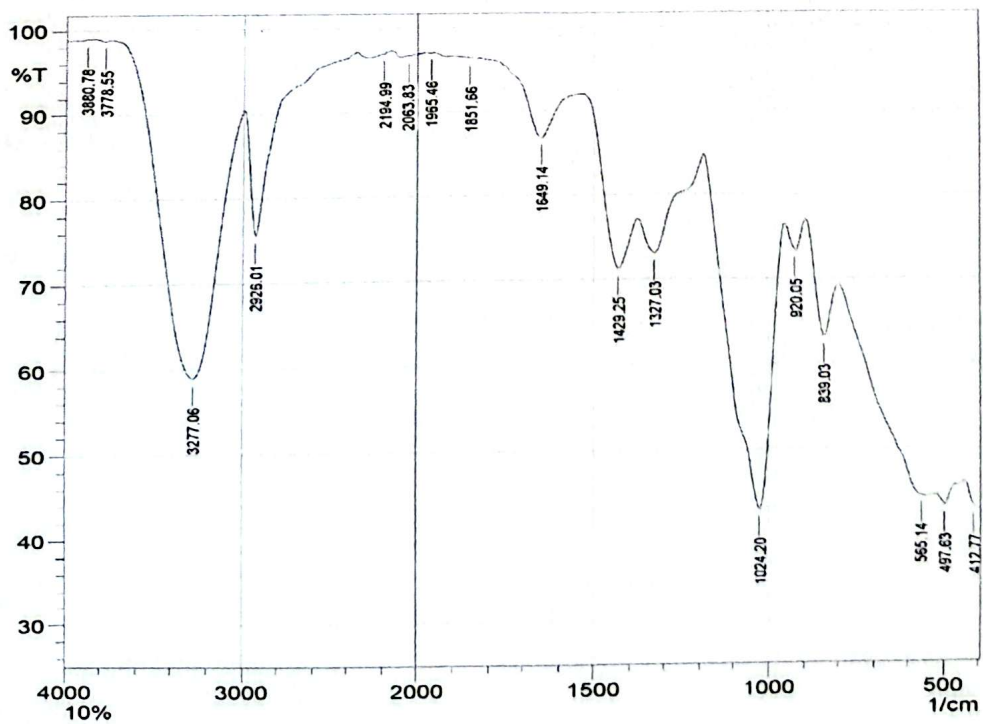
Hasil Karakterisasi FTIR Selulosa Kontrol



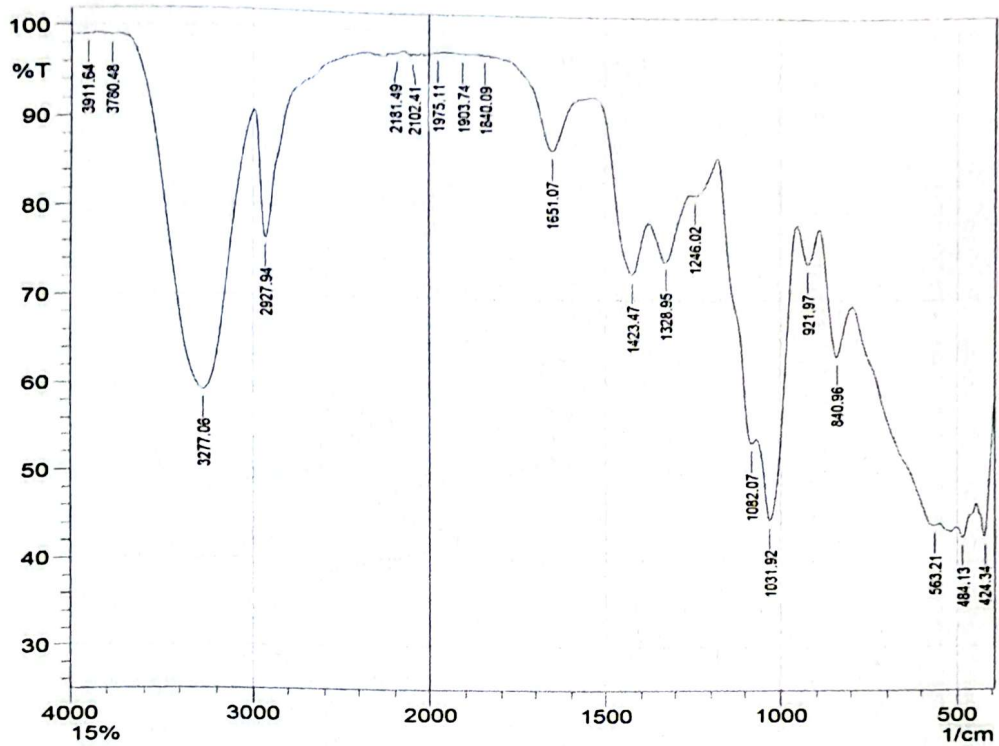
Hasil Karakterisasi FTIR Pati Termoplastik Kontrol



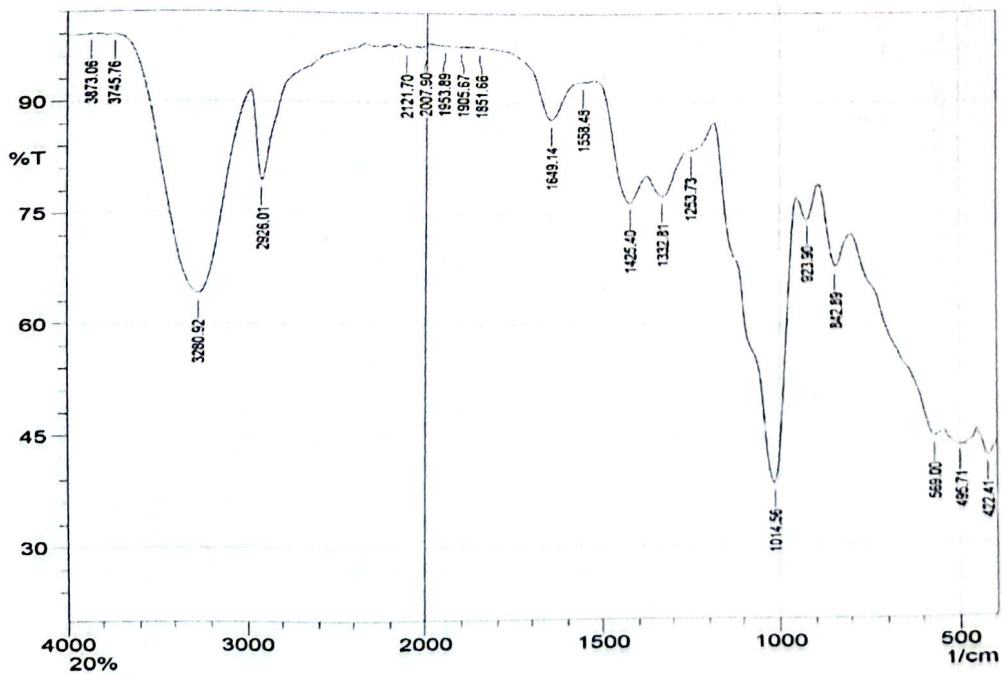
Hasil Karakterisasi FTIR Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 5%



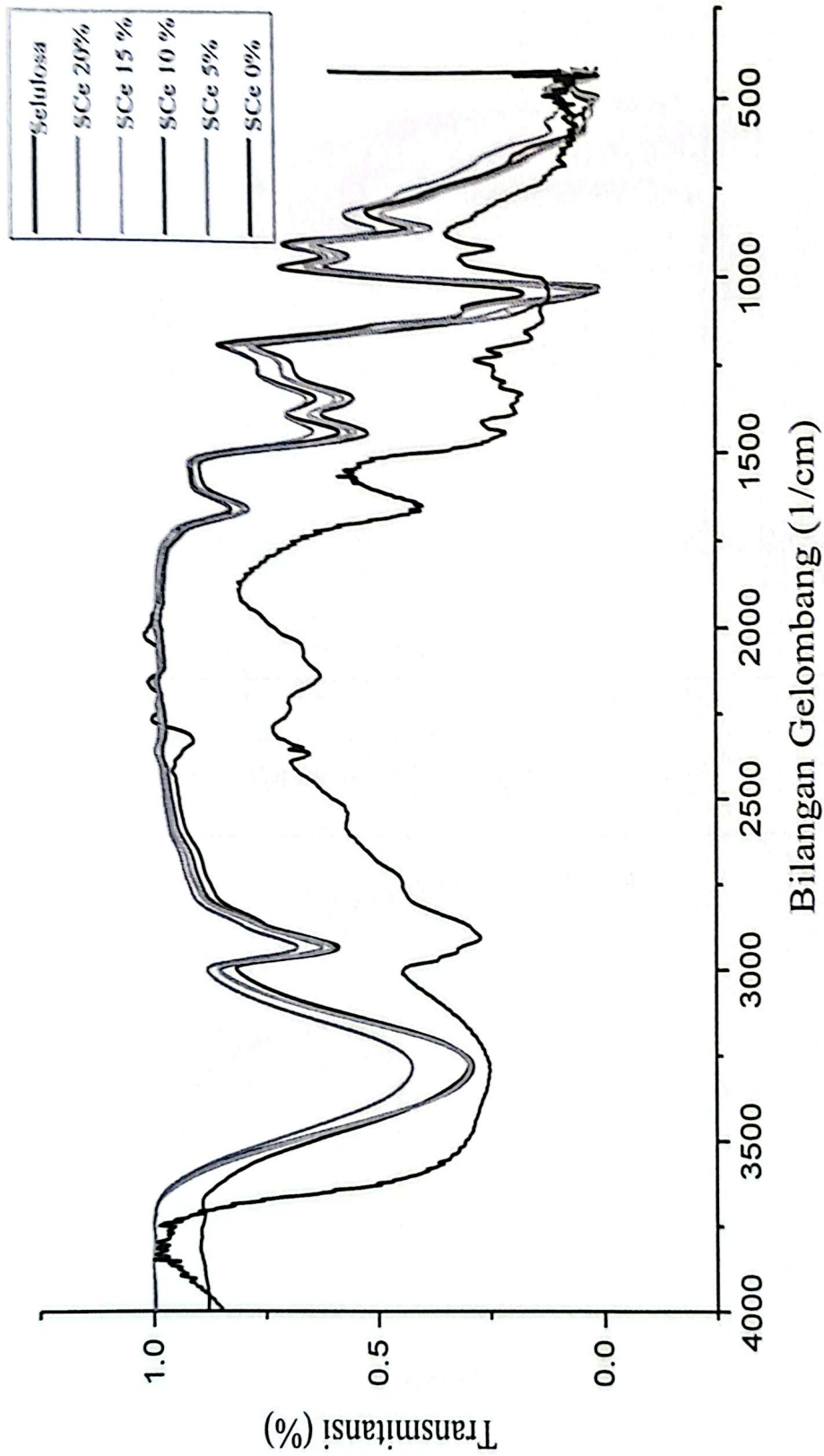
Hasil Karakterisasi FTIR Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 10%



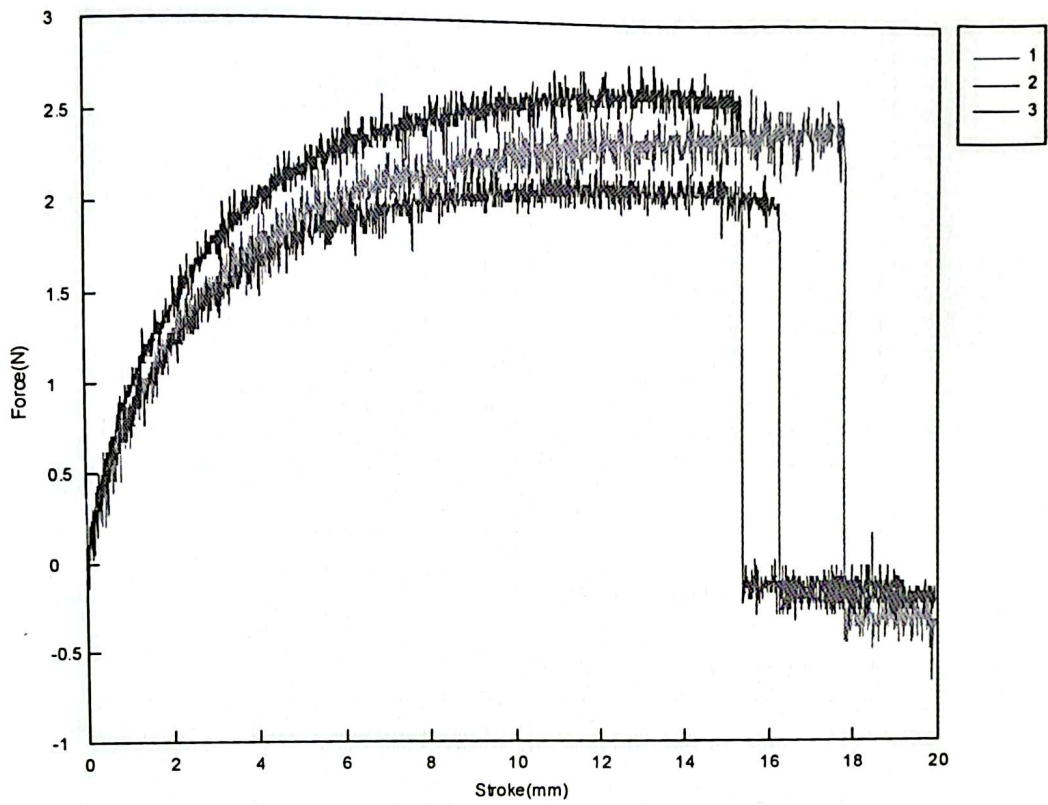
Hasil Karakterisasi FTIR Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 15%



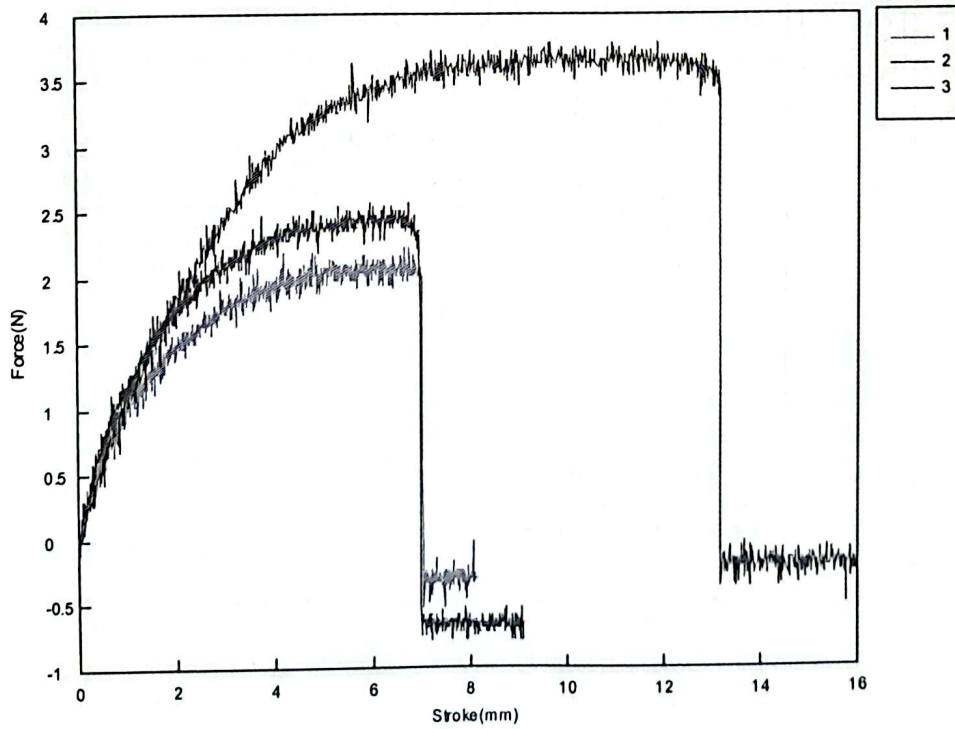
Hasil Karakterisasi FTIR Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 20%



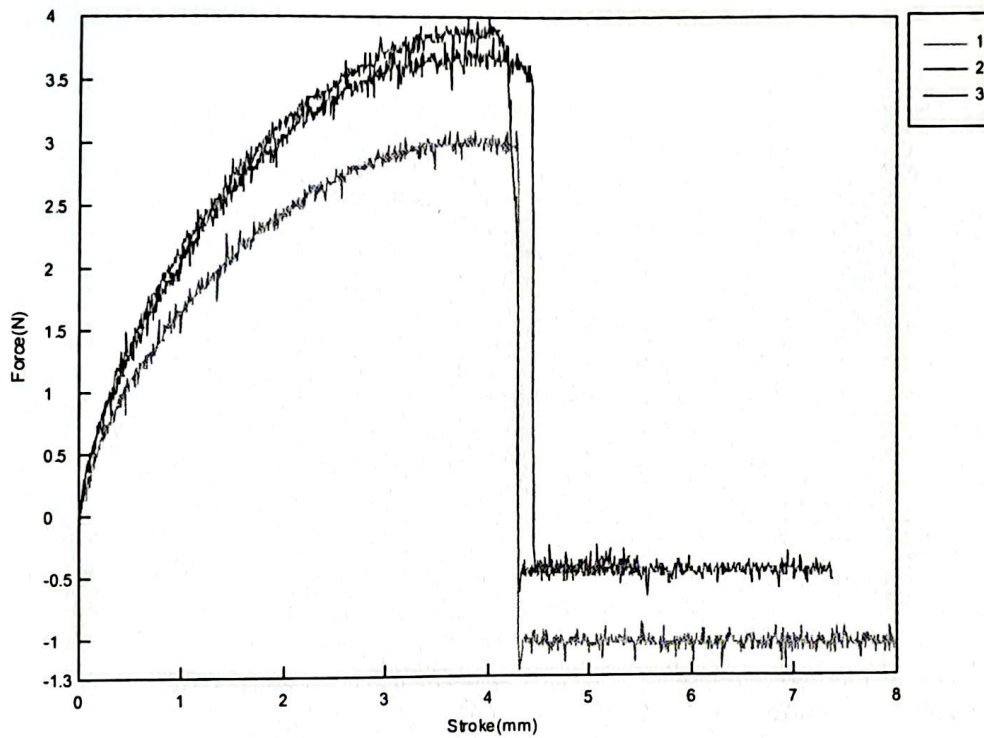
Hasil Penggabungan Karakterisasi FTIR Keseluruhan Sampel, untuk melihat peningkatan nilai transmittan dan pergeseran pita serapan pada masing-masing sampel



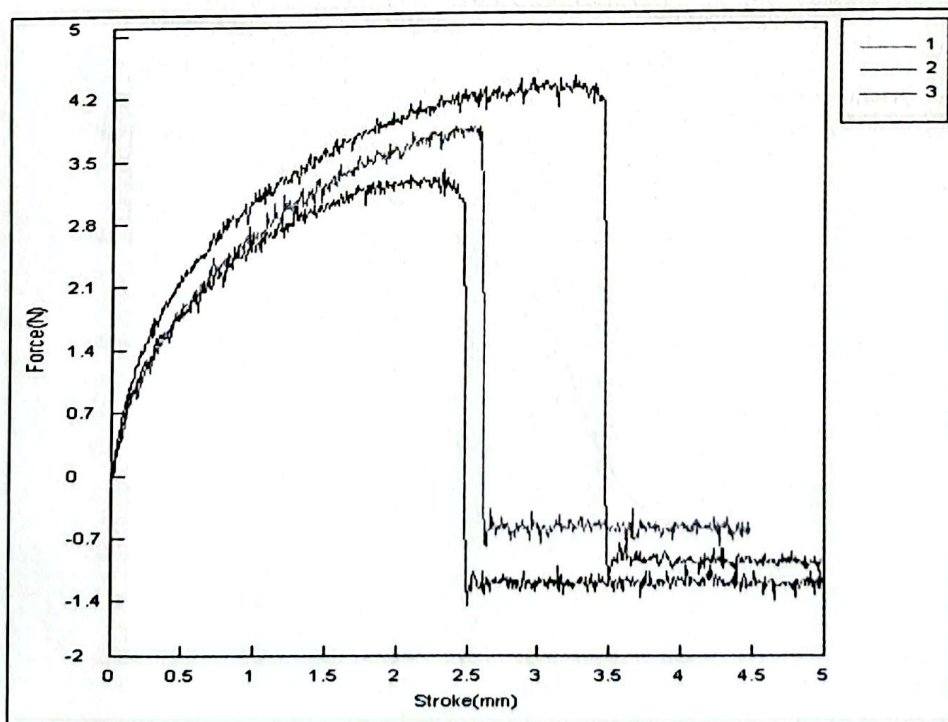
Hasil Karakterisasi UTM Sampel TPS/Selulosa 0%



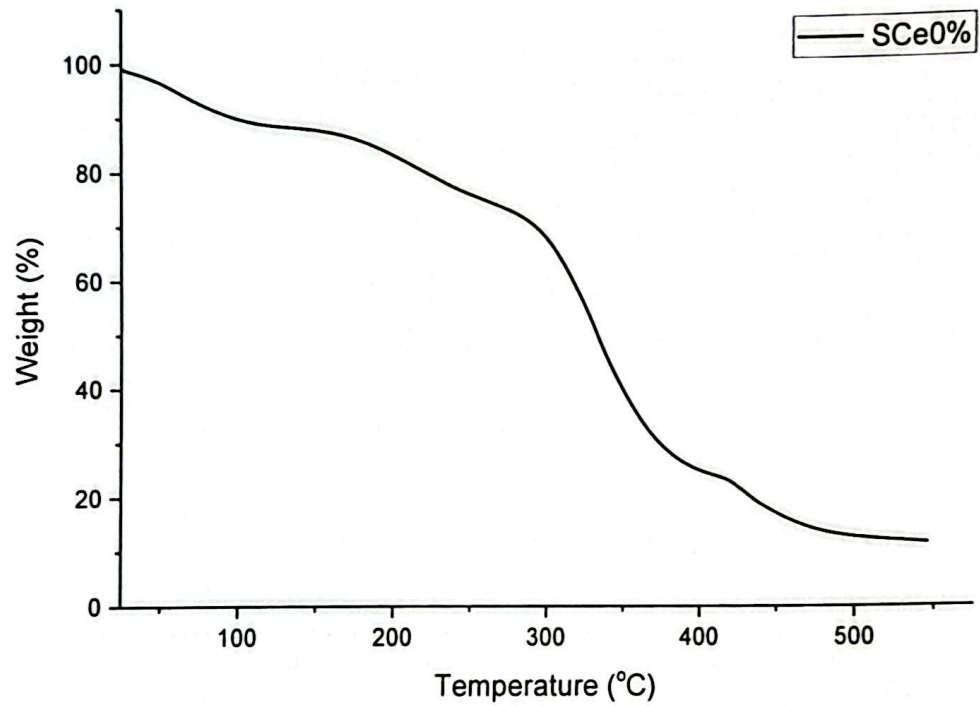
Hasil Karakterisasi UTM Sampel TPS/Selulosa 5%



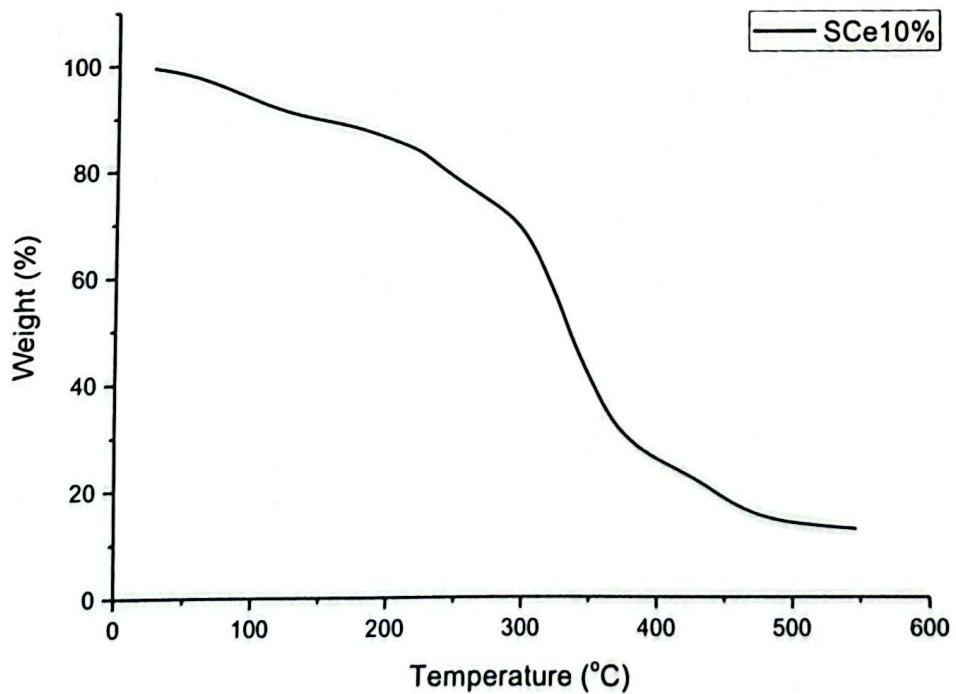
Hasil Karakterisasi UTM Sampel TPS/Selulosa 15%



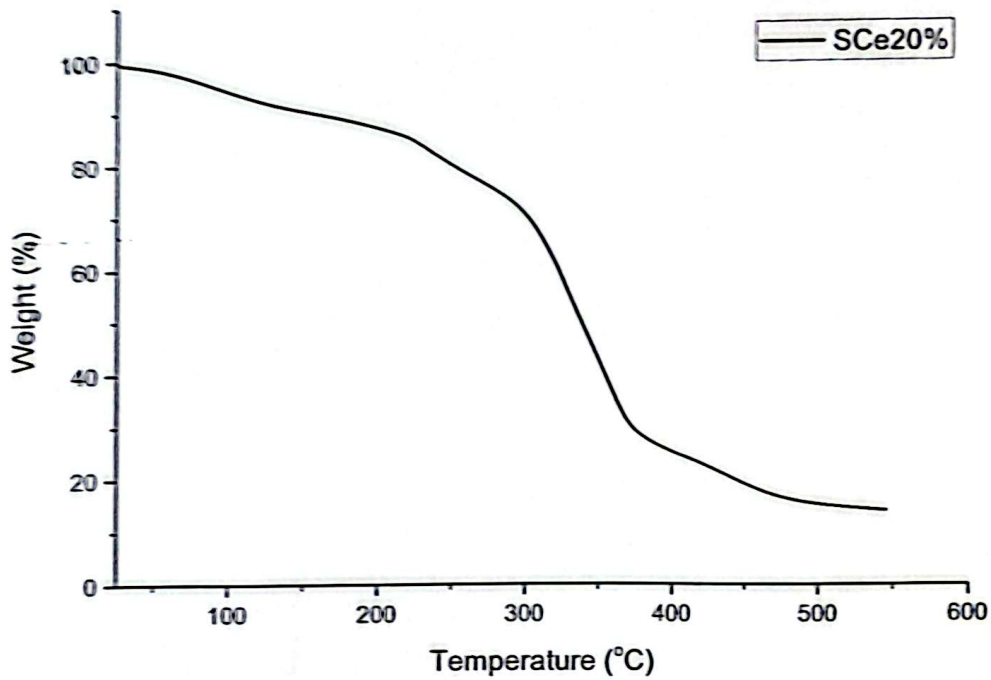
Hasil Karakterisasi UTM Sampel TPS/Selulosa 20%



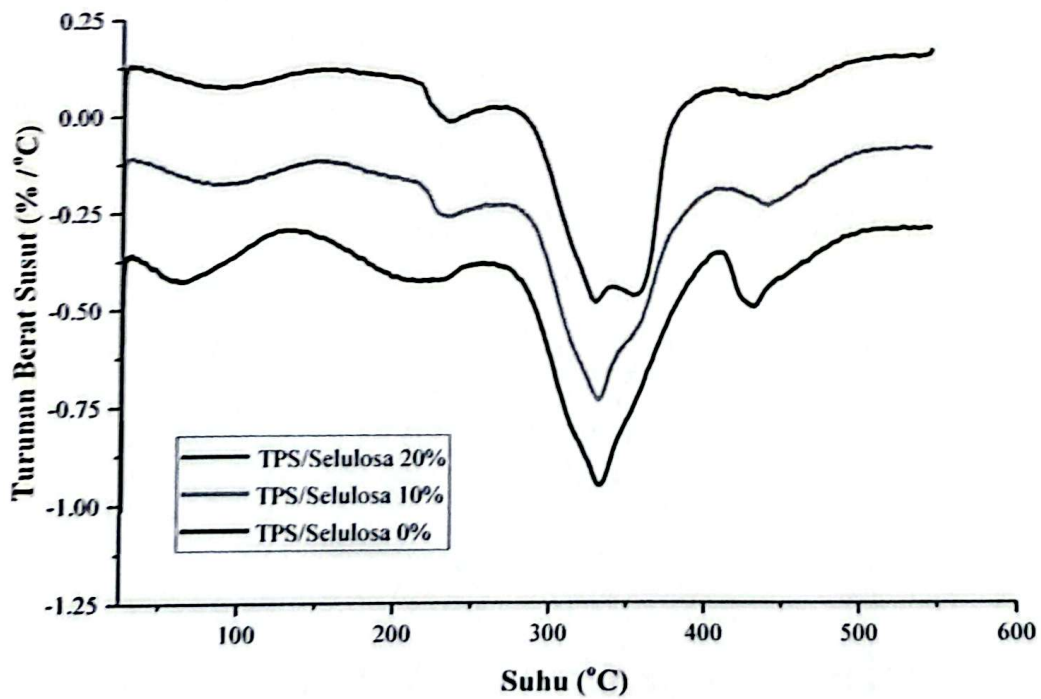
Hasil Karakterisasi TGA Film Biokomposit Pati Termoplastik



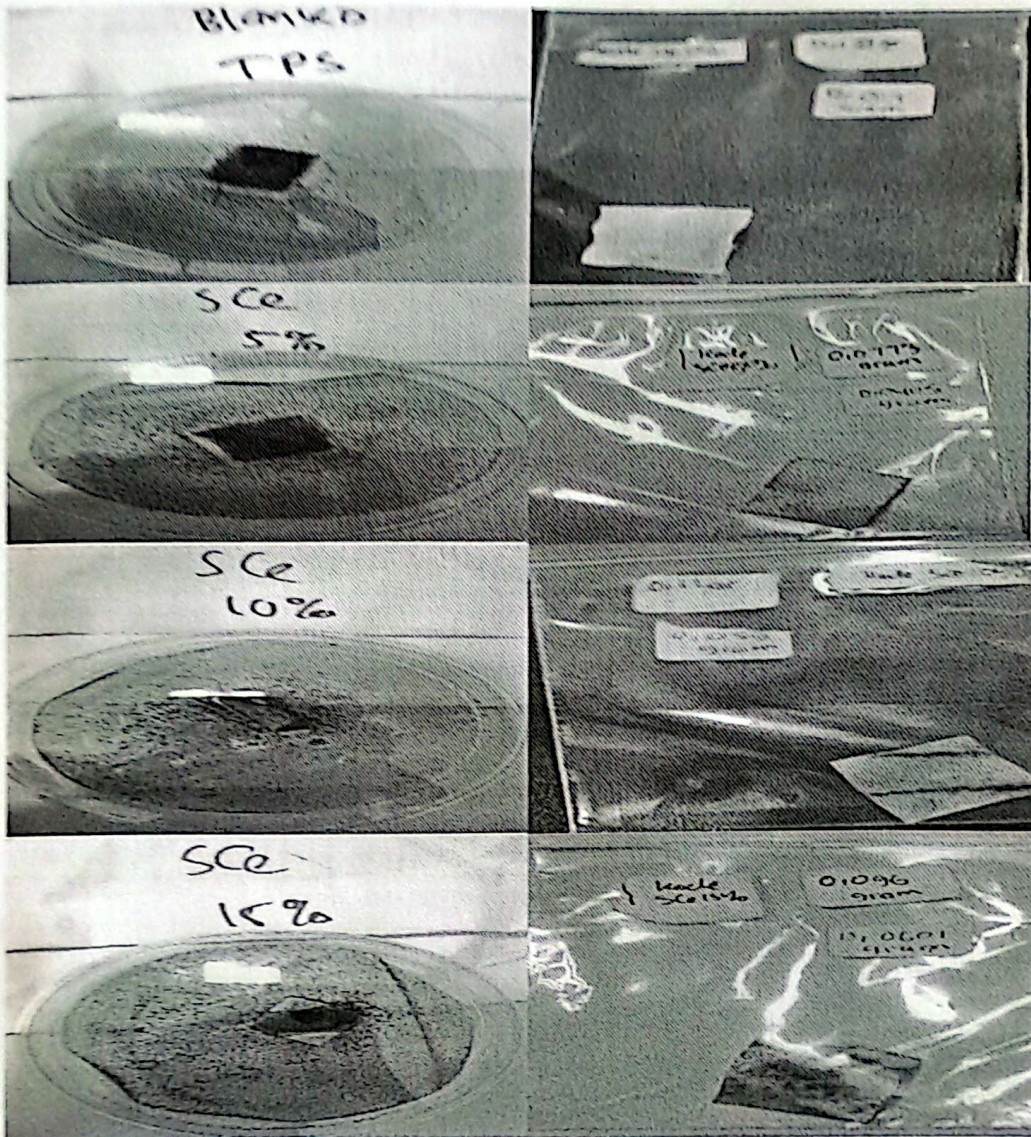
Hasil Karakterisasi TGA Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 10%



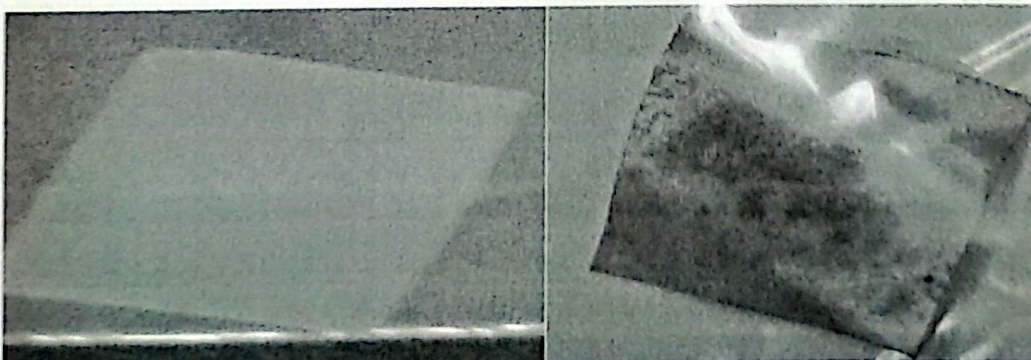
Hasil Karakterisasi TGA Film Biokomposit Pati Termoplastik Selulosa 20%



Kurva DTG Keseluruhan Film Biokomposit TPS/Selulosa



Hasil Sampel Karakterisasi Biodegradasi Sebelum dan Setelah dicuci etanol



Sampel Sebelum Uji Biodegradasi

Sampel Setelah Uji Biodegradasi

Hasil Sampel Karakterisasi Biodegradasi Sebelum dan Setelah dikubur

Hasil Perhitungan Karakterisasi Biodegradasi menggunakan MS. Excell

Kode Sampel	Berat Awal (g)	Berat Akhir (g)	Massa Hilang (%)	Residu/Sisa (%)
TPS Selulosa 0% S ₁	0.12200	0.06300	48.36065	51.63934
TPS Selulosa 5% S ₂	0.11100	0.05340	51.89189	48.10810
TPS Selulosa 10% Rata ²	0.11650	0.05820	50.12627	49.87372
TPS Selulosa 5% S ₁	0.06670	0.03400	49.02548	50.97451
TPS Selulosa 5% S ₂	0.07730	0.04050	47.60672	52.39327
TPS Selulosa 5% Rata ²	0.07200	0.03725	48.31610	51.68389
TPS Selulosa 10% S ₁	0.11000	0.05900	46.36363	53.63636
TPS Selulosa 10% S ₂	0.11100	0.05670	48.91891	51.08108
TPS Selulosa 10% Rata ²	0.11050	0.05785	47.64127	52.35872
TPS Selulosa 15% S ₁	0.09950	0.05950	40.20100	59.79899
TPS Selulosa 15% S ₂	0.09600	0.06010	37.39583	62.60416
TPS Selulosa 15% Rata ²	0.09775	0.05980	38.79841	61.20158
TPS Selulosa 20% S ₁	0.11510	0.04480	61.07732	38.92267
TPS Selulosa 20% S ₂	0.12570	0.08050	35.95863	64.04136
TPS Selulosa 20% Rata ²	0.12040	0.06265	48.51797	51.48202