

No. Dok: 6472

D 668. 411

Hid
P

LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH DOSIS RADIASI TERHADAP KARAKTERISTIK
KIMIA DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK BERBAHAN
LIMBAH TAPIOKA-METIL METAKRILAT

DI PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (PAIR)- BATAN

(November 2018 - Juli 2019)

DATA BUKU PERPUSTAKAAN

Tgl Terima 03/08/2022

No Induk Buku 542/TKP/SB/TA1



OLEH :

SARIFATUL HIDAYAH 1515026

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

JUDUL TUGAS AKHIR:

**PENGARUH DOSIS RADIASI TERHADAP KARAKTERISTIK KIMIA DAN
SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK BERBAHAN LIMBAH TAPIOKA-METIL
METAKRILAT**

DISUSUN OLEH :

NAMA : SARIFATUL HIDAYAH

NIM : 1515026

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, Juli 2019

Menyetujui,

**Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer**



Ir. Roosmariharso, MBA

NIDK. 8873590019

Dosen Pembimbing



Syaiful Ahsan, S.T., M.T

NIP. 198407162014021001

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR:

PENGARUH DOSIS RADIASI TERHADAP KARAKTERISTIK KIMIA DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK BERBAHAN LIMBAH TAPIOKA-METIL METAKRILAT

DISUSUN OLEH:

NAMA : SARIFATUL HIDAYAH

NIM : 1515026

PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, Juli 2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing



Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si

NIP. 198707022010121002



Nomor : III /SJ-IND.7.2/X/2018
Lampiran :
Perihal : Permohonan Penelitian

Jakarta, 12 Oktober 2018

Kepada
Yth. Bapak/Ibu Pimpinan
Kepala Pusat Aplikasi Teknologi ISOTOP
dan Radiasi (PATIR) Badan Tenaga Nuklir
Nasional (BATAN)
Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Pasar Jum,at
Jakarta Selatan

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.	Sarifatul Hidayah	1515026	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. Peninggal



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia
Telp. +62-21-7500709 Fax: +62-21-7691607
Home page: www.batan.go.id/pai, E-mail: pai@batan.go.id



Nomor : B-3/46 /BATAN/AIR 1.1/HM 03/11/2018
Lampiran : 1 (satu) lembar
Hal : Penelitian Tugas Akhir

6 November 2018

Yth. Pembantu Direktur I
Politeknik STMI Jakarta
JL. Letjen Suprpto, No. 26 Cempaka Putih
Jakarta 10510

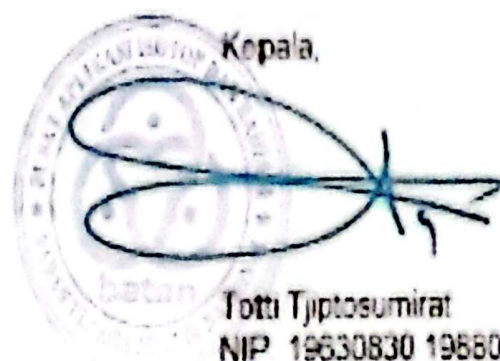
Berkenaan dengan surat Saudara Nomor : 111/SJ-IND.7.2/X/2018 tanggal 12 Oktober 2018 hal tersebut pada pokok surat, dengan ini kami beritahukan bahwa kami dapat menerima mahasiswa Politeknik STMI Jakarta untuk melaksanakan Penelitian Tugas Akhir (PTA) di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN, atas nama :

No.	Nama/NIM	Judul Penelitian	Pembimbing
1	Sanfatul Hidayah/ 1515026	Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Sifat Fisik dan Biodegradabilitas Kopolimer Limbah Tapioka-MMA	Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si

Penelitian Tugas Akhir dilaksanakan selama 4 (empat) bulan mulai tanggal 8 November 2018 sampai dengan Maret 2019, dan hasil penelitian dan kegiatan tersebut sepenuhnya menjadi Hak Kekayaan Intelektual PAIR-BATAN.













Perlu diformasikan bahwa PAIR-BATAN tidak menyediakan akomodasi dan transportasi. Terlampir kami sampaikan ketentuan bagi mahasiswa/siswa praktik, untuk disampaikan kepada yang bersangkutan.









Atas perhatian Saudara, kami mengucapkan terima kasih.

Kepala,

Totti Tjptosumirat
NIP 19630830 198803 1 002

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR

Nama : Sarifatul Hidayah
 NIM : 1515026
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Limbah Tapioka-Metil Metakrilat
 Pembimbing : Syaiful Ahsan S.T., M.T.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
08-09-2018	-	Diskusi tempat penelitian	
11-10-2018	-	Diskusi jadwal penelitian	
21-01-2019	-	Diskusi mengenai penelitian	
20-03-2019	I	Diskusi BAB I: Rumusan masalah, batasan penelitian	
08-04-2019	-	Diskusi peminjaman alat MFM	
16-04-2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik: 3 lembaran trial & error, 2 lembaran variabel kontrol.	
23-04-2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik 2 lembaran variabel kontrol, 3 lembaran variasi dosis radiasi.	
24-04-2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik 5 lembaran variasi dosis radiasi	
26-04-2019	-	Diskusi peminjaman alat FTIR	
29-04-2019	-	Diskusi hasil spektrum FTIR: sampel limbah tapioka/metil metakrilat.	
28-06-2019	I	Revisi BAB I: Latar belakang, batasan masalah.	
	ii	Revisi BAB II: Limbah tapioka, format penulisan.	
	iii	Revisi BAB III: Variabel bebas, prosedur penelitian.	
09-07-2019	I	Revisi BAB I: Latar belakang	
	ii	Revisi BAB II: Variabel tetap, variabel bebas, prosedur penelitian	
	iii	Revisi BAB III: Hasil FTIR limbah tapioka, metil metakrilat, bioplastik	
	iv	Revisi BAB IV: Hasil FTIR limbah tapioka, metil metakrilat, bioplastik	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
10-07-2019	I iv	Revisi BAB I : Latar belakang Revisi BAB iv : Hasil FTIR limbah tapaka, metil metakrilat, bioplastik setiap variasi, hasil pengujian kekuatan tarik, perpanjangan putus.	
15-07-2019	v	Revisi BAB v : Kesimpulan, Suron	
17-07-2019	iv	Revisi BAB iv : Hasil FTIR bioplastik setiap variasi.	
	iv	Revisi BAB iv : Hasil pengujian kekuatan tarik, perpanjangan putus	
	v	Revisi BAB v : Kesimpulan	
22-07-2019	iv	Revisi BAB iv : Hasil pengujian Perpanjangan putus	
	-	Revisi daftar pustaka	
	-	Revisi abstrak	
25-07-2019	iii	Revisi BAB iii : diagram alir	
	iv	Revisi BAB iv : Grafik kekuatan tarik, perpanjangan putus, standar deviasi perpanjangan putus	
	-	Revisi daftar pustaka	
	-	Revisi abstrak	
	-	Lampiran presentasi	
29-07-2019	-	Revisi daftar pustaka	
	iv	Revisi abstrak	
	iv	Revisi BAB iv : hasil dan standar deviasi kekuatan tarik, perpanjangan putus, Grafik kekuatan tarik, perpanjangan putus.	

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Sarifatul Hidayah

NIM : 1515026

Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat Mekanik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat”, maka:

- 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 pada 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 tertentu yang digunakan sebagai referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan sebagai referensi semestinya.
- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari buku atau jurnal yang tertera dalam referensi karya pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan seperti yang tertulis diatas, maka karya tulis Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Jakarta, Juli 2019



POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR

**PENGARUH DOSIS RADIASI TERHADAP KARAKTERISTIK KIMIA
DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK BERBAHAN LIMBAH
TAPIOKA-METIL METAKRILAT**

DISUSUN OLEH :

NAMA : SARIFATUL HIDAYAH
NIM : 1515026
PROGRAM STUDI : TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta pada hari Selasa, 27 Agustus 2019.

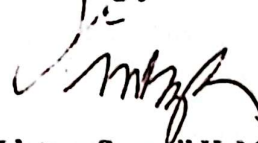
Jakarta, September 2019

Penguji I



Ir. Roosmariharso, MBA
NIDK. 8873590019

Penguji II



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

Penguji III



Ir. Parulfan Leonard M, M.M
NIP. 195702141985031002

Dosen Pembimbing



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir saya yang berjudul “Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Karakteristik Kimia dan Sifat Mekanik Bioplastik Berbahan Limbah Tapioka-Metil Metakrilat” ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusun laporan ini bertujuan guna salah satu persyaratan kelulusan jurusan Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Kementerian Perindustrian, Jakarta.

Pada kesempatan ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, bantuan, dukungan, dan dorongan semangat yang diberikan hingga terselesaikannya laporan penelitian ini. Dengan selesainya laporan ini, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, MBA selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta Kementerian Perindustrian RI.
3. Ibu Fitria Ika Aryani, S.T., M.Eng selaku Sekretaris Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
4. Bapak Syaiful Ahsan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan tenaga untuk membimbing saya sampai terselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dahrul Hidayah A.Md dan Bapak Samsudin, S.T selaku operator Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta.
6. Bapak Drs. Totti Tjiptosumirat, M.Rur.Sci selaku Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.
7. Ibu Dr. Tita Puspitasari, M.Si selaku Kepala Bidang Proses Radiasi, yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di Laboratorium Bahan Industri, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.

8. Bapak Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si selaku Pembimbing Tugas Akhir di Laboratorium Bahan Industri, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.
9. Ayah, Ibu, dan Kerabat penyusun yang tidak pernah berhenti memberikan seluruh perhatian dan dukungannya secara moril dan materil.
10. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2015 selaku kawan seperjuangan.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah memberi dukungan dan bantuan atas Laporan Tugas Akhir ini.

Penyusun juga menyadari bahwa di dalam pelaksanaan penelitian maupun penyusun Laporan Tugas Akhir ini terdapat banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan sebagai manusia yang masih dalam tahap belajar. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga laporan penyusun selanjutnya dapat menjadi lebih baik. Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat untuk memberikan informasi dalam mengembangkan teknologi penggunaan bioplastik berbahan pati alam.

Jakarta, Juli 2019

Penyusun

ABSTRAK

Limbah plastik berbasis minyak bumi merupakan limbah yang tidak dapat terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan permasalahan lingkungan. Salah satu solusi dari permasalahan tersebut yaitu dilakukan pembuatan plastik ramah lingkungan atau yang biasa disebut bioplastik. Limbah tapioka dengan penambahan metil metakrilat dapat dijadikan salah satu bahan pembuatan bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dosis radiasi terhadap karakteristik kimia dan sifat mekanik dari bioplastik limbah tapioka/metil metakrilat dengan iradiasi sinar gamma pada dosis radiasi 0 kGy; 2,5 kGy; 5 kGy; dan 10 kGy, penambahan gliserol dengan konsentrasi 40% (b/b), pencetakan lembaran, serta pengujian karakteristik kimia menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Universal Testing Machine* (UTM) untuk menguji kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Penelitian ini mendapatkan hasil yaitu hilangnya gugus *C=C stretching* pada bioplastik menunjukkan bahwa proses polimerisasi metil metakrilat telah berjalan maksimal. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy sebesar 24,70 MPa dan perpanjangan putus tertinggi pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy sebesar 12,50%.

Kata kunci: Bioplastik, Limbah Tapioka, Metil Metakrilat, Iradiasi, Karakteristik Kimia, Sifat Mekanik.

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PEMBIMBING TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR KETERANGAN DITERIMANYA TUGAS AKHIR	vi
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR	vii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ix
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR	x
KATA PENGANTAR	xi
ABSTRAK	xiii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Limbah Tapioka.....	5
2.2 Metil Metakrilat.....	6
2.3 <i>Plasticizer</i> Gliserol	8
2.4 Bioplastik.....	9
2.5 Iradiasi Sinar Gamma	11
2.6 Pengujian Karakteristik Kimia dengan Alat Uji FTIR	12

2.7	Pengujian Sifat Mekanik dengan Alat Uji UTM	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		17
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2	Alat dan Bahan	17
3.3	Variabel	18
3.4	Prosedur Pembuatan Bioplastik.....	19
3.5	Karakterisasi Sampel	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Hasil Pengujian <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	23
4.2	Hasil Pengujian <i>Universal Testing Machine</i> (UTM).....	31
BAB V PENUTUP		36
5.1	Kesimpulan.....	36
5.2	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN A		
LAMPIRAN B		
LAMPIRAN C		
LAMPIRAN D		
LAMPIRAN E		
LAMPIRAN F		

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Limbah Tapioka	5
Gambar II.2	Polimerisasi Metil Metakrilat	7
Gambar II.3	Rumus Struktur Gliserol	9
Gambar II.4	Struktur Amilosa dan Amilopektin	10
Gambar II.5	Skema Komponen Dasar Spektrofotometer FTIR	13
Gambar II.6	Bentuk Spesimen ASTM D638-14 Tipe V	15
Gambar III.1	Prosedur Penelitian	20
Gambar IV.1	Spektra Limbah Tapioka	25
Gambar IV.2	Spektra Metil Metakrilat	26
Gambar IV.3	Spektra FTIR Bioplastik 0 kGy	28
Gambar IV.4	Spektra FTIR Bioplastik 2,5 kGy	29
Gambar IV.5	Spektra FTIR Bioplastik 5 kGy	30
Gambar IV.6	Spektra FTIR Bioplastik 10 kGy	31
Gambar IV.7	Pengaruh Dosis Radiasi terhadap Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat	32
Gambar IV.8	Pengaruh Dosis Radiasi terhadap Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat	34
Gambar IV.9	Kurva Tegangan-Regangan Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat	35

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Komposisi Limbah Tapioka	6
Tabel II.2	Spesifikasi Metil Metakrilat	6
Tabel II.3	Spesifikasi Polimetil Metakrilat	8
Tabel II.4	Sifat Fisik Gliserol	9
Tabel II.5	Penelitian Pembuatan Film Menggunakan Bahan Baku Pati	10
Tabel II.6	Jenis Ikatan, Tipe Getaran, dan Bilangan Gelombang	13
Tabel II.7	Dimensi Spesimen ASTM D638	15
Tabel III.1	Variasi Dosis Radiasi dan Massa Limbah Tapioka	18
Tabel IV.1	Perbandingan Hasil FTIR Limbah Tapioka	23
Tabel IV.2	Perbandingan Hasil FTIR Metil Metakrilat	25
Tabel IV.3	Hasil Pengujian Limbah Tapioka, Metil Metakrilat, dan Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat Variasi Dosis Radiasi	27
Tabel IV.4	Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat	32
Tabel IV.5	Hasil Uji Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat	33

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini permasalahan lingkungan di Indonesia maupun di dunia adalah limbah plastik. Kebutuhan plastik sebagai bahan pengemas makanan atau barang semakin lama semakin meningkat. Hal ini dikarenakan plastik mempunyai keunggulan yaitu memiliki sifat yang stabil, tahan air, ringan, transparan, fleksibel, dan kuat, Namun, bahan baku utama dalam memproduksi plastik konvensional berasal dari minyak bumi yang keberadaannya semakin menipis dan tidak dapat diperbarui. Selain itu, plastik tidak dapat dihancurkan dengan cepat dan alami oleh mikroba dalam tanah. Hal ini yang menyebabkan pencemaran lingkungan berupa tanah, air, dan udara serta penumpukan sampah plastik. Dampak negatif dari penggunaan plastik sintetis telah mendorong para peneliti untuk membuat plastik yang dapat terurai secara alami, yang disebut bioplastik (Haryanto dan Fena, 2017). Bioplastik adalah jenis plastik yang dapat diperbarui karena menggunakan bahan yang berasal dari tanaman seperti pati, selulosa, lignin, dan hewan seperti kasein, protein, dan lipid.

Salah satu bahan baku utama bioplastik adalah pati. Pati digunakan karena merupakan bahan yang dapat terdegradasi di alam menjadi senyawa-senyawa yang ramah lingkungan. Pati diperoleh dengan cara mengekstrak bahan nabati yang mengandung karbohidrat seperti singkong (ubi kayu), jagung, kentang, sorgum, dan beras. Kelebihan dari plastik berbahan dasar pati dibandingkan dengan plastik konvensional adalah ramah lingkungan, tidak beracun, dan sumbernya berlimpah di alam. Pemanfaatan limbah dalam pembuatan plastik yang mudah terurai sangat besar karena hasil produksi limbah di Indonesia sangat besar. Biasanya limbah tapioka digunakan untuk pakan ternak dan sisanya dibiarkan membusuk. Hal ini akan menghasilkan polutan yang dapat merusak lingkungan. Kandungan sisa pati dan selulosa yang terdapat pada limbah tapioka masih potensial untuk dimanfaatkan secara optimal. Pada proses pembuatan bioplastik perlu penambahan *plasticizer* agar plastik yang dihasilkan lebih elastis dan fleksibel. Gliserol adalah salah satu

plasticizer yang baik untuk mengurangi ikatan hidrogen internal sehingga akan meningkatkan jarak intermolekuler (Sinaga dkk., 2014)

Metil metakrilat merupakan salah satu senyawa akrilat yang memiliki karakteristik umum yaitu stabilitas terhadap UV dan sifat mekanik yang baik (Nasution dkk., 2014). Pada penelitian Iskandar (2011) penggunaan iradiasi sinar gamma bertujuan untuk kopolimerisasi dengan dosis radiasi 2,5 kGy; 5kGy; 7,5kGy dan 10 kGy pada limbah tapioka yang ditambahkan metil metakrilat dan karet alam dibuat oleh pencetakan *hotpress* untuk menentukan sifat mekanik dan degradabilitas bioplastik. Sedangkan pada penelitian Asni dkk. (2015) pengujian karakteristik kimia dilakukan pada plastik *biodegradable* berbahan ampas singkong dengan penambahan polimer sintesis polivinil asetat dan *plasticizer* gliserol, didapatkan gugus OH, C-H, C=C, C=N, dan C-O-C dari hasil pengujian.

Berdasarkan penelitian yang sudah ada, dapat digunakan pengujian karakteristik kimia dan pengujian mekanik untuk limbah tapioka yang sudah ditambahkan metil metakrilat agar dapat terlihat pengaruh dosis radiasi pada bioplastik berbahan baku limbah tapioka dan diharapkan akan menghasilkan produk yang lebih baik dari sifat asalnya, sehingga akan diperoleh bioplastik yang dapat bersaing dengan plastik konvensional berbasis minyak bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, rumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dosis radiasi terhadap karakteristik kimia bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat?
2. Bagaimana pengaruh dosis radiasi terhadap sifat mekanik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang digunakan yaitu limbah tapioka yang berasal dari desa Ciluar, Bogor, Jawa Barat dan metil metakrilat yang diperoleh dari PT Pardic Jaya dengan konsentrasi 75% dari massa limbah tapioka. Bahan penunjang

plasticizer berupa gliserol dari *Merck* dengan konsentrasi 40% dari massa campuran limbah tapioka-metil metakrilat.

2. Dosis radiasi bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat yaitu 0 kGy; 2,5 kGy; 5 kGy dan 10 kGy dengan laju dosis 7,90 kGy/jam.
3. Jenis sinar radiasi yang digunakan yaitu sinar gamma.
4. Karakterisasi bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat meliputi pengujian sifat mekanik yang menghasilkan kekuatan tarik dan perpanjangan putus serta penentuan karakteristik kimia berupa gugus fungsi dengan analisis FTIR.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh dosis radiasi terhadap karakteristik kimia bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.
2. Mengetahui pengaruh dosis radiasi terhadap sifat mekanik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini memberikan informasi tambahan dasar teori tentang sifat metil metakrilat dan limbah tapioka.
2. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pembuatan bioplastik.
3. Penelitian ini memberikan informasi mengenai pengaruh dosis radiasi terhadap karakteristik kimia dan sifat mekanik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.

1.6 Sistematika Penulisan

Bagian ini merupakan Gambaran secara keseluruhan. Di dalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut, yaitu sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

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

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tujuan umum mengenai Limbah tapioka, Metil metakrilat, beberapa penelitian yang pernah ada.

BAB III: METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, variabel penelitian, prosedur penelitian (persiapan penelitian dan metode penelitian), dan karakterisasi sampel.

BAB IV: HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data hasil pengukuran, analisa data yang sudah diolah menjadi grafik, pembahasan terhadap hasil pengukuran dan analisa 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 Limbah Tapioka

Singkong (*Manihot utilissima*) yang sering disebut ubi kayu merupakan bahan baku berbagai produk industri, seperti industri makanan (tepung tapioka), farmasi, tekstil, dll. Hasil samping dari proses pengolahan singkong menjadi tepung tapioka adalah limbah tapioka atau yang biasa disebut onggok. Limbah tapioka belum dimanfaatkan secara maksimal dan mempunyai nilai ekonomis. Pemanfaatan limbah tapioka saat ini hanya terbatas untuk pakan ternak atau dibuang sebagai limbah. Selain itu, limbah tapioka mempunyai potensi sebagai polutan karena menimbulkan bau asam dan busuk (Mursyid dkk., 2008). Oleh karenanya limbah tapioka dapat dijadikan alternatif dalam pembuatan bioplastik sehingga mengurangi pencemaran lingkungan.



Gambar II.1 Limbah tapioka

Banyaknya limbah tapioka yang dihasilkan dari proses pembuatan tapioka berkisar 5-10% dari bobot bahan bakunya dengan kadar air 20%. Limbah tersebut termasuk limbah organik yang masih banyak mengandung karbohidrat, protein, dan gula. Oleh karena itu, sangat mungkin dilakukan modifikasi terhadap senyawa karbohidrat yang terdapat pada limbah tapioka.

Limbah tapioka mempunyai sifat fisik yang kurang menguntungkan diantaranya elastisitas, kekerasan, stabilitas mekanik, dan peka terhadap kelembaban. Komposisi kimia limbah tapioka beragam tergantung mutu bahan

baku, efisiensi proses ekstraksi, iklim dan topografi, kehilangan selama pengambilan pati dan pengeringan limbah tapioka itu sendiri (Muryani dkk., 2012). Presentase kandungan senyawa yang terdapat pada limbah tapioka dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Komposisi Limbah Tapioka

Komposisi	Persentase (%)
Pati	38,00
Serat kasar	34,58
Lemak	1,09
Protein	2,88
Kadar air	16,55
Abu	6,16

Sumber: Wijayanti dkk. (2012)

2.2 Metil Metakrilat

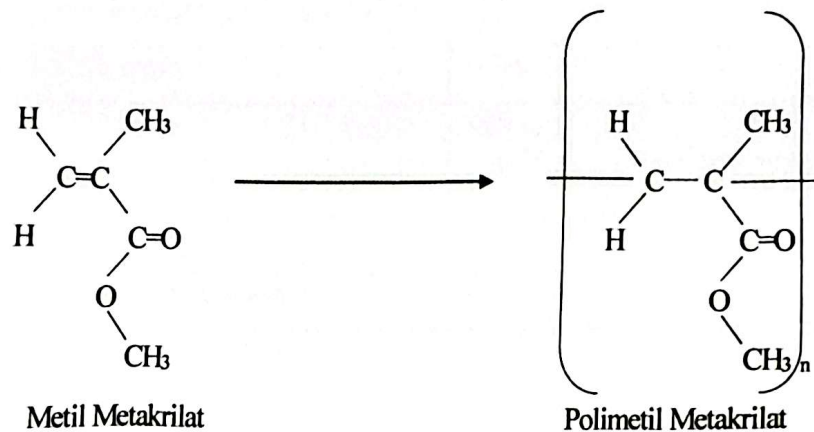
Metil metakrilat merupakan kelompok monomer dengan struktur kimia secara utama ditentukan R- sebagai gugus samping. Monomer metakrilat berbeda dengan akrilat, karena mempunyai gugus metil pada posisi α dari gugus vinil. Gugus metil ini memberikan stabilitas, kekuatan, dan kekerasan pada bentuk monomer metakrilat ester. Metil metakrilat merupakan cairan tidak berwarna, mudah menguap dengan bau tajam, memiliki massa molar 100,121 g/mol, cairan mudah terbakar dan dapat larut dalam pelarut organik tetapi tidak larut dalam air. Spesifikasi metil metakrilat dapat dilihat pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Spesifikasi Metil Metakrilat

Sifat	Keterangan
Wujud fisik	Cairan tidak berwarna
Rumus molekul	$(C_5H_8O_2)_n$
Berat molekul	100,121 g/mol
Kerapatan	0,939 g/cm ³
Titik didih	100-101°C
Titik leleh	-48°C

Sumber: www.columbuschemical.com (2012)

Reaksi polimerisasi adisi senyawa metil metakrilat akan menghasilkan homopolimer polimetil metakrilat. Reaksi polimerisasi metil metakrilat dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II.2 Polimerisasi Metil Metakrilat

Sumber: Rochmadi dan Ajar (2015)

Polimetil metakrilat biasanya dikenal dengan nama dagang *Plexiglas* atau *Lucite*. Polimetil metakrilat adalah termoplastik transparan, tahan cuaca, dan memiliki kekuatan mekanik yang baik (Ebewele, 2000). Polimetil metakrilat ini memiliki sifat tembus cahaya dan tidak berwarna, sehingga memungkinkan polimer ini digunakan dalam aplikasi transmisi cahaya. Polimetil metakrilat digunakan sebagai pengganti gelas seperti lensa optik (kacamata), alat peraga, bahan konstruksi, lampu penerang, tegel dinding, lampu gantung, tutup lampu dan kaca pelindung pada pesawat terbang (Surdia dan Shinroku, 1985).

Polimetil metakrilat adalah polimer yang transparan namun keras dengan ketahanan yang sangat baik terhadap paparan radiasi ultraviolet. Polimetil metakrilat juga memiliki ketahanan gores yang sangat tinggi (Mark, 1999). Polimetil metakrilat termasuk jenis polimer amorf dengan temperatur transisi gelas (T_g) pada 105-107°C (Ibeh, 2011). Berikut spesifikasi dari polimetil metakrilat tercantum dalam Tabel II.3.

Tabel II.3 Spesifikasi Polimetil Metakrilat

Sifat	Keterangan
Wujud fisik	Cairan tidak berwarna

Sifat	Keterangan
Rumus molekul	$(C_5H_8O_2)_n$
Kerapatan	1,17-1,20 g/cm ³
Temperatur transisi gelas (Tg)	105 °C
Titik didih	200°C
Titik leleh	165°C
Indeks refraksi	1,49
<i>Tensile strength</i>	48 – 67 MPa
<i>Elongation at break</i>	2 – 10%

Sumber: Mark (1999)

2.3 *Plasticizer* Gliserol

Plasticizer merupakan bahan dengan berat molekul rendah yang ditambahkan ke bahan polimer. *Plasticizer* pada umumnya memiliki titik didih yang tinggi dengan berat molekul rata-rata sekitar 300-600 dan rantai karbon linier atau siklik. Penggunaan *plasticizer* dapat mengurangi kerapuhan dan meningkatkan fleksibilitas pada produk bioplastik. Gliserol (1,2,3-propanatriol) adalah senyawa yang tidak berwarna dan cairan kental yang tidak berbau. Gliserol merupakan senyawa golongan alkohol polihidrat dengan tiga buah gugus hidroksil dalam satu molekul dan bersifat polar. Gliserol merupakan senyawa gliserida yang paling sederhana, dengan hidroksil yang bersifat hidrofilik dan higroskopik (Yurida dkk., 2013).

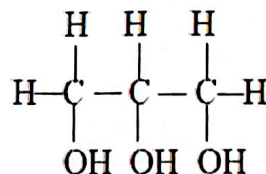
Gliserol merupakan komponen yang menyusun berbagai macam lipid, termasuk trigliserida. Gliserol dapat larut sempurna dalam air dan alkohol namun tidak larut dalam minyak. Penggunaan *plasticizer* gliserol secara tunggal lebih efektif untuk memperbaiki sifat mekanik bioplastik. Anita dkk. (2013) menyatakan bahwa *plasticizer* merupakan bahan organik dengan berat molekul rendah yang dapat menurunkan kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas polimer. Peningkatan fleksibilitas bioplastik dikarenakan terjadi pengurangan kekuatan tarik intermolekular antara rantai polimer (Maran dkk., 2013). Rumus struktur gliserol dapat dilihat pada Gambar II.3.

Gliserol merupakan molekul hidrofilik dengan berat molekul rendah, mudah masuk ke dalam rantai polimer dan dapat menyusun ikatan hidrogen dengan gugus reaktif protein. Sifat-sifat tersebut yang menyebabkan gliserol cocok digunakan sebagai *plasticizer*. Molekul-molekul gliserol yang digunakan sebagai *plasticizer* terletak diantara rantai ikatan biopolimer sehingga interaksi antar molekul biopolimer semakin berkurang. Hal ini menyebabkan berkurangnya kuat tarik bioplastik (Coniwanti dkk., 2014). *Plasticizer* yang biasa digunakan adalah poliols, oligosakarida, gliserol, dan sorbitol (Awwaly dkk., 2010). Sifat fisik gliserol dapat dilihat pada Tabel II.4

Tabel II.4 Sifat Fisik Gliserol

Sifat	Keterangan
Massa molekul	92,09382 g/mol
Densitas	1,261 g/cm ³
Titik leleh	18,2°C
Titik didih	290°C

Sumber: Pagliaro (2010)



Gambar II.3 Rumus Struktur Gliserol

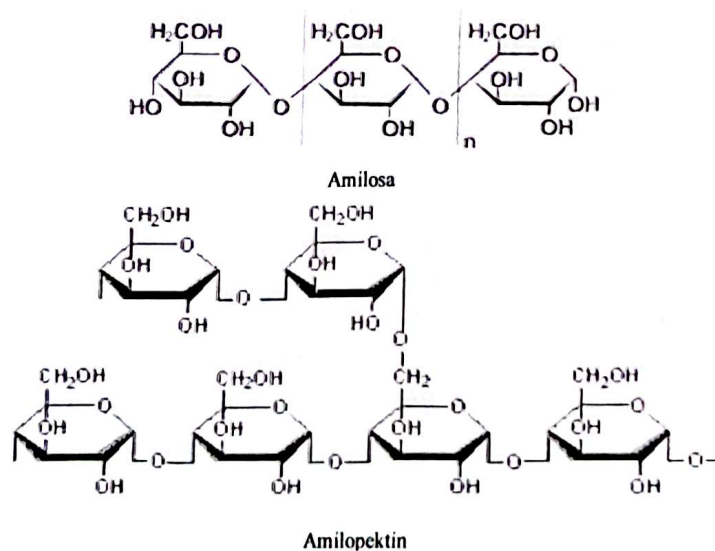
Sumber: Ummah (2013)

2.4 Bioplastik

Bioplastik merupakan salah satu jenis plastik yang hampir keseluruhannya terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui. Bahan yang dapat diperbaharui ini memiliki biodegradabilitas yang tinggi sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan bahan pembuat bioplastik. Bahan baku bioplastik berasal dari senyawa-senyawa tanaman seperti pati, selulosa, dan lignin serta bahan-bahan dari hewan seperti kasein, protein, dan lipid (Wang dkk., 2013). Kelebihan bioplastik yaitu tidak mudah ditembus uap air sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengemas. Bioplastik adalah plastik atau polimer yang secara alami dapat mudah terdegradasi

baik melalui serangan mikroorganisme maupun oleh cuaca (kelembapan dan radiasi ultraviolet). Sifat bioplastik jauh lebih aman bagi lingkungan, namun sifat fisiknya juga tidak kalah baik dari plastik non-*biodegradable* yakni kuat dan elastis.

Pati dengan rumus kimia $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan homopolimer glukosa dengan ikatan α -glikosidik yang banyak terdapat pada tumbuhan terutama pada biji-bijian dan umbi-umbian. Pati tersusun atas komponen utama yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan suatu glukukan α -(1-4) linier, sedangkan amilopektin dengan ikatan cabang membentuk glukukan α -(1-6) (Bastioli, 2005). Umumnya pati mengandung 20-30% amilosa dan 70-80% amilopektin (Saptorahardjo, 2016). Struktur amilosa dan amilopektin dapat dilihat pada Gambar II.4. Granula pati memiliki ukuran 1-100 mikron dengan struktur padatan kristalin maupun amorf. Konstituen kristal (ukuran 9-10 nm) utamanya dibentuk oleh amilopektin, sedangkan bagian amorfnya tersusun oleh amilosa maupun amilopektin (Saptorahardjo, 2016). Pada umumnya, suhu transisi gelas (T_g) pati berkisar antara 60-80 °C dengan kandungan air 12-14% berat (Saptorahardjo, 2016).



Gambar II.4 Struktur Amilosa dan Amilopektin

Sumber: Saptorahardjo (2016)

Penelitian penggunaan pati sebagai bahan baku pembuatan bioplastik telah banyak dilakukan. Beberapa penelitian menggunakan pati sebagai bahan baku pembuatan bioplastik yang ditunjukkan pada Tabel II.5.

Tabel II.5 Penelitian Pembuatan Bioplastik Menggunakan Bahan Baku Pati

No.	Nama Peneliti	Metode	Hasil
1.	Rahmayetty dkk. (2018)	<i>Blending</i>	Penambahan PLA pada pati singkong meningkatkan kuat tarik, perpanjangan putus, dan ketahanan air pada bioplastik. Sifat mekanik bioplastik PLA/pati yang paling tinggi diperoleh pada perbandingan 40/60.
2.	Coniwanti dkk. (2014)	<i>Melt intercalation</i>	Semakin tinggi konsentrasi dari variasi kitosan, meningkatkan kuat tarik plastik <i>biodegradable</i> berbanding terbalik dengan perpanjangan putus.
3.	Handayani (2013)	<i>Casting</i>	Berdasarkan hasil morfologi pencampuran PLA dan pati singkong tidak homogen.
4.	Bourtoom dan Chinan (2008)	<i>Casting</i>	Penambahan kitosan pada film pati beras dapat meningkatkan kuat tarik dan menurunkan perpanjangan putus.
5.	Peng dkk. (2012)	<i>Extruder</i>	Penambahan <i>plasticizer</i> PEG 200 pada PLA/TPS dapat menurunkan kuat tarik dan meningkatkan perpanjangan putus.
6.	Asni dkk. (2015)	<i>Casting</i>	Karakteristik kuat tarik plastik <i>biodegradable</i> berbahan ampas singkong-PVA cenderung meningkat seiring bertambahnya kandungan pati dalam campuran.
7.	Nurlita dkk. (2017)	<i>Melt intercalation</i>	Campuran onggok-kitosan memiliki karakteristik ketahanan air (<i>water uptake</i>) yang baik.
8.	Zhang dan Sun (2004)	<i>Extruder</i>	Karakteristik mekanik dari campuran PLA/pati gandum (55/45) meningkat secara signifikan dengan 1% MA dan 10% L101, menghasilkan kuat tarik 52,4 MPa dan perpanjangan putus 4,1% mendekati sifat mekanik dari PLA murni.

2.5 Iradiasi Sinar Gamma

Radiasi adalah energi yang berpindah atau pancaran energi. Perpindahan tersebut dapat melalui partikel yang bergerak dalam ruang, dipancarkan dalam suatu berkas atau melalui gerak gelombang. Sedangkan iradiasi adalah penggunaan energi dari suatu radiasi secara sengaja untuk maksud tertentu. Zat yang dapat memancarkan iradiasi disebut radioaktif yaitu zat yang mempunyai inti atom yang tidak stabil, sehingga zat tersebut mengalami transformasi spontan (peluruhan)

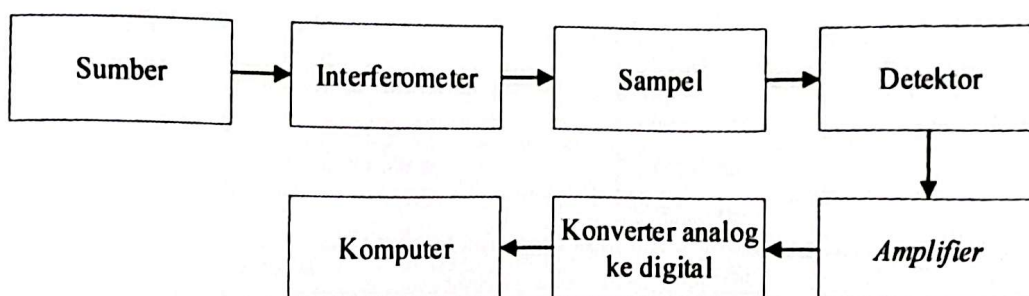
menjadi zat dengan inti atom yang lebih stabil dengan mengeluarkan partikel atau sifat sinar tertentu.

Iradiasi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu iradiasi panas dan iradiasi pengion. Iradiasi panas menggunakan frekuensi rendah, misalnya inframerah sedangkan iradiasi pengion menggunakan frekuensi tinggi, misalnya sinar alfa, beta, dan gamma (Sinaga, 2000). Dalam spektrum radiasi elektromagnetik, radiasi sinar gamma terletak dekat ujung energi tinggi bersama sinar X. Energi yang berkaitan dengan radiasi sinar gamma cukup tinggi untuk memecah ikatan molekul dan mengionisasi atom, tetapi tidak cukup tinggi untuk mempengaruhi struktur inti atom (menghindari induksi radioaktivitas) (Vienna, 2004). Radiasi sinar gamma diperlukan guna menginisiasi terjadinya polimerisasi.

2.6 Pengujian Karakteristik Kimia dengan Alat Uji FTIR

Pengujian karakteristik kimia bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dari material yang akan diuji. Alat uji yang digunakan adalah *fourier transform infrared* (FTIR). Spektroskopi FTIR yaitu metode spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi *fourier* untuk menganalisis spektrum yang dihasilkan (Anam dkk., 2007). Pada dasarnya spektroskopi FTIR adalah sama dengan spektroskopi IR dispersi, yang membedakannya yaitu pengembangan pada sistem optiknya sebelum berkas sinar inframerah melewati sampel. Spektroskopi FTIR memiliki kelebihan dibandingkan dengan spektroskopi IR jenis dispersi yaitu dapat digunakan pada semua frekuensi dari sumber cahaya simultan sehingga analisis dapat dilakukan dengan cepat dan sensitifitas dari metoda FTIR lebih besar daripada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melewati celah (Stuart, 2004).

Komponen utama FTIR ditunjukkan secara skematik pada Gambar II.3. Radiasi yang muncul dari sumber dilewatkan melalui interferometer ke sampel sebelum mencapai detektor. Setelah amplifikasi sinyal, dimana kontribusi frekuensi tinggi telah dieliminasi oleh filter, data dikonversi ke bentuk digital oleh konverter analog ke digital dan ditransfer ke komputer untuk transformasi *fourier*.



Gambar II.3 Skema Komponen Dasar Spektrofotometer FTIR

Sumber: Stuart (2004)

Dalam spektroskopi inframerah, frekuensi dinyatakan dalam bilangan gelombang (*wavenumbers*) dengan satuan bilangan gelombang adalah sepersentimeter ($1/\text{cm}$ atau cm^{-1}). Satuan yang digunakan untuk bilangan gelombang dalam spektroskopi inframerah adalah mikrometer (μm). Spektrum inframerah dapat dibagi menjadi 3 daerah utama, yaitu daerah inframerah dekat ($<400 \text{ cm}^{-1}$), daerah inframerah tengah ($4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$) dan daerah inframerah jauh ($13000\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$) (Stuart, 2004). Berikut beberapa jenis ikatan, tipe getaran, dan bilangan gelombang terdapat pada Tabel II.6.

Tabel II.6 Jenis Ikatan, Tipe Getaran, dan Bilangan Gelombang

Jenis Ikatan	Tipe Getaran	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
C-H	Alkana (Uluran)	3000-2850
	-CH ₃ - (Tekukan)	1450 dan 1375
	-CH ₂ - (Tekukan)	1465
	Alkena (Uluran)	3100-3000
	Aromatik (Uluran)	3150-3050
	Alkuna (Uluran)	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	Aldehyd	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
S=O	Sulfoksida	1050
	Sulfonat, Sulfonil Klorida, Sulfat, Sulfonamida	1375-1300 dan 1350-1140
	Florida	1400-1000
C-X	Klorida	785-540
	Bromida, Iodida	<667

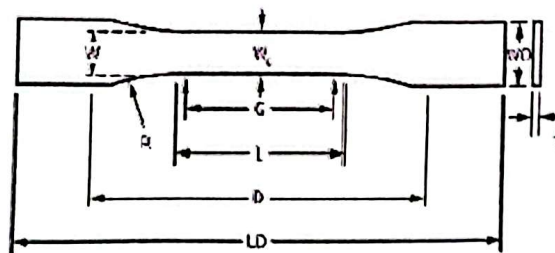
Sumber: Pavia dkk. (2009)

2.7 Pengujian Sifat Mekanik dengan Alat Uji UTM

Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui karakteristik atau sifat suatu material yang dapat menentukan kualitas dari material tersebut terhadap beban yang diberikan (Izaak dkk., 2015). Sifat mekanik terdiri dari kekuatan, keuletan, kekerasan, ketangguhan, dll. Pengujian sifat mekanik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).

UTM merupakan mesin yang berfungsi untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material seperti karet, besi, logam, baja maupun plastik. Mesin *manual forming* digunakan untuk mengubah biji plastik atau serbuk menjadi pelat (lembaran). Setelah itu, *pneumatic specimen punch* digunakan untuk mengubah pelat (lembaran) menjadi bentuk *dogbone* sesuai dengan dimensi spesimen dari standar uji yang digunakan.

Bentuk penampang spesimen uji dapat berbentuk lingkaran atau persegi bilangan. Spesimen uji harus memenuhi standar dan spesifikasi dari ASTM D638 yang dapat dilihat pada Gambar II.4. Standarisasi dari bentuk spesimen uji dimaksudkan agar retak atau patahan terjadi di daerah *gage length*. Spesimen terdiri dari dua penampang dan pengukur. Diameter penampang lebih besar agar mudah digenggam sedangkan diameter pengukur lebih kecil sehingga deformasi dapat terjadi didalam bagian pengukur (bagian tengah) (Davis, 2004). Dimensi spesimen ASTM D638 Tipe V dapat dilihat pada Tabel II.7.



Gambar II.5 Bentuk Spesimen ASTM D638-14 Tipe V

Sumber: ASTM International D638-14 (2014)

Keterangan:

- W = Lebar bagian yang sempit
- WO = Lebar keseluruhan
- RO = Radius luar
- G = Panjang pengukuran
- R = Radius potongan
- L = Panjang bagian yang sempit
- LO = Panjang keseluruhan

Tabel II.7 Dimensi Spesimen ASTM D638

Dimensi	Tipe V (mm)
W (lebar bagian yang sempit)	3,18
L (panjang bagian yang sempit)	9,53

Dimensi	Tipe V (mm)
LO (panjang keseluruhan)	63,5
G (panjang pengukuran)	7,62
D (jarak antar grip)	25,4
Ketebalan	< 4

Sumber: ASTM International D638-14 (2014)

Kekuatan tarik merupakan parameter yang menunjukkan seberapa banyak tegangan berupa tarikan yang dapat diterima suatu material sebelum akhirnya putus (Silvia dkk., 2015). Nilai kekuatan tarik dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\sigma_m = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

σ_m = Kekuatan tarik (MPa)

F = Gaya maksimum (N)

A = Luas benda uji (mm²)

Perpanjangan putus (*elongation at break*) yaitu persentase perpanjangan benda uji saat ditarik hingga putus. Nilai perpanjangan putus dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$E_b = \frac{L - L_o}{L_o} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

E_b = Perpanjangan putus (%)

L = Panjang benda uji saat putus (mm)

L_o = Panjang benda uji mula-mula (mm)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bidang Proses Radiasi Bagian Bahan Industri, Pusat Aplikasi Isotop Radiasi (PAIR) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jl. Lebak Bulus No.49 Pasar Jumat, Jakarta Selatan pada bulan November 2018 s.d Maret 2019. Proses pencetakan lembaran bioplastik dilakukan di Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta pada bulan April 2019. Adapun pencetakan spesimen dan pengujian sifat mekanik dilakukan pada bulan Mei 2019 di Laboratorium Bidang Proses Radiasi Bagian Bahan Industri, BATAN.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Gelas kimia
2. Gelas ukur
3. Neraca digital
4. *Hotplate*
5. *Magnetic stirrer*
6. Pipet
7. Spatula
8. Botol ampule 150 ml
9. Cawan petri
10. Plastik zip lock
11. Oven
12. Jangka sorong
13. Penggaris
14. Plastik OHP
15. Sarung tangan karet dan rajut
16. *Irradiator gamma cell*
17. *Manual forming machine*
Cometech QC-601A
18. Cetakan lembaran bioplastik
19. Pisau cetakan spesimen ASTM
D638 tipe V
20. *Pneumatic Specimen Punch*
21. FTIR IR *Prestige* Shimadzu
22. UTM Stograph-R1 Toyoseiki
dengan kapasitas 100 kg

Gambar alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Bahan

1. Limbah tapioka
2. Metil metakrilat
3. Gliserol
4. Akuades

Gambar bahan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

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

- Waktu pencampuran bahan limbah tapioka dan metil metakrilat : 1 jam
- Waktu pencampuran sampel limbah tapioka-metil metakrilat dengan gliserol dan akuades : 1 jam
- Waktu pencetakan bioplastik : 10 menit
- Konsentrasi metil metakrilat : 75% dari massa limbah tapioka
- Konsentrasi gliserol : 40 % dari massa campuran limbah tapioka-metil metakrilat
- Suhu *manual forming machine* : 110°C
- Suhu pendinginan *manual forming machine* : 60°C
- Suhu oven : 60°C
- Tekanan *manual forming machine* : 110 kgf/cm²
- Massa limbah tapioka : 20 gram

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang divariasikan pada tiap penelitian agar didapat hasil yang diinginkan. Variabel bebas dosis radiasi yang dapat dilihat pada Tabel III.1 memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain.

Tabel III.1 Variasi Dosis Radiasi dan Massa Limbah Tapioka

Sampel Bioplastik Limbah Tapioka- Metil Metakrilat	Limbah Tapioka (gram)	Dosis Radiasi (kGy)
1	20	0
2	20	2,5
3	20	5
4	20	10

3.4 Prosedur Pembuatan Bioplastik

1. Pencampuran Bahan

Proses pencampuran limbah tapioka dan metil metakrilat dilakukan menggunakan *magnetic stirrer hotplate* dengan kecepatan 250 rpm. Dimana sebelum pencampuran, bahan baku ditimbang terlebih dahulu dengan komposisi yang telah ditentukan. Pencampuran ini membutuhkan waktu selama ± 1 jam.

2. Iradiasi Sinar Gamma

Campuran Limbah tapioka-metil metakrilat yang sudah homogen selanjutnya dimasukan ke dalam botol *ampule* 150 ml dan ditutup rapat. Setelah itu, dilakukan proses iradiasi menggunakan *irradiator gamma cell* dengan dosis radiasi 2,5 kGy; 5 kGy dan 10 kGy.

3. Pencampuran *Plasticizer* Gliserol

Sampel limbah tapioka-metil metakrilat yang telah di iradiasi selanjutnya dilarutkan dengan akuades dan ditambahkan gliserol sebanyak 40% dari massa campuran limbah tapioka-metil metakrilat, kemudian dilakukan pencampuran dengan menggunakan *magnetic stirrer hotplaste* dengan kecepatan 250 rpm. Pencampuran ini membutuhkan waktu ± 1 jam.

4. Pengeringan Dalam Oven

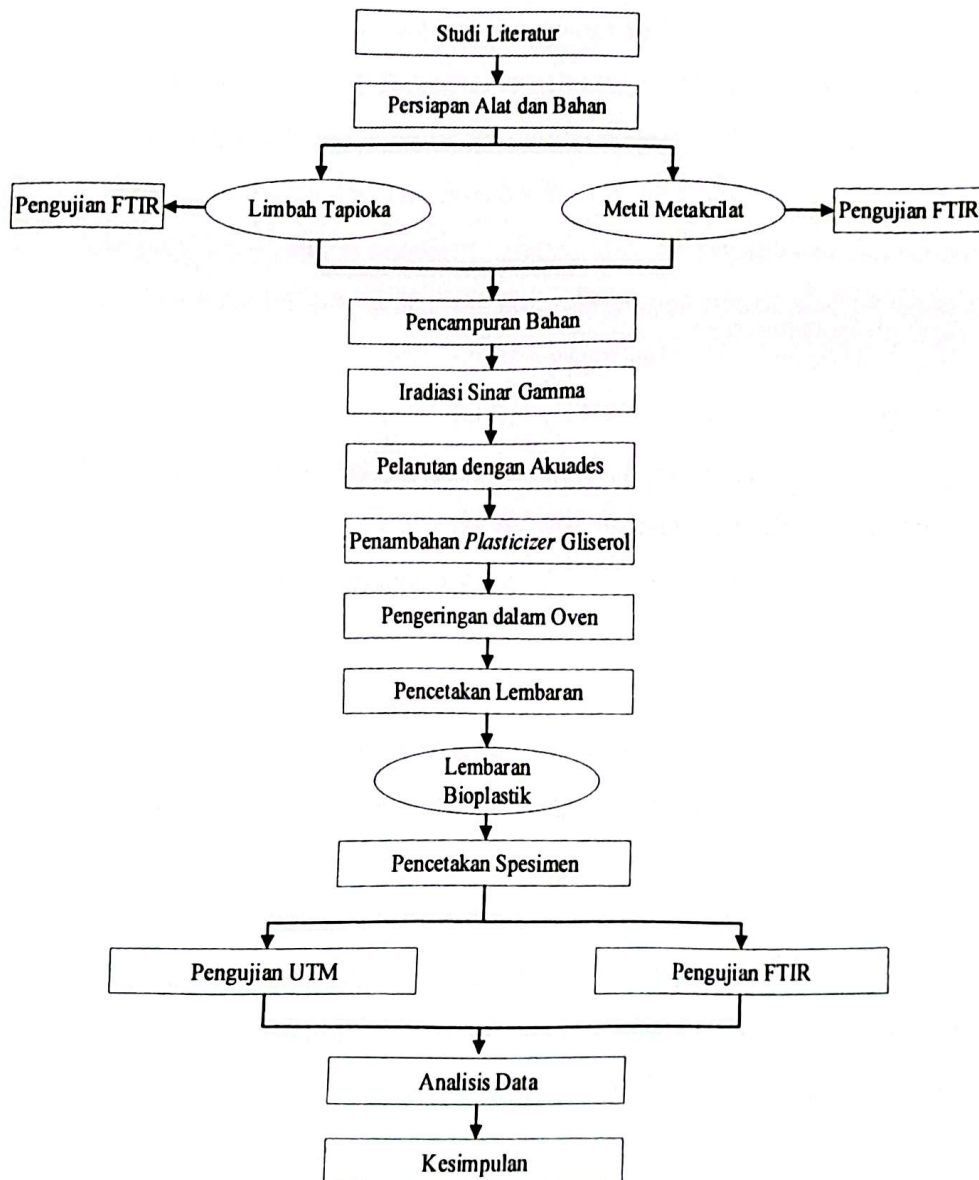
Setelah itu sampel diletakkan pada cawan petri untuk dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 60°C. Pengeringan dilakukan agar menghilangkan kandungan air yang terdapat pada sampel.

5. Pencetakan Lembaran

Pencetakan lembaran bioplastik ini dilakukan dengan menggunakan *Manual Forming Machine* pada suhu 110°C dan tekanan 110 kgf/cm² selama 10 menit.

6. Pencetakan Spesimen

Lembaran yang sudah dicetak kemudian dibentuk spesimen dengan menggunakan *pneumatic spesimen punch* dengan pisau cetakan spesimen tipe V yang berbentuk *dog bone*. Spesimen ini akan diuji dengan analisis sifat mekanik. Gambar III.1 menunjukkan prosedur penelitian pembuatan bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.



Gambar III.1 Prosedur Penelitian

3.5 Karakterisasi Sampel

3.5.1 Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi organik serta anorganik dari bahan baku yang dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) IR *Prestige* SHIMADZU Gambar dari FTIR dapat dilihat pada lampiran A, yang terdapat pada laboratorium industri BATAN dengan prosedur sebagai berikut:

- Hubungkan kabel instrument dengan sumber listrik
- Nyalakan instrumen FTIR dengan menekan tombol *power on*, tunggu hingga proses inisiasi selesai.
- Hidupkan komputer, lalu klik ikon *Spektrum*.
- Sebelum melakukan pemindaian sampel, lakukan pemindaian *background* untuk menghilangkan hasil pemindaian lingkungan pada saat pemindaian sampel dengan cara mengklik *collect background*.
- Sampel dicampurkan dengan KBr (Kromium Bromida) dalam mortar hingga tercampur, letakkan sampel yang sudah dipreparasi pada tempat sampel, kemudian lakukan pemindaian sampel dengan cara mengklik *collect* sampel, pastikan parameter pemindaian yang dilakukan benar, tunggu hingga proses pemindaian selesai.
- Apabila diperlukan, lakukan perbandingan spektrum yang diperoleh dari hasil pemindaian sampel dengan spektrum polimer standar yang ada hasil data (*library*) dan lakukan interpretasi pada hasil pemindaian untuk mengetahui analisis gugus yang terkandung pada sampel.
- Simpan hasil pemindaian yang didapat.

3.5.2 Pengujian *Universal Testing Machine* (UTM)

Pengujian sifat mekanik dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik yang dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) *Stograph-R1* Toyoseiki. Gambar dari UTM dapat dilihat pada lampiran A, yang terdapat pada laboratorium industri BATAN dengan prosedur sebagai berikut:

- Sambungkan kabel power pada arus listrik
- Hubungkan alat penjepit atas ke bagian atas dan alat penjepit bawah dengan bagian bawah alat.
- Hidupkan alat *Universal Testing Machine Stograph-R1* Toyoseiki dan pompa vakum, biarkan selama 30 menit.
- Kalibrasikan alat.
- Ukur jarak antar-*grip* dengan jangka sorong.

- Jepit spesimen secara vertikal dengan *grip* atas dan *grip* bawah.
 - Tekan tombol *checker box*.
 - Lakukan penarikan spesimen dengan menekan tombol *down*.
 - Keluarkan spesimen, kemudian ukur lagi dimensi spesimen dan jarak antar-*grip* dengan jangka sorong.
 - Hitung data yang didapatkan untuk mencari nilai kekuatan dan perpanjangan putus.
 - Ulangi prosedur di atas untuk spesimen lainnya, sehingga diperoleh 3 spesimen sampel limbah tapioka-metil metakrilat untuk setiap dosis radiasi.
- Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran F.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil analisis bioplastik Limbah tapioka-metil metakrilat menggunakan alat uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Universal Testing Machine* (UTM). Gambar bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dapat dilihat pada lampiran.

4.1 Hasil Pengujian *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Pengujian FTIR pada penelitian ini digunakan untuk menganalisis jenis komponen yang terdapat pada limbah tapioka, metil metakrilat, bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat tanpa iradiasi dan bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dengan iradiasi.

4.1.1 Hasil Pengujian Limbah Tapioka

Regangan gugus O-H menghasilkan pita lebar yang terjadi pada kisaran 3700-3600 cm^{-1} . Pita regangan (*stretching*) gugus C-H oleh senyawa alifatik terjadi pada kisaran 3000-2850 cm^{-1} . Getaran pada kisaran 1500-500 cm^{-1} dapat dikatakan daerah sidik jari untuk membedakan satu senyawa dengan senyawa lainnya (Dachriyanus, 2004). Berdasarkan hasil pengujian FTIR limbah tapioka yang sudah dilakukan, didapatkan spektra absorpsi inframerah yang tampak pada Gambar IV.1 dan sudah dirangkum dalam Tabel IV.1. Tabel IV.1 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yaitu hasil FTIR dari Normiyanti (2011) dan bilangan gelombang B yaitu hasil pengujian FTIR penelitian ini.

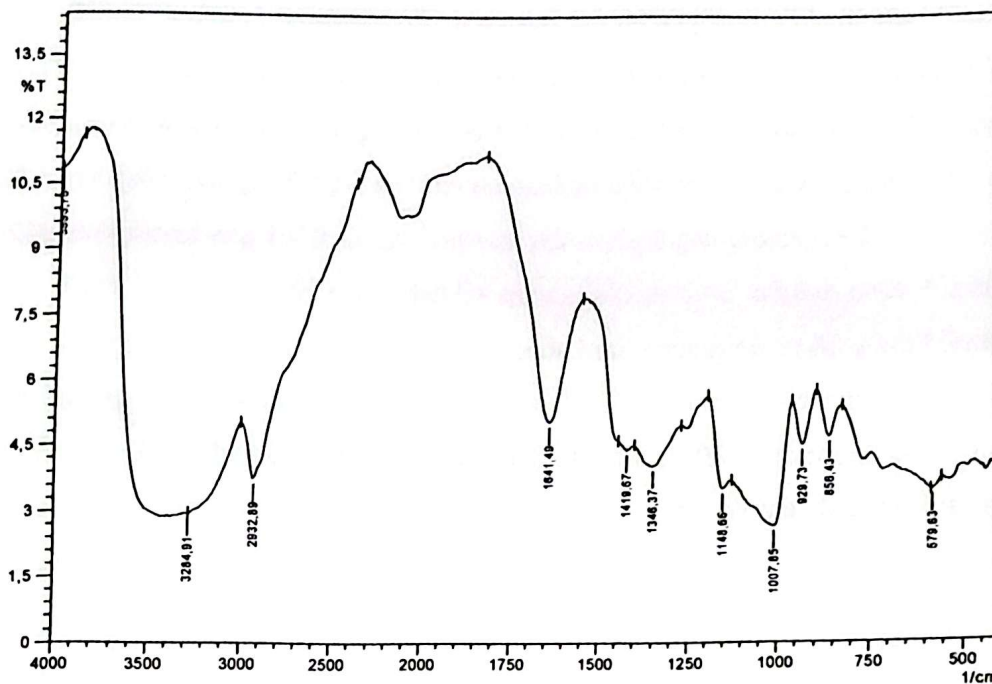
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR Limbah Tapioka

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang A (cm^{-1}) Sumber: Normiyanti (2011)	Bilangan Gelombang B (cm^{-1}) Sumber: Penelitian ini
-OH <i>stretching</i>	3284,62	3284,91
-C-H <i>stretching</i>	2931,69	2932,89
C=O <i>stretching</i>	1649,12	1641,49
-OH <i>bending</i>	1409,47	1419,67

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang A (cm^{-1})	Bilangan Gelombang B (cm^{-1})
	Sumber: Normiyanti (2011)	Sumber: Penelitian ini
-C-O <i>stretching</i>	1149,49	1148,66
	1001,86	1007,85
-C-H <i>bending</i>	923,48	929,73

Stretching dapat dikatakan sebagai peregangan ikatan dari suatu gugus, pada saat terjadi perubahan bentuk tertentu dari molekul dapat dikatakan deformasi, sedangkan *bending* dapat diartikan sebagai pengerutan ikatan (bisa bervibrasi naik-turun). Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak jauh berbeda dengan hasil FTIR yang dilakukan Normiyanti (2011), untuk penelitian yang dilakukan oleh Normiyanti (2011) menunjukkan hasil spektra regangan (*stretching*) gugus OH pada bilangan gelombang $3284,62 \text{ cm}^{-1}$, gugus regangan C-H ditunjukkan pada bilangan gelombang $2931,69 \text{ cm}^{-1}$, bilangan gelombang $1649,12 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus regangan C=O, bilangan gelombang $1409,47 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus tekukan (*bending*) OH, bilangan gelombang $1149,49 \text{ cm}^{-1}$ dan $1001,86 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus regangan C-O, dan bilangan gelombang $923,48 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus regangan C-H.

Pada penelitian ini hasil spektra menunjukkan gugus OH *stretching* pada bilangan gelombang $3284,91 \text{ cm}^{-1}$, gugus C-H *stretching* ditunjukkan pada bilangan gelombang $2932,89 \text{ cm}^{-1}$, bilangan gelombang $1641,49 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C=O *stretching*, bilangan gelombang $1419,67 \text{ cm}^{-1}$ gugus OH *bending*, bilangan gelombang $1148,66$ dan $1007,85 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O *stretching* dan bilangan gelombang $929,73 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-H *bending* serta gugus yang menunjukkan daerah sidik jari dari limbah tapioka pada bilangan gelombang $1419,47 \text{ cm}^{-1}$ sampai $579,63 \text{ cm}^{-1}$. Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa limbah tapioka memiliki komponen yang tidak jauh berbeda dengan Normiyanti (2011).



Gambar IV.1 Spektra FTIR Limbah Tapioka

4.1.2 Hasil Pengujian Metil Metakrilat

Tabel IV.2 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yaitu hasil FTIR Kuswatiningsih (2010) dan bilangan gelombang B yaitu hasil FTIR metil metakrilat penelitian ini. Dari uji spektroskopi FTIR terhadap metil metakrilat didapatkan spektra absorpsi inframerah yang tampak pada Gambar IV.2.

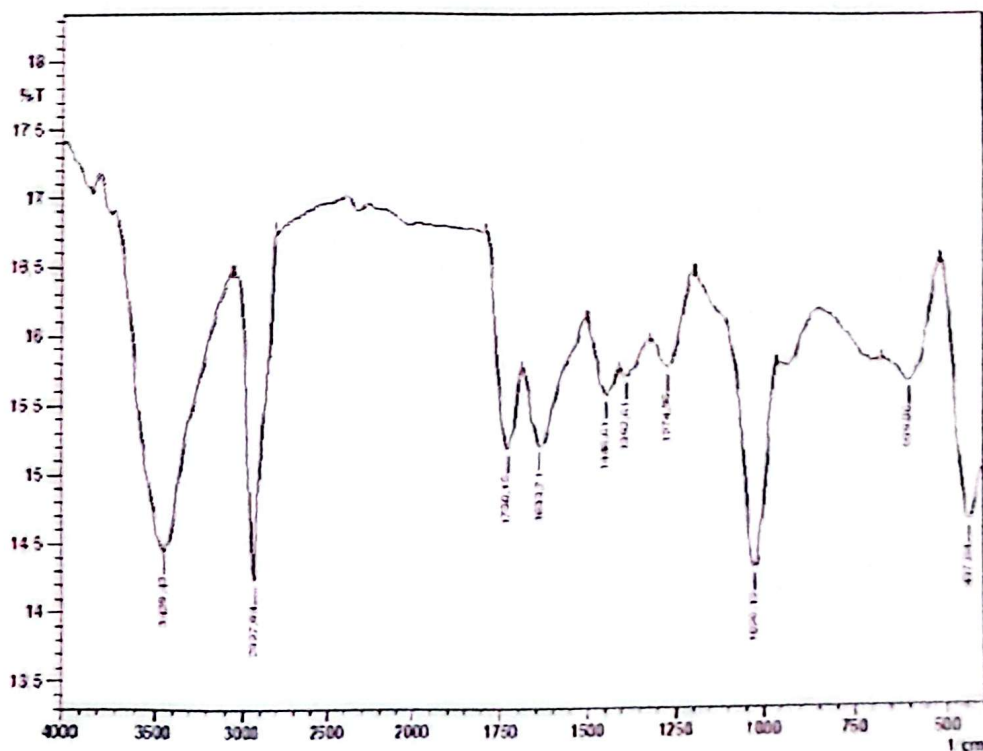
Tabel IV.2 Perbandingan Hasil FTIR Metil Metakrilat

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang A	Bilangan Gelombang B
	(cm^{-1}) Sumber: Kuswatiningsih (2010)	(cm^{-1}) Sumber: Penelitian ini
C=C alkena	Tidak terlihat	3429,43
-C-H <i>stretching</i>	2955	2938,68
-C=O <i>stretching</i>	1725,36	1730,15
-C=C <i>stretching</i>	1639,52	1633,71

Dari hasil uji FTIR metil metakrilat, didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada Gambar IV.2 menunjukkan spektra bilangan gelombang yang tidak jauh berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Kuswatiningsih (2010).

Tabel IV.2 sudah merangkum bilangan gelombang yang didapat dari Gambar IV.2. Pada penelitian yang dilakukan Kuswatiningsih (2010) spektra FTIR menunjukkan adanya regangan gugus C-H pada bilangan gelombang 2955 cm^{-1} , bilangan gelombang $1725,36\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan gugus C=O, dan bilangan gelombang $1639,52\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan gugus C=C.

Pada penelitian ini hasil spektra menunjukkan C=C alkena pada bilangan gelombang $3429,43\text{ cm}^{-1}$ yang terdeteksi pada hasil pengujian, sedangkan bilangan gelombang tersebut tidak terlihat pada hasil FTIR Kuswatiningsih (2010), jika dilihat dari hasil FTIR metil metakrilat Suharjo dkk. (2011), bilangan gelombang $3429,43\text{ cm}^{-1}$ terdeteksi sebagai regangan ikatan C=C alkena, karena bilangan gelombang untuk regangan C=C alkena pada hasil FTIR metil metakrilat Suharjo dkk., (2011) adalah $>3000\text{ cm}^{-1}$, bilangan gelombang $2938,68\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus regangan C-H, bilangan gelombang $1730,15\text{ cm}^{-1}$, dan bilangan gelombang $1633,71\text{ cm}^{-1}$. Gambar IV.2 menunjukkan spektrum FTIR dari metil metakrilat. Hasil pengujian FTIR ini dapat dikonfirmasi bahwa metil metakrilat memiliki komponen yang tidak jauh berbeda dengan Kuswatiningsih (2010).



Gambar IV.2 Spektra FTIR Metil Metakrilat

4.1.3 Hasil Pengujian Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

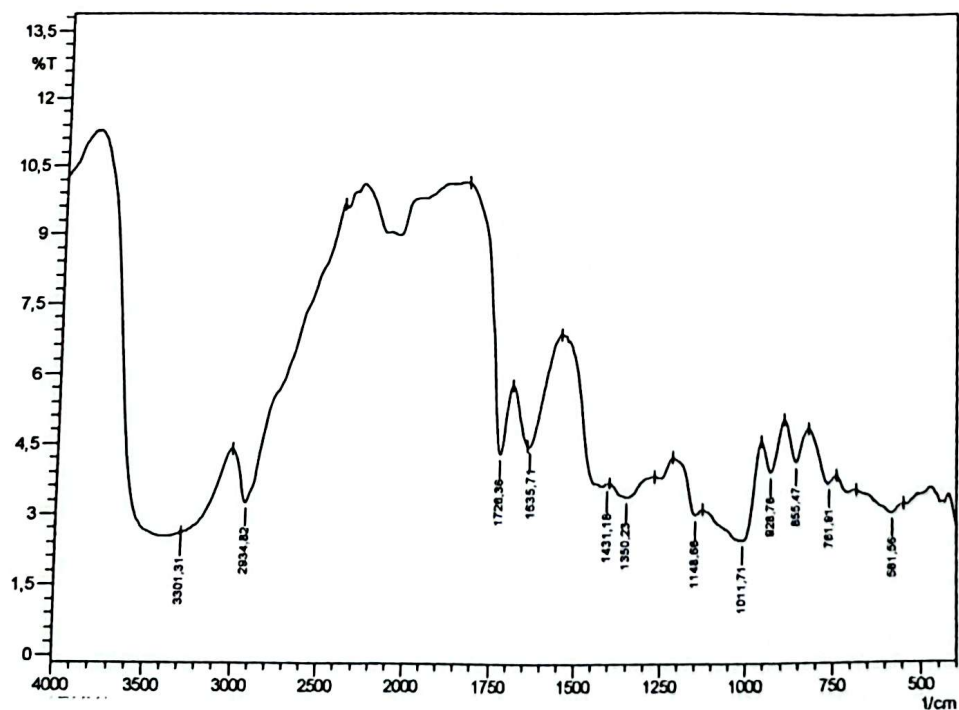
Hasil pengujian bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy, bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy, bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy, dan bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy sudah dirangkum pada Tabel IV.3.

Tabel IV.3 Hasil Pengujian Limbah Tapioka, Metil Metakrilat, dan Bioplastik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat Variasi Dosis Radiasi

Jenis Ikatan Limbah Tapioka	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				
	Limbah Tapioka	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy
-OH stretching	3284,91	3301,31	3376,54	3373,64	3350,50
-C-H stretching	2932,89	2934,82	2941,57	2936,75	2939,64
-C=O stretching	1641,49	Tidak terlihat	1642,46	1640,53	1641,49
-OH bending	1419,67	1431,18	1452,46	1435,10	1438,96
-C-O stretching	1007,85	1011,71	1065,72	1031,96	1038,71
-C-H bending	929,73	928,76	925,87	923,94	928,84
Jenis Ikatan Metil Metakrilat	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				
	Metil Metakrilat	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy	Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy
-C=C alkana	3429,43	Tidak terlihat	Tidak terlihat	Tidak terlihat	Tidak terlihat
-C-H stretching	2938,68	2934,82	2941,57	2936,75	2939,64
-C=O stretching	1730,15	1726,36	1729,26	1728,29	1726,36
-C=C stretching	1633,71	1635,71	Tidak terlihat	Tidak terlihat	Tidak terlihat

Dari uji FTIR bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy didapatkan spektra inframerah yang tampak pada Gambar IV.3. Hasil bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy dapat dilihat pada Tabel IV.3. Hasil spektrum

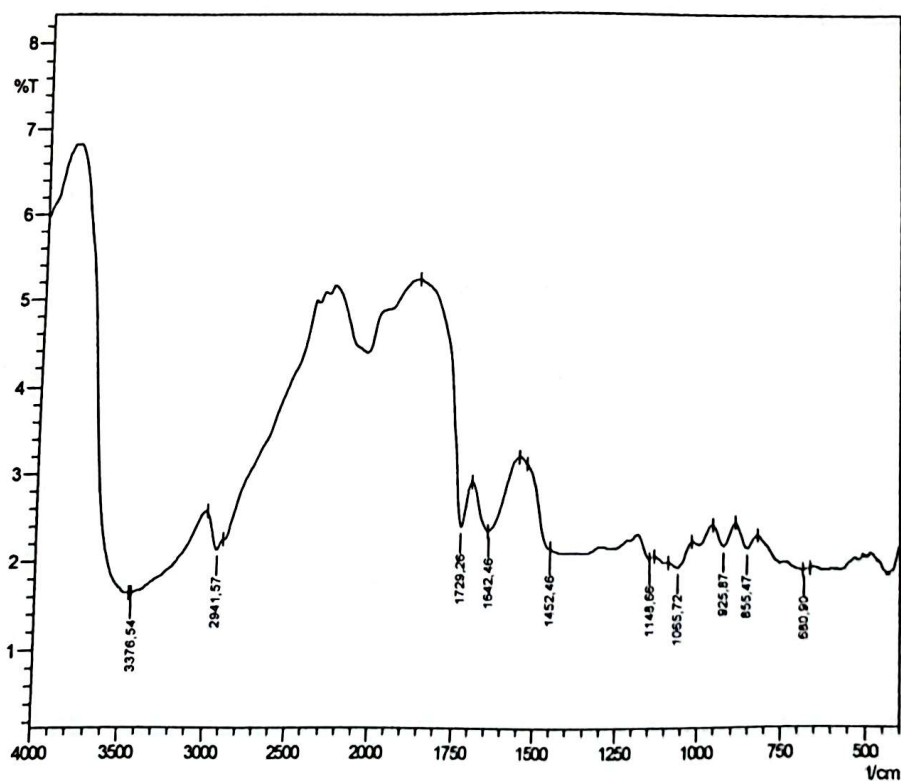
menunjukkan gugus OH *stretching* pada bilangan gelombang 3301,31 cm^{-1} , gugus C-H *stretching* pada bilangan gelombang 2934,82 cm^{-1} , gugus C=O *stretching* ditunjukkan pada bilangan gelombang 1726,36 cm^{-1} , tidak terlihatnya gugus C=O *stretching* dengan bilangan gelombang 1640-an cm^{-1} dikarenakan jarak *peak* yang terlalu dekat dengan *peak* dari gugus C=C *stretching*, pada bilangan gelombang 1635,71 cm^{-1} yang terdeteksi gugus C=C *stretching* masih terlihat dari hasil pengujian bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy, hal ini dikarenakan bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 0 kGy sebagai kontrol atau tanpa iradiasi sinar gamma yang menyebabkan tidak terjadinya proses polimerisasi adisi metil metakrilat, bilangan gelombang 1431,18 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus O-H *bending*, bilangan gelombang 1011,71 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-O *stretching*, dan gugus C-H *stretching* ditunjukkan pada bilangan gelombang 928,76 cm^{-1} . Gambar IV.3 menunjukkan hasil FTIR bioplastik 0 kGy.



Gambar IV.3 Spektra FTIR Bioplastik 0 kGy

Dari uji FTIR bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy didapatkan spektra inframerah yang tampak pada Gambar IV.4. Hasil bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy dapat dilihat pada Tabel IV.3. Hasil spektra menunjukkan gugus O-H *stretching* pada bilangan gelombang 3376,54 cm^{-1} , gugus

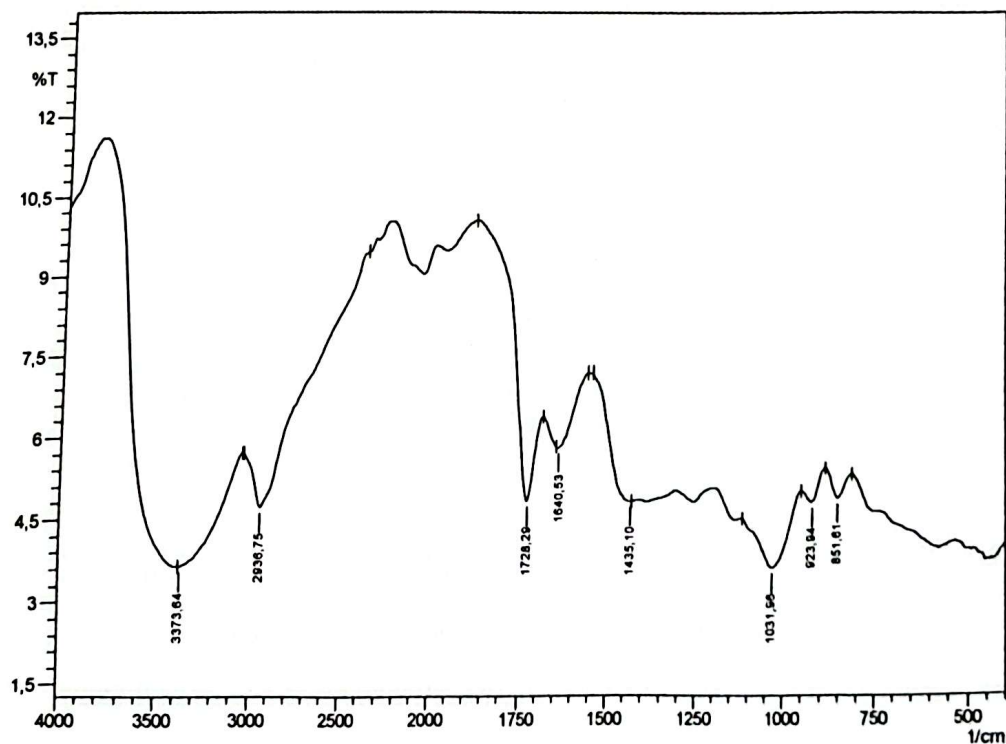
C-H *stretching* ditunjukkan pada bilangan gelombang 2941,57 cm^{-1} , pada bilangan gelombang 1729,36 cm^{-1} dan 1642,46 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O *stretching*, pada bilangan gelombang 1633,71 cm^{-1} yang terdeteksi gugus C=C *stretching* tidak terlihat dari hasil pengujian bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 2,5 kGy, hal ini disebabkan karena terjadinya proses polimerisasi metil metakrilat menjadi polimetil metakrilat yaitu merubah ikatan rangkap (C=C) menjadi ikatan non rangkap (C-C), bilangan gelombang 1066,72 cm^{-1} dan 925,87 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-O *stretching* dan gugus C-H *bending*. Gambar IV.4 menunjukkan hasil FTIR bioplastik 2,5 kGy.



Gambar IV.4 Spektra FTIR Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat 2,5 kGy

Dari uji FTIR bioplastik Limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy didapatkan spektra inframerah yang tampak pada Gambar IV.5. Hasil bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy dapat dilihat pada Tabel IV.3. Hasil spektra menunjukkan gugus OH *stretching* pada bilangan gelombang 3373,64 cm^{-1} , gugus C-H *stretching* pada bilangan gelombang 2936,75 cm^{-1} , bilangan gelombang 1728,29 cm^{-1} dan 1640,53 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O *stretching*, bilangan gelombang 1633,71 cm^{-1} yang terdeteksi gugus C=C *stretching* tidak

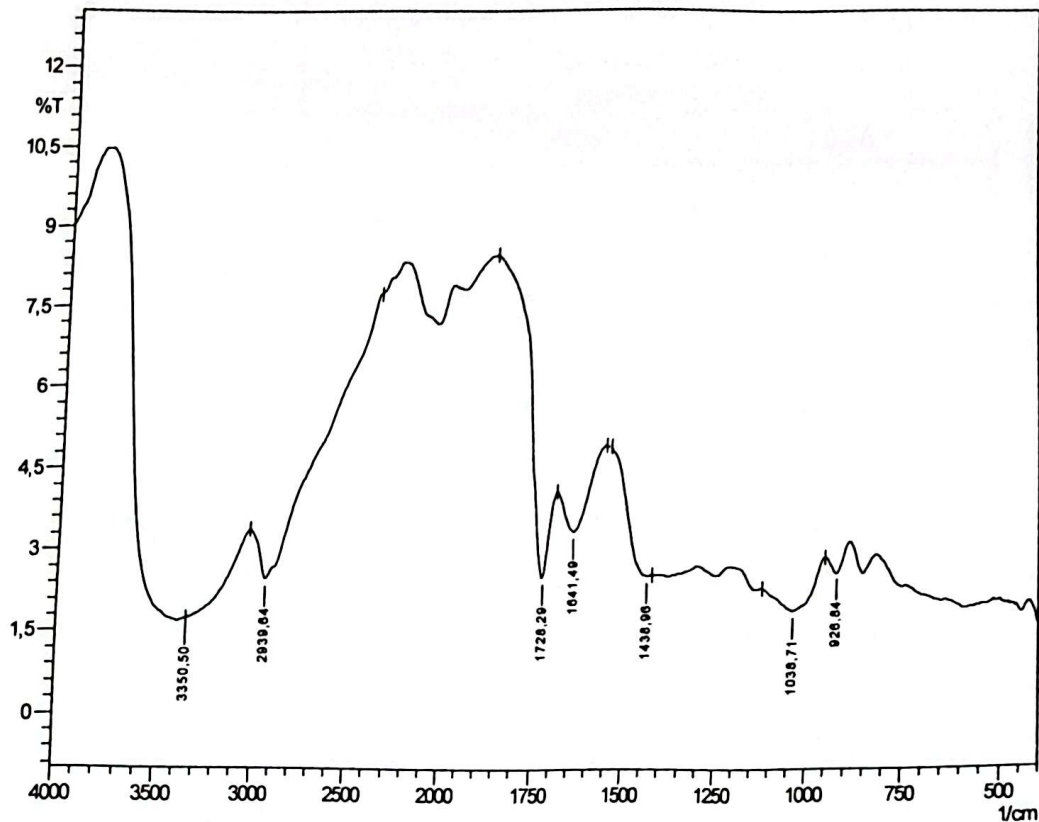
terlihat dari hasil pengujian bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 5 kGy, hal ini mengindikasikan terjadinya proses polimerisasi metil metakrilat menjadi polimetil metakrilat yaitu merubah ikatan rangkap (C=C) menjadi ikatan tunggal (C-C), bilangan gelombang 1435,10 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus OH *bending*, bilangan gelombang 1031,96 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-O *stretching*, dan bilangan gelombang 923,94 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-H *bending*. Gambar IV.5 menunjukkan hasil FTIR bioplastik 5 kGy.



Gambar IV.5 Spektra FTIR Bioplastik 5 kGy

Dari uji FTIR bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy didapatkan spektra inframerah yang tampak pada Gambar IV.6. Hasil bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy dapat dilihat pada Tabel IV.3. Hasil spektra menunjukkan gugus OH *stretching* pada bilangan gelombang 3350,50 cm^{-1} , gugus C-H *stretching* ditunjukkan pada bilangan gelombang 2939,64 cm^{-1} , gugus C=O *stretching* pada bilangan gelombang 1726,36 cm^{-1} dan 1641,49 cm^{-1} , bilangan gelombang 1633,71 cm^{-1} yang terdeteksi gugus C=C *stretching* tidak terlihat dari hasil pengujian bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat 10 kGy, hal ini dikarenakan terjadinya proses polimerisasi metil metakrilat menjadi polimetil metakrilat dimana ikatan rangkap (C=C) berubah menjadi ikatan tunggal (C-C), bilangan

gelombang $1038,71 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C-O *stretching* dan gugus C-H *bending* ditunjukkan pada bilangan gelombang $928,84 \text{ cm}^{-1}$. Gambar IV.6 menunjukkan hasil FTIR bioplastik 10 kGy.



Gambar IV.6 Spektra FTIR Bioplastik 10 kGy

4.2 Hasil Pengujian *Universal Testing Machine* (UTM)

Pengujian mekanik dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus dari bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat tanpa iradiasi (0 kGy) dan bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dengan dosis radiasi 2,5 kGy, 5 kGy, dan 10 kGy menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) *Stograph-R1* Toyoseiki.

4.2.1 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

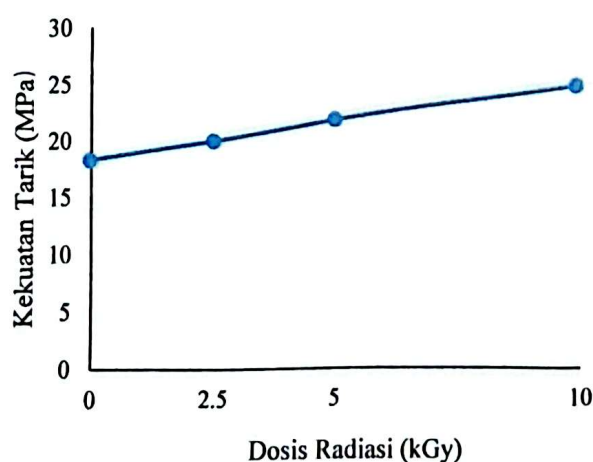
Tabel IV.4 menunjukkan nilai kekuatan tarik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dari setiap sampel. Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan adalah nilai rata-rata dari 3 spesimen yang diuji. Kemudian data hasil uji kekuatan tarik dilakukan analisis berdasarkan pengaruh dari masing-masing dosis radiasi.

Tabel IV.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

Sampel	Dosis Radiasi (kGy)	Hasil Pengujian	
		Kekuatan Tarik Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat (MPa)	Standar Deviasi
1	0	18,26	0,86
2	2,5	19,93	0,73
3	5	21,86	1,03
4	10	24,70	0,86

Berdasarkan nilai kekuatan tarik polimetil metakrilat murni yaitu 48 – 67 MPa (Mark, 1999). Kekuatan tarik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat yang dihasilkan pada penelitian ini lebih rendah dari polimetil metakrilat murni. Hal yang menyebabkan rendahnya kekuatan tarik yang dihasilkan yaitu karena campuran metil metakrilat yang digunakan hanya 75% dari massa limbah tapioka.

Pengujian kekuatan tarik yang dilakukan terhadap 3 spesimen pada 4 sampel limbah tapioka-metil metakrilat dapat dilihat pada Tabel IV.4 dan Gambar IV.7. Pada Gambar tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa dosis radiasi dapat mempengaruhi nilai kekuatan tarik bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.



Gambar IV.7 Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

Berdasarkan Gambar IV.7 secara keseluruhan untuk semua sampel limbah tapioka-metil metakrilat menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis radiasi menghasilkan kekuatan tarik yang meningkat. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat pada sampel 4 dengan dosis radiasi 10 kGy sebesar 24,70 MPa dan kekuatan tarik terendah dihasilkan oleh sampel 1 bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dengan dosis radiasi 0 kGy sebesar 18,26 MPa. Meningkatnya nilai kekuatan tarik seiring bertambahnya dosis radiasi dikarenakan tujuan iradiasi sinar gamma pada penelitian ini yaitu untuk polimerisasi, berdasarkan hasil FTIR adanya polimerisasi dari metil metakrilat menjadi polimetil metakrilat yang cukup baik. Sedangkan penelitian yang dilakukan Shafik dkk. (2014) menggunakan bahan PVA/Pati jagung, nilai kekuatan tarik meningkat seiring bertambahnya dosis radiasi yang disebabkan karena adanya ikatan silang.

4.2.2 Hasil Pengujian Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

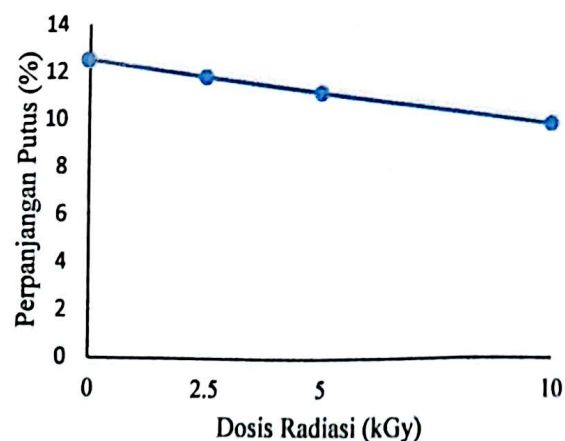
Tabel IV.5 menunjukkan nilai perpanjangan putus bioplastik dari setiap sampel. Nilai perpanjangan putus yang dihasilkan adalah nilai rata-rata dari 3 spesimen yang diuji. Kemudian data hasil uji perpanjangan putus dilakukan analisis berdasarkan pengaruh dari masing-masing variasi dosis radiasi.

Tabel IV.5 Hasil Uji Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

Sampel	Dosis Radiasi (kGy)	Hasil Pengujian	
		Perpanjangan Putus Bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat (%)	Standar Deviasi
1	0	12,50	4,17
2	2,5	11,80	3,18
3	5	11,11	2,41
4	10	9,72	2,41

Berdasarkan nilai perpanjangan putus polimetil metakrilat yaitu 2-10% (Mark, 1999). Nilai perpanjangan putus yang dihasilkan pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat lebih besar dari nilai perpanjangan putus polimetil metakrilat. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan *plasticizer* gliserol yang menyebabkan bioplastik bersifat fleksibel (Sinaga dkk., 2014). Akan tetapi, nilai perpanjangan putus bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat yang dihasilkan cenderung menurun.

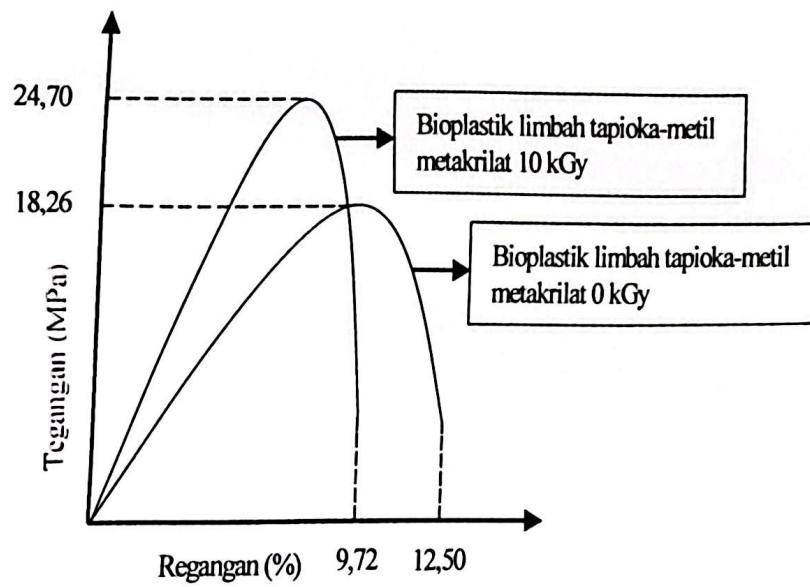
Pengujian perpanjangan putus yang dilakukan terhadap 3 spesimen pada 4 sampel limbah tapioka-metil metakrilat dapat dilihat pada Tabel IV.5 dan Gambar IV.8. Pada Gambar tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa dosis radiasi dapat mempengaruhi nilai perpanjangan putus bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.



Gambar IV.8 Pengaruh Dosis Radiasi Terhadap Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

Pengaruh dosis radiasi terhadap perpanjangan putus mengalami penurunan. Pada Gambar IV.5 dapat diketahui bahwa perpanjangan putus tertinggi dihasilkan oleh bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat pada sampel 1 dengan dosis radiasi 0 kGy sebesar 12,50% dan perpanjangan putus terendah dihasilkan oleh sampel 4 bioplastik Limbah tapioka-metil metakrilat dengan dosis radiasi 10 kGy sebesar 9,72%. Kekuatan tarik dan sifat kekakuan pada penelitian ini mengalami peningkatan dikarenakan semakin bertambahnya dosis radiasi. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai perpanjangan putus. Kurva tegangan-regangan pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat tanpa iradiasi dan

bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dengan iradiasi dapat dilihat pada Gambar IV.9.



Gambar IV.9 Kurva Tegangan-Regangan Bioplastik Limbah Tapioka-Metil Metakrilat

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Dosis radiasi mempengaruhi karakteristik kimia bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat, pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat tanpa iradiasi gugus $C=C$ *stretching* masih terlihat sedangkan pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat dengan iradiasi gugus fungsi $C=C$ *stretching* tidak terlihat hal ini yang mengindikasikan terjadinya proses polimerisasi dari metil metakrilat menjadi polimetil metakrilat.
2. Dosis radiasi memberikan pengaruh terhadap nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat. Hal tersebut ditandai dengan semakin bertambahnya dosis radiasi meningkatkan nilai kekuatan tarik dan menurunkan sifat perpanjangan putus.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) agar terlihat distribusi penyebaran metil metakrilat pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.
2. Perlu dilakukan pengujian *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) agar dapat diketahui temperatur transisi kaca dan temperatur leleh pada bioplastik limbah tapioka-metil metakrilat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, C., Sirojudin, dan Sofjan, K.F., "Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR", 2007.
- Anita, Z., Akbar, F., dan Harahap, H., "Pengaruh Penambahan Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Film Plastik Biodegradasi Dari Pati Kulit Singkong", *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara*, Vol 2 No.2, 2013,
- Asni, N., Soleh, D., dan Rahmawati, N., "Plastik Biodegradable Berbahan Ampas Singkong dan Polivinil Asetat", *Seminar Nasional Fisika Vol IV*, 2015.
- ASTM International D638-14, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics", 2014.
- Awwaly, K.U.A., Manab, A., dan Wahyuni, E., "Pembuatan Edible Film Protein Whey: Kajian Rasio Protein dan Gliserol Terhadap Sifat Fisik dan Kimia", *Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Ternak*, Vol 5 No. 1, 2010.
- Bastioli, C., "Handbook of Biodegradable Polymers", Rapra Technology Limited, United Kingdom, 2005.
- Bourtoom, T dan Chinnan, M.S., "Preparation and Properties of Rice Starch-Chitosan Blend Biodegradable Film", *Food Science and Technology* Vol 41 No. 9, 2008.
- Coniwanti, P., Linda, L., dan Mardiyah, R., "Pembuatan Plastik *Biodegradable* Dari Pati Jagung Penambahan Kitosan Pemplastis Gliserol", *Jurnal Teknik Kimia*, Vol 20 No. 4, 2014.
- Dachriyanus, "Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi", Universitas Andalas, 2004.
- Davis, J.R., "Tensile Testing Second Edition", ASM International, 2004.
- Handayani, N.P., "Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Ramah Lingkungan Dari Pati Tapioka-Poli Lactic Acid (PLA)", Skripsi Universitas Lampung, 2013.
- Haryanto dan Fena, R.T., "Bioplastik Dari Tepung Tapioka dan Tepung Maizena", Vol 18 No.1, 2017.

- Ibeh, Christopher C., "Thermoplastic Materials Properties, Manufacturing Methods, and Applications", CRC Press Taylor & Francis Group, 2011.
- Iskandar, S., "Kopolimerisasi Radiasi Monomer Metil Metakrilat Pada Limbah Tapioka dan Karet Alam", Jurnal Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2011.
- Izaak, F.D., Rauf, F.A, dan Lumintang, R., "Analisis Sifat Mekanik dan Daya Serap Air Material Komposisi Serat Rotan", 2013.
- Kuswatiningsih, T., "Polimerisasi Bulk Metil Mmetakrilat: Pengaruh Perbandingan Jenis dan Variasi Komposisi Inisiator Redoks Terhadap Persen Konversi Berat Molekul", Skripsi Universitas Indonesia, 2010.
- Maran, J.P., Sivakumar, V., Sridhar, R., dan Immanuel, V.P., "Development of Model For Mechanical Properties of Tapioca Starch Based Edible Films", Industrial Corps and Products, 42: 159-168, 2013.
- Mark, James E., "Polymer Data Handbook", Oxford University Press, Inc. 1999.
- Mursyid, W., Bachruddin, Zuprizal, dan Cahyanto, "Nilai Nutritif Onggok-Terfermentasi Mutan Trichoderma AA1 Pada Ayam Boiler", 24, 165-170, 2008.
- Muryani, Suharni, S., Sulastri, dan Sugesti, W., "Pemanfaatan Limbah Padat Tapioka Sebagai Industri Rumah Tangga Perdesaan", Jurnal Kelitbangan Vol 01, 2012.
- Nasution, A.S, Said, E., Ediyanto, dan Siregar, M.S, "Pencangkakan Metil Metakrilat Pada Karet Alam Siklis Dengan Inisiator Dikumil Peroksida : Efek Konsentrasi Monomer", Vol 19 No 1, 2014.
- Normiyanti, A., "Pemanfaatan Limbah Padat Tapioka Sebagai Bahan Baku Plastik Mudah Tarurai (Biodegradable)", Skripsi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Jawa Timur, 2011.
- Nurlita, D., Wikanastri, H., dan Yusuf, M., "Karakteristik Plastik Biodegradable Onggok dan Kitosan Dengan Plasticizer Gliserol", 2017.
- Novela, I., Idral, A., dan Irdoni, "Karakterisasi Bioplastik Dari Komposit Limbah Cair Tahu (Whey) dan Serat Daun Nanas (*Ananas comosus*) Dengan

- Hidrokoloid Carboxymethyl Cellulose (CMC)", Program Studi Teknik Kimia Universitas Riau, 2018.
- Pagliari, M., "Glycerol The Renewable Platform Chemical", 2017.
- Pavia, D.L., Lampan, G.M., Kriz, G.S., dan Vyvyan, J.R., "Introduction to Spectroscopy", Fourth Edition, Brooks/Cole, Washington, USA, 2009.
- Peng, L., Cai, Q.G., Qing, Z.Z., dan Hao, H.L., "Properties of Poly (lactic Acid) and Blended Thermal Plastic Starch Blended Materials Plasticized by PEG 200", 2012.
- Rahmayetty, Kanani, N., dan Yudo, E.W., "Pengaruh Penambahan PLA Pada Pati Terplastisasi Gliserol Terhadap Sifat Mekanik Blend Film", Seminar Nasional Sains dan Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2018.
- Saptorahardjo, A., "Enviplast : Starch Based Bioplastik Compound", Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik Ke-5, 2016.
- Shafik, S., Kawakib, J., dan Mohanad, I., "Preparation of PVA/Corn Strach Blend Films and Studying The Influence of Gamma Irradiation On Mechanical Properties", 3(2):25-28, 2014.
- Silvia, Castiliqina, dan Halimatuddahlia, "Pengujian Kekuatan Tarik dan Kekuatan Lentur Komposit Hibrid Plastik Bekas Kemasan Gelas Jenis Polipropilena/Serbuk Kayu Kelapa Termodifikasi/Serbuk Serat Kaca Tipe E", Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara Vol 4 No.3, 2015.
- Sinaga, R., "Pemanfaatan Teknologi Iradiasi Dalam Pengawetan Makanan", Seminar Ilmiah Nasional Universitas Gajah Mada, 2000.
- Sinaga, R.F., Ginting, G.M., Ginting, M.H.S., dan Hasibuan, R., "Pengaruh Penambahan Gliserol Terhadap Sifat Kekuatan Tarik dan Perpanjangan Saat Putus Bioplastik Dari Pati Umbi Talas", Vol 3 No.2, 2014.
- Stuart, B., "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", John Wiley and Sons Inc, 2004.
- Suharjo, Kuntari A., Basuki, A., Surasno, Randy, A., dan Sondari, D., "Modifikasi Karet Alam Menjadi Bahan Elastomer Termoplastik Modification Of

- Natural Rubber To Thermoplastic Elastomer Material”, *Jurnal Riset Industri*, Vol V No.3, 2011.
- Surdia, T dan Shinroku, S., “Pengetahuan Bahan Teknik”, PT. Pradnya Paramita, 1985.
- Ummah, N.A., “Uji Ketahanan Biodegradable Plastic Berbasis Tepung Biji Durian (*Durio Zibhertinus Murr*) Terhadap Air dan Pengukuran Densitasnya”, *Skripsi Universitas Negeri Semarang*, 2013.
- Vienna, “International Atomic Energy Agency Directory of Gamma Processing Facilities in Member States”, 2004.
- Wijayanti, D., Cahyaning, dan Mulyanto, “Pengaruh Overliming Pada Pembuatan Etanol dari Limbah Padat Pabrik Tepung Tapioka (Onggok) dengan Hidrolisis Asam dan Enzim”, *Jurnal Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*. Surabaya. Hal: 2, 2012.
- Wang, Q., Cai, J., Zhang, L., Xu, M., Cheng, H., Han, C.C., Kuga, S., dan Xiao, J., Xiao, R., “A Bioplastic with High Strength Constructed From a Cellulose Hydrogel by Changing The Aggregated Structure”, *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 6678-6686, 2013.
- www.columbuschemical.com, “Material Safety Data Sheet Methyl Methacrylate”, 2012.
- Yurida, M., Afriani, E., dan Susila, A., “Pengaruh CaO Dari Jenis Adsorben Semen Terhadap Kemurnian Gliserol”, *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sriwijaya* Vol 19 No.2, 2013.
- Zhang, J.F dan Sun, X., “Mechanical Properties of Poly(lactic acid)/ Starch Composites Compatibilized by Maleic Anhydride. Biomacromolecules”, Vol 5 No. 4, 2004.

LAMPIRAN A
ALAT



Universal Testing Machine (UTM)



Manual Forming Machine



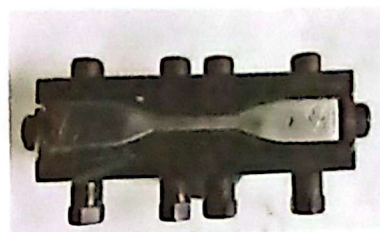
Irradiator Gamma Cell



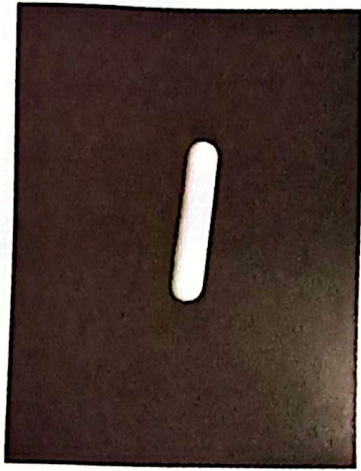
Pneumatic Specimen Punch



Fourier Transform Infrared (FTIR)



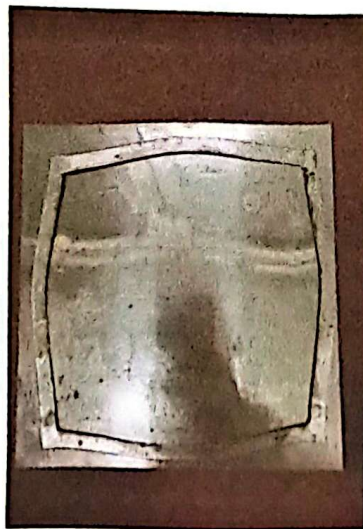
Pisau cetakan ASTM D638 Tipe V



Magnetic stirrer



Hotplate



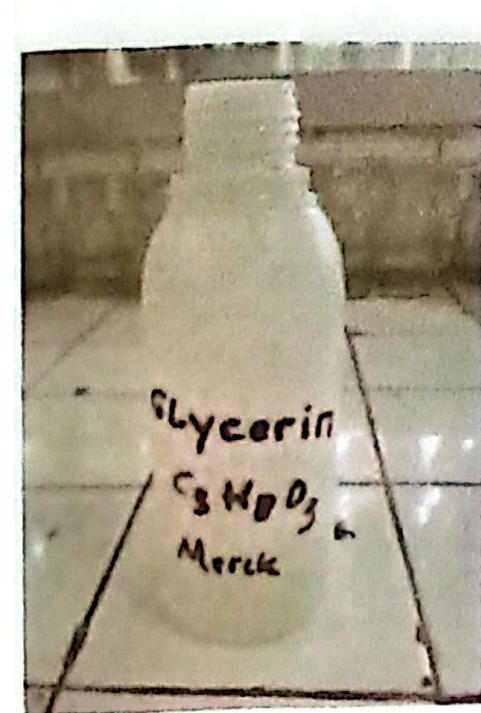
Cetakan Lembaran Bioplastik



Limbah Tapioka



Metil Metakrilat

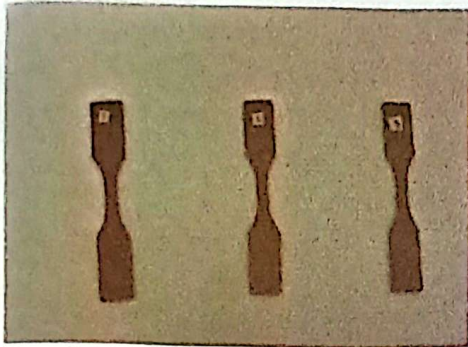


Gliserol

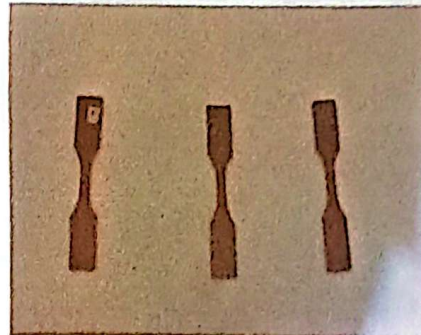


Akuades

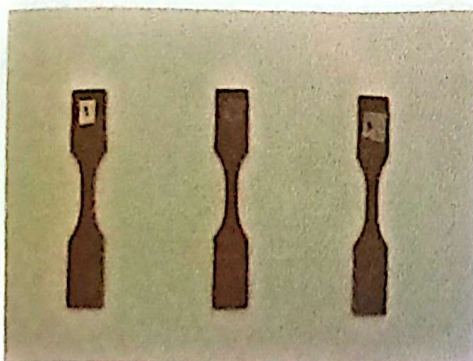
LAMPIRAN D
SPESIMEN BIOPLASTIK LIMBAH TAPIOKA-METIL
METAKRILAT



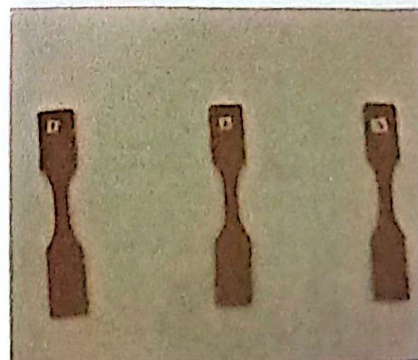
**Spesimen Bioplastik Limbah
Tapioka-Metil Metakrilat 0 kGy**



**Spesimen Bioplastik Limbah
Tapioka-Metil Metakrilat 2,5 kGy**

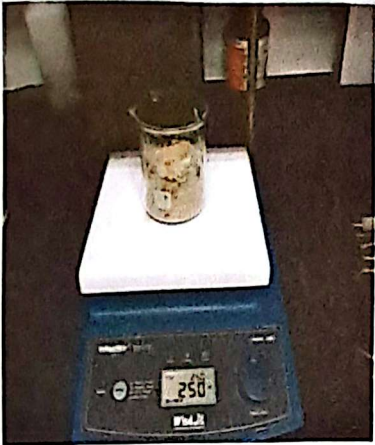


**Spesimen Bioplastik Limbah
Tapioka-Metil Metakrilat 5 kGy**



**Spesimen Bioplastik Limbah
Tapioka-Metil Metakrilat 10 kGy**

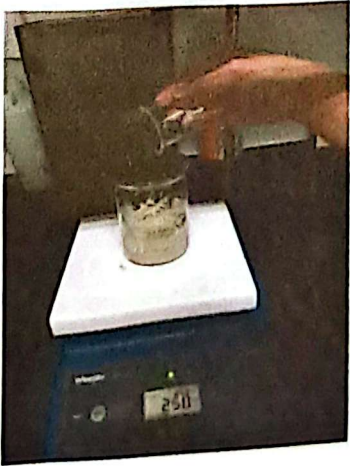
GAMBAR PROSES



**Proses Pencampuran
Limbah Tapioka dengan
Metil Metakrilat**



**Proses Pelarutan dengan
Akuades**



**Proses Pencampuran
dengan Gliserol**

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN

1. Perhitungan Kekuatan Tarik

$$\text{Load} = 100 \text{ kg}$$

$$\text{Load collector} = \times 50$$

$$\text{Checker box} = \frac{100 \text{ kg}}{50} = 2 \text{ kg}$$

$$\text{Panjang unit box} = \frac{\text{checker box}}{\text{jumlah box}} = \frac{2 \text{ Kg}}{10} = 0,2 \text{ kg}$$

$$\text{Kekuatan tarik} = \frac{F}{A_0} = \frac{\text{jumlah unit box} \times 0,2 \times 9,81}{\text{Tebal} \times \text{Lebar}}$$

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$$

$$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ MPa}$$

a. Kekuatan tarik sampel 1

- Spesimen 1 = $\frac{15,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,63 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{149,11 \text{ N}}{7,89 \text{ mm}^2} = 18,89 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{14,8 \times 9,81 \text{ N}}{2,60 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{145,18 \text{ N}}{7,80 \text{ mm}^2} = 18,61 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{13,8 \times 9,81 \text{ N}}{2,61 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{135,37 \text{ N}}{7,83 \text{ mm}^2} = 17,28 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(18,89+18,61+17,28) \text{ MPa}}{3} = 18,26 \text{ MPa}$

b. Kekuatan tarik sampel 2

- Spesimen 1 = $\frac{16,8 \times 9,81 \text{ N}}{2,74 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{164,80 \text{ N}}{8,22 \text{ mm}^2} = 20,04 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{17,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{168,73 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 20,60 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{16,0 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{156,96 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 19,16 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(20,04+20,60+19,16) \text{ MPa}}{3} = 19,93 \text{ MPa}$

c. Kekuatan tarik sampel 3

- Spesimen 1 = $\frac{17,6 \times 9,81 \text{ N}}{2,76 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{172,65 \text{ N}}{8,28 \text{ mm}^2} = 20,85 \text{ MPa}$

- Spesimen 2 = $\frac{19,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,74 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{188,35 \text{ N}}{8,22 \text{ mm}^2} = 22,91 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{18,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{178,54 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 21,82 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(20,85+22,91+21,82) \text{ MPa}}{3} = 21,86 \text{ MPa}$

d. Kekuatan tarik sampel 4

- Spesimen 1 = $\frac{20,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,75 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{198,16 \text{ N}}{8,25 \text{ mm}^2} = 24,01 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{20,4 \times 9,81 \text{ N}}{2,74 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{200,12 \text{ N}}{8,22 \text{ mm}^2} = 24,43 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{21,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,70 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{207,97 \text{ N}}{8,10 \text{ mm}^2} = 25,67 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(24,01+24,43+25,67) \text{ MPa}}{3} = 24,70 \text{ MPa}$

2. Perhitungan Perpanjangan Putus

$$\text{Perpanjangan Putus} = \frac{\text{Panjang akhir} - \text{Panjang awal}}{\text{Panjang awal}}$$

a. Perpanjangan Putus sampel 1

- Spesimen 1 = $\frac{28,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 16,67 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{26,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 8,33 \%$
- Spesimen 3 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Rata-rata = $\frac{(16,67+8,33+12,50)\%}{3} = 12,50\%$

b. Perpanjangan Putus sampel 2

- Spesimen 1 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{26,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 8,33 \%$
- Spesimen 3 = $\frac{27,50-24,00}{24,00} \times 100\% = 14,58 \%$
- Rata-rata = $\frac{(12,50+8,33+14,58)\%}{3} = 11,80 \%$

c. Perpanjangan putus sampel 3

- Spesimen 1 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50\%$

- Spesimen 2 = $\frac{19,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,74 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{188,35 \text{ N}}{8,22 \text{ mm}^2} = 22,91 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{18,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{178,54 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 21,82 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(20,85+22,91+21,82) \text{ MPa}}{3} = 21,86 \text{ MPa}$

e. Kekuatan tarik sampel 4

- Spesimen 1 = $\frac{20,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,75 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{198,16 \text{ N}}{8,25 \text{ mm}^2} = 24,01 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{20,4 \times 9,81 \text{ N}}{2,74 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{200,12 \text{ N}}{8,22 \text{ mm}^2} = 24,43 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{21,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,70 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{207,97 \text{ N}}{8,10 \text{ mm}^2} = 25,67 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(24,01+24,43+25,67) \text{ MPa}}{3} = 24,70 \text{ MPa}$

3. Perhitungan Perpanjangan Putus

$$\text{Perpanjangan Putus} = \frac{\text{Panjang akhir} - \text{Panjang awal}}{\text{Panjang awal}}$$

d. Perpanjangan Putus sampel 1

- Spesimen 1 = $\frac{28,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 16,67 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{26,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 8,33 \%$
- Spesimen 3 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Rata-rata = $\frac{(16,67+8,33+12,50)\%}{3} = 12,50\%$

e. Perpanjangan Putus sampel 2

- Spesimen 1 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{26,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 8,33 \%$
- Spesimen 3 = $\frac{27,50-24,00}{24,00} \times 100\% = 14,58 \%$
- Rata-rata = $\frac{(12,50+8,33+14,58)\%}{3} = 11,80 \%$

f. Perpanjangan putus sampel 3

- Spesimen 1 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{27,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 12,50\%$