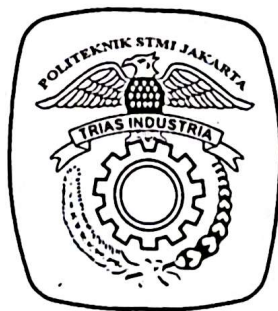


LAPORAN TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN METIL METAKRILAT
TERHADAP SIFAT KIMIA DAN SIFAT MEKANIK
BIOPLASTIK DARI LIMBAH TAPIOKA
DI PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (PAIR)- BATAN
(November 2018- Juli 2019)

Diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik
Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta



OLEH :

PUTRI RAMADHANTI 1515005

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

2019

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

JUDUL TUGAS AKHIR:

PENGARUH PENAMBAHAN METIL METAKRILAT TERHADAP SIFAT
KIMIA DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK DARI LIMBAH TAPIOKA

DISUSUN OLEH :

NAMA : PUTRI RAMADHANTI

NIM : 1515005

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, 26. Juli.... 2019

Menyetujui,

Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer

a.n



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP.195405231980031004

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR:

PENGARUH PENAMBAHAN METIL METAKRILAT TERHADAP SIFAT
KIMIA DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK BERBAHAN BAKU LIMBAH
TAPIOKA

DISUSUN OLEH :

NAMA : PUTRI RAMADHANTI

NIM : 1515005

PROGRAM STUDI: TEKNIK KIMIA POLIMER

Jakarta, 8. Juli.....2019

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing



Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si.
NIP. 198707022010121002

POLITEKNIK STMI JAKARTA
KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN R.I.

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR

JUDUL TUGAS AKHIR:

PENGARUH PENAMBAHAN METIL METAKRILAT TERHADAP SIFAT
KIMIA DAN SIFAT MEKANIK BIOPLASTIK DARI LIMBAH TAPIOKA

DISUSUN OLEH :

NAMA : Putri Ramadhanti

NIM : 1515005

PROGRAM STUDI: TEKNIK KIMIA POLIMER

Telah diuji oleh Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Program Studi Teknik Kimia
Polimer pada Politeknik STMI Jakarta pada hari Senin, 26 Agustus 2019.

Jakarta, Agustus 2019

Penguji 1



Ir. Rochmi Widajanti, M.Eng

NIP.195609101984032002

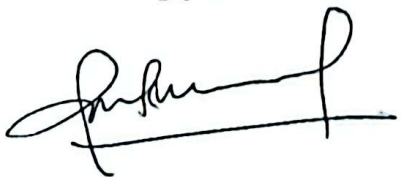
Penguji 2



Dr. Ir. Lintong Sapandi H, MSChE

NIP.195803221986031002

Penguji 3



Ir. Parulian Leonard Marpaung, M.M.

NIP.195702141985031002

Dosen Pembimbing



Syaiful Ahsan, S.T., M.T.

NIP.198407162014021001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta,
Kementerian Perindustrian Republik Indonesia:

Nama : Putri Ramadhanti
NIM : 1515005
Program Studi : Teknik Kimia Polimer

Dengan ini menyatakan bahwa hasil karya tulis Tugas Akhir yang dibuat dengan judul: Pengaruh Penambahan Metil Metakrilat terhadap Sifat Kimia dan Sifat Mekanik Bioplastik dari Limbah Tapioka.

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan 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 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 tulis Tugas Akhir saya.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang ada diatas, maka Tugas Akhir saya ini dapat dibatalkan.



Jakarta, ... 2019









Putri Ramadhanti

LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR PENELITIAN

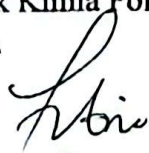
Nama : Putri Ramadhanti
 NIM : 1515005
 Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan Metil Metakrilat Terhadap Sifat Kimia dan Sifat Mekanik Bioplastik dari Limbah Tapioka
 Pembimbing : Syaiful Ahsan, S.T., M.T.

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
8 September 2018	-	Diskusi awal Penelitian	
11 Oktober 2018	-	Diskusi Jadwal Penelitian	
21 Januari 2019	-	Diskusi prosedur penelitian	
20 Maret 2019	I	Diskusi rumusan masalah dan batasan masalah	
8 April 2019	-	Diskusi peminjaman alat MFM	
16 April 2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik : 1 Variasi kontrol , 3 Trial & Error	
23 April 2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik : 4 Variasi komposisi	
24 April 2019	-	Diskusi hasil lembaran bioplastik : 4 Variasi komposisi	
26 April 2019	-	Diskusi peminjaman alat FTIR	
29 April 2019	-	Diskusi hasil FTIR	
24 Juni 2019	I	Diskusi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah dan manfaat penelitian	
28 Juni 2019	I	Diskusi hasil revisi latar belakang dan batasan masalah	
	II	Diskusi tabel, gambar, kata dan kalimat yang salah, penambahan kalimat yang kurang	
	III	Diskusi variabel, diagram alir, alat dan bahan, waktu dan tempat penelitian	
	IV	Diskusi hasil pengujian FTIR dan UTM	
	V	Diskusi kesimpulan dan saran	
5 Juli 2019	I	Diskusi batasan masalah	
	II	Diskusi tabel dimensi ketebalan	
	III	Diskusi variabel bebas	
	IV	Diskusi hasil revisi pengujian FTIR limbah tapioka dan metil metakrilat	
	-	Diskusi daftar pustaka	

Tanggal	BAB	Keterangan	Paraf
10 Juli 2019	I II III IV	Diskusi batasan masalah Diskusi sumber dari tabel dimensi ketebalan Diskusi hasil revisi pengujian FTIR dan UTM	
11 Juli 2019	I II III IV	Diskusi batasan masalah Diskusi sumber dan penulisan kata yang salah Diskusi prosedur penelitian Diskusi hasil pengujian FTIR dan Perhitungan UTM	
15 Juli 2019	I II III IV - -	Diskusi batasan masalah dan latar belakang Diskusi struktur amilosa dan D-Glucose Diskusi diagram alir Diskusi hasil pengujian FTIR Diskusi abstrak Diskusi daftar pustaka	
18 Juli 2019	-	latihan presentasi	
22 Juli 2019	-	latihan presentasi	
24 Juli 2019	-	Diskusi kata pengantar, daftar pustaka, Perhitungan UTM	

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Kimia Polimer

u.n



Ir. Roosmariharso, MBA
NIP. 195405231980031004

Dosen Pembimbing



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



Nomor : 110 ISJ-IND.7.2/X/2018
Lampiran :
Perihal : **Pemohonan 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.	Putri Ramadhanti	1515005	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 : +62-21-7690709 Fax : +62-21-7691607

Home page: www.batan.go.id/pair, E-mail: pair@batan.go.id



Nomor : B-3/44 /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 : 110/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.	Putri Ramadhanti/ 1515005	Pengaruh Komposisi MMA 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 8 Maret 2019, dan hasil penelitian dari kegiatan tersebut sepenuhnya menjadi Hak Kekayaan Intelektual PAIR-BATAN.

Perlu diinformasikan 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 Tjiptosumirat
NIP. 19630830 198803 1 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini dilakukan diajukan sebagai salah satu syarat penyelesaian akademik Program Studi Teknik Kimia Polimer pada Politeknik STMI Jakarta. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Laporan Tugas Akhir ini sangatlah sulit bagi kami untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Mustofa, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik STMI Jakarta.
2. Bapak Ir. Roosmariharso, M.B.A selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta.
3. Ibu Fitria Ika Aryanti, 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 Tugas Akhir Politeknik STMI Jakarta dan selaku Kepala Laboratorium Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta yang telah mengizinkan untuk melakukan pencetakan lembaran di Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta.
5. Bapak Drs. Totti Tjptosumirat, M.Rur.Sci. selaku Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian.
6. 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.
7. Bapak Akhmad Rasyid Syahputra, M.Si. selaku pembimbing di Laboratorium Bahan Industri, Bidang Proses Radiasi, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional.

8. Bapak Samsudin, S.T., dan Bapak Dahrul Hidayah, A.Md. selaku operator Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta.
9. Orang tua dan keluarga atas doa, cinta, nasihat, dan dorongan semangat secara material maupun spiritual.
10. Teman-teman Teknik Kimia Polimer Politeknik STMI Jakarta angkatan 2015 selaku kawan seperjuangan.
11. Ikatan Mahasiswa Teknik Kimia (IMTEK) atas bantuan dan dukungannya dalam penyelesaian laporan ini.
12. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian laporan ini.

Akhir kata, kami berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Juli 2019

Penulis

ABSTRAK

Untuk mengatasi permasalahan sampah plastik yang ada, dibuat alternatif plastik ramah lingkungan. Limbah tapioka dengan penambahan metil metakrilat dapat menjadi pilihan alternatif bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati sifat kimia dan sifat mekanik bioplastik hasil dari campuran limbah tapioka dengan metil metakrilat sebanyak masing-masing 25%, 50% dan 75% dari berat limbah tapioka diradisasi sinar gamma pada dosis 5 kGy. Radiasi digunakan untuk mempolimerisasi metil metakrilat. Metode yang digunakan dalam membuat bioplastik limbah tapioka menggunakan mesin *hot press*. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan untuk mengetahui pengaruh pada sifat kimia bioplastik, dan *Universal Testing Machine* (UTM) digunakan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik dan perpanjangan putus bioplastik tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase berat metil metakrilat berpengaruh pada kekuatan tarik dan perpanjangan putus. Penelitian ini mendapatkan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi pada sampel dengan komposisi metil metakrilat sebanyak 75% dari limbah tapioka sebesar 24,23 MPa dan perpanjangan putus 14,24%. Semakin besar nilai konsentrasi metil metakrilat maka nilai kuat tarik dan perpanjangan putus akan semakin besar, sementara itu gugus fungsi sebagai sifat kimia dari limbah tapioka tidak berubah dengan penambahan metil metakrilat.

Kata kunci: bioplastik, limbah tapioka, metil metakrilat, sifat kimia, sifat mekanik.

DAFTAR ISI

COVER.....	i
LEMBAR JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	v
LEMBAR BIMBINGAN PENYUSUNAN TUGAS AKHIR.....	vi
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG TUGAS AKHIR	viii
LEMBAR PERMOHONAN TUGAS AKHIR.....	ix
LEMBAR KETERANGAN DITERIMANYA 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	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Tapioka	5
2.2 Metil Metakrilat	7
2.3 <i>Plasticizer</i> Gliserol.....	9
2.4 Bioplastik	10
2.5 Iradiasi.....	13
2.6 Pengujian Sifat Kimia dengan Alat Uji FTIR.....	14

2.7 Pengujian Sifat Mekanik dengan Alat Uji UTM	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.3 Variabel Penelitian.....	18
3.4 Prosedur Pembuatan Bioplastik	19
3.5 Karakterisasi Sampel.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil Pengujian Sifat Kimia.....	23
4.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik	30
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
LAMPIRAN F	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Struktur Kimia Amilosa	5
Gambar II.2	Struktur Kimia Amilopektin.....	6
Gambar II.3	Struktur Kimia D-Glukosa	6
Gambar II.4	Polimerisasi Adisi Metil Metakrilat	8
Gambar II.5	Struktur Kimia Gliserol.....	10
Gambar II.6	Skema Alat Spektrofotometer Inframerah.....	14
Gambar II.7	Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe I, II, III & V.....	15
Gambar III.1	Diagram Alir Proses Pembuatan Bioplastik	20
Gambar IV.1	Spektrum Inframerah Limbah Tapioka.....	24
Gambar IV.2	Spektrum Inframerah Metil Metakrilat.....	25
Gambar IV.3	Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 0%.....	26
Gambar IV.4	Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 25%.....	27
Gambar IV.5	Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 50%.....	28
Gambar IV.6	Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 75%.....	29
Gambar IV.7	Nilai Kekuatan Tarik Bioplastik	31
Gambar IV.8	Nilai Perpanjangan Putus Bioplastik	32

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Kandungan Kimia Limbah Tapioka.....	6
Tabel II.2	Spesifikasi Metil Metakrilat	7
Tabel II.3	Spesifikasi Polimetil Metakrilat	8
Tabel II.4	Karakterisasi Polimetil Metakrilat	9
Tabel II.5	Dimensi Ketebalan Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe V	16
Tabel III.1	Variasi Komposisi Massa Limbah Tapioka/Metil Metakrilat	19
Tabel IV.1	Perbandingan Hasil FTIR Limbah Tapioka.....	23
Tabel IV.2	Perbandingan Hasil FTIR Metil Metakrilat.....	24
Tabel IV.3	Perbandingan Hasil FTIR Bioplastik Limbah Tapioka Terhadap Metil Metakrilat.....	26
Tabel IV.4	Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik	30
Tabel IV.5	Hasil Uji Perpanjangan Putus Bioplastik.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu permasalahan lingkungan yang ada di Indonesia maupun di dunia hingga saat ini yaitu limbah plastik, hal ini disebabkan plastik sulit terurai di alam karena sulit dikonsumsi oleh jasad renik. Sulitnya penguraian ini menyebabkan limbah plastik akan menumpuk dan mencemari lingkungan, sementara gaya hidup sekarang semakin banyak memakai produk dari plastik. Pertumbuhan pasar plastik terutama disebabkan oleh kemajuan dalam sifat material. Penggunaan plastik yang semakin meluas disebabkan oleh kelebihan yang dimilikinya, yaitu plastik mudah dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, ringan, memiliki ketahanan, fungsional, dan dapat diatur keelastisannya (Song dkk., 2011).

Sementara itu, dengan meningkatnya populasi penduduk di dunia ditambah dengan penggunaan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dalam memproduksi plastik menyebabkan kenaikan jumlah sampah plastik. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini dengan menciptakan alternatif ramah lingkungan untuk plastik konvensional, yaitu bioplastik (plastik *biodegradable*). Penggunaan bioplastik akan memberikan manfaat positif diantaranya, mengurangi limbah plastik yang semakin lama jumlahnya semakin banyak. Plastik yang dapat terurai secara alami dapat didaur ulang menjadi metabolit yang berguna oleh mikroorganisme dan enzim (Tokiwa dkk., 2009).

Salah satu bahan baku alternatif yang bisa digunakan dalam pembuatan bioplastik yaitu pati. Limbah tapioka merupakan salah satu polimer alami yang di dalamnya masih terdapat banyak kandungan pati, produknya cukup berlimpah, serta belum dimanfaatkan secara optimal, dapat diperbarui, dan ekonomis, sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut dalam pembuatan bioplastik. Meskipun pati memiliki potensi komersial yang cukup baik, namun pati memiliki sifat rapuh,

sehingga dibutuhkan bahan tambahan untuk memperbaiki sifat termal dan mekanik. (Song dkk., 2011).

Untuk memperbaiki sifat mekanik dari pati, penambahan metil metakrilat pada bioplastik dapat memberikan perbaikan pada sifat mekanik serta ketahanan terhadap sinar UV, sehingga dapat menghasilkan bioplastik yang lebih kuat dan tahan air (Shu-Ling dkk., 2017). Selain itu penambahan *plasticizer* juga diperlukan sebagai bahan pemlastis yang berfungsi untuk memperlemah kekakuan agar bioselulosa terhindar dari keretakan dan bersifat lebih fleksibel (Asni dkk., 2015).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Iswarin dkk. (2014), dikatakan bahwa pada pembuatan plastik *biodegradable* dengan menggunakan metode *grafting* (pencangkokan) secara kimia pada polimer sintetik dan polimer alami diharapkan mampu menghasilkan bahan baku kemasan yang tidak tembus oleh air, berkekuatan mekanis, ramah terhadap lingkungan dan mempunyai harga yang lebih ekonomis. Pada variasi komposisi pati garut dan metil akrilat sebanyak 30:70; 35:65; 40:60; 45:55; 50:50 untuk menentukan karakteristik kimia dan sifat mekanik. Dari kelima variasi tersebut didapatkan sampel dengan perbandingan komposisi 30:70 memiliki nilai kuat tarik paling besar yaitu mencapai $14,8 \pm 2,8$ MPa, sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai konsentrasi metil akrilat maka nilai kuat tarik akan semakin besar. Dalam hal karakteristik kimia panjang rantai pada pati mempengaruhi nilai persen pemanjangan (*elongation*).

Ali dan Ghaffar (2016) melakukan penelitian pembuatan plastik pengemas makanan berbasis *biodegradable* dengan menggunakan campuran pati dan polistirena pada dosis radiasi 0, 5, 10, dan 20 kGy. Dari penelitian tersebut dikatakan pada film campuran polistirena/pati non-iradiasi dan iradiasi menunjukkan peningkatan sifat mekanik dan termal campuran polistirena/pati pada dosis radiasi 5 kGy. Film dengan dosis radiasi 5 kGy mempunyai kemampuan sebagai bahan kemasan karena adanya peningkatan sifat mekanik dan termal tersebut. Proses radiasi menjadi metode fisik yang terbukti menjadi alternatif yang baik untuk modifikasi berbasis kimia.

Penelitian ini menggunakan metode iradiasi sinar gamma, yang diharapkan setelah proses iradiasi metil metakrilat dapat terpolimerisasi menjadi polimetil

metakrilat sehingga dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik (Iskandar, 2018), agar dapat dibuktikan bahwa penambahan metil metakrilat dapat menutupi kekurangan dari bioplastik limbah tapioka sehingga dapat menghasilkan bioplastik dengan kualitas yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap sifat kimia bioplastik limbah tapioka?
2. Bagaimana pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap sifat mekanik bioplastik limbah tapioka?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah :

1. Bahan baku berupa limbah tapioka yang berasal dari Desa Ciluar Bogor, bahan penguat berupa metil metakrilat berasal dari PT Pardic Jaya, dan *plasticizer* berupa gliserol yang berasal dari PT Merck Tbk.
2. Komposisi metil metakrilat yang digunakan 25%, 50% dan 75% dari berat limbah tapioka.
3. Jenis radiasi yang digunakan yaitu radiasi sinar gamma dengan dosis radiasi 5 kGy.
4. Proses pengujian sifat kimia dilakukan menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR) IR Prestige 21, Shimadzu.
5. Sifat mekanik yang diamati yaitu kekuatan tarik (*tensile strength*) dan perpanjangan putus (*elongation at break*) dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) Strograph R1, Toyoseiki.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap sifat kimia bioplastik limbah tapioka.
2. Mengetahui pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap sifat mekanik bioplastik limbah tapioka.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini memberikan informasi tambahan dasar teori mengenai sifat metil metakrilat, limbah tapioka, dan gliserol.
2. Penelitian ini memberikan prosedur pembuatan bioplastik limbah tapioka.
3. Penelitian ini memberikan informasi pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap sifat kimia dan sifat mekanik bioplastik limbah tapioka.

1.6 Sistematika Penelitian

Bagian ini merupakan gambaran secara keseluruhan. Didalamnya terdapat lima bab yang masing-masing berkaitan erat. Adapun susunan ke lima bab tersebut 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 dilakukannya penelitian ini, serta penjelasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan umum mengenai bioplastik, limbah tapioka, polimetil metakrilat (PMMA), gliserol.

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 pengujian, analisis data berdasarkan grafik hasil pengujian, dan 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.

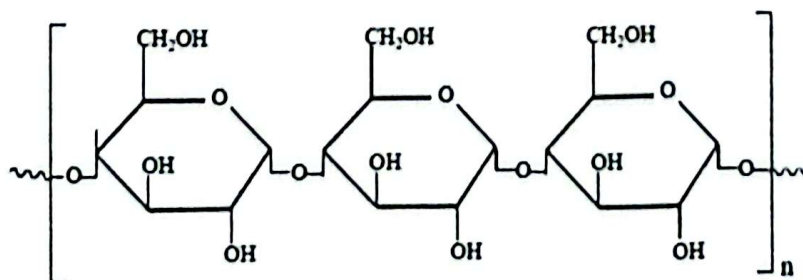
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

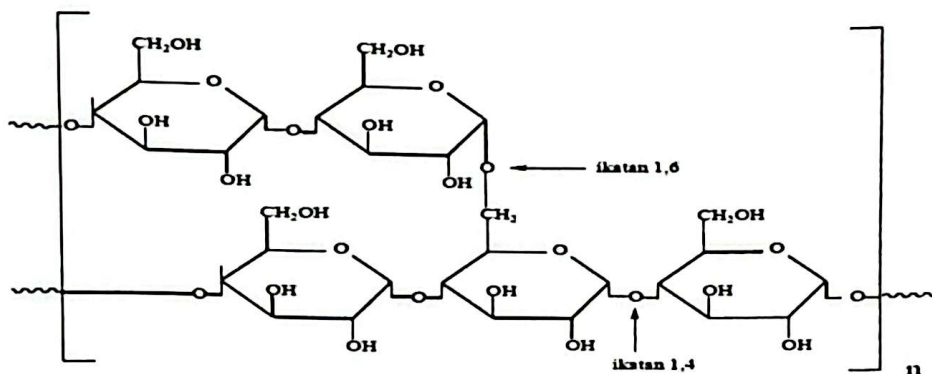
2.1 Limbah Tapioka

Limbah tapioka merupakan limbah yang berasal dari pati singkong (tapioka), dan termasuk ke dalam golongan limbah organik yang masih banyak mengandung karbohidrat, protein, dan gula. Kandungan karbohidrat limbah tapioka yang tinggi yaitu sekitar 65,90% dengan kadar amilosa 16% dan amilopektin 84% dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan plastik *biodegradable*. Oleh karenanya limbah dari pati singkong dapat dijadikan alternatif dalam pembuatan plastik *biodegradable* (Kurniadi, 2010).

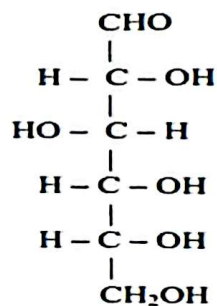
Pati sering digunakan dalam industri pangan sebagai *biodegradable* film untuk menggantikan polimer plastik karena ekonomis, dapat diperbaharui, dan mudah diperoleh. Rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$ yang dimiliki pati bersifat mudah terdegradasi dan dapat diperbarui. Pati terdiri atas dua komponen, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer rantai linear dari glukosa dan dihubungkan oleh ikatan α -(1,4)-D-glukosa, sedangkan amilopektin merupakan polimer bercabang dari glukosa dengan ikatan glikosidik α -(1,4)-D-glukosa dan α (1,6) (Bawardi, 2018). Struktur kimia amilosa dan amilopektin terdapat pada gambar II.1 dan II.2 dan untuk struktur dari D-Glukosa ditunjukkan pada gambar II.3.



Gambar II.1 Struktur Kimia Amilosa
Sumber : Kurniadi (2010)



Gambar II.2 Struktur Kimia Amilopektin
Sumber : Kurniadi (2010)



Gambar II.3 Struktur Kimia D-Glukosa
Sumber : Wibawa (2017)

Onggok sebagai limbah padat dari industri tapioka masih mengandung kadar tepung yang cukup tinggi, produknya cukup melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah padat industri tapioka masih mengandung pati cukup tinggi yaitu 63-68%. Badan Penelitian dan Pengkajian Teknologi Indonesia menyatakan bahwa kandungan pati pada ampas tapioka sebesar 67,8 % (Musita, 2018). Kandungan kimia onggok singkong terdapat pada tabel II.1.

Tabel II.1 Kandungan Kimia Onggok Singkong

No	Parameter	Persentase (%)
1	Air	12,73
2	Abu	9,1
3	Lemak	1,0
4	Protein	2,5
5	Serat Kasar	8,1
6	Karbohidrat	65,9

Sumber : Kurniadi (2010)

Dalam industri tapioka dihasilkan 75% limbah tapioka yang berasal dari total bahan baku yang digunakan. Komponen penting yang terdapat dalam limbah tapioka yaitu pati dan selulosa. Limbah tapioka juga mengandung air dan karbohidrat yang cukup tinggi serta kandungan protein kasar dan lemak yang rendah (Astuti, 2016).

Limbah tapioka mempunyai sifat fisik yang kurang menguntungkan diantaranya elastisitas, kekerasan, stabilitas mekanik dan peka terhadap kelembaban. Sifat-sifat tersebut dapat ditingkatkan melalui modifikasi, antara lain dengan teknologi pencampuran (*blending*), variasi kimia, dan kopolimerisasi *grafting* (*graft copolymerization*) (Xiu-Li, 2004).

2.2 Metil Metakrilat

Metil metakrilat adalah kelompok monomer dengan struktur kimia yang secara utama ditentukan oleh 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. Kemampuan metil metakrilat untuk membentuk kopolimer maupun homopolimer memiliki hasil yang sifatnya sangat luas, dari *tacky adhesive* sampai bentuk lembaran yang kaku (Kusumo, 2009). Tabel II.2 merupakan spesifikasi metil metakrilat.

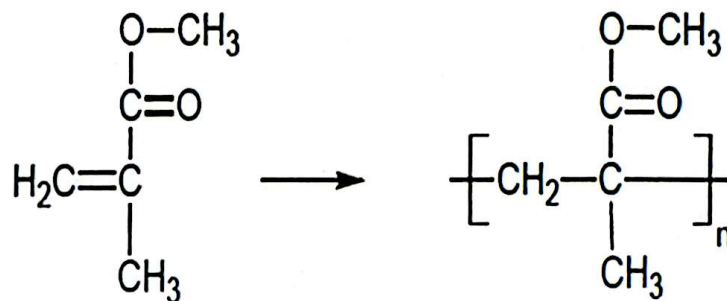
Tabel II.2 Spesifikasi Metil Metakrilat

Sifat	Nilai
Wujud fisik	Cairan tidak berwarna
Berat molekul (g/mol)	100,11
Rumus molekul	$C_5H_8O_2$
Kerapatn (g/cm^3)	0,939
Kelarutan dalam air	15
Titik leleh ($^{\circ}C$)	-48
Titik didih ($^{\circ}C$)	100-101
Titik nyala ($^{\circ}C$)	13
Transisi gelas ($^{\circ}C$)	105
Viskositas pada 20 $^{\circ}C$	0,6

Sumber : Putri (2008)

Polimetil metakrilat (PMMA) merupakan polimer dari hasil polimerisasi adisi metil metakrilat (ester dari asam metakrilat, asam 2-metilpropenoat). Polimerisasi

adisi merupakan reaksi adisi atau sering pula disebut reaksi rantai, yaitu reaksi yang berlangsung sangat cepat dan menghasilkan produk dengan berat molekul tinggi (Handayani, 2010). Kekuatan polimer akan bertambah dengan semakin panjangnya rantai/jumlah monomer karena terdapat semakin banyak gaya antar molekul antara rantai-rantai penyusunnya (Siburian dkk., 2017). Polimetil metakrilat merupakan jenis polimer amorf ataktik dan dijual dengan nama dagang *Lucite* dan *Plexiglas* (Carragher, 2003). Dalam keadaan normal sebenarnya PMMA sulit terdispersi dalam air, karena sifat hidrofobia (fobia air) dari PMMA (Permono, 2017). Gambar II.4 menunjukkan polimerisasi adisi pada metil metakrilat.



Gambar II.4 Polimerisasi Adisi Metil Metakrilat
Sumber : Kuswantiningsih (2010)

Polimetil metakrilat adalah bahan termoplastik transparan yang memiliki kekuatan mekanik yang cukup baik serta ketahanan terhadap cuaca yang luar biasa (Harper, 2004). Polimetil metakrilat merupakan plastik yang memiliki sifat kuat dan keras, tetapi ringan dan fleksibel. Biasanya polimetil metakrilat digunakan untuk campuran gelas dan logam (Harsujuwono dan Arnata, 2015). Spesifikasi polimetil metakrilat terdapat pada tabel II.3.

Tabel II.3 Spesifikasi Polimetil Metakrilat

Sifat	Nilai
Wujud fisik	Cairan tidak berwarna
Rumus molekul	$(C_5H_8O_2)_n$
Kerapatan (g/cm^3)	1,19
Titik leleh ($^{\circ}C$)	130-140
Titik didih ($^{\circ}C$)	200
Transisi gelas ($^{\circ}C$)	105
Indeks refraksi	1,4899

Sumber : Putri (2008)

Polimetil metakrilat (PMMA) merupakan salah satu polimer yang memiliki ketahanan tinggi terhadap paparan sinar matahari, memiliki stabilitas termal yang sangat baik, dikenal untuk dapat menahan suhu setinggi 100°C dan juga memiliki sifat optik yang sangat baik. Dalam hal kekuatan mekanik PMMA memiliki *modulus young* yang tinggi dan perpanjangan putus yang rendah. Polimer ini memiliki resistensi terhadap bahan kimia, namun PMMA memiliki ketahanan yang rendah terhadap hidrokarbon terklorinasi dan aromatik, ester, atau keton (Ali, 2015). Untuk karakterisasi dari polimetil metakrilat dapat dilihat pada tabel II.4.

Tabel II.4 Karakterisasi Polimetil Metakrilat

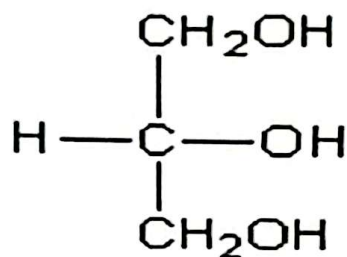
Sifat	Nilai
Kapasitas Panas (°C)	92
<i>Tensile Strenght</i> (MPa)	72,4
<i>Tensile Modulus</i> (GPa)	3
<i>Impact Strenght</i> (J/m)	21
Densitas (g/cm ³)	1,19
<i>Dielectric strength</i> (MV/m)	19,7

Sumber : Harper (2004)

2.3 *Plasticizer* Gliserol

Sejumlah besar aplikasi *plasticizer* digunakan untuk peningkatan sifat asli dari polimer dan produk. *Plasticizer* merupakan bahan dengan berat molekul rendah yang ditambahkan ke dalam bahan polimer untuk meningkatkan fleksibilitas. *Plasticizer* akan berinteraksi dengan rantai polimer pada tingkat molekuler untuk mempercepat respon viskoelastiknya (atau meningkatkan mobilitas rantai). Fungsi *plasticizer* secara umum untuk menurunkan temperatur transisi gelas (T_g), meningkatkan elastisitas *film*, meningkatkan permeabilitas film terhadap gas, uap air dan zat-zat terlarut (Wypch, 2017).

Gliserol adalah senyawa kimia yang mempunyai tiga gugus hidroksil dan memiliki rumus $C_2H_5(OH)_3$. Gliserol merupakan cairan kental tidak berwarna, tidak berbau, dengan rasa manis. Dalam kondisi anhidrat murni dan di bawah tekanan atmosfer normal, gliserol memiliki berat jenis 1,261 g/cm³, titik leleh 18,2°C dan titik didih 290°C (Pagliaro, 2017). Gambar II.5 menunjukkan struktur molekul gliserol.



Gambar II.5 Struktur Kimia Gliserol

Sumber : Carraher dan Seymour (2003)

Gliserol (1,2,3-propanetriol) adalah oleokimia dengan sifat kimia dan fisik yang baik untuk banyak aplikasi. Oleokimia adalah bahan kimia yang berasal dari minyak alami dan lemak baik nabati maupun hewani (Pagliaro, 2017).

Gliserol dapat larut sempurna dalam air dan alkohol namun tidak larut dalam minyak. Gliserol memiliki titik didih tinggi karena adanya ikatan hidrogen yang sangat kuat antar molekul gliserol. Sifat kimia gliserol yang memiliki gugus (OH) pada bagian ujung-ujungnya yang membuat senyawa ini banyak digunakan sebagai *plasticizer* atau zat pemlastis. Penggunaan gliserol sebagai zat pemlastis didasari dari sifat gliserol yang ramah lingkungan dan tidak beracun (Haryati dkk., 2017).

Gliserol efektif digunakan sebagai *plasticizer* pada film hidrofilik, seperti film berbahan dasar pati, gelatin, pektin, dan karbohidrat lainnya termasuk khitosan. Penambahan gliserol akan menghasilkan film yang lebih fleksibel dan halus. Gliserol adalah molekul hidrofilik yang relatif kecil dan dapat dengan mudah disisipkan di antara rantai protein dan membentuk ikatan hidrogen dengan amida. Gliserol dapat meningkatkan pengikatan air pada *edible film* (Hikmah, 2015). Beberapa jenis *plasticizer* yang dapat digunakan dalam pembuatan film *biodegradable* antara lain gliserol, lilin lebah, polivinil alkohol dan sorbitol (Julianti dan Nurminah, 2006).

2.4 Bioplastik

Plastik *biobased* atau yang biasa disebut bioplastik merupakan plastik yang terbuat dari sumber daya terbarukan dapat didaur ulang secara alami dengan proses biologis, sehingga menghemat sumber daya alam terbatas (bahan bakar fosil) dan mengurangi emisi gas rumah kaca (netral CO₂) (Pilla, 2011). Bioplastik terbuat dari

sumber biomassa seperti minyak nabati, amilum jagung, amilum ercis, atau mikrobiota. Bioplastik biasa digunakan untuk barang sekali pakai, seperti kemasan makanan dan catering (pecah-belah, sendok garpu, panci, mangkuk, sedotan), dan juga sering digunakan untuk tas, nampan, wadah untuk buah, sayuran, telur dan daging, botol untuk minuman ringan dan produk susu dan foil pembungkus untuk buah dan sayuran (Garrain dkk., 2007).

Aplikasi plastik *biodegradable* biasanya dapat digunakan untuk mengemas berbagai produk yang memiliki umur simpan yang pendek seperti pembungkus roti yang dapat bertahan selama beberapa bulan atau untuk tas belanja yang dapat bertahan selama kurang lebih 5 tahun. Plastik ini dapat dengan mudah terurai pada berbagai kondisi, baik dingin dan basah ataupun panas dan kering (Iflah, 2013).

Menurut SNI 7188.7:2011 persyaratan bahan kemasan *biodegradable*, bahan baku yang terdiri dari campuran yang mengandung pati (*starch*) dan termoplastik dan mengandung zat pendegradasi dapat digunakan sebagai bahan kemasan (Matondang dkk., 2013). Kriteria standar kuat tarik plastik *biodegradable* di Indonesia, SNI 7188.7:2011 (kategori produk kantong belanja plastik) sebesar 5-100 MPa (Marfu'ah, 2015).

Untuk memenuhi persyaratan kemasan harus memiliki sifat permeabel terhadap udara (oksigen dan gas lainnya), non-toksik dan inert (tidak bereaksi dan menyebabkan reaksi kimia), kedap air (mampu menahan air atau kelembaban udara sekitarnya), kuat dan tidak mudah bocor, relatif tahan terhadap panas, mudah dikerjakan secara massal dan harganya relatif murah (Indraswati, 2017).

Bioplastik mempunyai beberapa keuntungan diantaranya, mengurangi *greenhouse gas emission* 30-80%, lebih murah saat produksi, ramah lingkungan (*biodegradable*). Selain memiliki keuntungan bioplastik juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu tidak dapat di *recycle*, *food shortage* (terlalu fokus pada satu jenis tumbuhan khusus bioplastik, tanah rusak tidak dapat menanam jenis lain), berkurangnya kesadaran untuk tetap menjaga lingkungan (Garrain dkk., 2007).

Pada penelitian Iswarin dkk. (2013), membuat plastik *biodegradable* untuk aplikasi bahan pengemas. Bahan baku yang digunakan yaitu pati garut yang ditambahkan dengan matriks metil akrilat dengan variasi komposisi pati:metil

akrilat yaitu 30:70; 35:65; 40:60; 45:55; 50:50. Pengaruh penambahan metil akrilat pada penelitian ini yaitu meningkatkan nilai kekuatan tarik dan nilai perpanjangan putus. Pada komposisi pati garut:metil akrilat 30:70 cocok untuk digunakan sebagai bahan pengemas, karena memiliki sifat kekuatan tarik yang baik, tidak tembus oleh air, ramah terhadap lingkungan dan mempunyai harga yang lebih ekonomis.

Asni dkk. (2015) telah membuat plastik *biodegradable* berbahan ampas singkong dan polivinil asetat (PVA) sebagai perekat dan gliserol sebagai *plasticizer*. Pengaruh penggunaan PVA ini dianalisis dengan menggunakan FTIR untuk analisis struktural, XRD untuk analisis morfologi, serta UTM untuk analisis kekuatan tarik dan *modulus young*. Adanya gliserol yang terdapat di dalam sampel menjadikan plastik *biodegradable* halus waktu disentuh. Ini menunjukkan gliserol adalah *plasticizer* yang baik. Ditemukan bahwa dengan perbandingan pati dengan PVA 9:1; 8:2; 7:3 dan 6:4, peningkatan komposisi PVA dapat meningkatkan kekuatan tarik plastik *biodegradable*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa komposisi optimal yaitu pada perbandingan pati dengan PVA 6:4. Plastik *biodegradable* ini menghasilkan sifat mekanik yang baik, lebih fleksibel, tidak tembus oleh air, ramah terhadap lingkungan.

Saleh dkk. (2017) membuat *edible film* dari pati kulit singkong sebagai pengemas makanan. Dengan penambahan *plasticizer* gliserol dan sorbitol divariasikan. Pada penggunaan *plasticizer* gliserol, semakin berat pati singkong, maka kekuatan tarik dan ketebalan *edible film* makin besar sebaliknya semakin besar volume gliserol, maka kekuatan tarik *edible film* semakin kecil.

Molavi dkk. (2015) mengenai film *biodegradable* berbasis pati, berdasarkan penelitian pada pembuatan biofilm yang dapat terbiodegradasi dalam industri pengemasan makanan, dikatakan bahwa pati adalah sumber yang penting dan menjanjikan. Tuntutan pada aplikasi biofilm yang berada dalam industri kemasan makanan telah membuat para peneliti untuk menyelidiki berbagai sumber pati dengan karakteristik masing-masing. Agar pati dapat menghasilkan film yang diinginkan maka dapat dilakukan modifikasi dengan menggunakan bahan yang berbeda untuk menghasilkan film dengan sifat yang diinginkan, selain itu memodifikasi sifat mekanik dan permeabilitas pati dapat dilakukan dengan

menggunakan polimer lain dalam film berbasis pati untuk meningkatkan dampak antimikroba.

5 Iradiasi

Iradiasi adalah suatu teknik penggunaan energi radiasi untuk penyinaran bahan sengaja dan terarah. Radiasi merupakan pancaran energi melalui suatu materi ng dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik/cahaya ri sumber radiasi (Syarifudin, 2016). Radiasi dapat berupa sinar alfa, beta, sinar gamma yang kesemuanya dapat disebut radiasi pengion. Diantara α , dan sinar gamma, sinar gamma (γ) yang memiliki daya tembus yang ndingkan dengan sinar- α dan β , dan hanya dapat ditahan oleh tembok han lain dengan ketebalan tertentu untuk melindungi manusia dari ditimbulkan (Sardjono dan Soetrisnanto, 1986).

masuk jenis radiasi pengion yaitu jenis radiasi yang dapat n atau materi yang dilaluinya, karena terjadi proses ionisasi dilalui radiasi akan terbentuk pasangan ion positif dan pakan jenis radiasi pengion yang hingga kini digunakan egiatan industri, karena radiasi sinar gamma maupun a berfungsi sebagai sinar yang mempunyai daya berfungsi sebagai tenaga untuk eksitasi elektron apun molekul untuk selanjutnya mengalami kan menyebabkan ionisasi. Adanya radikal- adiasi pada monomer/polimer tunggal atau satu dengan lainnya akan menghasilkan melalui ikatan silang, homopolimerisasi i akan menghasilkan produk yang steril

6) mengenai pembuatan plastik an menggunakan campuran pati kGy. Dari penelitian tersebut an menaikkan sifat mekanik is radiasi 5 kGy memiliki

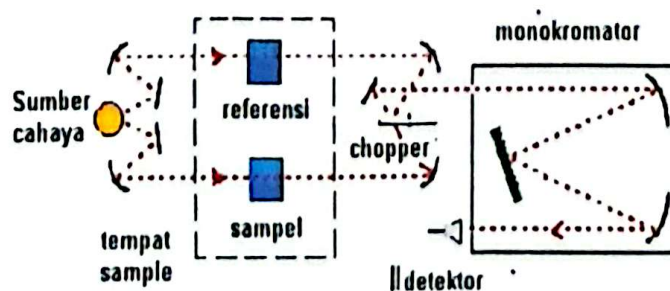
nilai kekuatan tarik tertinggi sebesar $\pm 6,5$ MPa, sehingga memiliki kemampuan sebagai bahan kemasan karena adanya peningkatan sifat mekanik.

2.6 Pengujian Sifat Kimia dengan Alat Uji FTIR

Spektroskopi FTIR adalah alat yang digunakan untuk menentukan vibrasi dari atom pada molekul. Salah satu keunggulan inframerah spektroskopi yaitu hampir semua sampel dalam semua keadaan dapat dipelajari, seperti cairan, larutan, bubuk, serat, maupun gas. Alasan lain penggunaan spektroskopi inframerah juga dikarenakan alat ini memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga mampu memeriksa sampel yang sebelumnya tidak bisa diolah (Stuart, 2004).

Spektrum IR sangat berguna untuk menentukan gugus fungsi suatu senyawa organik, serta mengidentifikasi struktur suatu senyawa organik dengan membandingkan dengan daerah sidik jarinya (Dachrianus, 2004).

Cahaya tampak terdiri dari beberapa range frekuensi elektromagnetik yang berbeda dimana setiap frekuensi bisa dilihat sebagai bentuk 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 4000 - 200 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 (Dachrianus, 2004). Skema spektrofotometer inframerah dapat dilihat pada gambar II.6.



Gambar II.6 Skema Alat Spektrofotometer Inframerah
Sumber : Dachrianus (2004)

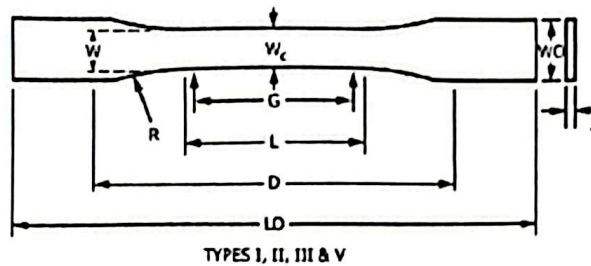
Jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Detektor yang ditempatkan pada sisi lain dari senyawa akan mendeteksi frekuensi yang dilewatkan pada sampel yang tidak diserap oleh senyawa. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen *transmitan* (Dachrianus, 2004).

Dalam spektroskopi inframerah, frekuensi dinyatakan dalam bilangan gelombang (*wave numbers*) yaitu banyaknya daur persentimeter. Satuan bilangan gelombang ialah sepersentimeter ($1/\text{cm}$ atau cm^{-1}). Satuan yang digunakan untuk panjang gelombang dalam spektroskopi inframerah ialah mikrometer, (μm atau mikron, μ) dengan $1,0\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m} = 10^{-4}\text{cm}$ (Fessenden dan Fessenden, 1986).

2.7 Pengujian Sifat Mekanik dengan Alat Uji UTM

Uji tarik merupakan salah satu pengujian yang digunakan pada material untuk mengetahui karakteristik material yang dapat menentukan kualitas dari material yang berhubungan dengan sifat elastis dan plastis material terhadap pembebanan yang diberikan (Bursa, 2015).

Dalam penggunaan mesin UTM preparasi sampel spesimen diperlukan untuk menyiapkan material sebelum dilakukan pengujian sifat mekanik. Mesin *Hydraulic press machine* digunakan untuk mengubah bentuk pelet plastik menjadi pelat tipis sesuai ketebalan standar pengujian yang digunakan. Setelah itu *pneumatic specimen punch* digunakan untuk mengubah pelat plastik menjadi bentuk spesimen *dog bone* sesuai panjang dan lebar pada standar pengujian yang digunakan. Spesimen tarik merupakan penampang sampel standar. Bentuk penampang spesimen uji dapat berbentuk bulat, persegi, atau persegi panjang. Spesimen memiliki dua penampang dan pengukur. Penampang berdiameter lebih besar sehingga mudah digenggam, sedangkan bagian pengukur (bagian tengah) memiliki penampang yang lebih kecil sehingga penambahan panjang yang terjadi akibat gaya tarikan yang diberikan pada sampel uji atau yang biasa disebut deformasi (Bursa, 2015). Gambar spesimen uji tarik dapat dilihat pada gambar II.7 dan untuk dimensi ketebalan spesimen terdapat pada tabel II.5.



Gambar II.7 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe I, II, III & V
 Sumber : ASTM D638 (2014)

- Keterangan:
- W₀ (Lebar)
 - T (Tebal)
 - W/W₀ (Lebar bagian yang sempit)
 - R₀ (Radius luar)
 - L (Panjang bagian yang sempit)
 - G (Panjang pengukuran)
 - R (Radius potongan)
 - D (Jarak antara grip)
 - LO (Panjang keseluruhan)

Tabel II.5 Dimensi Ketebalan Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe V

Dimensi Spesimen Uji Tarik	Dimensi Spesimen Untuk Ketebalan (mm)	Toleransi (mm)
W (Lebar bagian yang sempit)	3,18	±0,5
L (Panjang bagian yang sempit)	9,53	±0,5
W ₀ (Lebar keseluruhan)	9,53	±6,4
Lo (Panjang keseluruhan)	63,5	Tidak ada batas maksimum
G (Panjang pengukuran)	7,62	±0,25
D (Jarak antara grip)	25,4	±5
R (Radius potongan)	12,7	±1

Sumber : ASTM D638 Tipe V (2014)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan studi literatur pada bulan November-Desember 2018. Setelah itu proses persiapan bahan sampai dengan pencampuran bahan dilakukan di Laboratorium Bidang Proses Radiasi Bagian Bahan Industri, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jalan Lebak Bulus No. 49 Pasar Jum'at, Jakarta Selatan pada bulan Januari-Maret 2019, dan dilanjutkan dengan pembuatan lembaran bioplastik di Laboratorium Polimer Politeknik STMI Jakarta pada bulan April 2018. Setelah terbentuk lembaran bioplastik dilakukan pencetakan spesimen dan pengujian, proses pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Bidang Proses Radiasi Bagian Bahan Industri, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) pada bulan Mei 2019.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

1. Neraca analitik
2. Gelas kimia
3. Gelas ukur
4. *Hot plate*
5. *Magnetic stirrer*
6. Pipet
7. Spatula
8. Cawan petri
9. Botol *ampule*
10. Oven
11. Plastik *zip lock*
12. *Irradiator gamma cell*
13. Kertas OHP
14. Jangka sorong
15. Penggaris
16. Sarung tangan karet dan rajut
17. Masker
18. Cetakan lembaran bioplastik
19. Pisau cetakan spesimen ASTM D 638 tipe V
20. *Manual forming machine*
21. *Pneumatic specimen punch*

22. FTIR Prestige 21, Shimadzu 23. UTM Stograph R1, Toyoseiki

Gambar alat yang digunakan dapat dilihat pada lampiran A.

3.2.2 Bahan

1. Limbah tapioka
2. Metil metakrilat (MMA)
3. Akuades
4. Gliserol

Gambar bahan yang digunakan dapat dilihat pada lampiran B.

3.3 Variabel

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap adalah variabel yang tidak berubah selama penelitian berlangsung. Variabel tetap yang digunakan selama penelitian ini, yaitu:

1. Waktu pencampuran limbah tapioka dengan metil metakrilat: 1 jam
2. Waktu pencampuran limbah tapioka/metil metakrilat dengan gliserol: 1 jam
3. Waktu pengepresan untuk membuat lembaran : 10 menit
4. Dosis sinar radiasi : 5 kGy
5. Massa limbah tapioka : 20 gram
6. Massa gliserol: 8 gram
7. Volume akuades : 20 mL
8. Tekanan *manual forming machine*: 110 kg/cm²
9. Suhu *manual forming machine*: 110 °C
10. Suhu pendingan *manual forming machine* : 60 °C
11. Suhu oven : 60°C

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang divariasikan selama penelitian berlangsung. Variabel bebas memiliki fungsi utama sebagai acuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap variabel lain, dan bertujuan untuk mencari nilai terbaik pada sampel produk yang terbentuk.

Variabel bebas pada penelitian ini adalah konsentrasi metil metakrilat (MMA). Tabel III.1 menunjukkan variasi konsentrasi metil metakrilat terhadap limbah tapioka.

Tabel III.1. Variasi Komposisi Massa Limbah Tapioka/ Metil Metakrilat

Limbah Tapioka	Gliserol	Metil Metakrilat (MMA)	
		Konsentrasi (%)	Massa (gram)
20	8	-	-
20	8	25	5
20	8	50	10
20	8	75	15

3.4 Prosedur Proses Pembuatan Bioplastik

1. Pencampuran Bahan Baku

Limbah tapioka dan metil metakrilat yang sudah disiapkan dicampur dengan menggunakan *hot plate* pada kecepatan 250 rpm dan pengaduknya yaitu *magnetic stirrer*. Dimana sebelum pencampuran, bahan baku ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan. Pencampuran ini membutuhkan waktu ± 1 jam.

2. Iradiasi Sinar Gamma

Limbah tapioka/Metil metakrilat yang telah dicampur selanjutnya dimasukkan kedalam botol *ampule* 150 ml dan ditutup rapat. Setelah itu, dilakukan proses Iradiasi dengan menggunakan *Irradiator Gamma Cell* dengan dosis 5 kGy.

3. Penambahan *Plasticizer*

Sampel yang telah diradiasi kemudian ditambahkan dengan *plasticizer* gliserol dan akuades, kemudian dilakukan pencampuran dengan menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* pada suhu 60 °C dan kecepatan 250 rpm. Pencampuran ini membutuhkan waktu ± 1 jam.

4. Pengeringan

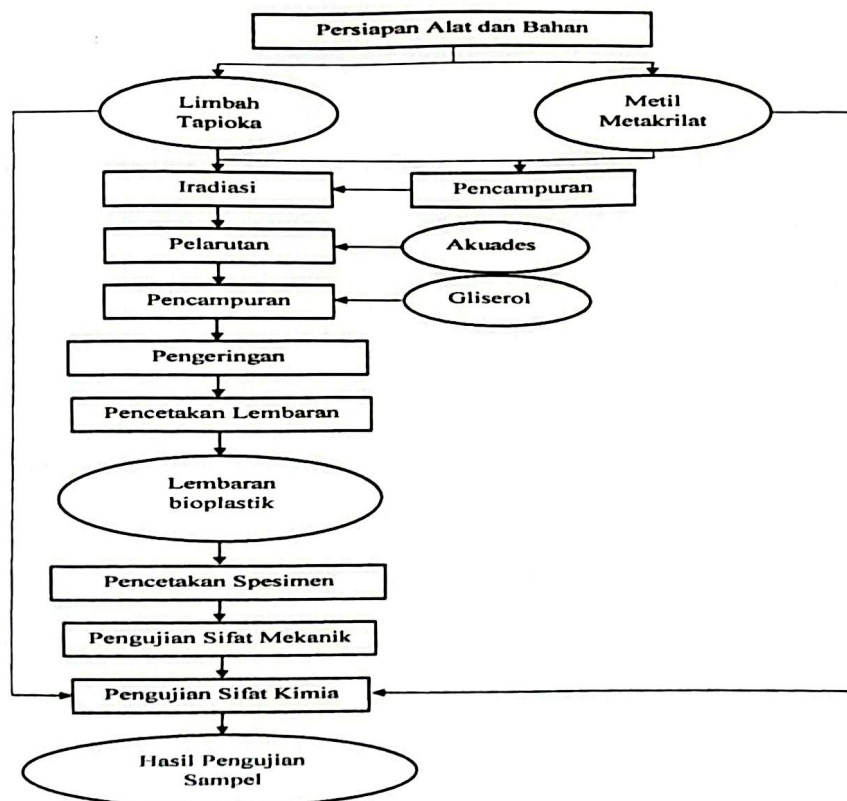
Setelah limbah tapioka/polimetil metakrilat tercampur dengan gliserol kemudian diletakkan pada cawan petri untuk dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 60 °C.

5. Pencetakan Lembaran

Pencetakan lembaran ini dilakukan dengan menggunakan mesin *hydraulic press machine* pada suhu 110°C dan tekanan 110 kg/cm², selama 10 menit.

6. Pencetakan Spesimen

Film yang sudah dicetak kemudian dibentuk spesimen dengan menggunakan *pneumatic spesimen punch* dengan pisau cetakan spesimen tipe V yang berbentuk *dog bone*. Spesimen ini nantinya akan diuji dengan analisa karakterisasi kekuatan tarik. Diagram alir proses pembuatan dan pengujian bioplastik pada saat penelitian dapat dilihat pada gambar III.1



Gambar III.1 Diagram Alir Proses Pembuatan dan Pengujian Bioplastik

3.5 Karakterisasi Sampel

3.5.1 Pengujian Sifat Kimia

Pengujian sifat kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi organik serta anorganik dari bahan baku bioplastik yang dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* IR Prestige 21 dengan merek Shimadzu, yang terdapat pada Laboratorium Bahan Industri BATAN dengan prosedur sebagai berikut :

- Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
- Nyalakan instrument FTIR dengan menekan tombol *power on*, tunggu hingga proses inisiasi selesai.

- Hidupkan komputer, klik ikon *Spectrum*.
- 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 dalam mortar hingga tercampur
- Letakkan sampel yang sudah dipreparasi pada tempat sampel, kemudian lakukan pemindaian sampel dengan cara mengklik *collect sample*, 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 pada basis data (*library*) dan lakukan interpretasi pada hasil pemindaian untuk mengetahui analisa gugus yang terkandung pada sampel.
- Simpan hasil pemindaian yang didapat.

3.5.2 Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan menggunakan standar ASTM D638-14. Pembuatan spesimen untuk pengujian dilakukan menggunakan mesin *pneumatic specimen punch* dengan alat pencetak spesimen tipe V berbentuk *dogbone*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan UTM dengan panjang spesimen sebesar 63 mm dan tebal bagian badan spesimen $\pm 2,72$ mm. Banyaknya spesimen yang diuji yaitu tiga spesimen untuk diperoleh rata-rata kekuatan tarik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) Strograph RI merek Toyoseiki. Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Industri BATAN.

Prosedur penggunaannya sebagai berikut:

- Hubungkan kabel instrumen dengan sumber listrik.
- Hubungkan alat penjepit atas ke bagian atas dan alat penjepit bawah dengan bagian bawah alat.
- Hidupkan alat *Universal Testing Machine* Sotograph RI, 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, ukur lagi dimensi spesimen dan jarak antar-*grip* dengan jangka sorong.
 - Hitung data yang didapatkan untuk mencari nilai kekuatan tarik (*tensile strength*, MPa) dan perpanjangan putus (*elongation at break*, %).
 - Ulangi prosedur di atas untuk spesimen lainnya.
- Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran F.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai hasil analisis produk bioplastik limbah tapioka dengan penambahan *plasticizer* menggunakan alat uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Universal Testing Machine* (UTM).

4.1 Hasil Pengujian Sifat Kimia

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

4.1.1 Hasil Pengujian Limbah Tapioka

Berdasarkan hasil pengujian FTIR didapatkan hasil spektra transmisi inframerah limbah tapioka murni yang terdapat pada gambar IV.1. Tabel IV.1 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yang merupakan bilangan gelombang referensi hasil FTIR dari Kurniadi (2010) dan bilangan gelombang B yang merupakan hasil pengujian FTIR penelitian ini.

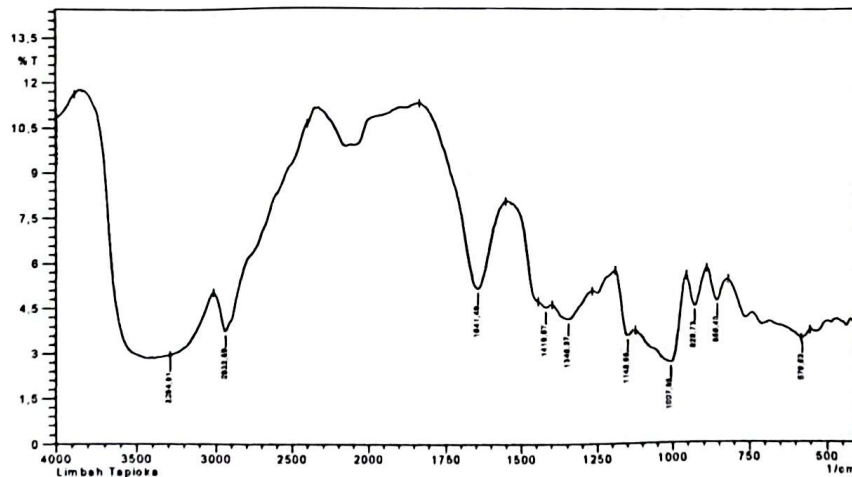
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil FTIR Limbah Tapioka

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang A (cm^{-1})	Bilangan Gelombang B (cm^{-1})
	Sumber: Kurniadi (2010)	Sumber: Penelitian ini
-O-H <i>stretch</i>	3400,01	3284,91
-C-H <i>stretch</i>	2927,88	2932,89
-C=O <i>Stretch</i>	1647,94	1641,49
-O-H <i>bend</i>	1423,98	1419,67
-C-H <i>bend</i>	1370,91	1346,37
-C-O <i>Stretch</i>	1157,72	1149,49
-C-C <i>Stretch</i>	1014,34	1001,86

Dari uji FTIR dapat dilihat bahwa pada bilangan gelombang $3284,91 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan yang khas dari vibrasi ulur -OH (-O-H *stretch*) dan dipertegas dengan adanya pita serapan dari vibrasi tekuk -OH (-O-H *bend*) pada bilangan

gelombang $1419,67 \text{ cm}^{-1}$. Pita serapan khas vibrasi ulur -CH (-C-H stretch) muncul pada bilangan gelombang $2932,89 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan vibrasi tekuk dari -CH (-C-H bend) muncul pada bilangan gelombang $1346,37 \text{ cm}^{-1}$.

Pita serapan vibrasi ulur C-C (-C-C Stretch) pada limbah tapioka teramati pada bilangan gelombang $1011,86 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan vibrasi ulur C-O (-C-O Stretch) muncul pada bilangan gelombang $1149,49 \text{ cm}^{-1}$. Terdapat juga pita tajam serapan vibrasi pada daerah bilangan gelombang $1641,49 \text{ cm}^{-1}$, pita serapan ini berasal dari gugus C=O (-C=O Stretch) aldehida unit glukosa penyusun limbah tapioka. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tidak jauh berbeda dengan referensi (Kurniadi, 2010).



Gambar IV.1 Spektrum Inframerah Limbah Tapioka

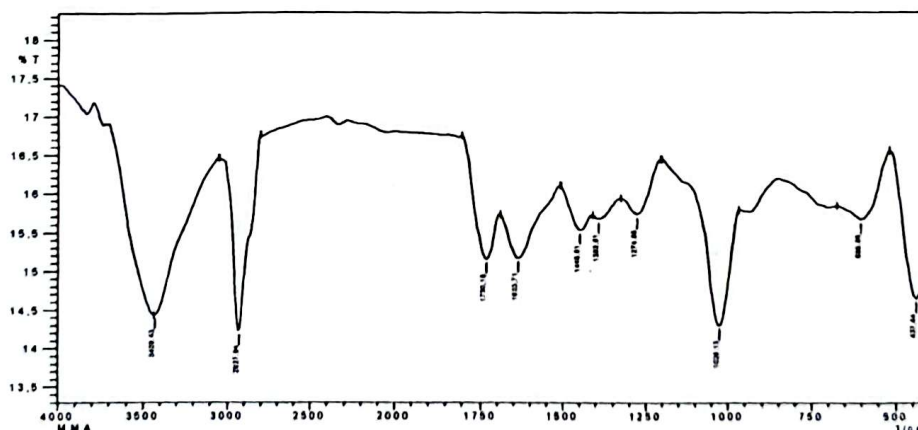
4.1.2 Hasil Pengujian Metil Metakrilat

Tabel IV.2 menunjukkan perbandingan antara bilangan gelombang A yaitu hasil FTIR Kuswantiningsih (2010) dan bilangan gelombang B yaitu hasil FTIR metil metakrilat pada penelitian ini.

Tabel IV.2 Perbandingan Hasil FTIR Metil Metakrilat

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang A (cm^{-1})	Bilangan Gelombang B (cm^{-1})
	Sumber: Kuswantiningsih, 2010	Sumber: Penelitian ini
C=C Alkena	Tidak Terlihat	3429,43
CH ₃ Stretch	2950,17	2927,94
C=O stretch	1725,00	1730,15
C=C Stretch	1639,52	1663,71
C-O-C Strech	1147,67	1274,95

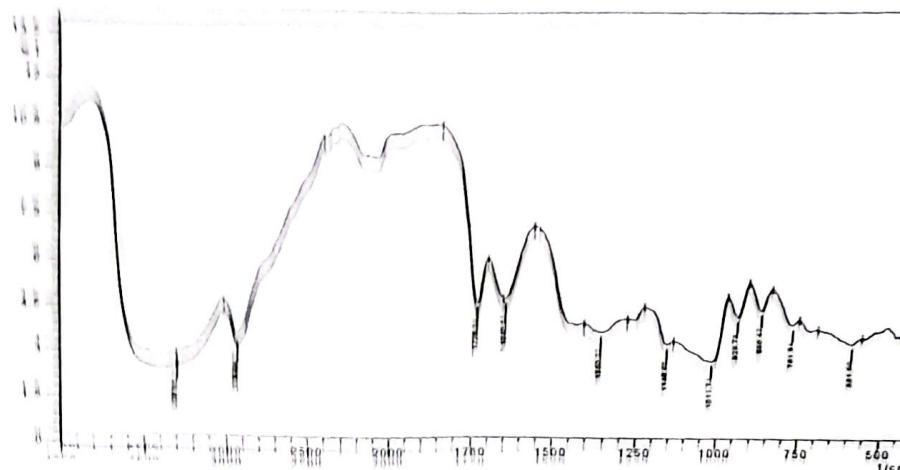
Dari uji FTIR metil metakrilat didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.2 dan telah dirangkum pada tabel IV.2, berdasarkan hasil spektrum FTIR metil metakrilat, monomer metil metakrilat muncul pada *peak* di daerah bilangan gelombang $1639,52\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan rangkap C=C, sedangkan bilangan gelombang $1274,95\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya uluran C—O—C dari gugus ester, *peak* dari gugus ini biasanya muncul di daerah sidik jari pada *range* $1110 - 1300\text{ cm}^{-1}$. Namun terdapat bilangan gelombang $3429,43\text{ cm}^{-1}$ yang terdeteksi pada hasil pengujian, sedangkan nilai bilangan gelombang tersebut tidak terlihat pada hasil FTIR metil metakrilat Kuswantiningsih (2010). Jika dilihat dari hasil FTIR lembaran metil metakrilat Suhardjo dkk (2011), bilangan gelombang $3429,43\text{ cm}^{-1}$ terdeteksi sebagai ikatan C=C alkena, karena bilangan gelombang untuk gugus C=C pada hasil FTIR metil metakrilat Suhardjo dkk (2011) adalah >3000 .



Gambar IV.2 Spektrum Inframerah Metil Metakrilat

4.1.3 Hasil Pengujian Bioplastik Limbah Tapioka/Metil Metakrilat

Dari uji FTIR bioplastik sampel dengan konsentrasi metil metakrilat sebesar 0% didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.3. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi yang sama dan bilangan gelombang yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengujian FTIR pada limbah tapioka, sehingga pada bioplastik dengan konsentrasi metil metakrilat 0% tidak terdapat gugus yang hilang ataupun gugus baru yang terbentuk, hal ini menunjukkan bahwa proses radiasi pada limbah tapioka tidak mengubah struktur kimia dari limbah tapioka.



Gambar IV.3 Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 0%

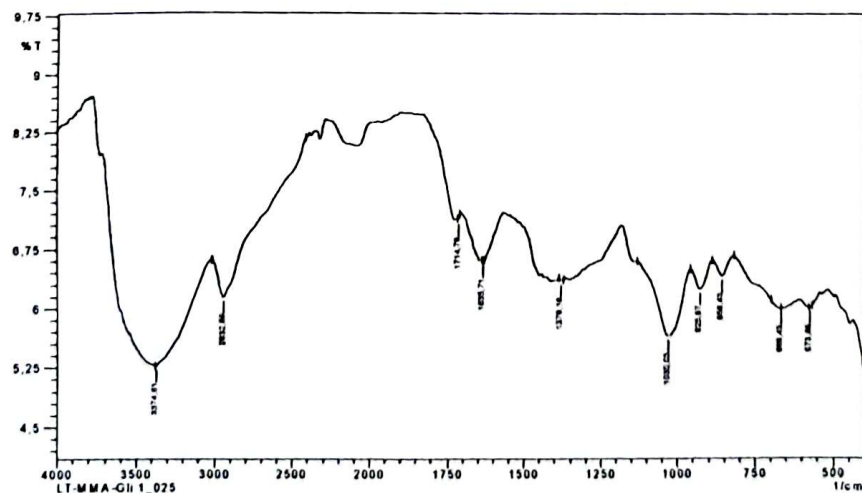
Hasil pengujian bioplastik limbah tapioka/metil metakrilat pada konsentrasi metil metakrilat 25%, 50%, dan 75% terdapat pada tabel IV.3.

Tabel IV.3 Hasil FTIR Bioplastik Limbah Tapioka/Metil Metakrilat Terhadap Metil Metakrilat

Jenis Ikatan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Metil Metakrilat Sumber: Penelitian ini	Konsentrasi Metil Metakrilat (%)		
		25	50	75
C=O stretch	1730,15	1714,79	1727,33	1732,15
C=C stretch	1663,71	Tidak Terlihat	Tidak Terlihat	Tidak Terlihat
C-O-C stretch	1374,95	1290,43	1267,29	1283,07

Dari uji FTIR bioplastik dengan konsentrasi metil metakrilat sebesar 25% didapatkan spektra transmisi inframerah yang tampak pada gambar IV.4. Dari hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang tampak tidak terlalu jauh dengan sampel pada konsentrasi metil metakrilat 50% dan 75%. Untuk gugus fungsi dan bilangan gelombang pada metil metakrilat terdapat gugus fungsi yang hilang yaitu gugus pada ikatan rangkap C=C pada monomer metil metakrilat. Dapat dilihat pada tabel IV.3 spektra FTIR pada sampel dengan konsentrasi metil metakrilat sebesar 25% dari limbah tapioka memperlihatkan adanya pergeseran bilangan gelombang dari gugus karbonil (C=O)

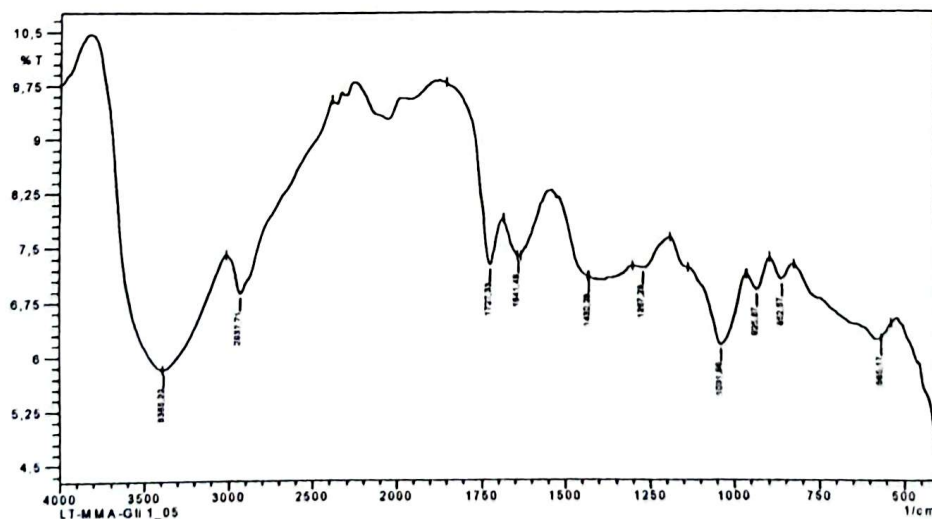
yang terdapat pada metil metakrilat. Bilangan gelombang C=O dari monomer metil metakrilat yaitu $1730,15 \text{ cm}^{-1}$ yang tampak pada tabel IV.2, sedangkan pada polimetil metakrilat yang terbentuk adalah $1714,79 \text{ cm}^{-1}$. Adanya pergeseran bilangan gelombang ini diakibatkan karena terjadinya reaksi polimerisasi secara adisi pada ikatan C=C yang terdapat pada metil metakrilat sehingga ikatan rangkap terkonjugasi menjadi hilang dan menyebabkan terjadinya perubahan energi untuk melakukan *stretching* C=O (Kuswantiningsih, 2010). Untuk gugus C-O-C masih terlihat dan menunjukkan tidak adanya perubahan bilangan gelombang yang cukup signifikan dengan hasil sampel metil metakrilat. Dapat dikatakan bahwa proses radiasi pada campuran limbah tapioka dan metil metakrilat dapat membuat metil metakrilat terpolimerisasi secara sempurna menjadi polimetil metakrilat hal ini dibuktikan dengan sudah tidak adanya ikatan rangkap (C=C) pada hasil bioplastik yang sudah didapatkan.



Gambar IV.4 Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 25%

Dari uji FTIR bioplastik sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 50% didapatkan spektra transmitansi inframerah yang tampak pada gambar IV.5. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang hampir sama dengan konsentrasi metil metakrilat 25% dan 75%. Dapat dilihat pada tabel IV.3 terdapat gugus fungsi pada konsentrasi metil metakrilat 25% yang hilang yaitu gugus pada ikatan rangkap C=C yang

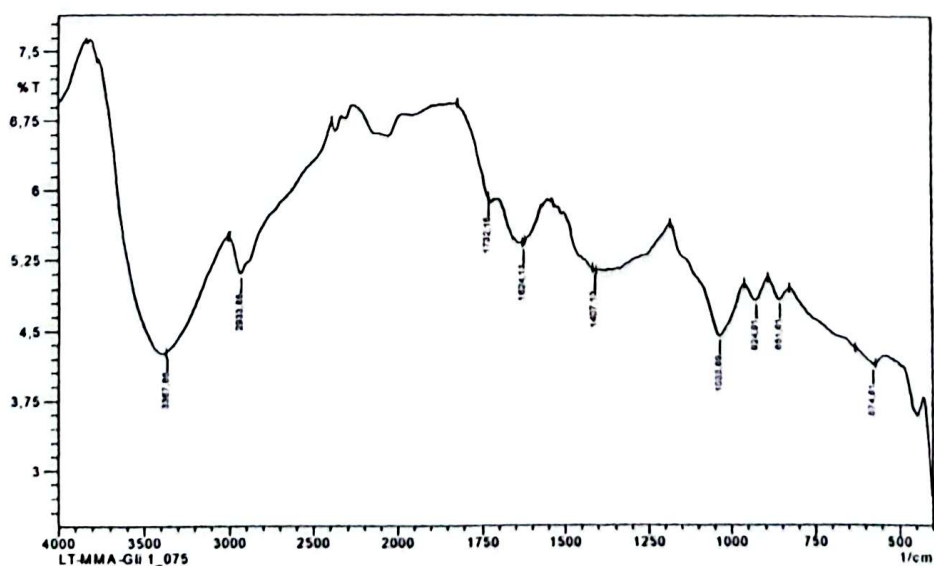
awalnya terdapat pada metil metakrilat. Dapat dilihat juga pada gambar spektra FTIR untuk konsentrasi metil metakrilat 50% memperlihatkan adanya pergeseran bilangan gelombang dari gugus karbonil (C=O). Bilangan gelombang C=O dari monomer metil metakrilat yaitu $1730,15\text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada polimetil metakrilat yang terbentuk adalah $1727,33\text{ cm}^{-1}$. Adanya pergeseran bilangan gelombang untuk gugus karbonil karena reaksi polimerisasi adisi yang menghilangkan ikatan C=C pada metil metakrilat menjadi ikatan tunggal dan menyebabkan terjadinya perubahan energi untuk melakukan *stretching* gugus karbonil (Kuswantiningsih, 2010) seperti pada konsentrasi metil metakrilat 25%, untuk gugus uluran C-O-C pada konsentrasi metil metakrilat 50% tetap terlihat dan tidak menunjukkan adanya perubahan bilangan gelombang yang cukup signifikan dengan hasil sampel metil metakrilat. Dapat disimpulkan bahwa proses radiasi yang dilakukan dapat membuat metil metakrilat terpolimerisasi secara sempurna menjadi polimetil metakrilat hal ini dibuktikan dengan sudah tidak adanya ikatan C=C pada hasil bioplastik yang didapatkan.



Gambar IV.5 Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 50%

Dari uji FTIR bioplastik sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 75% didapatkan spektra transmittan inframerah yang tampak pada gambar IV.6. Berdasarkan hasil pengujian FTIR yang dilakukan didapatkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang mirip dengan sampel pada konsentrasi metil metakrilat

25% dan 50%. Berdasarkan tabel IV.3 spektra FTIR pada dengan konsentrasi metil metakrilat 75% tidak menunjukkan adanya gugus C=C yang awalnya terdapat pada monomer metil metakrilat. Dapat dilihat juga pada spektra FTIR tersebut memperlihatkan adanya pergeseran bilangan gelombang dari gugus karbonil (C=O) ke arah bilangan gelombang. Bilangan gelombang pada gugus karbonil dari monomer metil metakrilat yaitu $1730,15 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan pada polimetil metakrilat adalah $1732,15 \text{ cm}^{-1}$, adanya pergeseran bilangan gelombang tersebut dikarenakan terjadinya reaksi polimerisasi secara adisi pada ikatan C=C yang terdapat pada monomer metil metakrilat sehingga ikatan rangkap terkonjugasi menjadi hilang dan menyebabkan terjadinya perubahan energi untuk melakukan *stretching* ikatan C=O (Kuswantiningsih, 2010) seperti pada sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 25% dan 50%. Pada bilangan gelombang dengan *range* $1100\text{-}1300 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus uluran C-O-C yang terlihat pada hasil FTIR metil metakrilat untuk sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 75% gugus tersebut tetap terlihat dan tidak terlihat adanya perubahan bilangan gelombang yang cukup signifikan. Dari hasil yang didapatkan, dengan sudah tidak adanya ikatan rangkap (C=C) pada hasil bioplastik yang sudah didapatkan, maka dapat dikatakan bahwa monomer metil metakrilat terpolimerisasi menjadi polimetil metakrilat dengan adanya proses radiasi yang dilakukan.



Gambar IV.6 Spektrum Inframerah Bioplastik dengan Konsentrasi Metil Metakrilat 75%

4.2 Hasil Pengujian Sifat Mekanik

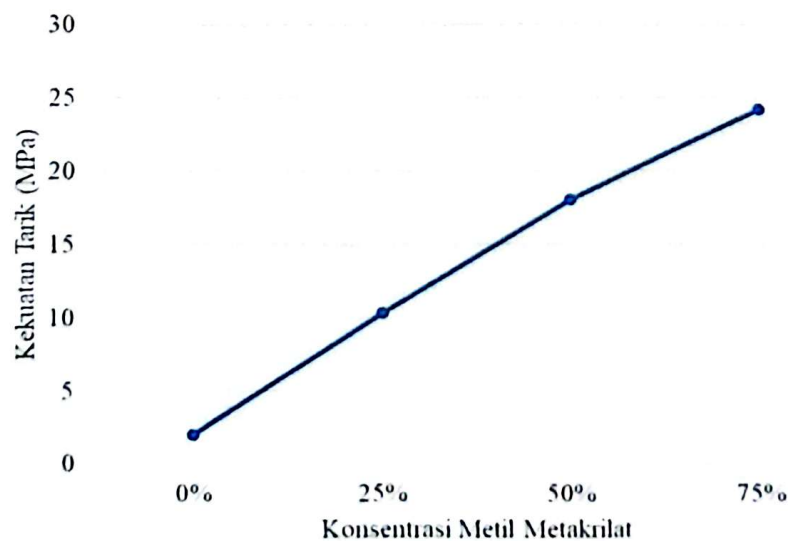
4.2.1 Pengujian Kekuatan Tarik Bioplastik Limbah Tapioka

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai kekuatan tarik yang telah dirangkum pada tabel IV.4.

Tabel IV.4 Hasil Uji Kekuatan Tarik Bioplastik

Konsentrasi Metil Metakrilat (%)	Kekuatan Tarik				
	1 (MPa)	2 (MPa)	3 (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi (MPa)
0	2,16	1,81	1,92	1,96	0,18
25	10,10	11,02	9,86	10,33	0,61
50	16,35	18,45	19,28	18,03	1,51
75	21,96	25,27	25,39	24,21	1,95

Tabel IV.4 menunjukkan nilai kekuatan bioplastik dari setiap masing-masing variasi. Nilai kekuatan tarik yang dihasilkan adalah nilai rata-rata dari 3 spesimen yang diuji. Berdasarkan nilai kekuatan tarik bioplastik, nilai kekuatan tarik pada konsentrasi metil metakrilat 75% lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi metil metakrilat 0%, 25%, dan 50%. Hal ini disebabkan karena komposisi metil metakrilat yang lebih banyak sehingga sifat mekanik yang didapatkan pada bioplastik menjadi lebih besar (Harper, 2004). Nilai kekuatan tarik bioplastik dapat dilihat pada gambar IV.7.



Gambar IV.7 Nilai Kekuatan Tarik Bioplastik

Dari gambar IV.7 berdasarkan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan metil metakrilat dapat mempengaruhi kekuatan tarik dari suatu spesimen. Pengaruh penambahan metil metakrilat terhadap kekuatan tarik mengalami peningkatan dan penurunan pada kondisi tertentu. Semakin banyak komposisi metil metakrilat dan semakin sedikit limbah tapioka yang digunakan maka semakin tinggi nilai kuat tarik yang dihasilkan. Hasil uji kekuatan tarik yang dihasilkan dengan adanya penambahan metil metakrilat sebesar 10,33-24,21 MPa, hal ini sesuai dengan kriteria standart kuat tarik plastik *biodegradable* di Indonesia SNI 7188.7:2011 (kategori produk kantong belanja plastik) sebesar 5-100 MPa (Marfu'ah, 2015).

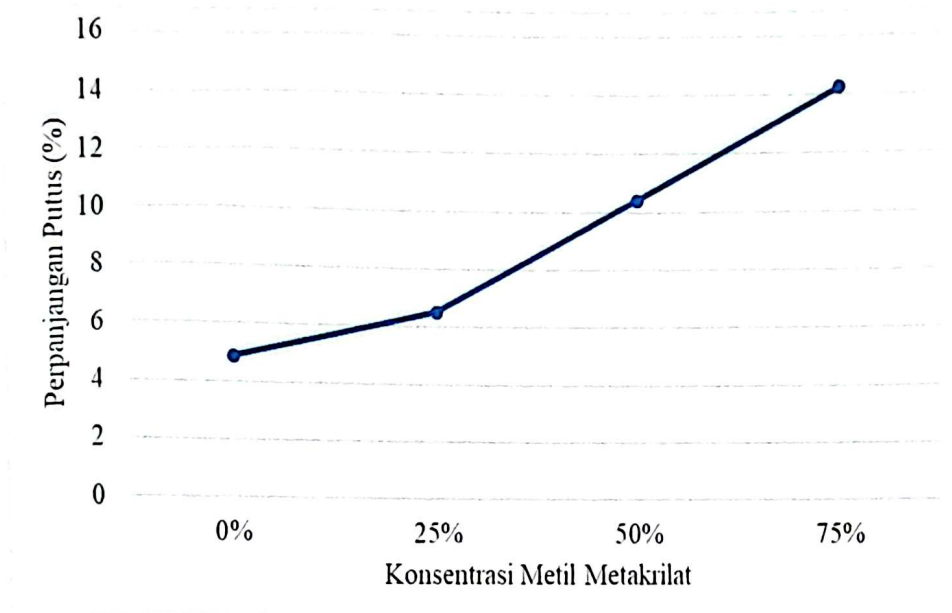
4.2.2 Pengujian Perpanjangan Putus Bioplastik Limbah Tapioka

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan perpanjangan putus yang telah dirangkum pada tabel IV.5.

Tabel IV.5 Hasil Uji Perpanjangan Putus Bioplastik

Konsentrasi Metil Metakrilat (%)	Perpanjangan Putus				
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	Rata-rata (%)	Standar Deviasi (%)
0	4,17	5,41	5,00	4,86	0,63
25	6,25	7,08	6,25	6,53	0,48
50	8,30	11,25	11,67	10,41	1,84
75	14,58	14,80	13,33	14,24	0,79

Tabel IV.5 menunjukkan nilai perpanjangan putus (*elongation at break*) bioplastik dari setiap masing-masing variasi. Nilai perpanjangan putus yang dihasilkan adalah nilai rata-rata dari 3 spesimen yang diuji. Berdasarkan nilai perpanjangan putus bioplastik, nilai perpanjangan putus bioplastik limbah tapioka/metil metakrilat lebih besar dari perpanjangan putus polimetil metakrilat yaitu 2,0-5,5% (Callister dan Retwisch, 2014). Hal ini disebabkan karena adanya penambahan *plasticizer* gliserol yang membuat bioplastik bersifat lebih fleksibel. (Asni dkk., 2017) dan juga limbah tapioka yang membuat bioplastik menjadi lebih elastis (Xiu-Li, 2004). Nilai perpanjangan putus pada bioplastik dapat dilihat pada gambar IV.8.



Gambar IV.8 Nilai Perpanjangan Putus Bioplastik

Dari gambar IV.8 berdasarkan hasil pengujian, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan metil metakrilat mempengaruhi perpanjangan putus dari suatu spesimen. Perpanjangan putus tertinggi terdapat pada sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 75% yaitu sebesar 14,24% dan perpanjangan putus terendah sebesar 4,86% yang terdapat pada sampel dengan konsentrasi metil metakrilat 0%. Penambahan metil metakrilat pada bioplastik limbah tapioka/metil metakrilat dapat meningkatkan perpanjangan putus. Keberadaan metil metakrilat pada bioplastik dapat membuat nilai perpanjangan putus naik, sehingga semakin banyak komposisi metil metakrilat dan semakin sedikit limbah tapioka yang digunakan maka semakin tinggi nilai perpanjangan putus yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan metil metakrilat sebanyak 25%, 50% dan 75% ke dalam bioplastik limbah tapioka tidak mempengaruhi sifat kimia dari limbah tapioka.
2. Penambahan metil metakrilat 25%, 50% dan 75% ke dalam bioplastik limbah tapioka yang digunakan mempengaruhi sifat mekanik dari limbah tapioka:
 - a. Penambahan metil metakrilat dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik. Nilai kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada bioplastik dengan komposisi metil metakrilat sebanyak 75% dari berat limbah tapioka yang digunakan yaitu sebesar 24,23 MPa.
 - b. Penambahan metil metakrilat dapat meningkatkan perpanjangan putus bioplastik. Nilai perpanjangan putus tertinggi dihasilkan pada bioplastik dengan komposisi metil metakrilat sebanyak 75% dari berat limbah tapioka yang digunakan yaitu sebesar 14,24%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan uji *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) pada setiap variasi agar dapat diketahui sifat termal dari bioplastik.
2. Perlu dilakukan uji *biodegradability* untuk setiap variasi lembaran agar diketahui waktu degradasi dari bioplastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, H.E., & Ghaffar, A.M.Abdel, "Preparation and Effect of Gamma Radiation on The Properties and Biodegradability of Poly(Styrene/Starch) Blends", Elsevier Radiation Physics and Chemistry, Cairo, 2017.
- Ali, Umar, Juhanni, Khairil, & Buang, Nor Aziah, "A Review of Properties and Applications of Poly(MethylMethacrylate) (PMMA)", *Polymer Reviews*, 2015.
- Asni, Nurul, Saleh, Djonaedi, & Rahmawati, Nadia, "Plastik Biodegradable Berbahan Ampas Singkong dan Polivinil Asetat", Prosiding Seminar Nasional Fisika, Vol.4, 2015.
- ASTM International "Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics" ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- Astuti, Tiara Dewi, "Pembuatan Nanoselulosa dari Limbah Padat Tapioka (Onggok) dengan Metode Hidrolisis Asam", Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan, Universitas Lampung, 2016.
- Bawardi, Jakius Tardi, "Pembuatan Biofilm Antibakteri Berbahan Nanopartikel ZnO", Skripsi, Fakultas Pertanian Bogor, Institut Pertanian Bogor, 2018.
- Callister, W.D., & Rethwisch, D.G., "Material Science and Engineering: An Introduction", (8th edition), John Wiley & Sons, Ltd., 2014.
- Carraher, Charles E., & Seymour, Raymond, "Polymer chemistry", (Sixth edition), New York: Marcel Dekker Inc, 2003.
- Dachriyanus, "Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi", Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andala, 2004.
- Fessenden, R.J., & J.S. Fessenden, "Kimia Organik Edisi Ketiga Jilid 2 Diterjemahkan oleh Aloysius Hadyana Pudjaatmaka, Ph.D.", Jakarta: Erlangga, 1986.
- Garrain, D., Rosario, V., Pilar, M., Vicente, F., & Cebrián-Tarrasón, D., "LCA of biodegradable multilayer film from biopolymers". International Conference on Live Cycle Management, 2007.

- Handayani, Prima Astuti, "Polimerisasi Akrilamid dengan Metode *Mixed Solvent Precipitation* dalam Pelarut Etanol-Air, *Jurnal Fakultas Teknik*, Vol.8(1), 2010.
- Harper, C. A., "Handbook of Plastic, Elastomers & Composites. Fourth Edition", New York: McGraw – Hill, 2002.
- Harsojuwono, Bambang Admadi, & Arnata, I Wayan, "Teknologi Polimer Industri Pertanian", Denpasar: Intermedia, 2015.
- Haryati, Sri, Rini, Anggie Septia & Safitri, Yuni, "Pemanfaatan Biji Durian sebagai Bahan Baku Plastik Biodegradable dengan Plasticizer Gliserol dan Bahan Pengisi CaCO_3 ", *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 23(1), 2017.
- Hikmah, Nurul, "Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Ambon (*Musa paradisiacal*) dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dengan Plasticizer Gliserin", Skripsi, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2015.
- Iflah, Tajul, "Aplikasi *Strach-Based Plastics* (Bioplastik) Sebagai Bahan Kemasan Produk Hortikultura (Tomat dan Paprika)", Skripsi, Institut Pertanian Bogor, 2013.
- Indraswati, Denok, "Pengemasan Makanan", *Forum Ilmiah Kesehatan*, 2017.
- Iskandar, Sudrajat, "Kopolimerisasi Radiasi Monomer Metil Metakrilat pada Limbah Tapioka dan Karet Alam", Jakarta, 2018.
- Iswarin, J.S., Nuriyah, L., & Sriwilujeng, I.A., "Hubungan Gugus Fungsi Plastik Biodegradable Metil Akrilat dan Pati Garut Terhadap Sifat Mekaniknya", Vol. 2(2), 2013.
- Jatiman, S., & Soetrisnanto, A.Y., "Buku Pengetahuan Nuklir". Jakarta: karumika UT, 1986.
- Julianti, Elisa, & Mimi, Nurminah, "Buku Ajar Teknologi Pengemasan", Departemen Teknologi Pertanian, Universitas Sumatera Utara, 2006.
- Kurniadi, Tedi, "Kopolimerisasi Grafting Monomer Asam Akrilat pada Onggok Singkong dan Karakterisasinya", Institut Pertanian Bogor, 2010.
- Kusumo, Destya Enggrit, "Polimerisasi Core-Shell Metil Metakrilat-Butil Akrilat: Pengaruh Pengikat Silang, Suhu Polimerisasi dan Konsentrasi Monomer Terhadap Distribusi Ukuran Partikel", Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2009.
- Kuswantiningsih, Tantri, "Polimerisasi Bulk Metil Metakrilat: Pengaruh Perbandingan Jenis dan Variasi Komposisi Inisiator Redoks Terhadap Persen

- Konversi dan Berat Molekul”, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2010.
- Marfu'ah, Zahrotul, “Pengaruh Variasi Komposisi *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan Pati Bonggol Pisang untuk Pembuatan Plastik *Biodegradable*”, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, 2015.
- Matondang, Tuty Dwi Sriyati, Wirjosentono, Basuki, Yunus, Darwin, “Pembuatan Plastik Kemasan Terbiodegradasikan dari Polipropilena Tergrafting Maleat Anhidrida dengan Bahan Pengisi Pati Sagu Kelapa Sawit”, Universitas Negeri Sumatera Utara, Vol.3(2), 2013.
- Molavi, H., Behvar, S., Shariati, M. A., Kaviani, M., & Atarod, S., “A Review on Biodegradable Strach Based Film”, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, Vol. 4, p. 456-461, 2015.
- Musita, Nanti, “Kajian Sifat Fisikokimia Tepung Onggok Industri Besar dan Industri Kecil”, Balai Riset dan Standardisasi Industri Bandar Lampung, Vol.10(1), 2018.
- Pagliaro, Mario, “Glycerol the Renewable Platform Chemical”, (First edition), New York: Elsevier Inc, 2017.
- Permono, Ajar, “Polimer & Polimerisasi”. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2017.
- Pilla, S., “Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications”, Wiley-Scrivener Publishing, 2011.
- Putri, Kurnia Syah, “Studi Optimasi Polimerisasi Metil Metakrilat: Pengaruh Variasi Konsentrasi Inisiator Amonium Persulfat, Monomer Metil Metakrilat dan Surfaktan Natrium Lauril Sulfat terhadap Ukuran dan Distribusi Partikel”, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2008.
- Saleh, Farham HM., Nugroho, Ari Yuli, & Juliantama, M. Ridho, “Pembuatan Edible Film Dari Pati Singkong Sebagai Pengemas Makanan”, *Jurnal Teknik Kimia*, Vol.23(1), 2017.
- Saray, O., Bhullar, S. K., & Güney, A. O., “Tensile Testing Experiment Sheet”, Mechanical Engineering Laboratory, Bursa Technical University, 2010.
- Shu-Ling Yeh, Chao-Yuan Zhu, & Shiao-Wei Kuo, “Transparent Heat-Resistant PMMA Copolymers for Packing Light-Emitting Diode Materials”, *Journal of Polymers*, Vol.7, p. 1379-1388, 2015.

- Siburian, Rikson A.F., Simbolon, Tua Raja, Sebayang, Kerista, Simanjuntak, Crystina, Marpaung, Harlem, Wirjosento, Basuki, Tamrin, Supeno, Minto, "Polimer Ilmu Material", Universitas Sumatera Utara, 2017.
- Song, Jim, Kay, Martin, & Coles, Richard, "Food and Beverage Packaging Technology", (second edition), John Wiley & Sons, Ltd., 2014.
- Stuart, B., "Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications", Wiley, 2004.
- Suhardjo, Kuntari Adi, Basuki, Ariyadi, Surasno, Randy, Ahmad, & Sondari, Dewi, "Modifikasi Karet Alam Menjadi Bahan Elastomer Termoplastik", Jurnal Riset Industri, Vol.5(3), 2011.
- Syaifudin, Mukh, "Biologi Radiasi Dasar-Dasar dan Aplikasi". Jakarta: BATAN Press, 2016.
- Tokiwa, Yukata, Calabia, B.P., Ugwu, C.U., & Seiichi, Aiba, "Biodegradability of Plastics", International Journal of Molecular Sciences, Vol. 10, p. 3722-3742, 2009.
- Verawati, Ni Nyoman Sri Putu, "Serapan Optik Polimer Film PVA-TCA-MB Yang Diradiasi Sinar Gamma", Jurnal Pijar MIPA, Vol.4(2), 2012.
- Wibawa, A.A. Putu Putra, "Bahan Ajar Karbohidrat", Fakultas Peternakan, Universitas Udayana, 2017.
- Wypych, G., "Handbook of *Fillers*", (Third edition), New York: ChemTec Publishing, 2017.
- Xiu-Li Wang, Ke-Ke Yang, Yu-Zhong Wang, Zhi-Xuan Zhou, & Yong-Dong Jin, "Synthesis and Nuclear Magnetic Resonance Analysis of Starch-g-Poly(1,4-dioxan-2-one) Copolymers, John Wiley & Sons, Ltd., 2004.

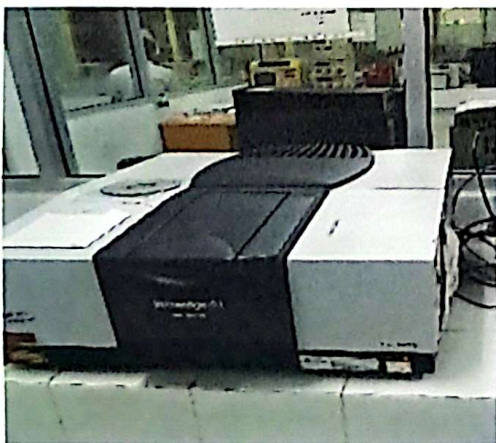
LAMPIRAN A
GAMBAR ALAT



*Pneumatic Specimen
Punch*



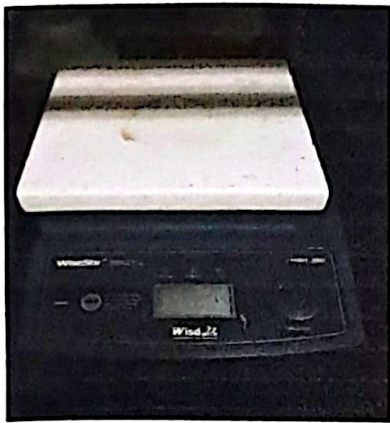
*Manual Forming
Machine (MFM)*



*Fourier Transform Fourier
Transform Infrared (FTIR)*



*Universal Testing Machine
(UTM)*



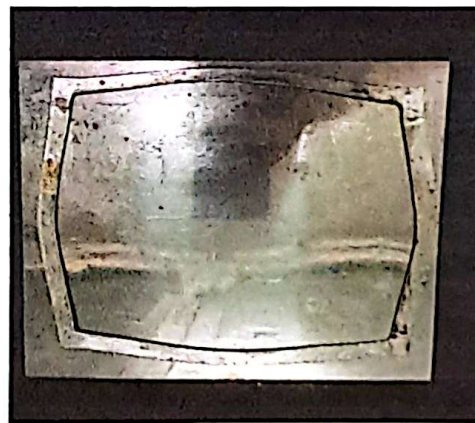
Hot Plate



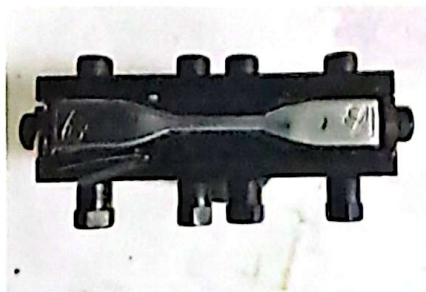
Magnetic Stirrer



Irradiator Gamma Cell



Cetakan Lembaran Bioplastik



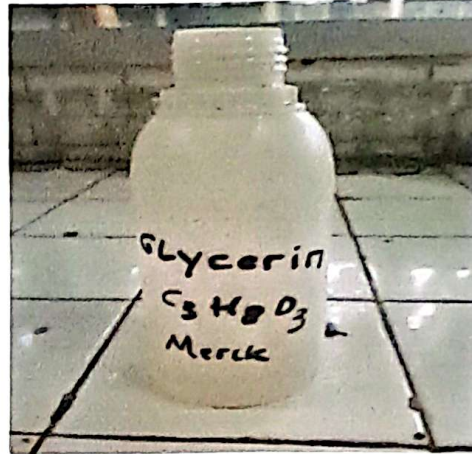
Pisau Cetakan ASTM D638

Tipe V

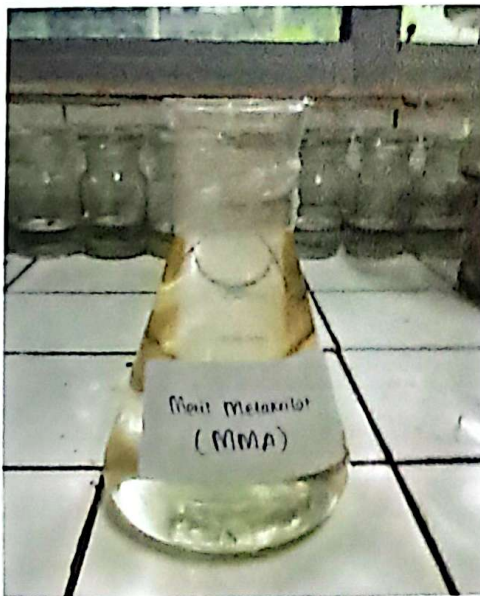
LAMPIRAN B
GAMBAR BAHAN



Limbah Tapioka



Gliserol

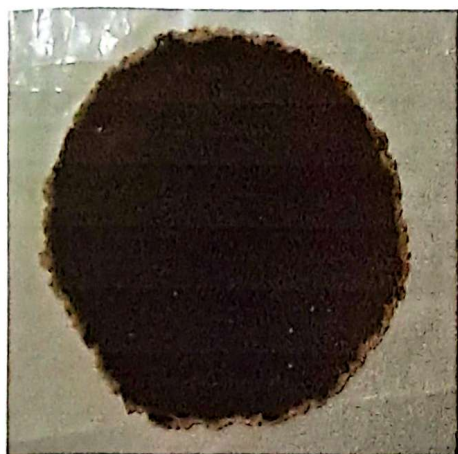


Metil Metakrilat

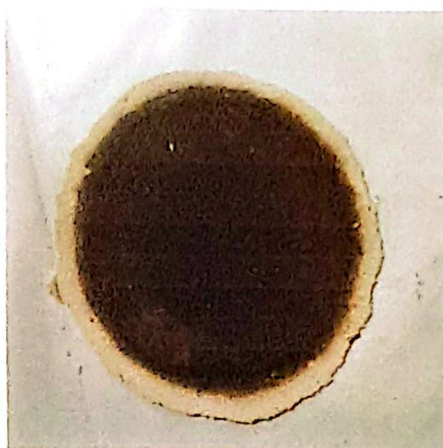


Akuades

LAMPIRAN C
GAMBAR PRODUK



Film Sampel Kontrol



Film Sampel 1

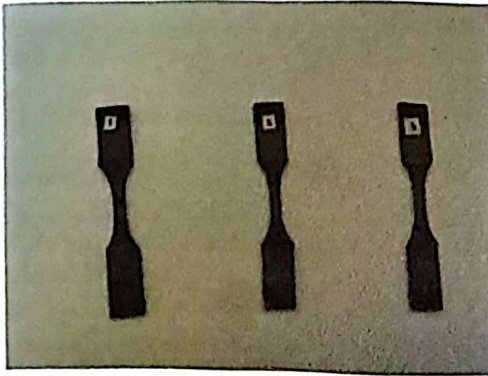


Film Sampel 2

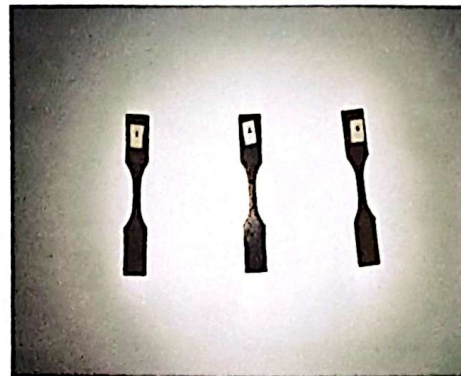


Film Sampel 3

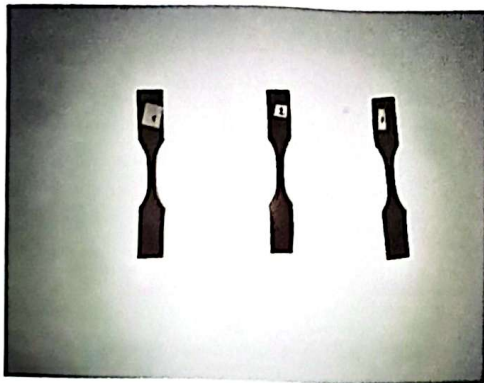
LAMPIRAN D
GAMBAR SPESIMEN



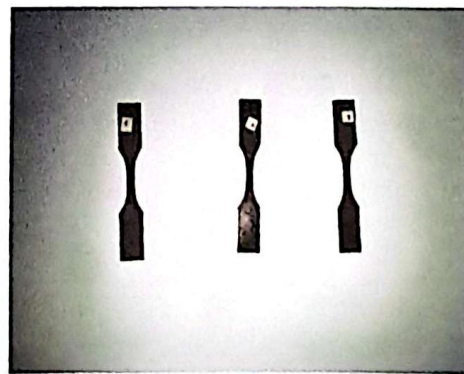
Film Sampel Kontrol



Spesimen Sampel 1



Spesimen Sampel 3

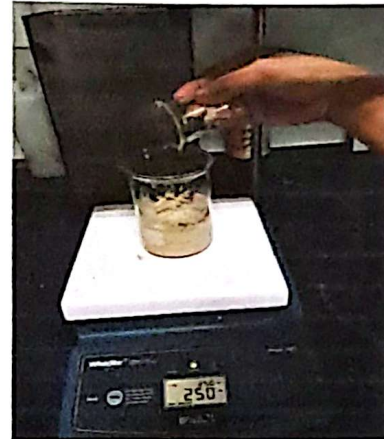


Spesimen Sampel 4

LAMPIRAN E
GAMBAR PROSES



Proses Pencampuran
Limbah Tapioka dengan
Metil Metakrilat



Proses Pelarutan dengan
Akuades



Proses Pencampuran
Dengan Gliserol

LAMPIRAN F

PERHITUNGAN

1. Perhitungan Kekuatan Tarik

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

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

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

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

$$\text{Kekuatan Tarik} = \frac{\text{jumlah kotak kecil} \times \text{panjang unit box} \times 9,81}{\text{tebal spesimen} \times \text{lebar badan spesimen}}$$

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

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

2. Perhitungan Perpajangan Putus

$$\text{Perpanjangan Putus} = \frac{\text{panjang awal spesimen} - \text{panjang akhir spesimen}}{\text{pertambahan panjang spesimen}}$$

a. Sampel kontrol

1. Kekuatan tarik

$$\text{- Spesimen 1} = \frac{9 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{17,66 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 2,16 \text{ MPa}$$

$$\text{- Spesimen 2} = \frac{7,5 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,71 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{14,715 \text{ N}}{8,13 \text{ mm}^2} = 1,81 \text{ MPa}$$

$$\text{- Spesimen 3} = \frac{8 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{15,70 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 1,92 \text{ MPa}$$

$$\text{- Rata-rata} = \frac{(2,16 + 1,81 + 1,92) \text{ MPa}}{3} = 1,96 \text{ MPa}$$

2. Perpanjangan putus

$$\text{- Spesimen 1} = \frac{25,00 - 24,00}{24,00} \times 100\% = 4,17 \%$$

$$\text{- Spesimen 2} = \frac{25,30 - 24,00}{24,00} \times 100\% = 5,41 \%$$

- Spesimen 3 = $\frac{25,20-24,00}{24,00} \times 100\% = 5,00 \%$
- Rata-rata = $\frac{(4,17+5,41+5,00)\%}{3} = 4,86\%$

b. Sampel 1

1. Kekuatan tarik

- Spesimen 1 = $\frac{42 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,72 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{82,40 \text{ N}}{8,16 \text{ mm}^2} = 10,10 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{46 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{90,25 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 11,02 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{41 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,72 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{80,44 \text{ N}}{8,16 \text{ mm}^2} = 9,86 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(10,10+11,02+9,86) \text{ MPa}}{3} = 10,33 \text{ MPa}$

2. Perpanjangan putus

- Spesimen 1 = $\frac{25,50-24,00}{24,00} \times 100\% = 6,25 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{25,70-24,00}{24,00} \times 100\% = 7,08 \%$
- Spesimen 3 = $\frac{25,50-24,00}{24,00} \times 100\% = 6,25 \%$
- Rata-rata = $\frac{(6,25+7,08+6,25)\%}{3} = 6,53 \%$

c. Sampel 2

1. Kekuatan tarik

- Spesimen 1 = $\frac{68 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,72 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{133,42 \text{ N}}{8,16 \text{ mm}^2} = 16,35 \text{ MPa}$
- Spesimen 2 = $\frac{77 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{151,07 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 18,45 \text{ MPa}$
- Spesimen 3 = $\frac{80,5 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{157,94 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 19,28 \text{ MPa}$
- Rata-rata = $\frac{(16,35+18,45+19,28) \text{ MPa}}{3} = 18,03 \text{ MPa}$

2. Perpanjangan putus

- Spesimen 1 = $\frac{26,00-24,00}{24,00} \times 100\% = 8,30 \%$
- Spesimen 2 = $\frac{26,70-24,00}{24,00} \times 100\% = 11,25\%$
- Spesimen 3 = $\frac{26,80-24,00}{24,00} \times 100\% = 11,67 \%$

$$- \text{ Rata-rata} = \frac{(8,30+11,25+11,67)\%}{3} = 10,41\%$$

d. Sampel 3

1. Kekuatan tarik

$$- \text{ Spesimen 1} = \frac{91 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,71 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{178,54 \text{ N}}{8,16 \text{ mm}^2} = 21,96 \text{ MPa}$$

$$- \text{ Spesimen 2} = \frac{105,5 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{206,99 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 25,27 \text{ MPa}$$

$$- \text{ Spesimen 3} = \frac{106 \times 0,2 \times 9,81 \text{ N}}{2,73 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = \frac{207,97 \text{ N}}{8,19 \text{ mm}^2} = 25,39 \text{ MPa}$$

$$- \text{ Rata-rata} = \frac{(21,96+25,27+25,39) \text{ MPa}}{3} = 24,21 \text{ MPa}$$

2. Perpanjangan putus

$$- \text{ Spesimen 1} = \frac{27,50-24,00}{24,00} \times 100\% = 14,58 \%$$

$$- \text{ Spesimen 2} = \frac{27,55-24,00}{24,00} \times 100\% = 14,80 \%$$

$$- \text{ Spesimen 3} = \frac{27,20-24,00}{24,00} \times 100\% = 13,33 \%$$

$$- \text{ Rata-rata} = \frac{(14,58+14,80+13,33)\%}{3} = 14,24 \%$$