

**SINTESIS POLIURETAN *BIODEGRADABLE* DAN DEKONTAMINAN  
BAKTERI DARI PEG 400 DAN DIFENILMETAN-4,4'-DIISOSIANAT  
DENGAN PENAMBAHAN PATI BONGGOL PISANG KEPOK DAN  
NANOPARTIKEL TiO<sub>2</sub>**

SYNTHESIS OF BIODEGRADABLE POLYURETHANE AND BACTERIAL  
DECONTAMINANTS FROM PEG 400 AND DIFENILMETAN-4,4'-  
DIISOCIANATE WITH ADDITION OF KEPOK BANANA HUMP AND TiO<sub>2</sub>  
NANOPARTICLES

**ANDI BUDIROHMI**

**P0700316404**



**TIM PROMOTOR:**

**Prof. Dr. Ahyar Ahmad (Promotor)  
Dr. Firdaus, MS (Co-promotor 1)  
Dr. Paulina Taba, M.Phil (Co-promotor 2)**

**SEKOLAH PASCASARJANA  
PROGRAM DOKTOR ILMU KIMIA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**



**SINTESIS POLIURETAN *BIODEGRADABLE* DAN DEKONTAMINAN  
BAKTERI DARI PEG 400 DAN DIFENILMETAN-4,4'-DIISOSIANAT  
DENGAN PENAMBAHAN PATI BONGGOL PISANG KEPOK DAN  
NANOPARTIKEL TiO<sub>2</sub>**

Disertasi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi  
Ilmu Kimia

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI BUDIROHMI**

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**



DISERTASI

**SINTESIS POLIURETAN *BIODEGRADABLE* DAN DEKONTAMINAN BAKTERI  
DARI PEG 400 DAN DIFENILMETAN-4,4'-DIISOSIANAT DENGAN  
PENAMBAHAN PATI BONGGOL PISANG KEPOK DAN NANOPARTIKEL TiO<sub>2</sub>**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI BUDIROHMI**


**Nomor Pokok P0700316404**


telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
pada tanggal **27 Oktober 2020**

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Tim Promotor,

  
**Prof. Dr. Ahyar Ahmad**  
Promotor

  
**Dr. Firdaus, M.S**  
Ko-promotor

  
**Dr. Paulina Taba, M.Phil.**  
Ko-promotor

Ketua Program Studi  
S3 Ilmu Kimia

Dekan Fakultas MIPA  
Universitas Hasanuddin.

  
**Ahyar Ahmad.**

  
**Dr. Eng. Anifuddin, M.Si**



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Andi Budirohmi  
Nomor Pokok Mahasiswa : P0700316404  
Pogram Studi : Ilmu Kimia

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 Oktober 2020

Yang menyatakan



Andi Budirohmi



## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Swt, atas rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan disertasi ini sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Doktor Ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada Bapak **Prof. Dr. Ahyar Ahmad** sebagai promotor, Bapak **Dr. Firdaus, M.S.** sebagai kopromotor Ibu **Dr. Paulina Taba, M.Phil** sebagai kopromotor atas keikhlasannya meluangkan waktu dalam memberikan saran, bimbingan, nasihat selama penelitian dan penulisan disertasi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis ingin sampaikan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Hj Eli Rohaeti M.Si, Bapak Prof. Dr. Abdul Wahid Wahab, M.Sc. Ibu Dr. Hasnah Natsir, M.Si dan Bapak Dr. Maming, M.Si sebagai penguji/penilai yang banyak memberikan petunjuk dan saran untuk penyempurnaan disertasi ini.
2. Ketua Yayasan STIK GIA, Ketua STIK GIA Makassar dan Rektor Universitas Hasanuddin Makassar yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti pendidikan S3 di Program Pascasarjana (PPs) Unhas.

...ala LLDIKTI wilayah IX yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti pendidikan S3 di Program Pascasarjana (PPs) Unhas.



4. Direktur LPDP yang telah memberikan bantuan dana pendidikan dalam hal ini beasiswa (BUDI DN-LPDP) selama mengikuti pendidikan S3 di Program Pascasarjana (PPs) Unhas.
5. Direktur PPs, Dekan FMIPA Unhas, dan Ketua Program Studi S3 Ilmu Kimia Unhas beserta seluruh staf yang telah memberikan bantuan selama penulis menempuh pendidikan.
6. Kepala Laboratorium Kimia Organik Bahan Alam Jurusan Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf atas dukungan fasilitas laboratorium selama penulis melakukan penelitian.
7. Bapak Kepala Laboratorium Polimer LIPI Cobleng Bandung atas bantuannya dalam pengukuran Uji sifat mekanik dan sifat termal, Kepala Laboratorium Kimia Terpadu Jurusan Kimia FMIPA atas pengukuran FTIR, Kepala Laboratorium Biokimia Jurusan Kimia FMIPA atas pengukuran uji karbohidrat.
8. Kepala Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi FMIPA Unhas atas pengukuran aktivitas antibakteri. Kepala Laboratorium LPPT UGM Yogyakarta atas pengukuran LCMS dan Kepala Laboratorium Forensik Polri Makassar atas pengukuran GCMS.
9. Orang tuaku H. Andi Daris Patombongi, BA (almarhum) dan Hj.A. Pandang Bau (almarhumah) yang telah melahirkan, mengasuh, membesarkan dan mendidik penulis. Semoga jerih payah beliau

dapat ganjaran pahala yang berlipat dari-Nya.



10. Saudara-saudara penulis: Andi Pisnah, S.Pd, Dra Hj. Andi Mujirah M.Si, Kompol H. Andi Tonra Lipu, SH.,MH dan AKP H. Andi Syamsu Lipu, SH.,MH beserta keluarga atas dukungan, motivasi dan do'anya.
11. Ipar-ipar penulis beserta keluarga atas segala perhatian dan dukungannya.
12. Prof. Dr. Andi Buaalkar Abdullah, M.Eng, Prof. Dr. Dahlang Tahir, Inayah Mutmainna, M.Si, Muh Angga Pratama, M.Si, Sultan Msi, dan Fahri atas pengertian dan pengorbanannya selama penulis menempuh pendidikan.
13. Rekan-rekan mahasiswa S3 angkatan 2016, adik-adikku mahasiswa S1 dan S2 yang seperjuangan di Laboratorium Kimia Bahan Alam FMIPA UNHAS, serta semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak sempat disebutkan satu persatu.

Semoga Allah Swt membalas semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih belum sempurna. Olehnya itu, penulis memohon kepada Allah Swt agar senantiasa memberikan taufik dan hidayahNya agar kiranya pembaca mendapatkan manfaat dari disertasi ini. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan Rahmat dan HidayahNya kepada kita semuanya.

Makassar, April 2020

Penulis,

Andi Budirohmi





## ABSTRAK

**Andi Budirohmi, Sintesis Poliuretan Biodegradable dan Dekontaminan Bakteri dari Peg 400 dan Difenilmetan-4,4'-Diisosiyanat dengan Penambahan Pati Bonggol Pisang Kepok Dan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. (Dibimbing oleh Ahyar Ahmad, Firdaus, dan Paulina Taba).**

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis PU dari PEG 400, MDI, pati bonggol pisang kepok dan TiO<sub>2</sub> dan menentukan BM, sifat mekanik, sifat termal, antibakteri dan biodegradasinya. Metode penelitian meliputi isolasi pati dari bonggol pisang kepok, sintesis PU dengan tehnik *one step process* dan biodegradasi. Karakterisasi dilakukan dengan spektroskopi LC-MS untuk mengetahui BM, uji sifat mekanik untuk mengetahui modulus elastisitas-regangan dengan UCT, dan spektroskopi DSC untuk menentukan temperatur (T<sub>g</sub>). Sedangkan spektroskopi SEM untuk melihat morfologi PU sebelum degradasi dan setelah degradasi. Uji aktivitas antibakteri dilakukan dengan metode difusi agar.

Pada penelitian ini diperoleh pati BPK dengan rendamen 17,2% dan PU hasil sintesis dari PU-pati BPK-TiO<sub>2</sub>, dari uji BM diperoleh pelepasan m/z 225(MDI), pelepasan m/z 44 (etilen glikol), dan m/z 162,60 (glukosa). Hasil uji sifat mekanik diperoleh data modulus elastisitas 3267,90-5483,70 Kpa serta regangan 21,88-26,92% GL. Hasil dari spektrum DSC diperoleh suhu (T<sub>g</sub>) 60,3°C. Hasil dari uji kuantitatif diperoleh kehilangan berat poliuretan yaitu 87,52% pada hari ke 28 dan ke 35. Hasil dari uji SEM diperoleh data sebelum degradasi terdapat banyak pori setelah degradasi pori tersebut sudah tertutup dan retak. Hasil dari uji antibakteri diperoleh (C3-C4) dengan diameter hambatan (15 dan 13 mm) menunjukkan sangat efektif menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* dan C1<sup>1</sup> dengan diameter hambatan 8 mm dapat menghambat pertumbuhan bakteri *S.aureus*

**Kata kunci :** Sintesis, Poliuretan, Pati BPK, TiO<sub>2</sub>, Biodegradasi





## ABSTRACT

**ANDI BUDIROHMI**, *Synthesis of biodegradable of polyurethane and bacterial decontaminants from Peg 400 dan difenilmetan-4,4'- diisocianate with addition of kepok banana hump and TiO<sub>2</sub> nanoparticles* (supervised by **Ahyar Ahmad, Firdaus, and Paulina Taba**).

This study aims to synthesize PU from PEG 400, MDI, Kepok banana hump starch and TiO<sub>2</sub> and determine MW mechanical properties, thermal properties, antibacterial properties and biodegradation. Research methods include isolation of starch from kapok banana hump, PU synthesis with the one-step process and biodegradation techniques. Characterization was performed by LC-MS spectroscopy to determine MW, mechanical properties test to determine the elasticity-strain modulus with UCT, and DSC spectroscopy to determine temperature (T<sub>g</sub>). While SEM spectroscopy to see the morphology of PU before degradation and after degradation. Antibacterial activity test was carried out by the agar diffusion method.

In this study, the KBH starch with a rendition of 17.2% and PU synthesized from the PU-starch BPK-TiO<sub>2</sub>, from the BM test obtained the release of m / z 225 (MDI), the release of m / z 44 (ethylene glycol), and m / z 162.60 (glucose). The mechanical properties test results obtained elasticity modulus data of 3267.90-5483.70 Kpa and strain 21.88-26.92%GL. The results of the DSC spectrum obtained temperature (T<sub>g</sub>) 60.3 ° C. The results of the quantitative test obtained weight loss of polyurethane that is 87.52% on days 28 and 35. The results of the SEM test obtained data before degradation there are many pores after degradation of the pores have been closed and cracked. The results of the antibacterial test obtained (C3-C4) with a diameter of inhibition (15 and 13 mm) showed very effective at inhibiting the growth of *E. coli* and C1<sup>1</sup> with a diameter of 8 mm inhibition to inhibit the growth of *S.aureus* bacteria.

**Keywords:** Synthesis, Polyurethane, KBH Starch, TiO<sub>2</sub>, Biodegradation



	Halaman
Halaman Judul.....	i
Pernyataan Keaslian Disertasi	ii
Prakata.....	iii
Abstrak.....	iv
Abstract.....	v
Daftar Isi.....	vi
Daftar Tabel.....	vii
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Singkatan dan Lambang.....	ix
Daftar Persamaan Rumus.....	x
Daftar Istilah ( <i>Glossary</i> ).....	xi
Daftar Lampiran.....	xii
Daftar Isi.....	xiii
Bab I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian.....	7
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Poliuretan.....	9

Poliuretan Sebagai antimikroba pada peralatan medis	11
Poliuretan pada kateter intravaskular.....	



2.Sintesis Poliuretan.....	14
3.Biodegradasi Poliuretan.....	19
4. Nanopartikel TiO <sub>2</sub> sebagai Antibakteri.....	24
5. Media Degradasi.....	25
a. Kompos.....	25
B. Bakteri dan Penyakit Infeksi Pro Kompos.....	29
1. <i>Staphylococcus aureus</i> .....	29
2. <i>Escherchia coli</i> .....	33
C Pati sebagai aditif polimer <i>biodegradable</i> .....	35
D.Aspek pengujian PU hasil sintesis.....	37
1.Uji antibakteri pada PU.....	37
a.Pemilihan koloni.....	38
b.Persiapan suspensi bakteri.....	38
c. Persiapan wadah inokulum.....	39
d. Inokulasi Wadah.....	39
f. Penempatan microbial disc	40
2.Uji antibakteri dengan menggunakan metode difusi agar.....	40
3.Uji sifat mekanik PU.....	41
4. Uji biodegradasi PU.....	41
5.Uji struktur PU.....	45
Spektroskopi IR.....	45
Difraksi sinar X .....	47



SEM ( <i>Scanning Elektron Microscopy</i> ) .....	48
LC-MS ( <i>Liquid Cromotography-Mass Spectroscopy</i> ).....	48
6. Uji sifat termal .....	50
a. DTA ( <i>Differential Thermal Analysis</i> ).....	51
b. DSC ( <i>Differential Scanning Calorimetri</i> ).....	51
c. TGA ( <i>Thermogravimetric Analisis</i> ).....	51
E. Kerangka Pikir.....	54
<b>BAB III BAHAN, ALAT DAN METODE PENELITIAN</b>	<b>58</b>
A. Diagram Alir Penelitian.....	59
B. Alat dan Bahan.....	59
C. Waktu dan Tempat Penelitian.....	59
D. Prosedur Kerja.....	59
1. Isolasi pati dari BPK.....	60
a. Prosedur Kerja Penentuan Kadar Glukosa.....	60
b. Prosedur Kerja Penentuan Kadar Air.....	61
c. Prosedur Kerja Penentuan Kadar Abu.....	62
d. Prosedur Kerja Penentuan Asam Lemak Bebas.....	62
2. Reaksi Polimerisasi Poliuretan .....	63
3. Pembuatan Film Poliuretan.....	63
4. Prosedur Uji Antibakteri dengan Metode Zona Hambat	63
a. Kultur Bakteri.....	64
Teknik Pembuatan Suspensi Bakteri.....	65
Teknik Pembuatan Media Agar MHA ( <i>Muller Hinton</i>	65



<i>Agar</i> ).....	
d. Uji Daya Hambat <i>S. aureus</i> dan <i>E. coli</i> .....	66
e. Uji antibakteri Dengan Metode Difusi Agar.....	66
5. Penghilangan Asam Lemak dalam Pati .....	67
E. Karakterisasi dengan Menggunakan XRD.....	67
F. Karakterisasi FTIR ( <i>Fourier Transform Infrared</i> ).....	67
G. Analisis Termal Menggunakan DTG ( <i>Derivate Thermal Gravimetri</i> ).....	68
H. DSC ( <i>Differential Scanning Calorimetri</i> ).....	69
I. TGA ( <i>Thermogravimetric Analysis</i> ).....	69
J. Uji Sifat Mekanik.....	70
1. Sterilisasi Poliuretan.....	72
2. Biodegerasi Poliuretan Menggunakan Kompos.....	72
3. Pengaruh Mr PEG Terhadap Kemudahan Biodegerasi Poliuretan.....	73
4. Pengaruh Konsentrasi Pati Terhadap Kemudahan Biodegerasi Poliuretan.....	73
L. Karakterisasi Poliuretan Sesudah Biodegerasi.....	74
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	76
A. Isolasi pati dari BPK.....	76
1. Isolasi pati dari BPK.....	76

kuantitatif .....	77
Kuantitatif .....	77



4. Uji DSC ( <i>Differential Scanning Calorimetry</i> ) pati.....	82
5. Uji XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) pati.....	83
6. Uji SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) pati.....	85
7. Uji FTIR ( <i>Fourier Transform InfraRed</i> ) pati.....	86
B. Polimerisasi PU dalam tahap kondisi optimalisasi	88
1. Sintesis PU.....	89
2. Data Optimalisasi PU dari pati BPK (5, 10, 15 dan 20%) Melalui pengujian FTIR .....	89
3. Data Optimalisasi PU dari pati BPK (5, 10, 15 dan 20%) Melalui pengujian TGA/DTG	92
4. Data Optimalisasi PU dari pati TiO <sub>2</sub> (1, 1,5, 2 dan 2,5%) Melalui pengujian FTIR.....	92
5. Data optimalisasi PU dari pati BPK (5 ,10 ,15 dan 20%) Melalui pengujian DSC	96
C.Sintesis dan karakterisasi PU dari material PEG 400, pati BPK, MDI Dan TiO <sub>2</sub> .	99
1.Uji LCMS ( <i>Liquid chromatography- Mass Spectroscopy</i> ) PU yang disintesis dari PEG 400 dan MDI	100
2.Uji LCMS ( <i>Liquid chromatography- Mass pectroscopy</i> ) PU yang disintesis dari PEG 400, MDI dan pati BPK	102
3.Uji LCMS ( <i>Liquid chromatography- Mass ctroscopy</i> ) PU yang yang disintesis dari PEG	103



400, MDI dan amilum	
4. Uji DSC PU yang disintesis dari bahan PEG 400, pati BPK, MDI dan TiO <sub>2</sub>	111
5. Uji sifat mekanik PU tegangan dan regangan.....	113
6. Uji antibakteri.....	118
a. Uji antibakteri PU yang berasal dari bahan PEG 400, MDI dan TiO <sub>2</sub> 1% dengan metode zona hambat 1%	119
b. Uji antibakteri PU yang berasal dari bahan PEG 400, MDI, pati BPK dan TiO <sub>2</sub> (2% dan 2,5%).....	121
c. Uji antibakteri PU yang berasal dari bahan PEG 400, MDI, pati dan TiO <sub>2</sub> serta amilum.....	123
D. Degradasi Poliuretan.....	125
1. Uji kuantitatif.....	125
2. Uji FTIR PU dari bahan PEG 400, MDI, pati BPK, TiO <sub>2</sub> dan amilum)	129
3. Uji SEM PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub>	132
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	144
LAMPIRAN	153

---





## DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Penerapan poliuretan pada peralatan medis intravaskular	14
2	Mikroba umum yang terdapat pada kompos	27
3	Komposisi mikroba yang ada pada pro kompos	28
4	Struktur fungsi dan komposisi kimia bakteri gram positif (+) dan negatif (-)	29
5	Sifat mekanik PU hasil reaksi prepoliester dan dengan NDI	44
6	Hasil uji karbohidrat dengan pereaksi Molish	101
7	Hasil uji kuantitatif dengan metode Nelson Somoghi	102
8	Karakterisasi pati BPK	103
9	Data serapan pati BPK dengan FTIR	113
10	Senyawa asam lemak yang ada dalam pati BPK	113
11	Data optimalisasi uji gugus fungsi PU-Pati	115
12	Data optimalisasi uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub>	116
13	Uji sifat termal PU- Pati BPK dengan TGA	117
14	Uji sifat mekanik PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub>	118
	Uji sifat mekanik PU- Pati BPK- PU	118



16	Uji sifat mekanik PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> , PU-Amilum, PU-Pati BPK	119
17	Uji sifat mekanik beberapa jaringan lunak manusia	119
18	Uji sifat termal PU-Pati BPK-PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub>	119
19	Data termal PU-Pati Kentang-Hap	120
20	Uji signifikansi PU dengan metode Annova	123
21	Uji gugus fungsi PU-Amilum sebelum degradasi dan setelah degradasi	127
22	Uji gugus fungsi PU-Pati BPK sebelum degradasi dan setelah degradasi	130
23	Uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> sebelum degradasi dan setelah degradasi	134



## DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Proses pembentukan PU	1
2.	Sintesis kopolimer blok turunan sellulosa yang dapat didegradasi	22
3.	Struktur linear rantai pati	36
4.	Kurva tegangan-regangan beberapa jenis polimer	44
5.	Alur kerangka pikir	56
6.	Diagram alir penelitian	58
7.	Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik	70
8.	Hasil uji DSC pati dari BPK	82
9.	Hasil uji XRD pati BPK	83
10.	Hasil uji SEM Morfologi pati	85
11.	Uji TGA/DTG PU-Pati ( 5,10,15 dan 20%)	92
12.	Uji LC-MS PU	94
13.	Uji LC-MS PU-Amilum	96
14.	Uji LCMS PU –Pati BPK	100
15.	Mass spektroskopi MALDI-TOF TDI	105
	Mass Spektroskopi PEG 600	106



17.	Mass Spektroskopi pati	106
18.	Mekanisme fragmentasi PU yang berasal dari MDI	107
19.	Mekanisme fragmentasi Mr Glukosa	108
20.	Mekanisme fragmentasi ujung rantai Mr 18 dan 60	109
21.	Mekanisme fragmentasi Me 18 dan 44	110
22.	Uji kehilangan massa PU, PU-Pati BPK, PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub>	114
23.	Uji antibakteri melalui metode zona hambat PU yang berasal PU-Pati BPK -TiO <sub>2</sub> (2% dan 2,5%)	121
24.	Uji antibakteri melalui metode zona hambat PU yang berasal PU- Pati BPK dan PU- Amilium	123
25.	Hasil uji SEM PU sebelum degradasi dan setelah degradasi	132



## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Hasil uji antibakteri PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 1% dan 1,5%	153
2	Hasil uji antibakteri PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 2% dan 2,5%	153
3	Hasil uji antibakteri PU-Pati BPK 15% dan PU-Amilum 15%	154
4	Hasil persentase kehilangan massa PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2% tanpa pemendaman	154
5	Hasil persentase kehilangan massa PU-Pati BPK 15% tanpa pemendaman	155
6	Hasil persentase kehilangan massa PU-Pati BPK15%	155
7	Hasil persentase kehilangan massa PU-Amilum 15%	155
8	Hasil persentase kehilangan massa PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2% dengan pememdaman	155
9	Hasil persentase kehilangan massa PU-Amilum 15%	156
10	Hasil uji karbohidrat dengan pereaksi Molish	157
11	Grafik kurva standar glukosa dengan metode Nelson Somoghy	157
12	Hasil uji kadar glukosa dengan metode Nelson Somoghy	
13	Hasil uji kristalinitas pati BPK	158
14	Skema isolasi pati BPK	159
15	Hasil uji tegangan-regangan PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> (1,0, 1,5, 2,0, dan 2,5%)	159
	Hasil uji tegangan-regangan PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2%, PU-Pati BPK 15%, PU-Amilum 15%	160
	Skema sintesis PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2%	160



18	Skema degradasi PU	161
19	Hasil uji signifikansi PU ( <i>test normal</i> ) dengan metode annova	161
20	Grafik uji signifikasi PU	162
21	Grafik hubungan konsentrasi pati terhadap jumlah kalor yang dilepaskan dalam sintesis PU-Pati BPK	163
22	Grafik hubungan konsentrasi pati terhadap kehilangan massa PU-Pati BPK	163
23	Hasil uji gugus fungsi Pati BPK	164
24	Hasil uji fungsi Amilum	164
25	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 5%	165
26	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 10%	165
27	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 15%	166
28	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 20%	166
29	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 1%	167
30	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 1,5%	167
31	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 2,0%	168
32	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK-TiO <sub>2</sub> 2,5%	168
33	Hasil uji sifat termal PU-Pati BPK dengan TGA	169
34	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK 20% dengan DSC	169
35	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK 15% dengan DSC	169
36	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK 10% dengan DSC	170
37	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK 5,0% dengan DSC	170
38	Grafik uji sifat termal PU dengan DSC	171
	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK dengan DSC	171
	Grafik uji sifat termal PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2% dengan DSC	172



41	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 1,5% dengan DSC dengan FTIR	172
42	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK15%-TiO <sub>2</sub> 5% sebelum degradasi	173
43	Hasil uji gugus fungsi PU-Amilum 15% sebelum degradasi dengan FTIR	173
44	Hasil gugus fungsi PU-Pati BPK sesudah degradasi	174
45	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 15%-TiO <sub>2</sub> 2% sesudah degradasi	174
46	Hasil uji gugus fungsi PU-Pati BPK 15% sesudah degradasi dengan FTIR	175
47	Hasil produk pati BPK 15% (gbr)	175
48	Termogram PU-Pati BPK 5% dengan TGA-DTG	176
49	Termogram PU-Pati BPK 10% dengan TGA-DTG	176
50	Termogram PU-Pati BPK 15% dengan TGA-DTG	177
51	Termogram PU-Pati BPK 20% dengan TGA-DTG	177

---





## DAFTAR PERSAMAAN / RUMUS

Nomor		Halaman
1.	Pembentukan gugus uretan	8
2.	Pembentukan poliuretan	22
3.	Pembentukan glukosa	47
4.	Lambert Beer	60
5.	Kadar asam lemak pati	68
6.	Kadar glukosa	71
7.	Kadar air	72
8.	Kadar abu	72
9.	Kristalinitas pati BPK	75
10.	Kuat putus	75
11.	Perpanjangan saat putus	75
12.	Modulus <i>Young</i>	81
13.	Berat sampel awal terkoreksi	81
14.	Faktor koreksi berat	83
15.	Kehilangan berat	83
16.	Kristalinitas	84



## DAFTAR SINGKATAN / LAMBANG

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
$T_m$	Temperatur leleh
$T_d$	Temperatur dekomposisi
$T_g$	Temperatur transisi glass
$\sigma$	Kuat putus
$\epsilon$	Perpanjangan saat putus
$\Delta L$	Perubahan panjang
$L_0$	Panjang mula-mula
M/z	Massa/muatan
BPK	Bonggol pisang kepok
MDI	Difenilmetan -4,4'-diisosianat
PEG	Polietilen Glikol
PPG	Polipropilen Glikol
$M_v$	Massa molekul rata-rata berdasarkan viskositas
$M_r$	Massa molekul
HO-	Gugus Hidroksil
HMDI	Heksameten-1,6-diisosianat
TDI	Tolilen diisosianat
BDI	1,4-butandiol
NDI	Naftilen-1,5-diisosianat
DNA	Asam deoksiribonukleat
DTA	Differential Thermal Analysis
	Differential Scanning Calorimetry
	Derivate Thermal Gravimetry



TGA	Thermogravimetric Analysis
SEM	Scanning Electron Microscopy
FTIR	Fourier Transform Infrared
ASTM	The American Society for Testing and Material
LC-MS	Liquid Chromatography- Mass Spectroscopy
GC-MS	Gas Chromatography- Mass Spectroscopy
XRD	X-Ray Diffraction
DNA	Asam deoksiribonukleat
DTA	Diffrential Thermal Analysis
DSC	Diffrential Scanning Calorimetry
DTG	Derivate Thermal Gravimetry
UCT	Universal Mechine Testing
PU	Poliuretan

---



## DAFTAR ISTILAH (GLOSSARY)

### Arti

Biodegradasi	Proses penguraian polimer akibat aktivitas organisme hidup
Daerah amorf	Bagian material polimer yang rantai-rantai polimernya tersusun tidak beraturan
Daerah Kristalin	Bagian material polimer yang rantai - rantai polimernya tersusun secara teratur, lebih rapat, dan lebih efisien
Karboksimetilasi	Proses memasukkan gugus karboksi ke dalam material polimer
Komonomer	Unit ulang penyusun polimer yang mengandung lebih dari satu jenis monomer
Kondensasi	Reaksi antara dua reaktan dengan dua gugus fungsi yang berbeda menghasilkan satu produk utama dan produk samping yang kecil
Kopolimer	Produk yang dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara dua jenis atau lebih monomer yang berbeda
Kristalit	Bagian kristalin yang tersusun sejajar satu sama lain dan tersusun rapat di dalam kisi kristal
Kuat lumer	Kekuatan bahan pada saat putus
Kuat putus	Kekuatan bahan pada saat putus
Kurva pertumbuhan	Kurva yang menunjukkan kaitan antara fungsi waktu dan jumlah sel dari biakan yang sedang tumbuh



*Young*

Menunjukkan kekakuan suatu material polimer yang diperoleh dengan cara membandingkan kekuatan putus dengan perpanjangan saat putus polimer

Monomer	Unit ulang yang paling sederhana penyusun material polimer
PEG 400	Senyawa yang diperoleh dari polimerisasi pembukaan cincin etilen oksida dengan massa relatif 400.
Polimerisasi	Proses pembentukan polimer dari monomer-monomer penyusunnya
Temperatur dekomposisi Td)	temperatur pada saat polimer mengalami penguraian menjadi senyawa lain
Temperatur leleh (Tm)	temperatur yang mengubah padatan polimer menjadi cairan (transisi orde satu)
Temperatur transisi gelas (Tg )	temperatur transisi material polimer yang berupa kisaran temperatur yang sempit dan keadaan kaku ke keadaan kenyal tanpa pemutusan ikatan (transisi orde satu)



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Poliuretan (PU) adalah polimer sintetik yang terbentuk melalui reaksi polimerisasi kondensasi antara molekul yang mengandung gugus isosianat dengan molekul lain yang mengandung gugus hidroksil. Polimer ini disebut juga uretan karena senyawa tersebut mengandung gugus penghubung uretan  $\text{NH}-(\text{C}=\text{O})-\text{O}-$ , sedangkan uretan sendiri merupakan turunan dari asam karbamat yang hanya ada dalam bentuk ester. Polimer ini pertama kali ditemukan oleh Otto von Bayer pada tahun 1937 (Sulaiman *et al.*, 2014).

Poliuretan adalah polimer serbaguna, memiliki ikatan silang yang kuat serta unik dengan sifat mekanik dan optik yang sangat baik, serta memiliki ketahanan pelarut yang baik (Suleman *et al.*, 2014). Sebagai polimer termoset dan plastik, PU menempati urutan kedua dalam penggunaannya di dalam industri (Kumar *et al.*, 2013). Polimer ini secara bertahap dapat menggantikan jenis polimer sebelumnya karena senyawa ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan berbagai produk yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik (Barrioni *et al.*, 2015). Di dalam industri otomotif, PU digunakan sebagai komponen kendaraan; meliputi eksterior dan interior misalnya bumper, pintu mobil, dan tempat



Polimer ini dapat pula digunakan sebagai bahan mebel, bahan bangunan dan konstruksi, insulasi tank, pipa, alat-alat olahraga, serta bahan pelapis dan pembungkus (Rohaeti, 2003 dan Nakkabi *et al.*, 2015 a ).

Di dalam bidang kedokteran, peralatan medis menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari perawatan medis modern. Dalam tahun-tahun terakhir ini, banyak bahan sintesis baru dikembangkan untuk pembuatan peralatan medis yang berasal dari PU baik yang pemakaiannya bersifat sementara maupun permanen; misalnya prostesis, implan tulang buatan, katup jantung buatan, kateter, kantong darah, dan peralatan lain (Nakkabi *et al.*, 2015 dan Francolini, 2016).

Poliuretan banyak ditemui di pasaran pada berbagai aplikasi dan penggunaannya sebagai termoplastik, termoset, dan busa. Hal ini karena PU memiliki struktur yang bervariasi yakni struktur linier, bercabang, dan berikatan silang. PU berikatan silang atau dikenal dengan PU termoset memiliki sifat mekanik yang baik, akan tetapi sulit didegradasi oleh lingkungan sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi (Nakabi *et al.*, 2015 a).

Dalam upaya mengembangkan PU yang ramah lingkungan, modifikasi perlu dilakukan dengan penambahan aditif berupa pati (Rohaeti, 2003; Nakkabi *et al.*, 2015 a). Hal ini mendorong peneliti untuk melakukan pengembangan PU yang mudah terdegradasi dan ramah

an melalui penambahan pati bonggol pisang kepok di dalam  
nya. Bonggol pisang kepok dipilih sebagai sumber pati dalam





penelitian ini karena keberadaannya melimpah ruah, dapat diperbaharui, dan merupakan sumber pati yang belum dimanfaatkan dengan baik. Di samping sifat degradasi, penambahan pati dalam sintesis PU dapat pula berpengaruh pada sifat mekaniknya, dan mekanik yang baik diperoleh pada kadar pati tertentu.

Beberapa tahun terakhir ini, pengembangan penelitian tentang polimer yang bersifat *biodegradable* lebih diutamakan di seluruh dunia.

Penggunaan pati nabati sebagai aditif untuk mendapatkan PU yang bersifat *biodegradable* banyak diteliti. Hal ini disebabkan karena secara struktural pati cocok untuk direaksikan dengan poli etilen glikol (PEG). Gugus hemiasetal pada terminal rantai polimer pati yang dapat membentuk ikatan kovalen dengan PEG dan menjadikan gugus PEG sebagai bagian pengendali reaksi yang lebih reaktif. Dengan demikian, terbentuknya ikatan kovalen antara pati dan PEG memungkinkan untuk memodifikasi gugus fungsi pada permukaan pati tanpa mengubah strukturnya secara keseluruhan (Tai *et al.*, 2017).

Tai *et al.* (2017) telah mensintesis PU *biodegradable* dengan cara mereaksikan PEG dengan heksametilena diisosianat dan penambahan pati jagung sebagai komposit (Rohaeti dan Surdia, 2003) juga telah mensintesis PU yang bersifat *biodegradable* dengan cara mereaksikan

dari pati tapioka dengan PEG dan penambahan metilen-4,4'-isiosianat atau bis(4-isiosianat fenil) metana dengan metode *one*



*shot*. Penelitian ini memperlihatkan bahwa sifat *degradable* PU yang dihasilkan dipengaruhi oleh konsentrasi amilosa dan massa relatif PEG.

Di dalam bidang kesehatan, penggunaan PU sebagai bahan dasar pembuatan alat kesehatan dapat menimbulkan masalah yang terkait dengan infeksi lokal dan sistemik (Francolini, 2016). Ketika peralatan medis ditanamkan dalam tubuh maka respon biologis organisme segera terjadi, diawali dengan adanya sentuhan atau kontak dari permukaan kulit dengan peralatan medis. Hal ini menjadi tahap awal pembentukan biofilm bakteri yang berakibat pada perubahan sifat permukaan peralatan medis sehingga meningkatkan kecepatan adhesi bakteri pada alat medis tersebut (Francolini, 2016).

Pencegahan infeksi dengan obat antibakteri biasanya lebih sulit dilakukan karena infeksi yang terjadi sering mengakibatkan kerusakan pada peralatan medis. Oleh karena itu, metode baru diperlukan untuk menghambat pertumbuhan dan mencegah kolonisasi bakteri, salah satunya adalah penggunaan polimer antibakteri sebagai bahan pembuatan peralatan medis berbasis biofilm antibakteri (Francolini, 2016).

Penelitian tentang sintesis material polimer antibakteri telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Duan dan Jiang (2016) mensintesis PU dengan metode *one shot*, yakni mereaksikan

metilen oksida dengan isoforon diisosianat dan 1,4-dihidroksi sebagai pemanjang rantai di dalam pelarut tetrahidrofur, serta



penambahan 1,3,5-Tris-(2-hidroksietil)heksahidro-1,3,5-triazine sebagai agen antibakteri.

Polimer yang bersifat antibakteri dapat pula diperoleh dengan menambahkan  $\text{TiO}_2$  ke dalam senyawa uretan. Sebagai bahan semikonduktor,  $\text{TiO}_2$  mendegradasi senyawa-senyawa penyusun kulit bakteri *Escherichia coli* (*E.coli*) sehingga bakteri mati. Di samping sifat antibakteri, penambahan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan Ag dapat pula meningkatkan fungsionalitas dan efek sinergisitas polimer seperti perbaikan sifat mekanik, optik, fotokatalitik (Azahrman, 2014). Ratnakara *et al.* (2016) telah mensintesis PU dengan mereaksikan politetrametilen eter glikol dengan toluena diisosiyanat dan menambahkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan nanopartikel hidroksiapatit serta 1,4-butandiol sebagai pemanjangan rantai dan 1,4-diazabisikloheptana sebagai pengeras.

Ada beberapa metode sintesis PU yang mengandung nanopartikel antibakteri, salah satunya adalah sintesis yang dilakukan melalui proses *one shot*, yaitu menambahkan nanopartikel tetraisopropoksida titanium ( $\text{TiO}-(i\text{-C}_3\text{H}_7)_4$ ) ke dalam campuran polieter uretan, etilen glikol, asam akrilat (AA), metil metakrilat (MMA), toluena diisosiyanat (TDI), dan heksametilena diisosiyanat (HMDI). Sintesis tersebut menghasilkan PU *preure* yang siap dicetak dan diuji (Tolstov *et.al.*, 2008) .

Penggunaan polimer yang mengandung nanopartikel  $\text{TiO}_2$  untuk

dan kesehatan sangat bermanfaat karena di samping bersifat fotokatalitik, nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dapat pula menyerap dan memantulkan



sinar UV (Xing *et al.*, 2012). Nanopartikel TiO<sub>2</sub> juga berperan dalam pencegahan terjadinya pencemaran lingkungan karena sifat fotokatalitik, hidrofobisitas dan antifogging yang dimiliki material ini (Azahrman *et al.*, 2014).

Sintesis PU dekontaminan bakteri melalui penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> memungkinkan terjadinya penurunan sifat *biodegradable* PU dalam pro kompos karena material tersebut dapat mematikan bakteri, sementara enzim pendegradasi PU di dalam pro kompos dihasilkan oleh bakteri itu sendiri (Singh *et al.*, 2016). Oleh karena itu, nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan persentase tertentu di dalam PU dapat meningkatkan daya dekontaminan bakteri namun masih memberikan sifat biodegradabilitas dan sifat termal yang baik.

Sebagaimana yang telah diuraikan, suatu polimer yang *biodegradable* dapat diperoleh melalui penambahan pati sebagai aditif, dan sifat antibakteri dapat diperoleh dengan penambahan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. Salah satu sumber pati yang dapat digunakan adalah bonggol pisang kepok. Pada penelitian ini, PU yang bersifat *biodegradable* dan dekontaminan bakteri disintesis dari PEG 400 dan metilen-4,4'-difenildiisosiyanat (MDI) yang diperoleh melalui penambahan pati dari bonggol pisang kepok dan nanopartikel TiO<sub>2</sub>. Pemilihan PEG 400 dalam sintesis PU ini dilakukan karena PU yang berasal dari PEG 400 lebih

tergedradasi dibandingkan PU yang berasal dari butanadiol. Di g itu, oksietilen (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>O-) sebagai unit ulang dalam PEG



merupakan penyumbang segmen lunak polimer sehingga PU yang dihasilkan lebih luwes atau elastis, dan juga lebih mudah diproses karena nilai transisi gelas ( $T_g$ ) lebih rendah.

Selain PEG dan pati, penggunaan MDI dalam sintesis PU *biodegradable* merupakan faktor penentu keberhasilan sintesis ini karena material ini sangat reaktif. Kereaktifan MDI disebabkan oleh struktur molekulnya simetris dan memiliki dua gugus isosianat dengan kereaktifan yang sama (Rohaeti, 2003). Kedua gugus isosianat tersebut dengan mudah bereaksi dengan gugus hidroksil, baik yang ada pada PEG maupun yang ada pada pati membentuk uretan (Rohaeti, 2003).

Untuk penerapannya di bidang medis, PU yang bersifat *biodegradable* dan dekontaminasi bakteri harus memenuhi kriteria sebagai material medis, misalnya elastisitas, stabil secara termal, ramah lingkungan, tidak toksik, dan lain-lain (Chen *et al.*, 2013). Oleh karena itu, semua parameter tersebut dijadikan sebagai variabel dalam penelitian ini untuk menentukan kelayakan polimer yang dihasilkan.

Sepanjang penelusuran literatur, penelitian ini belum pernah dilakukan. Keberhasilan penelitian ini ditunjang oleh beberapa aspek pengujian yang meliputi karakterisasi struktur (FTIR, SEM, dan XRD), *biodegradable*, dan sifat antibakteri; serta uji sifat fisik yang meliputi sifat mekanik, dan sifat termal (DSC, DTA dan TGA). Karakterisasi terdiri atas

pan yaitu sebelum degradasi dan setelah degradasi.



## B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian diberikan di bawah ini.

1. Bagaimana karakteristik pati yang diisolasi dari bonggol pisang kepok?
2. Berapa persentase pati bonggol pisang kepok (BPK) yang ditambahkan di dalam sintesis PU dari PEG 400 dan MDI untuk menghasilkan PU *degradable* dengan sifat termal yang sesuai untuk bahan pembuatan peralatan medis?
3. Berapa persentase nanopartikel  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan dalam sintesis PU *degradable* dan dekontamin bakteri yang sesuai untuk bahan pembuatan peralatan medis?
4. Bagaimana karakteristik struktur, sifat termal, dan sifat mekanik PU *degradable* dan dekontaminasi bakteri hasil sintesis dari PEG 400, MDI, pati BPK, dan nanopartikel  $\text{TiO}_2$ ?
5. Bagaimana aktivitas antibakteri PU-Pati-BPK- $\text{TiO}_2$  bila dibandingkan dengan aktivitas PU-Pati BPK dan PU-Amilum terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli*?
6. Bagaimana besarnya penurunan massa PU- $\text{TiO}_2$ -Pati-BPK sebelum degradasi dan setelah degradasi di dalam medium pro kompos dibanding dengan penurunan massa PU-Pati BPK dan PU-amilum?
7. Bagaimana perubahan gugus fungsi dan morfologi PU hasil sintesis sebelum degradasi dan setelah degradasi?



### C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. melakukan isolasi dan karakterisasi pati dari bonggol pisang kepok.
2. menentukan persentase pati BPK dalam sintesis PU *degradable* dari bahan PEG 400, MDI, dan Pati BPK dengan sifat termal yang sesuai untuk bahan pembuatan peralatan medis.
3. menentukan persentase nanopartikel  $TiO_2$  dalam sintesis PU *degradable* dan dekontamin bakteri yang sesuai untuk digunakan bahan pembuatan peralatan medis.
4. menguji karakteristik struktur, sifat termal, dan sifat mekanik PU *degradable* dan dekontamin bakteri hasil sintesis dari PEG 400, MDI, Pati BPK, dan nanopartikel  $TiO_2$ .
5. menganalisis kemampuan antibakteri PU-Pati BPK, PU- $TiO_2$ -Pati-BPK, dan PU-Amilum terhadap bakteri *S. aureus* dan *E. coli*?
6. menganalisis penurunan massa PU sebelum degradasi dan setelah degradasi.
7. menganalisis perubahan gugus fungsi dan morfologi PU *degradable* dan dekontaminan bakteri sebelum dan setelah didegradasi.



#### D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah untuk:

1. menghasilkan PU *degradable* dan dekontaminan bakteri yang layak digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan peralatan medis.
2. memberikan potensi nilai ekonomi bonggol pisang kepok yang selama ini dianggap sebagai limbah organik.
3. memberikan informasi tentang kelayakan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  sebagai antibakteri dalam sintesis PU-Pati BPK yang bersifat *degradable* dan dekontaminan bakteri.



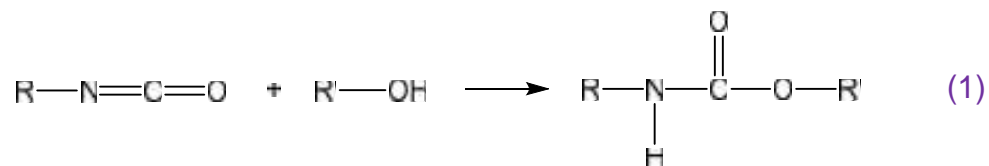


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### a. Poliuretan

Poliuretan (PU) pertama kali ditemukan oleh Otto Von Bayer pada tahun 1937 (Sulaiman, 2014). Polimer ini terbentuk melalui reaksi kondensasi antara senyawa isosianat dengan senyawa poliol. Uretan merupakan turunan dari asam karbamat yang hanya ada dalam bentuk ester, terbentuk melalui reaksi kondensasi antara suatu senyawa isosianat dengan suatu alkohol (persamaan 1). Di dalam strukturnya, PU memiliki gugus uretan sebagai penghubung antara isosianat dengan poliol yang dijadikan sebagai unit pengulangan (Rohaeti, 2001; Sulaiman, 2014).

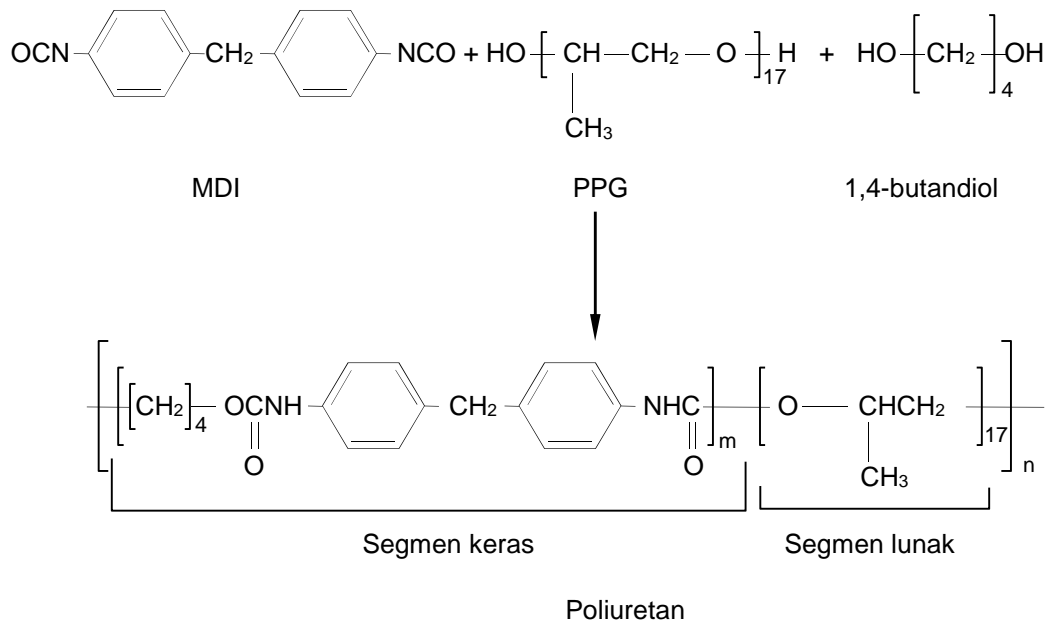


Sebagai elastomer elastis, PU diperoleh dalam bentuk kopolimer blok yang mengandung segmen keras dan lunak secara bergantian. Gambar 1 menunjukkan struktur prepolimer PU yang merupakan hasil reaksi dari polipropilen glikol (PPG) dan 1,4 butandiol dengan MDI. Segmen keras terbentuk dari hasil reaksi antara MDI dengan 1,4-butandiol, sedangkan PU yang disintesis dari PPG membentuk semen lunak.

Poliuretan termasuk polimer kedua dari termoset dan termoplastik yang banyak digunakan dalam industri (Kumar *et al.*, 2013). Polimer



ini memiliki ikatan yang kuat, sifat mekanik dan optik yang sangat baik, serta ketahanan pelarut yang baik pula (Suleman *et al.*, 2014). Secara bertahap, PU dapat menggantikan produksi polimer sebelumnya karena kemampuan PU untuk menghasilkan berbagai macam produk yang memiliki ketahanan sifat fisik dan mekanik yang baik (Barrioni *et al.*, 2015).



Gambar 1. Reaksi Pembentukan Poliuretan (Rohaeti dan Surdia 2003)

Penggunaan PU pada bidang otomotif telah banyak dijumpai, terutama sebagai komponen bagian eksterior dan interior seperti jendela dan pintu mobil, serta tempat duduk. Poliuretan dapat pula digunakan sebagai bahan pembuatan tempat tidur, bangunan dan konstruksi, pipa, olah raga, pelapis dan bahan pembungkus (Rohaeti dan Surdia Ikkabi *et al.*, 2015). Pada bidang kesehatan, PU juga telah



digunakan dalam mengembangkan peralatan medis yang memiliki kemampuan mengendalikan berbagai komplikasi klinis yang terjadi, namun penggunaan peralatan medis berbahan PU masih menimbulkan banyak masalah, di antaranya adalah infeksi lokal dan sistemik akibat penggunaan alat kesehatan tersebut (Fancollini, 2016). Diskusi PU secara terperinci diberikan berikut ini.

### **1. Poliuretan sebagai Antibakteri pada Peralatan Medis Intravaskular.**

Peralatan medis intravascular telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perawatan medis modern. Dalam dekade terakhir ini, banyak bahan yang telah disintesis dan dikembangkan untuk pembuatan peralatan medis. Dalam pembuatan peralatan medis, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu: waktu pemakaian alat medis yang dapat bersifat sementara atau permanen. misalnya prostesis, implan penggantian tulang, katup jantung, kateter intravaskular, kateter urin, dan peralatan medis lain yang dapat meningkatkan pelayanan kesehatan (Francolini, 2016; Ozdil *et al.*, 2017).

Meskipun perkembangan industri polimer dalam bidang kesehatan dinyatakan sukses dan mampu mendiagnosa terjadinya komplikasi yang berhubungan dengan penggunaan peralatan medis, namun masih menimbulkan masalah yang berhubungan dengan infeksi lokal dan sistemik (infeksi nosokomial atau infeksi didapat di rumah sakit) masih banyak terjadi. Ketika peralatan medis ditanamkan dalam tubuh maka respon imunologi organisme terjadi karena adanya sentuhan atau kontak dari



permukaan kulit dengan peralatan medis (Francolini, 2016; Ozdil *et al.*,2017). Hal ini berpotensi menyebabkan terbentuknya biofilm yang terkontaminasi mikroba, dan pada kondisi dingin sifat permukaan peralatan medis dapat berubah karena dipengaruhi oleh besarnya serta cepatnya bakteri menembus permukaan alat medis (Francolini, 2016).

Peralatan medis seperti kateter merupakan alat yang sangat penting dalam praktik medis, misalnya kateter intravaskular digunakan pada cairan, darah, serta dalam pemantauan status hemodinamik pasien sakit kritis dan hemodialisis pasien rawat jalan. Akan tetapi, penggunaan kateter aliran darah (CR-basis) dapat menyebabkan peningkatan kasus kesakitan (morbiditas) dan kematian (mortalitas) pada pasien rawat inap lama (Francolini, 2016; Ozdil *et al.*,2017).

Penggunaan kateter yang terkontaminasi bakteri dan infeksi aliran darah pada pasien merupakan faktor yang berpotensi meningkatkan keganasan, kelainan pada sel darah putih (neutropenia), dan *shock* serta faktor yang terkait dengan peningkatan risiko nutrisi parenteral (pencernaan). Faktor risiko lain yang muncul adalah penggunaan kateter dalam jangka waktu yang lama, kurangnya pencegahan terhadap mikroorganisme yang masuk pada tubuh (asepsis) pada penggunaan *centra cathether vena* (CVC), dan seringnya manipulasi kateter (Francolini, 2016).

infeksi oleh bakteri sering menyebabkan kerusakan pada peralatan  
Hal ini semakin mempersulit dalam penanganan infeksi. Selama



ini, strategi pencegahan dan pembunuhan terhadap bakteri dilakukan dengan beberapa cara antara lain: (1) pendidikan dan pelatihan pada petugas layanan kesehatan dalam penggunaan dan pemeliharaan kateter (2) proteksi penuh selama CVC digunakan (3) penggunaan antiseptik untuk kulit (4) pengembangan biomaterial antiadhesive (5) menggunakan metode fisikokimia (6) penggunaan antiseptik dan antibiotik pada penggunaan CVCs jangka pendek (Francolini,2016; Ozdil *et al.*,2017). Cara-cara tersebut dianggap belum cukup, sehingga pencarian metode baru perlu dilakukan untuk membunuh bakteri dan mencegah kolonisasi bakteri (Francollini, 2016).

Sejak agen antibakteri yang teradsorpsi pada kateter ditemukan (Francolini, 2016), metode pencegahan bakteri melalui penerapan polimer antibakteri pada peralatan medis merupakan salah satu strategi yang paling menjanjikan dalam beberapa tahun terakhir. Baru-baru ini, polimer antibakteri telah muncul sebagai bahan yang menjanjikan untuk mengatasi infeksi yang berhubungan dengan peralatan medis berbasis biofilm (Francolini, 2016).

Para ilmuwan telah menyadari bahwa untuk membuat suatu material menjadi biomaterial fungsional, material tersebut harus berinteraksi dengan baik dan tidak bereaksi dengan jaringan sekitarnya.

Hal ini telah memicu pengembangan biomaterial baru yang bekerja

lingkungan fisiologis yang memiliki sifat kimia, porositas, mekanik, dan sifat mekanik (Fancolini,2016; Ozdil *et al.*, 2017).



Baru-baru ini, polimer antibakteri telah muncul sebagai bahan yang menjanjikan untuk mengatasi infeksi yang berhubungan dengan peralatan medis berbasis biofilm (Francolini, 2016; Ozdil *et al.*, 2017).

Secara tipologi, alat kesehatan digolongkan berdasarkan lokalisasi biomaterial terhadap bagian vaskular atau perangkat ekstravaskular, sedangkan berdasarkan interaksi yang terjadi pada pasien maka peralatan biomaterial digolongkan menjadi (1) intravaskular yang dapat berinteraksi dengan komponen darah dan (2) peralatan ekstravaskuler berinteraksi dengan cairan jenis lain tubuh (Francolini, 2016). Aplikasi PU pada peralatan medis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penerapan poliuretan pada peralatan medis intravaskular

Peralatan Medis	Penggunaan
Kateter vena perifer	Pemberian cairan intra vena, obat-obatan, nutrisi enteral, pengambilan sampel darah
Kateter vena sentral	Pemberian obat, pemberian cairan dengan menggunakan tekanan, sampel darah.
Kateter alteri pulmonalis	Aplikasi diagnostik
Katup jantung buatan	Pergantian katup jantung disfungsi
Cangkok vascular	Pengalihan aliran darah dari daerah tertentu
Stent coroner	Pengobatan penderita arteri, koroner sterosis
Alat pacu jantung	Kontrol irama jantung abnormal, mendukung fungsi jantung dan aliran darah

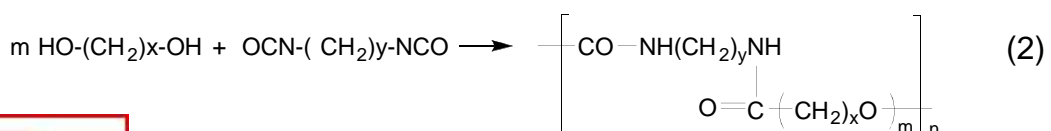
Sumber: Francolini, 2016.



## 2. Sintesis Poliuretan

Secara prinsip, PU dapat dibuat dengan cara mereaksikan dua bahan kimia reaktif yaitu poliol dengan diisosianat, dan biasanya ditambahkan sejumlah aditif untuk mengontrol proses reaksi dan memodifikasi sifat produk akhir (Hartomo,1993; Rohaeti, 2004). Sintesis PU pada umumnya dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama adalah sintesis prapolimer yang mengandung gugus isosianat bebas, dan pada tahap kedua adalah reaksi pemanjangan rantai silang polimer (Rohaeti, 2004; Nakkabi *et al.*, 2016). Duan dan Jiang (2016) telah mensintesis PU dengan menggunakan metode *one shot* yakni mereaksikan politetrametilen oksida dengan menambahkan isoforon diisosianat serta 1,4-dihidroksibutan dan tetrahidrofuran sebagai pelarut dan 1,3,5-tris-(2-hidroksietil) heksahidro-1,3,5-triazina sebagai antibakteri).

Sintesis PU umumnya menggunakan PEG dan polipropilen glikol, sedangkan sintesis PU jenuh yang mengandung gugus hidroksil lebih sering menggunakan poliester seperti polietilen adipat, polipropilen adipat, dan gliserol adipat. Reaksi antara senyawa hidroksil difungsi atau polifungsi dengan isosianat difungsi atau polifungsi membentuk PU dinyatakan dalam persamaan 2 (Rohaeti, 2004; Sulaiman *et al.*, 2014).



Kereaktifan diisosianat merupakan faktor yang paling penting dalam sintesis PU. Diisosianat aromatik bersifat lebih reaktif dibandingkan diisosianat alifatik, baik itu gugus diisosianat pada atom karbon sekunder maupun atom tersier (Rohaeti, 2004). Diisosianat komersial yang biasa digunakan adalah heksametilen-1,6-diisosianat, difenilmetan-4,4-diisosianat, atau campuran antara metilen-2,4-diisosianat dengan toluen-2,6-diisosianat (Rohaeti, 2004)..

Berat molekul PEG dalam sintesis polimer PU busa berpengaruh pada sifat fisiknya. PEG dengan berat molekul yang rendah menghasilkan PU dengan segmen keras. Di dalam reaksi polimerisasi ini diperoleh pula alkohol yang berasal dari polioliol yang berfungsi sebagai agen pembukaan cincin epoksida dan pemanjangan rantai. Hal ini dapat mempengaruhi pembentukan segmen lembut pada busa PU (Rohmi, 2011; Keller *et al.*, 2020).

Keberadaan polikaprolakton dan gliserol dalam sintesis PU dapat mengakibatkan mobilitas segmen menjadi berkurang karena terjadi pemisahan fase pada saat memasuki fase kristal yang menghasilkan rantai polimer yang saling berhubungan. Poliuretan dengan struktur amorf dapat didegradasi lebih mudah dibandingkan dengan PU yang berbentuk semkristalin (Barrioni *et al.*, 2016).

Poliuretan *biodegradable* dengan fungsional tinggi telah disintesis

reaksi antara isoforon diisosianat (IPDI) dengan polioliol. Reaksi IPDI dan gliserol menghasilkan segmen keras PU, sedangkan





reaksi antara polikaprolaktontriol dengan PEG menghasilkan segmen yang lembut. Di samping itu, ikatan silang yang terjadi antara gliserol dan polikaprontriol dapat meningkatkan interkoneksi pada fase segmen lunak dan keras sehingga diperoleh PU yang mempunyai karakteristik hidrogel serta kekuatan mekanik yang baik. Terjadinya pemanjangan rantai gliserol juga dapat meningkatkan laju degradasi hidrolitik. Laju ini diperlukan karena dapat memudahkan polimer terdegradasi di lingkungan (Kupka *et al.*, 2015; Barrioni *et al.*, 2016).

Penambahan pati dalam sintesis PU *degradable* adalah cara lain untuk meningkatkan kemudahan degradasi polimer. Reaksi antara gugus hidroksil yang berasal dari PEG dengan gugus isosianat ( $-N=C=O$ ) menghasilkan PEG-iso yang selanjutnya bereaksi dengan gugus hidroksil yang ada dalam pati. Sehubungan dengan itu, Tai *et al.* (2017) telah berhasil mensintesis PU *degradable* dengan cara mereaksikan PEG dengan 1,6-heksametilendiisiosianat dengan menambahkan pati jagung sebagai komposit. Rohaeti (2004) juga telah berhasil mensintesis PU *degradable* dari PEG 400 dan MDI dengan penambahan amilosa dari pati tapioka dengan konsentrasi 15% metode *one shot*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan amilosa dalam sintesis tersebut menghasilkan PU yang lebih mudah terdegradasi dibandingkan dengan PU tanpa penambahan amilosa.



sintesis PU *biodegradable* berbasis lignin dan degradasinya dilakukan oleh (Cateto *et al.*, 2014). PU busa rigid telah disintesis

dari campuran yang terdiri atas komponen polioliol yang digabungkan dengan lignin dengan konsentrasi mulai dari 25% hingga 100%, selanjutnya direaksikan dengan MDI dan menambahkan silikon sebagai surfaktan dan *n*-heptana sebagai *blowing* agen. Produk PU yang telah diperoleh kemudian didegradasi dengan menggunakan media cair dan media padat. Beberapa jenis jamur terdapat di dalam media tersebut yang dapat mendegradasi PU. Jenis jamur tersebut adalah *penicillium chrysogenum*, *phanerochaete chrysogenum*, *trametes versicolor* dan *trichoderma harzianum*.

Pada kebutuhan bahan alat kesehatan, biasanya PU disintesis menggunakan bahan nanokomposit antimikroba sebagai aditif. Sebagai contoh, Ratnakara *et al.* (2016) mensintesis PU melalui reaksi politetrametilen eter glikol, toluena diisosianat (TDI) dengan penambahan komposit nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan nanopartikel hidroksiapatit sebagai antimikroba, serta 1,4-butanadiol sebagai pemanjangan rantai dan 1,4-diazabisiklooktana sebagai pengeras. Poliuretan sintetik yang berasal dari bahan nanopartikel TiO<sub>2</sub> dan Ag diketahui dapat meningkatkan fungsionalitas dan efek sinergitas PU seperti perbaikan sifat mekanik, optik, fotokatalitik, dan sifat antibakteri (Azhrman, 2002).

Poliuretan busa telah berhasil disintesis dengan metode *one step* proses dari bahan MDI (difenilmetane-4,4'-diisocyanat), polieter polioliol, etilsikloheksamin (katalis), siklopentana (*blowing agent*), dan nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 1, 2, 3 dan 4% dari berat polimer.



Poliuretan hasil sintesis dengan konsentrasi 2% tersebut dapat dimanfaatkan di bidang otomotif seperti jok mobil, bumper mobil, bahan pembungkus, dan lain-lain (Larusso *et al.*, 2015).

Di samping digunakan untuk peningkatan sifat mekanik polimer, TiO<sub>2</sub> dengan sifat semikonduktivitasnya memungkinkan pula digunakan sebagai aditif polimer dan dekontaminan bakteri. Hal ini dimungkinkan karena sifat semikonduktivitas yang dapat menyebabkan senyawa-senyawa penyusun kulit bakteri terdegradasi sehingga bakteri terbunuh (Azhrman, 2002). Oleh karena itu, poliuretan berbahan nanokomposit banyak diterapkan dalam bidang kesehatan karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya memiliki struktur pori dan sifat mekanik yang baik, serta memiliki sifat biokompatibilitas pada darah. Di samping itu, bahan ini juga dapat diaplikasikan untuk bantalan beban bertekanan 6-12 Mpa (Rochikha *et al.*, 2016).

### 3. Biodegradasi Poliuretan

Biodegradasi (degradasi biotik) adalah degradasi yang melibatkan aktivitas biologis suatu mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga (Singh *et al.*, 2019). Biodegradasi diharapkan dapat menyebabkan hilangnya sebagian besar bahan kimia yang dilepaskan ke lingkungan. Degradasi dapat bervariasi bergantung pada karakteristik mikroorganisme pendegradasinya. Mikroorganisme dapat mendegradasi polimer seperti

jadi molekul yang lebih sederhana dengan menggunakan substrat media pertumbuhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi



biodegradasi, di antaranya adalah jenis polimer dan jenis media yang digunakan. Perubahan warna, retak, erosi, dan bentuk adalah beberapa karakteristik parameter yang digunakan untuk mengetahui terjadinya degradasi (Rohaeti *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 2019).

Organisme hidup mempunyai kemampuan untuk memproduksi bermacam-macam enzim yang dapat menghancurkan struktur biopolimer. Fungsi enzim sebagai katalisator dalam merombak struktur polimer merupakan fungsi yang spesifik, artinya suatu enzim tertentu hanya memiliki kemampuan untuk mengkatalisis suatu reaksi kimia tertentu pula. Serangan mikroba pada poliuretan terjadi melalui reaksi enzimatik hidrolisis seperti urease, protease, dan esterase (Nakkabi *et al.*, 2015).

Biodegradasi dapat dilakukan dalam lingkungan yang sesungguhnya yaitu dengan cara dipendam dalam tanah atau dilakukan dengan metode simulasi. Metode simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme campuran atau dengan menggunakan mikroorganisme tertentu yang telah diketahui jenisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju biodegradasi mikroorganisme campuran umumnya berlangsung lebih cepat, namun sukar untuk memperkirakan mekanisme degradasi yang terjadi (Rohaeti *et al.*, 2004; Nakkabi *et al.*, 2015).

Ada beberapa penelitian degradasi PU yang telah dilakukan

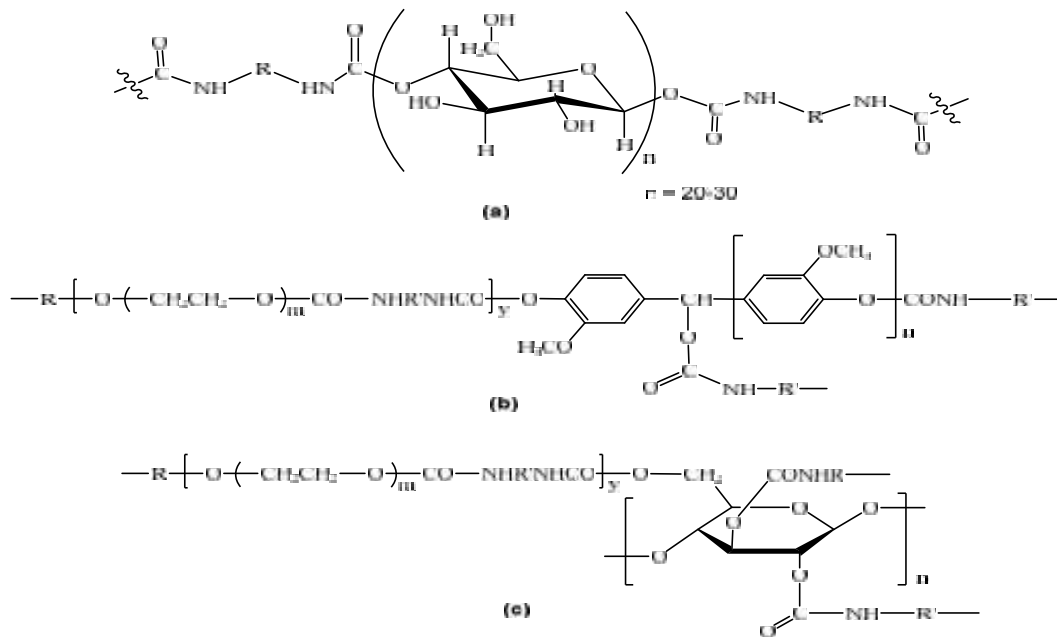
menggunakan bakteri, di antaranya adalah yang dilakukan oleh *et al.* (2015). Pada penelitian tersebut, PU yang diperoleh dari



impranil (Duppon) didegradasi dengan bakteri isolat yang diperoleh dari pembusukan kayu cedar. Uji biodegradasi menggunakan media luria bertani (LB) dengan menumbuhkan bakteri *Bacillus safensis stutzeri pseudomonas*. Penelitian degradasi PU dengan menggunakan bakteri juga telah dilakukan oleh Biffinger *et al.*, (2014). Degradasi disebabkan adanya koloni bakteri *pseudomonas protegens Pf-5* dengan diameter <1 mm pada piring agar yang terdiri atas PU dan substrat ZnSe.

Rohaeti dan Surdia (2003) telah berhasil mendegradasi PU dengan menggunakan metode pemendaman dengan media lumpur aktif. Dalam penelitian tersebut, degradasi dilakukan dengan metode simulasi di Laboratorium dengan menggunakan bakteri *P. aerigenosa* dengan media antara lain: luria bertani padat, malka padat, malka cair, dan luria bertani cair. Beberapa struktur kopolimer blok sintetik *degradable* turunan dari selulosa dan lignin dapat dilihat pada Gambar 2.





Gambar 2. Kopolimer blok PU sintetik yang dapat terdegradasi: (a) turunan dari sellulosa (Rohaetidan Surdia 2003), dan (c) turunan sakharida (Hetakeyama, 1995; Rohaeti dan Surdia, 2003).

Penelitian degradasi PU yang menggunakan jamur juga telah dilakukan oleh Amaral *et al.* (2012). Penelitian ini berhasil mendegradasi PU dengan berbasis lignin komersial dengan jamur *Aspergillus niger*. Metodologi yang digunakan adalah inkubasi *A.niger* pada piring yang berisi nutrisi agar selama 28 hari pada suhu 30°C, kemudian sampel spora dipindahkan dalam piring agar dengan menggunakan kapas steril, selanjutnya diinokulasikan dengan larutan spora. Poliuretan sebelumnya didekontaminasi dengan larutan etanol dan selanjutnya dibiarkan sampai kering.

Ma dan Wong (2013) mendegradasi PU dengan metode modifikasi dari *pichia pastoris* dengan cara mengubah protein dan sekresi dalam *P. pastoris*, selanjutnya PU yang telah dimodifikasi di



masuk ke dalam media yang didalamnya terdapat jamur *Aspergillus flavus*. Hasil menunjukkan bahwa jamur *A.flavus* mampu mendegradasi polyester PU yang ditandai dengan berkurangnya berat pada poliester PU selama proses degradasi. Pengaruh modifikasi genetik protein dan sekresi dari *P.pastoris* dapat pula meningkatkan persentase biodegradasi poliester PU.

Khan *et al.* (2017) berhasil mendegradasi poliester PU dengan menggunakan jamur *Aspergillus tubingensis* dengan metode pemendam dalam tanah serta metode simulasi dengan menggunakan media cair. Poliuretan beserta bahan lainnya ditambahkan masuk ke dalam tanah, selanjutnya dimasukkan ke dalam pot tanah. Pemendam dilakukan selama satu bulan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa jamur *A.tubingensis* dapat mendegradasi permukaan PU.

Degradasi poliester PU dengan metode pemendam juga telah dilakukan oleh Zafar *et al.* (2014). Degradasi polyester PU dilakukan dengan menggunakan kompos yang dipendam dalam tanah. Kompos yang digunakan adalah kompos komersial yang ditambahkan dengan limbah organik rumah tangga, setiap hari dalam wadah penampungan pada suhu 60°C-70°C selama 14 hari, setelah itu dipanen dan ditimbang beratnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses degradasi adalah tanah, enzim (esterase dan lipase), suhu, surfaktan, serta



sumber karbon. Hasil pememdaman impranil PU dalam tanah menunjukkan bahwa sangat sedikit spesies yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh di permukaan PU.

#### 4. Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Sebagai Antibakteri

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kesehatan semakin pesat terutama penggunaan material berukuran nano. Nanopartikel TiO<sub>2</sub> merupakan oksida logam yang tidak toksik, ramah lingkungan dan cocok untuk aplikasi biomedis misalnya pemberian obat melalui teknik jaringan dan pembalut luka dan lain-lain (Maheswariab *et al.*, 2020). Material yang berukuran nano dalam alat kesehatan telah banyak dijumpai, terutama senyawa TiO<sub>2</sub>. (Ratnakara *et al.*, 2016). Berbagai nanopartikel yang digunakan dalam bidang kesehatan di antaranya adalah nanopartikel oksida logam contohnya TiO<sub>2</sub>, ZnO, MgO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang telah diteliti dan menunjukkan hasil bahwa oksida logam tersebut berfungsi sebagai antimikroba dan antikanker (Hueter *et al.*, 2014). Nanopartikel TiO<sub>2</sub> mempunyai ukuran partikel 1-100 nm sehingga berpotensi untuk dijadikan komposit dalam mensintesis biopolimer PU yang bersifat dekontaminan bakteri dalam alat kesehatan.

Nanopartikel TiO<sub>2</sub> memiliki beberapa keunggulan dalam penggunaannya, baik di bidang medis maupun di bidang biologi.

Keunggulan tersebut di antaranya adalah dapat langsung menembus sel bakteri, biokompatibilitas yang sangat baik, sifat oksidasinya kuat, sifat fotokatalitik yang sangat baik, kemampuan untuk





membentuk jaringan hibrida dengan protein sangat baik, dampak resistensi yang dihasilkan sangat sedikit dibandingkan penggunaan obat antibiotik, serta dengan polimer terbiodegradasi dengan baik (Fu *et al.*, 2005; Malmira *et al.*, 2020). Data dari peneliti sebelumnya memberikan informasi bahwa alat medis yang berasal dari polimer PU-TiO<sub>2</sub> digunakan sebagai implan vaskular buatan. Keberadaan nanopartikel TiO<sub>2</sub> dalam polimer tersebut dapat meningkatkan sitokompatibilitas dan hemokompatibilitas serta endotelisasi. Adanya peningkatan endotelisasi menyebabkan proses transplantasi pembuluh darah berlangsung dengan baik (Kianpour *et al.*, 2020).

Senyawa TiO<sub>2</sub> berpotensi sebagai antibakteri karena dapat menghasilkan OH radikal dalam reaksinya yang mampu menginaktifkan bakteri. Spesies radikal reaktif yang terdiri atas OH•- dan O<sub>2</sub>•- yang dihasilkan dari proses fotogenerasi pada permukaan titania merupakan zat oksida yang aktif dan kuat untuk mendegradasi senyawa organik yang ada pada dinding dan membran sel bakteri (Pramadewi *et al.*, 2015). Nanopartikel TiO<sub>2</sub> adalah senyawa yang mempunyai kecenderungan menghasilkan spesies oksigen reaktif yang berlebihan dalam sel kanker sehingga dapat berfungsi sebagai agen antikanker yang efektif (Huerta *et al.*, 2014).

Sintesis PU dari politetrametilen eterglukol (PTMEG), TDI,

oksidapatit dan nanopartikel TiO<sub>2</sub> menghasilkan PU yang bersifat bakteri. Produk PU tersebut dapat dimanfaatkan sebagai implan



tulang. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan sifat kompatibilitas dan sifat antibakteri. Hasil uji antibakterinya menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dapat membunuh bakteri *E.coli* dan *S.aureus* (Ratnakara *et al.*, 2016). Obat antibakteri telah berhasil disintesis dengan teknik hidrotermal yang dimodifikasi melalui elektrokimia menambahkan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  sebagai komposit dan ekstrak ceri. Data hasil uji antibakteri menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dapat membunuh bakteri *E.coli* dan *S.aureus* (Mahewarib *et al.*, 2020).

Malmira (2020) telah berhasil mensintesis nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dengan menambahkan nanopartikel *quantum dots*, bakteri selulosa (*glukobakteri xilinum*) dan Ag dengan metode penguapan dan pelapisan ion untuk digunakan sebagai pembalut luka yang bersifat antibakteri. Data hasil uji antibakteri memperlihatkan bahwa  $\text{TiO}_2$  dapat menghambat pertumbuhan bakteri *E.coli* dan *S.aureus*. Dalam hal ini  $\text{TiO}_2$  dapat pula memperbaiki sifat mekanik dari pembalut luka, memperbaiki permukaan pembalut, biokompatibilitas yang baik serta memberikan ikatan yang kuat dengan substrat.

## 5. Media Degradasi

Degradasi polimer PU dapat dilakukan melalui dua cara yaitu dengan metode simulasi dan metode degradasi di lingkungan (sesungguhnya). Kedua metode ini masing–masing memerlukan

pendegradasi. Media yang digunakan bervariasi bergantung jenis dan bahan yang akan didegradasi. Media yang umum



digunakan dalam mendegradasi PU adalah kompos, pro kompos, luria bertani, lumpur aktif, dan lain-lain.

### **a. Kompos**

Kompos adalah bahan-bahan organik yang telah mengalami proses pelapukan karena adanya interaksi antara mikroorganisme (bakteri pembusuk) yang bekerja di dalamnya. Kompos di alam terbuka bisa terjadi dengan sendirinya lewat proses alamiah, namun proses tersebut berlangsung lama yang dapat mencapai waktu bertahun-tahun. Kebutuhan akan tanah subur sudah semakin mendesak, oleh karenanya proses pembuatan kompos tersebut perlu dipercepat dengan bantuan manusia. Proses mempercepat pembuatan kompos harus dengan cara yang baik dan berlangsung wajar sehingga diperoleh kompos yang berkualitas baik (Murbandono, 2010; Andriany 2017).

Kompos merupakan media tanam organik dengan bahan dasar yang berasal dari fermentasi tanaman atau limbah organik seperti jerami, sekam, daun, rumput, sampah kota, dan lain-lain. Pada prinsipnya semua bahan yang berasal dari makhluk hidup atau bahan organik dapat dikomposkan. Seresah, daun-daunan, pangkasan rumput, ranting dan sisa kayu dapat dikomposkan. Kotoran binatang ternak bahkan kotoran manusia bisa dikomposkan. Kompos dari kotoran ternak lebih dikenal dengan istilah pupuk kandang.



Tabel 2. Mikroba umum yang terdapat pada kompos

Jenis Mikroba	Bakteri	Genus
<i>Masofil</i>	<i>Pseudomonas spp</i> <i>Acromobacter spp</i> <i>Bacillus spp</i> <i>Flavobacterium spp</i>	<i>acternoria spp</i> <i>aspergillus spp</i> <i>cladosporium spp</i> <i>mucar spp</i>
<i>ermofil</i>	<i>bacillius spp</i> <i>Streptomyces spp</i> <i>Thermoactinomyces spp</i> <i>Thermonospora spp</i> <i>Microployspora spp</i>	<i>aspergillius fumigaces</i> <i>mucor pusillius</i> <i>chactomium thermophile</i> <i>absidia famosa</i> <i>sporatrlichemthermophile</i> <i>Torula thermophile</i> <i>Thermoascus aurantiancus</i>

Sebagian besar bahan organik mudah dikomposkan karena secara alami bahan-bahan organik akan mengalami penguraian di alam dengan bantuan mikroba maupun biota tanah lainnya (Andriany, 2017). Mikroba umum yang terdapat di dalam kompos dapat dilihat pada Tabel 2.

### b. Pro Kompos

Pro kompos merupakan formulasi yang efektif dalam mengurai atau mendekomposisi bahan organik serta dapat menjadi biokontrol sehingga sangat efektif digunakan pada berbagai jenis limbah. Pro kompos tersedia dalam berbagai macam formulasi mikroorganisme pengurai sesuai dengan kebutuhan para petani. Cara Penggunaannya adalah 100 gram formulasi dicampurkan ke dalam 1 L air dan diaduk hingga merata, kemudian disemprotkan pada limbah pertanian sesuai dengan kebutuhan.

secara cepat dan mengalami proses penguraian bahan organik.

isi *pro compost* yaitu: mikroorganisme, media organik, *talk*



*powder*, tepung tapioka, *trichoderma sp*, *pleorotus astreatus*, *tramete*, dan mikrobat. Komposisi mikroba dalam pro kompos dipaparkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi mikroba yang ada pada *pro compost*

Jenis Produk	Komposisi	Fungsinya
<i>Pro compost</i>	<i>Trichoderma hanzianum</i>	Biodekompoiser-mengurai selulosa
	<i>Pleoratus astreatus</i> <i>Trametes</i>	Mengurai selluosa dan lignin Mendegradasi warna
	Kalsium carbonat Talk	Penetral Pengikat

Sumber: Suhaerah *et al.*, 2018

## B. Bakteri dan Penyakit infeksi

Bakteri merupakan mikroorganisme yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop (Radji, 2011). Bakteri memiliki bagian tubuh yang pada umumnya terbagi atas tiga bagian, yaitu dinding sel, bagian yang terdapat di luar dinding sel seperti kapsul, flagel dan pili serta bagian yang terdapat di dalam dinding sel seperti membran plasma, sitoplasma, ribosom, mesosom, nukleoid (DNA), plasmid dan sebagainya. Struktur, fungsi dan komposisi kimia bakteri gram positif dan negatif dilihat pada Tabel 4.



Menurut para ahli bakteri digolongkan atas dua jenis yaitu bakteri patogen dan bakteri non patogen. Bakteri patogen lebih berbahaya dan dapat menyebabkan infeksi baik secara sporadik maupun endemik, misalnya bakteri *S. aureus*, *E. coli* dan *P. aeruginosa* (Djide dan Sartini, 2008).

Tabel 4. Struktur, fungsi dan komposisi kimia bakteri gram positif (+) dan negatif (-)

No	Struktur	Fungsi	Komposisi Kimia
1	Flagel	Pergerakan	Protein
2	Pili	Saluran konjugasi	Protein
3	Kapsul	Pelindung adhesi sel	Polisakarida
4	Dinding sel (gram+)	Pelindung	Peptidoglikan
5	Dinding sel (gram-)	Pelindung-permeabilitas	Peptidoglikan
6	Membran plasma	Permeabilitas, biosintesa Transport elektron	Lipid dan Protein

Sumber : Jawetz et al., 2008

Penyakit infeksi masih merupakan jenis penyakit yang paling banyak diderita oleh penduduk di negara berkembang, termasuk Indonesia. Infeksi dapat terjadi pada kulit maupun pada luka. Penyakit Infeksi pada kulit biasanya disebabkan oleh bakteri, jamur, dan protozoa (Gibson, 1996; Mpila *et al.*, 2015); sedangkan infeksi pada luka operasi disebabkan oleh bakteri. Bakteri gram negatif (batang) merupakan flora normal yang ada dalam usus (*Pseudomonas sp*, *E. coli* dan *klebsiella sp*) dan bakteri gram positif yang merupakan flora normal yang berasal dari kulit (*Staphylococcus epidermidis*). Infeksi bakteri dapat berasal dari

as maupun nosokomial, dan infeksi yang sering terjadi adalah yang disebabkan oleh *S. aureus* dan *E. coli* (Rasyid *et al.*, 2000).



Akibat infeksi nosokomial ini menyebabkan biaya perawatan dan masa inap di rumah sakit menjadi bertambah (Francolini , 2016).

### 1. *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) merupakan bakteri *coccus* gram positif, susunannya bergerombol dan tidak teratur, bentuknya bulat seperti anggur dengan diameter 0,7-1,2  $\mu\text{m}$ . *S. aureus* tumbuh pada media cair dan padat seperti NA (*Nutrien Agar*) dan BAP (*Blood Agar Plate*) dan aktif melakukan metabolisme, mampu memfermentasi karbohidrat menghasilkan bermacam-macam pigmen berwarna putih hingga kuning (Dowshen *et al.*, 2002). Bakteri ini dapat ditemukan pada permukaan kulit sebagai flora normal, terutama disekitar hidung, mulut, alat kelamin, dan sekitar anus. *S. aureus* menyebabkan infeksi pada luka biasanya berupa abses (kumpulan nanah atau cairan dalam jaringan). Jenis-jenis abses yang spesifik diantaranya bengkak (*boil*) dan radang akar rambut (*olliculitis*).

Bakteri *S aureus* merupakan bakteri, fakultatif anaerob, tidak membentuk spora, dan tidak bergerak. Bakteri ini tumbuh pada suhu optimum 37°C, tetapi membentuk pigmen paling baik pada suhu kamar (20-25°C). Koloni pada perbenihan padat berwarna abu-abu sampai kuning keemasan, berbentuk bundar, halus, menonjol, dan berkilau. Lebih dari 99% isolat klinik menghasilkan *S. aureus* yang mempunyai kapsul berlapis ganda atau selaput tipis yang berperan dalam virulensi bakteri. Tingkat derajat hemolisis disebabkan oleh *S. aureus* dan kadang-kadang



oleh spesies stafilokokus lainnya (Jawetz *et al.*, 2008). Berikut ini adalah taksonomi mikrobiologi *S. aureus*;

Domain : *Bacteria*  
 Kerajaan : *Eubacteria*  
 Filum : *Firmicutes*  
 Kelas : *Bacilli*  
 Ordo : *Bacillales*  
 Famili : *Staphylococcaceae*  
 Genus : *Staphylococcus*  
 Spesies : *Staphylococcus aureus*  
 Nama binomial : *Staphylococcus aureus*

*Sumber* : Rosenbach (1884)

Bakteri *S. aureus* adalah patogen utama yang ada pada manusia. Hampir semua orang pernah mengalami infeksi yang disebabkan oleh *S. aureus* selama hidupnya, dengan derajat keparahan yang beragam, dari keracunan makanan atau infeksi kulit ringan hingga infeksi berat yang mengancam jiwa. Sebagian bakteri *S. aureus* merupakan flora normal pada kulit, saluran pernafasan, dan saluran pencernaan makanan pada manusia (Jawetz *et al.*, 2008). Bakteri ini dapat menimbulkan berbagai macam penyakit melalui cara penularannya yang tersebar luas dalam jaringan dan terlibat dalam pembentukan berbagai zat ekstraseluler. Ada

zat yang berperan sebagai faktor virulensi salah satunya adalah protein, termasuk enzim dan toksin (Jawetz *et al.*, 2008).





Bakteri *S.aureus* juga ditemukan di udara dan lingkungan sekitar. Bakteri ini merupakan patogen yang bersifat invasif, menyebabkan hemolisis, membentuk koagulase, dan mampu meragikan manitol. Infeksi yang disebabkan oleh *S. aureus* ditandai dengan kerusakan jaringan yang disertai abses. Menurut Djide dan Sartini (2008), bakteri patogen lebih berbahaya dan menyebabkan infeksi baik secara sporadik maupun endemik, bakteri tersebut diantaranya yaitu *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*. Peningkatan resistensi bakteri terhadap penggunaan beberapa antibiotik (Djide et al.,2008)

Sindroma syok toksik (SST) pada infeksi *S. aureus* timbul secara tiba-tiba dengan gejala demam tinggi, muntah, diare, mialgia, ruam, dan hipotensi, dengan gagal jantung dan givnjal pada kasus yang berat. Sindroma sering terjadi dalam lima hari permulaan haid pada wanita muda yang menggunakan tampon, atau pada anak-anak dan pria dengan luka yang terinfeksi stafilokokus. *S. aureus*. infeksi ini tidak ditemukan dalam aliran darah (Jawetz et al., 2008).

Infeksi yang lain disebabkan oleh *S. aureus* adalah bisul, jerawat, impetigo, dan infeksi luka. Infeksi yang lebih berat diantaranya pneumonia, mastitis, plebitis, meningitis, infeksi saluran kemih, osteomielitis, dan endokarditis. (Kusuma, 2009). Infeksi oleh *S. aureus* bisa juga menyebabkan sindroma kulit. Infeksi *S. aureus* dapat menular



selama ada nanah masih keluar dari hidung. Selain itu jari jemari juga dapat membawa Infeksi *S. aureus* dari satu bagian tubuh yang luka atau robek, *S. aureus* sekarang menjadi penyebab paling banyak terjadinya infeksi endodarditis (IE) di dunia industri. Hal ini disebabkan karena kecenderungannya untuk penyakit menjadi parah dan resistansi antibiotika yang sering terjadi, *S. aureus* adalah penyebab yang ditakuti dari IE (Tong *et al.*, 2015).

Kebanyakan infeksi yang berhubungan dengan peralatan medis. (Tong *et al.*, 2015). *Methicillin resistant staphylococcus aureus (MRSA)* merupakan salah satu penyebab infeksi nosokomial yang utama. Infeksi nosokomial ini setiap tahun meningkat dengan gejala manifestasi berbeda-beda tergantung kondisi pada geografis dari wilayah tersebut. Geografis merupakan salah satu faktor yang menyebabkan agen infeksi nosokomial berkembang begitu cepat Beberapa penelitian terbaru di wilayah Afrika yang melibatkan pasien infeksi yang disebabkan oleh bakteri dari *S.aureus*. Hasil penelitian tersebut memberikan informasi terbaru bahwa di wilayah Afrika terjadinya infeksi disebabkan oleh penggunaan kateter vaskular pada pasien, misalnya infeksi pleuropulmonary dan osteoartikular (Fancollini, 2016).

Perkiraan angka kematian selama 30 hari yang diakibatkan oleh adanya infeksi adalah mortalitas (22-48%), endokarditis infeksi (25-60%),

infeksi paru (39-67%), sedangkan yang terkait dengan penggunaan (7-21%), infeksi jaringan lunak pada kulit (15-17%), dan infeksi



saluran kencing (10%). Temuan serupa baru-baru ini juga dijelaskan dalam analisis gabungan lima penelitian observasional prospektif (Tong *et al.*, 2015).

## 2. *Escherichia Coli*

*Escherichia coli* pertama kali diidentifikasi pada tahun 1885 oleh Theodor Escherich, seorang dokter hewan Jerman. Di dalam studinya mengenai sistem pencernaan pada bayi hewan. Theodor Escherich menggambarkan organisme ini sebagai komunitas bakteri *E. coli* yang membangun segala perlengkapan patogenitasnya pada infeksi saluran pencernaan. Nama “*Bacterium Coli*” sering digunakan sampai pada tahun 1991. Berikut ini adalah taksonomi bakteri *E. coli*.

Klasifikasi : Superdomain *Phylogenetica*

Filum : *Proterobacteria*

Kelas : *Gamma Proteobacteria*

Ordo : *Enterobacteriales*

Family : *Enterobacteriaceae*

Genus : *Escherichia*

Species : *Escherichia Coli*

Morfologi *E. coli* adalah tergolong anggota *family enterobacteriaceae* dengan ukuran sel dengan panjang 2,0–6,0  $\mu\text{m}$  dan

1–1,5  $\mu\text{m}$ . Bakteri ini mempunyai sel yang berbentuk coccal dan panjang. Bentuk dan ukuran ini tidak ditemukan pada spora yang lain.



Bakteri *E. coli* adalah bakteri gram negatif yang selnya dapat berbentuk tunggal, berpasangan, berantai pendek dan tidak berkapsul. Bakteri *E.coli* dapat juga disebut aerobik fakultatif karena merupakan penghuni normal pada usus manusia yang seringkali menyebabkan infeksi (Jawets *et al.*, 2008).

Morfologi kapsula atau mikrokapsula terbuat dari asam–asam polisakarida. Mukoid kadang–kadang memproduksi pembuangan ekstraselular yang tidak lain adalah polisakarida. Spesifitas antigen K tertentu atau yang terdapat pada asam polisakarida dibentuk oleh banyak *coli* misalnya *enterobacteriaceae*. *Enterobacteriaceae* digambarkan sebagai antigen M yang komposisinya terdiri atas asam kolanik. Bakteri *E.coli* memproduksi macam–macam fimbria atau pili yang mempunyai struktur dan antigen yang berbeda. Struktur dan spesifitas antigen ini bermacam-macam bentuknya antara lain adalah *filamentus*, *proteinaceus*, *appendages* (seperti rambut). Letak dari struktur antigen tersebut berada disekeliling sel yang jumlahnya banyak dan bervariasi (Jawets *et al.*, 2008).

Fimbria merupakan rangkaian hidrofobik yang mempunyai pengaruh panas atau organ spesifik yang bersifat adhesi dan merupakan faktor virulensi yang penting. Bakteri *E. coli* merupakan bakteri fakultatif anaerob dengan kemoorganotropik yang mempunyai tipe metabolisme

asi dan respirasi. Pertumbuhan bakteri ini adalah yang paling dan berlangsung di bawah kondisi anaerob. Pertumbuhan yang



baik terjadi pada suhu 37°C dan media yang mengandung 1% peptone sebagai sumber karbon dan nitrogen. *E. coli* memfermentasikan laktosa dan memproduksi indol yang digunakan untuk mengidentifikasi bakteri pada makanan dan air. Bakteri *E.coli* berbentuk besar (0,2-0,3 mm), circular, konveks dan koloni tidak berpigmen pada nutrient dan media darah, *E. coli* dapat bertahan hingga suhu 60°C selama 15 menit atau pada 55°C selama 60 menit (Jawets *et al.*, 2008).

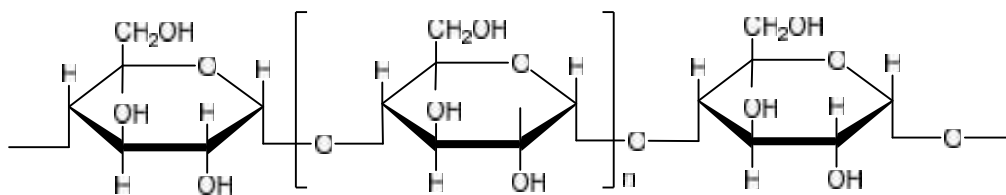
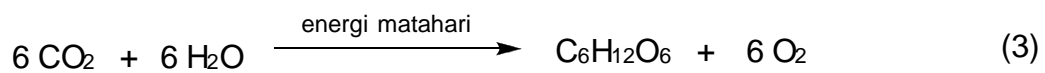
### C. Pati Sebagai aditif polimer *degradable*.

Pati merupakan simpanan energi di dalam sel-sel tumbuhan yang berbentuk butiran-butiran kecil mikroskopik dengan diameter berkisar antara 5-50 nm. Pati dibentuk dari 500 molekul monosakarida yang merupakan polimer dari glukosa. Pati dalam umbi-umbian merupakan cadangan makanan pada tumbuhan. Pati terdiri atas amilosa dan amilopektin yang merupakan polimer *D*-glukosa (Zhao, 2003). Jika dilarutkan dalam air panas, pati terpisah menjadi dua fraksi utama, yaitu amilosa dan amilopektin. Perbedaan antara amilosa dan amilopektin terletak pada bentuk rantai dan jumlah monomernya. Komposisi kandungan amilosa dan amilopektin dalam produk pangan jumlahnya bervariasi, ada produk pangan yang mempunyai kandungan amilopektin

Jika kandungan amilopektin relatif tinggi, maka semakin mudah dicerna karena banyak mengandung serat (Kirk dan Othmer, 1969; Zhao, 2003).



Proses sintesis dan struktur pati dapat dituliskan seperti pada persamaan 3 dan Gambar 6 (Brimacombe, 1972; Voet, 1995; Devlin, 2002). Amilosa tersusun atas satuan glukosa yang saling berkaitan melalui ikatan 1,4- glikosida, sedang amilopektin merupakan polisakarida yang tersusun atas 1,4- glikosida dan mempunyai rantai cabang 1,6'- glikosida (Gambar 3).



Gambar 3. Struktur linier rantai pati (Zhao, 2003)

Amilosa merupakan polimer dari  $\alpha$ -D-glukosa yang dihubungkan dengan ikatan 1,4- glikosida. Dalam satu molekul amilosa terdapat 250 satuan glukosa atau lebih. Amilosa dapat membentuk senyawa kompleks berwarna biru jika direaksikan dengan iodium, warna biru ini memberikan indikasi bahwa di dalam pati terdapat glukosa. Molekul amilopektin lebih besar dari amilosa dengan struktur yang bercabang. Tiap molekul glukosa pada titik percabangan dihubungkan oleh ikatan 1,6'- glikosida. Pati yang telah terhidrolisis akan menghasilkan D-glukosa. Hidrolisis pati dengan tertentu akan menghasilkan dekstrin dan maltosa (Saragih, 2013).



## D. Aspek pengujian PU produk sintesis

Polimer PU yang bersifat *biodegradable* dan dekontaminan bakteri diperoleh dengan mereaksikan PEG 400, pati BPK, TiO<sub>2</sub> dan MDI. Untuk menguji keberhasilan polimer ini diperlukan beberapa tahapan pengujian. Tahapan tersebut meliputi uji struktur (FTIR, SEM, dan XRD), uji antimikroba, uji sifat mekanik, dan sifat termal (DSC, DTA, dan TGA). Tahap uji PU dilakukan sebelum degradasi dan setelah degradasi (Shen *et al.*, 2019).

### 1. Uji Antibakteri pada Poliuretan

Pengujian antibakteri serta tahapan-tahapan yang dapat digunakan antara lain: Metode Bauer, Kirby, Sherris, dan Turck. Ada beberapa prosedur yang harus diperhatikan dalam uji bakteri antara lain: media, suhu, dan ketebalan agar. Pada tahun 1966 telah dipublikasikan suatu hasil dari suatu penelitian yang dijadikan sebagai panduan uji antibakteri yang digunakan hingga saat ini. Tahap-tahap pengujian meliputi pemilihan koloni, persiapan suspensi bakteri, persiapan wadah inokulum, dan penempatan membran/filter steril dan tempat penotolan sampel uji (Coyle *et al.*, 2005).

#### a. Pemilihan Koloni

Salah satu langkah yang paling penting dalam proses pengujian antibakteri bahan adalah mempersiapkan inokulum. Hal ini an pemilihan koloni yang tepat untuk pengujian, menanggukhan



koloni dalam *broth*, dan standarisasi suspensi (Utami, 2016). Standarisasi suspensi sangat penting diperhatikan terutama pengenceran suspensi. Pengenceran bertujuan untuk mengurangi jumlah populasi mikroorganisme serta mengurangi penumpukan koloni. Jika terjadi penumpukan koloni maka sulit untuk menghitung jumlah koloni, dan oleh karenanya hal ini harus dihindari (Mursalim, 2018).

### **b. Persiapan Suspensi Bakteri**

Ada dua metode untuk persiapan inokulum yaitu suspensi koloni langsung dan pertumbuhan fase logaritme. Hanya metode suspensi koloni langsung yang akan memberikan hasil akurat untuk beberapa organisme. Untuk kedua metode, kekeruhan suspensi uji harus distandarisasi dengan standar 0,5 *McFarland* (sekitar  $1,5 \times 10^8$  CFU/mL). Suspensi yang digunakan sebagai inokulum memerlukan waktu 15 menit penyesuaian suspensi (Utami, 2016). Untuk metode suspensi koloni langsung, koloni tidak boleh lebih tua dari 18-24 jam. Standarisasi inokulum pada saat yang sama dilakukan dengan mempersiapkan suspensi pertumbuhan koloni bakteri dalam media atau kaldu (misalnya *Mueller-Hinton* atau *tryptic kedelai*) hingga terjadi kekeruhan pada inokulum. Kemudian kekeruhan inokulum di kontrol, setara dengan standar 0,5 *McFarland*. Kekeruhan suspensi dapat dibandingkan dengan menempatkan tabung di depan kertas putih atau kartu berkas dengan garis-garis hitam. Suspensi koloni yang digunakan untuk semua organisme seperti *Staphylococci* dan *Coccus* (Utami, 2016).





### c. Persiapan Wadah Inokulum

Prosedur yang dilakukan dalam persiapan wadah inokulum yaitu: Wadah *disc* dikeluarkan dari *freezer* atau kulkas. Sebelum membuka wadah, *disc* dibiarkan terpapar suhu ruangan selama satu sampai dua jam untuk meminimalkan kondensasi dan mengurangi kemungkinan kelembaban yang mempengaruhi konsentrasi agen antibakteri. Wadah *Mueller-Hinton Agar* (MHA) dibiarkan sampai mencapai suhu kamar sehingga kelembaban berlebih akan diserap ke dalam media. Langkah ini dapat dipercepat dengan menempatkan wadah di inkubator dengan tutup terbuka selama 10-15 menit. Wadah MHA harus memiliki kedalaman yang tepat, yaitu kurang lebih dari 4 mm. Suspensi organisme di-*vortex* untuk memastikan tercampurnya suspensi. Langkah selanjutnya, kapas steril dicelupkan ke dalam suspensi. Kelebihan cairan dari *swab* dibuang dengan menekan melawan sisi tabung (Prihandani *et al.*, 2015; Utami, 2016).

### d. Inokulasi Wadah

Prosedur kerja inokulasi wadah yaitu: Inokulasi dimulai pada bagian atas permukaan wadah Muller hilton agar (MHA) dengan *swab*. Wadah diusahakan tertutup rata dengan mengusap bolak-balik dari ujung ke ujung. Wadah diputar sekitar 60° dan diulangi mengikuti prosedur yang sama. Wadah diputar 60° lagi dan usap seluruh piring ketiga kalinya. Pastikan bahwa inokulum telah merata distribusinya (Prihandani *et al.*, 2015; Utami, 2016).



### e. Penempatan *antimicrobial Disc*

*Antimicrobial disc* ditempatkan di setiap bagian MHA, setelah 15 menit inokulasi MHA dilakukan pada *plate*. *Disc* dapat ditaruh satu persatu atau secara bersama-sama dengan alat *multichannel disc dispenser*. Inkubasi dilakukan pada suhu 37°C selama 24 jam (Utami, 2016).

### 2. Uji antibakteri dengan menggunakan metode difusi agar

Sifat antibakteri polimer PU dapat diuji dengan metode difusi agar. Ada dua strain bakteri yang digunakan dalam hal ini yaitu *E. coli* dan *S. aureus*. Bakteri *E. coli* mewakili bakteri gram negatif, sedangkan bakteri *S. aureus* mewakili bakteri gram positif. Dalam pengujian ini kontrol positif dan negatif digunakan. Amoksisillin digunakan sebagai kontrol positif sedangkan kloroform digunakan sebagai kontrol negatif. Dipilihnya amoksisillin sebagai kontrol positif karena termasuk dalam golongan antibiotik berspektrum luas yang mampu menghambat pertumbuhan bakteri gram positif dan gram negatif (Octaviani *et al.*,2019).

Dalam uji antibakteri ini dilakukan pengukuran daya hambat pertumbuhan bakteri *E.coli* dan *S.aureus* pada PU. Nilai diameter hambatan diukur didasarkan pada diameter zona bening yang terbentuk. Pengukuran zona hambat dilakukan dengan cara memeriksa keberadaan koloni yang tumbuh pada dipiring agar. Piring yang dipilih adalah yang tidak ditumbuhi koloni dan kondisinya bening. Selanjutnya zona bening

diukur diameternya dengan penggaris atau kaliper (Prihandani *et* Utami, 2016).



Di samping pengukuran zona hambat, kekuatan antibakteri suatu polimer dapat pula dilakukan dengan metode penghitungan koloni. Metode yang paling cepat untuk menghitung jumlah bakteri dalam satu larutan adalah turbidimetri menggunakan spektrofotometer. Cara kerja alat ini melalui pengukuran panjang gelombang yaitu 520 nm-700 nm. Dalam hal ini bakteri menyerap cahaya melalui pajang gelombang yang sebanding dengan volume total sel. Selanjutnya alat ini memberikan data, jika mikroba bertambah jumlahnya atau semakin besar ukurannya dalam biakan cair maka terjadi peningkatan kekeruhan dalam biakan, kekeruhan ini disebut *optical density*. Dari hasil pengujian ini diperoleh kurva standar yang memperlihatkan jumlah organisme/ml. Jumlah mikroorganisme dapat pula ditentukan dengan metode hitungan cawan yang hasilnya dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran *optical density* (Mikapin, 2012).

### 3. Uji Sifat Mekanik Poliuretan

Penggolongan kualitas sifat mekanik PU dapat dilakukan dengan menggunakan metode kuat putus, kuat tekan, dan *modulus young*. Pada umumnya sifat mekanik yang penting untuk PU adalah kuat putus (*strenght at break*). Pemanjangan saat putus (*elongation at break*), dan *modulus young*. Poliuretan yang dibuat dari etilen glikol menunjukkan sifat mekanik yang baik, namun memiliki titik *brittle* terlalu tinggi; sedangkan poliuretan yang berasal dari 1,2-propilen glikol dan 2,3-butilen memiliki titik *brittle* lebih rendah, namun sifat mekaniknya lebih baik. Untuk memperoleh PU dengan sifat antara, maka biasanya

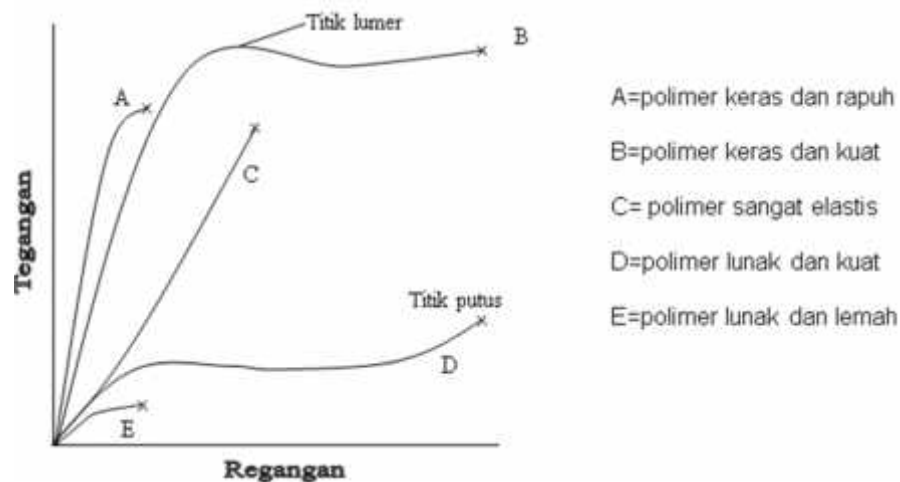


dilakukan pencampuran polietilen adipat dengan polipropilen adipat yang selanjutnya direaksikan dengan isosianat, hal ini dilakukan untuk menghindari terbentuknya PU yang keras dan sulit diproses (Dombrow, 1963; Rohaeti, 2003).

Polimer PU lunak dan memiliki kuat putus 12 Mpa, perpanjangan saat putus 150-300% atau 55%-65%, serta rapat massa 1,04 g/ml, dapat digunakan sebagai bahan pengisi ban (Woods, 1987; Rohaeti, 2003). Bahan tersebut dibuat dengan cara menginjeksikan dua komponen reaktif (monomer dasar penyusun poliuretan) ke dalam ban luar. Pada saat cairan reaktif tersebut mengisi ban, udara dialirkan ke dalam ban tersebut. Selanjutnya dibiarkan selama semalam untuk terjadi proses pemadatan.

Sifat polimer berhubungan dengan struktur polimer. Poliuretan yang mengandung ikatan silang dalam jumlah yang banyak menunjukkan sifat sangat kuat dan keras namun rapuh. Kuat putus PU tersebut sangat tinggi tetapi dapat putus sebelum lumer. Poliuretan yang *fleksible*, elastomer, busa dan termoplastik memiliki perpanjangan saat putus lebih besar (Woods, 1987; Rohaeti, 2003). Sifat mekanik PU hasil reaksi prepoliester dengan naftilen-1,5- diisosianat (NDI) dapat dilihat pada Tabel 5 dan kurva regangan dan tegangan polimer dapat dilihat pada Gambar 4 .





Gambar 4. Kurva tegangan-regangan beberapa jenis polimer (Woods, 1987; Rohaeti dan Surdia, 2003)

Tabel 5. Sifat Mekanik poliuretan hasil reaksi prepoliester dengan NDI

Prepoliester		Poliuretan		
Hasil reaksi antara	Wujud	Kuat putus (psi)	Perpanjangan saat putus (%)	Wujud
etilen glikol – asam suksinat	Padat	3900	625	padat (mengeras dan berubah menjadi kulit)
etilen glikol – asam sebakat	Padat	-	-	padat (mengeras dengan segera pada pendinginan)
1,2 – propilen glikol – asam suksinat	Cair	2500	670	padat (berubah menjadi kulit, sangat elastis pada 70°C)
Etilen glikol – asam ftalat	resin rapuh	1500	260	padatan keras (hanya dapat diproses dengan penambahan 25% dibutil ftalat)

Sumber : Woods, 1987; Rohaeti dan Surdia, 2003

Poliuretan yang berasal dari reaksi antara molasa PEG-MDI

menunjukkan data kuat putus maksimum pada konsentrasi 20% molasa.

Perpanjangan PU saat putus mengalami penurunan dengan



meningkatnya molasa yang digunakan di dalam sintesis PU tersebut, sedangkan *modulus young* PU meningkat. Hal ini disebabkan oleh cincin piranosa dan furanosa dari sakarida dalam molasa yang bertindak sebagai segmen keras dalam jaringan molekul PU (Hetakeyana, 1995; Rohaeti, 2003). Dengan demikian dapat dinyatakan pula bahwa *modulus young* PU meningkat dengan semakin meningkatnya segmen keras (Chen,1996; Rohaeti, 2003). Bila polimer PU memiliki tegangan besar dan regangan yang kecil serta modulus elastisitas yang rendah maka polimer tersebut kategori lunak dan kuat. Namun bila polimer PU mempunyai tegangan yang kecil dan regangan yang besar serta modulus elastisitas yang besar maka polimer tersebut dikategorikan keras dan kuat (Rohaeti dan Surdia, 2003).

#### 4. Uji Biodegradasi Poliuretan

Biodegradasi (degradasi biotik) adalah degradasi yang melibatkan aktivitas biologis suatu mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga. Diharapkan dengan terjadinya biodegradasi dapat menyebabkan hilangnya sebagian besar bahan kimia melalui pelepasan ke lingkungan. Degradasi dapat bervariasi hal ini disebabkan karena adanya mikroorganisme yang memiliki karakteristik yang berbeda dari satu mikroorganisme ke mikroorganisme yang lain. Mikroorganisme dapat mendegradasi polimer menjadi molekul yang lebih sederhana. Metode

si yang digunakan dalam penelitian adalah metode pememdam



dengan menggunakan *pro compost* yang diperoleh dari Lab Bioteknologi Unhas (Sponton *et al.*, 2013).

## 5. Uji Struktur Pada Poliuretan

Keberhasilan sintesis PU dapat diketahui melalui beberapa hasil pengujian struktur polimer antara lain adalah viskositas, morfologi, termasuk keadaan amorf dan kristalin polimer PU. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan alat FTIR, SEM, XRD dan Viskometri.

### a. Spektroskopi inframerah

Spektroskopi IR adalah suatu metode analisis instrumentasi pada senyawa kimia yang menggunakan radiasi sinar IR. Spektroskopi inframerah berguna untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada senyawa organik. Bila suatu senyawa diradiasi menggunakan IR, maka sebagian diserap oleh senyawa sedangkan yang lainnya akan diteruskan. Serapan ini terjadi karena molekul senyawa organik mempunyai ikatan yang dapat bervibrasi (Rohaeti dan Surdia 2003; Mas *et al.*, 2020).

Vibrasi molekul dapat dialami oleh semua senyawa organik, namun ada beberapa yang tidak terdeteksi oleh spektrometer IR. Masing-masing ikatan akan mempunyai sifat yang khas. Cara kerja spektrometer inframerah yaitu cahaya yang terdiri atas berbagai frekuensi gelombang elektromagnetik. Radiasi IR adalah salah satu dari bagian spektrum elektromagnetik yang terletak antara cahaya tampak dan gelombang



Rentang panjang gelombang inframerah yang digunakan untuk tujuan analisis adalah  $2,5 \times 10^{-6} \text{m}$  sampai  $16 \times 10^{-6} \text{m}$ . Satuan yang digunakan dalam spektroskopi inframerah adalah mikrometer dan bilangan gelombang  $\text{cm}^{-1}$  (Mas *et al.*, 2020).

Analisis secara kuantitatif dilakukan berdasarkan hukum Lambert-Beer ditunjukkan dalam persamaan 4 menurut (Mas *et al.*, 2020).

$$A = \log_{10} \left( \frac{I_0}{I} \right) = \alpha c l \quad (4)$$

dengan

$A$  = absorbansi

$I_0$  = intensitas sinar masuk

$I$  = intensitas yang ditransmisikan

$\alpha$  = koefisien absorpsi

$c$  = konsentrasi zat

$l$  = panjang lintasan

Dalam hal ini dapat dijelaskan bahwa teknik karakterisasi secara spektroskopi inframerah merupakan teknik yang sesuai untuk mengidentifikasi secara kualitatif material polimer PU melalui analisa gugus fungsi dengan cara melihat puncak serapan yang muncul dalam spektrum FTIR. Melalui uji FTIR dapat diketahui gugus fungsi yang ada dalam PU misalnya gugus fungsi N-H atau O-H yang merupakan serapan

yang berada pada bilangan gelombang sekitar  $3200-3500 \text{ cm}^{-1}$  dan

fungsi C=O yang berada bilangan gelombang sekitar  $1500-1550$





$\text{cm}^{-1}$  dan pada bilangan gelombang  $725 \text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus  $\text{TiO}_2$  (Tolstov *et al.*, 2008).

### **b. Difraksi sinar X**

Difraksi sinar x dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat berada pada daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar x polimer kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan polimer cenderung menghasilkan puncak yang melebar. Pola hamburan sinar x dapat memberikan informasi tentang perbandingan daerah kristalin dengan daerah amorf (derajat kristalinitas) dalam sampel polimer (Rohaeti dan Surdia, 2003).

Poliuretan hasil reaksi antara senyawa diol dengan diisosiyanat menunjukkan adanya daerah kristalin dan daerah amorf. Jumlah daerah kristalin PU dengan struktur yang lebih teratur dapat diamati dengan membandingkan antara panjang daerah kopolimer segmen keras dengan daerah kopolimer segmen lunak (Chen, 1996; Rohaeti, 2003). Difraktogram XRD poliuretan dari PEG 400 MDI sebelum biodegradasi memiliki derajat kristalinitas sebesar 33,799 % dan sesudah biodegradasi menjadi 31,506 % (Rohaeti dan Senam, 2008).

### **c. SEM (Scanning Elektron Microscopy)**

*Scanning Elektron Microscopy* merupakan suatu metode yang

membentuk bayangan daerah mikroskopis pada permukaan sampel (Rohaeti dan Senam, 2003). Jika seberkas elektron ditembakkan pada permukaan



suatu spesimen, maka sebagian dari elektron itu akan dipantulkan kembali dan sebagian lagi akan diteruskan. Jika permukaan spesimen tidak rata, misalnya ada lekukan, lipatan, retakan, atau lubang-lubang maka tiap bagian dipermukaan itu, akan memantulkan elektron dengan jumlah dan arah yang berbeda. Jika elektron-elektron yang dipantulkan oleh masing-masing bagian permukaan itu ditangkap oleh detektor dan diteruskan ke sistim layar maka akan diperoleh gambar yang sesuai dengan keadaan permukaan spesimen. Jadi gambar yang yang diperoleh merupakan bayangan dari pantulan elektron. Bila digunakan potensial pemercepat yang relatif rendah akan diperoleh gambar yang jelas (Rohaeti dan Surdia 2003).

*Scanning Elektron Microscopy* telah digunakan untuk menentukan telah terjadinya degradasi pada PU. Hasil degradasi PU yang berasal dari amilosa 15%, PEG 400 dan MDI memperlihatkan morfologi permukaan lubang-lubang akibat proses biodegradasi, baik PU yang diinkubasi dengan lumpur aktif maupun PU yang diinkubasi dalam *P. aeruginosa*. Hasil SEM tersebut menjadi bukti pendukung bahwa mikroorganisme dalam lumpur aktif dan *P. aeruginosa* dapat membiodegradasi PU (Rohaeti dan Surdia, 2003; Nakkabi *et al.*, 2015).

#### **d. LCMS ( *Liquid Cromatography- Mass Spectroscopy* )**

Spektrometri massa kromatografi cair (LC-MS) adalah teknik

yang digunakan dalam identifikasi komponen dalam campuran.

bentuknya yang paling sederhana, campuran dimasukkan ke



dalam kromatografi cair di mana komponen-komponennya dipisahkan (sebagian atau seluruhnya) menjadi bagian-bagian komponennya. Berbagai komponen ini dielusi dari kromatografi cair secara berurutan berdasarkan waktu yang berbeda-beda. Komponen-komponen yang keluar dari kromatografi cair masuk secara berurutan ke dalam spektrometer massa di mana masing-masing komponen terfragmentasi dan memberikan spektrum massa. Spektrum massa yang diperoleh dengan cara ini dapat ditafsirkan untuk memberikan berat molekul dan struktur molekul untuk berbagai komponen.

Kromatografi cair-spektrometri massa (LC-MS) muncul sebagai alat yang lebih disukai untuk mengukur komponen molekul kecil dari metabolisme sel. Kromatografi cair-spektrometri massa memungkinkan menganalisis secara simultan puluhan hingga ratusan spesies kimia. Metode ini telah memfasilitasi penemuan signifikan komponen senyawa dalam ragi dan identifikasi metabolit suatu senyawa (Haneefa *et al.*,2013).

Spektrometri massa dapat pula digunakan untuk mengidentifikasi polimer, urutan kopolimer, dan menentukan berat molekul polimer seperti berat molekul PU yang berasal dari metilen difenil diisosianat (MDI), toluene diisosianat (TDI), dan metilen dianilin (MDA) serta toluena dianilin (TDA) sebagai prekursor. Data yang diperoleh dari hasil pengujian menggunakan mass spektroskopi MALDI-TOF memperlihatkan terjadinya

an berulang fragmen  $m/z$  148 ( $m/z = 758 - 609,8$ ) dan ( $m/z = 681,9$ ) yang merupakan gugus TDI dan pelepasan fragmen  $m/z$



224 ( $m/z = 830,1 - 609,8$ ) dan ( $m/z = 906,2 - 681,9$ ) yang merupakan gugus MDI. Pelepasan  $m/z$  148 dan 224 adalah ciri khas dari senyawa TDI dan MDI (Crescentini *et al.*, 2019).

Keberadaan glukosa dan selulosa di dalam polimer dapat pula diamati dari spektrum massanya. Data dari spektrometer massa menunjukkan bahwa struktur glukosa dan selulosa sangat mirip sehingga tidak dapat dibedakan dengan mudah antara satu sama lain. Hal ini disebabkan oleh adanya pirolisa yang membuat serangkaian isomer glukosa dan selulosa yang saling berikatan sehingga tampak mirip. Glukosa dan selulosa memiliki karakteristik pelepasan fragmen  $m/z$  162, 60 dan 42 (Peter *et al.*, 1990).

### 5. Uji sifat termal

Analisis termal dalam pengertian luas adalah pengukuran sifat kimia dan sifat fisika bahan sebagai fungsi suhu. Penetapan dengan metode ini dapat memberikan informasi pada kesempurnaan kristal, polimorfisma, titik lebur, sublimasi, transisi kaca, degradasi, penguapan, pirolisis, interaksi padat-padat, dan kemurnian. Data semacam ini berguna untuk karakterisasi senyawa yang berkenaan tentang kesesuaian, stabilitas, kemasan, dan pengawasan kualitas. Metode analisis termal meliputi teknik *Differential Thermal Analysis* (DTA), *Differential Scanning Calorimetry* (DSC), dan *Thermal Gravimetric Analysis* (TGA) telah

dan dalam pengujian kualitas dan stabilitas polimer PU (Rohaeti dan Rudiarta 2003; Ahn *et al.*, 2018).



### a. DTA (*Differential Thermal analysis*)

*Differential thermal analysis* merupakan teknik analisis termal dengan menganalisis perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) antara sampel dan bahan pembanding terhadap waktu atau temperatur sampel selama pemanasan. Teknik ini umumnya digunakan untuk mengetahui temperatur leleh,  $T_m$ , serta temperatur dekomposisi ( $T_d$ ) polimer (Rohaeti, 2005).

Salah satu hasil analisis DTA terhadap PU *degradable* memperlihatkan bahwa penambahan polioli amilosa dalam sintesis PU dari PEG 400 dan MDI ternyata terjadi pergeseran puncak endotermik ke arah nilai yang lebih kecil, yaitu dari  $444,87^\circ\text{C}$  menjadi  $373,92^\circ\text{C}$ . Berdasarkan data tersebut maka dapat dinyatakan bahwa penambahan amilosa dapat menurunkan temperatur degradasi PU (Rohaeti, 2001; Ahn *et al.*, 2018).

### b. DSC (*Differential Scanning Calorimetry*)

*Differential scanning calorimetry* digunakan untuk menentukan jumlah energi ( $dQ/dt$ ) yang dibutuhkan untuk menetralkan temperatur transisi gelas ( $T_g$ ) antara sampel dengan pembanding. Dengan teknik DSC dapat diketahui temperatur  $T_g$  suatu sampel polimer. Proses transisi merupakan reaksi orde dua. Temperatur  $T_g$  merupakan kisaran temperatur yang sempit, di bawah temperatur tersebut polimer bersifat *glassy* dan di

bersifat *rubbery*. Polimer dapat bersifat *glassy* atau *rubbery* tergantung pada keadaan di atas atau di bawah temperatur  $T_g$  (Rohaeti



dan Surdia, 2003). Namun jika polimer didinginkan di bawah  $T_g$ , polimer menjadi stabil dan tidak terjadi transisi lagi.

Poliuretan sintetik dari PEG 400, MDI, dan penambahan beberapa jenis poliol di antaranya adalah glukosa, maltosa, dan amilosa masing-masing memperlihatkan nilai  $T_g$  (2,35; 3,75; dan 10,97). Penambahan poliol dalam sintesis PU dapat meningkatkan  $T_g$  PU. Hal ini disebabkan karena glukosa, maltosa, dan amilosa masing-masing terdiri atas 1 unit, 2 unit, dan banyak unit ulang glukosa dalam molekulnya serta memiliki lebih dari dua gugus hidroksil dalam setiap unit ulangnya. Keberadaan gugus hidroksil di dalam PU dapat menurunkan mobilitas rantai utama dari molekul PU sehingga terjadi peningkatan  $T_g$  (Rohaeti dan Surdia, 2003).

### **c.TGA (*Thermogravimetric Analysis*)**

Teknik TGA merupakan suatu metode dinamik untuk merekam berat sampel dalam kondisi pemanasan atau pendinginan dengan laju yang terkontrol sebagai fungsi waktu atau temperatur. Dengan teknik ini dapat dilakukan analisis kuantitatif tentang perubahan berat yang terjadi pada molekul polimer selama proses transisi. Sebagai contoh, teknik ini dapat langsung merekam berkurangnya berat polimer terhadap perubahan waktu atau temperatur akibat proses dehidrasi atau dekomposisi.

Dalam bidang polimer, teknik TGA terutama dipakai untuk

evaluasi kestabilan termal suatu polimer, studi kinetika reaksi  
dekomposisi polimer serta identifikasi polimer. Jika polimer dipanaskan



dalam kondisi atmosfer (inert) disertai pula dengan kalor yang dilepaskan dan kalor yang diserap maka polimer tersebut mengalami dekomposisi. Dalam pemanasan, PU terdekomposisi dan menghasilkan senyawa isosianat serta alkohol atau membentuk senyawa olefin, amina, dan karbondioksida (Rohaeti dan Surdia, 2003).

Hasil analisis sifat termal PU menggunakan teknik TGA (*Thermal Gravimetric Analysis*) menunjukkan bahwa PU yang berasal dari PEG dan MDI mengalami dua tahap dekomposisi, sedangkan PU yang berasal dari poliol (glukosa, maltosa, dan amilosa), PEG, dan MDI mengalami tiga tahap dekomposisi. Data yang diperoleh menampakkan adanya perbedaan temperatur pada tahap akhir dekomposisi. Untuk PU dari PEG-MDI dekomposisi mulai terjadi pada temperatur 450°C, sedangkan untuk PU dari poliol (glukosa, maltosa, dan amilosa) PEG-MDI dekomposisi mulai pada 500°C. Dengan demikian, penambahan poliol ke dalam PEG-MDI menyebabkan terjadi pergeseran temperatur dekomposisi ke nilai yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan poliol (glukosa, maltosa, dan amilosa) dalam sintesis PU dapat meningkatkan kestabilan termal PU (Rohaeti dan Surdia, 2003; Ahn *et al.*, 2018).



### E. Hipotesis

1. Pati dari bonggol pisang kepok merupakan padatan yang dominan berbentuk amorf dan semi-kristalin dengan rantai utama amilosa.
2. Persentase pati BPK yang ditambahkan ke dalam sintesis PU *degradable* dari PEG 400 dan MDI berada pada kisaran 5% - 20%.
3. Persentase nanopartikel TiO<sub>2</sub> yang ditambahkan ke dalam sintesis PU *degradable* dan dekontaminan bakteri berada pada kisaran 1,0% - 4,0%.
4. Struktur PU *degradable* dan dekontaminan bakteri memiliki gugus fungsi uretan, di mana salah satu sisinya terikat kerangka amilosa dan amilopektin terikat, dan pada sisi lain terikat kerangka PEG.
5. PU *degradable* dan dekontaminan bakteri hasil sintesis lebih efektif menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli* daripada bakteri *S. aureus*.
6. Urutan penurunan massa PU hasil sintesis setelah degrasi adalah: PU-Pati BKP > PU-Pati BPK-TiO<sub>2</sub> > PU-Amilum.
7. Degradasi PU mengakibatkan turunnya intensitas pita serapan gugus fungsi dan menimbulkan lubang yang berupa pori pada permukaan PU.

### F. Kerangka Pikir

Poliuretan merupakan polimer sintesis yang serbaguna. Poliuretan

memiliki banyak kelebihan yaitu memiliki ikatan yang kuat serta unik sifat mekanik yang baik dan optik yang sangat baik, serta memiliki





ketahanan pelarut yang baik. Namun aplikasi PU sebagai basis material peralatan medis ternyata menimbulkan banyak masalah.

Penggunaan peralatan medis dari material PU dapat menimbulkan infeksi ketika alat medis tersebut ditanam dalam tubuh atau ketika alat tersebut dilekatkan dengan tubuh manusia, misalnya pada penggunaan kateter vena, selang infus, alat pacu jantung, alat kontrasepsi dan lain-lain. Adanya masalah infeksi yang disebabkan penggunaan alat kesehatan dari bahan dasar PU sehingga diperlukan polimer PU yang sifatnya *degradable* dan bersifat antibakteri. Sifat *biodegradable* dan antibakteri dari PU dapat diperoleh melalui penambahan pati bonggol pisang kepok (Pati BPK) dan  $\text{TiO}_2$  dalam proses sintesisnya. Sifat *biodegradable* PU sangat dipengaruhi oleh massa relatif molekul PEG dengan MDI serta variasi konsentrasi pati yang ditambahkan dalam proses sintesisnya. Sifat antimikroba dari nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dipengaruhi oleh variasi konsentrasi  $\text{TiO}_2$  pada saat disintesis dengan polietilenglikol, MDI serta pati.

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis PU dengan mereaksikan PEG 400 dan MDI serta penambahan Pati BPK dan  $\text{TiO}_2$ . Untuk menguji keberhasilan produk yang diperoleh dilakukan uji *biodegradable* melalui metode pemendaman di dalam medium pro kompos. Sifat antibakteri PU diuji dengan menggunakan metode difusi agar. Di samping itu kepatutan

gan sifat *biodegradable* dan sifat antibakteri yang digunakan



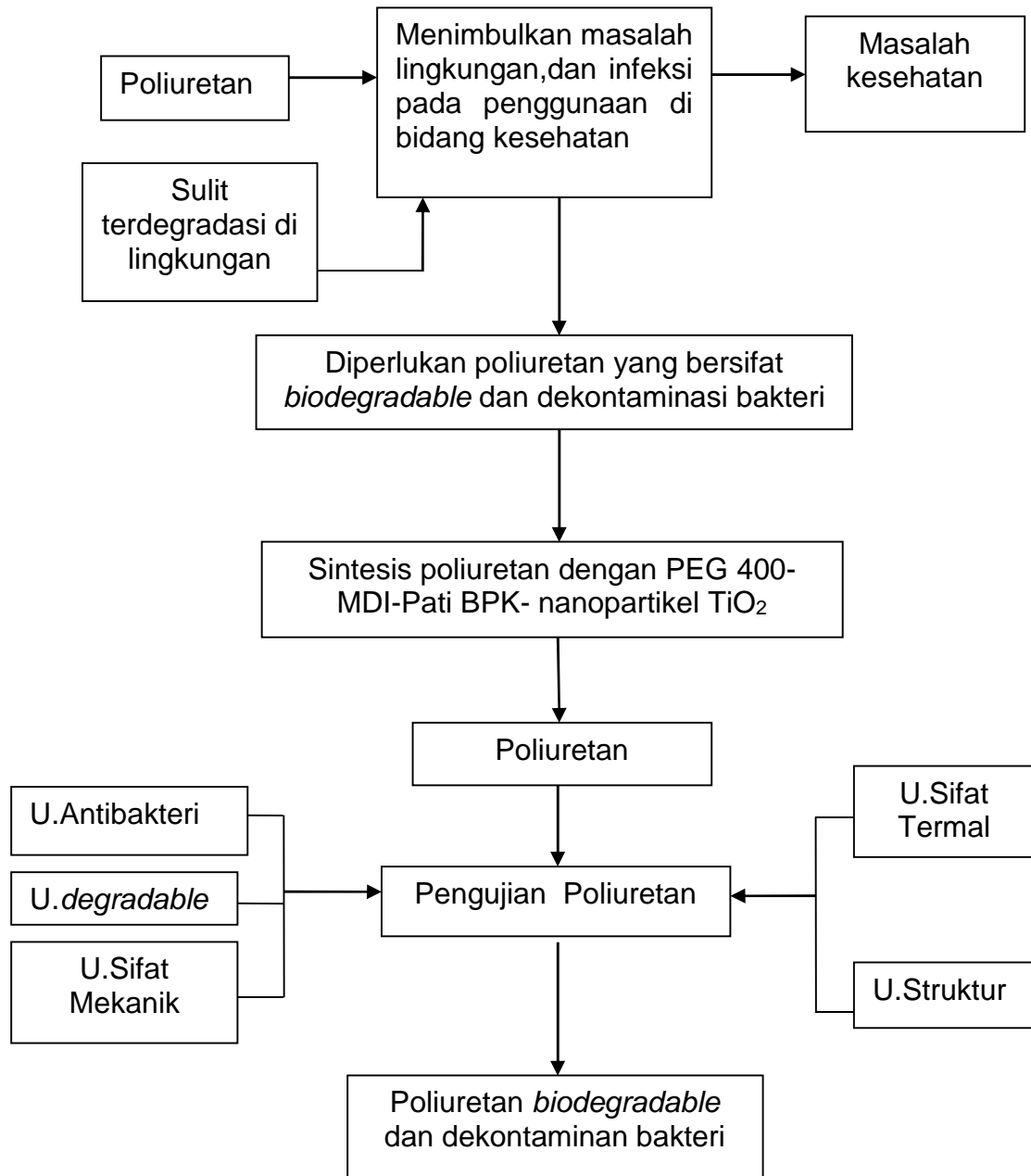
sebagai alat kesehatan, maka dilakukan uji sifat mekanik menggunakan metode kuat putus, perpanjangan saat putus, dan *modulus young*.

Kompatibilitas produk PU sebagai alat kesehatan, *biodegradable* yang memiliki sifat antibakteri dilakukan dengan uji sifat termal dengan menggunakan metode pengukuran sifat kimia dan sifat fisika bahan sebagai fungsi suhu. Metode ini dapat memberikan informasi pada kesempurnaan kristal, polimorfisma, titik lebur, sublimasi, transisi kaca, degradasi, penguapan, pirolisis, interaksi padat-padat dan kemurnian.

Uji sifat fisik dilakukan pada PU untuk mengetahui kelayakan PU digunakan sebagai basis peralatan medis dilakukan dengan metode pengukuran pada viskositas, morfologi, termasuk keadaan amorf dan kristalin polimer PU. Melalui penelitian ini maka diharapkan polimer PU *biodegradable* dan antibakteri yang dihasilkan dapat memenuhi standar alat kesehatan, seperti kateter, alat pacu jantung, selang infus, dan lain-lain.



Skema kerangka pikir PU *Biodegradable* dan  $\text{TiO}_2$  terhadap dekontaminasi bakteri dipaparkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema kerangka pikir penelitian.

