



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI BIODEGRADABILITAS PLASTIK BERBAHAN DASAR  
CAMPURAN PATI DAN POLIETILEN MENGGUNAKAN ASTM G21-  
09, UJI MIKROORGANISME DAN UJI LAPANGAN**

**SKRIPSI**

**VICA YUNAR**

**0706275795**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**EVALUASI BIODEGRADABILITAS PLASTIK BERBAHAN DASAR  
CAMPURAN PATI DAN POLIETILEN MENGGUNAKAN ASTM G21-  
09, UJI MIKROORGANISME DAN UJI LAPANGAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik**

**VICA YUNAR**

**0706275795**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Vica Yunar

NPM : 0706275795

Tanda Tangan :



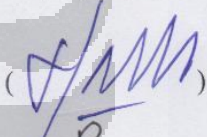
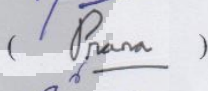
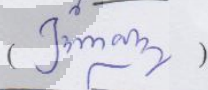
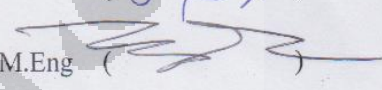
Tanggal : 16 JUNI 2011

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Vica Yunar  
NPM : 0706275795  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan Poliètilen Menggunakan ASTM G21-09, Uji Mikroorganisme dan Uji Lapangan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr.Ir. Djoko M. Hartono, SE, M.Eng (  )  
Pembimbing 2 : Dr. Hardaning Pranamuda (  )  
Penguji 1 : Ir. Irma Gusniani, M.Sc. (  )  
Penguji 2 : Ir. El Khobar Muhaemin Nazech M.Eng (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

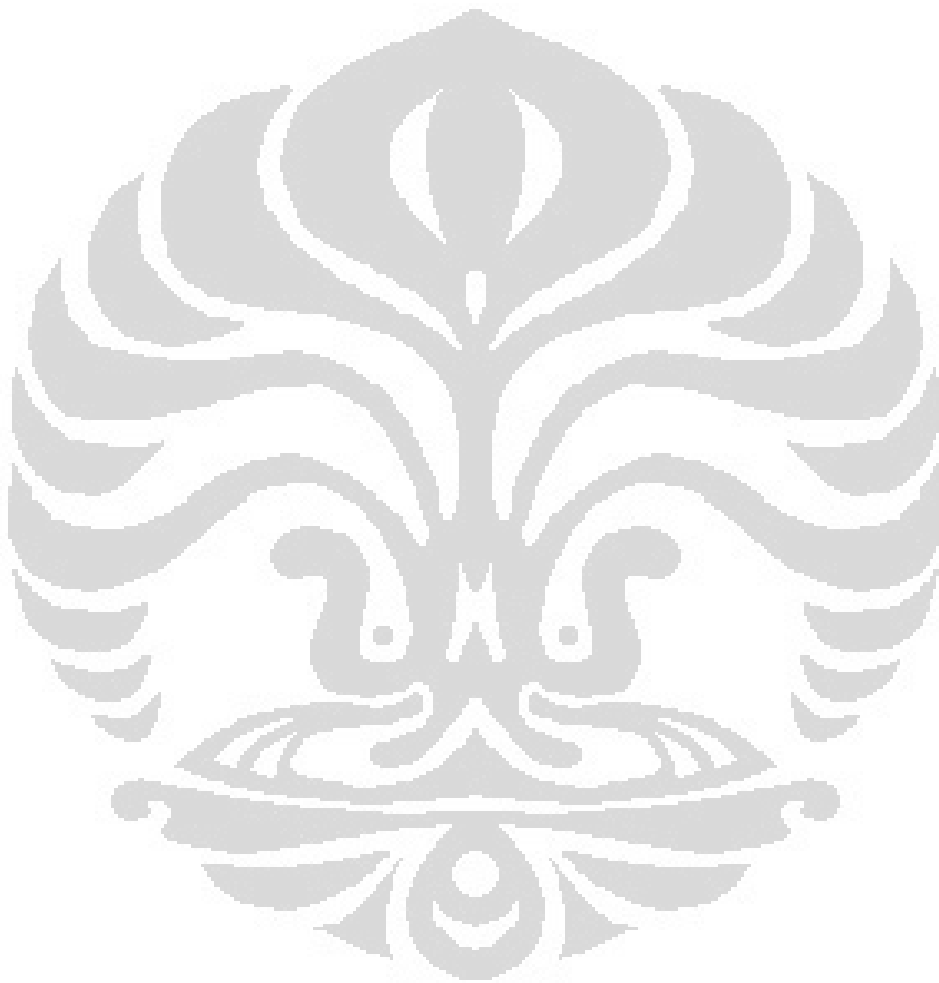
- (1) Dr. Ir. Djoko M. Hartono, S.E, M.Eng selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk memberi pengarahan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat selesai.
- (2) Dr. Hardaning Pranamuda selaku dosen pembimbing II yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberi pengarahan, bimbingan, diskusi, dukungan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.
- (3) Mba Nia, Ibu Uli, Mas Jay, Mas Ujang, Mas Rudi, Mas Yudi, Mas Oji serta segenap karyawan Laboratorium Balai Pengkajian Bioteknologi – BPPT Serpong, yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian baik di lapangan maupun di laboratorium.
- (4) Heri Yunara dan Estia Evilinda selaku orang tua yang tak henti-hentinya memberikan perhatian, dukungan dan doa kepada saya. Ika persembahkan skripsi ini untuk Mama dan Papa sebagai tanda bakti Ika untuk menyelesaikan kuliah ini.
- (5) Adikku, Vichi Yunar, yang selalu membantu, memberi semangat dan meminjamkan laptopnya selama penyusunan skripsi ini.
- (6) Seluruh Dosen Teknik Lingkungan dan Teknik Sipil Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingannya selama masa perkuliahan. Mba Fitri dan seluruh pegawai sekretariat Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- (7) Teman-teman EL, Patrick dan teman-teman semasa kuliah, Wiwid, Lintang, Hanip, Mandha, Prames, Gistrong, Vini, Laras, Melati dan Eva serta teman-teman Program Studi Teknik Lingkungan dan Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia angkatan 2007 yang tak dapat disebut satu per satu yang telah memberikan semangat dan dukungan yang tak terhingga.
- (8) Refki Ruseimy yang telah banyak membantu dan memberi dukungan kepada penulis selama penyusunan, sehingga skripsi ini dapat selesai tepat pada waktunya.

(9) Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Vica Yunar  
NPM : 0706275795  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan  
Polietilen Menggunakan ASTM G21-09, Uji Mikroorganisme dan Uji  
Lapangan**

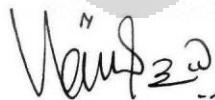
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juni 2011

Yang menyatakan



(Vica Yunar)

## ABSTRAK

Nama : Vica Yunar  
NPM : 0706275795  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Judul Skripsi : Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan Polietilen Menggunakan ASTM G21-09, Uji Mikroorganisme dan Uji Lapangan

Plastik konvensional yang saat ini beredar di Indonesia merupakan plastik yang sulit terurai di alam sehingga dapat menyebabkan permasalahan lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan solusi dengan mengganti plastik konvensional menjadi plastik biodegradable, yang salah satunya adalah plastik biodegradabel berbahan dasar campuran pati dengan polietilen. Pada skripsi ini membahas pendegradasian yang terjadi pada plastik biodegradabel berbahan dasar pati yang di uji dengan menggunakan tiga metode, yaitu metode ASTM G21-09, uji mikroorganisme dan uji lapangan.

Hasil pengujian menggunakan 5 jenis kapang uji berdasarkan metode ASTM G21-09 menunjukkan bahwa pertumbuhan kapang dapat melingkupi 85% permukaan benda uji setelah 2 minggu. Kemudian pengujian mikroorganisme alami menghasilkan berat akhir benda uji setelah 8 minggu pengujian sebesar 71% dengan mikroorganisme air danau, 68% dengan mikroorganisme air sungai dan 56% menggunakan mikroorganisme tanah. Pada pengujian ini tidak menghasilkan perubahan bentuk benda uji. Sedangkan pengujian lapangan menghasilkan berat akhir benda uji setelah 8 minggu pengujian sebesar 0% pada perendaman air sungai dan air danau dan 58% pada penguburan di dalam tanah. Pada pengujian ini terjadi perubahan bentuk benda uji.

Kata kunci:

Plastik biodegradabel, uji degradabilitas, ASTM G21-09, mikroorganisme, tanah, sungai, danau.



## ABSTRACT

Name : Vica Yunar  
Student Number : 0706275795  
Study Program : Environmental Engineering  
Thesis Title : Evaluation of the Biodegradability of Starch and Polyethylene Compound Based Plastics Utilizing ASTM G21-09, Microorganism and Field Tests

Conventional plastics, which are widely used in Indonesia, do not easily decompose in nature and as a result may cause environmental concerns. Therefore a solution is needed to change from conventional plastics to a more biodegradable form of the similar material, one of which is plastic made from a mixture of starch with polyethylene. This thesis discusses the degradation that occurs in starch-based biodegradable plastics as tested using three different methods: the ASTM G21-09 method, microorganism testing, and field testing.

Test results using five types of test mold that are based on the ASTM G21-09 and indicate that the mold growth may cover 85% of the surface of the specimen after two weeks. Afterwards, natural microorganism testing produced a final weight for the specimen after eight weeks of testing. The results were 71% with lake microorganisms, 68% with river microorganisms and 56% using microorganisms from soil. These tests did not produce a change in the shape or form of the specimen. While field testing produced the final weight of the specimen after 8 weeks at 0% after submersion in river and lake water, specimen buried in soil was at 58%. The specimen changed form during this experiment.

Key words:

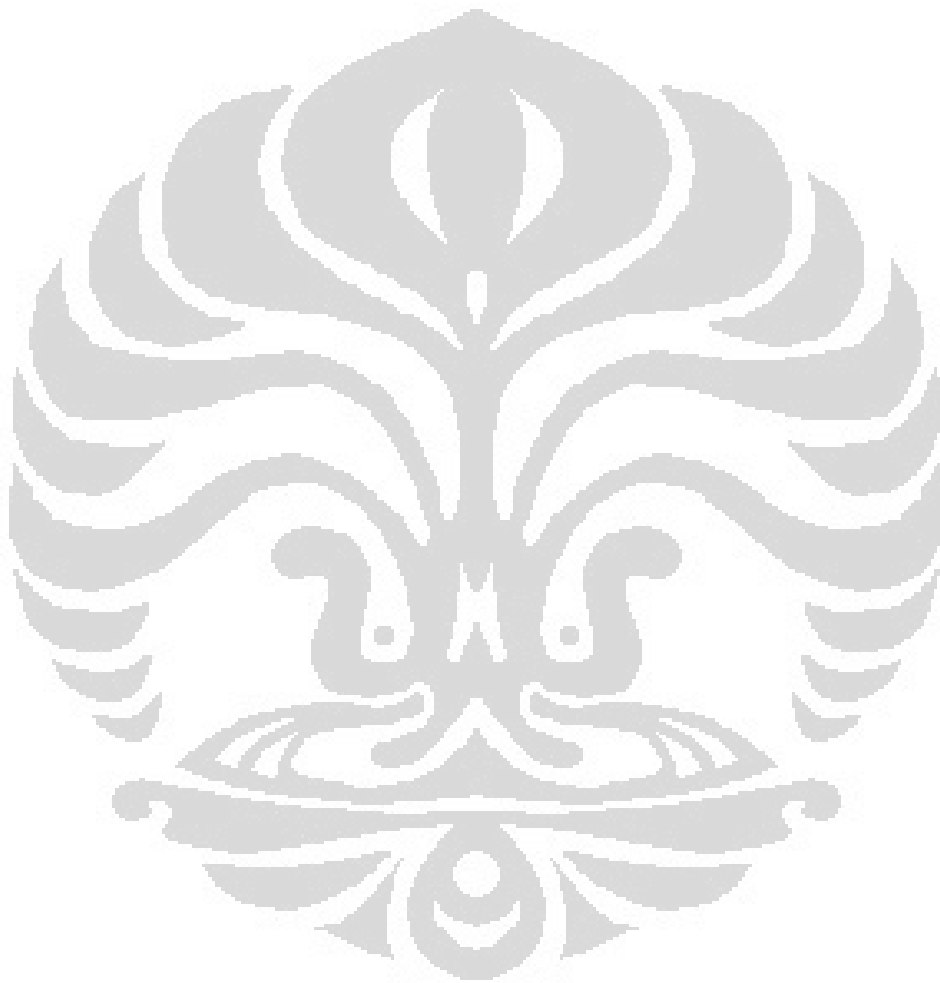
Biodegradable plastic, degradation test, ASTM G21-09, microorganism, soil, river, lake.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS</b>	
<b>AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Ruang Lingkup.....	4
1.6 Hipotesa .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Plastik.....	5
2.1.1 Plastik Konvensional (Non-Biodegradabel) .....	5
2.1.2 Plastik Biodegradabel .....	6
2.2 Pengujian Degradabilitas Plastik Biodegradabel .....	12
2.3 Pati .....	13
2.4 Mikroba.....	15
2.4.1 Jamur.....	15
2.4.1.1 <i>Aspergillus Niger</i> .....	16
2.4.1.2 <i>Penicillium Pinophilum</i> .....	18

2.4.1.3 <i>Chaetomium Globosum</i> .....	18
2.4.1.4 <i>Gliocladium Virens</i> .....	19
2.4.1.5 <i>Aureobasidium Pullulans</i> .....	19
2.4.2 Mikroba Dalam Tanah .....	20
2.4.3 Mikroba Hidrosfer .....	22
2.4.3.2 Mikroba Danau .....	25
2.4.3.3 Mikroba Sungai.....	27
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>28</b>
3.1 Metodologi.....	28
3.2 Benda Uji .....	29
3.3 Pengujian ASTM G21-09 .....	30
3.3.1 Pembuatan Media ( <i>Nutrient Salt Agar</i> ) .....	30
3.3.2 Pembuatan Larutan Spora .....	31
3.3.3 Pengujian Sampel.....	33
3.4 Pengujian Mikroorganisme (Tanah, Air Sungai dan Air Danau) .....	34
3.4.1 Pembuatan Media Cair.....	35
3.4.2 Pengujian Sampel.....	36
3.5 Pengujian Lapangan.....	37
3.5.1 Lokasi dan Waktu Penelitian .....	37
3.5.2 Metode Pengumpulan Data.....	38
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
4.1 Pendahuluan.....	41
4.2 Pengujian ASTM G21-09 .....	42
4.3 Pengujian Skala Mikroorganisme .....	49
4.4 Pengujian Lapangan.....	56
4.4.1 Perendaman di Air Danau .....	57
4.4.2 Perendaman di Air Sungai .....	61
4.4.3 Penguburan Dalam Tanah.....	66
4.4.4 Analisa Gabungan Pengujian Lapangan .....	71
4.5 Korelasi Ketiga Metode .....	76

<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>78</b>
4.1 Kesimpulan .....	78
4.2 Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>84</b>



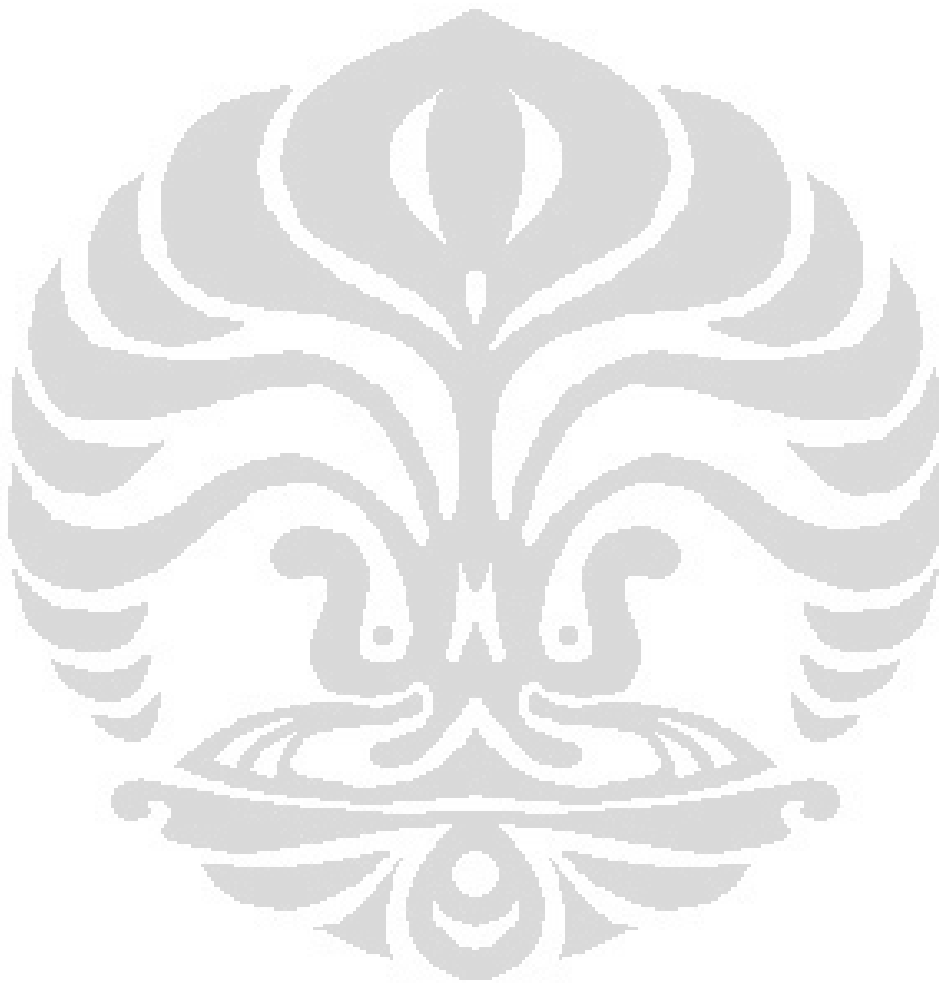
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mekanisme degradabilitas plastik biodegradabel .....	7
Gambar 2.2. Skema penentuan cara degradasi yang ramah lingkungan.....	8
Gambar 2.3. Hubungan <i>bio-plastics</i> dengan <i>biodegradable plastics</i> dan <i>bio-based plastics</i> .....	10
Gambar 2.4. Plastik biodegradabel dari golongan poliester alifatik .....	11
Gambar 2.5. Lapisan danau berdasarkan intensitas cahaya yang masuk.....	25
Gambar 2.6. Distribusi vertikal bakteri air danau .....	26
Gambar 3.1. Bagan alir kegiatan penelitian .....	28
Gambar 3.2. Isolat kapang uji yang digunakan pada ASTM G21-09.....	32
Gambar 3.3. Pengujian di dalam tanah .....	39
Gambar 3.4. Pengujian di dalam air sungai .....	39
Gambar 3.5. Pengujian di dalam air danau .....	40
Gambar 4.1. Benda uji 1 pada pengujian ASTM G21-09.....	43
Gambar 4.2. Media tanpa benda uji yang diberikan larutan spora .....	45
Gambar 4.3. Tampak atas benda uji 2 pengujian ASTM G21-09 .....	46
Gambar 4.4. Tampak belakang benda uji 2 pengujian ASTM G21-09 .....	47
Gambar 4.5. Kontrol negatif dan kontrol positif pada pengujian ASTM G21-09..	47
Gambar 4.6. Perbandingan ke empat benda uji pada pengujian ASTM G21-09....	48
Gambar 4.7. Tabung erlenmeyer dalam <i>shaker</i> .....	50
Gambar 4.8. Tabung erlenmeyer setelah dilakukan pengujian.....	50
Gambar 4.9. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme air danau .....	51
Gambar 4.10. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme air sungai.....	52
Gambar 4.11. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme tanah .....	52
Gambar 4.12. Perubahan bentuk benda uji 1 pada pengujian mikroorganisme.....	54
Gambar 4.13. Perubahan bentuk benda uji 2 pada pengujian mikroorganisme.....	55
Gambar 4.14. Perubahan bentuk kontrol negatif pada pengujian mikroorganisme.....	55
Gambar 4.15. Kontrol positif pada pengujian laboratorium air danau, sungai dan tanah pada 2 minggu pengujian .....	56
Gambar 4.16. Lokasi pengujian lapangan pada danau cibubur .....	57

Gambar 4.17. Perubahan bentuk benda uji 1 pada perendaman air danau .....	58
Gambar 4.18. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada perendaman air danau .....	59
Gambar 4.19. Perubahan berat ketiga benda uji pada perendaman air danau .....	60
Gambar 4.20. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada perendaman air danau .....	61
Gambar 4.21. Lokasi pengujian lapangan pada sungai.....	61
Gambar 4.22. Perubahan bentuk benda uji 1 pada perendaman air sungai .....	62
Gambar 4.23. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada perendaman air sungai .....	63
Gambar 4.24. Perubahan berat ketiga benda uji pada perendaman air sungai .....	64
Gambar 4.25. Lumut yang menyelimuti benda uji 1 pada perendaman air sungai	65
Gambar 4.26. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada perendaman air sungai.....	66
Gambar 4.27. Persiapan pengujian lapangan pada tanah Serpong .....	67
Gambar 4.28. Perubahan bentuk benda uji 1 pada penguburan di dalam tanah .....	67
Gambar 4.28. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada penguburan di dalam tanah .....	68
Gambar 4.30. Perubahan berat ketiga benda uji pada penguburan di dalam tanah	70
Gambar 4.31. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada penguburan dalam tanah .	71
Gambar 4.32. Diagram gabungan penurunan berat benda uji 1 di ketiga lokasi ....	71
Gambar 4.33. Keberadaan keong di benda uji 1 pada perendaman di air danau ....	72
Gambar 4.34. Ikan pada akuarium yang mencoba mengkonsumsi benda uji 1.....	73
Gambar 4.35. Cacing yang ditemukan pada saat pembersihan benda uji setelah perendaman air sungai .....	74
Gambar 4.36. Jenis tanah yang digunakan untuk penguburan benda uji.....	75
Gambar 4.37. Kontrol positif setelah dikubur di dalam tanah selama 6 hari.....	76

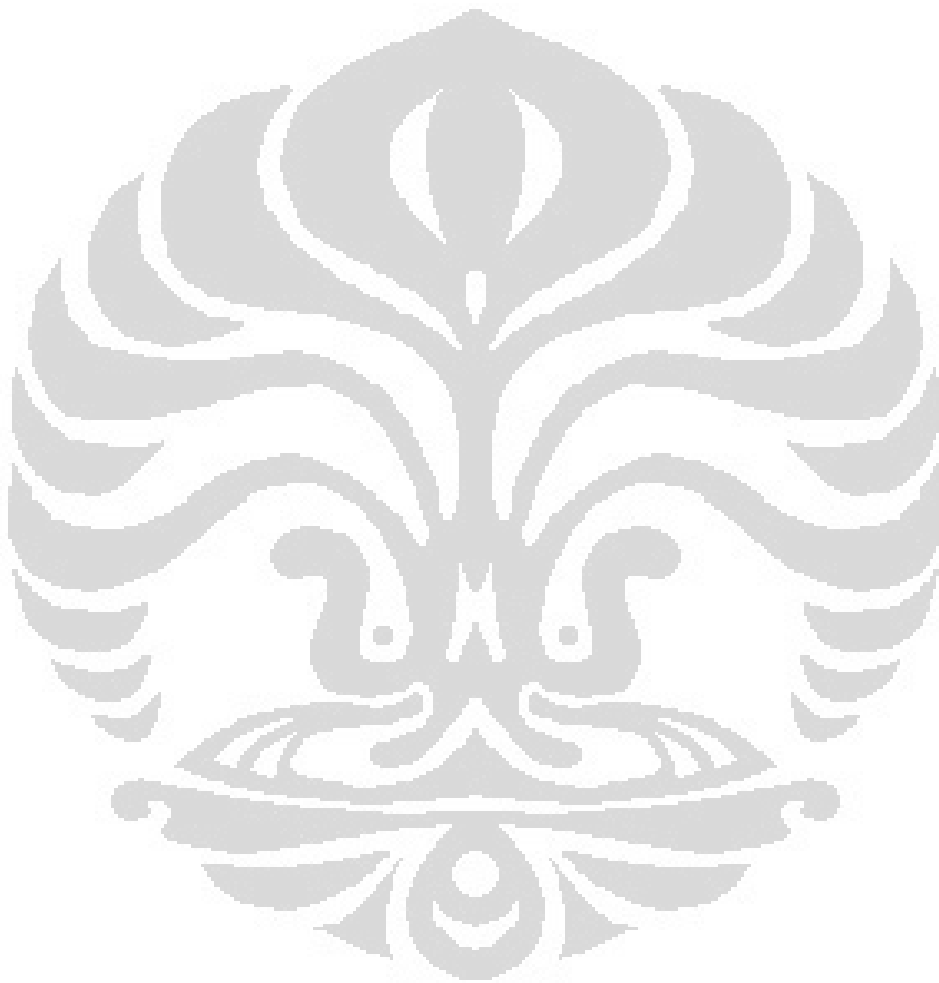
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Faktor yang berpotensi berdampak pada degradasi polimer .....	9
Tabel 3.1. Perbedaan benda uji 1 dan benda uji 2 .....	30
Tabel 3.2. Waktu pengambilan sampel pengujian Mikroorganisme .....	35
Tabel 3.3. Waktu pengambilan sampel pengujian lapangan.....	38
Tabel 4.1. Tabel penjelasan <i>rating</i> pertumbuhan kapang pada benda uji.....	42
Tabel 4.2. Tabel berat akhir rata-rata benda uji 1 .....	53



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data penurunan berat benda uji pada pengujian mikroorganisme .....	84
Lampiran 2 Data penurunan berat benda uji pada pengujian lapangan .....	86
Lampiran 3 ASTM G21-09.....	88
Lampiran 4 Foto-foto penelitian .....	93





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sejak tahun 1950-an plastik menjadi bagian penting dalam hidup manusia (Hadi, 2009). Hampir setiap harinya manusia membutuhkan plastik dalam berbagai hal, seperti untuk pembungkus makanan, keperluan sekolah, kantor, bahan baku kemasan, alat elektronik, dan lain sebagainya. Hal ini disebabkan sifat plastik yang mempunyai keunggulan seperti ringan tetapi kuat, transparan, tahan air serta harganya relatif murah dan terjangkau oleh semua kalangan masyarakat.

Tetapi di samping keunggulan plastik yang telah dibahas diatas, plastik merupakan hidrokarbon yang hampir keseluruhan rantainya tersusun atas atom hidrogen dan karbon. Polimer ini didisain untuk menghambat keluar masuknya oksigen, sehingga produk ataupun makanan yang tersimpan di dalamnya terawetkan dari proses biodegradasi alami atau pembusukkan. Untuk itulah plastik dibuat sedemikian agar tidak mampu ditembus sehingga dibutuhkan ratusan tahun untuk mikroba mampu menguraikannya menjadi biogas dan biomassa (Adam dan Clark, 2009).

Plastik yang beredar di pasaran saat ini adalah plastik konvensional yang merupakan polimer sintetis yang terbuat dari minyak bumi yang sulit untuk terurai di alam. Akibatnya semakin banyak yang menggunakan plastik, maka akan semakin banyak pula timbunan sampah yang ada mengandung plastik. Permasalahan yang ada saat ini adalah lahan yang dapat dijadikan sebagai TPA semakin lama akan semakin berkurang, sedangkan jumlah limbah plastik akan semakin bertambah. Ditambah lagi densitas dari polimer yang menyebabkan kebutuhan volume plastik lebih besar dibandingkan dengan massanya.

Pada tahun 2003 kebutuhan plastik di Indonesia mencapai 1,35 juta ton per tahun. Setelah menjadi sampah, pemerintah hanya mampu mengelola 20-30 persennya, selebihnya ditimbun ke area pembuangan sampah (Tegar, 2008).

Volume rata-rata sampah di Ibu Kota yang berpenduduk sekitar 9,5 juta jiwa ini mencapai 6.000 ton tiap hari. Dan dari 6,000 ton sampah tersebut, sekitar 3,700 ton berupa sampah plastik. Didukung oleh data KLH di tahun 2007 menunjukkan, volume timbunan sampah di 194 kabupaten dan kota di Indonesia mencapai 666 juta liter atau setara 42 juta kilogram, di mana komposisi sampah plastik mencapai 14 persen atau 6 juta ton.

Dari pernyataan di atas didukung dengan kondisi lingkungan pada saat ini yang semakin memprihatinkan, dapat terlihat sebagian besar sungai dan danau di Jakarta sudah terkontaminasi sampah yang dilakukan oleh masyarakat sekitar. Tidak sedikit sampah yang terdapat di sungai dan danau tersebut menggunakan plastik konvensional sebagai pembungkusnya. Hal ini membuat laju kecepatan air dan volume sungai semakin bertambah dan membuat daya tampung air semakin mengecil yang berakibat banjir.

Permasalahan lingkungan yang terjadi bukan hanya pada sungai dan danau tetapi banyak sekali tanah kosong di Indonesia yang dimanfaatkan menjadi tempat pembuangan sampah oleh masyarakat sekitar dan tidak sedikit pula yang menggunakan plastik konvensional sebagai pembungkusnya. Saat terurai pun sampah-sampah plastik tersebut masih menimbulkan masalah karena partikel-partikel plastik akan mencemari tanah dan air tanah. Di sisi lain, jika dibakar, terlebih bila proses pembakarannya tidak sempurna, sampah plastik akan menghasilkan asap beracun berupa senyawa dioksin yang justru berbahaya bagi kesehatan.

Dengan permasalahan diatas, diperlukan solusi dalam mengurangi limbah plastik yang ada, tidak hanya bagi para konsumen plastik (masyarakat), namun juga para produsen plastik. Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan menggunakan dan memproduksi plastik biodegradable.

Penggunaan skala besar plastik berbahan biodegradable ini akan membantu mengurangi penggunaan minyak bumi, gas alam dan sumber mineral lain serta turut berkontribusi menyelamatkan lingkungan. Sebagai perbandingan, plastik konvensional membutuhkan waktu sekitar 50 tahun agar dapat terdekomposisi oleh alam, sementara plastik biodegradable dapat terdekomposisi 10 hingga 20 kali lebih cepat.

Pada penelitian ini akan diteliti biodegradabilitas plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen menggunakan beberapa metode uji yang berbeda, yaitu menguji dengan metode ASTM G21-09, pengujian mikroorganisme dan menguji biodegradabilitas plastik ini pada tanah, sungai dan danau. Dari keseluruhan metode uji ini akan didapatkan perubahan bentuk dan berat plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen yang diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dan masukan perusahaan yang memproduksi plastik ini dalam meningkatkan kualitas produknya.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pertumbuhan jamur pada permukaan sampel film plastik biodegradabel dengan menggunakan metode ASTM G21-09?
2. Bagaimana perubahan bentuk dan berat sampel film plastik biodegradabel pada pengujian mikroorganisme?
3. Bagaimana perubahan bentuk dan berat sampel film plastik biodegradabel pada pengujian lapangan?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pertumbuhan jamur pada permukaan sampel film plastik biodegradabel dengan menggunakan metode ASTM G21-09.
2. Mengetahui perubahan bentuk dan berat sampel film plastik biodegradabel pada pengujian mikroorganisme.
3. Mengetahui perubahan bentuk dan berat sampel film plastik biodegradabel pada pengujian lapangan.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

- Manfaat bagi ilmu pengetahuan adalah dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam melakukan kajian ilmiah tentang degradabilitas plastik biodegradable berbahan dasar pati.
- Manfaat bagi pemerintah adalah dapat dijadikan sebagai bahan masukan dalam pembuatan standarisasi produksi dan penggunaan plastik.
- Manfaat bagi masyarakat adalah dapat dijadikan sebagai masukan untuk merubah gaya hidup yang ramah lingkungan.
- Manfaat bagi perusahaan yang memproduksi plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen adalah sebagai masukan dalam peningkatan kualitas produknya.

#### 1.5 Ruang Lingkup

Adapun cakupan penelitian yang akan dilakukan adalah:

- Sampel yang digunakan merupakan plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen dengan tebal 20  $\mu\text{m}$ .
- Pengujian lapangan akan dilakukan dengan tiga kondisi berbeda, yaitu dikubur di dalam tanah, di dalam air sungai dan air danau.
- Pengujian ASTM G21-09 dan pengujian mikroorganisme akan dilakukan pada Balai Pengkajian Bioteknologi – BPPT, Serpong.

#### 1.6 Hipotesa

Pada pengujian ASTM G21-09 akan terlihat pertumbuhan jamur diatas permukaan sampel film plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen dalam waktu 2 minggu. Untuk pengujian mikroorganisme dalam waktu 8 minggu akan terjadi perubahan berat dan bentuk sampel film plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen dan pada pengujian lapangan akan terlihat perubahan bentuk dan berat sampel film plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen dalam waktu 8 minggu. Perubahan bentuk dan penurunan berat benda uji menandakan plastik tersebut mengalami degradasi.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Plastik**

Plastik merupakan polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang, atau "monomer". Plastik merupakan material-material yang terdiri dari molekul-molekul besar (*polymers*) dimana terbentuk secara sintetik atau alami dan dapat termodifikasi secara luas (Azizah, 2009).

Plastik terdiri atas atom hidrogen dan karbon. Polimer ini didisain untuk menghambat keluar masuknya oksigen, sehingga produk ataupun makanan yang tersimpan di dalamnya terawetkan dari proses biodegradasi alami atau pembusukkan. Untuk itulah plastik dibuat sedemikian agar tidak mampu ditembus sehingga dibutuhkan ratusan tahun untuk mikroba mampu menguraikannya menjadi biogas dan biomassa (Adam dan Clark, 2009).

##### **2.1.1 Plastik Konvensional (non-biodegradabel)**

Polimer sintesis yang biasa digunakan untuk bahan kemasan yang beredar dipasaran adalah polietilen. Polietilen merupakan termoplastik yang kuat, ringan dan bersifat semi kristalin. Salah satu sifat fisik dari polietilen ditentukan oleh densitasnya yang dipengaruhi oleh percabangan pada rantai polietilen. Adanya perbedaan percabangan pada polietilen maka polietilen dapat dibedakan menjadi High Density Polyethylene (HDPE), Low Density Polyethylene (LDPE) dan Low Linear Density Polyethylene (LLDPE) (Deswita et al, 2007).

Sampah plastik konvensional yang berada di dalam tanah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme menyebabkan mineral-mineral dalam tanah baik organik maupun anorganik semakin berkurang, hal ini menyebabkan jaranginya fauna tanah, seperti cacing dan mikroorganisme tanah, yang hidup pada area tanah tersebut, dikarenakan sulitnya untuk memperoleh makanan dan berlindung. Selain itu kadar O<sub>2</sub> dalam tanah semakin sedikit, sehingga fauna tanah sulit untuk bernafas dan akhirnya mati. Ini berdampak langsung pada tumbuhan yang hidup pada area tersebut. Tumbuhan membutuhkan

mikroorganisme tanah sebagai perantara dalam kelangsungan hidupnya (Ahmann dan Dorgan, 2007).

### 2.1.2 Plastik Biodegradabel

Menurut Pranamuda (2001), plastik biodegradabel adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik biodegradable merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan.

Sedangkan menurut Hartoto (2005), plastik biodegradable adalah polimer yang dapat berubah menjadi biomassa,  $H_2O$ ,  $CO_2$  dan atau  $CH_4$  melalui tahapan depolimerisasi dan mineralisasi. Depolimerisasi terjadi karena kerja enzim ekstraseluler (terdiri atas endo dan ekso enzim). Endo enzim memutus ikatan internal pada rantai utama polimer secara acak, dan ekso enzim memutus unit monomer pada rantai utama secara berurutan. Bagian-bagian oligomer yang terbentuk dipindahkan ke dalam sel dan menjadi mineralisasi. Proses mineralisasi membentuk  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ , air, garam-garam, mineral dan biomassa. Definisi polimer biodegradable dan hasil akhir yang terbentuk dapat beragam bergantung pada polimer, organisme, dan lingkungan (Kaplan et al, 1993 dalam Hartoto et al, 2005).

Emo Chiellini (2001), mendefinisikan plastik biodegradabel ke dalam tiga spesifikasi yang harus dimiliki oleh plastik biodegradabel, yaitu:

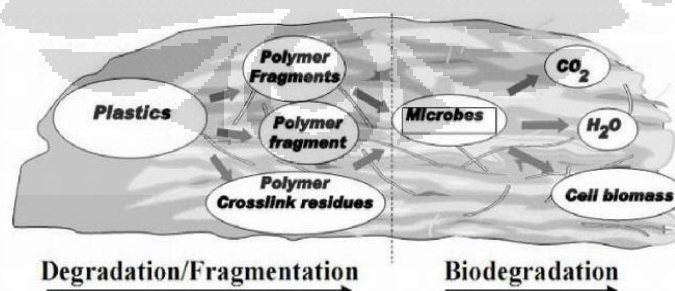
- Materi yang dapat mempertahankan bahan dasar (polimer) yang sama yang ada pada plastik konvensional selama penggunaan
- material yang setelah digunakan dapat didegradasi menjadi senyawa yang mempunyai berat molekul kecil oleh proses fisik dan kimia dan mikroorganisme yang ada di alam.
- Material yang akhirnya terdegradasi menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$

Menurut Maddever dan Chapman (1989), degradasi yang disebabkan oleh mikroorganisme dapat dikelompokkan ke dalam tiga tipe, yaitu:

- Efek biofisik, dalam pertumbuhan sel dapat menyebabkan kerusakan mekanis
- Efek biokimia, dimana zat yang dihasilkan oleh mikroorganisme dapat bereaksi dengan polimer
- Pergerakan enzim secara langsung, dimana enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme menyerang komponen dari plastik yang kemudian pecah atau degradasi oksidatif

Graham Swift (2001), menyebutkan plastik biodegradabel dengan sebutan lain, yaitu *Environmentally Degradables Polymers* (EDPs) yang artinya polimer yang dapat didegradasi di alam dengan proses biotik atau abiotik atau kombinasi dari keduanya yang tidak menyisakan residu beracun. Walaupun memang pada sebagian besar degradasi gabungan secara abiotik dan biotik jarang terjadi (Maddever dan Chapman, 1989). Degradasi abiotik adalah fragmentasi kimia dan disintegrasi dengan pemutusan ikatan, sebagai contoh oksidasi yang didukung oleh radiasi, tekanan mekanik dan panas dan hidrolisis kimia yang menyisakan residu fragmentasi (Graham Swift, 2001).

Degradasi biotik adalah degradasi yang dimediasi oleh kegiatan makroorganisme (fragmentasi) dan mikroorganisme (biodegradasi). Degradasi biotik dapat terjadi dibawah kondisi lingkungan yang berbeda yang dapat dibedakan dan diklasifikasikan sesuai dengan ada (aerobik) atau tidak adanya (anaerobik) oksigen (Maddever dan Chapman, 1989). Degradasi ini termasuk oksidasi enzim spesifik dikatalis dan dihidrolisis untuk menghasilkan fragmentasi (Graham Swift, 2001).

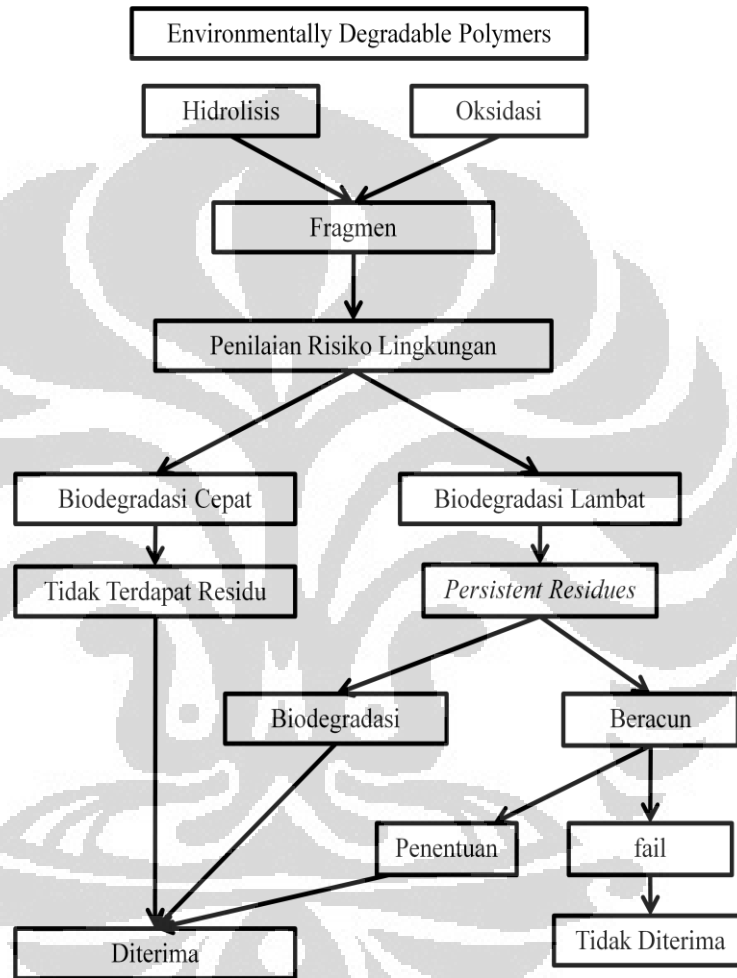


Gambar 0.1. Mekanisme degradabilitas plastik biodegradabel

Sumber: Narayan (2003)

Fragmentasi yang dihasilkan oleh kedua cara degradasi merupakan syarat utama diterimanya polimer ketika pembuangan ke alam. Asimilasi mikroba yang

lengkap dari polimer yang terfragmentasi terlepas dari cara degradasi agar tidak menyisakan residu adalah degradasi biotik terpisah, cara degradasi ini disebut biodegradasi, yang memastikan bahwa tidak ada polimer yang tersisa di lingkungan. Keputusan dalam menentukan cara degradasi diterima atau tidak polimer untuk dibuang ke alam diilustrasikan oleh gambar berikut ini.



Gambar 0.2. Skema penentuan cara degradasi yang ramah lingkungan

Sumber: Graham Swift, 2001

Pada hakekatnya tingkat degradasi oksidasi lebih lambat dibandingkan dengan hidrolisis. Tingkat degradasi yang lebih lambat ini membuat seluruh biodegradasi polimer menjadi lebih lambat dan juga menggambarkan ketidakmampuan untuk lolos penentuan sebagai standard terbaru dari metodologi pengujian untuk biodegradasi polimer. Hal yang dibutuhkan untuk memecahkan



permasalahan dari biodegradasi lambat atau tidak ter-biodegradasi adalah dengan menggunakan metode pengujian baru. Metode pengujian yang baru dibutuhkan yang dapat mengenal biodegradasi lambat pada lingkungan dan kehadiran dari racun yang timbul selama masa perpanjangan. Seperti yang terlihat pada skema, terlihat bahwa tidak timbulnya permasalahan pada biodegradasi cepat, seperti polimer yang jelas diterima untuk pembuangan pada alam.

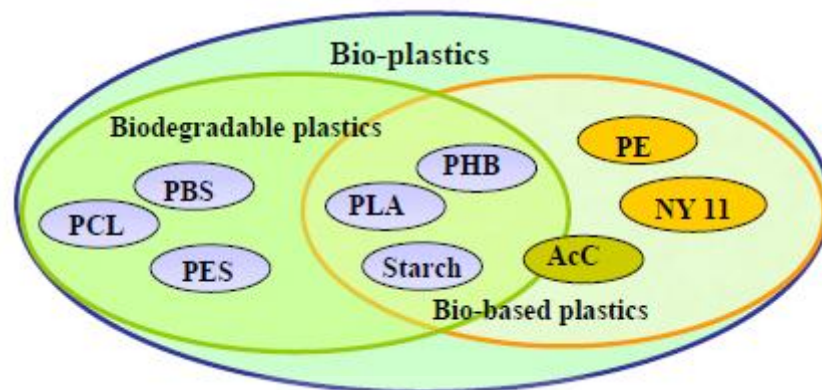
Berikut ini merupakan tabel faktor-faktor yang berpotensi berdampak kepada proses degradasi polimer.

Tabel 0.1. Faktor yang berpotensi berdampak pada degradasi polimer

<b>Biotik</b>	<b>Abiotik</b>	
<b>Biologi</b>	<b>Kimiawi</b>	<b>Fisik atau Mekanik</b>
Bakteri, jamur	Hidrolis	Pencucian
Predator	Oksidasi	Sinar matahari
Organisme yang lebih tinggi		Cuaca
		Tekanan mekanik

Sumber: Emo Chiellini, 2001

Tokiwa dan kawan-kawan (2009) membagi *bio-plastics* yang digunakan di dunia saat ini kedalam 2 macam, yaitu plastik biodegradabel dan *bio-based plastics*. Plastik biodegradabel adalah kelompok plastik yang berbahan baku petrokimia (*non-renewable resources*) dan *bio-based plastics* kelompok plastik yang berbahan baku produk tanaman seperti pati dan selulosa (*renewable resources*). Hubungan antara plastik biodegradabel dengan *bio-based plastics* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 0.3. Hubungan *bio-plastics* dengan *biodegradable plastics* dan *bio-based plastics*

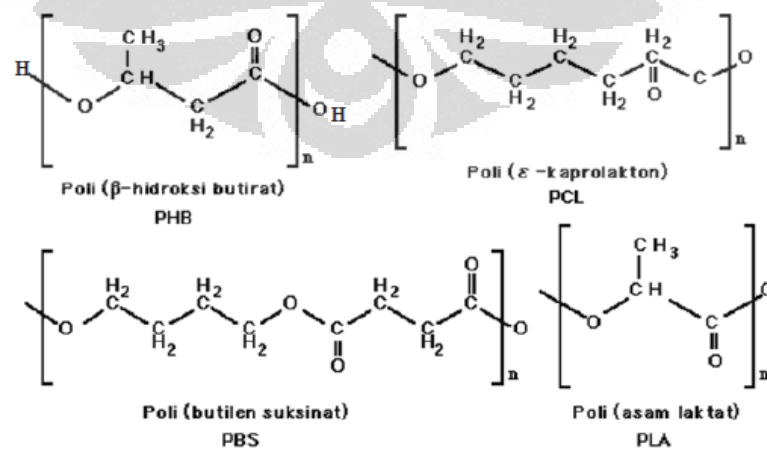
Sumber: Tokiwa et al (2009)

*Polycaprolactone* (PCL) dan *Polybutylene Succinate* (PBS) adalah berbahan dasar minyak bumi, namun keduanya dapat didegradasi oleh mikroorganisme. *Polyhydroxybutyrate* (PHB), *Poly lactide* (PLA) dan campuran *starch* diproduksi dari biomassa atau sumberdaya yang dapat diperbarui, dan ketiganya termasuk kedalam biodegradabel. Meskipun faktanya *Polyethylene* (PE) dan *Nylon 11* (NY11) dibuat dari biomassa atau sumberdaya yang dapat diperbarui, keduanya tidak dapat didegradasi secara alami. *Acetyl cellulose* (AcC) dapat dikatakan biodegradabel atau non-biodegradabel, tergantung pada besar kandungan acetylnya. AcC yang mengandung acetyl sedikit dapat terdegradasi dan yang mengandung banyak acetyl merupakan non-biodegradabel.

Menurut laporan Pranamuda H (2001) dalam penelitiannya, menyatakan bahwa saat ini polimer plastik biodegradabel yang telah diproduksi adalah kebanyakan dari polimer jenis poliester alifatik. Plastik biodegradabel yang sudah diproduksi skala industri, antara lain:

- a. Poli (ε-kaprolakton) (PCL) : PCL adalah polimer hasil sintesa kimia menggunakan bahan baku minyak bumi. PCL mempunyai sifat biodegradabilitas yang tinggi, dapat dihidrolisa oleh enzim lipase dan esterases yang tersebar luas pada tanaman, hewan dan mikroorganisme. Polimer ini memiliki titik leleh yang rendah, yaitu  $T_m = 60^\circ \text{C}$ .

- b. Poli ( $\beta$ -hidroksi butirat) (PHB) : PHB adalah poliester yang diproduksi sebagai cadangan makanan oleh mikroorganisme seperti *Alcaligenes (Ralstonia) eutrophus*, *Bacillus megaterium* dsb. PHB mempunyai titik leleh yang tinggi ( $T_m = 180^\circ \text{C}$ ), tetapi karena kristalinitasnya yang tinggi menyebabkan sifat mekanik dari PHB kurang baik. Dalam memproduksi PHB dibutuhkan total energi yang jauh lebih besar dibanding dengan energi yang dibutuhkan untuk memproduksi plastik konvensional seperti polietilen dan polietilen tereftalat.
- c. Poli (butilena suksinat) (PBS): PBS mempunyai titik leleh yang setara dengan plastik konvensional polietilen, yaitu  $T_m = 113^\circ \text{C}$ . Kemampuan enzim lipase dalam menghidrolisa PBS relatif lebih rendah dibandingkan dengan kemampuannya menghidrolisa PCL. Untuk meningkatkan sifat biodegradabilitas PBS, dilakukan kopolimerisasi membentuk poli (butilen suksinat-ko-adipat) (PBS/A).
- d. Poli asam laktat (PLA) : PLA merupakan poliester yang dapat diproduksi menggunakan bahan baku sumber daya alam terbaru seperti pati dan selulosa melalui fermentasi asam laktat. Polimerisasi secara kimiawi untuk menghasilkan PLA dari asam laktat dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara langsung dari asam laktat dan secara tidak langsung melalui pembentukan laktida (dimer asam laktat) terlebih dahulu, dan diikuti dengan polimerisasi menjadi PLA. PLA mempunyai titik leleh yang tinggi sekitar  $175^\circ \text{C}$ , dan dapat dibuat menjadi lembaran film yang transparans.



Gambar 0.4. Plastik biodegradabel dari golongan poliester alifatik

Sumber: Pranamuda H (2001)

## 2.2 Pengujian degradabilitas plastik biodegradabel

Chandra dan rustgi (1998) menyebutkan pada jurnalnya, pengujian degradabilitas *biodegradable polymers* dapat dilakukan dengan berbagai cara. Yang pertama adalah penguburan benda uji di dalam tanah. Pengujian yang dilakukan dengan metode ini adalah untuk mengevaluasi degradasi yang terjadi akibat terpapar oleh tanah selama waktu pengujian. Tanah yang digunakan biasanya dikondisikan terlebih dahulu kurang lebih 4 minggu dengan menambahkan pupuk organik untuk mendorong pertumbuhan mikroba tanah. Tingkat kelembapan campuran tersebut diharapkan 20 – 30%, atau 40 – 50% lebih baik, dengan harapan tanah tersebut tidak terlalu basah atau kering agar tercapai pertumbuhan mikroba yang baik.

Cheong (2009) menyebutkan dalam jurnal penelitiannya, setelah 90 hari dikubur didalam tanah, benda uji tersebut akan berkurang ukurannya, dan juga menjadi *hard* dan *fragile*. Degradasi benda uji ini akan terlihat dari berkurangnya berat benda uji setelah dikubur didalam tanah selama 3 bulan. Akan terlihat noda hitam atau merah pada permukaan benda uji yang menandakan kerusakan yang disebabkan oleh mikroba tanah.

Pengujian dengradabilitas *biodegradable polymer* juga dapat dilakukan pada laut, tanah, badan air dan kompos. Keadaan lingkungan ini dapat menggambarkan lingkungan biologi yang kompleks. Mikroorganisme dalam jumlah yang besar dari spesies dan genus yang berbeda hadir pada lingkungan biologi tersebut (Chandra dan Rustgi, 1998).

Pengujian degradasi yang ketiga adalah pengujian yang dilakukan pada cawan petri. Pengujian ini biasanya menggunakan USA (ASTM), German (DIN), French (AFNOR), Swiss (SN) dan inyernational (ISO). Prinsip pengujian dari beberapa metode tersebut adalah dengan meletakkan benda uji (2,5 x 2,5 cm<sup>2</sup>) pada permukaan *mineral salt agar* pada cawan petri yang tidak mengandung karbon tambahan. Benda uji dan media agar disemprotkan oleh campuran mikroorganisme yang telah ditentukan disetiap pengujiannya. Organisme yang biasa dijadikan organisme uji adalah yang memiliki kemampuan reproduksi berulang kali yang kemampuannya telah terbukti dengan jangka waktu yang lama dalam kondisi laboratorium dan *insynthetic* atau selalu

dalam pengontrolan dan media kultur yang spesifik. Pengujian ini dievaluasi berdasarkan pertumbuhan mikroorganisme pada media yang digunakan (Chandra dan Rustgi, 1998).

Pada jurnalnya, Cheong et al (2009) melakukan pengujian degradabilitas dengan *simple hydrolysis* dan *alkali hydrolysis*. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan benda uji berukuran 1,5 x 3 cm kedalam tabung erlenmeyer yang dikocok, untuk *simple hydrolysis* dimasukkan ke dalam 20 ml air RO dan untuk *alkali hydrolysis* dimasukkan kedalam 20 ml *sodium hydroxide* dengan suhu 70° C. Tujuan dari menggunakan metode ini adalah untuk menguji tingkat degradabilitas atau membuktikan bahwa *synthesized film* dapat didegradasi di dalam air dengan berbagai macam pH. Air yang memiliki pH yang tinggi dapat mempercepat proses degradabilitas film plastik berbahan dasar pati.

Firdaus dan Anwar (2004) melakukan pengujian degradabilitas benda uji dengan merendamnya di dalam air. Proses ujinya dilakukan selama 1 minggu dan ternyata film plastik yang direndam dalam air tersebut hancur tercerai-berai dan akhirnya larut dengan air. Fenomena ini menunjukkan bahwa material komposisi penyusun film plastik biodegradable bersifat hidrofilik/suka air, misalnya ethanol 70 %, air suling dan gliserol, semuanya dapat larut dalam air, bahkan bahan bakunya yang berupa kulit dan ampas singkong memiliki karakter hidrofilik. Pada dasarnya karakter uji kelarutan film plastik dalam air hampir sama dengan uji biodegradabilitas dalam tanah. Konsep dasarnya adalah bahwa film plastik yang dihasilkan dapat dengan mudah dihancurkan secara alamiah, efektif dan efisien/ ekonomis dan tentunya ramah lingkungan. Pada uji kelarutan ini, faktor yang paling menentukan adalah sifat hidrofilik film plastik dan didukung oleh pengadukan yang secara mekanis dapat mempercepat kelarutan film plastik dalam air.

### 2.3 Pati

Pati adalah salah satu senyawa cadangan di dalam tumbuhan. Pati alami terdiri dari dua senyawa yang dapat dipisahkan, yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa terdiri dari rantai panjang unit-unit glukosa yang tidak bercabang dan

saling berikatan melalui ikatan  $\alpha$ -(1,4), sedangkan amilopektin terdiri dari rantai glukosa yang bercabang pada ikatan  $\alpha$ -(1,4) dan  $\alpha$ -(1,6) (Moat et al, 2002).

Hidrolisis adalah proses dekomposisi kimia dengan menggunakan air untuk memisahkan ikatan kimia dari substansinya. Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul amilum menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana seperti dekstrin, isomaltosa, maltosa dan glukosa (Purba, 2009).

Enzim yang dapat menghidrolisis pati terdiri dari 3 kelompok. Enzim  $\alpha$ -amilase ( *$\alpha$ -1,4-glucan glucanohydrolase*, EC 3.2.1.1), disebut sebagai endoamilase. Enzim  $\alpha$ -amilase menghidrolisis ikatan  $\alpha$ -1,4 glukosidik pada amilosa dan amilopektin (tetapi bukan pada maltose hasil hidrolisis) secara random untuk menghasilkan dekstrin dan maltose. Selanjutnya produk tersebut akan dihidrolisis lebih lanjut oleh enzim glukogenik lain menjadi glukosa. Enzim  $\alpha$ -amilase ( *$\alpha$ -1,4-glucan maltohydrolase*, EC 3.2.1.2) disebut juga eksoamilase. Enzim tersebut menghidrolisis rantai pada polisakarida melalui pemutusan rantai pada unit-unit maltose dari ujung mompereduksi pada rantai. Enzim glukoamilase ( *$\alpha$ -1,4-glucan glucohydrolase*, EC 3.2.1.3) diwakili oleh pullulanase dan isoamilase. Kelompok enzim amilase ditemukan pada fungi berfilamen khamir adalah  $\alpha$ -amilase dan glukoamilase (Gandjar et al, 2006).

Pada produksi plastik, pati sering digunakan dalam pembuatan plastik biodegradabel. Hal ini disebabkan karena pati memiliki beberapa keunggulan, yaitu penahan oksigen yang baik, ketersediaannya di alam dalam jumlah yang melimpah, harga murah dan mampu terdegradasi. Pati merupakan bahan yang dapat diperbarui dan memiliki tingkat kristalinitas sebesar 15 – 45%.

Campuran polimer hidrokarbon dan pati sering digunakan untuk menghasilkan lembaran dan film berkualitas tinggi untuk kemasan. Pembuatan film dari 100% pati sulit untuk diproses saat kondisi melting (Nolan-ITU, 2002). Pranamuda (2009) menyebutkan dalam penelitiannya, semakin besar kandungan patinya, maka akan semakin tinggi tingkat biodegradabilitasnya.

Komposit atau campuran plastik berbasis pati memiliki sifat mekanis yang lemah seperti kekuatan tarik, kekuatan mulur, kekakuan, perpanjangan putus, stabilitas kelembaban yang rendah serta melepaskan molekul pemlastis dalam jumlah kecil dari matriks pati (Zhang et al, 2007).

## 2.4 Mikroba

Mikrobiologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang organisme mikroskopis. Mikrobiologi berasal dari bahasa Yunani, mikros yang artinya kecil, bios artinya hidup dan logos artinya ilmu. Mikroorganisme mempunyai potensi yang cukup besar untuk membersihkan lingkungan, contohnya dari tumpukan minyak di lautan atau dari herbisida dan insektisida di bidang pertanian. Hal ini dikarenakan mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk mendekomposisi/menguraikan senyawa kompleks. Kemampuan mikroorganisme yang telah direayasa untuk tujuan tertentu menjadikan cabang baru dalam mikrobiologi industri yang dikenal dengan bioteknologi (Priyani, 2003).

Dari alam telah ditemukan mikroba yang dapat merombak plastik, yaitu terdiri bakteri, aktinomycetes, jamur dan khamir yang umumnya dapat menggunakan plasticizers sebagai sumber karbon. Namun hanya sedikit mikroba yang telah ditemukan mampu merombak polimer plastiknya, yaitu jamur *Aspergillus fischeri* dan *Paecilomyces sp.* Sedangkan mikroba yang mampu merombak dan menggunakan sumber karbon dari *plasticizers* yaitu jamur *Aspergillus niger*, *A. Versicolor*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium sp.*, *Penicillium sp.*, *Trichoderma sp.*, *Verticillium sp.*, dan khamir *Zygosaccharomyces drosophilae*, *Saccharomyces cerevisiae*, serta bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, *Brevibacterium sp.* dan aktinomisetes *Streptomyces rubroreticuli*.

### 2.4.1 Jamur

Jamur adalah organisme heterotrofik yang memerlukan senyawa organik untuk nutrisinya. Jamur merupakan kelompok organisme eukariotik yang membentuk dunia jamur atau regnum fungi. Jamur pada umumnya multiseluler (bersel banyak). Ciri-ciri jamur berbeda dengan organisme lainnya dalam hal cara makan, struktur tubuh, pertumbuhan, dan reproduksinya. Jamur dapat tumbuh dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi kebanyakan

mikroorganisme lain, yaitu meliputi adanya asam dan konsentrasi gula yang tinggi (Pelczar dan Chan, 1986)

Untuk memperoleh makanan, jamur menyerap zat organik dari lingkungan melalui hifa dan miseliumnya, kemudian menyimpannya dalam bentuk glikogen. Oleh karena jamur merupakan konsumen maka jamur bergantung pada substrat yang menyediakan karbohidrat, protein, vitamin, dan senyawa kimia lainnya. Semua zat itu diperoleh dari lingkungannya.

Substrat merupakan sumber nutrisi utama bagi jamur. Nutrien-nutrien baru dapat dimanfaatkan sesudah jamur mengekresi enzim-enzim ekstraselular yang dapat mengurai senyawa-senyawa kompleks dari substrat tersebut menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Misalnya, apabila substratnya nasi, atau singkong, atau kentang, maka fungi tersebut harus mampu mengekresikan enzim  $\alpha$ -amilase untuk mengubah amilum menjadi glukosa.

Pertumbuhan jamur pada substrat sebenarnya merupakan suatu proses fermentasi, yaitu jamur mengurai komponen-komponen kompleks yang ada dalam substrat menjadi komponen-komponen sederhana yang dapat diserap sel dan digunakan untuk sintesis aneka bagian sel dan untuk energi kegiatannya.

Adanya pertumbuhan oleh jamur pada suatu substrat dapat juga diketahui karena, selain ada penambahan massa sel, proses metabolisme menyebabkan perubahan pada substrat, antara lain substrat menjadi lunak, basah-basah dan timbul bau yang semula tidak tercium, timbulnya perubahan warna, atau kekeruhana pada suatu substrat cair (Gandjar et al, 2006).

#### 2.4.1.1 *Aspergillus Niger*

*Aspergillus niger* merupakan suatu kapang yang paling umum dan mudah diidentifikasi, biasanya merupakan kontaminan yang terdapat pada makanan dan dapat menyebabkan buah atau sayuran menjadi busuk bila disimpan terlalu lama di udara terbuka. Jamur ini berasal dari genus *Aspergillus*, famili *Moniliaceae*, ordo *Moniliales* dan kelas Fungi *imperfecti*. (Saripah, 2011). Spesies ini kosmopolit di daerah tropis dan subtropis, dan mudah diisolasi dari tanah, udara, air, rempah-rempah, kapas, buah-buahan, gandum, beras, jagung, tebu, ketimun, kopi, teh, coklat, serta serasah dedaunan.



Koloni *Aspergillus Niger* pada medium Czapek's Dox mencapai diameter 4-5 cm dalam 7 hari, dan terdiri dari suatu lapisan basal yang kompak berwarna putih hingga kuning dan suatu lapisan konidiofor yang lebat yang berwarna coklat tua hingga hitam. Kepala konidia berwarna hitam, berbentuk bulat, dan cenderung merekah menjadi kolom-kolom pada koloni berumur tua. Stipe dari konidiofor berdinding halus, berwarna hialin, tetapi dapat juga kecoklatan. Vesikula berbentuk bulat hingga semibulat, dan berdiameter 50 – 100  $\mu\text{m}$ . Fialid terbentuk pada metula, dan berukuran  $(7,0 - 9,5) \times (3 - 4) \mu\text{m}$ . Metula berwarna hialin hingga coklat, memiliki ornamentasi berupa tonjolan dari duri-duri yang tidak beraturan. Koloni pada medium MEA lebih tipis tetapi bersporulasi lebat. *Aspergillus niger* dapat tumbuh pada suhu  $36^\circ\text{C}$  (optimum),  $7^\circ\text{C}$  (minimum), dan suhu  $46^\circ\text{C}$  (maksimum) (Saripah, 2011).

*Aspergillus niger* digunakan untuk menghasilkan enzim dan asam organik dalam proses fermentasi. Penggunaan *A. niger* menjadi sangat penting dalam industri untuk menghasilkan berbagai macam enzim, seperti amilase, amiloglukosidase, selulase, laktase, invertase, pektinase, dan asam protease.

*Aspergillus niger* memerlukan mineral-mineral seperti  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  untuk dapat menghasilkan enzim amilase khususnya amiloglukosa. Pada tahap awal dekomposisi, bahan organik dengan kandungan nitrogen tinggi dapat didekomposisi lebih cepat dari pada bahan organik yang rendah kandungan nitrogennya. Pada tahap selanjutnya, bahan organik yang rendah kandungan nitrogennya dapat didekomposisi lebih cepat daripada bahan organik dengan kandungan nitrogen tinggi. Penurunan bahan organik sebagai sumber karbon dan nitrogen karena digunakan oleh *Aspergillus niger* sebagai sumber energi untuk bahan penunjang pertumbuhan (Saripah, 2011).

#### 2.4.1.2 *Penicillium Pinophilum*

*Penicillium* berasal dari *penicillus*, yang pada bahasa latin artinya kuas. *Penicillium* merupakan genus dari *ascomycetous* jamur yang sangat penting dalam lingkungan alam serta produksi makanan dan obat. Ini menghasilkan penisilin, sebuah molekul yang digunakan sebagai antibiotik, yang membunuh atau menghentikan pertumbuhan beberapa jenis bakteri di dalam tubuh.

Spesies *Penicillium* adalah jamur yang terdapat pada tanah dan hidupnya lebih memilih iklim dingin, biasanya hadir dimana pun bahan organik tersedia. *Saprophytic*, spesies *Penicillium* dan *Aspergillus* yang dikenal sebagai perwakilan terbaik dari *Eurotiales* dan hidup terutama pada zat organik biodegradable. Mereka umumnya dikenal sebagai mold dan merupakan salah satu penyebab utama pembusukan makanan. Banyak spesies yang menghasilkan metabolit sekunder yang sangat beracun (mikotoksin). Beberapa spesies memiliki warna biru, biasanya tumbuh pada roti tua dan memberikan tekstur *fuzzy* biru.

Jamur *Penicillium pinophilum* termasuk jamur aerob. Menurut Ambriyanto (2010), jamur aerob yang dapat mendegradasi selulosa diantaranya adalah *Trichoderma viride*, *Trichoderma reesi*, *Penicillium pinophilum*, *Sporotrichum pulvelentum*, *Fusarium solani*, *Tolaromyces emersonii*, dan *Trichoderma koningi*.

#### 2.4.1.3 *Chaetomium Globosum*

*Chaetomium* merupakan jamur yang masuk kedalam genus *Chaetomiaceae*. Jamur ini termasuk *dematiaceous* (*dark-walled*) yang biasanya ditemukan pada tanah, udara dan puing-puing pabrik. Selain menjadi kontaminan, *chaetomium* sp juga ditemukan sebagai agen penyebab infeksi pada manusia.

*Chaetomium globosum* merupakan salah satu jenis jamur yang terkenal dan terdapat dimana-mana. *Chaetomium globosum* masuk kedalam golongan jamur pelunak kayu. Jamur ini mempunyai aktivitas selulolitik yang sangat kuat dan juga bersifat termofilik (Gandjar, 2006). Golongan jamur ini berasal dari kelas *Ascomycetes* dan terutama menyerang kayu yang berhubungan dengan

tanah atau air. Jamur pelunak kayu hanya menyerang lapisan tengahnya saja (*middle lamela*) (Nurul Aini S, 2005). Sharma dan Shukla (2008) menyebutkan dalam penelitiannya, *chaetomium globosum* merupakan jamur yang ditemukan di dalam tanah, jamur ini dapat menghidrolisis pati dan menghasilkan enzim amilase. Maksimum hidrolisis pati yang tercatat dalam penelitian ini adalah 6 sampai 7 hari, dan aktivitas amylase yang tertinggi ditemukan pada hari ke 9 – 11.

#### 2.4.1.4. *Gliocladium Virens*

*Gliocladium Virens* adalah jamur yang ditemukan di berbagai jenis tanah di seluruh Amerika Serikat. Jamur ini digunakan sebagai bahan pestisida, karena spora dari jamur ini mencegah jamur lain yang membahayakan akar dan bagian lainnya dari tanaman. *G.virens* hanya digunakan untuk mencegah penyakit tanaman, bukan untuk mengedalikan jamur pathogen setelah tanaman terinfeksi (EPA, 2011)

*Gliocladium Virens* termasuk ke dalam *saprophytic* dan *mycoparastic*. Berbagai enzim telah diamati pada kultur *G.virens*. enzim *Cellulolytic* diproduksi oleh jamur ini dengan diisolasi dari *jute* yang di analisis pada kondisi fermentasi. Roberts dan Lumsden menemukan bahwa fraksi *high-molecular-weight* (MW) pada jamur ini yang dibiakkan dalam kultur biocontrol strain dalam 5 hari mengandung ekstrak gliotoxin dan laminarinase, amilase, protease, carboxymethylcellulase, kitinase dan chitanase dalam tingkat rendah. (Tilburg dan Thomas, 1993).

#### 2.4.1.5. *Aureobasidium Pullulans*

*Aureobasidium pullulans* adalah yeast/ragi yang ada dimana-mana, seperti jamur yang dapat ditemukan diberbagai macam kondisi lingkungan. Misalnya pada tanah, air, udara dan batu gamping. Jamur ini dikenal sebagai epifit alami atau endofit dari berbagai spesies tanaman, misalnya apel, anggur, timun, kacang hijau dan kol.

*Aureobasidium pullulans* membutuhkan nutrient seperti karbon, nitrogen, mineral dan vitamin untuk tumbuh dan mensintesis pullulans. Tepung singkong

dapat digunakan sebagai sumber karbon dengan merubahnya secara enzimatik menjadi *glucose syrup* terlebih dahulu (Hartoto, 1980).

*Aureobasidium pullulans* ini memiliki peran yang cukup penting pada bidang bioteknologi, sebab jamur ini memproduksi enzim yang berbeda, yaitu siderophores dan pullulan. Jamur ini tumbuh pada suhu 10 – 35° C, suhu optimum pertumbuhannya adalah 30° C.

#### 2.4.2 Mikroba Dalam Tanah

Handayanto dan Hairiah (2007) mendefinisikan tanah sebagai bahan lepas tersusun dari batuan yang telah melapuk, mineral lainnya, dan bahan organik yang sebagian telah melapuk, yang menyelimuti sebagian besar permukaan bumi.

Keberadaan mikroba di dalam tanah terutama dipengaruhi oleh sifat kimia dan fisika tanah. Komponen penyusun tanah yang terdiri atas pasir, debu, lempung dan bahan organik maupun bahan penyemen lain akan membentuk struktur tanah. Struktur tanah akan menentukan keberadaan oksigen dan lengas dalam tanah. Dalam hal ini akan terbentuk lingkungan mikro dalam suatu struktur tanah. Mikroba akan membentuk mikrokoloni dalam struktur tanah tersebut, dengan tempat pertumbuhan yang sesuai dengan sifat mikroba dan lingkungan yang diperlukan. Dalam suatu struktur tanah dapat dijumpai berbagai mikrokoloni seperti mikroba heterotrof pengguna bahan organik maupun bakteri autotrof, dan bakteri aerob maupun anaerob. Untuk kehidupannya, setiap jenis mikroba mempunyai kemampuan untuk merubah satu senyawa menjadi senyawa lain dalam rangka mendapatkan energi dan nutrien. Dengan demikian adanya mikroba dalam tanah menyebabkan terjadinya daur unsur-unsur seperti karbon, nitrogen, fosfor dan unsur lain di alam. (Roa, 1994)

Plastik biodegradabel yang dikubur di dalam tanah akan otomatis bereaksi dengan logam-logam yang ada dalam tanah, seperti kalsium, kalium, atau zat besi yang mengakibatkan hancurnya bangunan polimer panjang plastik dan hanya menyisakan selulose pendek. Kemudian sisa selulose itu mudah dihancurkan oleh bakteri tanah. Mikroorganisme yang menghuni tanah dapat

dikelompokkan menjadi bakteri, aktinomisetes, jamur, alga dan protozoa (Roa, 1994)

- **Bakteri**

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme dalam tanah yang paling dominan dan mungkin meliputi separuh dari biomassa mikroba dalam tanah. Bakteri terdapat dalam segala macam tipe tanah tetapi populasinya menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah. Dalam kondisi anaerob (tidak ada oksigen), bakteri mendominasi tempat dan melaksanakan kegiatan mikrobiologi dalam tanah karena jamur dan aktinomycetes tidak dapat tumbuh baik tanpa adanya oksigen.

Apabila substrat khusus ditambahkan ke tanah, jumlah bakteri zimogen meningkat dan berangsur-angsur menurun lagi apabila substrat tambahannya makin habis.

Bakteri dapat menahan kondisi iklim yang ekstrem walaupun temperatur dan kelembapan mempengaruhi populasinya. Faktor-faktor yang mempengaruhi populasi bakteri di dalam tanah adalah iklim, pH, praktik pertanian, pemupukan atau pemakaian pestisida dan penambahan bahan organik.

- **Aktinomisetes**

Actinomycetes adalah organisme tanah yang memiliki sifat-sifat yang umum dimiliki oleh bakteri dan jamur tetapi juga mempunyai ciri khas yang cukup berbeda yang membatasinya menjadi satu kelompok yang jelas berbeda.

Jumlah Actinomycetes meningkat dengan adanya bahan organik yang mengalami dekomposisi. Persentase actinomycetes dalam populasi mikroba total meningkat dengan makin meningkatnya kedalaman tanah.

- **Jamur**

Jamur mendominasi semua tanah, namun dalam hal jumlahnya masih lebih sedikit dibandingkan dengan bakteri. Kualitas dan kuantitas bahan organik yang ada dalam tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap jumlah jamur dalam tanah karena kebanyakan jamur itu nutrisinya heterotrofik. Jamur dominan pada tanah yang asam karena lingkungan asam tidak baik

untuk bakteri ataupun actinomycetes sehingga jamur dapat memonopoli pemanfaatan substrat alami dalam tanah.

Tanah yang baik untuk ditanami yang mengandung banyak jamur karena jamur bersifat aerobik dan pada kelembapan tanah terlalu tinggi jumlahnya menurun. Jamur yang umum dijumpai dalam tanah yang lebih dangkal jarang dijumpai di permukaan tanah, hal ini dapat dijelaskan berdasarkan ketersediaan bahan organik dan rasio antara oksigen dan karbondioksida dalam atmosfer tanah pada kedalaman yang berbeda-beda. Salah satu fungsi utama dari jamur berbenang dalam tanah adalah untuk menguraikan bahan organik dan membantuk membentuk bongkah tanah.

- Alga  
Alga tanah ada dimana-mana di alam asal lembab dan dikenai sinar matahari. Alga ini tampak dengan mata telanjang dalam bentuk hamparan hijau pada permukaan tanah. Dalam hal jumlah, alga tidak sebanyak jamur, bakteri atau actinomycetes.
- Protozoa  
Protozoa berflagela yang termasuk ke dalam kelas Mastigophora paling banyak dalam tanah. Protozoa hidup dalam tanah dengan memakan bakteri dan genus-genus *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Microccus* dan *pseudomonas* yang dicernanya di dalam protoplasmanya. Protozoa lebih menyukai spesies bakteri tertentu untuk nutrisinya.

#### 2.4.3 Mikroba Hidrosfer

Hidrosfer merupakan habitat yang lebih sesuai untuk pertumbuhan mikroba dibandingkan dengan atmosfer. Pembahasan mengenai mikroba di dalam hidrosfer dibagi menjadi dua habitat, yaitu habitat air tawar dan air laut. Untuk air tawar dibagi lagi menjadi dua habitat, habitat air tenang (lentik) yaitu danau, rawa dan kolam kemudian habitat air mengalir (lotik) yaitu air sungai dan air terjun.

Menurut Fardiaz (1992) mikroorganisme yang terdapat di dalam air berasal dari berbagai sumber seperti udara, tanah, sampah, lumpur, tanaman hidup atau mati (bangkai), kotoran manusia atau hewan, bahan organik lainnya,

dan sebagainya. Mikroorganisme tersebut mungkin tahan lama hidup di dalam air, atau tidak tahan lama hidup di dalam air karena lingkungan hidupnya yang tidak cocok.

Jumlah dan jenis mikroorganisme yang terdapat di dalam air bervariasi tergantung dari beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Sumber air

Jumlah dan jenis mikroorganisme di dalam air dipengaruhi oleh sumber air tersebut, misalnya air atmosfer (air hujan, salju), air permukaan (danau, sungai), air tanah (sumur, mata air), air tergenang, air laut, dan sebagainya.

b. Komponen nutrisi dalam air

Air, terutama buangan sering mengandung komponen-komponen yang dibutuhkan oleh spesies mikroorganisme tertentu. Sebagai contoh, air yang mengandung besi dalam jumlah tinggi sering ditumbuhi oleh bakteri besi yaitu *Ferrobacillus* (*F. ferrooxidans*), air yang mengandung  $H_2S$  sering ditumbuhi oleh bakteri belerang, yaitu *Thiobacillus* (*T. thiooxidans*), dan air yang mengandung metana ( $CH_4$ ) sering ditumbuhi oleh bakteri yang mengoksidasi metana. Mikroorganisme yang bersifat saprofit organotrofik sering tumbuh pada air buangan yang mengandung sampah tanaman dan bangkai hewan. Semua air secara alamiah juga mengandung mineral-mineral yang cukup untuk kehidupan mikroorganisme di dalam air.

c. Komponen beracun

Komponen beracun yang terdapat di dalam air mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme di dalam air tersebut. Sebagai contoh, air laut mengandung garam dengan konsentrasi yang terlalu tinggi untuk kehidupan kebanyakan spesies mikroorganisme. Hanya beberapa mikroorganisme yang tahan garam dapat hidup di dalam air laut. Hidrogen sulfida yang diproduksi oleh mikroorganisme pembusuk dari sampah-sampah organik bersifat racun terhadap ganggang dan mikroorganisme lainnya, tetapi sebaliknya  $H_2S$  dapat digunakan oleh bakteri fotosintetik sebagai donor elektron/hidrogen untuk mereduksi karbon dioksida. Selain itu komponen-komponen metalik, asam-asam organik maupun anorganik, alkohol, antibiotik, klorin dan

sebagainya dapat membunuh mikroorganisme dan kehidupan lainnya di dalam air.

d. Organisme air

Adanya organisme lain di dalam air dapat mempengaruhi jumlah dan jenis mikroorganisme air. Sebagai contoh, plankton merupakan organism yang makan bakteri, ganggang dan plankton lainnya, sehingga adanya plankton dapat mengurangi jumlah organisme-organisme tersebut. Adanya protozoa dan bakteriophage mengurangi jumlah bakteri di dalam air karena kedua organisme tersebut dapat membunuh bakteri. Selain itu beberapa bakteri air memproduksi antibiotik yang dapat membunuh bakteri lainnya.

e. Faktor fisik

Jumlah dan jenis mikroorganisme juga dipengaruhi oleh faktor-faktor fisik air seperti seperti suhu, pH, tekanan osmotik, tekanan hidrostatik, aerasi, dan penetrasi sinar matahari. Sebagai contoh, mikroorganisme yang dapat hidup di dalam air laut adalah yang tahan terhadap tekanan osmotik yang tinggi.

Jumlah dan jenis mikroorganisme di dalam air tawar selain dipengaruhi oleh faktor-faktor diatas juga dipengaruhi oleh jenis polutan air tersebut. Misalnya air yang terpolusi oleh kotoran hewan dan manusia mengandung bakteri-bakteri yang berasal dari kotoran seperti *Escherichia coli*, *streptokoki fekal*, atau *Clostridium perfringens*.

Jumlah mikroba pada lapisan permukaan air tawar 10 – 100 kali lipat dibandingkan lapisan air di bawahnya. Mikroba neuston autochthonous yang terdapat di habitat air tawar adalah algae, bakteri, fungi & protozoa.

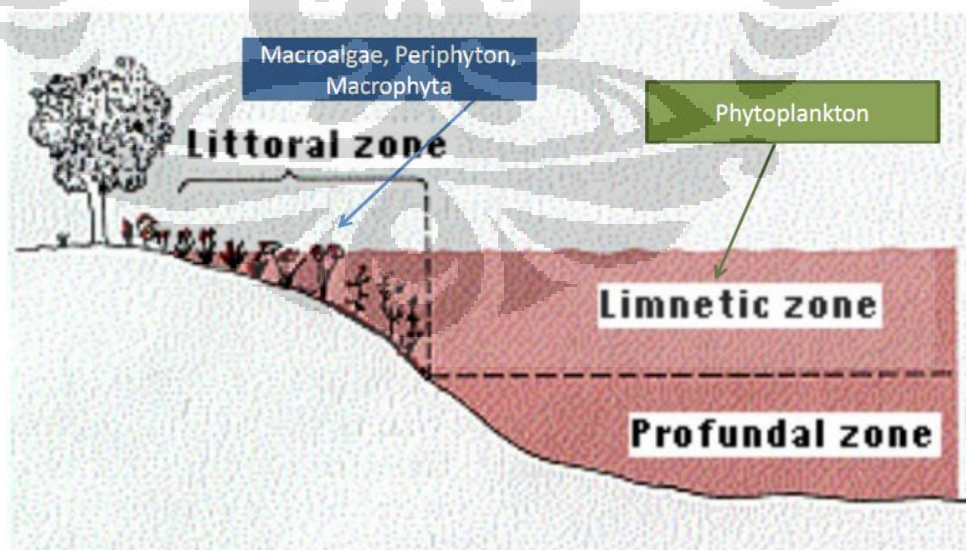
- Bakteri : *Pseudomonas*, *Caulobacter*, *Nevskia*, *Hyphomicrobium*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Micrococcus*
- Cyanobacteria : *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*
- Jamur : *Cladosporium*
- Alga : *Chromulina*, *Botrydiopsis*, *Navicula*, *Nautococcus*
- Protozoa : *Diffugia*, *Vorticella*, *Arcella*, *Acinet*



#### 2.4.3.2. Mikroba Danau

Danau adalah ceruk atau cekungan pada permukaan bumi yang berisi air. Berdasarkan intensitas cahaya yang masuk, danau terbagi menjadi 3 lapisan, yaitu zona litoral, zona limnetik dan zona profundal (Harpeni, 2011). Zona litoral dan zona limnetik merupakan zona eufotik yaitu zona berlangsungnya aktivitas fotosintetik. Kedalaman terendah dari penetrasi cahaya dimana aktivitas fotosintetik seimbang dengan aktivitas respirasi disebut kedalaman kompensasi.

- Zona litoral, daerah air dangkal, sinar matahari dapat menembus sampai dasar perairan. Organisme daerah litoral adalah tumbuhan yang berakar (didominasi tanaman air atau sebagian terendam air), tempat perlekatan alga berfilamen atau epifitik, udang, cacing dan fitoplankton
- Zona limnetik, daerah terbuka yang masih dapat ditembus oleh cahaya matahari. Organisme daerah didominasi produsen primer dan alga planktonik, yaitu plankton, neston dan nekton.
- Organisme zona profundal daerah dasar perairan tawar yang dalam sehingga sinar matahari tidak dapat menembusnya. Produsen sudah tidak ditemukan lagi.

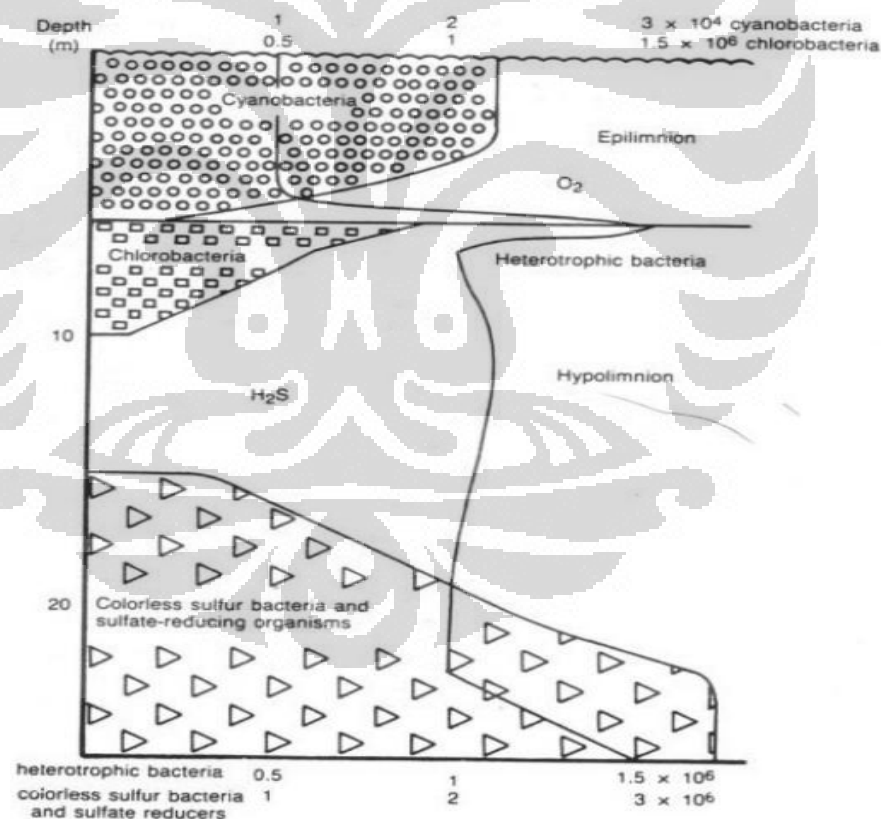


Gambar 0.5. Lapisan danau berdasarkan intensitas cahaya yang masuk

Sumber: Harpeni (2011)

Pada kondisi habitat air diam, mikroba membentuk suatu film permukaan yang disebut Neuston. Lapisan Neuston ini merupakan habitat yang cocok untuk mikroba fotoautotrofik (produser primer). Habitat air danau dikelompokkan berdasarkan produktivitas dan konsentrasi nutriennya, dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu :

- Oligotrofik, yaitu habitat yang memiliki konsentrasi nutrisi yang rendah. Habitat ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut: dalam, memiliki hipolimnion yang lebih luas dari epilimnion, produktivitas primer relatif rendah.
- Eutrofik, yaitu habitat yang memiliki konsentrasi nutrisi yang tinggi. Habitat ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut: lebih dangkal daripada danau Oligotrofik, laju produktivitas primer tinggi. Konsentrasi  $O_2$  biasanya rendah daripada di oligotrofik karena dekomposisi aerobik nutrisi organik yang ekstensi.



Gambar 0.6. Distribusi vertikal bakteri air danau

Sumber: Rheinheimer, G (1980)

Dari gambar diatas dapat dilihat, cyanobacteria berlimpah di daerah epilimnion. Pengurangan sulfat berlimpah pada daerah hypolimnion yang lebih rendah. Konsentrasi maksimal dari heterotrof terjadi tepat di bawah zona produksi fotosintetik maksimal dan pada permukaan sedimentasi air.

#### 2.4.3.3. Mikroba Sungai

Sungai adalah air tawar yang mengalir dari sumbernya di daratan menuju dan bermuara di laut, danau atau sungai yang lebih besar. Aliran sungai merupakan aliran yang bersumber dari limpasan, yaitu limpasan yang berasal dari hujan, gletser, limpasan dari anak-anak sungai dan limpasan dari air tanah. Aliran air dan gelombang secara konstan memberikan oksigen pada air. Suhu air bervariasi sesuai dengan ketinggian dan garis lintang.

Komunitas yang berada di sungai berbeda dengan danau. Sungai memiliki zona air deras (dangkal) dan zona air tenang (dalam) sehingga tidak mendukung keberadaan komunitas plankton untuk berdiam diri, karena akan terbawa arus. Organisme sungai dapat bertahan tidak terbawa arus karena mengalami adaptasi evolusioner. Misalnya bertubuh tipis dorsoventral dan kebanyakan dari mikroba yang ada di sungai menempel pada permukaan substrat seperti bebatuan.

Komposisi mikroba yang ada di dalam sungai sungai tergantung dari letak dan hulu sungai tersebut. Sungai yang banyak menerima limbah industri, pertanian akan berbeda komposisinya dengan sungai yang banyak menerima limbah dari rumah tangga (senyawa organik dan kimia). Pada ekosistem air tawar terdapat produsen primer, yaitu:

- a. *Single cell phytoplankton (microalgae)*
- b. *Periphyton*
- c. *Macroalgae*
- d. *Macrophyta*

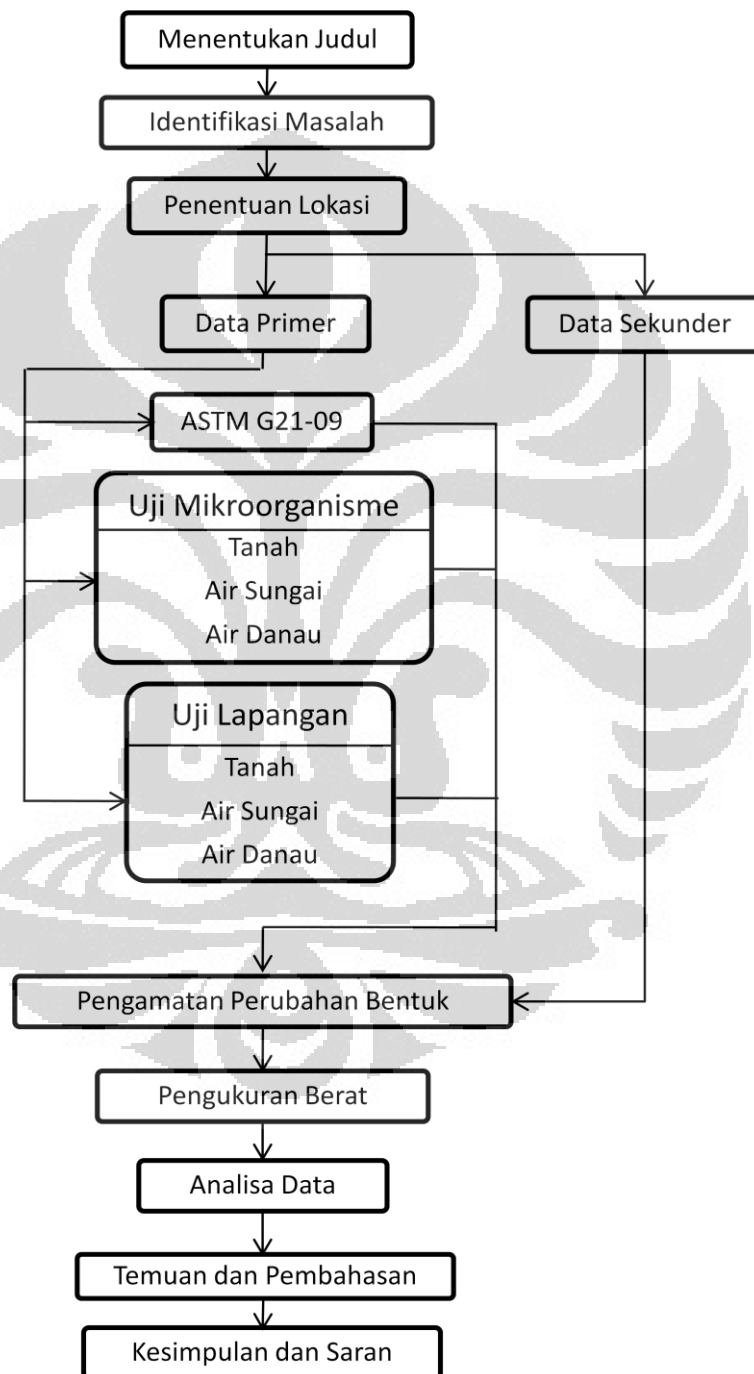
Dari keempat produsen primer diatas, tiga dari produsen tersebut hidupnya menempel pada suatu substrat. Tiga produsen primer tersebut adalah *Periphyton*, *Macroalgae* dan *Macrophyta* (Harpeni, 2011).

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metodologi

Metodologi dari penelitian degradabilitas plastik berbahan dasar pati dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 0.1. Bagan alir kegiatan penelitian

Sumber: Olahan Penulis, 2011

### 3.2 Benda Uji

Dalam pengujian ini digunakan 4 jenis benda uji, di antaranya adalah:

- a. Benda uji 1 (Sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas)  
Benda uji ini merupakan sampel film plastik biodegradabel dari produk ecoplas yang berbahan dasar campuran polietilen dengan pati. Sampel film plastik ini memiliki tebal 20  $\mu\text{m}$ , dimana lebih tipis dari plastik biodegradabel produk ecoplas. Benda uji ini masih berupa film plastik yang tidak mengandung pigmen atau zat pewarna plastik sehingga plastik ini belum siap untuk diedarkan di pasaran. Tujuan penulis menggunakan benda ini adalah untuk mengetahui penurunan berat dan perubahan bentuk dari benda uji 1 dalam waktu 8 minggu.
- b. Benda uji 2 (Plastik biodegradabel produk ecoplas)  
Plastik ini merupakan plastik biodegradabel produk ecoplas yang memiliki bahan dasar campuran polietilen dengan pati. Plastik ini memiliki tebal lebih besar dari benda uji 1, yaitu 30  $\mu\text{m}$ . Benda uji ini mengandung zat pewarna untuk memberikan label produksi pada plastik tersebut. Tujuan penulis menggunakan plastik ini adalah untuk membandingkan penurunan berat dan perubahan bentuk dengan benda uji 1.
- c. Benda uji 3 (Kontrol positif)  
Kontrol positif yang digunakan adalah terbuat dari *filter paper*. kontrol positif merupakan benda uji yang dapat dipastikan menghasilkan hasil yang positif, dengan kata lain, filter paper ini akan hancur atau terdegradasi secara sempurna.
- d. Benda uji 4 (Kontrol negatif)  
Kontrol negatif yang digunakan adalah terbuat dari plastik konvensional yang beredar dipasaran, yaitu HDPE (*High Density Polyethylene*). Sama halnya dengan kontrol positif, kontrol negatif merupakan benda uji yang jika diuji dengan pengujian ini akan menghasilkan hasil yang negatif. Atau dengan kata lain, kontrol negatif tidak akan mengalami degradasi (beratnya tidak berkurang).

Berikut ini adalah tabel yang menjelaskan perbedaan antara benda uji 1 dan benda uji 2.

Tabel 0.1. Perbedaan benda uji 1 dan benda uji 2

No	Keterangan	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	Kandungan Pati	60%	57%
2	Ketebalan	20 $\mu\text{m}$	30 $\mu\text{m}$
3	Zat Pewarna	tidak ada	ada

Sumber: Olahan Penulis, 2011

### 3.3 Pengujian ASTM G21-09

Pengujian akan dilakukan pada Laboratorium Balai Pengkajian Bioteknologi – BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Serpong. Sesuai dengan metode yang digunakan, pengujian ini dilakukan selama 2 minggu yang dimulai pada bulan Maret sampai awal bulan April.

#### 3.3.1 Pembuatan Media (*Nutrient Salt Agar*)

##### a. Alat

- Cawan petri besar
- Laminar
- Alat pengaduk
- Labu erlenmeyer
- Inkubator
- Timbangan analitik
- *Autoclave*

##### b. Bahan

- 1 liter air steril atau RO
- 0,7 gram  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- 0,7 gram  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 1,0 gram  $\text{NH}_4\text{NO}_3$
- 0,005 gram NaCl
- 0,002 gram  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 0,002 gram  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 0,001 gram  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- 15,0 gram Agar
- 0,7 gram  $K_2HPO_4$

c. Prosedur Kerja

- Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Steril peralatan dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ C$  selama 15 menit.
- Campurkan keseluruhan bahan kimia sesuai dengan berat yang telah ditentukan dengan 1 liter air steril.
- Atur pH media dengan menambahkan larutan NaOH 0,01 N sehingga setelah di steril pH media diantara 6 – 6,5.
- Setelah tercampur dengan rata, steril dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ C$  selama 20 menit.
- Media yang telah di steril dituang ke dalam cawan petri yang telah di steril sebelumnya.
- Keseluruhan langkah kerja dilakukan dalam keadaan steril di dalam laminar.

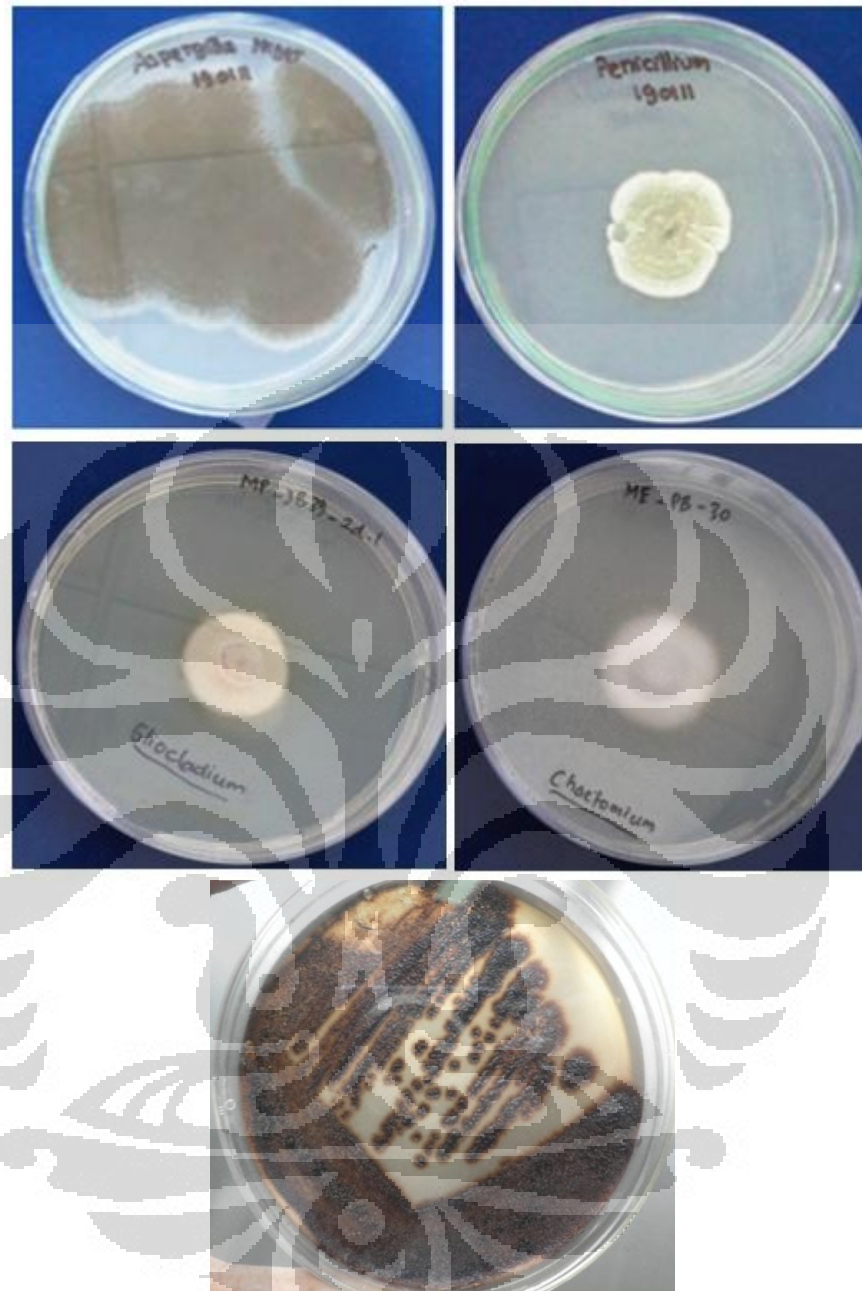
3.3.2 Pembuatan Larutan Spora

a. Alat

- Jarum ose
- Laminar
- *Haemocytometer*
- Mesin centrifuge
- Labu erlenmeyer 125 ml

b. Bahan

- Larutan tween 0,01% steril
- Biakkan ke lima kapang uji yang akan digunakan pada PDA
  - *Aspergillus niger*
  - *Penicillium pinophilum* / *Penicillium funiculosm*
  - *Chaetomium globosum*
  - *Gliocladium virens*
  - *Aureobasidium pullulans*



Gambar 0.2. Isolat kapang uji yang digunakan pada ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

c. Prosedur Kerja

- Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Steril peralatan dengan *autoclave* pada suhu  $121^{\circ}\text{C}$  selama 15 menit.



- Pelihara biakkan dari kelima kapang uji ini secara terpisah pada media PDA miring. Kapang uji yang dapat digunakan di inkubasi dengan suhu 28 – 30° C dalam waktu 7 – 20 hari untuk menyiapkan larutan sporanya.
- Tuang air steril sebanyak 10 ml atau larutan yang mengandung 0,05 g/L *nontoxic wetting agent* ke setiap biakan kapang uji. Kemudian gesek secara perlahan permukaan media yang ditumbuhi oleh kapang uji dengan menggunakan jarum ose agar spora kapang uji tersebut terangkat.
- Tuangkan isi larutan spora ke dalam labu erlenmeyer 125 ml yang telah diisi oleh air steril sebanyak 45 ml dan 10 – 15 *glass beads* dengan diameter 5 mm. Kocok labu dengan kuat untuk melepaskan spora dari media yang terbawa dan untuk memecahkan gumpalan spora.
- Saring hasil adukan melalui kain kasa steril dalam corong kaca ke labu steril untuk menghilangkan pecahan miselium.
- Cuci larutan spora dengan air steril. Masukkan larutan spora hasil saringan ke mesin *centrifuge* selama 5 menit dengan kecepatan 5000 rpm, kemudian buang sebagian cairan di bagian atas. Setelah itu isi kembali dengan air steril dan masukkan kembali ke mesin *centrifuge* dengan waktu dan kecepatan yang sama. Setelah itu buang kembali cairan di bagian atas.
- Ulangi prosedur pembuatan larutan spora ini untuk setiap organisme yang digunakan. Kemudian campurkan kelima larutan spora dengan kandungan spora/ml yang sama untuk mendapatkan campuran larutan spora yang akan digunakan pada pengujian ini.
- Larutan spora ini sebaiknya disiapkan ketika akan digunakan atau dapat disimpan didalam kulkas dengan suhu 3 – 10° C dengan lama penyimpanan tidak lebih dari 4 hari.

### 3.3.3 Pengujian Sampel

#### a. Alat

- Media *Nutrient Salt Agar*
- Sprayer
- Laminar
- Inkubator

- Timbangan analitik
  - Stopwatch
- b. Bahan
- Benda uji 1 berdiameter 10 cm 7 lembar
  - Benda uji 2 berdiameter 10 cm 1 lembar
  - Benda uji 3 berdiameter 10 cm 1 lembar
  - Benda uji 4 berdiameter 10 cm 1 lembar
  - Larutan spora
  - Bayclean
  - Air steril
- c. Prosedur Kerja
- Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Steril peralatan dengan *autoclave* pada suhu 121° C selama 15 menit.
  - Untuk sampel, plastik biodegradabel dan kontrol negatif disterilkan dengan mencelupkan selama 30 detik ke dalam bayclean 1 kali, kemudian di lanjutkan 30 detik dicelupkan kedalam air steril sebanyak 3 kali. Untuk kontrol positif, di sterilkan dengan *autoclave* selama 15 menit dengan suhu 121° C.
  - Keringkan benda uji dengan kertas saring steril.
  - Letakkan benda uji diatas media *nutrient salt agar* yang telah disiapkan di dalam cawan petri sebelumnya. Inokulasi larutan spora yang telah disiapkan dengan menggunakan *sprayer* ke seluruh permukaan agar dan benda uji. Sehingga seluruh permukaan agar dan benda uji dibasahi oleh larutan spora.
  - Inkubasi cawan petri tersebut selama waktu pengujian di dalam inkubator dengan range temperatur 25° – 28° C dengan kelembapan tidak kurang dari 85%.
  - Selama di inkubasi, benda uji dilihat perkembangannya per 7 hari.

### 3.4 Pengujian Mikroorganisme (Tanah, Air Sungai dan Air Danau)

Pengujian akan dilakukan pada Laboratorium Balai Pengkajian Bioteknologi – BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Serpong

yang dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Maret. Berikut ini adalah tabel waktu pengambilan sampel.

Tabel 0.2. Waktu pengambilan sampel pengujian Mikroorganisme

Pengujian	Januari				Februari				Maret	
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
Tanah	O		X		X		X		X	
Air Sungai	O		X		X		X		X	
Air Danau	O		X		X		X		X	

Keterangan:

O : Persiapan pengujian

X : Pengambilan sampel

Sumber: Olahan Penulis, 2011

### 3.4.1 Pembuatan Media Cair

#### a. Alat

- Labu erlenmeyer
- Laminar
- Alat pengaduk
- Timbangan analitik
- Autoclave

#### b. Bahan

- Tanah, air sungai dan air danau
- 1 liter air RO steril
- 1 gram  $\text{KH}_2\text{PO}_4$
- 1 gram  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$
- 5 gram  $\text{MgSO}_4$
- 0,5 gram Yeast

#### c. Prosedur Kerja

- Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Steril peralatan dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ\text{C}$  selama 15 menit.
- Campurkan keseluruhan bahan kimia sesuai dengan berat yang telah ditentukan dengan 1 liter air steril.

- Atur pH media dengan menambahkan larutan NaOH 2 N sehingga setelah di steril pH media 7.
- Setelah tercampur dengan rata, steril dengan *autoclave* pada suhu 121° C selama 15 menit.
- Media yang telah di steril dituang ke dalam labu erlenmeyer 250 ml yang telah di steril sebelumnya. Disetiap labu erlenmeyer diisi media cair sebanyak 45 ml dan ditambahkan air sungai, danau atau tanah sebanyak 5 ml. untuk tanah, dicampurkan dulu dengan air RO kemudian diaduk dan disaring.
- Keseluruhan langkah kerja dilakukan dalam keadaan steril.

### 3.4.2 Pengujian Sampel

#### a. Alat

- Inkubator
- Stopwatch
- Timbangan analitik

#### b. Bahan

- Benda uji 1 berukuran 2 x 2 cm 36 lembar
- Benda uji 2 berukuran 2 x 2 cm 12 lembar
- Benda uji 3 berukuran 2 x 2 cm 6 lembar
- Benda uji 4 berukuran 2 x 2 cm 6 lembar
- Bayclean
- Aquades
- Media cair

#### c. Prosedur Kerja

- Persiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Steril peralatan dengan *autoclave* pada suhu 121° C selama 15 menit.
- Benda uji disterilkan dengan mencelupkan selama 30 detik ke dalam bayclean 1 kali yang kemudian di lanjutkan 30 detik dicelupkan kedalam air steril sebanyak 3 kali.
- Keringkan benda uji dengan kertas saring steril.

- Masukkan benda uji yang telah disterilkan kedalam labu erlenmeyer yang telah berisikan media cair.
- Inkubasi benda uji di dalam *shaker* dengan kecepatan pengadukan 250 rpm dan temperatur 25° – 28° C dengan kelembapan tidak kurang dari 85%.
- Setiap 2 minggu inkubasi, keluarkan 3 sampel, 1 plastik biodegradabel, 1 kontrol positif dan 1 kontrol negatif dari media cair kemudian bilas dengan air RO dan keringkan dengan kertas saring. Setelah itu masukkan kedalam oven dengan suhu 30 – 40° C untuk memastikan benda uji benar-benar dalam keadaan kering.
- Setelah dikeringkan, timbang berat benda uji untuk mendapatkan berat akhir dari benda uji.

### 3.5 Pengujian Lapangan

#### 3.5.1 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian pengujian lapangan meliputi 3 wilayah, yaitu:

- Pengujian penguburan di dalam tanah dilakukan pada tanah yang berlokasi di samping lab bioteknologi BPPT, Serpong. Tanah ini termasuk ke dalam jenis tanah merah. Sebelum dilakukan penguburan, tanah ini dicampur dengan pupuk kandang dan kemudian didiamkan selama beberapa hari.
- Pengujian di dalam air sungai dilakukan pada sungai yang berlokasi di dalam komplek Taman Duta Cisalak, Depok. Sungai ini dikelilingi oleh pemukiman, sehingga tidak sedikit limbah cair rumah tangga (*gray water*) dibuang ke dalam sungai ini.
- Pengujian di dalam air danau dilakukan pada Danau Rawa Jemblung yang berlokasi di Kelurahan Harjamukti Kecamatan Cimanggis, Depok. Danau ini dikelilingi oleh beberapa kegiatan usaha, yaitu restoran, SPBU, Buperta dan beberapa pemukiman.

Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai dengan Maret. Berikut ini adalah tabel waktu pengambilan sampel.

Tabel 0.3. Waktu pengambilan sampel pengujian lapangan

Pengujian	Januari				Februari				Maret	
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
Tanah	O		X		X		X		X	
Air Sungai	O		X		X		X		X	
Air Danau	O		X		X		X		X	

Keterangan:

O : Persiapan pengujian

X : Pengambilan sampel

Sumber: Olahan Penulis, 2011

### 3.5.2 Metode Pengumpulan Data

#### a. Alat

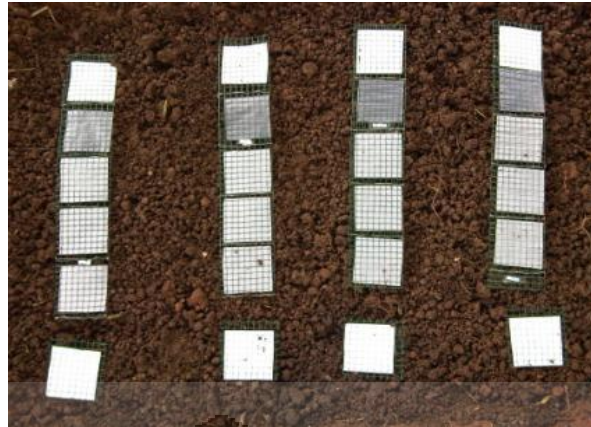
- Cangkul
- Jaring kawat
- Tali
- Tang
- Timbangan analitik

#### b. Bahan

- Benda uji 1 berukuran 10 x 10 cm 36 lembar
- Benda uji 2 berukuran 10 x 10 cm 12 lembar
- Benda uji 3 berukuran 10 x 10 cm 12 lembar
- Benda uji 4 berukuran 10 x 10 cm 12 lembar

#### c. Prosedur Kerja

- Sampel tanah: ukur dan catat berat awal dari seluruh benda uji. Kemudian letakkan benda uji di antara kawat berjaring dengan ukuran 1 cm<sup>2</sup>, hal ini bertujuan agar benda uji yang tersisa setelah penguburan masih dapat diteliti. Kemudian kubur jaring kawat tersebut dengan kedalaman 10 – 20 cm.



Gambar 0.3. Pengujian di dalam tanah

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

- Sampel air sungai: ukur dan catat berat awal dari seluruh benda uji. Kemudian letakkan benda uji di antara kawat berjaring dengan ukuran  $1 \text{ cm}^2$  dan diikatkan ke rangkaian bambu dan kawat dengan tali. Hal ini bertujuan agar benda uji yang tersisa setelah perendaman masih dapat diteliti. Kemudian masukkan benda uji ke dalam air sungai, pastikan jika terjadi surut benda uji tetap terendam di dalam air sungai.



Gambar 0.4. Pengujian di dalam air sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

- Sampel air danau: ukur dan catat berat awal dari seluruh benda uji. Kemudian letakkan benda uji di antara kawat berjaring dengan ukuran  $1 \text{ cm}^2$  dan diikatkan ke bambu dengan tali. Hal ini bertujuan agar benda uji yang tersisa setelah perendaman masih dapat diteliti. Kemudian

masukkan benda uji ke dalam air danau, pastikan jika terjadi surut benda uji tetap terendam di dalam air danau.



Gambar 0.5. Pengujian di dalam air danau

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pendahuluan**

Pada pengujian tingkat degradabilitas ini, sampel uji yang digunakan sebanyak 3 buah disetiap interval waktunya (2 minggu, 4 minggu, 6 minggu dan 8 minggu). Dengan menggunakan 3 sampel uji, maka akan didapatkan 3 variasi data pengurangan berat dan perubahan bentuk.

Seperti yang telah dijelaskan diatas, benda uji yang kedua merupakan plastik biodegradabel produk ecoplas yang berbahan dasar campuran polietilen dan pati yang umum digunakan oleh masyarakat. Apabila benda uji ini diuji tingkat degradabilitasnya dengan mengubur di dalam tanah yang kondisi lingkungannya telah ditentukan terlebih dahulu maka plastik tersebut akan terdegradasi sempurna dalam waktu 10 minggu. Kondisi lingkungan yang dimaksud adalah pH, jenis tanah, kandungan nutrisi tanah, kelembaban dan faktor lainnya yang dapat mempercepat proses degradasi. Di kedua pengujian yang dilakukan, penulis menggunakan lokasi pengujian pada tanah, sungai dan danau alami. Atau dengan kata lain, penulis tidak merekayasa kondisi alami dari tanah, sungai dan danau tersebut. Dengan begitu, maka tingkat degradabilitas benda uji ini diperkirakan tidak terlalu terlihat dalam jangka waktu 8 minggu. Maka dari itu plastik ini hanya digunakan 1 buah disetiap interval waktunya.

Pada pengujian ini, kontrol positif dan kontrol negatif yang digunakan masing-masing sebanyak satu buah disetiap interval waktu pengujian. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hasil akhir dari degradasi kedua kontrol ini sudah dapat dipastikan dan berfungsi hanya sebagai kontrol, maka variasi data dari kontrol positif dan negatif ini tidak diperlukan.

Adapun tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui perubahan bentuk dan berat dari benda uji. Penulis menggunakan tiga sampel uji dengan berat awal yang beragam. Dan pada analisa perubahan berat sampel yang digunakan adalah perbandingan berat awal sampel dengan pengurangan berat yang terjadi akibat pengujian berdasarkan interval waktu yang telah ditetapkan. Agar

didapatkan perbandingan yang sesuai dengan ketiganya, maka dilakukan perhitungan persentase pengurangan berat sampel dengan berat awal sampel.

#### 4.2 Pengujian ASTM G21-09

Pengujian pertama ini menggunakan kapang yang merupakan mikroba standar pengujian resistensi material polimer sintetik terhadap kapang yang dijelaskan ASTM G21-09 selaku metode standar pengujian tersebut. Terdapat 5 kapang yang digunakan pada pengujian ini, kelima kapang ini merupakan kapang pendegradasi yang sering ditemui di alam bebas. Kelima kapang yang digunakan yaitu *Aspergillus Niger*, *Penicillium Pinophilum*, *Gliocladium Virens*, *Chaetomium Globosum* dan *Aureobasidium Pullulans*.

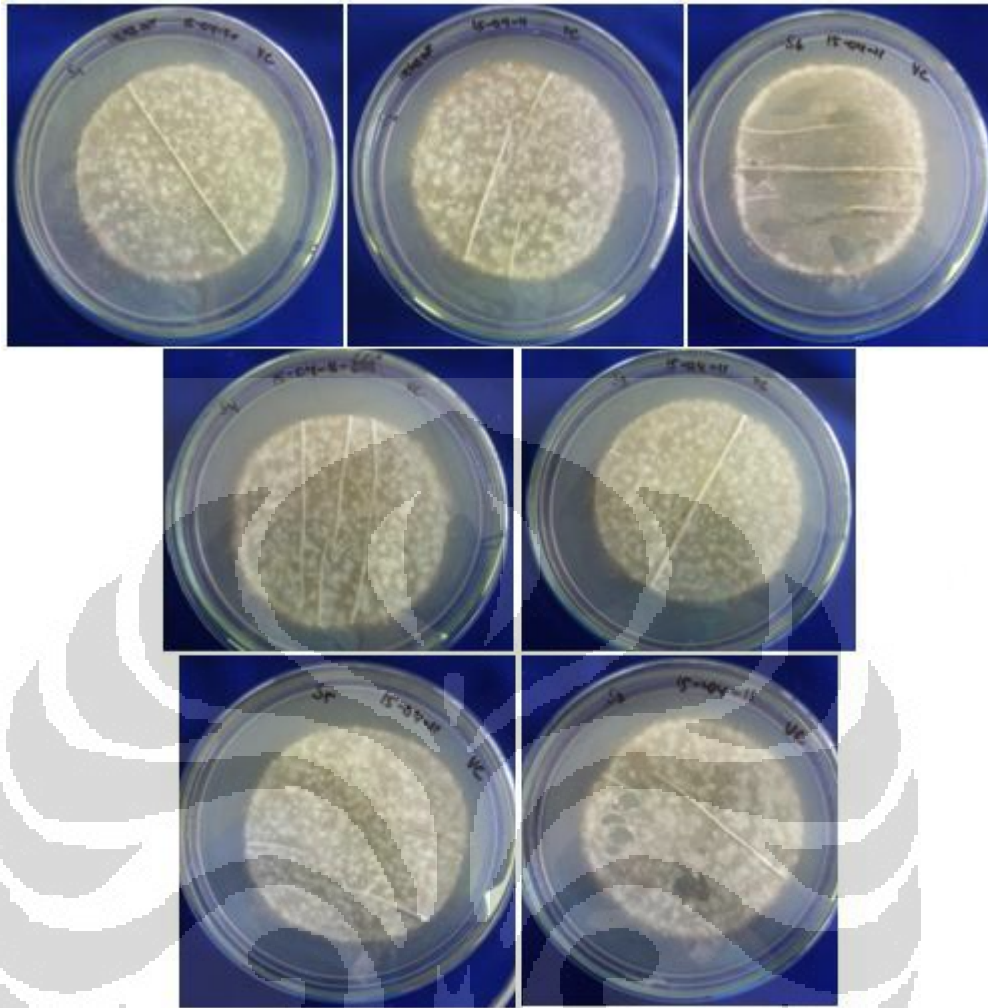
Pada metode ASTM terdapat parameter peringkat pertumbuhan kapang pada permukaan benda uji. Dibawah ini adalah tabel peringkat pertumbuhan kapang.

Tabel 0.1. Tabel penjelasan *rating* pertumbuhan kapang pada benda uji

No.	Observed growth on specimens	Rating
1	None	0
2	Traces of growth (<10%)	1
3	Light growth (10 – 30%)	2
4	Medium growth (30 – 60%)	3
5	Heavy growth (60% – to complete coverage)	4

Sumber: ASTM G21-09, 2009

Setelah pengujian ASTM G21-09 terhadap benda uji 1, maka dapat terlihat pertumbuhan kapang pada permukaan benda uji. Berikut ini adalah gambar pertumbuhan kapang tersebut.



Gambar 0.1. Benda uji 1 pada pengujian ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar diatas di ambil pada 2 minggu pengujian, terlihat bahwa pertumbuhan kapang pada ketujuh benda uji hampir diseluruh permukaan benda uji. Dari tabel peringkat pertumbuhan kapang diatas maka dapat dikatakan bahwa pertumbuhan kapang pada ketujuh benda uji 1 termasuk kedalam kategori peringkat tertinggi, yaitu persentase pertumbuhan kapang lebih dari 60% dari seluruh permukaan benda uji.

Dengan dihasilkannya pertumbuhan kapang pada permukaan benda uji 1, maka dapat disimpulkan bahwa dari ke lima kapang tersebut dapat menggunakan pati yang ada di dalam benda uji 1 sebagai bahan makanan. Pati tersebut digunakan dengan cara menghidrolisis pati yang terkandung dalam film plastik tersebut. Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul amilum

menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana seperti dekstrin, isomaltosa, maltosa dan glukosa. Enzim-enzim yang dapat menghidrolisis terdiri dari 3 kelompok, yaitu endoamilase, eksoamilase dan glucoamilase (pullulanase dan isoamilase). Adapun ke lima kapang penghasil enzim-enzim yang dapat menghidrolisis pati seperti yang dijelaskan diatas adalah sebagai berikut:

a. *Aspergillus Niger*.

Kapang ini menghasilkan enzim amilase, amiloglukosidase, selulase, laktase, invertase, pektinase, dan asam protease (Hartoto, 1980).

b. *Penicillium Pinophilum*

Merupakan kapang perwakilan dari Eurotiales dan hidup terutama pada zat organik biodegradable. Kapang ini termasuk kapang aerob yang dapat mendegradasi selulosa

c. *Chaetomium Globosum*

Merupakan kapang yang ditemukan di dalam tanah, yang dapat menghidrolisis pati dan menghasilkan enzim amilase (Sharma dan Shukla 2008).

d. *Gliocladium Virens*

Kapang ini menghasilkan ekstrak gliotoxin dan laminarinase, amilase, protease, carboxymethylcellulase, kitinase dan chitanase dalam tingkat rendah. (Tilburg dan Thomas, 1993).

e. *Aureobasidium Pullulans*

Kapang yang memproduksi enzim yang berbeda, yaitu siderophores dan pullulanase (Gandjar, 2006).

Pengujian ini juga menggunakan media kosong sebagai media standar ASTM dengan tujuan untuk memperlihatkan bahwa kapang dapat hidup, namun tidak optimal. Hal ini dapat terlihat pada gambar di bawah, bahwa pertumbuhan kapang pada media kosong masuk kedalam peringkat 1, yaitu <10%. Pada media kosong ini hanya terdapat satu koloni kapang, yang ditunjukkan dengan lingkaran berwarna merah pada gambar berikut ini.



Gambar 0.2. Media tanpa benda uji yang diberikan larutan spora

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Benda uji selanjutnya adalah plastik biodegradable produk ecoplas berbahan dasar campuran polietilen dan pati dengan kandungan pati sebesar 57%, memiliki tebal 30  $\mu\text{m}$  dan mengandung pigmen sebagai pewarna plastik dan label produksi. Adapun hasil temuan dari pengujian ini adalah pada permukaan benda uji 2 tidak terjadi pertumbuhan kapang. Sesuai dengan hasil pengujian pada benda uji 1 yang kandungan patinya sebesar 60%, tebal 20  $\mu\text{m}$  dan tidak memiliki pigmen warna, terjadi pertumbuhan kapang pada permukaannya. Dari kedua benda uji ini dapat disimpulkan bahwa selama 4 minggu pengujian, pertumbuhan kapang tidak terjadi pada permukaan plastik biodegradabel produk ecoplas yang mengandung pigmen warna.

Hal ini disebabkan karena benda uji 2 memiliki kandungan pigmen yang tidak dimiliki oleh benda uji 1. Diperkirakan kelima kapang tersebut bukan tidak dapat tumbuh pada benda uji ini, namun membutuhkan waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan benda uji 1 untuk melalui proses adaptasi dengan substrat tersebut. Dapat dikatakan bahwa tinta yang digunakan dalam memproduksi benda uji 2 ini bukan merupakan tinta biodegradabel yang dapat dengan mudah diterima oleh kelima kapang yang digunakan pada pengujian ini. Berikut adalah gambar tampak atas benda uji 2 yang menunjukkan tidak terjadinya pertumbuhan kapang.



Gambar 0.3. Tampak atas benda uji 2 pengujian ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Temuan selanjutnya adalah terjadi pertumbuhan kapang seperti titik-titik yang berwarna hitam. Pada pengujian ini kapang yang terlihat berwarna hitam adalah *Aspergillus Niger* dan *Aureobasidium Pullulans*. Jika dilihat dari warnanya, maka kapang tersebut dapat dikatakan *Aspergillus Niger* atau *Aureobasidium Pullulans*. Namun jika dilihat dari bentuk yang terlihat seperti titik-titik hitam, penguji tidak dapat menentukannya. Karena tidak dilakukan pengujian lanjutan untuk mengidentifikasi kapang tersebut.

Namun jika dilihat dari tempat kapang itu tumbuh, kapang tersebut dapat dikatakan sebagai *Aspergillus Niger*. Kapang ini tumbuh dibawah benda uji, yaitu diantara benda uji dengan media agar. Berdasarkan oksigen bebas yang ada di lingkungan kapang dapat dikelompokkan sebagai kapang aerob (hampir semua kapang) dan kapang anaerob. Dilihat dari letak pertumbuhannya, maka kapang yang tumbuh tersebut merupakan kapang yang dapat hidup dalam keadaan kandungan oksigen yang sangat minim, atau disebut dengan anaerob fakultatif.

*Aspergillus Niger* merupakan jenis kapang yang bersifat fakultatif, dapat berkembang dalam kondisi aerob maupun kondisi anaerob. Denning dan Hall menyebutkan dalam penelitiannya, *Aspergillus Niger* dapat tumbuh dalam 3 hari pada kondisi kandungan oksigen mencapai 0 – 5 %. Maka dari itu dapat

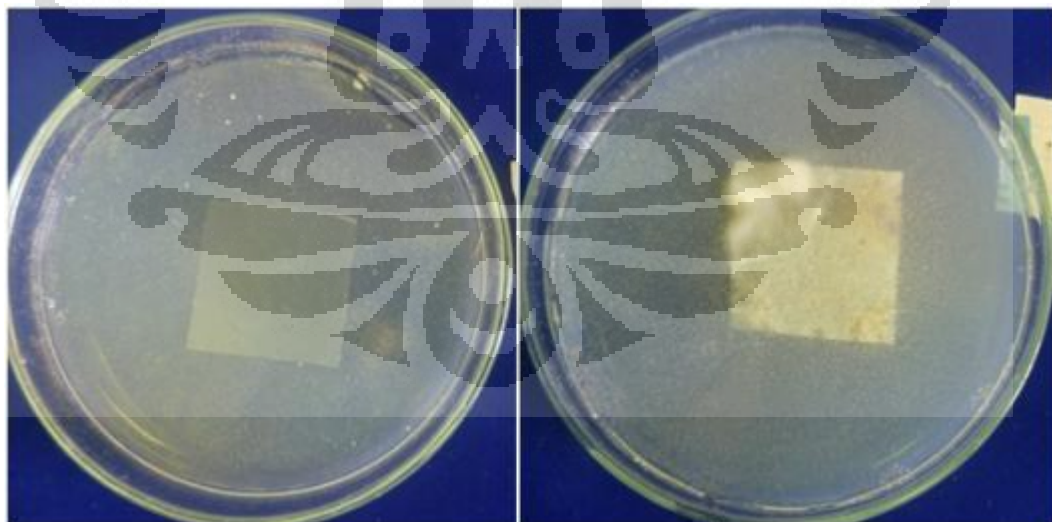


dikatakan kapang yang berbentuk titik-titik hitam dan dapat hidup dalam kondisi anaerob fakultatif, yang tumbuh diantara media dan benda uji adalah kapang *Aspergillus Niger*. Berikut adalah gambar tampak belakang yang memperlihatkan terjadinya pertumbuhan kapang *Aspergillus Niger*.



Gambar 0.4. Tampak belakang benda uji 2 pengujian ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

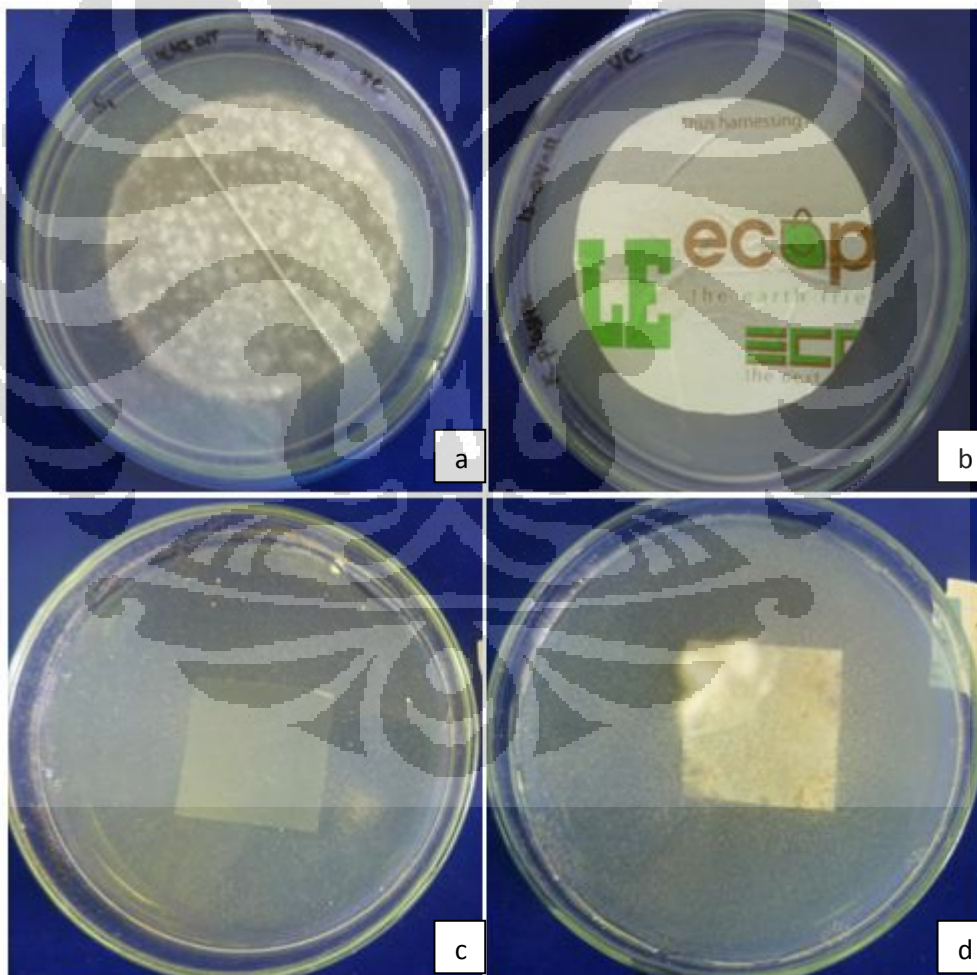


Gambar 0.5. Kontrol negatif dan kontrol positif pada pengujian ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar 4.5 memperlihatkan kontrol negatif dan kontrol positif yang dilakukan pengujian ASTM G21-09 selama 28 hari. Hasilnya menunjukkan tidak ada pertumbuhan kapang sama sekali pada permukaan kontrol negatif, yang ada hanya pada bagian medianya saja. Hal ini disebabkan dari sifat densitas polimer sintesis HDPE yang tinggi sehingga benda uji ini tidak dapat ditumbuhi oleh kapang tersebut.

Selain itu, gambar diatas juga menunjukkan terdapat pertumbuhan yang cukup baik, yaitu berdasarkan tabel 4.2 benda uji ini masuk ke dalam peringkat 4. Hal ini disebabkan karena kontrol positif mengandung bahan organik yang tinggi yang dapat dimanfaatkan oleh kelima kapang tersebut.



Gambar 0.6. Perbandingan ke empat benda uji pada pengujian ASTM G21-09

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011



Gambar 4.6 menunjukkan bahwa pertumbuhan kapang pada permukaan benda uji yang mengandung kadar organik yang tinggi, terlihat seperti pada Gambar (a) dan (d) yang menunjukkan pertumbuhan peringkat 4. Dan seperti yang telah dikatakan sebelumnya, benda uji 2 (b) memiliki kandungan organik yang tidak jauh berbeda dengan benda uji 1, namun benda uji 2 mengandung pigmen warna sehingga pertumbuhan kapangnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar (b). Gambar (c) adalah kontrol negatif yang tidak terjadi pertumbuhan kapang, seperti yang telah dijelaskan pada gambar 4.5.

### 4.3 Pengujian Skala Mikroorganisme

Tingkat degradasi yang menjadi tujuan dari pengujian ini sangat ditentukan oleh mikroorganisme pada lingkungan uji yang bekerja mendegradasi benda uji tersebut, oleh sebab itu dalam pengujian ini dilakukan pengujian dengan menggunakan mikroorganisme alami yang berada di dalam tanah, air sungai dan air danau yang dicampurkan dengan media cair pada tabung erlenmeyer. Pemilihan mikroorganisme yang digunakan dalam pengujian ini adalah berdasarkan lokasi kebiasaan manusia dalam membuang sampah plastik. Sehingga dapat diketahui pengaruh mikroorganisme dari ketiga lokasi tersebut dengan penurunan berat benda uji. Proses pengujiannya dilakukan dalam waktu 8 minggu dengan interval waktu pengambilan data per 2 minggu.

Pengujian ini dilakukan di dalam laboratorium dalam skala kecil dengan memperhatikan beberapa faktor lingkungan. Menurut Muller (2004), faktor lingkungan bukan hanya mempengaruhi degradasi polimer, namun juga mempengaruhi jumlah populasi mikroba dan aktifitas yang berbeda dari mikroorganisme itu sendiri. Kelembapan, temperatur, pH, salinitas, keberadaan oksigen dan kesediaan bermacam nutrisi merupakan beberapa faktor atau kondisi lingkungan yang mempunyai efek penting terhadap mikroba pendegradasi polimer.

Oleh karena itu, pada waktu melakukan pengujian biodegradabilitas plastik harus memperhatikan faktor-faktor tersebut. Faktor lingkungan yang diperhatikan pada pengujian ini adalah temperatur, keberadaan oksigen, pH, dan dalam kondisi steril (tidak terkontaminasi). Pengujian dilakukan di dalam

*shaker* dengan kecepatan goyangan 250 rpm dalam kondisi aerob, dengan mempertahankan suhu antara 27° C sampai 30° C, dan menggunakan media cair dengan pH 7.



Gambar 0.7. Tabung erlenmeyer dalam *shaker*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Media cair yang digunakan merupakan media yang miskin akan nutrisi, maka dengan digunakannya media cair ini diharapkan mikroorganisme yang berada di dalamnya akan mencari substrat atau bahan makanan lain sebagai sumber nutrisinya. Atau dengan kata lain diharapkan benda uji dapat dijadikan bahan makanan oleh mikroorganisme tersebut.

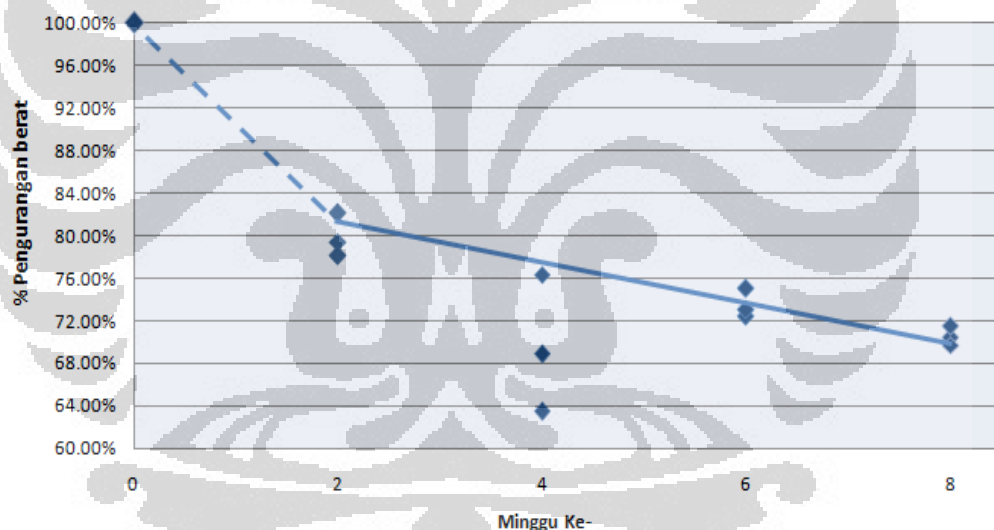


Gambar 0.8. Tabung erlenmeyer setelah dilakukan pengujian

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

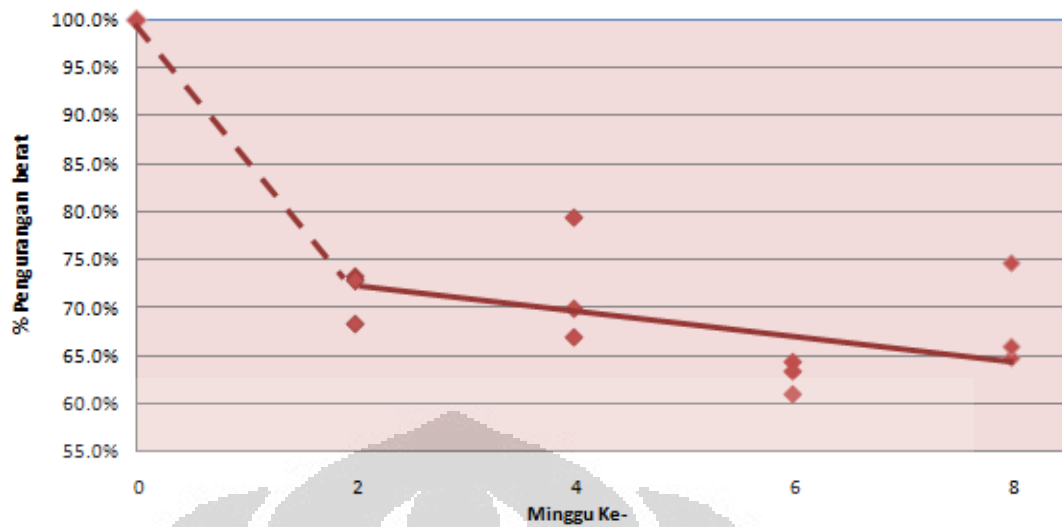
Pertumbuhan fungi yang diinokulasikan pada medium cair yang bergoyang ditandai dengan semakin keruhnya medium cair jika dibandingkan dengan keadaan awal inokulasi. Tabung Erlenmeyer yang terlihat pada gambar di atas adalah tabung yang berisikan media cair, benda uji dan mikroorganisme yang berasal dari ketiga lokasi. Gambar diatas menunjukkan bahwa terjadi pertumbuhan mikroorganisme, yaitu dengan ditunjukkan perubahan medium cair yang mengeruh dan juga terdapat endapan-endapan yang menempel pada dinding kaca erlenmeyer.

Dibawah ini adalah grafik-grafik yang menunjukkan persentase penurunan berat sampel yang disebabkan oleh mikroorganisme air danau, air sungai dan sampel tanah.

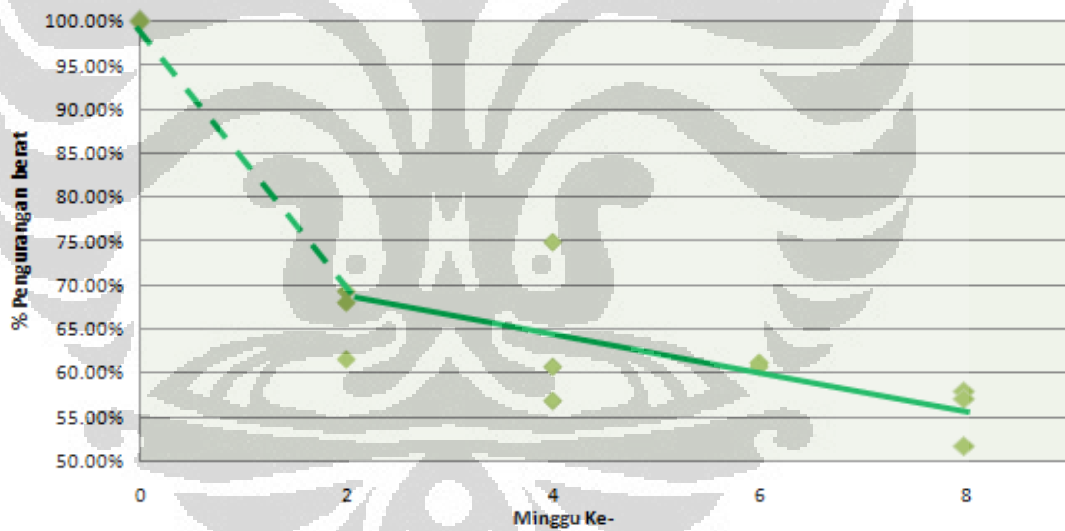


Gambar 0.9. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme air danau

Sumber: Olahan Penulis, 2011



Gambar 0.10. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme air sungai  
Sumber: Olahan Penulis, 2011



Gambar 0.11. Grafik persentase penurunan berat benda uji 1 pengujian mikroorganisme tanah  
Sumber: Olahan Penulis, 2011

Seperti yang telah dibahas diatas, interval waktu dari masing-masing percobaan adalah 2 minggu, 4 minggu, 6 minggu dan 8 minggu. Pada ketiga grafik di atas terlihat hasil penurunan berat setiap benda uji pada masing-masing interval waktu. Penulis menggunakan 3 benda uji disetiap interval waktu pengujian, pada grafik diatas benda uji tersebut digambarkan dengan simbol ♦.

Dari ketiga grafik terdapat garis linear yang menggambarkan korelasi antara penurunan berat benda uji dengan interval waktu pengujian. Garis linear ini dibuat untuk menunjukkan bahwa disetiap pengujian menghasilkan penurunan berat benda uji pada setiap interval waktunya. Garis linear yang dihasilkan dari masing-masing grafik cukup baik, yaitu terjadi penurunan berat benda uji. Namun jika dilihat dari persebaran data yang didapatkan grafik diatas kurang baik, hal ini didapat karena penulis hanya menggunakan 3 benda uji disetiap interval waktunya.

Penurunan berat benda uji yang terjadi pada pengujian skala mikroorganisme ini, disebabkan oleh mikroorganisme yang digunakan. Jika dilihat dari ketiga grafik diatas, grafik yang memiliki garis linear paling miring dibandingkan yang lain adalah grafik yang dihasilkan oleh pengujian laboratorium menggunakan tanah. Atau dengan kata lain degradasi yang paling baik, disebabkan oleh mikroorganisme yang terdapat pada tanah yang digunakan pada pengujian ini. Hal ini juga dapat dilihat dari tabel berikut ini.

Tabel 0.2. Tabel berat akhir rata-rata benda uji 1

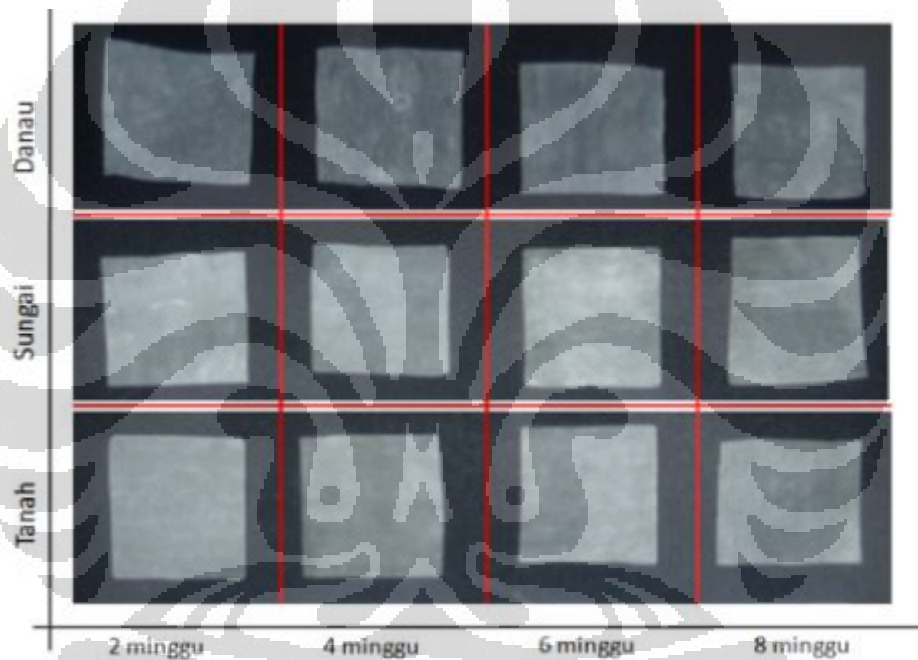
Interval waktu (minggu)	Mikroorganisme Uji		
	Danau	Sungai	Tanah
0	100%	100%	100%
2	79.90%	71.51%	66.29%
4	69.58%	72.14%	64.11%
6	73.48%	62.94%	60.94%
8	70.56%	68.43%	55.57%

Sumber: Olahan penulis, 2011

Tabel diatas merupakan tabel penurunan berat rata-rata benda uji 1 di setiap interval waktunya. Terlihat bahwa pengujian yang menggunakan mikroorganisme tanah menghasilkan angka yang paling kecil dibandingkan

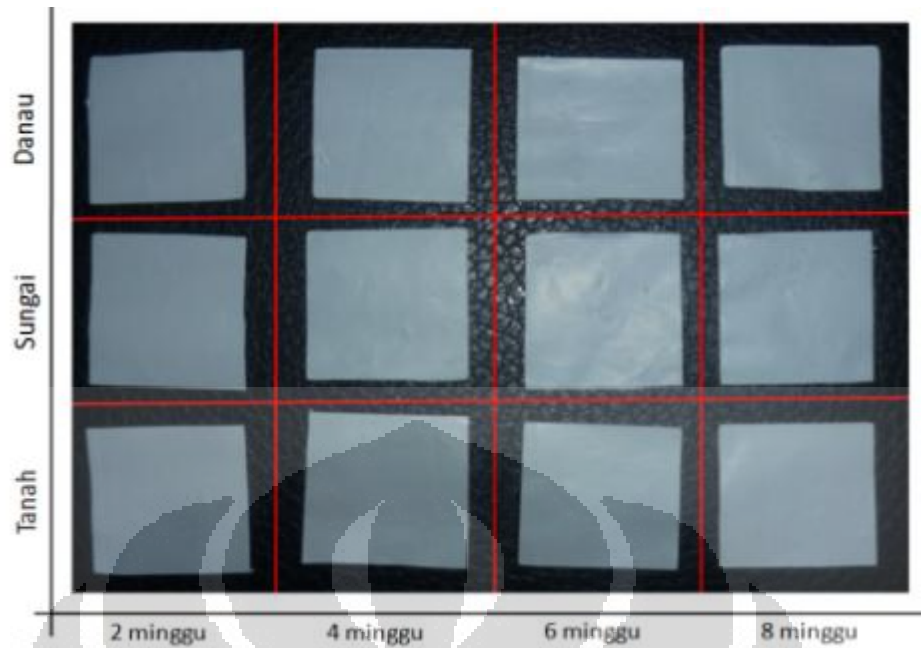
pengujian yang menggunakan mikroorganisme air sungai dan air danau. Hal ini dapat terjadi akibat tanah yang digunakan ditreatment terlebih dahulu dengan mencampurkannya dengan pupuk kandang sebelum digunakan dalam pengujian ini. Tentu saja hal ini dapat meningkatkan kandungan mikroorganisme yang berada pada tanah tersebut.

Dari kejadian ini, maka dapat disimpulkan bahwa jumlah mikroorganisme pendegradasi yang terdapat pada tanah lebih banyak jika dibandingkan dengan air sungai dan air danau yang digunakan pada pengujian ini. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan bentuk akhir dari ketiga jenis benda uji.



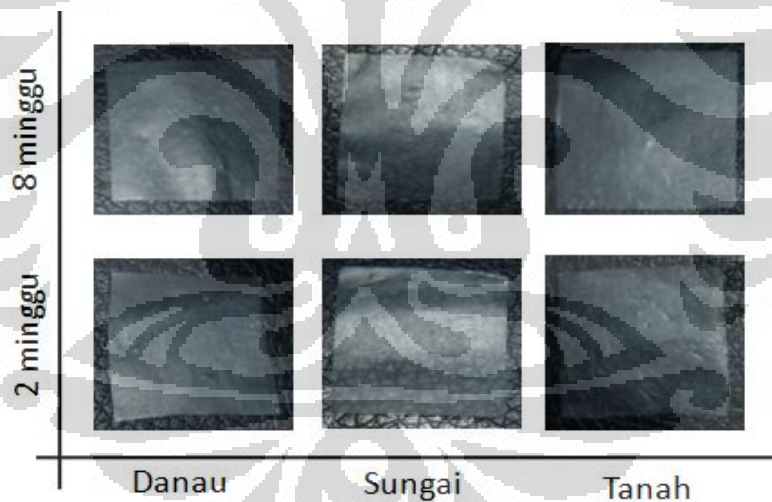
Gambar 0.12. Perubahan bentuk benda uji 1 pada pengujian mikroorganisme

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011



Gambar 0.13. Perubahan bentuk benda uji 2 pada pengujian mikroorganisme

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011



Gambar 0.14. Perubahan bentuk kontrol negatif pada pengujian mikroorganisme

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Dari ketiga gambar diatas terlihat bahwa tidak terjadi perubahan bentuk pada ketiga jenis benda uji. Namun jika dilihat dari tabel 4.3, benda uji 1 mengalami penurunan berat. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme yang digunakan dalam pengujian ini menyerang pada bagian permukaan benda uji



saja, tidak sampai menghasilkan lubang. Sama halnya dengan benda uji 1, benda uji 2 dan kontrol negatif tidak menunjukkan perubahan bentuk setelah pengujian. Berikut ini merupakan gambar kontrol positif pada tabung erlenmeyer.



Gambar 0.15. Kontrol positif pada pengujian laboratorium air danau, sungai dan tanah pada 2 minggu pengujian

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar diatas merupakan tabung erlenmeyer yang berisikan kontrol positif, media cair dan mikroorganisme yang digunakan. Kontrol positif yang digunakan adalah kertas saring, dimana kertas saring merupakan bahan organik yang mampu terdegradasi secara alami di alam. Sehingga dari ketiga perlakuan pengujian didapatkan pada minggu ke-2 pengujian kontrol positif terdegradasi secara sempurna.

#### 4.4 Pengujian Lapangan

Sama halnya dengan pengujian yang dilakukan pada skala mikroorganisme, pengujian lapangan ini menggunakan 3 perlakuan yang berbeda, yaitu dengan merendamnya kedalam sungai, danau dan menguburkannya kedalam tanah yang digunakan pada pengujian skala mikroorganisme. Pengujian ini dilakukan selama 8 minggu dengan interval waktu pengambilan data per 2 minggu.



#### 4.4.1 Perendaman di Air Danau

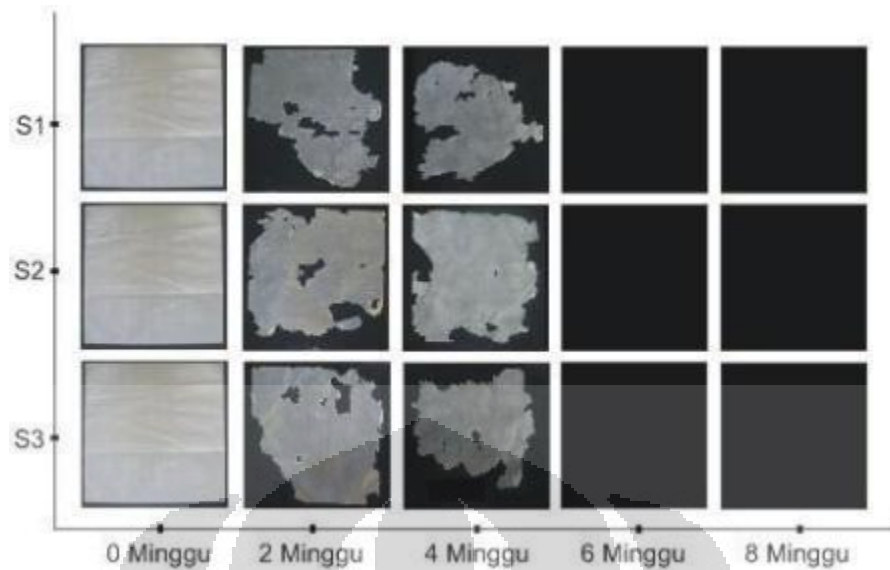
Pengujian pertama adalah perendaman benda uji pada air danau. Danau yang digunakan sebagai lokasi pengujian terletak di daerah Cibubur. Danau ini dikelilingi oleh pemukiman penduduk dan beberapa kegiatan usaha. Lokasi danau mempengaruhi jenis mikroorganisme yang berada di dalam danau tersebut. Berdasarkan teori yang telah dijelaskan pada bab 2, lokasi pengujian ini termasuk pada daerah litoral atau daerah danau yang dangkal. Benda uji diletakkan pada tepi danau yang dekat posisinya dengan tanah.



Gambar 0.16. Lokasi pengujian lapangan pada danau Cibubur

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Pengujian ini menggunakan benda uji 1 sebanyak tiga buah. Setelah dilakukannya pengujian ketiga benda uji tersebut, maka didapatkan perubahan bentuk benda uji yang terlihat pada gambar dibawah ini.

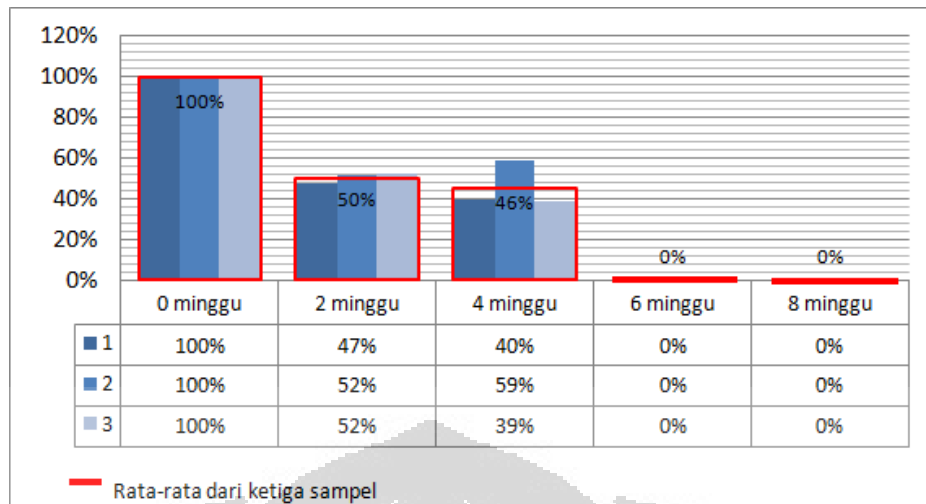


Gambar 0.17. Perubahan bentuk benda uji 1 pada perendaman air danau

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar diatas merupakan perubahan bentuk benda uji 1 setelah dilakukan pengujian di dalam air danau, terlihat pada minggu ke 2 dan ke 4 pengujian terdapat lubang-lubang pada benda uji 1. Hal ini menunjukkan degradasi yang terjadi tidak hanya dari bagian tepinya saja melainkan bagian tengah sampel juga terdapat lubang-lubang.

Lubang-lubang ini dapat terjadi mungkin diakibatkan oleh mikroorganisme dan ikan, siput/keong atau makroorganisme lainnya yang ikut membantu menghancurkan benda uji 1 ini. Hal ini sudah penulis buktikan dengan cara perendaman benda uji pada aquarium yang terdapat ikan didalamnya dan terlihat ikan tersebut memakan sampel uji yang telah penulis sediakan. Pada gambar diatas juga terlihat pada minggu ke 6 dan ke 8 benda uji habis terdegradasi. Berikut ini merupakan diagram batang penurunan berat yang dihasilkan dari pengujian perendaman benda uji di dalam danau.

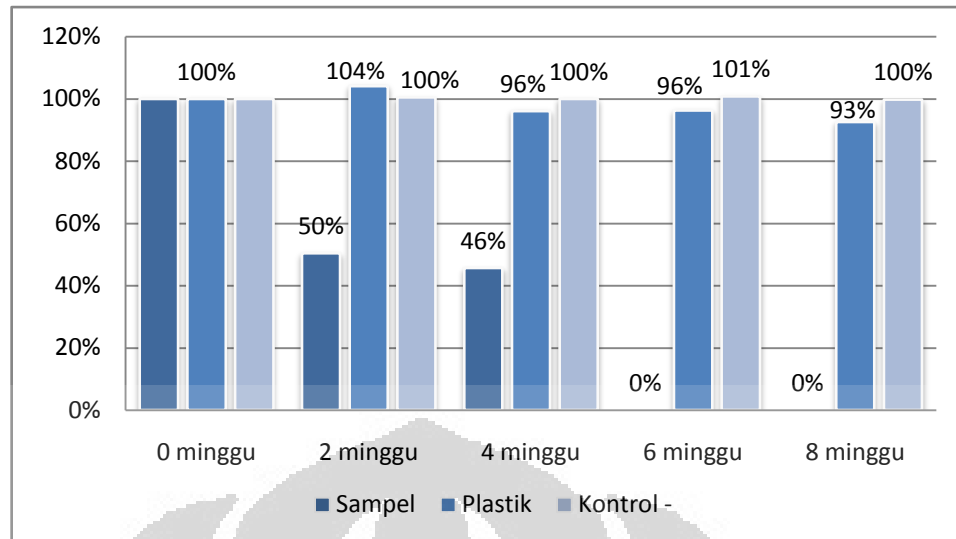


Gambar 0.18. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada perendaman air danau

Sumber: Olahan Penulis, 2011

Pada diagram diatas terlihat penurunan berat yang terjadi dari ketiga benda uji tersebut. Penurunan berat benda uji yang terjadi cukup signifikan, hal ini ditunjukkan benda uji habis pada minggu ke-6 dan ke-8. Hal ini dapat terjadi diakibatkan lokasi pengujian berada dalam wadah cair yang bergerak. Sehingga selain diakibatkan oleh mikro dan makroorganisme yang berada di dalam danau ini, penurunan berat benda uji disebabkan juga oleh arus atau tekanan yang terdapat pada danau tersebut.

Pada diagram diatas terdapat kotak merah yang menggambarkan rata-rata degradasi dari ketiga sampel tersebut. Pada minggu ke-2 hasil sisa rata-rata dari ketiga sampel adalah 50%, pada minggu ke-4 46% dan pada minggu ke-6 dan ke-8 adalah 0%. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pada pengujian terdapat empat jenis benda uji antara lain sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas, kontrol positif dan kontrol negatif. Setelah dilakukan pengujian pada perendaman di air danau didapatkan hasil perbandingan antara sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas dan kontrol negatif seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 0.19. Perubahan berat ketiga benda uji pada perendaman air danau

Sumber: Olahan Penulis, 2011

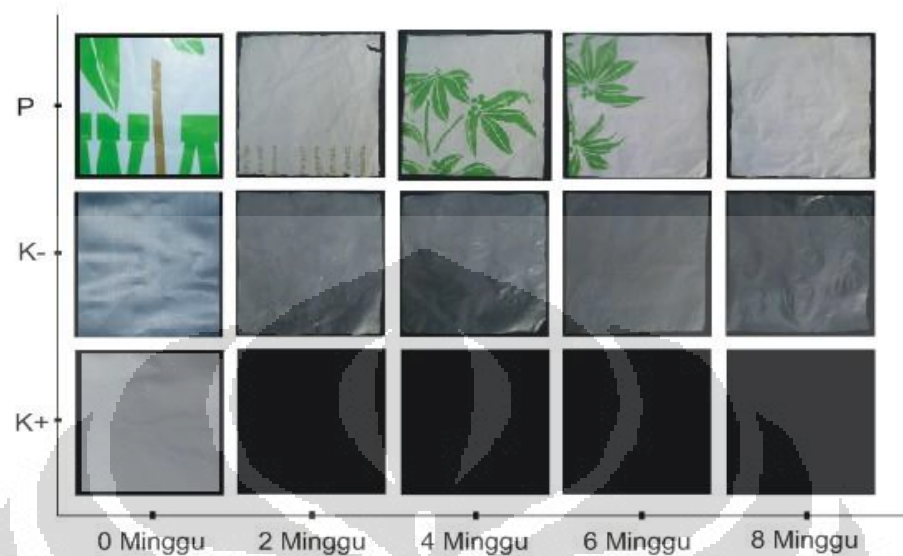
Benda uji yang pertama adalah sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas yang menjadi benda uji utama dalam pengujian ini. Diagram penurunan berat yang dibuat oleh sampel film plastik biodegradabel ini menunjukkan degradasi yang signifikan.

Benda uji yang kedua adalah plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran. Pada minggu ke-2 pengujian, berat benda uji bertambah sebesar 4% dari berat awal. Hal ini terjadi akibat pembersihan benda uji yang kurang sempurna setelah pengujian. Pada minggu ke-4 dan ke-6, pengurangan benda uji sebesar 4% dari berat awal dan pada minggu ke-8 sebesar 7%.

Benda uji ketiga adalah kontrol negatif (HDPE), dari ke-4 interval waktu pengujian benda uji ini tidak menunjukkan penurunan berat sama sekali, yaitu sampel tetap utuh 100%. Namun pada minggu ke-6 berat benda uji bertambah 1%, kemungkinan hal ini terjadi disebabkan oleh proses pembersihan benda uji yang kurang sempurna setelah pengujian.

Pada pengujian ini sebenarnya digunakan 2 buah kontrol, yaitu kontrol positif dan kontrol negatif. Pada grafik diatas yang ditunjukkan hanyalah kontrol negatif, karena untuk kontrol positif telah terdegradasi secara sempurna pada minggu ke-2, ke-4, ke-6 dan ke-8. Berikut ini merupakan gambar yang

menunjukkan bentuk akhir dari ketiga jenis benda uji, yaitu benda uji 2, kontrol negatif dan positif.



Gambar 0.20. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada perendaman air danau

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

#### 4.4.2 Perendaman di Air Sungai

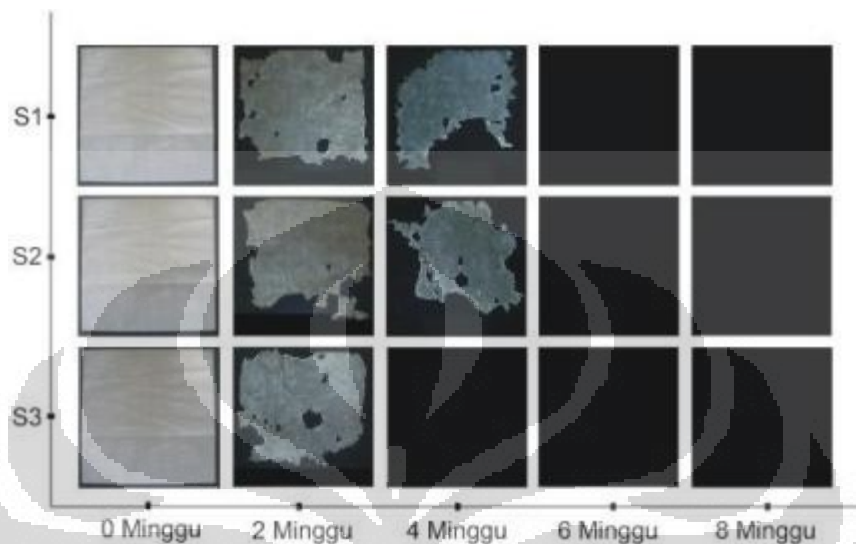
Pengujian kedua adalah perendaman benda uji di air sungai. Sungai yang digunakan sebagai lokasi pengujian dikelilingi oleh pemukiman penduduk. Lokasi sungai dapat mempengaruhi jenis mikroorganisme yang berada di dalam sungai tersebut.



Gambar 0.21. Lokasi pengujian lapangan pada sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Pengujian ini menggunakan benda uji 1 sebanyak tiga buah. Setelah dilakukannya pengujian ketiga benda uji tersebut, maka didapatkan perubahan bentuk benda uji yang terlihat pada gambar dibawah ini.



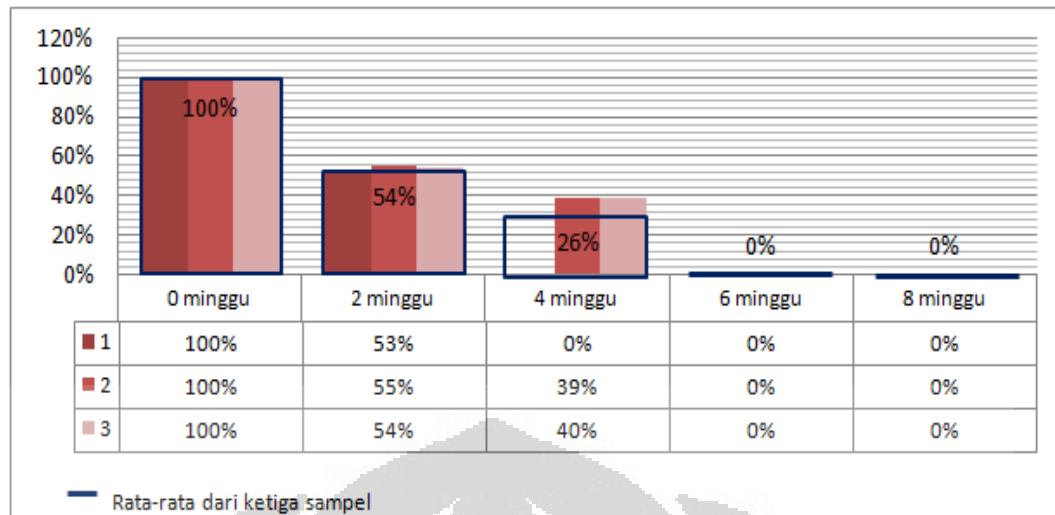
Gambar 0.22. Perubahan bentuk benda uji 1 pada perendaman air sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar diatas merupakan perubahan bentuk benda uji 1 setelah dilakukan pengujian di dalam air sungai, terlihat pada minggu ke 2 dan ke 4 pengujian terdapat lubang-lubang pada benda uji 1. Hal ini menunjukkan degradasi yang terjadi tidak hanya dari bagian tepinya saja melainkan bagian tengah sampel juga terdapat lubang-lubang akibat terdegradasi.

Lubang-lubang ini dapat terjadi mungkin diakibatkan oleh mikroorganisme dan ikan, siput/keong atau makroorganisme lainnya yang ikut membantu menghancurkan benda uji 1 ini. Hal ini sudah penulis buktikan dengan cara perendaman sampel pada aquarium yang terdapat ikan didalamnya dan terlihat ikan tersebut memakan sampel uji yang telah penulis sediakan. Pada gambar diatas juga terlihat pada minggu ke 6 dan ke 8 benda uji habis terdegradasi. Berikut ini merupakan diagram penurunan berat yang dihasilkan dari pengujian perendaman benda uji di dalam sungai.





Gambar 0.23. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada perendaman air sungai

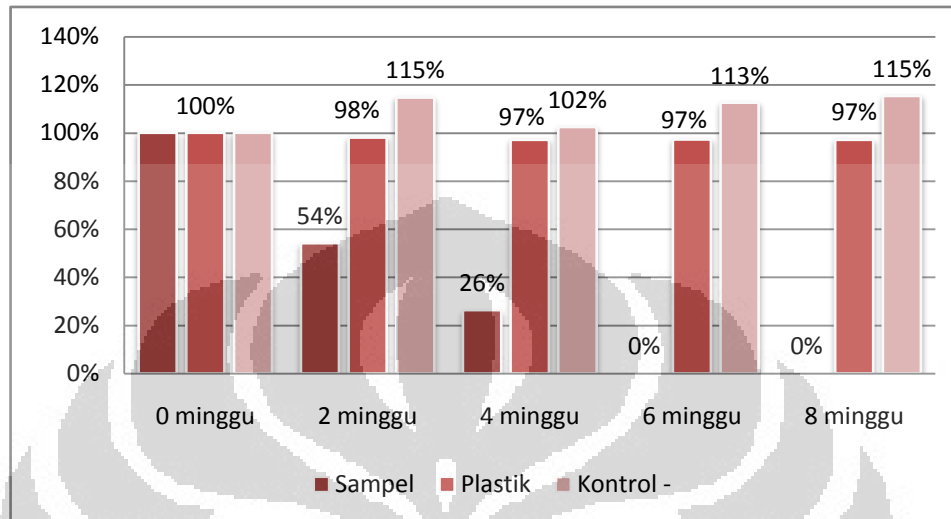
Sumber: Olahan Penulis, 2011

Pada diagram diatas terlihat tingkat penurunan berat yang terjadi dari ketiga benda uji 1 tersebut tidak jauh berbeda dengan pengujian yang dilakukan pada air danau, penurunan berat benda uji yang terjadi cukup signifikan. Hal ini ditunjukkan benda uji habis pada minggu ke-6 dan ke-8, namun terdapat perbedaan yang terjadi, yaitu sampel 1 habis pada minggu ke-4. Hal ini dapat terjadi diakibatkan lokasi pengujian berada dalam wadah cair yang bergerak. Sehingga selain diakibatkan oleh mikro dan makroorganisme yang berada di dalam danau ini, penurunan berat benda uji disebabkan juga oleh arus atau tekanan yang terdapat di danau tersebut. Terlebih lagi pada saat pengujian terjadi kenaikan muka air sungai yang cukup tinggi yang diakibatkan hujan turun.

Pada diagram diatas terdapat kotak biru yang menggambarkan rata-rata degradasi dari ketiga sampel tersebut. Pada minggu ke-2 hasil sisa rata – rata dari ketiga sampel adalah 54%, pada minggu ke-4 26% dan pada minggu ke-6 dan ke-8 adalah 0%.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pada pengujian terdapat empat jenis benda uji antara lain sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas, kontrol positif dan kontrol negatif. Setelah dilakukan pengujian pada perendaman di air sungai didapatkan hasil

perbandingan antara sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran dan kontrol negatif seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 0.24. Perubahan berat ketiga benda uji pada perendaman air sungai

Sumber: Olahan Penulis, 2011

Benda uji yang pertama adalah sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas yang menjadi benda uji utama dalam pengujian ini. Diagram batang yang dibuat oleh sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas ini menunjukkan penurunan berat benda uji yang cukup signifikan.

Benda uji yang kedua adalah plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran. Penurunan berat yang ditunjukkan oleh benda uji ini sedikit lebih rendah dibandingkan penurunan berat yang terjadi pada air sungai. Penurunan berat yang ditunjukkan oleh benda uji ini hampir dapat dikatakan tidak terjadi penurunan berat. Pada minggu ke-2 terjadi pengurangan sebesar 2% dari berat awal begitu juga pada minggu ke-4, 6 dan 8 terjadi pengurangan hanya 3% dari berat awal.

Benda uji ketiga adalah kontrol negatif (HDPE), dari ke-4 interval waktu pengujian benda uji ini tidak menunjukkan penurunan berat sama sekali. Proses pembersihan benda uji cukup sulit dikarenakan sungai memiliki kandungan lumut yang cukup tinggi. Oleh karena itu pada grafik di atas terlihat bahwa kontrol negatif bertambah beratnya sampai 15% pada minggu ke-2 dan ke-4.



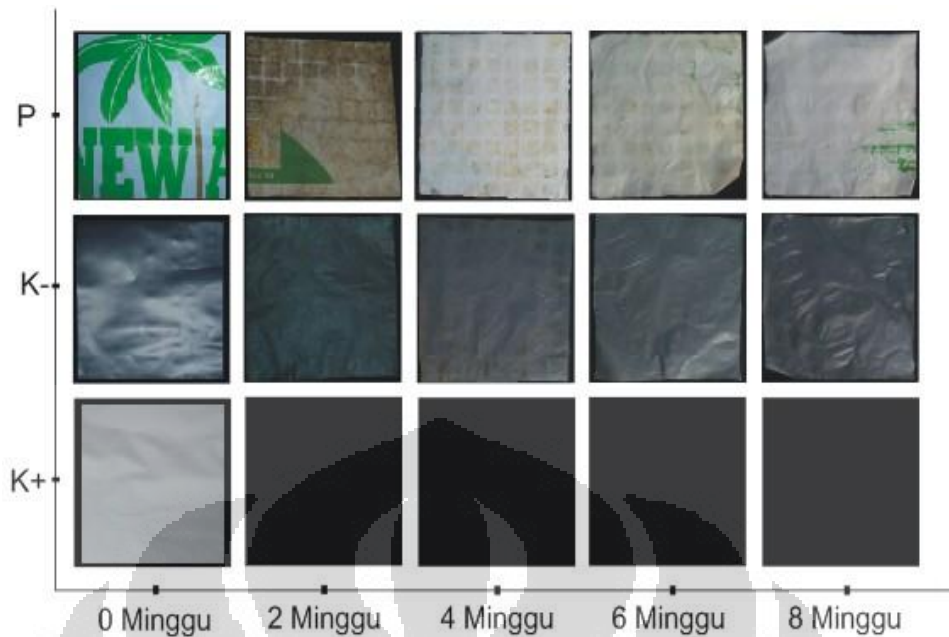
Sungai memiliki aliran yang lebih kuat dibandingkan dengan danau. Sehingga kebanyakan mikroba yang hidup didalamnya menempel pada permukaan substrat, seperti *periphyton*. Dari beberapa benda uji hasil perendaman di dalam air sungai banyak yang dilapisi oleh lumut. Oleh karena itu factor pembersihan benda uji pada pengujian kali ini sangat sulit jika dibandingkan dengan pengujian air danau dan tanah. Berikut ini merupakan gambar benda uji dilapisi oleh lumut. Gambar ini di ambil pada setelah 2 minggu perendaman di dalam air sungai.



Gambar 0.25. Lumut yang menyelimuti benda uji 1 pada perendaman air sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar dibawah ini merupakan gambar yang menunjukkan bentuk akhir dari ketiga jenis benda uji, yaitu benda uji 2, kontrol negatif dan positif. Terlihat bahwa benda uji 2 pada minggu ke 2 berwarna kecoklatan akibat lumut yang sulit dibersihkan. Dan bila diperhatikan lebih baik lagi, benda uji 2 pada minggu ke 4 sampai dengan ke 8 berwarna keruh juga, namun hal ini tidak sepele yang terlihat pada minggu ke 2.



Gambar 0.26. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada perendaman air sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Pada pengujian ini sebenarnya digunakan 2 buah kontrol, yaitu kontrol positif dan kontrol negatif. Pada grafik diatas yang ditunjukkan hanyalah kontrol negatif, karena untuk kontrol positif telah terdegradasi secara sempurna pada minggu ke-2, ke-4, ke-6 dan ke-8.

#### 4.4.3 Penguburan Dalam Tanah

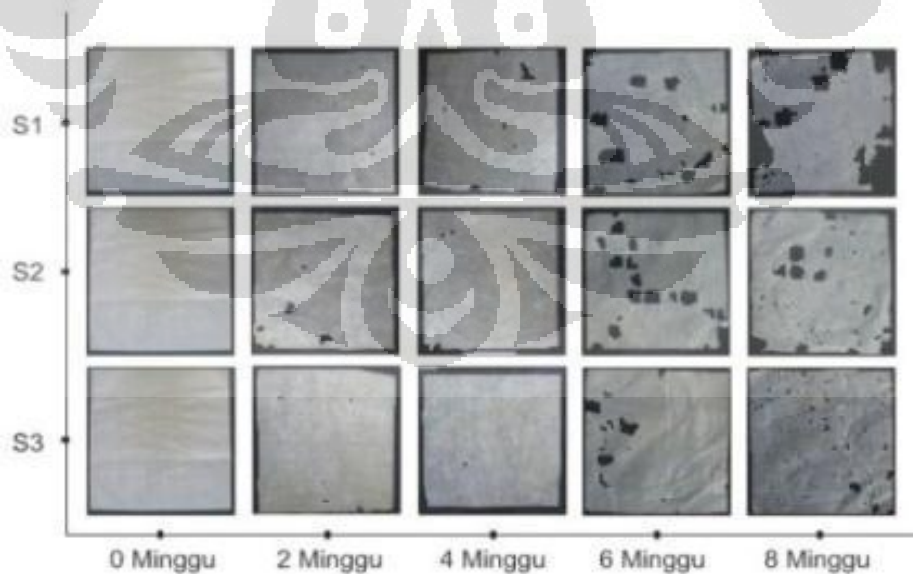
Pengujian ketiga adalah penguburan benda uji di dalam tanah. Tanah yang digunakan berlokasi di Serpong. Tanah ini sebelum digunakan untuk pengujian ditreatment terlebih dahulu dengan mencampurkannya dengan pupuk kandang. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan unsur hara sehingga dapat meningkatkan kandungan mikroorganisme pada tanah tersebut.



Gambar 0.27. Persiapan pengujian lapangan pada tanah Serpong

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Sama halnya seperti dua pengujian sebelumnya, pengujian ini menggunakan benda uji 1 sebanyak tiga buah. Setelah dilakukannya pengujian ketiga benda uji tersebut, maka didapatkan perubahan bentuk benda uji yang terlihat pada gambar dibawah ini.

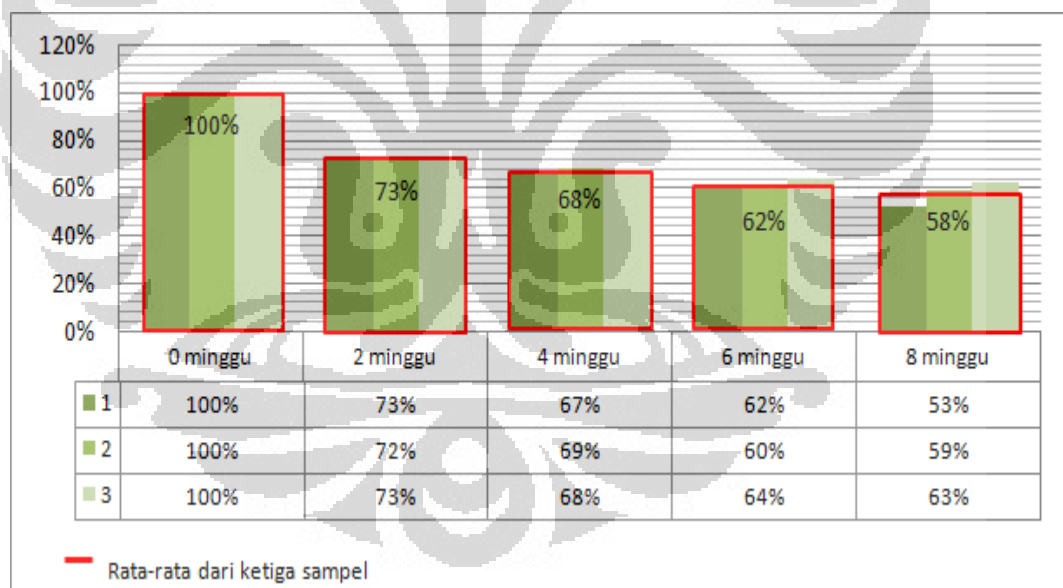


Gambar 0.28. Perubahan bentuk benda uji 1 pada penguburan di dalam tanah

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Gambar diatas merupakan perubahan bentuk benda uji 1 setelah dilakukan penguburan di dalam tanah. Terlihat pada gambar diatas terdapat lubang-lubang pada benda uji. Hal ini menunjukkan degradasi yang terjadi tidak hanya dari bagian tepinya saja melainkan bagian tengah sampel juga terdapat lubang-lubang akibat terdegradasi.

Lubang-lubang ini dapat terjadi diakibatkan oleh aktivitas biota tanah dalam merombak dan mendekomposisi bahan organik segar menjadi senyawa yang lebih sederhana. Benda uji yang digunakan dapat dijadikan bahan organik segar untuk biota tanah. Yang termasuk biota tanah adalah mikroorganisme dan makroorganisme. Terdapat hubungan simbiosis mutualistis antara mikroorganisme dengan makroorganisme dalam mengeksploitasi bahan organik. Berikut ini merupakan diagram penurunan berat yang dihasilkan dari pengujian penguburan di dalam tanah.



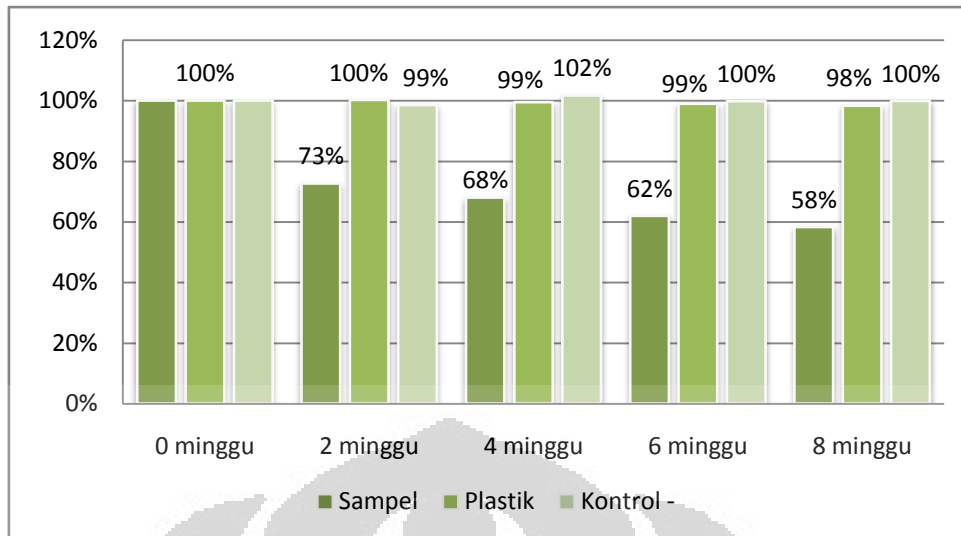
Gambar 0.29. Diagram persentase penurunan berat benda uji 1 pada penguburan di dalam tanah

Sumber: Olahan Penulis, 2011

Tidak seperti pengujian pada air sungai dan air danau, penurunan berat yang ditunjukkan pada tanah relatif stabil. Dan juga data yang didapatkan cukup seragam. Pada grafik di atas dapat terlihat tingkat penurunan berat dari ketiga sampel uji dan rata-rata penurunan berat yang digambarkan dengan kotak merah pada diagram. Penulis mengambil satu contoh penurunan berat yang terjadi pada minggu kedua pengujian yang terdapat dalam diagram diatas, dimana berat sampel pertama yang tersisa adalah 73%, sampel kedua adalah 72% dan sampel ketiga adalah 73%.

Pada suatu ekosistem tanah, yang berperan pada sebagian besar proses dekomposisi adalah mikroorganismenya, sedangkan makroorganismenya berperan dalam mengambil atau memanfaatkan aktivitas mikroorganismenya pada saat mendekomposisi bahan organik. Dari kalimat ini dapat disimpulkan bahwa makroorganismenya tanah tidak dapat langsung memanfaatkan benda uji, tidak sama halnya dengan pengujian yang ada pada air sungai dan air danau. Makroorganismenya yang terdapat di kedua lokasi pengujian tersebut dapat langsung memanfaatkan benda uji. Hal inilah yang menyebabkan penurunan berat benda uji yang terjadi pada pengujian penguburan di tanah relatif stabil. Selain itu makroorganismenya yang terlihat pada saat pengujian hanya ada sedikit, seperti cacing tanah, semut, rayap dan sedikit kaki seribu.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, pada pengujian terdapat empat jenis benda uji antara lain sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran, kontrol positif dan kontrol negatif. Setelah dilakukan pengujian pada penguburan di dalam tanah didapatkan hasil perbandingan antara sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas, plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran dan kontrol negatif seperti yang terlihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 0.30. Perubahan berat ketiga benda uji pada penguburan di dalam tanah

Sumber: Olahan Penulis, 2011

Benda uji yang pertama adalah sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas yang menjadi benda uji utama dalam pengujian ini. Diagram yang dibuat oleh sampel film plastik biodegradabel ini menunjukkan penurunan berat benda uji yang relatif stabil.

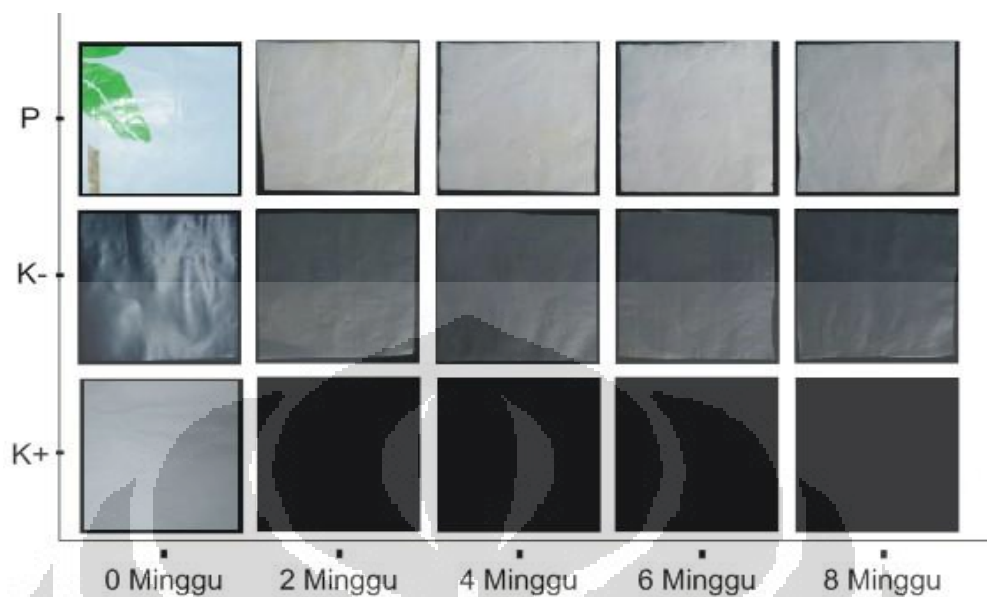
Benda uji yang kedua adalah plastik biodegradabel produk ecoplas yang beredar dipasaran. Penurunan berat yang ditunjukkan oleh plastik ini hampir dapat dikatakan tidak ada. Pada minggu ke-2 tidak terjadi penurunan berat, sehingga nilainya tetap 100%. Pada minggu ke-4 dan ke-6 berkurang hanya 1% dari berat awal dan di minggu ke-8 terjadi pengurangan 2% dari berat awal.

Benda uji ketiga adalah kontrol negatif (HDPE), dari ke-4 interval waktu pengujian benda uji ini tidak menunjukkan penurunan berat sama sekali, yaitu benda uji tetap utuh 100%. Namun pada minggu ke-4 berat benda uji bertambah 2%, kemungkinan hal ini terjadi disebabkan oleh proses pembersihan benda uji yang kurang sempurna setelah pengujian

Pada pengujian ini sebenarnya digunakan 2 buah kontrol, yaitu kontrol positif dan kontrol negatif. Pada grafik diatas yang ditunjukkan hanyalah kontrol negatif, karena untuk kontrol positif telah terdegradasi secara sempurna pada minggu ke-2, ke-4, ke-6 dan ke-8. Berikut ini merupakan gambar yang



menunjukkan bentuk akhir dari ketiga jenis benda uji, yaitu benda uji 2, kontrol negatif dan positif.

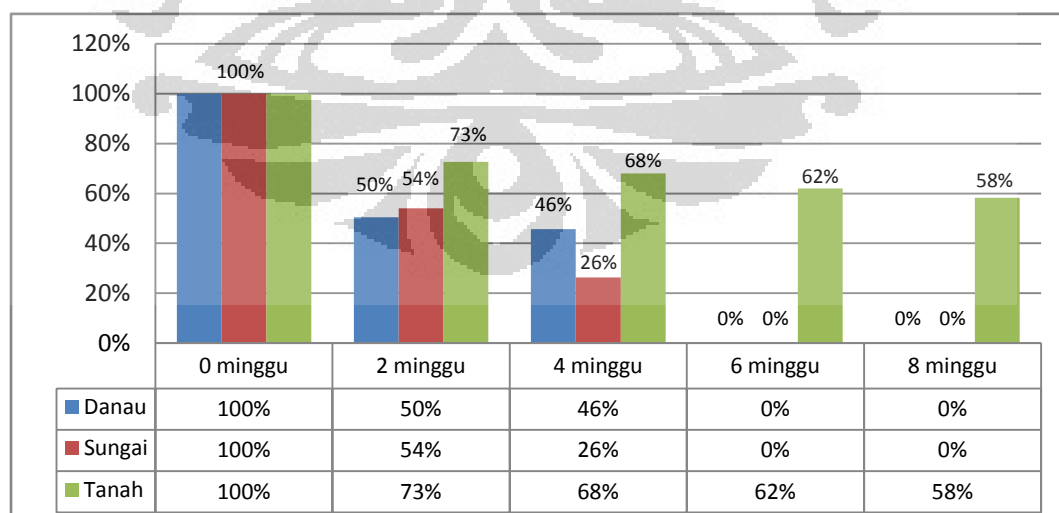


Gambar 0.31. Perubahan bentuk ketiga benda uji pada penguburan dalam tanah

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

#### 4.4.4 Analisa Gabungan Pengujian Lapangan

Setelah melakukan pengujian perendaman pada air danau, air sungai dan penguburan dalam tanah didapatkan hasil penurunan berat seluruh benda uji 1 yang terangkum pada diagram dibawah ini.



Gambar 0.32. Diagram gabungan penurunan berat benda uji 1 di ketiga lokasi

Sumber: Olahan Penulis, 2011

Jika dilihat dari diagram gabungan diatas, dari ketiga perlakuan pengujian yang berbeda, sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas berbahan dasar campuran polietilen dengan pati yang mengalami penurunan paling signifikan ditunjukkan pada pengujian yang dilakukan di air sungai dan air danau. Sementara penurunan berat sampel film plastik biodegradabel pada pengujian yang dikubur di dalam tanah terlihat relatif stabil atau dengan kata lain menunjukkan grafik yang linear.

Hal ini disebabkan karena pengujian dilakukan dalam 2 media atau wadah yang berbeda. Pengujian yang dilakukan di air sungai dan danau merupakan pengujian yang dilakukan didalam wadah air yang bergerak. Pada wadah air yang bergerak dapat menimbulkan tekanan atau arus yang dapat membantu menghancurkan benda uji. Selain itu hal ini memungkinkan benda uji yang sedang mengalami degradasi menjadi mudah rusak atau hancur menjadi bagian-bagian kecil, yang kemudian hancuran dari benda uji tersebut terbawa arus oleh aliran air. Oleh karena itu pada grafik terlihat bahwa pada minggu ke-6 dan 8 pada pengujian air sungai dan air danau menunjukkan nilai 0% dengan kata lain sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas habis.

Pada diagram juga terlihat bahwa pada minggu ke-4 pada air sungai, sampel 1 menunjukkan nilai 0%. Berbeda dengan pengujian yang dilakukan di dalam danau, pada minggu ke-4 sampel 1, 2 dan 3 masih menghasilkan sisa. Hal ini terjadi akibat sungai memiliki arus yang lebih besar dibandingkan danau. Sehingga penurunan berat pada sungai sedikit lebih cepat atau drastis dibandingkan dengan air danau.



Gambar 0.33. Keberadaan keong di benda uji 1 pada perendaman di air danau

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011



Pada gambar diatas, menunjukkan bahwa sampel film plastik biodegradabel yang direndam di dalam air danau tidak hanya didegradasi oleh mikroorganismenya saja, namun makhluk hidup seperti keong juga ikut memanfaatkan benda uji ini. Tidak hanya di dalam air danau, benda uji yang direndam di dalam air sungai juga dikonsumsi oleh keong itu, karena tidak jarang juga ditemukan keong yang menempel pada kawat-kawat yang melindungi benda uji pada air sungai ini. Selain keong yang seperti terlihat pada gambar diatas, diduga sampel film plastik ini juga dikonsumsi oleh ikan-ikan kecil, karena saat penulis mengangkat sampel dari sungai ataupun danau banyak terdapat ikan disekelilingnya.



Gambar 0.34. Ikan pada akuarium yang mencoba mengkonsumsi benda uji 1

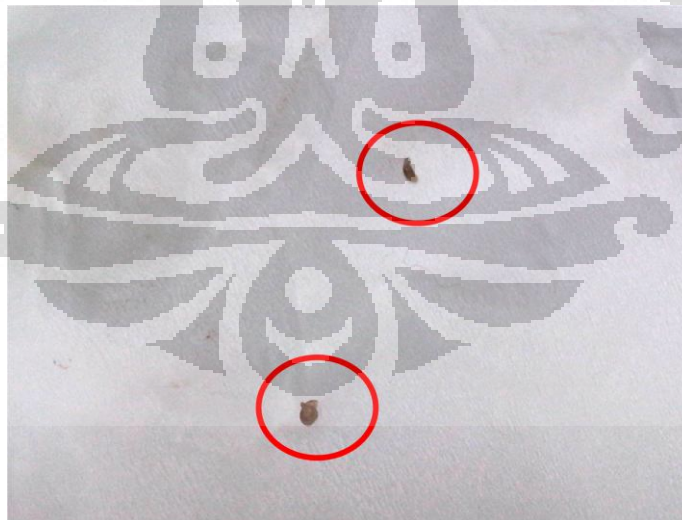
Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Dalam waktu pengujian, penulis mencoba memasukkan benda uji 1 dalam potongan-potongan kecil ke dalam akuarium yang berisikan dengan ikan-ikan kecil. Pada saat dimasukkan, ikan-ikan tersebut langsung memakan benda uji 1 tersebut. Tidak seperti kertas yang direndam kedalam air yang kemudian dapat dimakan oleh ikan, plastik memiliki sifat kuat tarik, sehingga ikan tidak begitu mampu mencernanya secara mekanik (mengunyah). Oleh karena itu, setelah ikan memasukkan benda uji 1 ke dalam mulutnya, benda uji 1 tersebut dimuntahkan kembali. Namun hal ini terus dilakukan, sehingga setelah 1 hari ditemukan potongan-potongan benda uji 1 tersebut tidak memiliki bentuk seperti awal lagi. Dan setelah 2 hari benda uji 1 tersebut telah habis dikonsumsi oleh ikan tersebut dan tidak terdapat ikan yang mati setelah 2 hari pengujian.

Dengan kata lain benda uji 1 tidak menyebabkan kematian makhluk hidup. Hal ini juga disebutkan Nolan pada bukunya, yaitu plastik biodegradabel dalam usus hewan tidak akan terdegradasi secara cepat dan tidak melukai hewan tersebut.

Lain halnya dengan benda uji 1, penulis juga memasukkan benda uji 4 atau kontrol negatif ke dalam akuarium. Setelah dimasukkan, ternyata ikan-ikan tersebut juga tertarik untuk memakan kontrol negatif tersebut. Namun setelah beberapa hari, kontrol negatif ditemukan dalam bentuk yang tidak jauh berbeda dengan awalnya dan jumlahnya pun tidak berkurang. Dari kejadian ini dapat disimpulkan bahwa ikan dapat merusak benda uji 1, namun tidak dapat merusak atau mengkonsumsi kontrol negatif.

Selain itu setelah 2 hari dimasukkannya kontrol negatif ke dalam akuarium, didapatkan 5 ikan kecil mati. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol negatif yang merupakan plastik dengan kandungan polietilen yang tinggi dapat mengakibatkan kematian pada makhluk hidup. Hal ini juga ditulis oleh Nolan pada bukunya tahun 2002, bahwa polusi plastik dilautan dapat mengakibatkan kematian spesies laut yang menelannya, karena menganggap polusi plastik tersebut adalah ubur-ubur, gurita atau organisme tak berbentuk lainnya.



Gambar 0.35. Cacing yang ditemukan pada saat pembersihan benda uji setelah perendaman air sungai

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Pada gambar diatas terlihat cacing diatas tisu, cacing ini didapatkan ketika membersihkan benda uji dengan cara merendamnya dengan air bersih selama 2 hari. Ketika penulis membersihkan wadah yang digunakan untuk merendam, penulis menemukan beberapa cacing seperti yang dilihat pada gambar diatas.

Dari beberapa gambar diatas maka dapat membuktikan bahwa sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas dapat terdegradasi atau berkurang beratnya tidak hanya disebabkan oleh mikroorganisme melainkan makroorganisme yang ada di air sungai dan air danau.



Gambar 0.36. Jenis tanah yang digunakan untuk penguburan benda uji

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Kembali ke Gambar 4.32 penurunan berat sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas yang dikubur di dalam tanah jauh lebih lambat dibandingkan dengan yang diuji di dalam air sungai dan air danau. Seperti yang telah dijelaskan pada pengujian dalam tanah, makroorganisme pada tanah hanya berperan dalam mengambil atau memanfaatkan aktivitas mikroorganisme pada saat mendekomposisi bahan organik.

Sehingga, jika pada air sungai dan air danau degradasi dilakukan oleh mikroorganisme dan makroorganisme yang ada, namun pada pengujian yang dilakukan di tanah makroorganisme tidak terlalu berpengaruh besar pada proses degradasi.



Gambar 0.37. Kontrol positif setelah dikubur di dalam tanah selama 6 hari

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2011

Pada pengujian yang dilakukan di tanah pada 6 hari penguburan, kontrol positif (kertas saring) belum terdegradasi sempurna atau belum mencapai 0%. Kontrol positif yang direndam di dalam air sungai dan danau sudah hancur atau habis di hari ke-2 perendaman. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi bahan organik yang dilakukan pada tanah lambat. Atau dengan kata lain, degradasi yang terjadi di air sungai ataupun danau lebih cepat dibandingkan degradasi yang dikubur di dalam tanah.

#### 4.5 Korelasi ketiga metode

Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan salah satu kelompok mikroorganisme, yaitu kapang. Kapang-kapang ini merupakan kapang pendegradasi yang sering ditemukan di lingkungan sekitar. Ternyata dari pengujian ini didapatkan hasil yang baik, karena persentase pertumbuhan kapang pendegradasi mencapai 80% dari seluruh permukaan benda uji 1 dalam 2 minggu pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa kapang-kapang pendegradasi yang sering ditemukan pada lingkungan sekitar dapat menggunakan pati yang berada di dalam benda uji 1 sebagai bahan makanan.

Pengujian berikutnya menggunakan yang lebih luas lagi, yaitu menggunakan mikroorganisme yang terdapat di alam bebas. Mikroorganisme yang digunakan diambil dari sungai, danau dan tanah. Pengujian ini bertujuan

untuk melihat degradasi yang disebabkan oleh mikroorganisme yang terdapat di ketiga lokasi tersebut. Lokasi pengambilan mikroorganisme tersebut dipilih berdasarkan kebiasaan manusia dalam membuang sampah. Adapun hasil dari pengujian ini adalah tidak terjadi perubahan bentuk benda uji dan perubahan berat yang relatif menurun dari ketiga pengujian mikroorganisme ini selama 8 minggu pengujian. Penurunan berat ini menunjukkan terjadi degradasi sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas oleh mikroorganisme yang digunakan. Jika dibandingkan ketiganya, pengujian tanah memiliki hasil degradasi yang lebih baik dibandingkan dengan air sungai dan air danau. Hal ini menunjukkan bahwa, tanah yang digunakan memiliki mikroorganisme pendegradasi yang lebih banyak dibandingkan pada air sungai dan air danau.

Pengujian terakhir merupakan pengujian yang lebih luas lagi, yaitu dengan menempatkan benda uji pada lokasi pengambilan mikroorganisme pada pengujian kedua, yaitu sungai, danau dan tanah. Pengujian terakhir ini bertujuan untuk melihat peran serta makroorganisme dan faktor-faktor lainnya untuk mendegradasi atau menghancurkan benda uji. Dari ketiga lokasi pengujian didapatkan perubahan bentuk dan berat benda uji dalam waktu 8 minggu pengujian, hal ini menunjukkan bahwa benda uji mengalami degradasi. Pada pengujian ini didapatkan penurunan berat dan perubahan bentuk yang paling baik dihasilkan pada perendaman benda uji dalam air sungai dan air danau. Hal ini disebabkan karena pengujian dilakukan pada media cair yang bergerak dan benda uji didegradasi oleh mikroorganisme dan makroorganisme yang terdapat pada lokasi pengujian tersebut. Maka dari itu dapat diketahui pada sungai dan danau memiliki jumlah makroorganisme yang lebih banyak dibandingkan pada tanah.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian mengenai evaluasi biodegradabilitas plastik berbahan dasar campuran pati dan polietilen menggunakan ASTM G21-09, uji mikroorganisme dan uji lapangan dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

- Pengujian dengan menggunakan metode ASTM G21-09 menghasilkan pertumbuhan kapang uji pada permukaan sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas masuk kedalam peringkat 4, yaitu mencapai 85% dari seluruh permukaan benda uji.
- Pengujian mikroorganisme alami yang di ambil dari air sungai, danau dan tanah menghasilkan perubahan berat sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas yang relatif menurun dan tidak terjadi perubahan bentuk pada sampel tersebut.
- Perubahan bentuk dan berat sampel film plastik biodegradabel produk ecoplas pada pengujian lapangan dengan perendaman di dalam air sungai dan danau penurunannya cukup signifikan dan dengan penguburan di dalam tanah mengalami penurunan, namun tidak signifikan.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan pembahasan-pembahasan sebelumnya, akan dikemukakan saran-saran sebagai berikut:

- Jumlah benda uji yang digunakan pada penelitian ini hanya sedikit disetiap jenis benda uji nya terutama untuk benda uji 1 dan 2, sehingga dihasilkan persebaran data yang kurang baik. Disarankan dalam penelitian selanjutnya menggunakan jumlah benda uji yang lebih banyak lagi, terutama pada pengujian mikroorganisme.
- Dalam pengujian ini tidak mencari tau mengenai jenis mikroorganisme apa saja yang mempengaruhi penurunan berat benda uji yang dilakukan pada pengujian mikroorganisme, maka dalam penelitian selanjutnya disarankan



untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang mempengaruhi penurunan berat benda uji.

- Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menemukan cara yang lebih efektif dalam pembersihan benda uji pada pengujian lapangan.
- Dilakukan pengukuran berat benda uji yang lebih teliti pada pengujian mikroorganisme, karena benda uji yang digunakan berukuran relatif kecil.
- Pada pengujian perendaman benda uji di dalam air sungai dan air danau dipengaruhi oleh faktor arus atau aliran air yang bergerak. Diharapkan pada penelitian selanjutnya membuat pengaman benda uji yang lebih baik lagi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, S. dan Clark, D. 2009. *Landfill Biodegradation An in-depth Look at Biodegradation in Landfill Environments*. Bio-tec Environmental, Albuquerque & ENSO Bottles, LLC, Phoenix. p. 9-11.
- Ambriyanto, KS. 2010. *Isolasi dan karakterisasi bakteri aerob pendegradasi selulosa dari serasah daun rumput gajah (*Pennisetum purpureum schaum*)*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Cheong, KS. et al. 2009. *Development of Biodegradable Plastic Composite Blends Based on Sago Derived Starch and Natural Rubber*. Malaysia: Universiti Putra Malaysia Press. *Pertanika J. Sci. & Technol.* 18 (2): 411-420.
- Chiellini, Emo. 2001. *Environmentally Degradable Polymers and Plastics (EDPs)-An Overview*. Italy: Dept of Chemistry and Industrial Chemistry, University of Pisa.
- Denning, D.W. dan Hall, L.A. 1994. *Oxygen Requirements of Aspergillus Species*. The Pathological Society of Great Britain and Ireland. *J.Med.Microbiol* : 41(311-315).
- Deswita. et al. 2007. *Modifikasi Polietilen Sebagai Polimer Komposit Biodegradable Untuk Bahan Kemasan*. Tangerang : Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN).
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Percetakan Kanisius Yogyakarta.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Percetakan Kanisius Yogyakarta.
- Firdaus, Feris dan Anwar Chairil. 2004. *Potensi Limbah Padat-Cair Industri Tepung Tapioka Sebagai Bahan Baku Film Plasrik Biodegradabel*. *Logika*. 1(2). ISSN: 1410-2315.
- Gandjar, Indrawati., et.al. 1999. *Pengenalan Kapang Tropik Umum*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Gandjar, Indrawati., et.al. 2006. *Mikologi Dasar dan Terapan*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

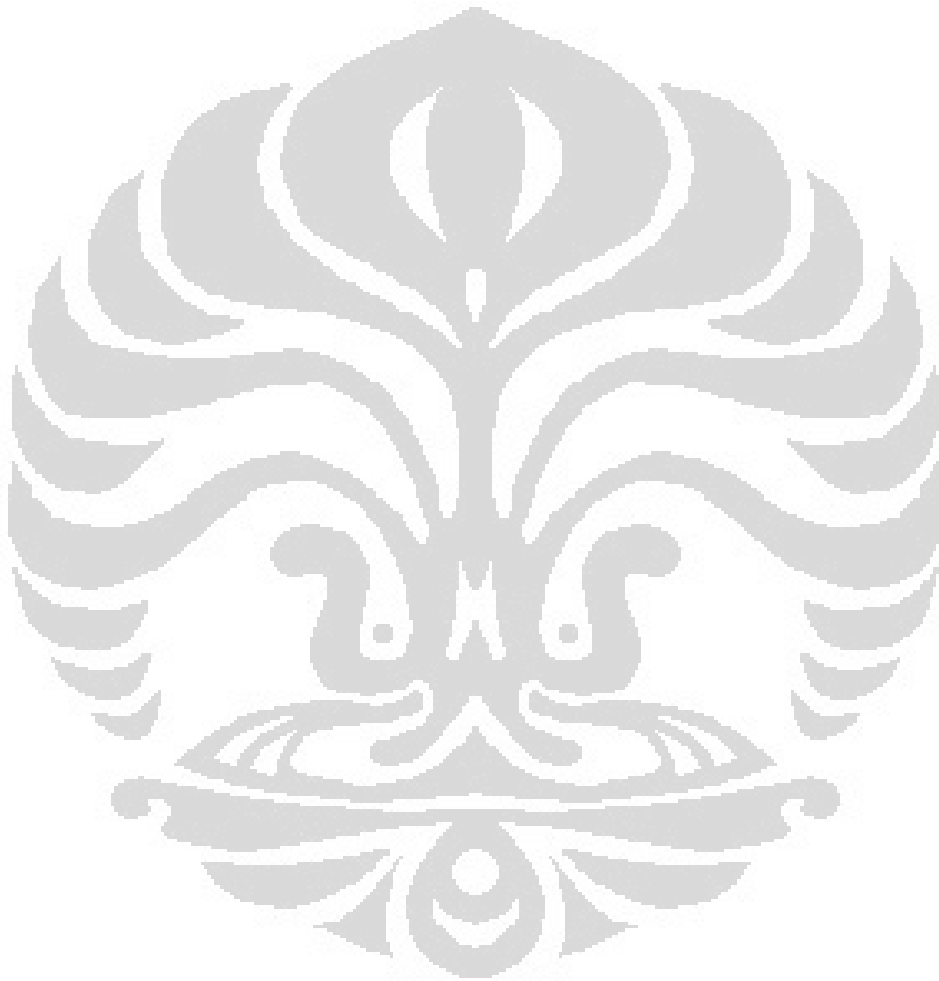


- Hadi, R.K. 2009. *Perancangan iklan layanan masyarakat tentang bahaya sampah plastic untuk remaja di Surabaya*. Surabaya: Fakultas Seni dan Desain, Universitas Kristen Petra.
- Harpeni, Esti. 2010. *Mikroba Dalam Ekosistem Perairan*. Materi Kuliah Universitas Lampung Mata Kuliah Mikrobiologi Air, Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Harpeni, Esti. 2011. *Limnologi Produktivitas Primer Perairan*. Materi Kuliah Universitas Lampung Mata Kuliah Mikrobiologi Air, Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Hartoto, Liesbetini. Ani Suryani dan Erliza Hambali. 2005. *Rekayasa Proses Produksi Asam Polilaktat (PLA) dari Pati Sagu Sebagai Bahan Baku Utama Plastik Biodegradable*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hartoto, Liesbetini. Ani Suryani dan Erliza Hambali. 2005. *Rekayasa Proses Produksi Asam Poliaktat (PLA) dari Pati Sagu Sebagai Bahan Baku Utama Plastik Biodegradabel*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Hartoto, Liesbetini. Et al. 1980. *Kajian Produksi Pullulan oleh Aureobasidium Pullulans Isolat Lokal Dengan Menggunakan Substrat Onggok*. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Maddever, W.J. and Chapman, G.M. 1989. *Modified Starch-Based Biodegradable Plastics*. *Plastics Eng.*, July, 31.
- Moat, A.G., J.W.Foster dan M.P.Spector. 2002. *Microbial Physiology 4<sup>th</sup> ed*. Wiley-Liss, Inc., New York: pp. 715.
- Muller, R.J. 2004. *Biodegradability of Polymers: Regulations and Methods for Testing*. Germany: Gesellschaft fur Biotechnologische Forschung mbH, Braunschweig. *Biopolymers*: 10 (19).
- Narayan, Ramani. 2003. *Biobased Biodegradable Products - An Assesment*. Michigan State University. Michigan.
- Nolan-ITU. 2002. *Environment Australia: Biodegradable Plastics-Development and Environment Impact*. Melbourne: Nolan-ITU Pty Ltd.
- Pelczer, M. J. dan E. C. S. Chan. 1986. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia

- Pranamuda, Hardaning. 2001. *Pengembangan Bahan Baku Plastik Biodegradabel Berbahanbaku Pati Tropis*. Tangerang: Balai Pengkajian Bioteknologi Biotech Center (BPPT).
- Purba, Elida. 2009. *Hidrolisis Pati Ubi Kayu (Manihot Esculenta) dan Pati Ubi Jalar (Impomonea batatas) menjadi Glukosa secara Cold Process dengan Acid Fungal Amilase dan Glukoamilase*. Universitas Lampung, Lampung.
- Rao, N.S. Subba. 1994. *Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman* (Herawati Susilo, Penerjemah.). Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Priyani, Nunuk. 2003. *Sejarah Penemuan Mikroba*. Jurusan Biologi. Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatra Utara.
- Rheinheimer, G. 1980. *Aquatic Microbiology*. A Wiley Inter Science Publication, Chichester: 225 pp.
- S Aini, Nurul. 2005. *Perlindungan Investasi Konstruksi Terhadap Serangan Organisme Perusak*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Saripah. 2011. *Pengaruh Pengolahan Awal Pada Singkong Pahit Terhadap Produksi Bioetanol Dengan Menggunakan Jamur Aspergillus Niger Pada Proses Hidrolisis*. Jakarta: Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sharma, D. And Shukla, A.K. 2008. *Starch hydrolysis and  $\alpha$ -amylase activity of Aspergillus and Chaetomium*. Asian J. Biochem., 3: 284-289.
- Swift, Graham. 2001. *Agro-Industrial and Related Applications of Environmentally Degradable Polymers*, GS Polymer Consultants, Chapel Hill, North Carolina, USA.
- Tegar, Tito. 2008. *Pengembangan Poly Lactic Acid Sebagai kemasan Ramah Lingkungan Berbasis Ubi Kayu (Manihot Esculenta)*. Karya Tulis Beswan Djarum 2008/2009: Daya Saing, Keunggulan dan Penguasaan IPTEKS. Jakarta.
- Tilburg, AUB dan Thomas, MD. 1993. *Production of Extracellular Proteins by the Biocontrol Fungus Gliocladium Virens*. America: American Society for Microbiology. Applied and Environmental Microbiology: 59(1).

Tokiwa, Yutaka. et al. 2009. *Biodegradability of Plastics*. International Journal of Molecular Science, 10 : 3722-3742.

Zhang QX, Yu ZZ, Xie XL, Naito K, Kagawa Y. 2007. *Preparation and Crystalline Morphology of Biodegradable Starch Nanocomposites*. Polymer 48(24): 7193-7200.



Lampiran 1 (Data penurunan berat benda uji pada pengujian mikroorganisme)

## Pengujian Mikroorganisme

No Sampel		DANAU					SUNGAI					TANAH				
		W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"
I	S <sub>1</sub>	0.0183	0.0143	0.0040	22%	20%	0.0190	0.0130	0.0060	32%	28%	0.0189	0.0131	0.0058	31%	34%
	S <sub>2</sub>	0.0179	0.0147	0.0032	18%		0.0180	0.0132	0.0048	27%		0.0200	0.0123	0.0077	39%	
	S <sub>3</sub>	0.0180	0.0143	0.0037	21%		0.0180	0.0131	0.0049	27%		0.0191	0.0130	0.0061	32%	
	P <sub>1</sub>	0.0150	0.0137	0.0013	9%	9%	0.0120	0.0146	-0.0026	-22%	-22%	0.0140	0.0125	0.0015	11%	11%
	K <sub>+1</sub>	0.0226	0.0000	0.0226	100%	100%	0.0210	0.0000	0.0210	100%	100%	0.0229	0.0000	0.0229	100%	100%
	K <sub>-1</sub>	0.0106	0.0149	-0.0043	-41%	-41%	0.0110	0.0106	0.0004	4%	4%	0.0150	0.0140	0.0010	7%	7%
II	S <sub>4</sub>	0.0189	0.0120	0.0069	37%	30%	0.0200	0.0134	0.0066	33%	28%	0.0183	0.0137	0.0046	25%	36%
	S <sub>5</sub>	0.0193	0.0133	0.0060	31%		0.0170	0.0135	0.0035	21%		0.0190	0.0108	0.0082	43%	
	S <sub>6</sub>	0.0169	0.0129	0.0040	24%		0.0170	0.0119	0.0051	30%		0.0188	0.0114	0.0074	39%	
	P <sub>2</sub>	0.0150	0.0141	0.0009	6%	6%	0.0160	0.0144	0.0016	10%	10%	0.0140	0.0149	-0.0009	-6%	-6%
III	S <sub>7</sub>	0.0176	0.0132	0.0044	25%	27%	0.0180	0.0116	0.0064	36%	37%	0.0190	0.0116	0.0074	39%	39%
	S <sub>8</sub>	0.0174	0.0126	0.0048	28%		0.0180	0.0114	0.0066	37%		0.0190	0.0116	0.0074	39%	
	S <sub>9</sub>	0.0178	0.0130	0.0048	27%		0.0190	0.0116	0.0074	39%		0.0196	0.0119	0.0077	39%	
	P <sub>3</sub>	0.0150	0.0142	0.0008	5%	5%	0.0120	0.0146	-0.0026	-22%	-22%	0.0130	0.0122	0.0008	6%	6%

No Sampel		DANAU					SUNGAI					TANAH				
		W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"
IV	S <sub>10</sub>	0.0169	0.0119	0.0050	30%	29%	0.0170	0.0110	0.0060	35%	32%	0.0183	0.0106	0.0077	42%	44%
	S <sub>11</sub>	0.0172	0.0123	0.0049	28%		0.0170	0.0112	0.0058	34%		0.0191	0.0109	0.0082	43%	
	S <sub>12</sub>	0.0195	0.0136	0.0059	30%		0.0170	0.0127	0.0043	25%		0.0203	0.0105	0.0098	48%	
	P <sub>4</sub>	0.0140	0.0139	0.0001	1%	1%	0.0140	0.0136	0.0004	3%	3%	0.0150	0.0134	0.0016	11%	11%
	K+ <sub>2</sub>	0.0226	0.0000	0.0226	100%	100%	0.0210	0.0000	0.0210	100%	100%	0.0244	0.0000	0.0244	100%	100%
	K- <sub>2</sub>	0.0142	0.0140	0.0002	1%	1%	0.0120	0.0143	-0.0023	-19%	-19%	0.0121	0.0115	0.0006	5%	5%

#### Keterangan

I , II , III , IV = merupakan waktu pengujian dengan interval 2 minggu

S = benda uji 1, sampel film plastik biodegradabel

P = benda uji 2, plastik biodegradabel yang beredar di pasaran

K+ = benda uji 3, kontrol positif

K - = benda uji 4, kontrol negatif

W<sub>0</sub> = berat awal benda uji

W<sub>n</sub> = berat akhir benda uji

**Lampiran 2** (Data penurunan berat benda uji pada pengujian lapangan)

## Pengujian Lapangan

No Sampel	DANAU					SUNGAI					TANAH					
	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	
I	S <sub>1</sub>	0.4172	0.1975	0.2197	53%	50%	0.4259	0.2249	0.2010	47%	46%	0.4250	0.3106	0.1144	27%	27%
	S <sub>2</sub>	0.4480	0.2309	0.2171	48%		0.4233	0.2332	0.1901	45%		0.3990	0.2889	0.1101	28%	
	S <sub>3</sub>	0.4333	0.2271	0.2062	48%		0.3908	0.2125	0.1783	46%		0.3930	0.2854	0.1076	27%	
	P <sub>1</sub>	0.3316	0.3453	-0.0137	-4%	-4%	0.3424	0.3356	0.0068	2%	2%	0.3690	0.3699	-0.0009	0%	0%
	K+ <sub>1</sub>	0.4975	0.0000	0.4975	100%	100%	0.5177	0.0000	0.5177	100%	100%	0.5449	0.0000	0.5449	100%	100%
	K- <sub>1</sub>	0.3325	0.3341	-0.0016	0%	0%	0.2557	0.2933	-0.0376	-15%	-15%	0.3132	0.3086	0.0046	1%	1%
II	S <sub>4</sub>	0.4345	0.1727	0.2618	60%	54%	0.4208	0.0000	0.4208	100%	74%	0.4220	0.2846	0.1374	33%	32%
	S <sub>5</sub>	0.4326	0.2539	0.1787	41%		0.4227	0.1663	0.2564	61%		0.4330	0.2975	0.1355	31%	
	S <sub>6</sub>	0.4202	0.1625	0.2577	61%		0.4365	0.1725	0.2640	60%		0.3870	0.2631	0.1239	32%	
	P <sub>2</sub>	0.3510	0.3373	0.0137	4%	4%	0.3936	0.3824	0.0112	3%	3%	0.3830	0.3810	0.0020	1%	1%
	K+ <sub>2</sub>	0.5084	0.0000	0.5084	100%	100%	0.5033	0.0000	0.5033	100%	100%	0.5426	0.0000	0.5426	100%	100%
	K- <sub>2</sub>	0.3326	0.3327	-0.0001	0%	0%	0.3202	0.3278	-0.0076	-2%	-2%	0.2485	0.2527	-0.0042	-2%	-2%
III	S <sub>7</sub>	0.4077	0.0000	0.4077	100%	100%	0.3906	0.0000	0.3906	100%	100%	0.4360	0.2705	0.1655	38%	38%
	S <sub>8</sub>	0.4220	0.0000	0.4220	100%		0.3908	0.0000	0.3908	100%		0.4060	0.2428	0.1632	40%	
	S <sub>9</sub>	0.4294	0.0000	0.4294	100%		0.3986	0.0000	0.3986	100%		0.4140	0.2651	0.1489	36%	
	P <sub>3</sub>	0.3813	0.3673	0.0140	4%	4%	0.3829	0.3723	0.0106	3%	3%	0.3780	0.3742	0.0038	1%	1%
	K+ <sub>3</sub>	0.5076	0.0000	0.5076	100%	100%	0.5121	0.0000	0.5121	100%	100%	0.5532	0.0000	0.5532	100%	100%
	K- <sub>3</sub>	0.3383	0.3411	-0.0028	-1%	-1%	0.2968	0.3339	-0.0371	-13%	-13%	0.2765	0.2759	0.0006	0%	0%

No Sampel		DANAU					SUNGAI					TANAH				
		W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"	W <sub>0</sub>	W <sub>n</sub>	Δ	% Δ	%rata"
IV	S <sub>10</sub>	0.4321	0.0000	0.4321	100%	100%	0.4315	0.0000	0.4315	100%	100%	0.4283	0.2265	0.2018	47%	42%
	S <sub>11</sub>	0.4496	0.0000	0.4496	100%		0.4080	0.0000	0.4080	100%		0.4521	0.2683	0.1838	41%	
	S <sub>12</sub>	0.4185	0.0000	0.4185	100%		0.4105	0.0000	0.4105	100%		0.4349	0.2725	0.1624	37%	
	P <sub>4</sub>	0.3812	0.3528	0.0284	7%	7%	0.3554	0.3453	0.0101	3%	3%	0.3600	0.3540	0.0060	2%	2%
	K+ <sub>4</sub>	0.5138	0.0000	0.5138	100%	100%	0.5001	0.0000	0.5001	100%	100%	0.5308	0.0000	0.5308	100%	100%
	K- <sub>4</sub>	0.3338	0.3330	0.0008	0%	0%	0.2591	0.2988	-0.0397	-15%	-15%	0.2811	0.2808	0.0003	0%	0%

#### Keterangan

I , II , III , IV = merupakan waktu pengujian dengan interval 2 minggu

S = benda uji 1, sampel film plastik biodegradabel

P = benda uji 2, plastik biodegradabel yang beredar di pasaran

K+ = benda uji 3, kontrol positif

K - = benda uji 4, kontrol negatif

W<sub>0</sub> = berat awal benda uji

W<sub>n</sub> = berat akhir benda uji

## Lampiran 3



Designation: G21 – 09

## Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation G21; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision of the standard.

### 1. Scope

1.1 This practice covers determination of the effect of fungi on the properties of synthetic polymeric materials in the form of molded and fabricated articles, tubes, rods, sheets, and film materials. Changes in optical, mechanical, and electrical properties may be determined by the applicable ASTM methods.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D149 Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies

D150 Test Methods for AC Loss Characteristics and Permittivity (Dielectric Constant) of Solid Electrical Insulation

D257 Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials

D495 Test Method for High-Voltage, Low-Current, Dry Arc Resistance of Solid Electrical Insulation

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics

D747 Test Method for Apparent Bending Modulus of Plastics by Means of a Cantilever Beam

D785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials

D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheet

D1003 Test Method for Haze and Luminous Transmittance of Transparent Plastics

D1708 Test Method for Tensile Properties of Plastics by Use of Microtensile Specimens

E96/E96M Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials

E308 Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System

2.2 *TAPPI Standards:*

Test Method T 451-CM-484 Flexural Properties of Paper<sup>3</sup>

2.3 *Federal Standards:*

FED STD 191 Method 5204 Stiffness of Cloth, Directional: Self Weighted Cantilever Method<sup>4</sup>

FED STD 491 Method 5205 Stiffness of Cloth Drape and Flex: Cantilever Beading Method<sup>4</sup>

### 3. Summary of Practice

3.1 The procedure described in this practice consists of selection of suitable specimens for determination of pertinent properties, inoculation of the specimens with suitable organisms, exposure of inoculated specimens under conditions favorable to growth, examination and rating for visual growth, and removal of the specimens and observations for testing, either before cleaning or after cleaning and reconditioning.

*Note 1—Since the procedure involves handling and working with fungi, it is recommended that personnel trained in microbiology perform the portion of the procedure involving handling of organisms and inoculated specimens.*

### 4. Significance and Use

4.1 The synthetic polymer portion of these materials is usually fungus-resistant in that it does not serve as a carbon source for the growth of fungi. It is generally the other components, such as plasticizers, cellulose, lubricants, stabilizers, and colorants, that are responsible for fungus attack on plastic materials. To assess materials other than plastics, use of

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G03 on Weathering and Durability and is the direct responsibility of Subcommittee G03.04 on Biological Deterioration.

Current edition approved Dec. 1, 2009. Published March 2010. Originally approved in 1961. Last previous edition approved in 2002 as G21 – 96 (2002). DOI: 10.1520/G0021-09.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

<sup>3</sup> Available from Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), 15 Technology Parkway South, Norcross, GA 30092, <http://www.tappi.org>.

<sup>4</sup> Available from Standardization Documents Order Desk, DODSSP, Bldg. 4, Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5098, <http://dodssp.daps.dla.mil>.



this test method should be agreed upon by all parties involved. It is important to establish the resistance to microbial attack under conditions favorable for such attack, namely, a temperature of 2 to 38°C (35 to 100°F) and a relative humidity of 60 to 100 %.

4.2 The effects to be expected are as follows:

4.2.1 Surface attack, discoloration, loss of transmission (optical), and

4.2.2 Removal of susceptible plasticizers, modifiers, and lubricants, resulting in increased modulus (stiffness), changes in weight, dimensions, and other physical properties, and deterioration of electrical properties such as insulation resistance, dielectric constant, power factor, and dielectric strength.

4.3 Often the changes in electrical properties are due principally to surface growth and its associated moisture and to pH changes caused by excreted metabolic products. Other effects include preferential growths caused by nonuniform dispersion of plasticizers, lubricants, and other processing additives. Attack on these materials often leaves ionized conducting paths. Pronounced physical changes are observed on products in film form or as coatings, where the ratio of surface to volume is high, and where nutrient materials such as plasticizers and lubricants continue to diffuse to the surface as they are utilized by the organisms.

4.4 Since attack by organisms involves a large element of chance due to local accelerations and inhibitions, the order of reproducibility may be rather low. To ensure that estimates of behavior are not too optimistic, the greatest observed degree of deterioration should be reported.

4.5 Conditioning of the specimens, such as exposure to leaching, weathering, heat treatment, etc., may have significant effects on the resistance to fungi. Determination of these effects is not covered in this practice.

## 5. Apparatus

5.1 *Glassware*—Glass or plastic vessels are suitable for holding specimens when laid flat. Depending on the size of the specimens, the following are suggested:

5.1.1 For specimens up to 75 mm (3 in.) in diameter, 4½ by 4½ in. (100 by 100 mm) plastic boxes<sup>5</sup> or 150-mm (6-in.) covered Petri dishes, and

5.1.2 For 75-mm (3-in.) and larger specimens, such as tensile and stiffness strips, large Petri dishes, trays of borosilicate glass, or baking dishes up to 400 by 500 mm (16 by 20 in.) in size, covered with squares of window glass.

5.2 *Incubator*—Incubating equipment for all test methods shall maintain a temperature of 28 to 30°C (82.4 to 86°F) and a relative humidity not less than 85 %. Automatic recording of wet and dry-bulb temperature is recommended.

## 6. Reagents and Materials

6.1 *Purity of Reagents*—Reagent grade chemicals shall be used in all tests. Unless otherwise indicated, it is intended that all reagents shall conform to the specifications of the Committee on Analytical Reagents of the American Chemical Society,

where such specification are available.<sup>6</sup> Other grades may be used, provided it is first ascertained that the purity is of sufficiently high purity to permit its use without lowering the accuracy of the determination.

6.2 *Purity of Water*—Unless otherwise indicated, all references to water shall be understood to mean distilled water or water of equal or higher purity.

6.3 *Nutrient-Salts Agar*—Prepare this medium by dissolving in 1 L of water the designated amounts of the following reagents:

Potassium dihydrogen orthophosphate (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	0.7 g
Magnesium sulfate (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.7 g
Ammonium nitrate (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )	1.0 g
Sodium chloride (NaCl)	0.005 g
Ferrous sulfate (FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.002 g
Zinc sulfate (ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O)	0.002 g
Manganese sulfate (MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O)	0.001 g
Agar	15.0 g
Potassium tetrohydrogen orthophosphate (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	0.7 g

6.3.1 Sterilize the test medium by autoclaving at 121°C (250°F) for 20 min. Adjust the pH of the medium by the addition of 0.01 N NaOH solution so that after sterilization the pH is between 6.0 and 6.5.

6.3.2 Prepare sufficient medium for the required tests.

6.3.3 *Nutrient-Salts Broth*—Prepare using the formula in 6.3, omitting the agar. Broth may be filter sterilized to avoid the precipitation of the salts that occurs with autoclaving.

### 6.4 Mixed Fungus Spore Suspension:

Note: 2—Since a number of other organisms may be of specific interest for certain final assemblies or components, such other pure cultures of organisms may be used if agreed upon by the purchaser and the manufacturer of the plastic. Reference (11) illustrates such a choice.

6.4.1 Use the following test fungi in preparing the cultures:

Fungus	ATCC No. <sup>7</sup>	MVCO No. <sup>8</sup>
<i>Aspergillus niger</i>	9642	388
<i>Fusicladium fusiculturn</i> <sup>9</sup>	11797	391
<i>Chaetomium globosum</i>	6205	459
<i>Glottidium virens</i>	5645	365
<i>Aureobasidium pullulans</i>	15233	278c

<sup>5</sup> Available from American Type Culture Collection, 12301 Parklawn Drive, Rockville, MD 20852.

<sup>6</sup> Available from Mycological Services, P.O. Box 9056, Crawfordsville, IN 47930.

<sup>7</sup> Historically known as *P. fusiculturn*.

6.4.1.1 Maintain cultures<sup>8</sup> of these fungi separately on an appropriate medium such as potato dextrose agar. The stock cultures may be kept for not more than four months at approximately 3 to 10°C (37 to 50°F). Use subcultures incubated at 28 to 30°C (82 to 86°F) for 7 to 20 days in preparing the spore suspension.

6.4.1.2 Prepare a spore suspension of each of the five fungi by pouring into one subculture of each fungus a sterile 10-mL portion of water or of a sterile solution containing 0.05 g/L of

<sup>8</sup> Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, American Chemical Society, Washington, DC. For suggestions on the testing of reagents not listed by the American Chemical Society, see *Anal. Standards for Laboratory Chemicals*, BDH Ltd., Poole, Dorset, U.K., and the *United States Pharmacopoeia and National Formulary*, U.S. Pharmaceutical Convention, Inc. (USPC), Rockville, MD.

<sup>7</sup> The boldface numbers given in parentheses refer to a list of references at the end of the practice.

<sup>9</sup> Historically known as *P. fusiculturn*.

<sup>5</sup> Available from Tri-State, Inc., Henderson, KY.



a nontoxic wetting agent such as sodium dioctyl sulfosuccinate. Use a sterile platinum or nichrome inoculating wire to gently scrape the surface growth from the culture of the test organism.

6.4.2 Pour the spore charge into a sterile 125-mL glass-stoppered Erlenmeyer flask containing 45 mL of sterile water and 10 to 15 solid glass beads, 5 mm in diameter. Shake the flask vigorously to liberate the spores from the fruiting bodies and to break the spore clumps.

6.4.3 Alternatively, the spore charge can be poured into a sterile glass tissue grinder and gently ground to break up the spore clumps and liberate the spores from the fruiting bodies.

6.4.4 Filter the shaken or ground suspension through a thin layer of sterile glass wool in a glass funnel into a sterile flask in order to remove mycelial fragments.

6.4.5 Centrifuge the filtered spore suspension aseptically, and discard the supernatant liquid. Resuspend the residue in an aliquot of sterile water and centrifuge.

6.4.6 If large mycelia fragments or clumps of agar were dislodged during the harvesting, wash the spores in this manner three times to remove possible nutrient carryover from the original cultures. Dilute the final washed residue with sterile nutrient-salts solution (see 6.3.3) in such a manner that the resultant spore suspension shall contain  $1\,000\,000 \pm 200\,000$  spores/mL as determined with a counting chamber.

6.4.7 Repeat this operation for each organism used in the test and blend equal volumes of the resultant spore suspension to obtain the final mixed spore suspension.

6.4.8 The spore suspension may be prepared fresh each day or may be held in the refrigerator at 3 to 10°C (37 to 50°F) for not more than four days.

## 7. Viability Control

7.1 With each daily group of tests place each of three pieces of sterilized filter paper, 25 mm (1 in.) square, on hardened nutrient-salts agar in separate Petri dishes. Inoculate these with the spore suspension by spraying the suspension from a sterilized atomizer<sup>3</sup> so that the entire surface is moistened with the spore suspension. Incubate these at 28 to 30°C (82 to 86°F) at a relative humidity not less than 85% and examine them after 14 days' incubation. There shall be copious growth on all three of the filter paper control specimens. Absence of such growth requires repetition of the test.

## 8. Test Specimens

8.1 The simplest specimen may be a 50 by 50-mm (2 by 2-in.) piece, a 50-mm (2-in.) diameter piece, or a piece (rod or tubing) at least 76 mm (3 in.) long cut from the material to be tested. Completely fabricated parts or sections cut from fabricated parts may be used as test specimens. On such specimens, observation of effect is limited to appearance, density of growth, optical reflection or transmission, or manual evaluation of change in physical properties such as stiffness.

8.2 Film-forming materials such as coatings may be tested in the form of films at least 50 by 25 mm (2 by 1 in.) in size.

Such films may be prepared by casting on glass and stripping after cure, or by impregnating (completely covering) filter paper or ignited glass fabric.

8.3 For visual evaluation, three specimens shall be inoculated. If the specimen is different on two sides, three specimens of each, face up and face down, shall be tested.

Note 3—In devising a test program intended to reveal quantitative changes occurring during and after fungal attack, an adequate number of specimens should be evaluated to establish a valid value for the original property. If five replicate specimens are required to establish a tensile strength of a film material, the same number of specimens shall be removed and tested for each exposure period. It is to be expected that values of physical properties at various stages of fungal attack will be variable; the values indicating the greatest degradation are the most significant (see 4.4). Reference (2) may be used as a guide.

## 9. Procedure

9.1 **Inoculation**—Pour sufficient nutrient-salts agar into suitable sterile dishes (see 5.1) to provide a solidified agar layer from 3 to 6 mm ( $1/8$  to  $1/4$  in.) in depth. After the agar is solidified, place the specimens on the surface of the agar. Inoculate the surface, including the surface of the test specimens, with the composite spore suspension by spraying the suspension from a sterilized atomizer<sup>3</sup> so that the entire surface is moistened with the spore suspension.

### 9.2 Incubation Conditions

9.2.1 **Incubation**—Cover the inoculated test specimens and incubate at 28 to 30°C (82 to 86°F) and not less than 85% relative humidity.

Note 4—Covered dishes containing nutrient agar are considered to have the desired humidity. Covers on large dishes may be sealed with masking tape.

9.2.2 **Incubation Duration**—The standard length of the test is 28 days of incubation. The test may be terminated in less than 28 days for samples exhibiting a growth rating of two or more. The final report must detail the actual duration of incubation.

9.3 **Observation for Visible Effects**—If the test is for visible effects only, remove the specimens from the incubator and rate them as follows:

Observed Growth on Specimens (sporulating or Non-Sporulating, or Both)	Rating
None	0
Traces of growth (less than 10%)	1
Light growth (10 to 30%)	2
Medium growth (30 to 60%)	3
Heavy growth (60% to complete coverage)	4

Note 5—A rating of trace or no growth (one or less) must be confirmed by microscopic observation particularly since non-sporulating growth may not be readily observed without the aid of a microscope. The report should note the magnification of the microscope used to confirm the observation.

9.3.1 Traces of growth may be defined as scattered, sparse fungus growth such as might develop from a mass of spores in the original inoculum, or extraneous contamination such as fingermarks, insect feces, etc. Continuous cobwebby growth extending over the entire specimen, even though not obscuring the specimen, should be rated as two.

Note 6—Considerable physical change in plastics may occur without

<sup>3</sup> De Vibris No. 163 atomizer or equivalent has been found satisfactory for this purpose.

 G21 - 09

much visual growth, hence some measure of change in physical property selected from those cited in the appendix is recommended.

**9.4 Effect on Physical, Optical, or Electrical Properties**—Wash the specimens free of growth, immerse in an aqueous solution of mercuric chloride (1 + 1000) for 5 min, rinse in tap water, air dry overnight at room temperature, and recondition at the standard laboratory conditions defined in Practice D618,  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $73 \pm 2^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 2\%$  relative humidity, and test according to the respective methods used on control specimens (see the appendix).

**Note 7**—For certain electrical tests, such as insulation and arc resistance, specimens may be tested in the unwashed, humidified condition. Test values will be affected by surface growth and its associated moisture.

## 10. Report

10.1 Report the following information:

10.1.1 Organisms or organism used,

10.1.2 Time of incubation (if progressive),

10.1.3 Visual rating of fungus growth according to 9.3, and

10.1.4 Tabulation of progressive change in physical, optical, or electrical property against time of incubation. Give the number of observations, the mean, and the maximum observed change.

## 11. Precision and Bias

11.1 A precision and bias statement cannot be made for this practice at this time.

## 12. Keywords

12.1 fungal biosusceptibility; fungal decay; microbiological assay; microbiological susceptibility

## APPENDIX

(Nonmandatory Information)

### XI. TEST METHODS FOR EVALUATION OF EFFECT OF FUNGI ON SYNTHETIC POLYMERIC MATERIALS

X1.1 For evaluation of the effect of fungi on mechanical, optical, and electrical properties, the following ASTM and other test methods are recommended.

TABLE X1.1 Recommended Test Methods

Property	Test Methods
Tensile strength	D638, D682, D1708 <sup>a</sup>
Stiffness	D797 <sup>a</sup>
(ASTM Test Method T 401-M-45 <sup>a</sup> )	
Fed. Std. No. 191, Method 5204 <sup>a</sup>	
(Cup Stiffness Test)	
Fed. Std. No. 191, Method 5206 <sup>a</sup>	
(Cartlevis Bend Method)	
Hardness	D785 <sup>a</sup>
Optical transmission	E308 <sup>a</sup>
Haze	D1053 <sup>a</sup>
Water vapor transmission	E96/E96M <sup>a</sup>
Tensile strength	D149 <sup>a</sup>
Dielectric constant/power factor	D150 <sup>a</sup>
Insulation resistance	D257 <sup>a</sup>
Arc resistance	D405 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> These designations refer to the test methods given in Section 2.



G21 - 09

## REFERENCES

- (1) Bagdon, V. J., Military Specification Mil-P-43018(CE), "Plastic Sheets: Polyethylene Terephthalate, Drafting, Coated," June 13, 1961.
- (2) *ASTM Manual on Presentation of Data and Control Chart Analysis, ASTM STP 15D*, ASTM.
- (3) Buskin, A. D., and Kaplan, A. M., "Mildew Resistance of Vinyl-Coated Fabrics," *Applied Microbiology*, Vol. 4, No. 6, November 1956.
- (4) Berk, S., "Effect of Fungus Growth on Plasticized Polyvinyl Chloride Films," *ASTM Bulletin*, No. 168, September 1950, p. 53 (TP 18F).
- (5) Berk, S., Ebert, H., and Teitel, L., "Utilization of Plasticizers and Related Organic Compounds by Fungi," *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 49, No. 7, July 1957, pp. 1115-1124.
- (6) Brown, A. E., "Problem of Fungal Growth on Synthetic Resins, Plastics, and Plasticizers," *Modern Plastics*, Vol. 23, 1946, p. 189.
- (7) Ross, S. H., "Biocides for a Strippable Vinyl Plastic Barrier Material," *Report PB-151-119*, U.S. Department of Commerce, Office of Technical Services.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

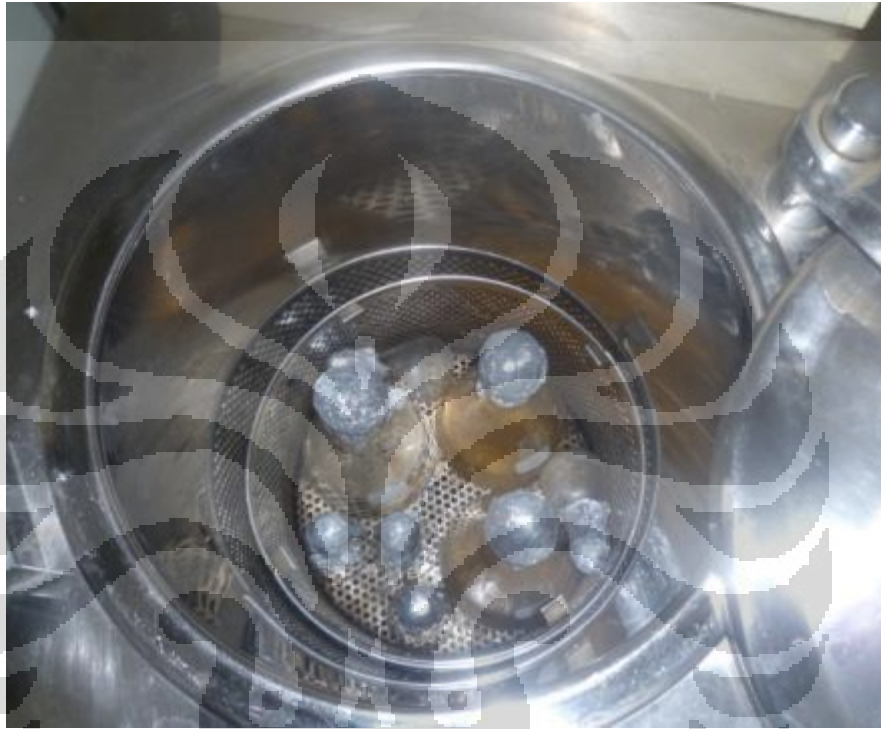
This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-1500, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (internet) or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)). COPYRIGHTS.

000



**Lampiran 4****FOTO-FOTO PENELITIAN**

Metode ASTM G21-09



Sterilisasi media *nutrient salt agar*



Pengeringan media *nutrient salt agar*



Larutan spora ke lima kapang uji



Penyemprotan larutan spora pada media dan benda uji



Sterilisasi benda uji

### Pengujian Mikroorganisme



Persiapan penyaringan tanah untuk pengambilan mikroorganisme tanah





Bahan-bahan pembuatan media cair



Mikroorganisme sungai





Alat dan bahan inokulasi mikroorganisme tanah



Inokulasi mikroorganisme tanah



Inokulasi benda uji

