



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI BIODEGRADABILITAS PLASTIK BERBAHAN
DASAR CAMPURAN PATI DAN POLIETILEN
MENGUNAKAN METODE ENZIMATIK, KONSORSIA
MIKROBA DAN PENGOMPOSAN**

SKRIPSI

EVA B. SIHALOHO

0706275561

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI BIODEGRADABILITAS PLASTIK BERBAHAN
DASAR CAMPURAN PATI DAN POLIETILEN
MENGUNAKAN METODE ENZIMATIK, KONSORSIA
MIKROBA DAN PENGOMPOSAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

EVA B. SIHALOHO

0706275561

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 : Eva B. Sihaloho

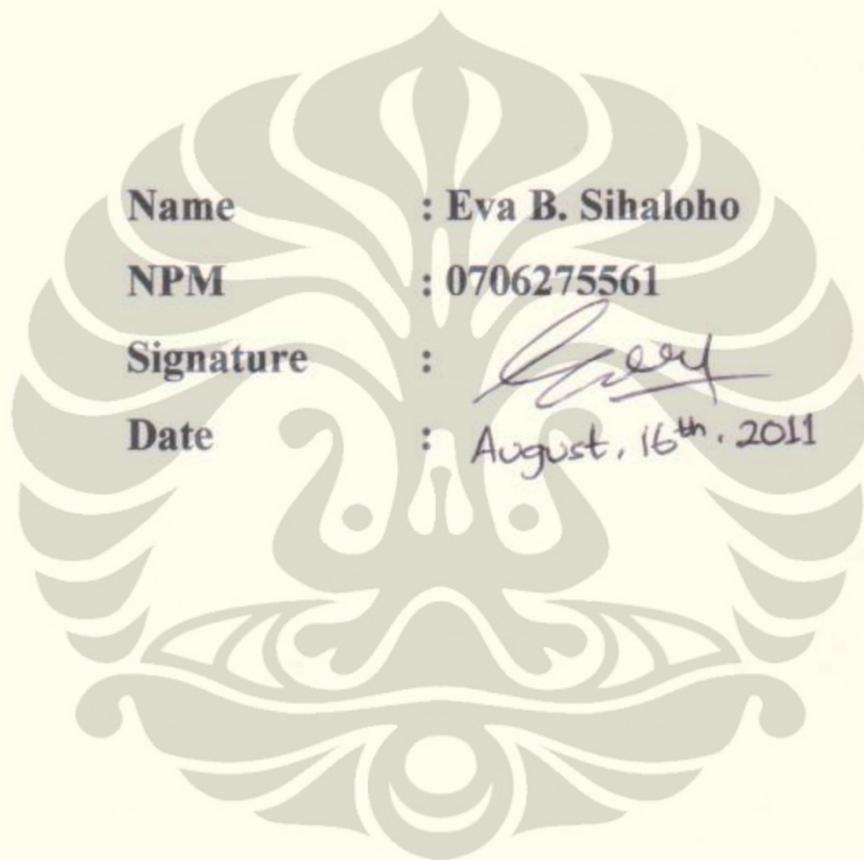
NPM : 0706275561

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Agustus 2011

STATEMENT OF ORIGINALITY

**This final report is the result of my own work,
and all the sources which is quoted or referred
I have stated correctly.**



Name : Eva B. Sihaloho

NPM : 0706275561

Signature : 

Date : August, 16th, 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Eva Beatrix Sihaloho

NPM : 0706275561

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul Skripsi : Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati Dan Polietilen Menggunakan Metode Enzimatis, Konsorsia Mikroba Dan Pengomposan

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. El Khobir M.N., M.Eng

Pembimbing : Dr. Hardaning Pranandita

Penguji : Ir. Irma Gusniani, MSc

Penguji : Dr. Ir. Djoko M Hartono, SE, Meng



Three handwritten signatures are present, each written over a set of horizontal dotted lines. The signatures are in black ink and appear to be cursive or semi-cursive.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Agustus 2011

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report submitted by:

Name : Eva Beatrix Sihaloho

NPM : 0706275561

Study Program: Environmental Engineering

Title : Evaluation Of Biodegradability Of Plastics Made From Blending Of Starch And Polyethylene Using Enzymatic, Microbial Consortia And Composting Methods.

Has been successfully defended in front of the examiner and was accepted as part of the necessary requirement to obtain Engineer Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Engineering Faculty, University of Indonesia.

EXAMINERS

Counselor : Ir. El Kisobac M.N., M.Eng.

Counselor : Dr. Hardaning Pranamuda

Examiners : Ir. Irma Gusniani, MSc

Examiners : Dr. Ir. Djoko M Hartono, SE, Meng

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Decided at : ...Depok....

Date : August 12th, 2011

KATA PENGANTAR

Puji dan ucapan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas hikmat dan kasih-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan 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. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

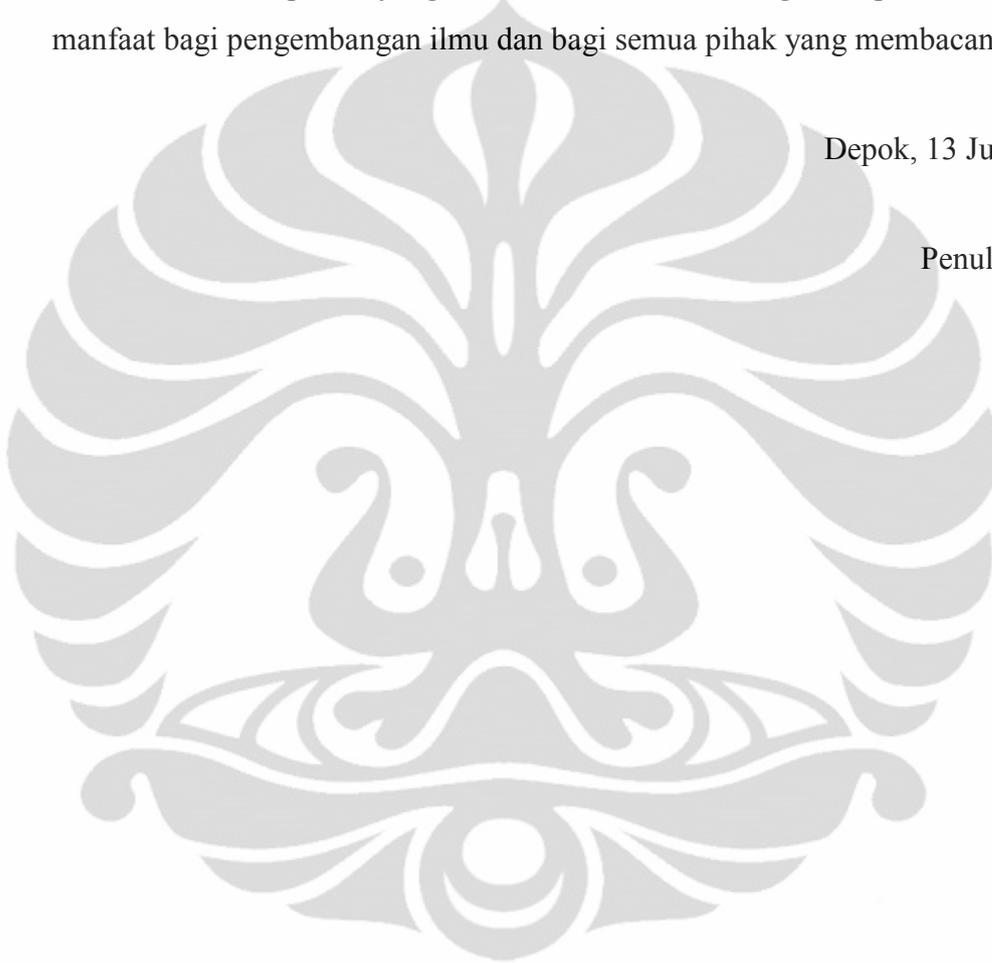
- (1) Bapak Dr. Ir. Djoko M. Hartono, M. Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan sekaligus dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Bapak Ir. El Khobar M N., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberi masukan dan arahan pada saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (3) Bapak Dr. Hardaning Pranamuda selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran serta koreksi dalam penyusunan skripsi ini;
- (4) Mbak Nia, Mas Rudi, Mas Jay, Kang Ujang, Mbak Nuri, Mas Taufik yang ada di Laboratorium Bioteknologi PUSPIPTEK-Serpong atas semua bantuan yang telah diberikan;
- (5) Keluargaku tersayang (Mama, Bapak, Kak Dewi, Kak Betty, Kak Atid, Etha, Abang Johny) atas kasih sayang, semangat, dukungan material, wejangan dan doa selama menjalani masa perkuliahan di kampus UI Depok;
- (6) I Putu Segara atas cintanya, semangat, wejangan dan doa selama ini;
- (7) “*My partner in crime*” : Agnes Elita Anne, Vini Widyaningsih, Gita Lestari, Widya Larastika, Engga Rahmawati atas kebersamaan, kegilaan, dan pelajaran selama menjalani hidup di kampus UI Depok;
- (8) Vica Yunar selaku teman seperjuangan skripsi dan teman-teman Teknik Sipil dan Lingkungan 2007 atas dukungan, bantuan, dan kebersamaannya.

(9) Terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu atas semua bantuan dan doa selama penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yesus Kristus berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu dan bagi semua pihak yang membacanya.

Depok, 13 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 : Eva Beatrix Sihaloho
NPM : 0706275561
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 Non-eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

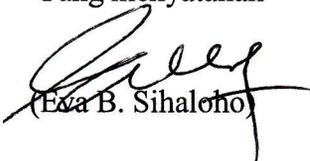
“EVALUASI BIODEGRADABILITAS PLASTIK BIODEGRADABEL
BERBAHAN DASAR CAMPURAN PATI DAN POLIETILEN
MENGUNAKAN METODE ENZIMATIK, KONSORSIA MIKROBA DAN
PENGOMPOSAN”

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir 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 Agustus 2011

Yang menyatakan


(Eva B. Sihaloho)

ABSTRAK

Nama : Eva Beatrix Sihaloho
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati Dan Polietilen Menggunakan Metode Enzimatik, Konsorsia Mikroba Dan Pengomposan

Studi ini membahas pendegradasian plastik *biodegradable* berbahan dasar campuran pati dan polietilen selama pengujian dengan metode uji reaksi enzimatik, konsorsia mikroba dan pengomposan. Oleh karena polimer plastik konvensional sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme lingkungan maka diperlukan evaluasi biodegradabilitas ketika merancang polimer plastik baru untuk pemakaian plastik *biodegradable*. Biodegradabilitas plastik berbahan dasar pati tersebut diukur melalui bentuk fisik dan penurunan berat plastik tersebut yang direpresentasikan oleh hasil pengamatan secara kasat mata dan persentase degradasi.

Pengujian dengan metode uji reaksi enzimatik menggunakan enzim α -amilase dan konsorsia mikroba dilakukan dalam skala laboratorium. Proses pengomposan diikutsertakan dalam pengujian untuk mengetahui proses degradasi/dekomposisi plastik *biodegradable* berbahan dasar pati di lingkungan pengomposan. Hasil pengujian menunjukkan enzim α -amilase mendegradasikan pati di dalam plastik berbahan dasar pati sebesar 18,74% untuk inkubasi selama 18 jam pada suhu 60°C. Hasil uji media cairan menggunakan konsorsia mikroba menunjukkan persentase degradasi plastik berbahan dasar pati tertinggi sebesar 34,43% pada minggu uji ke-8 menggunakan konsorsia mikroba BioSAFERO. Sedangkan pada pengujian pengomposan persentase degradasi tertinggi sebesar 26,14% pada minggu uji ke-6.

Kata kunci :

Plastik *biodegradable*; uji degradabilitas; enzim; konsorsia mikroba; pengomposan.

ABSTRACT

Name : Eva Beatrix Sihaloho
Study Program: Environmental Engineering
Title : Evaluation Of Biodegradability Of Plastics Made From Blending Of Starch And Polyethylene Using Enzymatic, Microbial Consortia And Composting Methods

This study discusses about the degradation of biodegradable plastics made from a mixture of starch and polyethylene during the test with the test methods of enzymatic reactions, microbial consortia and composting. Because of the conventional plastic polymers are difficult to be degraded by environment microorganisms it is necessary to evaluate biodegradability of plastic when designing new polymers for the use of biodegradable plastics. Biodegradability of plastic made from starch was measured through physical shape and weight decreasing of plastic which is represented by the observation by naked eyes and the percentage of degradation.

Testing method with enzymatic reaction using α -amylase enzyme and microbial consortia conducted in laboratory scale. The composting process is included in the testing to find out the process of degradation/decomposition of starch-based biodegradable plastics in composting environments. The test results showed the α -amylase enzyme in degrading starch in starch-based plastics by 18.74% to incubation for 18 hours at 60°C. The results of liquid media using microbial consortia shows the degradation percentage of starch-based plastic high of 34.43% for eight weeks test using BioSAFERO microbial consortium. While the testing of composting highest degradation percentage of 26.14% on the test to six weeks.

Key words :

Biodegradable plastic; degradability test; enzyme; microbial consortia; composting.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
BAB 1 PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Environmentally Degradable Polymers</i> (EDPs)	5
2.2 Bioplastik	6
2.2.1 Plastik <i>Biodegradable</i>	7
2.2.2 Standar Untuk Plastik <i>Biodegradable</i>	9
2.3 Pati	10
2.3.1 Hidrolisis Pati	11
2.4 Enzim α -amilase	13
2.5 Tinjauan Biodekomposer	14
2.6 Media Pertumbuhan Mikroba	16
2.6.1 Penumbuhan Mikroba Aerob	17
2.7 Konsorsium mikroba	18
2.7.1 BioSAFERO	19
2.7.2 Decomic	19
2.8 Pengomposan	20
2.8.1 Proses Pengomposan	20
2.8.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan	22
2.8.3 Effective Microorganisms-4 (EM-4)	25

2.8.4 Aplikasi Teknologi EM-4	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Jenis Penelitian	28
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	28
3.3 Persiapan dan Perizinan	29
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan di Laboratorium:	29
3.4 Langkah Uji	31
3.4.1 Langkah Uji Metode Cairan	31
3.4.2 Langkah Uji Metode Reaksi Enzimatik	31
3.4.3 Langkah Uji Metode Pengomposan	32
3.5 Variabel Penelitian	32
3.6 Metode Analisa	33
3.7 Diagram Alir Penelitian	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Metode Uji Secara Enzimatik	35
4.2 Metode Uji Media Cair Konsorsium Mikroba	40
4.3 Metode Uji Pengomposan	50
4.4 Kaitan antara reaksi enzimatik, konsorsium mikroba, dan pengomposan pada degradasi plastik biodegradable	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	62
DAFTAR REFERENSI	63
LAMPIRAN	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan material yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan sering digunakan dalam sekali pakai seperti kemasan. Sisa dari konsumsi plastik tersebut berupa limbah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (1994/1995), limbah plastik yang dihasilkan dari Jakarta adalah sekitar 1.600 ton/hari dan estimasi limbah plastik di Indonesia mencapai sekitar 3.600 ton/hari. (Wisojodharmo, 2001) Konsumsi plastik tersebut akan terus meningkat seiring bertambahnya kebutuhan masyarakat akan plastik dan pertumbuhan industri plastik yang akan mengakibatkan menumpuknya limbah plastik di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Metode yang umumnya digunakan untuk mengolah limbah plastik adalah *landfilling*. Masalah yang ditemui dalam pengolahan limbah plastik secara *landfilling* adalah keterbatasan lahan. Sebaliknya, timbulan limbah plastik terus bertambah di TPA. Selain itu, material penyusun plastik konvensional yang terdiri atas bahan-bahan kimia beracun memberikan dampak negatif berupa pencemaran air, tanah, dan udara di sekitar TPA.

Salah satu solusi untuk mengurangi dampak negatif limbah plastik di TPA yaitu dengan modifikasi atau menggantikan bahan mentah plastik (polimer plastik) dengan bahan lain yang ramah lingkungan seperti plastik *biodegradable*. Selama berabad-abad plastik konvensional yang terbuat dari petroleum, gas alam atau batu bara tersebut dituding sebagai biang pencemar lingkungan karena sulit terurai di alam. Berbagai penelitian dilakukan untuk mencari bahan alternatif untuk membuat material polimer yang ramah lingkungan atau lazim disebut sebagai bahan *biodegradable* (Strickland, 2007). Menurut (Pranamuda, H & Tokiwa, Y, 2001) “Plastik jenis *biodegradable* mempunyai sifat yang sama seperti plastik konvensional selama penggunaannya tetapi akan terdegradasi oleh aktivitas mikroorganisme lingkungan setelah pembuangan ke lingkungan.”

Plastik *biodegradable* (bioplastik) dirancang mampu terdekomposisi di alam. Proses biodegradasi ini dilakukan oleh mikroba yang mampu memetabolisme secara alami struktur molekul film plastik menjadi monomer-monomer yang ramah lingkungan seperti bahan humus dan biogas. Bioplastik ini dibuat dari bahan terbarukan atau yang berbasis petroleum dengan kombinasi bahan aditif *biodegradable* (Adam, S , Clark, D, & Worldcentric, 2009).

Oleh karena polimer plastik konvensional sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme lingkungan maka diperlukan evaluasi biodegradabilitas ketika merancang polimer plastik baru untuk pemakaian plastik *biodegradable*. Dalam desain, polimer sintesis yang mampu terdegradasi secara biologis terbuat dari kelompok fungsional yang rentan terhadap hidrolisis enzim dan oksidasi. (Nicholson, W.J, 1991)

Industri pati adalah salah satu pengguna enzim terbesar untuk hidrolisis dan modifikasi bahan mentahnya. Dari seluruh konsumsi enzim di dunia, enzim penghidrolisis pati digunakan sebanyak 30% (Van der Maarel *et al.*, 2002).

Dalam penelitian biodegradabilitas ini dilakukan tiga pengujian yaitu menggunakan konsorsia mikroba, enzim α -amilase, dan proses pengomposan. Plastik *biodegradable* berbahan dasar pati digunakan sebagai sampel penelitian. Biodegradabilitas plastik berbahan dasar pati tersebut diukur melalui bentuk fisik dan penurunan berat plastik tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil uji reaksi enzimatik menggunakan enzim α -amilase dalam mendegradasikan pati di dalam plastik berbahan dasar pati?
2. Bagaimana hasil uji media cairan menggunakan konsorsia mikroba pada bentuk fisik dan persentase degradasi plastik berbahan dasar pati?
3. Bagaimana hasil uji dengan metode pengomposan pada bentuk fisik dan persentase degradasi plastik berbahan dasar pati?

1.3 Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan terbatas pada plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dengan kadar 60% pati dan 40% polietilen (PE) dengan ketebalan ± 30 mikron serta pengujian degradabilitas melalui bentuk fisik dan penurunan berat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui hasil uji reaksi enzimatik menggunakan enzim α -amilase dalam mendegradasikan pati di dalam plastik berbahan dasar pati.
2. Mengetahui hasil uji media cairan menggunakan konsorsia mikroba pada bentuk fisik dan persentase degradasi plastik berbahan dasar pati.
3. Mengetahui hasil uji dengan metode pengomposan pada bentuk fisik dan penurunan berat sebagai persentase degradasi plastik berbahan dasar pati.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini, antara lain:

1. Manfaat bagi ilmu pengetahuan: sebagai bahan masukan dalam melakukan kajian ilmiah tentang laju degradabilitas plastik *biodegradable* berbahan dasar pati.
2. Manfaat bagi pemerintah: sebagai bahan masukan dalam pembuatan standarisasi dalam bidang manajemen sampah di Indonesia umumnya dan Teknik Lingkungan khususnya.
3. Manfaat bagi masyarakat: sebagai masukan untuk mengetahui gaya hidup penggunaan plastik yang ramah lingkungan.
4. Manfaat bagi industri plastik: sebagai bahan masukan dalam sistem produksi plastik *biodegradable* berbahan dasar pati.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Environmentally Degradable Polymers (EDPs)

Plastik adalah nama umum yang diberikan untuk polimer yang berbeda dengan berat molekul tinggi yang dapat terdegradasi oleh berbagai proses. *Environmentally Degradable Polymers* adalah polimer yang terdegradasi di lingkungan oleh proses biotik dan abiotik atau kombinasi keduanya tanpa meninggalkan residu toksik. (Swift, 2001)

Menurut (Chiellini, 2001) definisi dari *Environmentally Degradable Polymers* yaitu:

- Material yang mempertahankan formulasi yang sama dengan plastik konvensional selama penggunaan;
- Material yang terdegradasi setelah digunakan dalam senyawa dengan berat molekul rendah oleh kombinasi aksi agen fisika-kimia dan mikroorganisme yang ada di alam; dan
- Material yang pada akhirnya terdegradasi menjadi CO₂ dan H₂O.

Degradasi dari material yang terbuat dari polimer dan plastik terjadi pada kondisi biotik yang dimediasi oleh aksi makroorganisme (fragmentasi) atau mikroorganisme (biodegradasi) atau pada kondisi abiotik yang dimediasi oleh agen kimia atau fisika-kimia. Degradasi biotik dimediasi oleh mikroorganisme yang terjadi pada kondisi lingkungan yang berbeda dan dapat diklasifikasikan menurut ada (aerobik) atau tidak adanya (anaerobik) oksigen.

Tabel 2.1. Faktor yang berpotensi mempengaruhi degradasi polimer

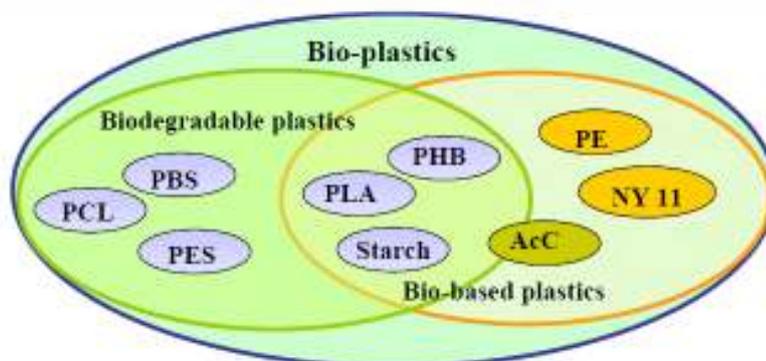
Biologis	Kimiawi	Fisika/Mekanis
Bakteri, Jamur	Hidrolisis	Pencucian
Predator	Oksidation	Sinar Matahari
Organisme yang lebih tinggi		Iklim
		Tekanan Mekanis

Sumber: (Chiellini, 2001)

Polimer *biodegradable* merupakan bagian dari *Environmentally Degradable Polymers*. Polimer *biodegradable* adalah polimer yang terdegradasi di lingkungan oleh proses biotik dan abiotik dan pada akhirnya dihilangkan melalui asimilasi oleh organisme hidup untuk tidak meninggalkan residu. Untuk penggunaan atau pembuangan di lingkungan, EDP harus memenuhi persyaratan dasar yaitu harus terdegradasi menjadi fragmen yang tidak beracun di lingkungan atau terdegradasi dan kemudian terdegradasi secara biologis (*biodegradable*) tanpa meninggalkan residu sama sekali. (Swift, 2001)

2.2 Bioplastik

Bioplastik adalah senyawa biopolimer yang dapat mengalami penguraian secara alamiah dengan bantuan bakteri, jamur dan alga atau mengalami hidrolisis dalam larutan berair. Bioplastik terdiri dari plastik *biodegradable* (plastik yang dihasilkan dari material fosil) atau plastik *bio-based* (plastik disintesis dari biomassa atau sumber daya terbarukan). Hubungan diantara plastik *biodegradable* dan plastik *bio-based* ditunjukkan oleh Gambar 2.1. *Polycaprolactone* (PCL), dan poly(butylene succinate) (PBS) berbasiskan minyak bumi tetapi dapat didegradasi oleh mikroorganisme. Sebaliknya, poly(hydroxybutyrate) (PHB), poly(lactide) (PLA) dan campuran pati dihasilkan dari biomassa atau sumber daya terbarukan sehingga *biodegradable*. Meskipun fakta bahwa polyethylene (PE) dan Nylon 11 (NY11) dihasilkan dari biomassa atau sumber daya terbarukan, biopolimer tersebut bersifat non-*biodegradable*. (Tokiwa et al. 2009)



Gambar 2.1. Bioplastik terdiri dari plastik *biodegradable* dan plastik *bio-based*

Sumber: Tokiwa et. al (2009)

2.2.1 Plastik *Biodegradable*

Biodegradable didefinisikan sebagai kemampuan mendekomposisi bahan menjadi karbondioksida, metana, air, komponen anorganik atau biomassa melalui mekanisme enzimatik mikroorganisme, yang bisa diuji dengan pengujian standar dalam periode waktu tertentu. *Biodegradable* merupakan salah satu mekanisme degradasi material, selain *compostable*, *hydrobiodegradable*, *photobiodegradable*, *biodegradable* (Nolan-ITU, 2002). Menurut ASTM D-5488-84d, *biodegradable* berarti mampu diurai menjadi gas karbondioksida, metana, air, *inorganic compounds* atau biomassa dimana mekanisme yang utama adalah karena aktivitas enzim yang dihasilkan suatu mikroorganisme.

Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir berupa air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan tanpa meninggalkan sisa yang beracun. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan (Pranamuda H, 2009). *Biodegradable plastic* dapat pula diartikan sebagai suatu material polimer yang berubah menjadi senyawa dengan berat molekul rendah dimana paling sedikit satu atau beberapa tahap degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami (Latief, 2001). Secara umum kemasan plastik *biodegradable* diartikan sebagai film kemasan yang dapat didaur ulang dan dapat dihancurkan secara alami. Menurut Griffin (1994), plastik *biodegradable* adalah suatu bahan dalam kondisi tertentu, waktu tertentu mengalami perubahan dalam struktur kimianya, yang mempengaruhi sifat-sifat yang dimilikinya oleh pengaruh mikroorganisme (bakteri, jamur, alga). Sedangkan menurut Seal (1994), kemasan plastik *biodegradable* adalah suatu material polimer yang berubah ke dalam senyawa berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami.

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat biodegradabilitas kemasan setelah kontak dengan mikroorganisme, yakni: sifat hidrofobik, bahan aditif, proses produksi, struktur polimer, morfologi dan berat molekul bahan

kemasan. Proses terjadinya biodegradasi film kemasan pada lingkungan alam dimulai dengan tahap degradasi kimia yaitu dengan proses oksidasi molekul menghasilkan polimer dengan berat molekul yang rendah. Proses berikutnya adalah serangan mikroorganisme (bakteri, jamur dan alga) dan aktivitas enzim (intraselular, ekstraselular). Contoh mikroorganisme diantaranya bakteri phototrop (*Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas*, *Chromatium*, *Thiocystis*), pembentuk endospora (*Bacillus*, *Clostridium*), gram negatif aerob (*Pseudomonas*, *Zoogloa*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Actinomycetes*, *Alcaligenes*) (Griffin, 1994).

Berdasarkan bahan baku yang dipakai, plastik biodegradable dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia (*non-renewable resources*) dengan bahan aditif dari senyawa bioaktif yang bersifat biodegradable, dan kelompok kedua adalah dengan keseluruhan bahan baku dari sumber daya alam terbarukan (*renewable resources*) seperti dari bahan tanaman pati dan selulosa serta hewan seperti cangkang atau dari mikroorganisme yang dimanfaatkan untuk mengakumulasi plastik yang berasal dari sumber tertentu seperti lumpur aktif atau limbah cair yang kaya akan bahan-bahan organik sebagai sumber makanan bagi mikroorganisme tersebut (Adam S dan Clark D, 2009).

Plastik biodegradable dapat dihasilkan melalui beberapa cara, salah satunya adalah biosintesis menggunakan bahan berpati atau berselulosa. Cara pembuatan *biodegradable plastic* yang berbasiskan pati antara lain :

1. Mencampur pati dengan plastik konvensional (PE atau PP) dalam jumlah kecil (10-20%)
2. Mencampur pati dengan turunan hasil samping minyak bumi, seperti PCL, dalam komposisi yang sama (50%)
3. Menggunakan proses ekstruksi untuk mencampur pati dengan bahan-bahan seperti protein kedelai, gliserol, alginat, lignin dan sebagainya sebagai *plasticizer* (Flieger *et al.*, 2003).

Vilpoux dan Averous (2006) melaporkan potensi penggunaan pati sebagai *biodegradable plastic* berkisar 80-95% dari pasar *biodegradable plastic*

yang ada. Sumber pati yang banyak digunakan antara lain jagung, ubi kayu, gandum, beras, dan kentang.

2.2.2 Standar Untuk Plastik *Biodegradable*

Pengujian sifat biodegradabilitas bahan plastik dapat dilakukan menggunakan enzim, mikroorganisme dan uji penguburan. Metode uji standar dan protokol diperlukan untuk menetapkan dan mengkuantifikasi degradabilitas dan biodegradasi polimer, dan konfirmasi dengan alam dari *breakdown* produk. Standar telah dibangun atau dibawah pembangunan oleh badan Standar Nasional Amerika (ASTM); Eropa (CEN), Jerman (DIN), Jepang (JIS) dan Organisasi Standar Internasional (ISO) untuk mengevaluasi dan mengkuantifikasi biodegradabilitas dibawah kondisi lingkungan/pembuangan yang berbeda seperti pengomposan, tanah, laut, Instalasi Pengolahan Air Limbah, dan *anaerobic digester*. Tidak ada perbedaan yang besar diantaranya. Standar ISO akan membawa semua standar tersebut dan menyediakan standar yang diterima secara global. (Narayan, 1999)

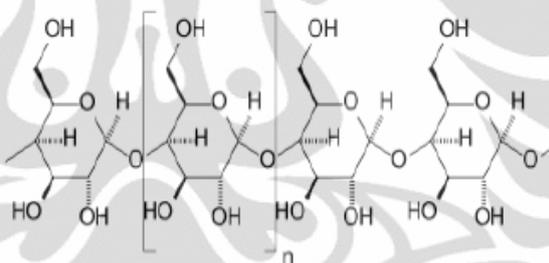
American Society for Testing and Materials (ASTM) mengeluarkan “Standar Spesifikasi untuk Plastik Dapat Dikompos” D6400-99. Standar ini menetapkan kriteria (spesifikasi) untuk plastik dan produk yang dibuat dari plastik untuk diberi label dapat dikompos. Standar tersebut menetapkan apakah plastik dan produk yang terbuat dari plastik dapat dikompos, termasuk biodegradasi pada tingkat yang sebanding dengan bahan yang diketahui dapat dikompos. (Narayan, 1999) Lembaga standardisasi internasional (ISO) telah mengeluarkan metode standar pengujian sifat biodegradabilitas bahan plastik sebagai berikut:

- a. ISO 14851 : Penentuan biodegradabilitas aerobik final dari bahan plastik dalam media cair – Metode pengukuran kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup;
- b. ISO 14852 : Penentuan biodegradabilitas aerobik final dari bahan plastik dalam media cair- Metode analisa karbondioksida yang dihasilkan;
- c. ISO 14855 : Penentuan biodegradabilitas aerobik final dan disintegrasi dari bahan plastik dalam kondisi komposting terkendali – Metode analisa karbondioksida yang dihasilkan.

2.3 Pati

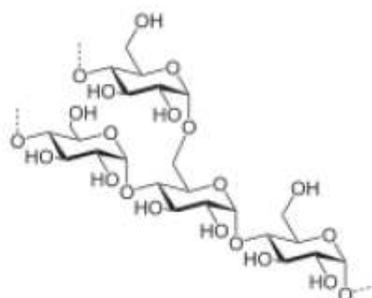
Pati atau amilum adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berwujud bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Pati merupakan bahan utama yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk menyimpan kelebihan glukosa (sebagai produk fotosintesis) dalam jangka panjang. Pati dapat dibuat dari tumbuhan singkong (ubi kayu), ubi jalar, kentang, jagung, sagu, dan lain-lain. Pati atau disebut juga “Starch” dengan rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$, dimana “n” adalah senyawa glukosa yang berjumlah sangat banyak.

Pati merupakan biopolimer alami dengan komponen utama kelompok glukosa yakni amilosa dan amilopektin (struktur bangun dapat dilihat pada gambar). Secara struktur amilosa mempunyai struktur lurus, sedang amilopektin bercabang. Berdasarkan macam tanaman, maka pati secara umum mengandung 20%-25% ikatan amilosa dan 75%-80% ikatan amilopektin. (“Starch”, wikipedia)



Gambar 2.2. Rumus bangun Amilosa

Sumber: Wikipedia (2011)



Gambar 2.3. Rumus bangun Amilopektin

Sumber: Wikipedia (2011)

Pati memiliki tingkat kristalinitas 15-45%. Pemanfaatan pati dalam pembuatan plastik dikarenakan keunggulan-keunggulan yang dimiliki pati, yakni sifatnya yang dapat diperbarui, penahan yang baik untuk oksigen, ketersediaan yang melimpah, harga murah dan mampu terdegradasi. Pati memiliki stabilitas termal dan *minimum interference* dengan sifat pencairan yang cukup untuk membentuk produk dengan kualitas yang baik.

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).

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). Modifikasi pati, penggunaan *compatibilizer*, *reinforcement*, serta perbaikan kondisi proses, diharapkan mampu menjadikan pati sebagai material substitusi plastik konvensional.

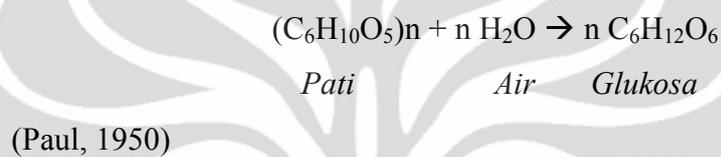
Pati dalam pencampuran dengan polimer sintesis dapat meningkatkan kemampuan biodegradasi dikarenakan terjadi peningkatan luasan permukaan polimer sebagai akibat hidrolisis pati oleh mikroorganisme. Mikroorganisme yang mengonsumsi pati akan membentuk pori-pori dalam matrik polimer dan memberikan gugus-gugus yang rentan untuk terdegradasi (Park *et al.*, 2002). Pati termoplastis dapat terdegradasi dengan adanya air, energi mekanis, peningkatan suhu dan enzim (Idemat, 1998).

2.3.1 Hidrolisis Pati

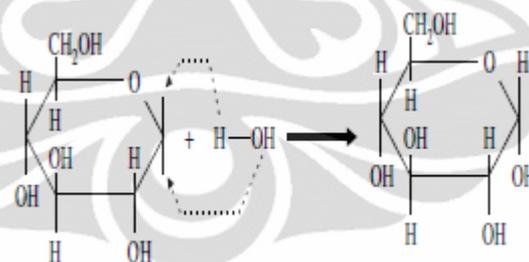
Pati merupakan polimer dari glukosa atau maltosa. Unit terkecil dari rantai pati adalah glukosa yang merupakan hasil fotosintesis di dalam bagian tubuh tumbuh-tumbuhan yang mengandung klorofil. Pati tersusun atas ikatan α -D-glikosida. Molekul glukosa pada pati dan selulosa hanya berbeda dalam bentuk ikatannya, a dan b, namun sifat-sifat kimia kedua senyawa ini sangat jauh berbeda (Trifosa, 2007).

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).

Pati dapat dengan mudah dihidrolisis dengan air menjadi senyawa karbohidrat sederhana yaitu glukosa. Hidrolisis tersebut dapat dilakukan dengan penambahan asam maupun penambahan enzim, atau dapat menggunakan kombinasi keduanya. Reaksi yang terjadi secara umum adalah:



Mekanisme reaksi hidrolisis pati menjadi glukosa adalah proses substitusi ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksil (OH^-) hasil penguraian molekul air ke dalam senyawa amilosa maupun amilopektin sehingga memutuskan ikatan glukosida dan membebaskan glukosa-glukosa yang terikat di dalam senyawa amilosa. (Paul, 1950)



Gambar 2.4. Mekanisme Hidrolisis Pati

Sumber: Paul (1950)

Menurut Purba (2009) proses hidrolisis enzimatik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: enzim, ukuran partikel, suhu, pH, waktu hidrolisis, perbandingan cairan terhadap bahan baku (volume substrat), dan pengadukan. Enzim yang dapat digunakan adalah α -amilase, β -amilase, amiloglukosidae, glukosa isomerase, pullulanase, dan isoamilase. Enzim α -amilase akan memotong ikatan amilosa dengan cepat pada pati kental yang telah mengalami

gelatinisasi. Kemudian enzim glukoamilase akan menguraikan pati secara sempurna menjadi glukosa pada tahap sakarifikasi.

2.4 Enzim α -amilase

Enzim adalah suatu atau beberapa gugus polipeptida (protein yang berfungsi sebagai katalis (senyawa yang mempercepat proses reaksi tanpa habis bereaksi) dalam suatu reaksi kimia. Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim α -amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa (Maton et al., 1993)

Produktivitas enzim dipengaruhi oleh suhu operasi, pH, waktu kontak, inhibitor dan konsentrasi larutan. Suhu operasi mempengaruhi aktivitas, stabilitas dan pembentukan zat warna. Makin tinggi suhu operasi, makin tinggi aktivitasnya, tetapi menurunkan stabilitasnya, serta pembentukan zat warna makin banyak pula. Setelah suhu tertentu aktivitas enzim akan menurun.

Waktu kontak enzim dengan substrat hendaknya diatur secepat mungkin, agar pembentukan hasil sampling, diantaranya zat warna dapat ditekan. pH substrat juga berpengaruh terhadap aktivitas, stabilitas enzim serta pembentukan zat warna. Aktivitas optimum untuk enzim α -amilase terjadi pada pH 5-7 (Tjokroadikoesoemo, 1986). Suhu optimal untuk aktivitas enzim α -amilase berkisar antara 55-70°C (Kulp, 1975).

Amilase adalah nama yang diberikan kepada enzim glikosida hidrolase yang memecah pati menjadi molekul maltose. Enzim ini ditemukan terutama pada air liur. α -amilase bekerja dalam ikatan α -1,4-glikosida. α -amilase adalah enzim yang pertama ditemukan dan diisolasi. α -amilase dari tumbuhan, hewan dan mikroorganisme telah dipelajari sejak enzim ditemukan untuk pertama kalinya (Boyer and Ingle, 1972). Spektrum pemakaian enzim amilase secara luas digunakan di berbagai bidang seperti medis, kimia analisis, industri tekstil, industri makanan dan industri penyulingan (Pandey et al., 2000).

Mikroorganisme penghasil enzim amilase dapat berupa bakteri dan kapang. Bakteri yang dapat menghasilkan amilase diantaranya *B. Subtilis*, *B. licheniformis*, *Aspergillus sp.*, *Bacillus sp.*, dan *Bacillus circulans* (Arcintha, 2007). Kapang penghasil α -amilase antara lain *Aspergillus oryzae*, *A. niger*, *Paecilomyces subglobosum*, *Mucor pusilus* (Fogarty, 1983, Nigam & Singh, 1995), dan *Thermomyces lanuginosus* (Arnesen et al., 1998).

Mekanisme kerja enzim α -amilase pada amilosa dibagi dalam dua tahap. Pertama, degradasi secara cepat molekul amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Pada tahap ini kekentalan menurun dengan cepat. Tahap kedua adalah pembentukan glukosa dan maltosa dengan laju yang lebih lambat, dan tidak terjadi secara acak. Degradasi α -amilase pada amilopektin menghasilkan glukosa, maltosa dan α -limit dekstrin. Aktivitas α -amilase dapat diukur berdasarkan penurunan kadar pati yang larut, pengukuran viskositas, jumlah dekstrin atau jumlah gula pereduksi yang terbentuk (Fennema, 1976).

α -amilase memiliki nama lain yaitu 1,4- α -D-glukan glukano hidrolase; glikogenase. Enzim ini menghidrolisis pati, glikogen, dan polisakarida lainnya melalui pemutusan ikatan α -1,4-glikosida secara acak. α -amilase merupakan enzim penting dalam industri. Polimer pati memerlukan suatu kombinasi enzim untuk melengkapi hidrolisisnya. (Poonam and Dalel, 1995) Walaupun α -amilase bekerja dengan memotong ikatan pati, namun diduga pati tidak terhidrolisis seluruhnya. Sebagian kecil pati dapat berupa *resistant starch* yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan yang disebabkan strukturnya berupa kristal tidak larut air dan amilosa yang ter-retrogradasi terutama akibat proses pada suhu tinggi (Spiller, 2001).

2.5 Tinjauan Biodekomposer

Dekomposer merupakan makhluk hidup yang berfungsi untuk menguraikan makhluk hidup yang telah mati, sehingga materi yang diuraikan dapat diserap oleh tumbuhan yang hidup di sekitar daerah tersebut. Terdapat beberapa dekomposer yang diantaranya berasal dari bakteri, *actinomycetes*, fungi, algae (ganggang), protozoa dan cacing tanah. Agen dekomposer dapat

digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas hasil pengomposan, dan telah diproduksi secara komersial, umumnya dalam bentuk konsorsium mikroorganisme yang disebut dengan bioaktivator pengomposan atau biodekomposer (Saraswati, 2010)

Proses dekomposisi tidak dilakukan oleh satu jenis mikroorganisme tapi berupa konsorsium mikroorganisme antara lain bakteri, fungi, dan aktinomisetes. (Herdiyantoro, 2010)



Gambar 2.5. Konsorsium mikroba dalam tumpukan tanah

Sumber : Herdiyantoro (2010)

Dari alam telah ditemukan mikroba yang dapat merombak plastik, yaitu terdiri dari bakteri, actinomycetes, jamur dan khamir yang umumnya dapat menggunakan plasticizers sebagai sumber C, tetapi 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 C 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 actinomycetes *Streptomyces rubrirculi*. Untuk dapat merombak plastik, mikroba harus dapat mengontaminasi lapisan plastik melalui muatan elektrostatis dan mikroba harus mampu menggunakan komponen di dalam atau pada lapisan plastik sebagai nutrisi. (Trisnawidarti, Nopiyanti, & Muzakar, 2010)

Teknologi pengembangan bioaktivator pengomposan/biodekomposer, biasa disebut dengan teknologi efektif mikroorganisme, yaitu teknologi pencampuran kultur berbagai jenis mikroorganisme yang bermanfaat (bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, ragi, actinomycetes, dan jamur peragian) yang dapat dimanfaatkan sebagai inokulan untuk meningkatkan keragaman mikroba tanah. *Effective microorganisms* (EM) merupakan kultur jaringan berbagai jenis mikroba yang berasal dari lingkungan alami dan secara genetika bersifat asli (tidak dimodifikasi). Pemanfaatan EM dapat memperbaiki kualitas tanah dan selanjutnya memperbaiki pertumbuhan dan produksi tanaman (Turista, 2010).

2.6 Media Pertumbuhan Mikroba

Medium pertumbuhan (disingkat medium) adalah tempat untuk menumbuhkan mikroba. Mikroba memerlukan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk bahan pembangun sel, untuk sintesa protoplasma dan bagian-bagian sel lain. Setiap mikroba mempunyai sifat fisiologi tertentu, sehingga memerlukan nutrisi tertentu pula. Susunan kimia sel mikroba relatif tetap, baik unsur kimia maupun senyawa yang terkandung di dalam sel. Dari hasil analisis kimia diketahui bahwa penyusun utama sel adalah unsur kimia C, H, O, N, dan P, yang jumlahnya $\pm 95\%$ dari berat kering sel, sedangkan sisanya tersusun dari unsur-unsur lain. Apabila dilihat susunan senyawanya, maka air merupakan bagian terbesar dari sel, sebanyak 80-90%, dan bagian lain sebanyak 10-20% terdiri dari protoplasma, dinding sel, lipida untuk cadangan makanan, polisakarida, polifosfat, dan senyawa lain (Volk dan Wheeler, 1993).

Mikroorganisme dapat ditumbuhkan pada suatu substrat yang disebut medium, setiap mikroorganisme membutuhkan medium tumbuh yang sesuai dengan kebutuhan jenis-jenis mikroorganisme yang bersangkutan. Beberapa mikroorganisme dapat hidup baik pada medium yang sangat sederhana yang hanya mengandung garam anorganik di tanah sumber karbon organik seperti gula. Sedangkan mikroorganisme lainnya memerlukan suatu medium yang sangat kompleks yaitu berupa medium ditambahkan darah atau bahan-bahan kompleks lainnya (Volk, dan Wheeler, 1993).

Susunan dan kadar nutrisi suatu medium untuk pertumbuhan mikroba harus seimbang agar mikroba dapat tumbuh optimal. Hal ini perlu dikemukakan mengingat banyak senyawa yang menjadi zat penghambat atau racun bagi mikroba jika kadarnya terlalu tinggi (misalnya garam dari asam lemak, gula, dan sebagainya). Perubahan faktor lingkungan menyebabkan aktivitas fisiologi mikroba dapat terganggu, bahkan mikroba dapat mati. Medium memerlukan keasaman (pH) tertentu tergantung pada jenis jasad yang ditumbuhkan. Aktivitas metabolisme mikroba dapat mengubah pH, sehingga untuk mempertahankan pH medium ditambahkan bahan buffer. Beberapa komponen penyusun medium dapat juga berfungsi sebagai buffer (Label, 2008).

Ada dua penggolongan media tumbuh: media padat dan media cair. Media padat pada umumnya berupa padatan gel, seperti agar, dimana nutrisi dicampurkan pada agar. Media cair adalah nutrisi yang dilarutkan di air. Media cair dapat bersifat tenang atau dalam kondisi selalu bergerak, tergantung kebutuhan. Komposisi media yang digunakan dalam kultur jaringan dapat berbeda komposisinya. Perbedaan komposisi media dapat mengakibatkan perbedaan pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. (Wikipedia, 2011)

2.6.1 Penumbuhan Mikroba Aerob

Biakan cair adalah biakan mikroba yang ditumbuhkan dalam media cair di dalam tabung reaksi. Tergantung dari bakteri yang akan ditumbuhkan ada bermacam-macam medium cair yang dapat digunakan. Semua media cair, termasuk zat-zat hara yang dikandungnya, harus memberikan lingkungan yang cocok secara fisik dan kimia bagi bakteri-bakteri yang akan dibiarkan.

Pertumbuhan bakteri dalam media cair berbeda-beda dan hal ini dapat dilihat dari hasil yang nampak, seperti adanya:

- Kekeruhan, cairan seperti berawan.
- Pembentukan selaput, sekumpulan sel-sel mengapung pada permukaan media.
- Sedimen, suatu timbunan sel yang mengendap pada bagian bawah biakan cair, tetapi akan berputar bila tabung diketuk perlahan-lahan.

2.7 Konsorsium mikroba

Konsorsium mikroba adalah sekelompok spesies yang berbeda dari mikroorganisme yang bertindak bersama-sama sebagai sebuah komunitas. Contoh konsorsium mikroba ditemukan di dalam bak lumpur aktif, biofilm seperti ditemukan pada *trickling filter*, dan berbagai ekosistem tanah. Dalam sebuah konsorsium mikroba organisme bekerjasama dalam sebuah sistem yang kompleks dimana semua manfaat berasal dari kegiatan lainnya dalam komunitas. Telah lama diketahui bahwa konsorsium mikroba jauh lebih efisien dalam mendegradasi limbah organik kompleks daripada organisme tunggal atau bahkan campuran dari mikroorganisme dengan keragaman kemampuan metabolisme. Campuran mikroba tidak dapat mempertahankan struktur komunitas stabil ketika diperkenalkan ke dalam situasi lingkungan (The Environmental Company, Wastewater Treatment Solutions, 2010).

Dalam sebuah konsorsium mikroba dapat ditemukan sejumlah organisme dengan kemampuan metabolik yang berbeda. Hal ini dapat mencakup organisme yang proteolitik (dapat mendegradasi protein dan asam amino); organisme yang *saccharolytic* (dapat mendegradasi berbagai gula); organisme yang lipolitik (mampu mencerna lipid atau lemak), dan organisme yang *cellulytic* (mampu untuk mendegradasi selulosa atau bahan tanaman). Kemampuan metabolisme yang berbeda tersebut memungkinkan konsorsium untuk bekerja sama dalam menurunkan berbagai aliran limbah yang kompleks (The Environmental Company, Wastewater Treatment Solutions, 2010).

Degradasi hidrokarbon petroleum menunjukkan contoh yang baik dari efisiensi konsorsium mikroba. Banyak produk minyak bumi, seperti bensin, solar, minyak tanah, dll, yang tidak benar-benar bahan kimia tunggal, tetapi dapat berisi ratusan hidrokarbon yang berbeda. Strain tunggal mikroorganisme tidak mampu menurunkan semua senyawa tersebut, sehingga konsorsium mikroba sangat penting dalam mineralisasi lengkap dari bahan bakar menjadi karbondioksida dan air (The Environmental Company, Wastewater Treatment Solutions, 2010).

Konsorsium mikroba lebih tahan terhadap guncangan lingkungan dan dapat lebih bersaing dan bertahan di lingkungan daripada mikroorganisme

tunggal. Konsorsium mikroba mampu menangani berbagai macam limbah kompleks. (The Environmental Company, Wastewater Treatment Solutions, 2010)

2.7.1 BioSAFERO

Produk BioSAFERO berisi bakteri, *actinomycetes*, *yeast*, dan kapang terseleksi yang memiliki kemampuan menguraikan atau mendekomposisi bahan-bahan organik mentah dengan cepat menjadi kompos untuk digunakan sebagai pupuk pertanian. Selain itu BioSAFERO dapat juga diaplikasikan untuk mempercepat penguraian tinja di dalam septic tank menjadi air dan endapan non-organik yang sangat kecil volumenya sehingga *septic tank* tidak perlu disedot dalam jangka waktu yang cukup lama.

BioSAFERO dapat dimanfaatkan sebagai mikroba penghasil kompos organik dan juga digunakan pada *septic tank* untuk menekan perkembangan mikroba patogen faeses, sehingga air dan tanah terbebas dari mikroba patogen. BioSAFERO mengandung mikroba lokal Indonesia yang aman bagi manusia dan lingkungan, mampu menetralkan pH lingkungan dan menghilangkan bau tidak sedap. BioSAFERO digunakan pada kultur cair.



Gambar 2.6. BioSAFERO

Sumber: <http://ns.biotek.bppt.go.id>

2.7.2 Decomic

Decomic adalah formulasi mikroba dekomposer untuk mempercepat penguraian bahan organik mentah menjadi kompos. Decomic berfungsi untuk mempercepat proses penguraian bahan-bahan organik (sampah daun, sampah rumah tangga, sampah pasar, limbah pertanian dan peternakan) melalui proses fermentasi.



Gambar 2.7. Decomic

Sumber: <http://ns.biotek.bppt.go.id>

Decomic terdiri atas bakteri, yeast, dan jamur terseleksi yang memiliki kemampuan untuk menguraikan dan mendekomposisikan bahan-bahan organik mentah dengan cepat menjadi kompos dengan dosis 1% serta EM4 (effective microorganisms). Selain itu terdapat pula bakteri fermentasi dari genus *Lactobacillus*, jamur fermentasi, *Actinomyces* bakteri fotosintetik dan ragi dengan dosis 0.5-1%.

2.8 Pengomposan

Kompos adalah hasil penguraian parsial/tidak lengkap dari campuran bahan-bahan organik yang dapat dipercepat secara artifisial oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobik (Modifikasi dari J.H. Crawford, 2003). Sedangkan pengomposan adalah proses dimana bahan organik mengalami penguraian secara biologis, khususnya oleh mikroba-mikroba yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi. Membuat kompos adalah mengatur dan mengontrol proses alami tersebut agar kompos dapat terbentuk lebih cepat. Proses ini meliputi membuat campuran bahan yang seimbang, pemberian air yang cukup, pengaturan aerasi, dan penambahan aktivator pengomposan (Wikipedia, 2010).

2.8.1 Proses Pengomposan

Dekomposisi atau pengomposan merupakan proses biologi untuk menguraikan bahan organik menjadi bahan humus oleh mikroorganisme.

Mikroorganisme menggunakan komponen residu sisa tanaman sebagai substrat untuk memperoleh energi yang dibentuk melalui oksidasi senyawa organik dengan produk utama CO₂ (dilepas ke alam) dan karbon (untuk sintesis sel baru).

Proses pengomposan secara sederhana dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Selama tahap-tahap awal proses, oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi akan segera dimanfaatkan oleh mikroba mesofilik. Suhu tumpukan kompos akan meningkat dengan cepat. Demikian pula akan diikuti dengan peningkatan pH kompos. Suhu akan meningkat hingga di atas 50° - 70° C. Suhu akan tetap tinggi selama waktu tertentu. Mikroba yang aktif pada kondisi ini adalah mikroba Termofilik, yaitu mikroba yang aktif pada suhu tinggi. Pada saat ini terjadi dekomposisi/penguraian bahan organik yang sangat aktif. Mikroba-mikroba di dalam kompos dengan menggunakan oksigen akan menguraikan bahan organik menjadi CO₂, uap air dan panas. Setelah sebagian besar bahan telah terurai, maka suhu akan berangsur-angsur mengalami penurunan. Pada saat ini terjadi pematangan kompos tingkat lanjut, yaitu pembentukan kompleks liat humus. Selama proses pengomposan akan terjadi penyusutan volume maupun biomassa bahan. Pengurangan ini dapat mencapai 30 – 40% dari volume/bobot awal bahan.

Tabel 2.2. Mikroorganisme yang umum berasosiasi dalam tumpukan sampah

Bakteri	Fungi
Mesofil	
<i>Pseudomonas</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.
<i>Achromobacter</i> spp.	<i>Cladosporium</i> spp.
<i>Bacillus</i> spp.	<i>Aspergillus</i> spp.
<i>Flavobacterium</i> spp.	<i>Mucor</i> spp.
<i>Clostridium</i> spp.	<i>Humicola</i> spp.
<i>Streptomyces</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.
Termofil	
<i>Bacillus</i> spp.	<i>Aspergillus</i> spp.
<i>Streptomyces</i> spp.	<i>Mucor pusillus</i>
<i>Thermoactinomyces</i> spp.	<i>Chaetomium thermophile</i>
<i>Thermus</i> spp.	<i>Humicola lanuginosa</i>
<i>Thermonospora</i> spp.	<i>Absidia ramosa</i>
<i>Microplasma</i> spp.	<i>Sporotrichum thermophile</i>
	<i>Torula thermophile</i> (yeast)
	<i>Thermoascus aureanticus</i>

Sumber : (Herdiyantoro, 2010)



Gambar 2.8. Skema Proses Pengomposan Aerobik

Sumber : Wikipedia (2011)

Proses pengomposan dapat terjadi secara aerobik (menggunakan oksigen) atau anaerobik (tidak ada oksigen). Proses yang dijelaskan sebelumnya adalah proses aerobik, dimana mikroba menggunakan oksigen dalam proses dekomposisi bahan organik. Reaksi proses perombakan bahan organik aerob adalah sebagai berikut:



Proses dekomposisi dapat juga terjadi tanpa menggunakan oksigen yang disebut proses anaerobik. Namun, proses ini tidak diinginkan, karena selama proses pengomposan akan dihasilkan bau yang tidak sedap. Proses anaerobik akan menghasilkan senyawa-senyawa yang berbau tidak sedap, seperti: asam-asam organik (asam asetat, asam butirat, asam valerat, puttreline), amonia, dan H_2S .

2.8.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan

Setiap organisme pendegradasi bahan organik membutuhkan kondisi lingkungan dan bahan yang berbeda-beda. Apabila kondisinya sesuai, maka dekomposer tersebut akan bekerja giat untuk mendekomposisi limbah padat organik. Apabila kondisinya kurang sesuai atau tidak sesuai, maka organisme tersebut akan dorman, pindah ke tempat lain, atau bahkan mati. Menciptakan kondisi yang optimum untuk proses pengomposan sangat menentukan

keberhasilan proses pengomposan itu sendiri. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan antara lain:

a. Rasio C/N

Rasio C/N yang efektif untuk proses pengomposan berkisar antara 30:1 hingga 40:1. Mikroba memecah senyawa C sebagai sumber energi dan menggunakan N untuk sintesis protein. Pada rasio C/N di antara 30 s/d 40 mikroba mendapatkan cukup C untuk energi dan N untuk sintesis protein. Apabila rasio C/N terlalu tinggi, mikroba akan kekurangan N untuk sintesis protein sehingga dekomposisi berjalan lambat.

Umumnya, masalah utama pengomposan adalah pada rasio C/N yang tinggi, terutama jika bahan utamanya adalah bahan yang mengandung kadar kayu tinggi (sisa gergajian kayu, ranting, ampas tebu, dsb). Untuk menurunkan rasio C/N diperlukan perlakuan khusus, misalnya menambahkan mikroorganisme selulolitik (Toharisman, 1991) atau dengan menambahkan kotoran hewan karena kotoran hewan mengandung banyak senyawa nitrogen.

b. Ukuran Partikel

Aktivitas mikroba berada diantara permukaan area dan udara. Permukaan area yang lebih luas akan meningkatkan kontak antara mikroba dengan bahan dan proses dekomposisi akan berjalan lebih cepat. Ukuran partikel juga menentukan besarnya ruang antar bahan (porositas). Untuk meningkatkan luas permukaan dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel bahan tersebut. Peningkatan luas permukaan dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel bahan tersebut dengan mencacah bahan kompos, misal jerami dicacah 5-10 cm.

c. Aerasi

Pengomposan yang cepat dapat terjadi dalam kondisi yang cukup oksigen(aerob). Aerasi secara alami akan terjadi pada saat terjadi peningkatan suhu yang menyebabkan udara hangat keluar dan udara yang lebih dingin masuk ke dalam tumpukan kompos. Aerasi ditentukan oleh porositas dan kandungan air bahan(kelembaban). Apabila aerasi terhambat, maka akan terjadi proses anaerob yang akan menghasilkan bau yang tidak sedap. Aerasi dapat

ditingkatkan dengan melakukan pembalikan atau mengalirkan udara di dalam tumpukan kompos.

d. Kelembaban (Moisture content)

Kelembaban memegang peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroba dan secara tidak langsung berpengaruh pada suplai oksigen. Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila bahan organik tersebut larut di dalam air. Kelembaban 40 - 60 % adalah kisaran optimum untuk metabolisme mikroba. Apabila kelembaban di bawah 40%, aktivitas mikroba akan mengalami penurunan dan akan lebih rendah lagi pada kelembaban 15%. Apabila kelembaban lebih besar dari 60%, hara akan tercuci, volume udara berkurang, akibatnya aktivitas mikroba akan menurun dan akan terjadi fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap.

e. Temperatur/suhu

Panas dihasilkan dari aktivitas mikroba. Ada hubungan langsung antara peningkatan suhu dengan konsumsi oksigen. Semakin tinggi temperatur akan semakin banyak konsumsi oksigen dan akan semakin cepat pula proses dekomposisi. Peningkatan suhu dapat terjadi dengan cepat pada tumpukan kompos. Temperatur yang berkisar antara 30 - 60°C menunjukkan aktivitas pengomposan yang cepat. Suhu yang lebih tinggi dari 60°C akan membunuh sebagian mikroba dan hanya mikroba termofilik saja yang akan tetap bertahan hidup. Suhu yang tinggi juga akan membunuh mikroba-mikroba patogen tanaman dan benih-benih gulma.

f. pH

Proses pengomposan dapat terjadi pada kisaran pH yang lebar. pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6.5 sampai 7.5. pH kotoran ternak umumnya berkisar antara 6.8 hingga 7.4. Proses pengomposan sendiri akan menyebabkan perubahan pada bahan organik dan pH bahan itu sendiri. Sebagai contoh, proses pelepasan asam, secara temporer atau lokal, akan menyebabkan penurunan pH (pengasaman), sedangkan produksi amonia dari senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen akan meningkatkan pH pada fase-fase awal pengomposan. pH kompos yang sudah matang biasanya mendekati netral.

g. Kandungan Hara

Kandungan P dan K juga penting dalam proses pengomposan dan biasanya terdapat di dalam kompos-kompos dari peternakan. Hara ini akan dimanfaatkan oleh mikroba selama proses pengomposan.

h. Lama pengomposan

Lama waktu pengomposan tergantung pada karakteristik bahan yang dikomposkan, metode pengomposan yang dipergunakan dan dengan atau tanpa penambahan aktivator pengomposan. Secara alami pengomposan akan berlangsung dalam waktu beberapa minggu sampai 2 tahun hingga kompos benar-benar matang.

2.8.3 Effective Microorganisms-4 (EM-4)

Effective Microorganisms-4 (EM-4) adalah suatu kultur campuran beberapa mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai inokulan mikroba yang berfungsi sebagai alat pengendali biologis. Mikroorganisme tersebut berfungsi dalam lingkungan hidup tanaman sebagai penekan dan pengendali perkembangan hama dan penyakit. EM-4 mengandung beberapa mikroorganisme utama yaitu bakteri fotosintetik, bakteri asam laktat, Ragi (yeast), Actinomycetes dan jamur fermentasi.

1. Bakteri Fotosintetik (*Rhodospseudomonas* spp.)

Bakteri ini adalah mikroorganisme mandiri dan swasembada. Bakteri ini membentuk senyawa-senyawa bermanfaat dari sekresi akar tumbuhan, bahan organik dan gas-gas berbahaya dengan sinar matahari dan panas bumi sebagai sumber energi. Zat-zat bermanfaat yang terbentuk antara lain, asam amino asam nukleik, zat bioaktif dan gula yang semuanya berfungsi mempercepat pertumbuhan. Hasil metabolisme ini dapat langsung diserap tanaman dan berfungsi sebagai substrat bagi mikroorganisme lain sehingga jumlahnya terus bertambah.

2. Bakteri asam laktat (*Lactobacillus* spp.)

Bakteri asam laktat (*Lactobacillus* spp.) dapat mengakibatkan kemandulan (sterilizer) oleh karena itu bakteri ini dapat menekan pertumbuhan mikroorganisme yang merugikan; meningkatkan percepatan perombakan bahan organik; menghancurkan bahan organik seperti lignin dan selulosa serta

memfermentasikannya tanpa menimbulkan senyawa beracun yang ditimbulkan dari pembusukan bahan organik. Bakteri ini dapat menekan pertumbuhan fusarium, yaitu mikroorganisme merugikan yang menimbulkan penyakit pada lahan/ tanaman yang terus menerus ditanami.

3. Ragi/Yeast (*Saccharomyces* spp.)

Melalui proses fermentasi, ragi menghasilkan senyawa-senyawa bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dari asam amino dan gula yang dikeluarkan oleh bakteri fotosintetik atau bahan organik dan akar-akar tanaman. Ragi juga menghasilkan zat-zat bioaktif seperti hormon dan enzim untuk meningkatkan jumlah sel aktif dan perkembangan akar. Sekresi Ragi adalah substrat yang baik bakteri asam laktat dan *Actinomycetes*.

4. *Actinomycetes*

Actinomycetes menghasilkan zat-zat anti mikroba dari asam amino yang dihasilkan bakteri fotosintetik. Zat-zat anti mikroba ini menekan pertumbuhan jamur dan bakteri. *Actinomycetes* hidup berdampingan dengan bakteri fotosintetik bersama-sama meningkatkan mutu lingkungan tanah dengan cara meningkatkan aktivitas anti mikroba tanah.

5. Jamur Fermentasi

Jamur fermentasi (*Aspergillus* dan *Penicilium*) menguraikan bahan secara cepat untuk menghasilkan alkohol, ester dan zat-zat anti mikroba. Pertumbuhan jamur ini membantu menghilangkan bau dan mencegah serbuan serangga dan ulat-ulat merugikan dengan cara menghilangkan penyediaan makanannya. Tiap spesies mikroorganisme mempunyai fungsi masing-masing tetapi yang terpenting adalah bakteri fotosintetik yang menjadi pelaksana kegiatan EM terpenting. Bakteri ini disamping mendukung kegiatan mikroorganisme lainnya, ia juga memanfaatkan zat-zat yang dihasilkan mikroorganisme lain.

2.8.4 Aplikasi Teknologi EM-4

Aplikasi	Teknologi	EM-4
EM-4 dikulturkan dalam bentuk medium cair berwarna coklat dalam kondisi dorman. Pada saat disemprotkan ke dalam tanah atau tubuh tanaman (proses inokulasi) EM-4 secara aktif memfermentasikan bahan organik (sisa-sisa		

tanaman, pupuk hijau, pupuk kandang dll)
Hasil fermentasi dapat diserap langsung oleh perakaran tanaman, misalnya gula, alkohol, asam amino, protein, karbohidrat dan senyawa organik lainnya.



BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Menurut Marzuki (1999), penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan terhadap variabel yang data-datanya belum ada sehingga perlu dilakukan proses manipulasi melalui pemberian *treatment*/perlakuan tertentu terhadap subjek penelitian yang kemudian diamati/diukur dampaknya (data yang akan datang). Sedangkan dari caranya, penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan secara sengaja oleh peneliti dengan cara memberikan *treatment*/perlakuan tertentu terhadap subjek penelitian guna membangkitkan sesuatu kejadian/keadaan yang akan diteliti bagaimana akibatnya.

Penelitian ini merupakan penelitian kausal (sebab akibat) yang pembuktiannya diperoleh melalui komparasi/perbandingan antara :

- a. Kelompok eksperimen (diberi perlakuan) dengan kelompok kontrol (tanpa perlakuan); atau
- b. Kondisi subjek sebelum perlakuan dengan sesudah diberi perlakuan.

Metode penelitian meliputi pengujian di laboratorium dan lapangan. Uji laboratorium yang dilakukan adalah uji media cairan menggunakan konsorsia mikroba dan uji reaksi enzimatik menggunakan enzim α -amilase. Variabel yang diamati adalah bentuk fisik dan persentase degradasi sampel. Pengujian langsung di lingkungan berupa metode pengomposan.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Bioteknologi Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi (BPPT) Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong, Tangerang. Untuk pengujian lapangan akan dilakukan di Unit Pembuangan Sampah (UPS) Gunadarma, Griya Tugu Asri, Kelurahan Tugu, Cimanggis, Depok. Waktu penelitian dilaksanakan selama 10 minggu yaitu bulan Januari - Maret 2011.

Berikut disajikan jadwal kegiatan penelitian yang meliputi persiapan, pelaksanaan dan pelaporan hasil penelitian dalam bentuk *bar chart*.

Tabel 3.1. Jadwal kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	Januari				Februari				Maret				April			
		Minggu Ke															
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
I		Pengujian:															
	Metode Medium Cair	O	X	X	X	X	X	X	X	X							
	Metode Reaksi Enzimatik	O	X	X													
	Metode Pengomposan	O	X	X	X	X	X	X	X								
II	Pengolahan Data										X	X					
III	Penyusunan Laporan Akhir												X	X	X		

Ket : O = persiapan pengujian;

X = pelaksanaan pengujian.

3.3 Persiapan dan Perizinan

Persiapan penelitian meliputi penyediaan alat dan bahan di laboratorium dan peralatan di lapangan, sedangkan perizinan dilakukan terhadap instansi-instansi terkait meliputi kelurahan dan RT/RW setempat.

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan di Laboratorium:

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengujian di laboratorium adalah:

1. Pengujian dengan metode media cairan

a. Alat:

- Labu Erlenmeyer;
- Spatula;
- Timbangan Analitik;
- Gunting;
- Alat pengocok media cairan (shaker) jenis orbital;
- Mikroskop.

b. Bahan:

- Medium cair dengan kandungan mineral-mineral;
- Benda uji (plastik *biodegradable*);
- Konsorsia mikroba dari produk Biosafero dan Decomic;

2. Pengujian dengan metode reaksi enzimatik:

a. Alat:

- Labu Erlenmeyer;
- Spatula;
- Timbangan Analitik;
- Gunting;
- Alat pengocok (shaker) jenis resiprokal;
- Spektrometer;
- Mikropipet.

b. Bahan:

- Enzim α -amilase (NOVO Thermamyl ... IU);
- Buffer phosphate pH 7 yang ditambahkan NaOH;
- Glukosa;
- Benda uji (plastik *biodegradable*).

3. Pengujian dengan metode pengomposan

a. Alat:

- Kawat kassa;
- Gunting.

Bahan:

- Kompos rumah tangga;
- Benda uji (plastik *biodegradable*);
- Ecoplas;
- Plastik HDPE.

3.4 Langkah Uji

3.4.1 Langkah Uji Metode Cairan

Konsorsia mikroba (Biosafero dan Decomic) masing-masing sebanyak 5 mL diinokulasikan ke dalam 45 mL medium cair. Medium cair yang digunakan terdiri dari 0,1% KH_2PO_4 ; 0,1% Na_2HPO_4 , 0,5% MgSO_4 , dan 0,05% Yeast Extract (YE) dengan pH 7. Sampel dipotong berbentuk persegi berukuran 2x2 cm sebanyak 24 lembar (12 sampel masing-masing untuk Biosafero dan Decomic) diinkubasi dalam medium tersebut dan dilakukan pengocokan (shaking) selama inkubasi berlangsung. Selain itu, dibuat 8 sampel terpisah sebagai kontrol positif dan negatif. Kontrol positif menggunakan kertas saring sedangkan kontrol negatif menggunakan plastik HDPE dengan ukuran yang sama.

Pengocokan dilakukan dalam *shaker* orbital dengan kecepatan 150 rpm dan suhu 24°C selama 8 minggu. Setelah pengocokan, sampel diambil, diamati, lalu dikeringkan dalam oven selama 24 jam dalam oven bersuhu 40°C. Pengambilan, pengamatan, dan penimbangan sampel dilakukan setiap minggu ke-2, ke-4, ke-6, dan ke-8. Pengamatan dilakukan pada perubahan bentuk fisik sampel sebelum dan sesudah mengalami uji dengan menggunakan mata telanjang. Sampel yang sudah kering kemudian ditimbang di neraca analitik, dicatat penurunan beratnya, lalu dilakukan perhitungan persentase degradabilitasnya.

3.4.2 Langkah Uji Metode Reaksi Enzimatik

Pengujian dengan reaksi enzimatik dilakukan dengan mereaksikan benda uji berbentuk lembaran tipis berbobot 10 mg dengan 0,5 mL enzim α -amilase (NOVO Thermamyl ... IU) dalam 9,5 mL buffer phosphate pH 7. Inkubasi dilakukan selama 18 jam pada shaker 150 rpm dan suhu 60°C. Cairan yang diperoleh dilakukan dalam pengujian gula reduksi dengan metode DNS.

- Pembuatan pereaksi DNS

DNS sebanyak 5 gr dilarutkan dalam 100 mL NaOH 2 N, diaduk dan ditambahkan 250 mL aquades. Potassium tartat sebanyak 15 gr ditambahkan, kemudian diaduk sampai larut dan ditepatkan hingga tanda tera (500 mL)

- Pembuatan glukosa standar
Standar glukosa dibuat pada konsentrasi 0, 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 ppm.
- Pengukuran kadar gula pereduksi
Pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer dengan panjang gelombang 550 nm terhadap 1 mL sampel yang ditambahkan dengan 3 mL pereaksi DNS dan diletakkan dalam air mendidih selama 2 menit.

Nilai gula reduksi atau nilai pati yang terhidrolisis akan diasumsikan sebagai bagian yang terdegradasi sehingga akan diperoleh persentase biodegradabilitas plastik.

3.4.3 Langkah Uji Metode Pengomposan

Pada uji ini digunakan 15 sampel yang akan diikutsertakan pada proses pengomposan di TPS. Sampel yang digunakan berukuran 10 x 10 cm lalu dibungkus dengan kawat kassa agar terjaga kondisinya. Sampel kemudian dikubur di dalam kompos rumah tangga sedalam 10-15 cm. Penurunan berat plastik akan diukur sebagai persentase plastik yang terdegradasi.

3.5 Variabel Penelitian

Menurut Suharsimi Arikunto (1998:99) variabel penelitian adalah objek penelitian, atau apa yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Hal ini senada dengan pendapat Ibnu Hajar (1999:156) yang mengartikan variabel adalah objek pengamatan atau fenomena yang diteliti. Sedangkan menurut Sutrisno Hadi (1982:437) variabel adalah semua keadaan, faktor, kondisi, perlakuan, atau tindakan yang dapat mempengaruhi hasil eksperimen. Dalam suatu penelitian eksperimen, Sutrisno Hadi (1982:437) membedakan variabel menjadi dua yaitu:

- Variabel Eksperimen atau treatment variabel yaitu kondisi yang hendak diselidiki bagaimana pengaruhnya terhadap gejala atau *behaviour variable*
- Variabel non eksperimental yaitu variabel yang dikontrol dalam arti baik untuk kelompok eksperimental

Sedangkan Suharsimi Arikunto (1998:101) membedakan variabel menjadi dua yaitu variabel yang mempengaruhi disebut variabel penyebab,

variabel bebas, atau independent variabel (X), dan variabel akibat yang disebut variabel tak bebas, variabel tergantung, variabel terikat, atau dependent variabel (Y).

Berdasarkan pendapat diatas, dalam penelitian ini terdiri dari variabel eksperimental yang meliputi:

1. Variabel bebas : Konsorsia mikroba, enzim α -amilase, dan pengomposan
2. Variabel terikat : Bentuk fisik dan berat plastik berbahan dasar pati

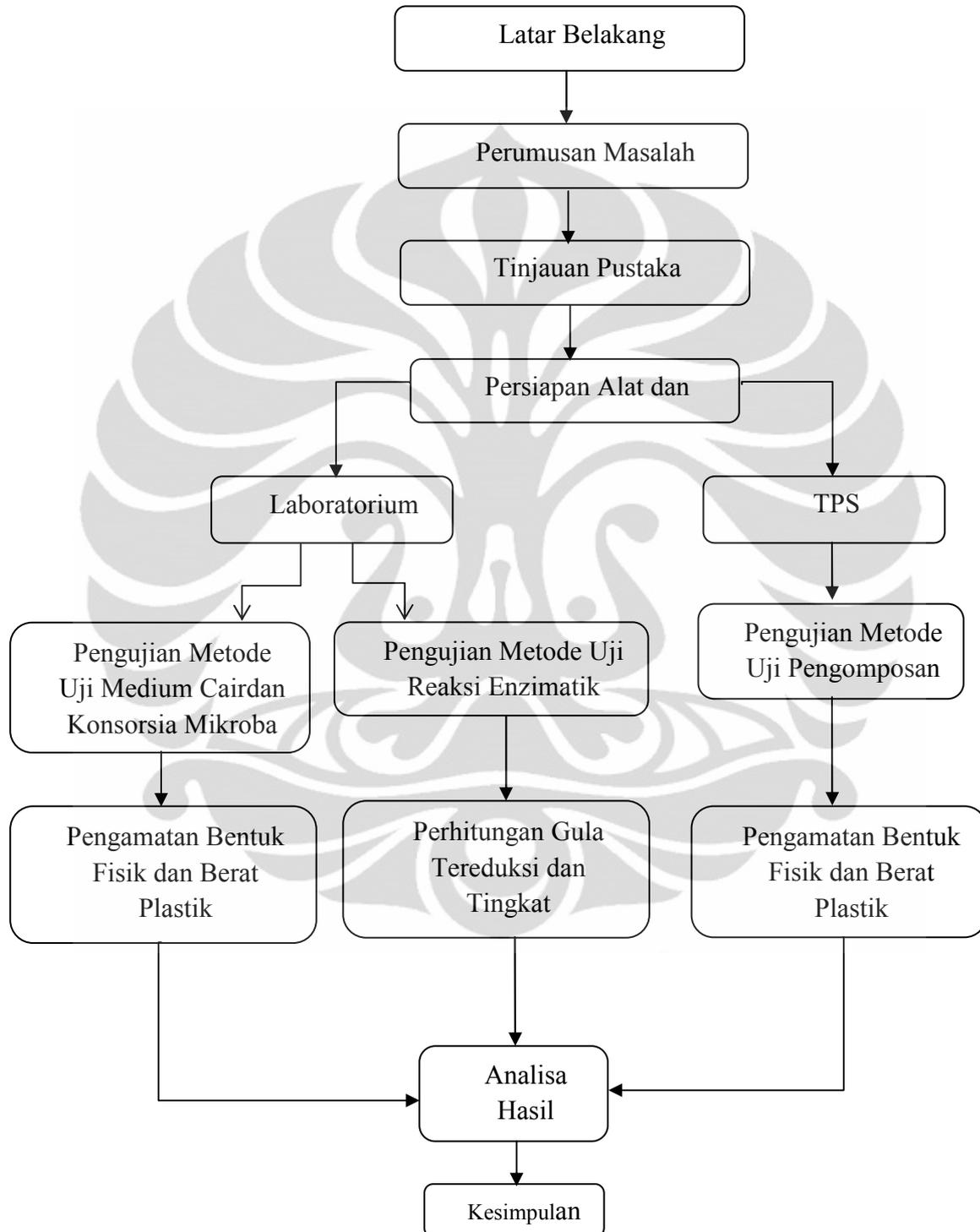
Sedangkan variabel non-eksperimental dalam penelitian ini meliputi pati sebagai bahan dasar penyusun plastik biodegradabel.

3.6 Metode Analisa

Analisa data yang digunakan adalah statistika deskriptif. Statistika deskriptif adalah metode-metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian suatu gugus data sehingga memberikan informasi yang berguna. Secara deskriptif dilakukan pengamatan bentuk fisik plastik menggunakan mata telanjang dan untuk memperoleh gugus data dilakukan pengukuran berat plastik sebelum dan sesudah pengujian serta perhitungan reduksi gula pati.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan oleh diagram alir di bawah ini.



Tabel 3.2. Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Metode Uji Secara Enzimatik

Pengujian dengan reaksi enzimatik dilakukan dengan mereaksikan benda uji dengan enzim α -amilase. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan enzim α -amilase dalam mendegradasi pati dalam benda uji dengan cara menghitung kadar pati yang terhidrolisis. Pada awal pengujian disiapkan alat dan bahan yang diperlukan. Setelah itu benda uji dimasukkan ke dalam media. Sebagai kontrol enzim, disiapkan hanya media tanpa memasukkan benda uji. Sedangkan sebagai kontrol benda uji (substrat), disiapkan media dengan pH 7 dimana aktivitas optimum untuk enzim α -amilase terjadi pada pH 5-7 (Tjokroadikoesoemo, 1986) dan dimasukkan benda uji ke dalam labu uji. Ketiga sampel tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *waterbath shaker* dengan suhu 60°C dimana aktivitas enzim α -amilase optimal dan kecepatan 150 rpm. Setelah suhu *shaker* telah konstan sebanyak 0,5 mL enzim α -amilase diinokulasikan ke dalam labu uji sampel dan kontrol benda uji (substrat). Benda uji kemudian diinkubasi selama ± 18 jam.

Setelah melewati inkubasi ± 18 jam labu uji dikeluarkan dari shaker lalu dipipet 1 mL cairan uji dan ditimbang bobotnya. Sampel uji yang telah ditimbang kemudian dihitung kadar patinya. Bobot sampel uji hasil penimbangan sebagai berikut:

Tabel 4.1. Bobot sampel uji

Sampel Uji	Bobot (gr)
Benda Uji 1	1,0217
Benda Uji 2	0,5154
Control Substrat 1	1,0249
Control Substrat 2	0,5176

Unit terkecil dari rantai pati adalah glukosa yang merupakan hasil fotosintesis di dalam bagian tubuh tumbuh-tumbuhan yang mengandung klorofil. Pati dapat dengan mudah dihidrolisis dengan air menjadi senyawa karbohidrat sederhana yaitu glukosa. Hidrolisis dalam pengujian ini dilakukan

dengan penambahan enzim α -amilase. Enzim α -amilase akan memotong ikatan amilosa dengan cepat pada pati kental yang telah mengalami gelatinisasi. Kemudian enzim glucoamilase akan menguraikan pati secara sempurna menjadi glukosa pada tahap sakarifikasi.

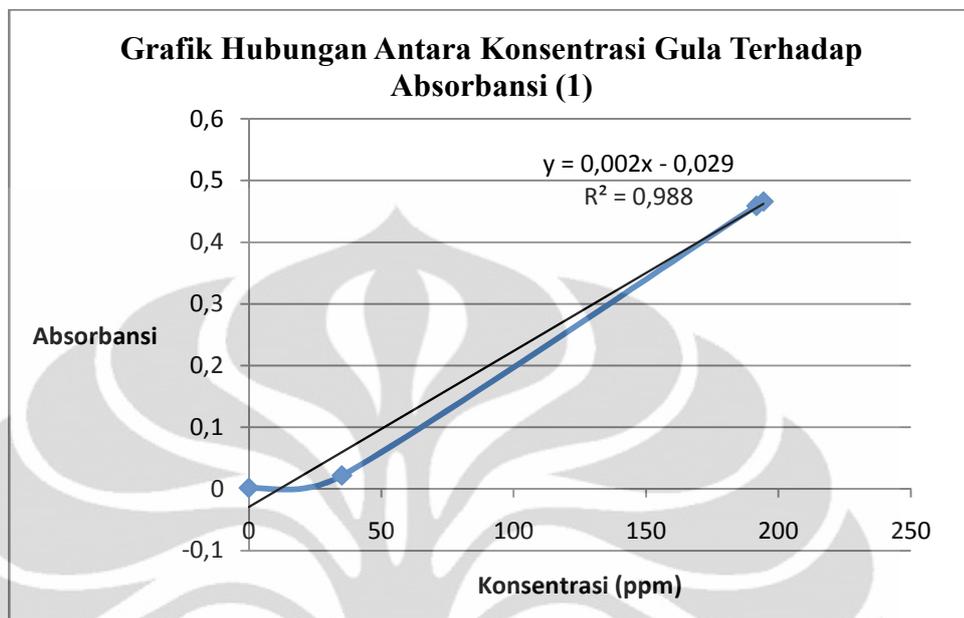
Berdasarkan Fennema (1976), Mekanisme kerja enzim α -amilase pada amilosa dibagi dalam dua tahap. Pertama, degradasi secara cepat molekul amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Pada tahap ini kekentalan menurun dengan cepat. Tahap kedua adalah pembentukan glukosa dan maltosa dengan laju yang lebih lambat, dan tidak terjadi secara acak. Degradasi α -amilase pada amilopektin menghasilkan glukosa, maltosa dan α -limit dekstrin. Aktivitas α -amilase dapat diukur berdasarkan penurunan kadar pati yang larut, pengukuran viskositas, jumlah dekstrin atau jumlah gula pereduksi yang terbentuk. Oleh karena itu, untuk mengetahui kadar pati yang terhidrolisis pada benda uji dilakukan analisis gula pereduksi yang terbentuk dengan metode DNS. Nilai gula reduksi atau pati yang terhidrolisis akan diasumsikan sebagai bagian yang terdegradasi sehingga akan diperoleh persentase degradasi benda uji.

Setelah dilakukan metode DNS, hasil yang diperoleh adalah konsentrasi glukosa dan nilai absorbansi sampel uji. Pada hidrolisis menggunakan enzim ini ditentukan kadar glukosa dengan teknik spektrofotometri.

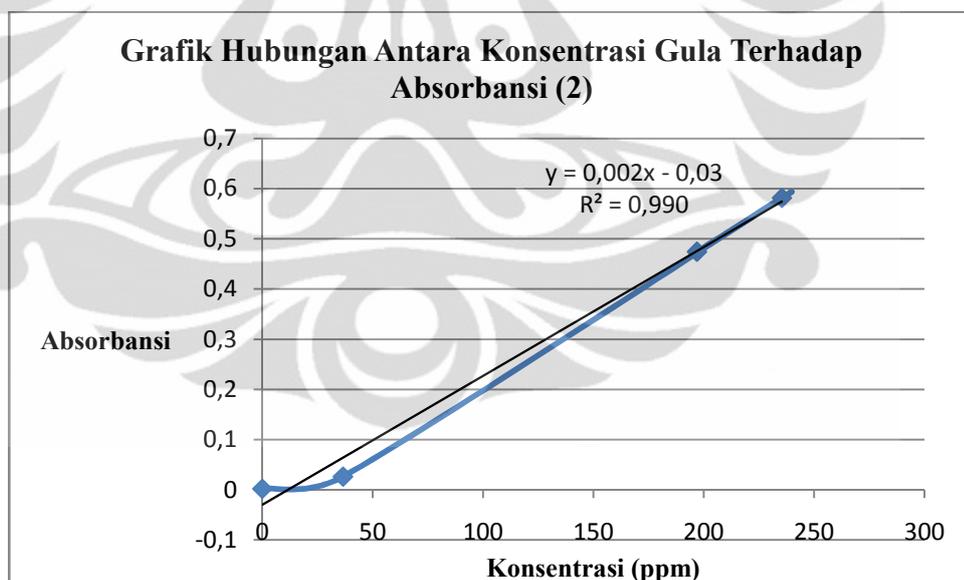
Tabel 4.2. Konsentrasi dan Absorbansi Sampel Uji Secara Enzimatik

Uji	Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
Sampel 1	191,71	0,459
Sampel 2	235,44	0,581
Control Substrat 1	194,34	0,466
Control Substrat 2	196,96	0,474
Control Enzim 1	35,13	0,022
Control Enzim 2	36,529	0,026

Hasil konsentrasi glukosa dan absorbansi yang diperoleh kemudian diplot sehingga diperoleh kurva absorbansi sebagai berikut:



Gambar 4.1. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Gula Terhadap Absorbansi 1



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Gula Terhadap Absorbansi 2

Melalui grafik hubungan antara konsentrasi gula terhadap nilai absorbansinya didapatkan persamaan garis linier $y = 0,002x - 0,029$ pada uji sampel simplo dan $y = 0,002x - 0,03$ pada uji sampel duplo. Konsentrasi gula pada uji sampel simplo dihitung menggunakan persamaan $y = 0,002x - 0,029$

dan uji sampel duplo dihitung menggunakan persamaan $y = 0,002x - 0,03$ dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi gula} = \frac{\frac{\text{Absorbansi} - \text{intercept}}{\text{slope}} \times \text{vol. labu ukur (mL)} \times fp}{\text{Bobot sampel (mg)}}$$

Dimana : fp = faktor pengenceran

Diperoleh konsentrasi gula masing-masing uji sebagai berikut:

$$\text{a. Sampel 1} = \frac{\frac{0,459+0,029}{0,002} \times 25 \times 2}{1021,7} = 11,94 \text{ gr/L}$$

$$\text{b. Sampel 2} = \frac{\frac{0,581+0,03}{0,002} \times 25 \times 1}{515,4} = 14,82 \text{ gr/L}$$

$$\text{c. Kontrol substrat 1} = \frac{\frac{0,466+0,029}{0,002} \times 25 \times 2}{1024,9} = 12,07 \text{ gr/L}$$

$$\text{d. Kontrol substrat 2} = \frac{\frac{0,474+0,03}{0,002} \times 25 \times 1}{517,6} = 12,17 \text{ gr/L}$$

Perhitungan konsentrasi gula uji kontrol enzim menggunakan persamaan regresi yang sama dengan uji sampel serta kontrol substrat, namun bobot sampel tidak dihitung disebabkan tidak dilakukannya penimbangan bobot awal sampel. Perhitungan konsentrasi gula uji kontrol enzim adalah sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi gula} = \frac{\text{Absorbansi} - \text{intercept}}{\text{slope}}$$

- Kontrol enzim 1 = $\frac{0,022+0,029}{0,002} = 25,5 \text{ gr/L}$
- Kontrol enzim 2 = $\frac{0,026+0,03}{0,002} = 28 \text{ gr/L}$

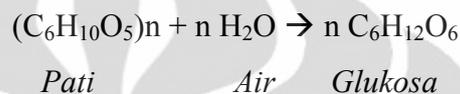
Untuk perhitungan konsentrasi glukosa yang terhidrolisis digunakan cara perhitungan selisih konsentrasi gula pada sampel, kontrol substrat dan kontrol enzim.

- Konsentrasi glukosa uji simplo = $(25,5 - 12,07 - 11,94) \text{ gr/L} = 1,49 \text{ gr/L}$
- Konsentrasi glukosa uji duplo = $(28 - 12,17 - 14,82) \text{ gr/L} = 1,01 \text{ gr/L}$

Karena volume masing-masing sampel uji adalah 10 mL, maka konsentrasi glukosa menjadi:

- a. Konsentrasi glukosa uji simple
= 1,49 gr/L x 1 mg/mL x 10 mL = 1,49 mg
- b. Konsentrasi glukosa uji duplo
= 1,01 gr/L x 1 mg/mL x 10 mL = 1,01 mg

Reaksi yang terjadi secara umum pada hidrolisis pati adalah:



Melalui reaksi tersebut dilakukan perhitungan konsentrasi glukosa hasil hidrolisis pati menggunakan perbandingan mol sebagai berikut:

Mol Pati → Mol Glukosa

$$\left(\frac{6 \text{ mg}}{162n}\right) \rightarrow \left(\frac{x}{180n}\right)$$

Sehingga diperoleh massa keseluruhan glukosa hasil hidrolisis pati sebagai berikut:

$$x = \frac{6 \text{ mg}}{162n} \times 180n = 6,67 \text{ mg}$$

Nilai gula reduksi atau pati yang terhidrolisis akan diasumsikan sebagai bagian yang terdegradasi sehingga akan diperoleh persentase degradasi benda uji. Perhitungan persentase degradasi dilakukan dengan membandingkan konsentrasi glukosa hasil analisis gula pereduksi dan konsentrasi glukosa hasil perhitungan molaritas reaksi hidrolisis pati.

- a. Degradasi benda uji 1 = $\frac{1,49}{6,67} \times 100\% = 22,34\%$
- b. Degradasi benda uji 2 = $\frac{1,01}{6,67} \times 100\% = 15,14\%$

Melalui perhitungan tersebut diperoleh hasil degradasi pati pada benda uji 1 sebesar 22,34% dan benda uji 2 sebesar 15,14%. Dengan demikian, rata-rata degradasi pati oleh uji enzimatik dengan enzim α -amilase adalah 18,74%.

Hasil degradasi pati sebesar 18,74% pada uji reaksi enzimatik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: enzim, ukuran partikel, suhu, pH, waktu hidrolisis, perbandingan cairan terhadap bahan baku (volume substrat), dan pengadukan. Hasil tersebut sejalan dengan Spiller (2001) bahwa walaupun

α -amilase bekerja dengan memotong ikatan pati, namun diduga pati tidak terhidrolisis seluruhnya. Sebagian kecil pati dapat berupa *resistant starch* yang tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan yang disebabkan strukturnya berupa kristal tidak larut air dan amilosa yang ter-retrogradasi terutama akibat proses pada suhu tinggi.

4.2 Metode Uji Media Cair Konsorsium Mikroba

Konsorsium mikroba adalah sekelompok spesies yang berbeda dari mikroorganisme yang bertindak bersama-sama sebagai sebuah komunitas. Pada pengujian ini konsorsium mikroba yang dipakai adalah BioSAFERO dan Decomic. Konsorsium mikroba tersebut kemudian diinokulasikan dalam media cair bersama benda uji. Dalam pengujian ini berat benda uji sebelum dan sesudah uji tiap minggu ke-2, ke-4, ke-6, dan ke-8 ditimbang serta diamati bentuk fisiknya secara kasat mata.

Hasil pengukuran berat sampel sebelum dan sesudah uji media cairan konsorsium mikroba di laboratorium dalam penelitian disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Berat Sampel Pada Uji Media Cair Konsorsium Mikroba

No. Sampel	Jenis Konsorsium	Lama Uji (minggu)	Berat Plastik (dalam mg)		Degradasi (%)	Ket.
			Sebelum Uji	Sesudah Uji		
1	Decomic	2	17,4	14,2	23,57	
2	Decomic	2	18,5	12,5		
3	Decomic	2	16,6	13,3		
4	Decomic	4	17,4	13,5	22,73	
5	Decomic	4	17	12,6		
6	Decomic	4	18,1	14,5		
7	Decomic	6	17,2	15,4	20,63	
8	Decomic	6	19,3	14,2		
9	Decomic	6	19,2	14,4		
10	Decomic	8	17,4	13,5	20,63	
11	Decomic	8	16,6	14,4		
12	Decomic	8	18,3	13,5		
13	Biosafero	2	17,5	11,4	29,62	
14	Biosafero	2	16,4	12,1		
15	Biosafero	2	18	13		
16	Biosafero	4	17,2	11,4	33,64	
17	Biosafero	4	16,5	11,3		
18	Biosafero	4	18,5	11,9		
19	Biosafero	8	19,4	11,1	42,78	sampel tidak ditemukan pada minggu ke-6
20	Biosafero	6	18,1	12,6	32,73	
21	Biosafero	6	19,1	12,4		
22	Biosafero	8	18,1	10,6	34,43	
23	Biosafero	8	18,7	12,4		
24	Biosafero	8	17,4	12,5		

Persentase degradabilitas sampel dihitung menggunakan rumus:

$$\% \text{ Degradabilitas} = \frac{W - W_0}{W} \times 100\%$$

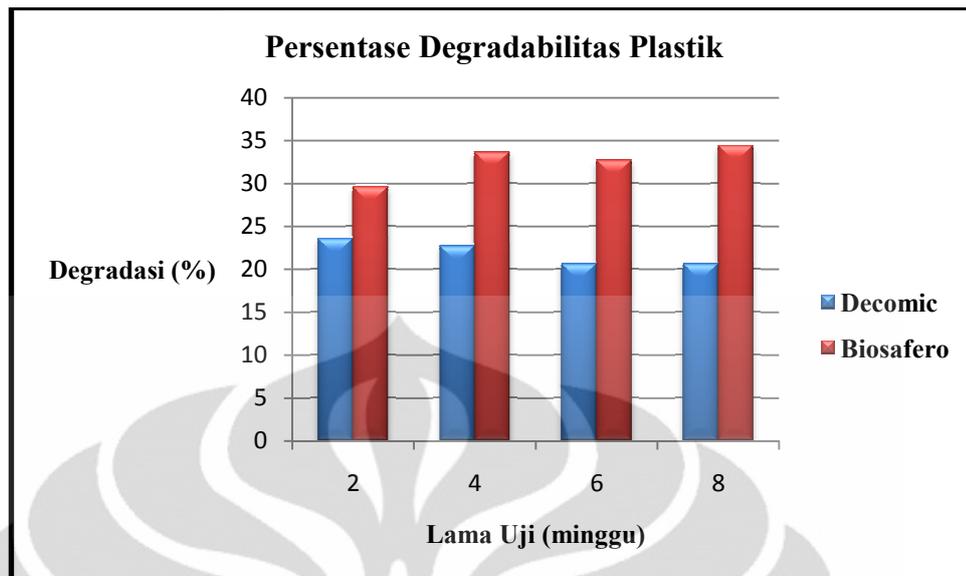
Dimana:

W : berat sampel sebelum uji

W₀ : berat sampel sesudah uji

Persentase degradabilitas yang tertera di dalam tabel merupakan rata-rata persentase untuk tiap minggu ujinya. Berdasarkan hasil perhitungan persentase degradabilitas tersebut persentase tertinggi untuk jenis konsorsium Decomic adalah 23,57% pada minggu uji ke-2, sedangkan persentase tertinggi untuk jenis konsorsium Biosafero adalah 34,43% pada minggu uji ke-8.

Decomic berfungsi untuk mempercepat proses penguraian bahan-bahan organik (sampah daun, sampah rumah tangga, sampah pasar, limbah pertanian dan peternakan) melalui proses fermentasi. Decomic terdiri atas bakteri, yeast, dan jamur serta bakteri fermentasi dari genus *Lactobacillus*, jamur fermentasi, *Actinomycetes*, dan bakteri fotosintetik dan ragi dengan dosis 0.5-1%. Bakteri fotosintetik adalah mikroorganisme yang membentuk senyawa-senyawa antara lain, asam amino asam nukleik, zat bioaktif dan gula yang berfungsi sebagai substrat bagi mikroorganisme lain sehingga jumlahnya terus bertambah. Hasil pengujian menunjukkan persentase degradasi tertinggi untuk jenis konsorsium Decomic adalah 23,57% dengan lama uji 2 minggu. Pada minggu uji ke-4 persentase degradabilitas menurun menjadi 22,73% lalu minggu ke-6 menjadi 20,63% dan pada minggu uji ke-8 sebesar 20,63% tidak menunjukkan perubahan persentase degradasi. Pada konsorsium Biosafero persentase degradasi tertinggi sebesar 34,43% dengan lama uji 8 minggu. Hasil uji pada minggu uji ke-2 sebesar 29,62%, minggu uji ke-4 sebesar 33,64%, dan minggu uji ke-6 sebesar 32,73%. Untuk melihat aktivitas masing-masing konsorsium dilakukan perbandingan persentasi degradasi benda uji baik menggunakan konsorsium Decomic dan Biosafero yang ditampilkan pada grafik 4.3.



Gambar 4.3. Grafik perbandingan persentase degradasi sampel menggunakan konsorsium Decomic dan Biosafero

Hasil perbandingan persentase degradasi sampel menggunakan konsorsium Decomic dan Biosafero pada gambar 4.3 menunjukkan peningkatan degradasi sampel setiap minggu uji untuk konsorsium Biosafero dan penurunan tingkat degradasi sampel setiap minggu uji untuk konsorsium Decomic. Namun peningkatan dan penurunan yang terjadi tampak tidak signifikan.

Menurut Volk dan Wheeler (1993), medium pertumbuhan adalah tempat untuk menumbuhkan mikroba. Mikroba memerlukan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk bahan pembangun sel, untuk sintesa protoplasma dan bagian-bagian sel lain. Setiap mikroba mempunyai sifat fisiologi tertentu, sehingga memerlukan nutrisi tertentu pula. Ada dua penggolongan media tumbuh: media padat dan media cair. Media padat pada umumnya berupa padatan gel, seperti agar, dimana nutrisi dicampurkan pada agar. Media cair adalah nutrisi yang dilarutkan di air. Media cair dapat bersifat tenang atau dalam kondisi selalu bergerak, tergantung kebutuhan. Komposisi media yang digunakan dalam kultur jaringan dapat berbeda komposisinya. Perbedaan komposisi media dapat mengakibatkan perbedaan pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Media yang digunakan dalam pengujian ini merupakan media cair dengan pH 7 dengan susunan dan

kadar nutrisi KH_2PO_4 0,1%, Na_2HPO_4 0,1%, MgSO_4 0,5%, serta *Yeast Extract* 0,05% untuk pertumbuhan mikroba agar mikroba dapat tumbuh optimal.

Peningkatan persentase degradasi benda uji untuk uji konsorsium mikroba BioSAFERO diduga disebabkan oleh media cair yang digunakan memberikan lingkungan yang cocok secara fisik dan kimia bagi mikroba yang diinokulasikan. Produk BioSAFERO berisi bakteri, *actinomycetes*, *yeast*, dan kapang terseleksi yang memiliki kemampuan menguraikan atau mendekomposisi bahan-bahan organik mentah dengan cepat menjadi kompos untuk digunakan sebagai pupuk pertanian. BioSAFERO digunakan pada kultur cair. Oleh karena konsorsium mikroba yang terkandung dalam BioSAFERO memperoleh lingkungan yang cocok secara fisik dan kimia serta nutrisi yang sesuai menyebabkan pertumbuhan mikroba yang optimal sejalan dengan kemampuan mikroba untuk merombak dan menggunakan sumber C dari benda uji (substrat). Mikroba yang mampu merombak dan menggunakan sumber C dari benda uji 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 *actinomycetes Streptomyces rubrreticuli*. Untuk dapat merombak plastik, mikroba harus dapat mengontaminasi lapisan plastik melalui muatan elektrostatis dan mikroba harus mampu menggunakan komponen di dalam atau pada lapisan plastik sebagai nutrisi. (Trisnawidarti, Nopiyanti, & Muzakar, 2010)

Sebaliknya, benda uji yang diinokulasikan pada konsorsium mikroba Decomic mengalami penurunan persentase degradasi diduga disebabkan oleh media cair yang digunakan tidak memberikan lingkungan yang cocok secara fisik dan kimia bagi mikroba yang diinokulasikan. Decomic terdiri atas bakteri, *yeast*, dan jamur terseleksi yang memiliki kemampuan untuk menguraikan dan mendekomposisikan bahan-bahan organik mentah dengan cepat menjadi kompos dengan dosis 1% serta EM4 (effective microorganisms). Selain itu terdapat pula bakteri fermentasi dari genus *Lactobacillus*, jamur fermentasi, *Actinomycetes* bakteri fotosintetik dan ragi dengan dosis 0.5-1%. Hal ini sejalan dengan media peruntukan konsorsium mikroba Decomic adalah media

padat. Oleh karena konsorsium mikroba yang terkandung dalam Decomic tidak memperoleh lingkungan yang cocok secara fisik dan kimia serta nutrisi yang sesuai menyebabkan pertumbuhan mikroba yang kurang optimal sejalan dengan kemampuan mikroba untuk merombak dan menggunakan sumber C dari benda uji (substrat).

Hasil bentuk fisik benda uji setelah pengujian yang mengalami pertumbuhan bakteri dalam media cairnya terdapat pada semua sampel. Decomic terdiri atas bakteri, *yeast*, dan jamur terseleksi yang memiliki kemampuan untuk menguraikan dan mendekomposisikan bahan-bahan organik mentah dengan cepat menjadi kompos dengan dosis 1% serta EM4 (effective microorganisms). Pada uji konsorsium mikroba Decomic, hasil pengamatan kertas saring sebagai kontrol positif tampak ditumbuhi jamur untuk lama uji 2 dan 8 minggu. Hal ini menunjukkan konsorsium mikroba Decomic mampu menguraikan dan mendekomposisikan bahan-bahan organik.



(Minggu ke-2)



(Minggu ke-8)

Gambar 4.4. Hasil kontrol positif konsorsium mikroba Decomic

Pertumbuhan bakteri dalam media cair berbeda-beda dan hal ini dapat dilihat dari hasil yang nampak, seperti adanya:

- (1) Kekeruhan, cairan seperti berawan.
- (2) Pembentukan selaput, sekumpulan sel-sel mengapung pada permukaan media.
- (3) Sedimen, suatu timbunan sel yang mengendap pada bagian bawah biakan cair, tetapi akan berputar bila tabung diketuk perlahan-lahan.



Sampel 1

Sampel 2

Sampel 3

Gambar 4.5. Hasil Uji Decomic Minggu Uji ke-2

Hasil pengamatan secara kasat mata pada benda uji menunjukkan pertumbuhan bakteri pada sampel uji 1 (tampak keruh), sampel uji 3 (adanya sedimen).



Gambar 4.6. Hasil Uji Decomic Minggu Uji ke-4

Hasil pengamatan secara kasat mata pada benda uji menunjukkan pertumbuhan bakteri pada sampel uji 4 (adanya sedimen), sampel uji 6 (tampak keruh).



Gambar 4.7. Hasil Uji Decomic Minggu Uji ke-6

Hasil pengamatan secara kasat mata pada benda uji menunjukkan pertumbuhan bakteri pada sampel uji 7 (adanya sedimen), sampel uji 8 (tampak pembentukan selaput dan jamur) serta sampel uji 9 (adanya sedimen dan tampak keruh).

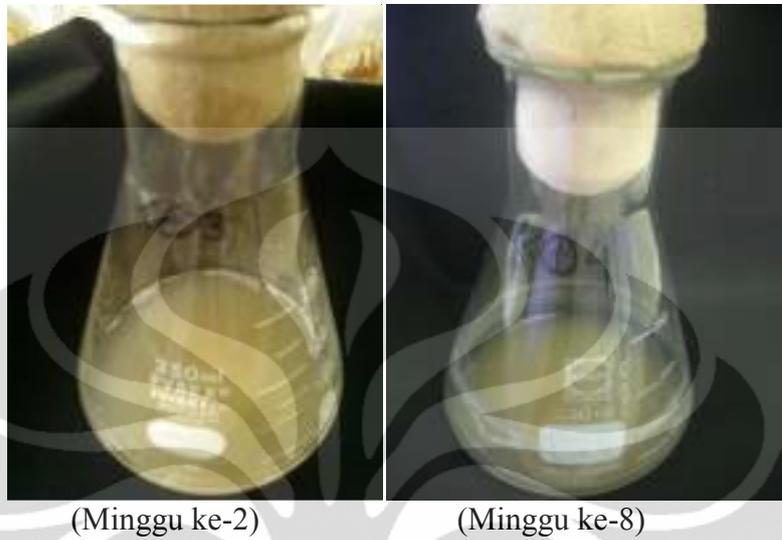


Gambar 4.8. Hasil Uji Decomic Minggu Uji ke-8

Hasil pengamatan secara kasat mata pada benda uji minggu ke-8 menunjukkan pertumbuhan bakteri hanya pada sampel uji 12 yaitu tampak keruh dan adanya sedimen. Hasil tersebut menunjukkan aktivitas konsorsium mikroba Decomic pada minggu ke-8 kurang optimal dalam dekomposisi substrat.

Berbeda dengan konsorsium mikroba Decomic, hasil pengamatan keseluruhan sampel uji yang diinokulasikan konsorsium mikroba BioSAFERO

mulai dari kontrol positif (kertas saring), minggu uji ke-2 hingga minggu uji ke-8 tidak menunjukkan adanya sedimen dan pembentukan selaput melainkan media hanya tampak keruh.



Gambar 4.9. Hasil kontrol positif konsorsium mikroba BioSAFERO



Gambar 4.10. Hasil Uji BioSAFERO Minggu Uji ke-2



Gambar 4.11. Hasil Uji BioSAFERO Minggu Uji ke-8

Salah satu contoh pertumbuhan bakteri yang terjadi pada sampel yaitu terjadinya kekeruhan terdapat pada Gambar 4.7 serta pembentukan selaput dan sedimen pada Gambar 4.8 pada sampel pada minggu uji ke-4 menggunakan konsorsium Decomic.

Konsorsium mikroba BioSAFERO dalam aplikasinya digunakan untuk kultur cair sehingga mikroorganisme dengan mudah dapat hidup dalam media cair. Sedangkan, konsorsium mikroba Decomic dalam aplikasinya digunakan untuk kultur padat sehingga mikroorganisme mengalami kesulitan untuk hidup dalam media cair. Perubahan faktor lingkungan dalam hal ini kultur media menyebabkan aktivitas fisiologi mikroba dapat terganggu, bahkan mikroba dapat mati.

Berdasarkan (The Environmental Company, Wastewater Treatment Solutions, 2010) dalam sebuah konsorsium mikroba dapat ditemukan sejumlah organisme dengan kemampuan metabolik yang berbeda. Hal ini dapat mencakup organisme yang proteolitik (dapat mendegradasi protein dan asam amino); organisme yang *saccharolytic* (dapat mendegradasi berbagai gula); organisme yang lipolitik (mampu mencerna lipid atau lemak), dan organisme yang *cellulytic* (mampu untuk mendegradasi selulosa atau bahan tanaman). Kemampuan metabolisme yang berbeda tersebut memungkinkan konsorsium untuk bekerja sama dalam menurunkan berbagai aliran limbah yang kompleks. Hasil pengujian persentase degradasi sampel dengan konsorsium mikroba menunjukkan bahwa konsorsium Biosafero dan Decomic memiliki organisme

dengan kemampuan degradasi ikatan hidrokarbon plastik dan berbagai gula menjadi karbondioksida dan air.

4.3 Metode Uji Pengomposan

Dekomposisi atau pengomposan merupakan proses biologi untuk menguraikan bahan organik menjadi bahan humus oleh mikroorganisme. Mikroorganisme menggunakan komponen residu sisa tanaman sebagai substrat untuk memperoleh energi yang dibentuk melalui oksidasi senyawa organik dengan produk utama CO₂ (dilepas ke alam) dan karbon (untuk sintesis sel baru). Pengujian degradabilitas benda uji dilakukan dengan mengubur dan membiarkannya dalam proses pengomposan lalu dihitung penurunan bobot benda uji sebagai representasi degradasi yang terjadi.

Setelah melakukan pengujian selama 8 minggu diperoleh hasil penimbangan berat benda uji sebelum dan sesudah proses pengomposan di UPS Gunadarma yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Berat Sampel Pada Uji Pengomposan

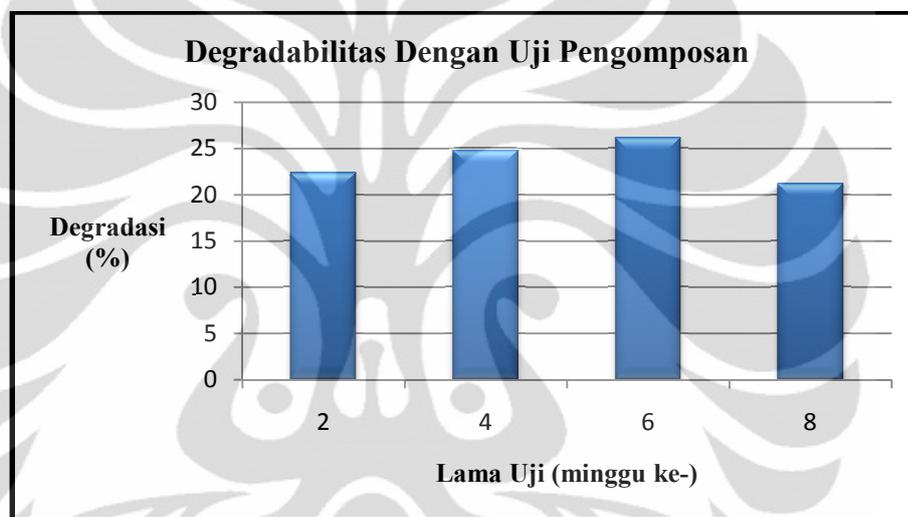
No. Sampel	Jenis Sampel	Lama Uji (minggu)	Berat Plastik (dalam mg)		Degradasi (%)	Ket.
			Sebelum Uji	Sesudah Uji		
1	Benda Uji	2	461	353	22,37	
2	Benda Uji	2	464	365,9		
3	Benda Uji	2	449	347,8		
4	Benda Uji	4	446	335,1	24,83	
5	Benda Uji	4	454	339,5		
6	Benda Uji	4	439	331,9		
7	Benda Uji	6	446	334,4	26,14	
8	Benda Uji	6	455	326,9		
9	Benda Uji	6	451	337,1		
10	Benda Uji	8	440	350,5	21,18	
11	Benda Uji	8	469	366,4		
12	Benda Uji	8	441	347		
13	Kertas Saring (kontrol positif)	2	537	0	100	
14	Ecoplas	8	362	385,2	-6,4	
15	Plastik HDPE (kontrol negatif)	8	296	304,7	-2,94	

Hasil pengujian pengomposan menunjukkan bahwa persentase degradasi benda uji tertinggi adalah kertas saring sebagai kontrol positif dengan persentase 100% pada minggu uji ke-2. Bentuk fisik plastik setelah minggu uji ke-2 ditunjukkan pada Gambar 4.1.



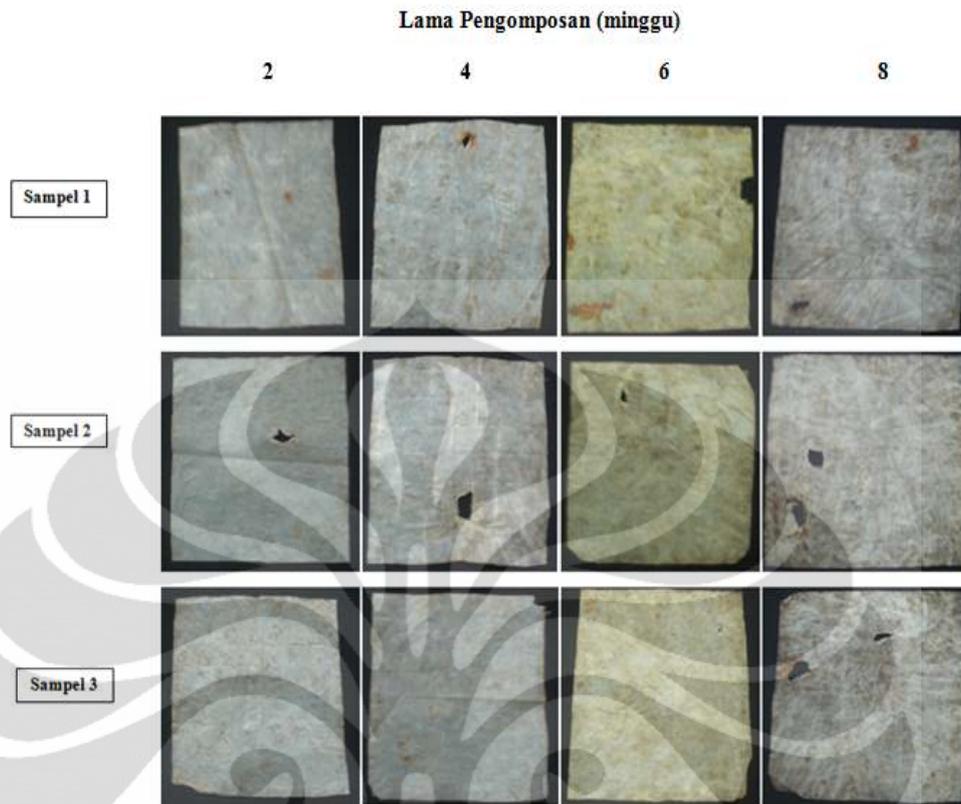
Gambar 4.12. Bentuk Fisik Sampel Kontrol Positif Pada Minggu Uji ke-2

Bentuk fisik sampel kontrol positif pada minggu uji ke-2 terlihat dalam kondisi yang tidak utuh dimana bagian dari kertas saring tidak dapat direkatkan antara satu bagian dengan bagian yang lainnya. Hasil ini menunjukkan bahwa kertas saring sebagai kontrol positif terdegradasi dengan cepat dan proses pengomposan telah berlangsung sesuai yang diharapkan. Selain kontrol positif, persentase degradasi pada sampel plastik minggu uji ke-2 adalah 22,37%, minggu uji ke-4 sebesar 24,83%, minggu uji ke-6 sebesar 26,14%, dan minggu uji ke-8 sebesar 21,18%. Persentase degradasi tersebut kemudian diplot dalam grafik 4.13.



Gambar 4.13. Grafik Degradabilitas Plastik Biodegradabel Dengan Uji Pengomposan

Berdasarkan grafik 4.2 tampak bahwa proses degradasi plastik biodegradabel meningkat mulai dari minggu ke-2 hingga minggu ke-6 kemudian menurun pada minggu ke-8. Bentuk fisik sampel 1 sampai 12 tampak tidak berubah secara kasat mata. Beberapa sampel tampak berlubang namun hal tersebut bukan disebabkan oleh proses kimiawi pengomposan melainkan akibat garpu yang tertancap yang digunakan dalam proses pengambilan sampel. Degradasi dari material yang terbuat dari polimer dan plastik terjadi pada kondisi biotik yang dimediasi oleh aksi makroorganisme (fragmentasi) atau mikroorganisme (biodegradasi) atau pada kondisi abiotik yang dimediasi oleh agen kimia atau fisika-kimia. Pada hasil benda uji 8, 9, 11, dan 12 tampak fragmen-fragmen yang terbentuk yang menunjukkan adanya aktivitas makroorganisme selama proses pengomposan.



Gambar 4.14. Hasil Uji Pengomposan



Gambar 4.15. Bentuk fisik sampel yang berlubang

Degradasi sampel yang cenderung meningkat mulai dari minggu uji ke-2 hingga minggu ke-6 lalu menurun pada minggu ke-8 kemungkinan disebabkan oleh berbagai macam faktor. Proses pengomposan secara sederhana dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap aktif dan tahap pematangan. Selama

tahap-tahap awal proses, oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi akan segera dimanfaatkan oleh mikroba mesofilik. Kecenderungan tingkat degradasi sampel uji yang meningkat dari minggu ke-2 hingga minggu ke-6 kemungkinan disebabkan banyaknya jumlah mikroba mesofilik pada tumpukan limbah organik dalam proses pembuatan kompos. Pada analisa laboratorium terhadap kompos organik UPS Gunadarma diperoleh temperatur 38°C (tidak memenuhi standar baku mutu) dan kandungan bahan organik sebesar 50,74% (memenuhi standar baku mutu). Proses pengomposan yang dilakukan di UPS Gunadarma merupakan proses secara aerobik, dimana mikroba menggunakan oksigen dalam proses dekomposisi bahan organik. Mikroba mesofilik adalah golongan mikroba yang mempunyai temperatur optimum pertumbuhan antara 25°C - 37°C sehingga pada proses pengomposan terdapat banyak mikroba mesofilik yang memanfaatkan oksigen dan senyawa-senyawa yang mudah terdegradasi. Ada hubungan langsung antara peningkatan suhu dengan konsumsi oksigen. Semakin tinggi temperatur akan semakin banyak konsumsi oksigen dan akan semakin cepat pula proses dekomposisi. Peningkatan suhu dapat terjadi dengan cepat pada tumpukan kompos. Temperatur yang berkisar antara 30 - 60°C menunjukkan aktivitas pengomposan yang cepat. Selanjutnya persentase degradasi yang cenderung berkurang pada minggu uji ke-8 disebabkan kemungkinan kondisi lingkungan kompos yang kurang sesuai atau tidak sesuai bagi organisme pendegradasi bahan organik maka organisme tersebut akan dorman, pindah ke tempat lain, atau bahkan mati.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi degradabilitas sampel pada proses pengomposan antara lain rasio C/N, aerasi, kelembaban, pH, kandungan hara, serta lama pengomposan.

Tabel 4.5. Hasil analisa parameter untuk Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik

No	Parameter	Satuan	Standar Baku mutu SNI 1907030-2004		Hasil Analisa	Ket.
			Min.	Maks.		
1	Kadar air	%		50.00	9.09	
2	Temperatur	°C		Suhu Air Tanah	38	
3	Warna			Kehitaman	Coklat abu-abu	
4	Bau			Berbau Tanah	Berbau Masam	
5	pH		6.80	7.49	6.72	Tidak memenuhi
6	Bahan Organik	%	27.00	58.00	50.74	Memenuhi
7	Nitrogen	%	0.40		0.57	
8	Karbon	%	9.80	32.00	12.03	Memenuhi
9	Phospor	%	0.10		13.06	
10	Kalium	%	0.20	*	36.45	
11	C/N-rasio		10	20	21.10	Tidak memenuhi
12	Seng (Zn)	mg/L		500.00	0.68	
13	Calcium (Ca)	%		25.50	8.75	
14	Magnesium (Mg)	%		0.60	4.3	
15	Besi (Fe)	%		2.00	0.225	
16	Mangan (Mn)	%		0.10	0.25	
17	Fecal Coli	MPN/100 mL		1000	140	

Sumber : Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan (2009)

Berdasarkan hasil laboratorium rasio C/N yang terdapat pada kompos UPS Gunadarma sebesar 21,10 dimana rasio C/N tersebut tidak memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Rasio C/N yang efektif untuk proses pengomposan berkisar antara 30: 1 hingga 40:1. Mikroba memecah senyawa C sebagai sumber energi dan menggunakan N untuk sintesis protein. Berdasarkan literatur, pada rasio C/N di antara 30 s/d 40 mikroba mendapatkan cukup C untuk energi dan N untuk sintesis protein. Apabila rasio C/N terlalu tinggi, mikroba akan kekurangan N untuk sintesis protein sehingga dekomposisi berjalan lambat. Rasio C/N pada proses pengomposan UPS Gunadarma yang cukup tinggi belum cukup efektif bagi mikroba untuk memecah senyawa C sebagai sumber energi dan menggunakan N untuk sintesis protein. Dengan rasio C/N yang cukup tinggi memungkinkan kondisi mikroba akan kekurangan N untuk sintesis protein sehingga dekomposisi berjalan lambat yang direpresentasikan oleh hasil degradasi sampel selama 8 minggu yang berkisar antara 21-26%. Kondisi lain yang mempengaruhi proses pengomposan tersebut yaitu kondisi kompos yang cukup oksigen (aerob) dengan kandungan air bahan (kelembaban) yang dijaga dengan penyemprotan kompos menggunakan air secara rutin setiap 1 x 3 hari pada UPS Gunadarma dengan kondisi tumpukan tidak dilebarkan. Aerasi secara alami akan terjadi pada saat terjadi peningkatan suhu yang menyebabkan udara hangat keluar dan udara yang lebih dingin masuk ke dalam tumpukan kompos. Aerasi dapat ditingkatkan dengan melakukan pembalikan atau mengalirkan udara di dalam tumpukan kompos. Pada UPS Gunadarma aerasi telah ditingkatkan dengan melakukan pembalikan tumpukan kompos sekali dalam waktu seminggu.

Kelembaban memegang peranan yang sangat penting dalam proses metabolisme mikroba dan secara tidak langsung berpengaruh pada suplai oksigen. Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila bahan organik tersebut larut di dalam air. Kelembaban 40 - 60 % adalah kisaran optimum untuk metabolisme mikroba. Apabila kelembaban di bawah 40%, aktivitas mikroba akan mengalami penurunan dan akan lebih rendah lagi pada kelembaban 15%. Apabila kelembaban lebih besar dari 60%, hara akan tercuci, volume udara berkurang, akibatnya aktivitas mikroba akan menurun dan akan terjadi fermentasi anaerobik yang menimbulkan bau tidak sedap.

Proses pengomposan dapat terjadi pada kisaran pH yang lebar. pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6,5 sampai 7,5. Berdasarkan hasil analisa laboratorium, pH pada proses pengomposan di UPS Gunadarma sebesar 6,72. Hasil ini tidak memenuhi Standar Baku

Mutu SNI 19-7030-2004 dimana pH berkisar antara 6,8-7,49 dan tidak optimum untuk proses pengomposan. Selain pH, faktor lain yang berpengaruh dalam proses pengomposan adalah kandungan hara (kandungan P dan K). Berdasarkan hasil analisa laboratorium, pada proses pengomposan di UPS Gunadarma kandungan P sebesar 13,06 yang tidak memenuhi standar baku mutu dan kandungan K sebesar 36,45 yang memenuhi standar baku mutu. Hara ini akan dimanfaatkan oleh mikroba selama proses pengomposan. Selain itu warna kompos yang coklat menjadi indikator hasil pengujian pada minggu ke-8 sebesar 21,18% yang menunjukkan lambatnya proses dekomposisi pada benda uji.

Selain benda uji, hasil pengujian pada sampel Ecoplas dan plastik HDPE sebagai kontrol negatif masing-masing sebesar -6,4% dan -2,94%. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel mengalami penambahan berat setelah uji pengomposan. Hal ini kemungkinan disebabkan proses pembersihan sampel kurang intensif sehingga beberapa partikel yang terdapat pada proses pengomposan melekat pada sampel. Oleh karena kesulitan dalam penentuan kehilangan berat pada sampel dengan pengujian pengomposan ini, maka dilakukan analisa bentuk fisik sampel plastik sesudah pengujian.



Gambar 4.16. Bentuk fisik sampel Ecoplas yang berlubang



Gambar 4.17. Bentuk fisik sampel HDPE yang berlubang

Pada gambar 4.16 dan 4.17 tampak bahwa bentuk permukaan koyak dan berlubang serta masih terdapat partikel dan tanah yang menempel dari proses pengomposan. Permukaan yang koyak disebabkan sampel diselipkan dalam kawat dan diikuti dalam proses pembalikan kompos. Selain itu lubang yang terdapat pada permukaan bukan disebabkan oleh mikroba pendegradasi melainkan akibat garpu yang menancap pada sampel pada saat proses pembalikan kompos. Dengan demikian, persentasi degradasi sampel yang diuji dengan metode pengomposan yang tampak secara kasat mata tidak dapat dihitung.

Proses pengomposan di UPS Gunadarma dilakukan selama 2 minggu hingga kompos benar-benar matang. Waktu yang dibutuhkan untuk proses pengomposan tergolong cepat. Cepatnya proses pengomposan tersebut disebabkan manipulasi kondisi/faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pengomposan antara lain aerasi, pembalikan tumpukan kompos, dan penyiraman air untuk menjaga kelembaban kompos untuk metabolisme mikroorganisme. Strategi lain yang diterapkan UPS Gunadarma untuk mempercepat proses pengomposan adalah dengan menambahkan organisme yang dapat mempercepat proses pengomposan yaitu Effective Microorganisms-4 (EM-4). Penyemprotan EM-4 pada tumpukan sampah dilakukan setiap dua kali seminggu dengan takaran 1 liter EM-4 diencerkan dalam 1000 liter air. Setiap kali penyemprotan larutan EM-4 yang dihabiskan ± 15 liter. Pada saat disemprotkan ke dalam tumpukan sampah EM-4 secara aktif memfermentasikan bahan organik.

4.4 Kaitan antara reaksi enzimatik, konsorsium mikroba, dan pengomposan pada degradasi plastik *biodegradable*

Biodegradable didefinisikan sebagai kemampuan mendekomposisi bahan menjadi karbondioksida, metana, air, komponen anorganik atau biomassa melalui mekanisme enzimatik mikroorganisme, yang bisa diuji dengan pengujian standar dalam periode waktu tertentu. *Biodegradable* merupakan salah satu mekanisme degradasi material, selain *compostable*, *hydrobiodegradable*, *photobiodegradable*, *biodegradable* (Nolan-ITU, 2002). Menurut ASTM D-5488-84d, *biodegradable* berarti mampu diurai menjadi gas karbondioksida, metana, air, *inorganic compounds* atau biomassa dimana mekanisme yang utama adalah karena aktivitas enzim yang dihasilkan suatu mikroorganisme.

Plastik *biodegradable* adalah plastik yang dapat digunakan layaknya seperti plastik konvensional, namun akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme menjadi hasil akhir berupa air dan gas karbondioksida setelah habis terpakai dan dibuang ke lingkungan tanpa meninggalkan sisa yang beracun. Karena sifatnya yang dapat kembali ke alam, plastik *biodegradable* merupakan bahan plastik yang ramah terhadap lingkungan (Pranamuda H, 2009). Sedangkan menurut Seal (1994), kemasan plastik *biodegradable* adalah suatu material polimer yang berubah ke dalam senyawa berat molekul rendah dimana paling sedikit satu tahap pada proses degradasinya melalui metabolisme organisme secara alami. Plastik *biodegradable* dapat dihasilkan melalui beberapa cara, salah satunya adalah biosintesis menggunakan bahan berpati atau berselulosa.

Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat biodegradabilitas kemasan setelah kontak dengan mikroorganisme, yakni: sifat hidrofobik, bahan aditif, proses produksi, struktur polimer, morfologi dan berat molekul bahan kemasan. Proses terjadinya biodegradasi film kemasan pada lingkungan alam dimulai dengan tahap degradasi kimia yaitu dengan proses oksidasi molekul menghasilkan polimer dengan berat molekul yang rendah. Proses berikutnya adalah serangan mikroorganisme (bakteri, jamur dan alga) dan aktivitas enzim (intraselular, ekstraselular). Mikroba tidak dapat langsung memetabolisme partikel organik tidak larut sehingga mikroba menghasilkan enzim ekstraselular untuk mendegradasi bahan organik berukuran besar menjadi lebih kecil dan larut dalam air sebagai substrat bagi mikroba. Kemudian mikroba mentransfer substrat tersebut ke dalam sel melalui membran sitoplasma untuk menyelesaikan dekomposisi bahan organik. Proses dekomposisi ini tidak dilakukan oleh

satu jenis mikroorganisme tapi berupa konsorsium mikroorganisme antara lain bakteri, fungi, dan aktinomisetes. (Herdiyantoro, 2010) Konsorsium mikroba lebih tahan terhadap guncangan lingkungan dan dapat lebih bersaing dan bertahan di lingkungan daripada mikroorganisme tunggal. Konsorsium mikroba mampu menangani berbagai macam limbah kompleks.



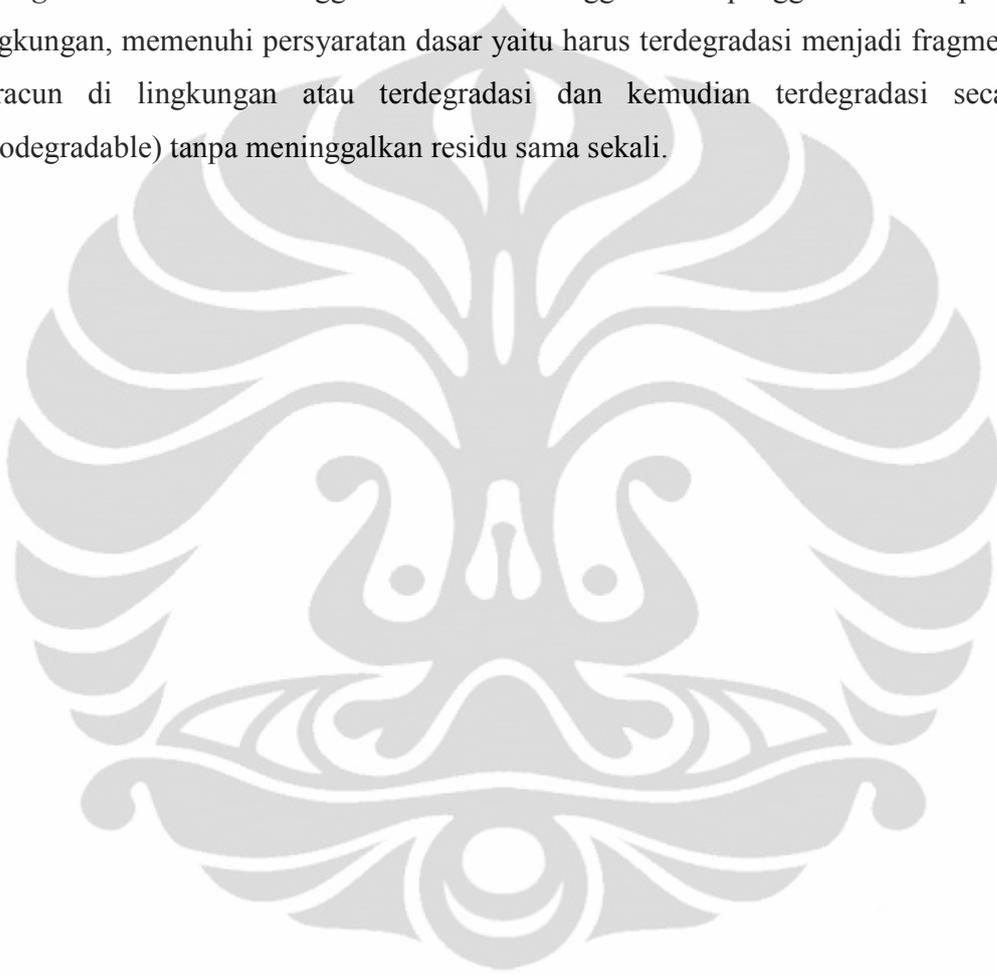
Gambar 4.18. Konsorsium mikroba dalam tumpukan tanah

Sumber : Herdiyantoro (2010)

Dari alam telah ditemukan mikroba yang dapat merombak plastik, yaitu terdiri dari bakteri, actinomycetes, jamur dan khamir yang umumnya dapat menggunakan plasticizers sebagai sumber C, tetapi 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 C 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 actinomycetes *Streptomyces rubrreticuli*. Mikroba tersebut merupakan agen dekomposer yang dapat digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan kualitas hasil pengomposan, umumnya disebut konsorsium mikroba atau bioaktivator pengomposan atau biodekomposer.

Degradasi dari material yang terbuat dari polimer dan plastik pada benda uji yang merupakan campuran antara 60% pati dan 40% polietilen terjadi pada kondisi biotik yang dimediasi oleh aksi makroorganisme (fragmentasi) atau mikroorganisme (biodegradasi) pada proses fragmentasi atau pada kondisi abiotik yang dimediasi oleh agen kimia atau fisika-kimia contohnya enzim. Degradasi biotik dimediasi oleh mikroorganisme yang terjadi pada kondisi

lingkungan yang berbeda dan dapat diklasifikasikan menurut ada (aerobik) atau tidak adanya (anaerobik) oksigen. Pada akhirnya melalui ketiga pengujian ini diharapkan plastik *biodegradable* yang terdegradasi di lingkungan oleh proses biotik dan abiotik dan pada akhirnya dihilangkan melalui asimilasi oleh organisme hidup diidentifikasi plastik *biodegradable* tidak meninggalkan residu sehingga untuk penggunaan atau pembuangan di lingkungan, memenuhi persyaratan dasar yaitu harus terdegradasi menjadi fragmen yang tidak beracun di lingkungan atau terdegradasi dan kemudian terdegradasi secara biologis (*biodegradable*) tanpa meninggalkan residu sama sekali.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian degradabilitas plastik *biodegradable* berbahan dasar pati dengan metode uji reaksi enzimatik, media cairan konsorsium mikroba dan pengomposan dapat disimpulkan bahwa:

1. Uji reaksi enzimatik menggunakan enzim α -amilase dan dianalisis menggunakan metode DNS mendegradasikan pati di dalam plastik berbahan dasar pati sebesar 18,74%. Persentase degradasi diperoleh dari nilai gula reduksi hasil hidrolisis pati oleh enzim α -amilase.
2. Pada uji media cairan menggunakan konsorsium mikroba BioSAFERO diperoleh persentase degradasi plastik berbahan dasar pati tertinggi sebesar 34,43% pada minggu uji ke-8 dan pada konsorsium mikroba Decomic persentase tertinggi sebesar 23,57% pada minggu uji ke-2. Hasil tersebut menunjukkan aktivitas konsorsium mikroba BioSAFERO yang lebih optimal dibandingkan Decomic dalam mendegradasi plastik berbahan dasar pati di dalam media cairan.
3. Pengujian degradabilitas plastik berbahan dasar campuran pati dan Polietilen dengan metode pengomposan diukur berdasarkan berat sampel sebagai persentase degradasi yang terjadi. Hasil yang diperoleh menunjukkan persentase degradasi pada sampel plastik mulai minggu uji ke-2 hingga minggu uji ke-8 berkisar antara 21,18%-26,14%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan evaluasi biodegradabilitas plastik berbahan dasar pati lebih lanjut dengan menggunakan uji yang berbeda.
2. Perlu dilakukan pengkajian untuk mengetahui konsorsium mikroba yang optimal dalam mendegradasi plastik *biodegradable*.
3. Perlu dilakukan pengkajian terhadap kualitas kompos untuk mengetahui teknik pengomposan yang tepat dan optimal untuk mendegradasi plastik *biodegradable*.

4. Pemerintah perlu mendorong dan mempromosikan pengalihan penggunaan plastik konvensional menjadi penggunaan plastik *biodegradable* pada masyarakat.



DAFTAR REFERENSI

- Adam, S. San 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.
- Chiellini, Emo. 2001. *Environmentally Degradable Polymers and Plastics (EDPs)-An Overview*. Italy: Dept of Chemistry and Industrial Chemistry, University of Pisa.
- Fennema, R.W., ed. 1976. Principle of Food Science, Food Chemistry. Merceel Dekker Inc., New York.
- Flieger MM, Kantorova A, Prell T. 2003. *Biodegradable Plastics from renewable sources*. J Folia Microbiol 48910:22-44.
- Idemat. 1998. Thermoplastic Starch (TPS).
- Kulp, K. 1975. "Carbohydrate". *Enzyme in Food Processing*. Academic Press. New York.
- Latief, R. (2001). Teknologi Kemasan Biodegradable, Makalah Falsafah Sains (PPs 702) Program Pascasarjana/S3 IPB, Bandung, http://www.hayati-ipb.com/users/rudyet/indiv2001/rindam_latief.html
- Lisa A. Wisojodharmo, 2001, "Upaya Penanganan Limbah Plastik di Indonesia dan di Dunia" (The Effort of Plastic Waste Treatment in Indonesia and in the World), National Symposium of Polymer III, Bandung, 8 Agustus 2001.
- Maton, A., Jean, H., William, L., Susan, J. Dan Maryanna, QW., 1993. *Human Biology and Health*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall
- Narayan, R., and Pettigrew C. (1999). *ASTM Standardization News*, December 1999

- Nolan-ITU. 2002. *Environment Australia: Biodegradable Plastics-Development and Environment Impact*. Melbourne: Nolan-ITU Pty Ltd.
- Park HM, Lee SR, Chowdhury SR, Kang TK. 2002. Tensile Properties, Morphology, and Biodegradability of Blends of Starch with Various Thermoplastics. *J Appl Polym Sci* (86): 2907-2915.
- Paul Karrer. "Organic Chemistry". 4th ed. New York: Elsevier Publishing Co.Inc.;1950.
- Poonam, N. And Dalel, S. 1995. *Enzyme and microbial systems involved in starch processing*. *Enzyme Microb. Technol.* 17: 770-778.
- Purba, Elida, (2009), "Hidrolisis Pati Ubi Kayu (*Manihot Esculenta*) dan Pati Ubi Jalar (*Ipomonea batatas*) menjadi Glukosa secara Cold Process dengan Acid Fungal Amilase dan Glukoamilase", Universitas Lampung, Lampung
- Pranamuda, H. 2009. Pengembangan Bahan Plastik Biodegradabel Berbahan Baku Pati Tropis. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Jakarta. Weblog Biology Resources on Shantybio.
- Saraswati, Rasti, Dr, 2010 *Bioaktivator Perombak Bahan Organik*. ([http://Biodekomposer/Bioaktivator Perombak Bahan Organik \(Biodekomposer\) « Organic Entrepreneur..Harmony of Humans and Nature.htm](http://Biodekomposer/Bioaktivator Perombak Bahan Organik (Biodekomposer) « Organic Entrepreneur..Harmony of Humans and Nature.htm). diakses tanggal 10 Oktober 2010).
- Seal, K.J. 1994. *Test methods and standards for biodegradable plastic*. In: . Chemistry and technology of biodegradable polymer: Griffin, G.J.L. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall.
- Spiller, G. A. 2001. Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition 3rd Edition. CRC Press, London.
- Swift, G. 2001. Agro-Industrial And Related Applications Of Environmentally Degradable Polymers

Tjokroadikoesoemo, P. S., 1986. HFS dan Industri Ubi Kayu Lainnya, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

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

Turista, 2010. *Bioaktivator Pengomposan*, (<http://pp.opera.co.id/agusindragunawan/blog/show.dml/9977028/htm>, diakses tanggal 11 Oktober 2010).

Vilpoux O, Averous L. 2006. *Starch-Based Plastic*. Latin American Starchy Tubers.

Volk, W. A dan M. F. Wheeler. 1993. Mikrobiologi Dasar. Jilid 2. Edisi Kelima. Erlangga, Jakarta.

Zhang QX, Yu ZZ, Xie XL, Naito K, Kagawa Y. 2007. *Preparation and crystalline morphology of biodegradable starch nanocomposites*. *Polymer* 48(24): 7193-7200.

Internet :

<http://id.shvoong.com/exact-sciences/agronomy-agriculture/1965528-teknologi-em-dimensi-baru-dalam/> (1 Juni 2011, 8:47)

Trisnawidarti, T., Nopiyanti, & Muzakar, K. 2010. Penggunaan Metode Pencampuran (Blending) Dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel, <http://www.scribd.com/doc/53513995/TUGAS-TERSTRUKTUR-DP> (diakses 10 Mei 2011, 6:42)

LAMPIRAN

SPEKIFIKASI KOMPOS DARI SAMPAH ORGANIK DOMESTIK SNI : 19-7030-2004

RUANG LINGKUP :

Spesifikasi ini menetapkan kompos dari sampah organik domestik yang meliputi, persyaratan kandungan kimia, fisik dan bakteri yang harus dicapai dari hasil olahan sampah organik domestik menjadi kompos, karakteristik dan spesifikasi kualitas kompos dari sampah organik domestik.

RINGKASAN :

Kompos adalah bentuk akhir dari bahan-bahan organik sampah domestik setelah mengalami dekomposisi.

Sampah organik domestik adalah sampah yang berasal dari aktivitas permukiman antara lain sisa makanan, daun, buah-buahan, sisa sayuran.

Kematangan kompos ditunjukkan oleh hal-hal berikut:

- 1) C/N - rasio mempunyai nilai (10-20): 1
- 2) suhu sesuai dengan suhu air tanah
- 3) berwarna kehitaman dan tekstur seperti tanah
- 4) berbau tanah

Unsur mikro nilai-nilai ini dikeluarkan berdasarkan:

- 1) konsentrasi unsur-unsur mikro yang penting untuk pertumbuhan tanaman (khususnya Cu, Mo, Zn)
- 2) logam berat yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan tergantung pada konsentrasi maksimum yang diperbolehkan dalam tanah, seperti dalam Tabel I spesifikasi kompos dari sampah organik domestik.

Kompos yang dibuat tidak mengandung bahan aktif pestisida yang dilarang sesuai dengan KEPMEN PERTANIAN No 434.1/KPTS/TP.27017/2001 tentang Syarat dan Tata Cara Pendaftaran Pestisida pada Pasal 6 mengenai Jenis jenis Pestisida yang mengandung bahan aktif yang telah dilarang seperti dalam Lampiran

Tabel I Standar kualitas kompos

No	Parameter	Satuan	Minim	Maks.	No	Parameter	Satuan	Minim.	Maksi.
1	Kadar Air	%	°C	50	17	Cobal (Co)	mg/kg	*	34
2	Temperatur			suhu air tanah	18	Chromium (Cr)	mg/kg	*	210
3	Warna			kehitaman	19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
4	Bau			berbau tanah	20	Mercuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25	21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
6	Kemampuan ikat air	%	58		22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
7	pH		6,80	7,49	23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
8	Bahan asing	%	*	1,5	24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
	Unsur makro					Unsur lain			
9	Bahan organik	%	27	58	25	Calcium	%	*	25,50
10	Nitrogen	%	0,40		26	Magnesium (Mg)	%	*	0,60
11	Karbon	%	9,60	32	27	Besi (Fe)	%	*	2,00
12	Phosfor (P205)	%	0,10		28	Aluminium (Al)	%		2,20
13	C/N-rasio		10	20	29	Mangan (Mn)	%		0,10
14	Kalium (K2O)	%	0,20	*		Bakteri			
	Unsur mikro				30	Fecal Coli	MPN/gr		1000
15	Arsen	mg/kg	*	13	31	Salmonella sp.	MPN/4 gr		3
16	Cadmium (Cd)	mg/kg	*	3					

Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau Lebih kecil dari maksimum

LAMPIRAN

HASIL ANALISA LABORATORIUM

Nomor Laboratorium : PM. 01.04/ 15/XII/2009
Nama Pengirim / Instansi : Dinas Kebersihan Kota Depok
Nama Contoh : Kompos Organik
Kode Sampel : 128
Lokasi Pengambilan Sampel : UPS. Gunadarma
Tanggal Penerimaan Sampel : 14 Desember 2009

No	Parameter	Satuan	Standar Baku mutu SNI 19-7030-2004		Hasil Analisa	Keterangan
			Min.	Maks.		
1	Kadar air	%		50.00	9.09	Memenuhi
2	Temperatur	°C		Suhu Air Tanah	38	Tidak Memenuhi
3	Warna			Kehitaman	Coklat abu-abu	Tidak Memenuhi
4	Bau			Berbau Tanah	Berbau Masam	Tidak Memenuhi
5	pH		6.80	7.49	6.72	Tidak Memenuhi
6	Bahan Organik	%	27.00	58.00	50.74	Tidak Memenuhi

LAMPIRAN

7	Nitrogen	%	0.40		0.57	Memenuhi
8	Karbon	%	9.80	32.00	12.03	Memenuhi
9	Phospor (P_2O_5)	%	0.10		13.06	Tidak Memenuhi
10	Kalium (K_2O)	%	0.20	*	36.45	Memenuhi
11	C/N-rasio		10	20	21.10	Tidak Memenuhi
12	Seng (Zn)	mg/L	*	500.00	0.68	Memenuhi
13	Calsium (Ca)	%	*	25.50	8.75	Memenuhi
14	Magnesium (Mg)	%	*	0.60	4.3	Tidak Memenuhi
15	Besi (Fe)	%	*	2.00	0.225	Memenuhi
16	Mangan (Mn)	%		0.10	0.15	Tidak Memenuhi
17	Fecal Coli	MPN/100mL		1000	140	Memenuhi

Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimal (Standar : SNI 19-7030-2004, Kompos Dari Sampah Organik Domestik)

Catatan :

Hasil analisa parameter untuk Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik berdasarkan SNI 19-7030-2004, menunjukkan bahwa sampel kompos dari UPS. Gunadarma **tidak memenuhi standar yang ditentukan.**

Depok, Desember 2009

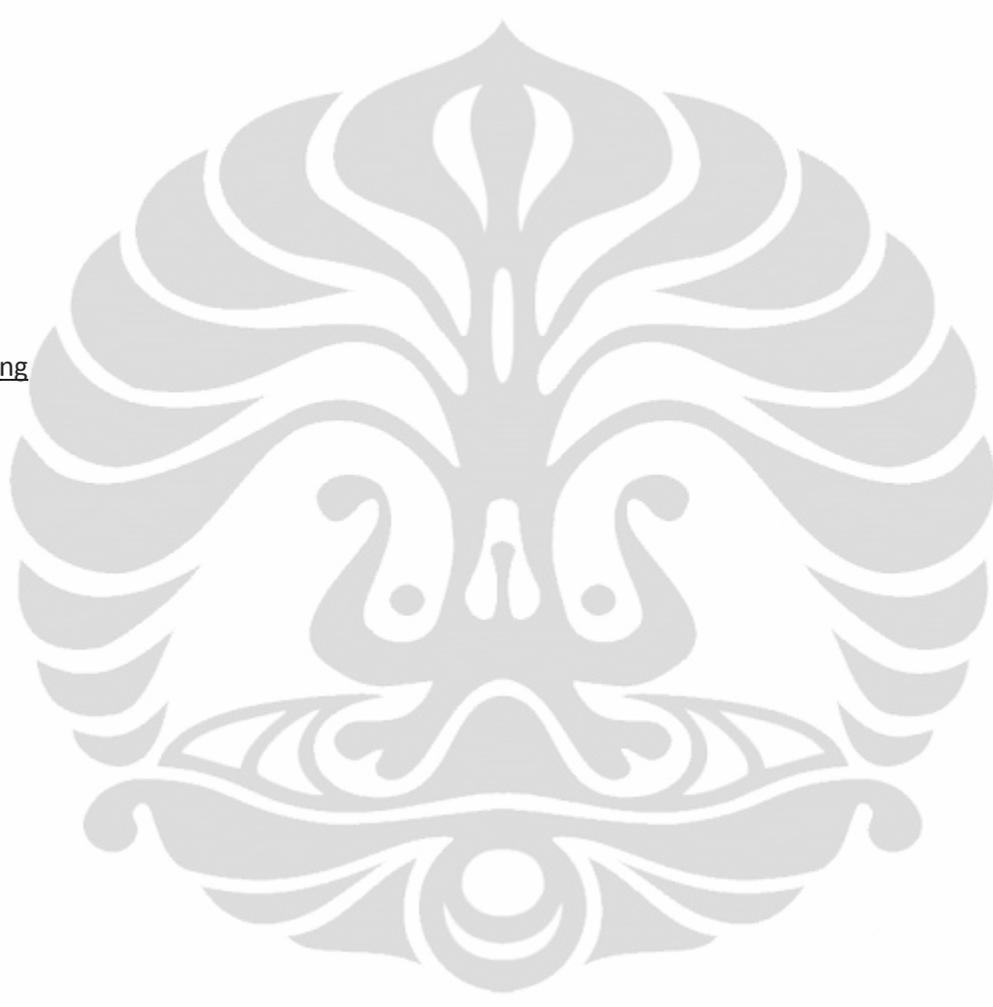
Kepala Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan

LAMPIRAN

Dr. Ir. Djoko M Hartono. SE. M.Eng

NIP. 195209011980031005

Tembusan : Arsip



LAMPIRAN

Dokumentasi Penelitian

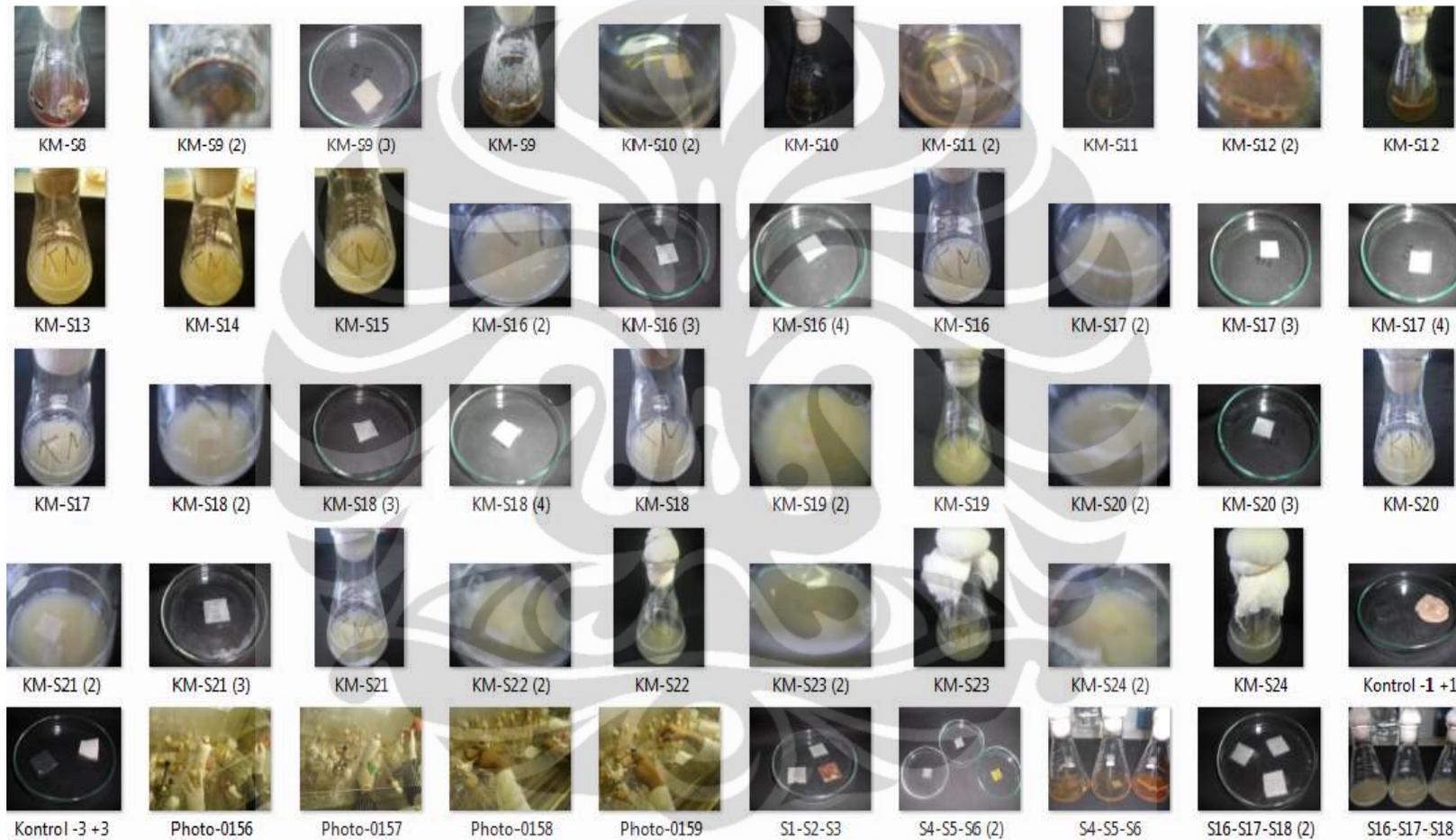
Hasil Pengujian Media Cair Konsorsium Mikroba



Ket : Sampel (S) Decomic → S1-S12; Biosafero → S13-S24

LAMPIRAN

Hasil Pengujian Media Cair Konsorsium Mikroba



Ket : Kontrol 1 (minggu uji ke-2) & Kontrol 2 (minggu uji ke-8) untuk Decomic; Kontrol 3 (minggu uji ke-2)& Kontrol 4 (minggu uji ke-8) untuk Biosafero

LAMPIRAN

Hasil Pengujian Pengomposan



Ket : Sampel 1-3 (minggu uji ke-2), 4-6 (minggu uji ke-4), 7-9 (minggu uji ke-6), 10-12 (minggu uji ke-8), 14 (Ecoplas), 15 (Kontrol neg. HDPE)