



TUGAS AKHIR -SB091358

**POTENSI ISOLAT BAKTERI *Bacillus* DAN  
*Pseudomonas* DALAM MENDEGRADASI PLASTIK  
DENGAN METODE KOLOM WINOGRADSKY**

FIKI RAHMAH FADLILAH

NRP.1510 100 701

Dosen Pembimbing

Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

Jurusan Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2014





TUGAS AKHIR - SB091358

**POTENSI ISOLAT BAKTERI *Bacillus* DAN  
*Pseudomonas* DALAM MENDEGRADASI PLASTIK  
DENGAN METODE KOLOM WINOGRADSKY**

**FIKI RAHMAH FADLILAH**

**NRP.1510 100 701**

Dosen Pembimbing

Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

**JURUSAN BIOLOGI**

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2014



FINAL PROJECT -SB091358

# PLASTIC BIODEGRADATION OF *Bacillus* AND *Pseudomonas* IN WINOGRADSKY COLUMN METHOD

FIKI RAHMAH FADLILAH

NRP.1510 100 701

Advisor Lecturer

Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

Biology Department  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Sepuluh Nopember of Institute Technology  
Surabaya 2014



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Potensi Isolat Bakteri *Bacillus* Dan *Pseudomonas* Pada Biodegradasi Plastik Dengan Metode Kolom Winogradsky**”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Strata 1 (S-1) di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada Ibu Dr. rer. nat. Ir. Maya Shovitri M,Si. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, Bapak Dr. Techn Endry N. Prasetyo, M.T dan Ibu Tutik Nurhidayati, M.Si selaku dosen penguji pada Sidang Tugas Akhir yang telah memberikan masukan dan saran demi perbaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan pula kepada Ibu, Bapak, adik-adik, keluarga dan teman-teman Biologi ITS 2010 yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi. Dan semua pihak yang telah membantu untuk penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat berarti bagi penulis. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pembaca. Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan hidayahNya kepada kita semua. Amin.

Wassalammu’alaikum wr. wb.

Surabaya, 25 Juli 2014

Fiki Rahmah F

**LEMBAR PENGESAHAN**

**POTENSI ISOLAT BAKTERI *Bacillus* DAN *Pseudomonas*  
DALAM MENDEGRADASI PLASTIK DENGAN METODE  
KOLOM WINOGRADSKY**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Jurusan S-1 Biologi

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**FIKI RAHMAH FADLILAH**  
**NRP. 1510 100 701**

**Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir**

Dr.rer.nat.Ir. Maya Shovitri ..... (Pembimbing 1)

**SURABAYA, 25 JULI 2014**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Biologi



Dr.rer.nat.Ir. Maya Shovitri, M.Si  
NRP. 19690907 199803 2 001

POTENSI ISOLAT BAKTERI *Bacillus* DAN *Pseudomonas*  
DALAM MENDEGRADASI PLASTIK DENGAN METODE  
KOLOM WINOGRADSKY

**Nama** : Fiki Rahmah Fadlilah  
**NRP** : 1510 100 701  
**Jurusan** : Biologi  
**Dosen Pembimbing** : Dr.rer.nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

Abstrak

*Karakter plastik yang sulit terdegradasi di lingkungan mendorong penelitian ini untuk mengetahui potensi bakteri Bacillus dan Pseudomonas koleksi Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS dalam mendegradasi beberapa jenis plastik uji.*

*Metode yang digunakan adalah Kolom Winogradsky dengan botol ukuran 1,5 l, berisi pasir steril : medium Salt = 1:1. Plastik uji yang digunakan adalah kantong plastik merah, biru, hitam, putih dan hijau ukuran 15 x 4 cm. Botol diisi 15 potongan plastik. Proses biodegradasi dilakukan selama 4 bulan, dengan parameter berat kering plastik, dan pengukuran densitas bakteri uji pada  $\lambda$  600 nm.*

*Isolat bakteri Bacillus dan Pseudomonas memiliki potensi dalam mendegradasi plastik uji, karena mampu tumbuh dalam kolom Winogradsky selama 4 bulan masa inkubasi. Isolat Bacillus memiliki Optical Density pada plastik hitam : putih : biru : hijau : merah sebesar 0,210: 0,234: 0,180: 0,183: 0,172. Isolat Pseudomonas pada plastik hitam : putih : biru : hijau : merah sebesar 0,196: 0,200: 0,160: 0,161: 0,176. Pada isolat Bacillus persen degradabilitas plastik warna hijau, putih, hitam, biru, merah secara berturut adalah 1,9%, 2,3%, 1,6%, 1,6%, 1,6%. Pada isolat Pseudomonas secara berturut adalah 1,7%, 2,2%, 1,4%, 1,6%, 1,7%.*

*Kata Kunci : Kantong Plastik., Biodegradasi, Kolom Winogradsky, Bacillus, Pseudomonas.*

PLASTIC BIODEGRADATION OF *Bacillus* AND  
*Pseudomonas* IN WINOGRADSKY COLOM METHOD

**Name** : Fiki Rahmah Fadlilah  
**NRP** : 1510 100 701  
**Departement** : Biologi  
**Supervisor** : Dr.rer.nat. Ir. Maya Shovitri, M.Si

Abstract

The characters of plastic that hard to be degraded in the environment to encourage this study to determine the potential of the bacteria *Bacillus* and *Pseudomonas* (ITS Biology Microbiology Laboratory collection) in some types of plastics test.

The method used is the Winogradsky column with a 1.5 l bottle size, containing sterile sand: medium Salt = 1:1. Plastic test used was a plastic bag of red, blue, black, white and green size 15 x 4 cm. Bottles filled with 15 pieces of plastic. Biodegradation process carried out for 4 months, with a plastic dry weight parameters, and measurements of bacterial density test at  $\lambda$  600 nm.

Isolates of *Bacillus* and *Pseudomonas* bacteria have the potential to degrade the plastic test, because it is able to grow in the Winogradsky column for 4-month incubation period. Optical Density of *Bacillus* isolates on the black plastic: white: blue: green: red by 0.21: 0.234: 0.180: 0.183: 0.172. *Pseudomonas* isolates on black plastic: white: blue: green: red by 0.196: 0.200: 0.160: 0.161: 0.176. In *Bacillus* isolates percent degradability of green plastic, white, black, blue, red, respectively were 1.9%, 2.3%, 1.6%, 1.6%, 1.6%. In *Pseudomonas* isolates, respectively were 1.7%, 2.2%, 1.4%, 1.6%, 1.7%.

Keyword: Plastic Bags, Biodegradation, Winogradsky column, *Bacillus*, *Pseudomonas*.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Plastik .....	7
2.1.1 Plastik sintetik.....	9
2.1.2 Bioplastik (Biodegradable plastik) .....	14
2.2 Biodegradasi .....	15
2.2.1 Biodiversitas mikroorganisme pendegradasi polimer..	19
2.3 Metode – Metode dalam Biodegradasi.....	20
2.4 Faktor Biodegradasi Polimer.....	21
2.5 Metode Pengukuran Biodegradabilitas Polimer.....	22
2.6 <i>Winogradsky Column</i> .....	25
2.7 Isolat Bakteri Uji.....	26
2.7.1 <i>Bacillus</i> .....	26
2.7.2 <i>Pseudomonas</i> .....	26
BAB III METODOLOGI .....	29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	29
3.2 Metode yang Digunakan .....	29

3.2.1 Persiapan kantong plastik.....	29
3.2.2 Peremajaan isolat bakteri uji dan pembuatan starter.....	29
3.2.3 Biodegradasi plastik.....	30
3.3 Rancangan Penelitian .....	31
3.4 Analisis Data.....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	33
4.1 Rekonfirmasi Isolat Bakteri Uji.....	33
4.2 Proses Biodegradasi Plastik.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA .....	49
LAMPIRAN.....	53

## DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Mikroorganisme Pendegradasi Plastik...	19
Tabel 4.1	Hasil Konfirmasi Karakter Bakteri Uji....	34
Tabel 4.2	Hasil Konfirmasi Karakter Bakteri Uji Pra dan Pasca Masa Inkubasi.....	35
Tabel 4.3	Slope pertumbuhan Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> .....	40
Tabel 4.4	Slope pertumbuhan Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> .....	40
Tabel 4.5	Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri <i>Bacillus</i> .....	42
Tabel 4.6	Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri <i>Pseudomonas</i> .....	44

## DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1	Struktur Plastik Sintetik Polyethylene (PE), Polyvinyl Chloride (PVC), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), Polyethylene Terephthalate (PET), Polyurethane (PU). .....	10
Gambar 2.2	Struktur Molekuler Polietilen.....	11
Gambar 2.3	Struktur Plastik Biodegradable.....	15
Gambar 2.4	Skema Degradasi Polimer di bawah Kondisi Aerob dan Anaerob.....	16
Gambar 2.5	Skema Tahapan Biodegradasi Polimer Plastik.....	17
Gambar 2.6	Mekanisme Biodegradasi Poliethilen oleh Bakteri.....	18
Gambar 4.1	Dokumentasi Pribadi Penampang Mikroskopis Bakteri a) Isolat <i>Bacillus</i> dan b) Isolat <i>Pseudomonas</i> Perbesaran 1000 Kali Pra Masa Inkubasi.....	33
Gambar 4.2	Dokumentasi Pribadi Penampang Mikroskopis Bakteri a) Isolat <i>Bacillus</i> dan b) Isolat <i>Pseudomonas</i> Perbesaran 1000 Kali Pasca Masa Inkubasi.....	35

Gambar 4.3	Pertumbuhan <i>Bacillus</i> Berdasarkan <i>Optical Density</i> 600 nm .....	38
Gambar 4.4	Pertumbuhan <i>Pseudomonas</i> Berdasarkan <i>Optical Density</i> 600 nm....	39
Gambar 4.5	Persentase Degradabilitas Plastik Uji oleh Isolat Uji.....	45

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Selama kurun waktu 3 d ekade, bahan plastik semakin banyak digunakan dalam dunia industri baik industri makanan, pakaian, transportasi, konstruksi, medis maupun rekreasi. Plastik dianggap menguntungkan karena secara fisik plastik kuat, memiliki bobot ringan dan tahan lama. Namun plastik memiliki kelemahan diantaranya adalah tahan terhadap proses degradasi, sehingga penumpukannya berbahaya bagi lingkungan dan menyebabkan pencemaran akibat sampah plastik. Menurut (Corcoran *et al.*, 2009) karakter plastik yang kuat dan tahan lama sehingga memakan waktu sampai 1000 tahun untuk dapat terdegradasi secara alami di lingkungan mendorong penelitian dan studi di bidang biosintesis dan biodegradasi plastik (Kathiresan, 2003).

Setiap tahun 500 juta hingga 1 t rilyun kantong plastik digunakan secara rutin di seluruh dunia. Diantara limbah plastik sintetis yang diproduksi, sekitar 64% nya adalah polietilena yang digunakan dalam jumlah besar untuk pembuatan botol, tas, wadah sampah, botol susu, dan sebagian besar berupa kantong plastik (Lee, 1991). Di Indonesia, menurut Asosiasi Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (Inaplas) tahun 2013, konsumsi plastik di Indonesia diproyeksikan mencapai 1,9 juta ton dengan jumlah peningkatan sekitar 22,58% dibandingkan tahun sebelumnya sebanyak 1,55 juta ton (Inaplas, 2013).

Untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan aditif. Bahan aditif yang ditambahkan tersebut disebut komponen non-plastik yang berupa senyawa anorganik yang memiliki berat molekul rendah. Berdasarkan fungsinya maka bahan tambahan atau bahan pembantu proses dapat dikelompokkan menjadi: bahan pelunak, bahan penstabil, bahan

pelumas, bahan pengisi, pewarna (Nurminah, 2005). Oleh karena itu, di pasaran ditemukan berbagai jenis plastik dengan berbagai karakter, salah satunya adalah plastik berwarna. Berdasarkan (Singh, 2013) 40% masyarakat menggunakan plastik putih dan 65% lainnya menggunakan plastik berwarna. Salah satu jenis pewarna yang dipakai adalah pigment anorganik seperti titanium dioksida yang memberi warna putih, besi oksida memberi warna kuning, coklat, merah dan hitam, cadmium yang memberi warna kuning terang dan merah, dll. Penggunaan bahan aditif ini menambah kejenuhan molekul (Mujiarto, 2005).

Banyak solusi yang dapat dilakukan untuk menangani masalah limbah plastik ini, antara lain daur ulang plastik, pembuatan bioplastik ataupun proses degradasi plastik. Degradasi polimer meliputi proses perubahan fisik atau kimia dalam sifat polimer sebagai akibat dari faktor lingkungan antara lain adalah cahaya, panas dan kelembaban, kondisi kimia atau aktivitas biologis (Pometto *et al.*, 1992). Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses degradasi polimer, terdapat tiga jenis metode degradasi polimer seperti fotodegradasi, degradasi termo-oksidatif dan biodegradasi. Proses biodegradasi dapat dijadikan alternatif degradasi pilihan karena prosesnya yang ramah lingkungan.

Biodegradasi adalah proses di mana mikroorganisme seperti jamur dan bakteri mampu mendegradasi atau memecah polimer alam (seperti lignin, selulosa) dan polimer sintetik (seperti polietilen, polistiren) (Kaseem *et al.*, 2012). Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik degradasi yang berbeda, sehingga bervariasi antara satu mikroorganisme dengan mikroorganisme yang lain. Terdapat 90 genera mikroorganisme baik bakteri maupun jamur yang dapat mendegradasi plastik, diantaranya *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas sp.*, *Azotobacter*, *Ralstonia eutropha*, *Halomonas sp.*, *etc.* (Chee *et al.*, 2010). Mikroorganisme mendegradasi polimer seperti polietilena, poliuretan dengan menggunakannya sebagai substrat untuk pertumbuhan mereka (Nayak dan Tiwari, 2011). Karakteristik

mikroorganisme seperti jenis enzim yang diproduksi untuk biodegradasi baik enzim ekstraseluler atau intraseluler memiliki andil dalam degradasi polimer (Nayak dan Tiwari, 2011).. Membran sel dari mikroorganisme akan mengakumulasi substrat yang kemudian terdegradasi oleh enzim seluler. Mikroba dapat dengan mudah memecah subunit kecil molekul polimer yang ditemukan dalam bentuk monomer atau oligomer. Metode biodegradasi ini memiliki keunggulan ramah lingkungan, murah dan dapat diterima secara luas (Shah *et al.*, 2008).

Jen-hou dan Schwartz *dalam* Singh dan Sharma (2008) menyimpulkan bahwa mikroba dapat mendegradasi polietilena dengan berat molekul rendah  $\geq 4800$ . Kathiresan (2003) melaporkan bahwa bakteri *Pseudomonas sp.* mampu mendegradasi plastik sebesar 8,16% dan mampu mendegradasi poliethilen sebesar 20,54% selama satu bulan masa inkubasi secara aerobik. Hal ini diperkuat dengan penelitian Sepperumal (2013) yang menjelaskan bahwa *Pseudomonas sp.*, *Bacillus* mampu melekat pada permukaan polietilena serta mampu mempercepat proses degradasinya.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur terjadinya proses biodegradasi plastik adalah *Winogradsky column*, yang dinamai sesuai dengan penemunya yakni Sergei Winogradsky pada akhir abad ke-19. Kolom Winogradsky merupakan ekosistem mikroba buatan yang berfungsi untuk mempelajari kultur bakteri dalam waktu jangka panjang (Madigan *et al.*, 2002). Dalam Laboratorium, kolom Winogradsky ini mampu mendemonstrasikan bagaimana metabolisme yang terjadi pada mikroorganisme dalam kolom selama masa inkubasi, dimana di dalam kolom tersebut terdapat berbagai macam reaksi redoks yang mendukung suplai nutrisi dan energi bagi mikroorganisme dalam kolom (Rogan, 2005). Menurut Katarzyna, (2009) proses biodegradasi polimer dapat terjadi secara aerobik (dengan oksigen), atau secara anaerobik (tanpa oksigen). Dalam keadaan aerob, beberapa mikroorganisme menggunakan oksigen sebagai *electron acceptor* terakhir. Pada

keadaan anaerob beberapa mikroorganisme akan menggunakan *electron acceptor* terakhir selain oksigen (seperti  $\text{NO}_3^-$ , S,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  dan fumarate). Pada kolom Winogradsky ini akan terbentuk keadaan aerob yang terdapat di permukaan kolom dan berangsur menuju anaerob pada dasar kolom. Sehingga diharapkan proses biodegradasi secara aerob dan anaerob dapat terjadi. Pada penelitian ini digunakan dua jenis bakteri yang memiliki kemampuan penggunaan oksigen yang berbeda, *Bacillus* memiliki kecenderungan *facultative aerob* sedangkan *Pseudomonas* memiliki karakter *aerob obligate* (Madigan *et al.*, 2002).

Saat ini Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS memiliki isolat bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* yang telah teruji memiliki kemampuan biodegradasi namun masih parsial. Bakteri ini memiliki karakter pendegradasi bahan organik seperti proteolitik, amilolitik, lignolitik, selulolitik dan lipolitik seperti yang dilaporkan oleh Retnosari (2013). Pada beberapa penelitian disebutkan bahwa bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* mampu mendegradasi polimer plastik. Namun kedua bakteri koleksi Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS ini belum teruji mampu mendegradasi polimer plastik sehingga dilakukanlah penelitian ini.

## 1.2 Permasalahan

Permasalahan dalam penelitian ini adalah apakah bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* berpotensi dalam mendegradasi beberapa jenis plastik uji?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Uji kemampuan degradasi plastik dilakukan dengan metode kolom *Winogradsky* sederhana selama 4 bulan
2. Isolat bakteri yang digunakan adalah koleksi Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS yakni *Bacillus* dan *Pseudomonas*.

3. Plastik uji yang digunakan adalah kantong plastik yang dijual mudah di pasar dengan 5 warna yang berbeda, yaitu : merah, hitam, putih, hijau dan biru. Komposisi dari kelima warna plastik uji tidak dianalisa.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dalam penelitian ini adalah mengetahui potensi bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* dalam mendegradasi beberapa jenis plastik uji.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai potensi bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* sebagai agen pendegradasi plastik serta mengenalkan metode aplikatif yakni penambahan bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* sebagai agen pendegradasi plastik di alam dalam pengolahan limbah plastik di lapangan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Plastik**

Plastik berasal dari bahasa Yunani “plastikos” yang artinya material yang mudah dibentuk menjadi beberapa bentuk. Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Plastik terbentuk dari kondensasi organik atau bahan anorganik. Material dasar penyusun plastik adalah hasil ekstraksi minyak, gas alam, atau batu bara (Shah *et al.*, 2008).

Plastik merupakan bahan yang terbentuk dari produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik yang mempunyai sifat-sifat unik dan luar biasa. Polimer sendiri adalah rantai berulang dari atom yang panjang, terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer. Proses polimerisasi yang menghasilkan polimer berantai lurus mempunyai tingkat polimerisasi yang rendah dan kerangka dasar yang mengikat antar atom karbon dan ikatan antar rantai lebih besar daripada rantai hidrogen. Bahan yang dihasilkan dengan tingkat polimerisasi rendah bersifat kaku dan keras (Nurminah, 2005).

Plastik yang umum terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang di tulang belakang. Bahan baku pembuatan plastik adalah minyak dan gas sebagai sumber alami. Dalam perkembangannya minyak dan gas ini mulai digantikan oleh bahan-bahan sintesis sehingga dapat diperoleh sifat-sifat plastik yang diinginkan dengan cara kopolimerisasi, laminasi, dan ekstruksi. Polimer alam yang telah kita kenal antara lain: selulosa, protein, karet alam dan sejenisnya. Pada awal mula perkembangannya polimer alam hanya digunakan untuk membuat perkakas dan senjata, tetapi keadaan ini hanya bertahan hingga akhir abad 19 dan selanjutnya manusia mulai memodifikasi polimer menjadi plastik. Plastik yang pertama kali

dibuat secara komersial adalah nitroselulosa. Material plastik ini telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting dibidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, furniture, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak-anak dan produk-produk industri lainnya (Nurminah, 2005).

Untuk membuat barang-barang plastik agar mempunyai sifat-sifat seperti yang dikehendaki, maka dalam proses pembuatannya selain bahan baku utama diperlukan juga bahan tambahan aditif. Penggunaan bahan tambahan ini beranekaragam tergantung pada bahan baku yang digunakan dan mutu produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan fungsinya maka bahan tambahan atau bahan pembantu proses dapat dikelompokkan menjadi: bahan pelunak, bahan penstabil, bahan pelumas, bahan, pewarna. Bahan aditif yang ditambahkan tersebut disebut komponen non-plastik yang berupa senyawa anorganik yang memiliki berat molekul rendah. Bahan aditif dapat berfungsi sebagai pewarna, antioksidan, penyerap sinar UV, anti lekat, dll.

Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu: plastik thermoplast dan plastik termoset. Plastik thermoplast adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik thermoplast antara lain : PE, PP, PS, ABS, SAN, nylon, PET, BPT, Polyacetal (POM), PC dll. Sedangkan plastik termoset adalah plastik yang apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik termoset adalah PU (Poly Urethane), UF (Urea Formaldehyde), MF (Melamine Formaldehyde), polyester, epoksi dll (Nurminah,2005).

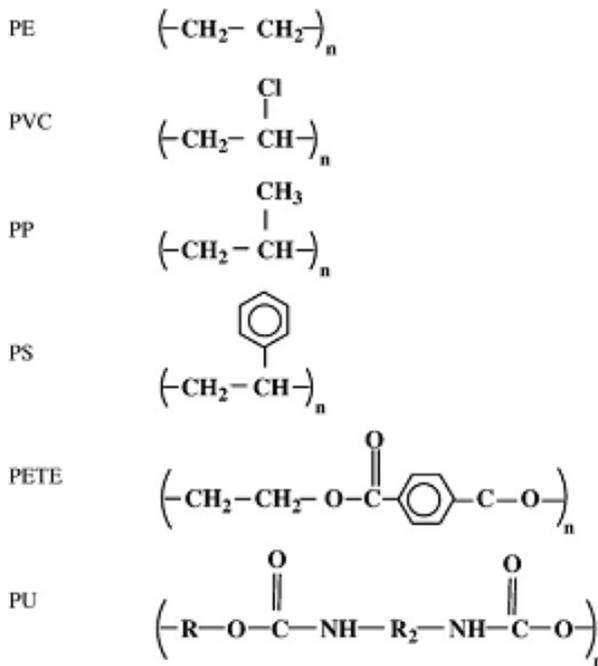
### **2.1.1 Plastik Sintetik**

Ratusan juta ton plastik yang digunakan di bumi ini, maka ratusan juta ton juga sampah plastik yang dihasilkan dan menjadi polutan utama dunia. Karena bahan dasar plastik adalah phthalate ester, di(ethylhexyl) phthalate (DEHP) yang bersifat stabil, sukar diuraikan oleh mikroorganisme sehingga kita terus-menerus

memerlukan area untuk pembuangan sampah. Pada makanan yang dikemas dalam bungkus plastik, dimungkinkan adanya migrasi zat-zat monomer dari bahan plastik ke dalam makanan, terutama jika makanan tersebut tak cocok dengan kemasan atau wadah penyimpanannya yang tidak mungkin dapat dicegah 100% (terutama jika plastik yang digunakan tak cocok dengan jenis makanannya). Migrasi monomer terjadi karena dipengaruhi oleh suhu makanan atau penyimpanan (Delvia,2006).

Plastik mudah terbakar, ancaman terjadinya kebakaran pun semakin meningkat. Asap hasil pembakaran bahan plastik sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti hidrogen sianida (HCN) dan karbon monoksida (CO). Hidrogen sianida berasal dari polimer berbahan dasar akrilonitril, sedangkan karbon monoksida sebagai hasil pembakaran tidak sempurna. Hal inilah yang menyebabkan sampah plastik sebagai salah satu penyebab pencemaran udara dan mengakibatkan efek jangka panjang berupa pemanasan secara global pada atmosfer bumi. (Andrady, 2000).

Menurut (Shah, 2008) sifat dan karakter plastik yang kuat menyebabkan plastik marak digunakan. Sebagian besar plastik yang sering digunakan adalah jenis *polyethylene* (LDPE, MDPE, HDPE and LLDPE), *Poly Ethylene Terephthalate* (PET), *Polybutylene Terephthalate* (PBT), *nylons*, *Poly-Propylene* (PP), *Polystyrene* (PS), *Polyvinyl Chloride* (PVC), and *Polyurethane* (PUR). Adapun struktur plastik sintetik tersebut diatas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Plastik Sintetik.

Polyethylene (PE), Polyvinyl Chloride (PVC), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), Polyethylene Terephthalate (PET), Polyurethane (PU).

Dalam (Mujiarto, 2005) dijelaskan macam - macam plastik sintetik antara lain adalah sebagai berikut :

**a. Polietilen (*Low Density*)**



Polietilen adalah salah satu jenis polimer dengan rantai linear sangat panjang yang tersusun atas unit-unit terkecil (mer) yang berulang-ulang yang berasal dari monomer molekul etilen. Polietilen merupakan polimer hidrokarbon linier yang terdiri dari rantai panjang monomer etilena ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ). Rumus umum dari polyethylene adalah  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  seperti tertera pada Gambar 2.2 (Arutchelvi *et al.*, 2008).



Gambar 2.2 Struktur Molekuler Polietilen.

Polietilena terbuat dari hasil ekstraksi minyak atau gas melalui polimerisasi katalitik monomer etilena. Polietilen memiliki struktur yang fleksibel sehingga mudah dibentuk dan mempunyai daya rentang yang tinggi. Penampakkannya bervariasi dari transparan, berminyak, sampai keruh tergantung proses pembuatan dan jenis resin. Dengan titik leleh  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , polietilen dengan mudah digunakan untuk laminasi dengan bahan lain. Polietilen tahan terhadap asam, basa, alkohol, deterjen dan bahan kimia serta kedap terhadap air, uap air dan gas. Dapat digunakan untuk penyimpanan beku hingga suhu  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Namun polietilen memiliki kelemahan yaitu tidak cocok untuk pengemasan bahan yang beraroma karena memiliki transmisi gas yang tinggi. Selain itu tidak sesuai digunakan untuk mengemas bahan pangan berlemak (Nurminah, 2005).

Polietilena merupakan termoplastis yang kuat, ringan dan bersifat semi kristalin. Salah satu sifat fisik polietilena ditentukan oleh densitasnya yang dipengaruhi oleh percabangan pada rantai polietilen. Adanya percabangan inilah yang menyebabkan polietilena dibedakan menjadi *High Density Polyethylene* (HDPE), *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE).

#### b. PET



PET (Polietilen Tereftalat) merupakan salah satu polimer yang banyak digunakan untuk pembuatan plastik. Polyethylene terephthalate yang sering disebut PET dibuat dari glikol (EG) dan terephthalic acid (TPA) atau dimethyl ester atau asam terephthalat (DMT) (Iman, 2005). Penggunaan PET didunia

sebagai kemasan botol-botol minuman mencapai 1,5 juta ton tiap tahunnya (Seperrumal, 2013) Plastik polietilen tereftalat dibuat dari polimer poliester yang dihasilkan dari reaksi antara etilen glikol dengan asam tereftalat atau dimetil tereftalat dengan menggunakan katalis seperti garam Mn, Co, Cd, dan lain-lain (Iman,2005).

Poly (ethylene terephthalate) adalah polyester termoplastik dengan kekuatan kualitas tinggi, densitas rendah. PET mempunyai sifat tidak mudah pecah, lebih ringan dibanding botol kaca dengan volume yang sama, serta memiliki kejernihan yang tinggi. Oleh karena itu, PET dapat menggantikan botol kaca sebagai bahan utama untuk kemasan berbagai macam minuman. Sekarang PET digunakan untuk kemasan softdrinks, air mineral, energy drinks, minuman isotonic, ice tea, juice, dan minuman beralkohol (Seperrumal, 2013).

Limbah plastik di dunia yang dihasilkan dari PET bertambah banyak seiring dengan banyaknya penggunaan PET dalam pembuatan kemasan minuman. PET bukan merupakan produk yang berbahaya tetapi tidak bersifat biodegradable. Penguraian limbah plastik ini diperlukan waktu yang sangat lama dan hal ini dapat menyebabkan permasalahan lingkungan seperti penimbunan sampah plastik dimana-mana dan oleh karena itu polimer ini penting untuk didaur ulang (Colomines *et al.*, 2005).

### c. Polypropylene



Polypropylene merupakan polimer kristalin yang dihasilkan dari proses polimerisasi gas propilena. Propilena mempunyai *specific gravity* rendah dibandingkan dengan jenis plastik lain. Polimer ini diproduksi dari proses polimerisasi propylene,  $\text{CH}_2 = \text{CHCH}_3$  (propene). Struktur molekul polimer ini mirip dengan polyethylene, namun memiliki gugus methyl ( $-\text{CH}_3$ ) pada rantai karbonnya. Memiliki berat molekul dengan range 50.000 hingga 200.000 gram. Polypropylene biasa digunakan dalam industri automotive untuk desain interior, dan digunakan untuk packaging produk makanan,

seperti botol yogurt. Polimer ini berbentuk seperti fiber dengan tingkat absorbansi sangat rendah dan resisten terhadap noda sehingga sering digunakan dalam industri pakaian dan perkakas rumah home terutama karpet (Shakhashiri, 2010).

#### d. Polystyrene



Styrene,  $\text{CH}=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$ , mengalami proses polimerisasi membentuk polystyrene (PS), yang memiliki sifat kuat dan termasuk polimer yang jernih. Struktur molekulernya mirip dengan polypropylene namun gugus methyl pada polypropylene terganti dengan phenyl groups ( $-\text{C}_6\text{H}_5$ ) (Shakhashiri, 2010).

#### e. Polyvinyl Chloride (PVC)



Polyvinyl chloride merupakan hasil polimerisasi dari vinyl chloride,  $\text{CH}_2=\text{CHCl}$  (chloroethene), memiliki kesamaan molekul dengan polyethylene, akan tetapi memiliki chlorine pada rantai karbonnya. Polyvinyl chloride (PVC) memiliki sifat kuat dan kaku. Salah satu produk yang berasal dari polimer ini adalah pipa. (Shakhashiri, 2010).

#### f. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile butadiene styrene (akrilonitril butadiene stirena, ABS) termasuk kelompok engineering thermoplastic yang berisi 3 monomer pembentuk. Akrilonitril bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. Butadiene memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan pukul dan sifat liat (toughness). Sedangkan stirena menjamin kekakuan (rigidity) dan mudah diproses. Beberapa grade ABS ada juga yang mempunyai karakteristik yang bervariasi, dari kilap tinggi sampai rendah dan yang mempunyai *impact resistance* tinggi sampai rendah. Berbagai sifat lebih lanjut juga dapat diperoleh dengan penambahan aditif sehingga diperoleh grade ABS yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi, tahan terhadap sinar UV, dll (Shakhashiri, 2010).

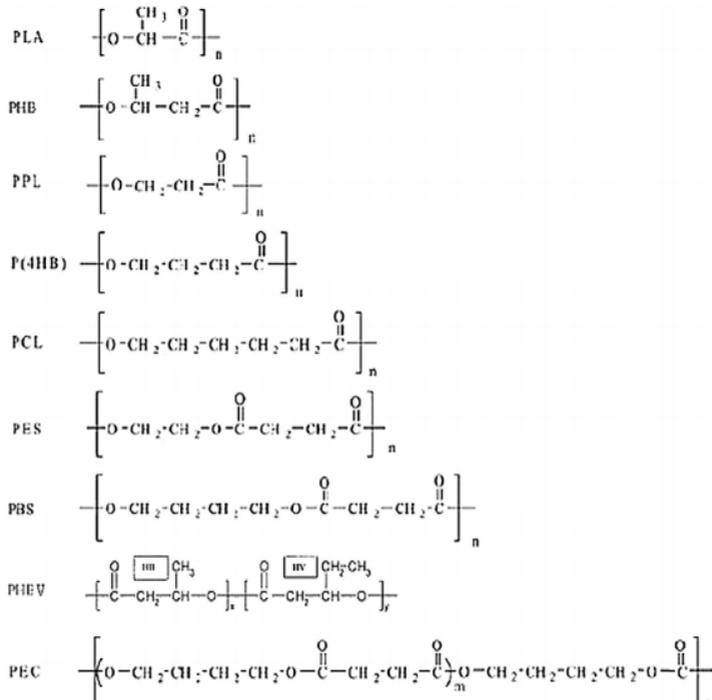
### **g. Nylon**

Nylon merupakan istilah yang digunakan terhadap poliamida yang mempunyai sifat-sifat dapat dibentuk serat, film dan plastik. Struktur nylon ditunjukkan oleh gugus amida yang berkaitan dengan unit hidrokarbon ulangan yang panjangnya berbeda-beda dalam suatu polimer (Shakhashiri, 2010).

#### **2.1.2 Bioplastik (biodegradabel plastik)**

Berdasarkan bahan baku yang dipakai, plastik biodegradabel dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok dengan bahan baku petrokimia (non-renewable resources) dengan bahan aditif dari senyawa bio-aktif yang bersifat biodegradabel, 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.

Menurut Tokiwa (2009), plastik biodegradable memiliki struktur yang mirip seperti plastik sintetis. Diantara jenis plastik biodegradable yang sering dijumpai antara lain polyhydroxyalkanoates (PHA), polylactides, polycaprolactone, aliphatic polyesters, poly(3-hydroxybutyrate).

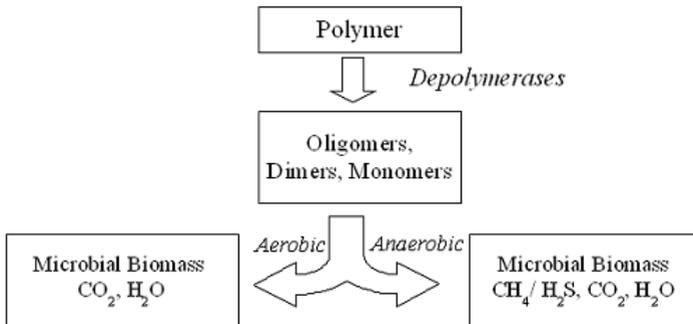


Gambar 2.3 Struktur Plastik Biodegradable.

## 2.2 Biodegradasi

Biodegradasi adalah proses di mana mikroorganisme seperti jamur dan bakteri mampu mendegradasi atau memecah polimer alam (seperti lignin, selulosa) maupun polimer sintetik (seperti polietilen, polistiren) (Kaseem *et al.*, 2012). Polimer tersebut dapat terdegradasi secara aerobik (dengan oksigen), atau secara anaerobik (tanpa oksigen). Istilah yang berkaitan dengan biodegradasi adalah biominalisasi, di mana polimer akan dikonversi menjadi mineral. Proses mineralisasi polimer akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan air pada kondisi aerob, dan akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan *methane* pada kondisi anaerob (Kaseem *et al.*, 2012). Berikut merupakan skema proses degradasi polimer di

bawah kondisi aerob dan anaerob (Katarzyna, 2009) seperti tertera pada Gambar 2.4.



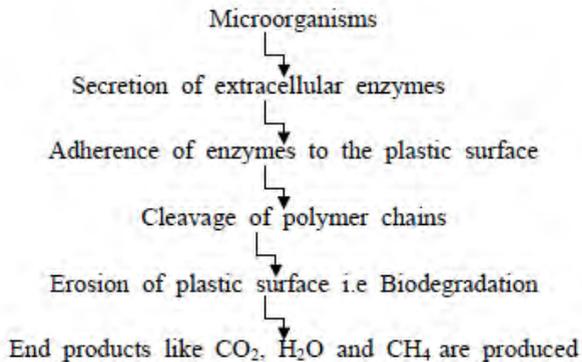
Gambar 2.4 Skema Degradasi Polimer di bawah Kondisi Aerob dan Anaerob.

Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi biodegradasi antara lain adalah jenis polimer, karakteristik organisme, dan jenis perlakuan yang diperlukan. Perubahan warna, pemisahan fasa, retak, erosi dan delimitasi adalah beberapa karakteristik yang menunjukkan adanya degradasi polimer (Shah *et al.*, 2008). Karakteristik polimer seperti mobilitas, taktisitas, kristalinitas, berat molekul, jenis kelompok fungsional dan substituen dalam struktur dan pemlastis atau zat aditif yang ditambahkan ke polimer semuanya memainkan peran penting dalam degradasi (Artham dan Doble, 2008; Gu *et al.*, 2000).

Mikroorganisme tidak mampu mengangkut polimer secara langsung melalui membrane luar sel kedalam selnya sehingga dibutuhkan proses biokimia yang berperan dalam memecah molekul polimer yang panjang dan sulit larut dalam air sehingga dapat masuk kedalam sel. Proses ini dinamakan depolimerisasi dimana polimer mengalami depolimerisasi atau pemecahan terlebih dahulu menjadi monomer yang lebih kecil sebelum dapat diserap dan didegradasi dalam sel mikroorganisme. Terdapat dua enzim aktif yang terlibat dalam biodegradasi polimer yaitu enzim ekstraseluler dan enzim *intracellular depolymerases*. Enzim

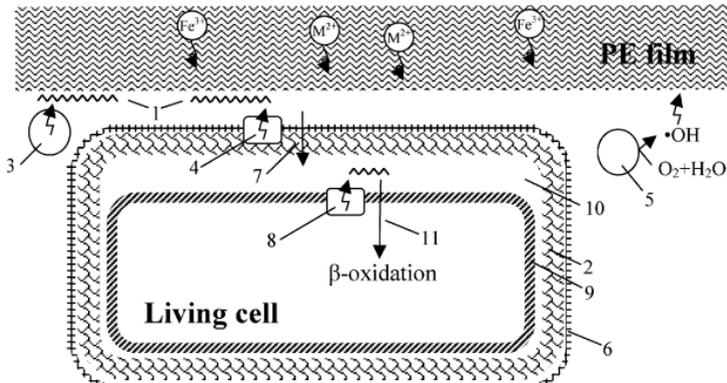
ekstraseluler dan intraseluler yang berperan dalam depolimerasi secara aktif memicu proses degradasi polimer secara biologis (Gu *et al.*, 2000).

Di bawah ini merupakan skema tahapan biodegradasi polimer plastik menurut Shah, *et al.*, 2008 :



Gambar 2.5 Skema Tahapan Biodegradasi Polimer Plastik.

Selama proses degradasi, exoenzymes dari mikroorganisme memecah polimer kompleks dan menghasilkan molekul yang lebih kecil dengan rantai pendek, misalnya, dimers dan monomer, yang cukup kecil untuk masuk dalam membran semipermeabel bakteri, dan kemudian digunakan sebagai sumber energi dan karbon. Proses ini disebut depolymerization (Frazer, 1994). Karakteristik mikroorganisme seperti jenis enzim yang diproduksi untuk biodegradasi baik enzim ekstraseluler atau intraseluler memiliki andil dalam degradasi polimer (Nayak dan Tiwari, 2011). Membran sel dari mikroorganisme akan mengakumulasi substrat yang kemudian terdegradasi oleh enzim seluler. Hal ini dikarenakan mikroba dapat hanya mampu memecah subunit kecil molekul polimer yang ditemukan dalam bentuk monomer atau oligomer. Gambar 2.6 menggambarkan kemungkinan mekanisme biodegradasi salah satu jenis polimer sintetik yakni Poliethilen oleh bakteri (Koutny, 2005).



Gambar 2.6 Mekanisme Biodegradasi Poliethilen oleh Bakteri.

(1) Polimer memiliki molekul yang terlalu besar untuk dapat masuk ke dalam sel, (2) sehingga sel mengeluarkan enzim ekstraseluler, (3) atau enzim yang berada di permukaan dinding sel, (4) sehingga mampu membantu proses oksidasi, (5) Selain enzim ekstraseluler bakteri juga dapat mengeluarkan biosurfaktant, (6) yang berperan untuk memfasilitasi dinding sel agar dapat menempel pada permukaan polimer, dan memobilisasi produk akhir degradasi polimer, (7) produk akhir degradasi diangkut secara enzimatik ke dalam sel menuju (8) membran sitoplasma atau pada (9) periplasma. Hanya molekul dengan ukuran tertentu yang dapat ditransportasikan menuju sitoplasma dan diasimilasi melalui *β-oxidation pathway*.

Setiap mikroorganisme memiliki karakteristik degradasi yang berbeda, sehingga bervariasi dari satu mikroorganisme dengan mikroorganisme yang lain. Salah satu contohnya adalah beberapa mikroorganisme mampu mendegradasi polimer seperti polietilena, poliuretan dengan menggunakannya sebagai substrat untuk pertumbuhan mereka (Nayak dan Tiwari, 2011).

Metode biodegradasi ini memiliki keunggulan ramah lingkungan, murah dan dapat diterima secara luas (Shah, *et al.*, 2008).

### 2.2.1 Biodiversitas mikroorganisme pendegradasi polimer

Biodiversitas dan keberadaan mikroorganisme pendegradasi polimer sangat tergantung pada kondisi lingkungan seperti, tanah, laut, kompos, dsb. Hal ini sangat penting untuk mengetahui distribusi dan populasi dari mikroorganisme pendegradasi polimer pada berbagai jenis ekosistem (Tokiwa, 2009). Dibawah ini terdapat beberapa jenis mikroorganisme yang mampu melakukan proses biodegradasi polimer menurut (Shah *et al.*, 2008).

Tabel 2.1 Mikroorganisme Pendegradasi Plastik

Plastik	Mikroorganisme	Referensi
Polyethylene	<i>Brevibacillus borstelensis</i>	Hadad <i>et al.</i> , (2005)
	<i>Rhodococcus rubber</i>	Sivan <i>et al.</i> , (2006); Gilan <i>et al.</i> , 2004
	<i>Penicillium simplicissimum</i> YK	Yamada-Onodera <i>et al.</i> , 2001
Polyurethane	<i>Comamonas acidovorans</i> TB-35	Akutsu <i>et al.</i> , 1998
	<i>Curvularia senegalensis</i>	Howard
	<i>Fusarium solani</i>	(2002)
	<i>Aureobasidium pullulans</i>	
Polyvinyl chloride	<i>Cladosporium sp</i>	
	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	Zheng <i>et al.</i> (2005)
	<i>Pseudomonas putida</i> AJ	Anthony <i>et al.</i> (2004)
	<i>Ochrobactrum TD</i>	Mogil`nitskii <i>et al.</i> (1987)
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> B-22	
	<i>Aspergillus niger</i>	
	<i>van Tieghem F-1119</i>	

### 2.3 Metode – Metode Dalam Biodegradasi

Dalam Singh B, Sharma N (2008) faktor yang paling penting dalam penentuan biodegradasi adalah pilihan yang tepat dalam prosedur test berdasarkan sifat plastik dan kondisi iklim lingkungan. Ada berbagai metode yang tersedia saat ini untuk mengukur biodegradabilitas bahan polimer. Beberapa metode tes untuk menilai potensi biodegradasi plastik telah dikembangkan oleh *International Standard Organization* (ISO) dan *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Biodegradasi dapat ditandai dengan kehilangan berat, perubahan kekuatan tarik, perubahan dimensi, perubahan kimia dan fisik, produksi karbon dioksida, aktivitas bakteri dalam tanah dan perubahan distribusi berat molekul. Beberapa metode yang sering digunakan dalam biodegradasi plastik antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Metode penguburan tanah (*soil burial method*). Metode penguburan tanah adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk penentuan kemampuan biodegradasi plastik. Dalam metode ini, tes biodegradasi dilakukan di bawah kondisi alam atau laboratorium. Sampel dengan berat tertentu dan dimensi tertentu dikubur pada kedalaman tertentu dalam tanah selama interval waktu yang berbeda. Pada waktu tertentu, sampel diambil dari tanah, dibilas dengan air suling kemudian dilakukan perendaman dalam air suling setelah itu dikeringkan pada 50 °C selama 24 jam dalam oven vakum.
- b. Metode kultur murni. Dalam metode kultur murni, bakteri dan jamur khusus dapat diaplikasikan untuk degradasi polimer. Dalam metode kultur murni, film yang telah dan aseptik ditambahkan ke media kultur steril dan diinkubasi dalam *rotary shaker* selama 24 jam sebelum inokulasi untuk memastikan aseptis. Medium kultur yang telah diinokulasi dengan mikroorganisme tertentu diinkubasi dalam *rotary shaker* dengan kecepatan 125 rpm selama 4 minggu di optimal. Kemudian sampel dicuci dengan etanol

- 70% dan dikeringkan dan ditimbang untuk mengetahui berat akhir
- c. Metode kompos. Dalam metode ini, berat pasti dari plastik kering dicampur dengan kompos matang dengan jumlah tertentu, kemudian diinkubasi pada suhu 58 °C dengan kadar air dipertahankan pada 65%. Biodegradasi diukur berdasarkan jumlah karbon yang dikonversi ke gas karbon dioksida. Sifat kompos mempengaruhi tingkat degradasi.

## 2.4 Faktor – Faktor Biodegradasi Polimer

Degradasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang mengarah ke deteriorasi dari setiap properti fisik polimer. Secara umum, proses degradasi mempengaruhi stabilitas termal, sifat mekanik, kristalinitas dan ketebalan.

Degradasi plastik dipengaruhi oleh berbagai faktor di bawah ini *dalam* Singh (2008):

- a. Komposisi Kimiawi. Komposisi kimia dari polimer memainkan peran yang sangat penting dalam degradasi. Semakin panjang rantai karbon dalam polimer, maka semakin sulit polimer untuk dapat terdegradasi
- b. Berat Molekul  
Peningkatan berat molekul plastik menurunkan laju degradasi plastik. Beberapa mikroorganisme dapat lebih cepat memanfaatkan polimer dengan berat molekul rendah dibandingkan dengan polimer dengan berat molekul tinggi.
- c. Karakter Hidrofobik  
Bahan plastik berbasis petrokimia tidak mudah terdegradasi dalam lingkungan karena memiliki karakter hidrofobik dan struktur tiga dimensi. Karakter hidrofobik ini mengganggu pembentukan biofilm mikroba, sehingga mengurangi tingkat biodegradasi.
- d. Ukuran Molekul  
Ukuran molekul polimer berpengaruh pada degradasi secara mekanik, degradasi termal dan biodegradasi.

Degradasi akan cenderung meningkat seiring dengan menurunnya ukuran molekul.

e. Kondisi Lingkungan

Biodegradasi polimer tergantung pada kondisi lingkungan seperti kelembaban, suhu, oksigen, dan populasi mikroorganisme. Dalam iklim hangat ketika kelembaban relatif melebihi di atas 70%, tingkat degradasi polimer oleh mikroorganisme meningkat. Suhu tinggi dan kelembaban tinggi meningkatkan degradasi secara hidrolitik dari polimer. Adanya kelembaban tinggi, terutama pada suhu yang lebih tinggi cenderung meningkatkan proses photo-degradasi dalam polimer.

## 2.5 Metode Pengukuran Biodegradabilitas Polimer

### a. Kehilangan massa dan degradabilitas polimer

Metode kuantitatif yang paling sederhana untuk mengukur terjadinya biodegradasi suatu polimer adalah dengan menentukan kehilangan massa dan degradabilitas polimer. Kehilangan massa ditentukan dengan cara menimbang massa polimer sebelum dan setelah proses biodegradasi selama masa inkubasi. Faktor koreksi diperoleh dari kontrol negatif. Kontrol negatif adalah sampel polimer yang diinkubasi selama waktu tertentu tanpa adanya mikroorganisme.

Kehilangan massa polimer menurut (Rohaeti, 2005) diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan massa} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$$

dimana :

$W_i$  = massa sampel sebelum proses biodegradasi (g)

$W_f$  = massa sampel sesudah proses biodegradasi (g)

Degradabilitas adalah kemudahan terdegradasinya suatu bahan polimer. Degradabilitas ditentukan dengan cara membagi kehilangan massa terhadap waktu biodegradasi seperti ditunjukkan pada rumus

Degradabilitas = kehilangan massa / waktu

### **b. Analisis gugus fungsi polimer dengan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)**

Jika seberkas sinar inframerah dilewatkan pada suatu sampel polimer, maka beberapa frekuensinya diabsorpsi oleh molekul sedangkan frekuensi lainnya ditransmisikan. Transisi yang terlibat pada absorpsi IR berhubungan dengan perubahan vibrasi yang terjadi pada molekul. Jenis ikatan yang ada dalam molekul polimer (C-C, C=C, C-O, C=O) memiliki frekuensi vibrasi yang berbeda. Adanya ikatan tersebut dalam molekul polimer dapat diketahui melalui identifikasi frekuensi karakteristik sebagai puncak absorpsi dalam spektrum IR. (Rohaeti, 2005).

### **c. Analisis kristalinitas polimer dengan teknik XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Metode difraksi sinar-X adalah salah satu cara untuk mempelajari keteraturan atom atau molekul dalam suatu struktur tertentu. Jika struktur atom atau molekul tertata secara teratur membentuk kisi, maka radiasi elektromagnetik pada kondisi eksperimen tertentu akan mengalami penguatan. Pengetahuan tentang kondisi eksperimen itu dapat memberikan informasi yang sangat berharga tentang penataan atom atau molekul dalam suatu struktur. Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat mengandung daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar-X polimer kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan polimer amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar. Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristalit, perkiraan ukuran kristalit, dan perbandingan daerah kristalin dengan daerah amorf (derajat kristalinitas) dalam sampel polimer (Rohaeti dan Senam, 2008).

#### **d. Pengamatan permukaan polimer dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)**

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan suatu metode untuk membentuk bayangan daerah mikroskopis permukaan sampel. Suatu berkas elektron berdiameter antara 5 hingga 10 nm dilewatkan sepanjang spesimen sehingga terjadi interaksi antara berkas elektron dengan spesimen menghasilkan beberapa fenomena berupa pemantulan elektron berenergi tinggi, pembentukan elektron sekunder berenergi rendah, penyerapan elektron, pembentukan sinar-X, atau pembentukan sinar tampak (*cathodoluminescence*). Setiap sinyal yang terjadi dapat dimonitor oleh suatu detektor.

Alat SEM terdiri atas bagian-bagian, yaitu sumber elektron (*electron gun*) berupa filamen kawat wolfram, alat untuk mencacah (*scanner*) titik-titik sepanjang spesimen berupa sistem lensa elektromagnetik dan foil pencacah elektromagnetik, seperangkat lensa elektromagnetik untuk memfokuskan elektron dari sumber menjadi titik kecil di atas spesimen, sistem detektor, serta sistem layar. Jika seberkas elektron ditembakkan pada permukaan suatu spesimen, maka sebagian dari elektron itu akan dipantulkan kembali dan sebagian lagi akan diteruskan. Jika permukaan spesimen tidak rata, misalnya ada lekukan, lipatan, retakan, atau lubang-lubang, maka tiap-tiap bagian di permukaan itu akan memantulkan elektron dengan jumlah dan arah yang berbeda. Jika elektron-elektron yang dipantulkan oleh masing-masing bagian permukaan itu ditangkap oleh detektor dan diteruskan ke sistem layar, maka akan diperoleh gambar yang sesuai dengan keadaan permukaan spesimen. Jadi gambar yang diperoleh merupakan bayangan dari pantulan elektron. Bila digunakan potensial pemercepat yang relatif rendah akan diperoleh gambar yang jelas (Rohaeti dan Senam, 2008).

## 2.6 *Winogradsky Column*

Kolom Winogradsky merupakan ekosistem mikroba buatan yang berfungsi untuk mempelajari kultur bakteri dalam waktu jangka panjang. Kolom Winogradsky telah digunakan untuk mengisolasi bakteri hijau phototrophic, *sulfate-reducing bacteria*, dan banyak bakteri anaerob lainnya. Dinamai sesuai dengan penemunya yakni seorang mikrobiologis terkenal dari Rusia, Sergei Winogradsky, kolom Winogradsky pertama kali digunakan oleh Winogradsky pada akhir abad kesembilan belas untuk mempelajari mikroorganisme tanah (Madigan *et al.*, 2000). Kolom Winogradsky dibuat gelas silinder yang berisi setengah bagian lumpur atau sediment yang kaya akan bahan organik. Substrat tersebut menentukan jenis organisme yang diperkaya. Lumpur ini kemudian dilengkapi dengan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) sebagai penyangga dan gypsum ( $\text{CaSO}_4$ ) sebagai sumber sulfat. Bagian atas silinder tertutup untuk mencegah penguapan, selanjutnya kolom ditempatkan pada area yang dapat menerima sinar matahari kemudian diinkubasi selama beberapa bulan (Madigan *et al.*, 2000).

Pada laboratorium, kolom Winogradsky menunjukkan bagaimana keragaman metabolisme mikroorganisme seperti adanya proses redoks, adanya proses pasokan nutrisi dan / atau energi untuk mikroorganisme. Kumpulan mikrobia yang berkembang dalam kolom memisahkan mikroorganisme ke dalam lapisan yang berbeda. Pembentukan lapisan disesuaikan dengan lingkungan dari mikroorganisme yang berbeda yang terdapat pada sedimen yang ada di alam. Kolom Winogradsky menciptakan kondisi secara alami, yang memungkinkan penggambaran secara jelas fenomena yang terjadi secara alamiah. Hasilnya terdapat beberapa layer warna pada kolom, masing-masing warna dikaitkan dengan proses kimia atau biologis. Zona mikroba yang terjadi dikaitkan pula dengan konsentrasi oksigen, sulfur, nutrisi, dan cahaya. Kolom ini juga dapat menggambarkan keterkaitan antar mikroorganisme di alam dimana setiap kelompok fungsional

mikroorganisme tertentu tergantung pada kelompok fungsional mikroba lainnya untuk dapat berkembang (Rogan, 2005).

## **2.7 Isolat Bakteri Uji**

### **2.7.1 *Bacillus***

*Bacillus* merupakan bakteri berbentuk batang Gram positif, low GC dan memiliki keunikan mampu membentuk endospora. Karakter pembeda dari bakteri ini terhadap bakteri lain yang mampu membentuk endospora adalah bakteri ini termasuk bakteri aerob atau fakultatif aerob (Madigan *et al.*, 2002).

Bakteri ini mampu menghasilkan enzim hidrolitik ekstraseluler yang mampu mendegradasi polimer menjadi monomer. Pada penelitian Sepperumal (2013) *Bacillus* mampu melekat pada permukaan PET serta mampu mempercepat proses degradasi PET.

Isolat bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* koleksi Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS telah teruji memiliki kemampuan biodegradasi namun masih secara parsial. Bakteri ini memiliki karakter pendegradasi bahan organik seperti proteolitik, amilolitik, lignolitik, selulolitik dan lipolitik serta mampu berperan sebagai bioaktivator pendegradasi bahan organik dari septic tank seperti yang dilaporkan oleh Setyorini, (2013). Pada beberapa penelitian disebutkan bahwa bakteri *Pseudomonas* mampu mendegradasi polimer plastik. Namun kedua bakteri koleksi Laboratorium Mikrobiologi Biologi ITS ini belum teruji mampu mendegradasi polimer plastik

### **2.7.2 *Pseudomonas***

Secara umum *Pseudomonas* memiliki karakteristik morfologi berbentuk batang Gram negatif, dengan ukuran 0,5-1,0  $\mu\text{m}$  hingga 1,5-4  $\mu\text{m}$ , tidak memiliki spora dan memiliki flagel polar. Karakter kunci dari bakteri *Pseudomonas* adalah tidak terbentuknya gas selama proses fermentasi glukosa, dan memiliki karakter uji oksidase positif. Kedua karakteristik inilah yang membedakan bakteri ini dari enterobacter.

Sebagian besar spesies *Pseudomonas* mampu menggunakan banyak variasi *organic compound* sebagai sumber energi maupun sumber karbon. Beberapa spesies mampu menggunakan lebih dari 100 sumber karbon yang berbeda dan hanya sedikit yang hanya mampu menggunakan kurang dari 20 sumber karbon. Bakteri ini menggunakan jalur metabolisme *Entner – Doudoroff Pathway* dalam proses metabolisme glukosa.

Bakteri *Pseudomonas* secara umum tidak memiliki enzim hidrolitik yang penting dalam mendegradasi polimer menjadi monomer. Namun, bakteri ini memiliki sistem *inducible operon* yang mampu menghasilkan enzim tertentu dalam proses metabolisme sumber karbon yang tidak biasa digunakan. Oleh karena itu bakteri yang sering ditemukan di daerah perairan dan tanah ini seringkali memiliki peran penting dalam proses biodegradasi berbagai macam polimer antara lain adalah xenobiotic dan pestisida (Madigan *et al.*,2002).

Pada beberapa penelitian dalam Kathiresan, (2003) bakteri *Pseudomonas sp* mampu mendegradasi plastik sebesar 8,16% dan mampu mendegradasi poliethilen sebesar 20,54% selama satu bulan masa inkubasi secara anaerobik.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Maret- Juni 2014 di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Jurusan Biologi FMIPA ITS Surabaya.

### **3.2 Metode yang Digunakan**

#### **3.2.1 Persiapan kantong plastik**

Plastik yang digunakan berupa produk kantong plastik dengan berbagai warna yaitu merah, hijau, biru, putih dan hitam. Kelima jenis kantong plastik tersebut dipotong dengan ukuran 15x4 cm sebanyak 3x ulangan tiap jenis plastik kemudian disterilisasi dengan menggunakan alkohol 70% selama kurang lebih 30 menit (Magdy *et al.*, 2008) dan dikeringkan anginkan sekaligus di UV pada LAF (Bio 60-M) selama kurang lebih 15 menit dan di oven pada suhu 80 °C selama 24 jam. Plastik tersebut kemudian ditimbang menggunakan *analitical balance* (Shimadzu) untuk mengetahui berat kering awal plastik.

#### **3.2.2 Peremajaan isolat bakteri uji dan pembuatan starter**

Isolat bakteri uji yang digunakan adalah *Bacillus* dan *Pseudomonas*. Pertama dilakukan peremajaan isolat bakteri uji. Peremajaan isolat dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama yaitu subkultur pada medium padat NA (Lampiran 1). Isolat bakteri uji diambil satu ose dan dilakukan streak 16 seperti tertera pada (Lampiran 2), isolat diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Subkultur ini dilakukan sebanyak 2-3 kali sehingga didapat isolat murni. Selanjutnya hasil koloni tunggal diidentifikasi secara makroskopis dan biokimia berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteria*. Uji konfirmasi ini dilakukan sebelum dan sesudah proses biodegradasi.

Subkultur tahap kedua dilakukan pada medium cair NB (Lampiran 1) sebanyak 3 kali. Pertama sebanyak 1 ose isolat

murni hasil subkultur pada medium padat dimasukkan pada 10 ml NB, kemudian diinkubasi selama 24 jam. Selanjutnya isolat bakteri sebanyak 2,5 ml dari 10 ml NB pertama dimasukkan pada 25 ml medium NB dan diinkubasi selama 24 jam. Dan terakhir 5 ml isolat bakteri dimasukkan pada 50 ml medium NB, skema selengkapnya dapat dilihat pada (Lampiran 3). Dari proses subkultur terakhir dilanjutkan dengan proses pembuatan starter sebanyak 75 ml untuk satu kolom Winogradsky (10% dari total medium). Starter yang digunakan berisi isolat bakteri uji dengan kepadatan sel  $10^{10}$  sel/ml yang dihitung menggunakan Haemocytometer (Lampiran 4).

### 3.2.3 Biodegradasi plastik

Proses degradasi ini menggunakan metode kolom Winogradsky sederhana menggunakan botol air mineral steril volume 1,5 L (bagian leher botol terpotong). Botol tersebut kemudian diisi dengan 750 g pasir yang telah disterilkan sebelumnya. Pada lapisan kedua ditambahkan *Mineral Salt Medium* (MSM) (Lampiran1) sebanyak 750 ml. Selanjutnya bakteri uji dengan kerapatan  $10^{10}$  sel/ml diinokulasikan sebanyak 10% dari total medium. Kemudian potongan plastik dengan bantuan pisau dimasukkan kedalam kolom hingga tercelup sepenuhnya, separuh bagian lembaran plastik tercelup dalam lapisan pasir dan sisanya mengambang di medium. Setelah itu ditutup dengan bagian leher botol yang telah dipotong dan direkatkan dengan *wrap* atau selotip. Proses degradasi menggunakan metode ini dilakukan selama 4 bulan dan dihitung berat kering plastik tiap bulannya. Skema biodegradasi plastik dapat dilihat pada Lampiran 5.

#### Pemisahan biofilm pada potongan plastik

Pengukuran biodegradasi pada plastik diawali dengan pemisahan biofilm pada potongan plastik. Tiap 4 minggu, potongan plastik diambil dari *Winogradsky Column* dengan menggunakan pinset secara aseptis. Untuk memisahkan biofilm pada plastik, potongan plastik tersebut dimasukkan kedalam botol

*Falcon* berisi 10 ml aquades steril dan divortex dengan kecepatan 2000 rpm selama 30 detik. Proses ini diulangi sebanyak 5 kali (Martinez, 2007).

### Pengukuran densitas bakteri uji

Inokulum yang terpisah dari plastik kemudian diukur densitasnya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Sebagai pembanding dilakukan pula pengukuran densitas bakteri pada 5 titik secara acak pada permukaan kolom air dan diukur tiap 2 minggu sekali.

### Prosentase kehilangan berat plastik

Pengukuran kehilangan berat plastik dilakukan dengan cara menghitung selisih berat potongan plastik sebelum didegradasi dan setelah proses degradasi. Pengukuran ini dilakukan tiap bulan. Potongan plastik yang sudah terpisah dari biofilm disterilisasi dengan alkohol 70% dan dikeringanginkan. Setelah kering, potongan plastik dimasukkan kedalam oven pada suhu 80 °C selama 24 jam, kemudian dimasukkan ke dalam desikator (terdapat *silica gel*) selama 24 jam, dan ditimbang berat keringnya. Langkah kerja pengukuran kehilangan berat plastik seperti tertera pada lampiran 5. Berikut rumus perhitungan prosentase kehilangan berat plastik (Rohaeti, 2002):

$$\text{kehilangan berat} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$$

keterangan:

$W_i$  = Berat kering awal sebelum degradasi (gram)

$W_f$  = Berat kering akhir setelah degradasi (gram)

### **3.3 Rancangan Penelitian**

Uji Biodegradasi plastik berwarna oleh bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* dianalisa menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan yaitu jenis plastik yang digunakan terdiri dari 5 jenis plastik (Merah, Putih, Hitam, Biru dan Hijau) dan bakteri pendegradasi yang diujikan terdiri dari 2 jenis bakteri yakni *Bacillus* dan *Pseudomonas*. Masing – masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga didapatkan 30 unit percobaan.

Proses biodegradasi dilakukan selama 4 bulan dengan masa pengamatan dilakukan tiap bulan. Parameter yang diamati adalah adanya prosentase kehilangan berat kering plastik.

### **3.4 Analisis Data**

Data kemampuan degradasi yang diperoleh dari tiap perlakuan selanjutnya dianalisis dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh warna plastik uji terhadap kemampuan isolat uji dalam biodegradasi plastik dengan hipotesa:

Ho : Warna plastik tidak berpengaruh terhadap proses biodegradasi

H1 : Warna plastik berpengaruh terhadap proses biodegradasi

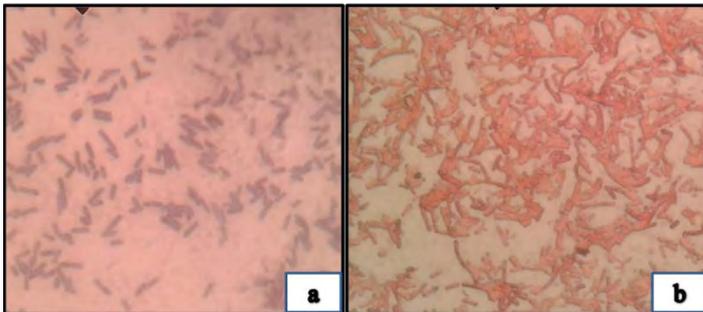
Jika H1 diterima maka analisis dilanjutkan dengan uji Tukey pada tahap kepercayaan 95%.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Rekonfirmasi Isolat Bakteri Uji

Isolat bakteri uji yang digunakan adalah isolat uji koleksi Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi ITS yakni *Bacillus* dan *Pseudomonas*. Retnosari (2013) telah melaporkan bahwa kedua isolat bakteri tersebut diketahui mampu menurunkan nilai *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Total Dissolved Solid* (TDS) limbah organik *septic tank* setelah 1 bulan masa inkubasi yang mengindikasikan adanya kegiatan mikroorganisme dan biodegradasi pada limbah tersebut.

Pada pra masa inkubasi dilakukan rekonfirmasi isolat bakteri uji. Pertama dilakukan peremajaan isolat bakteri uji. Peremajaan isolat dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama yaitu subkultur pada medium padat NA (Lampiran 1). Isolat bakteri uji diambil satu ose dan dilakukan streak 16 seperti tertera pada (Lampiran 2), isolat diinkubasi pada suhu 37 °C selama 24 jam. Subkultur ini dilakukan sebanyak 2-3 kali sehingga didapat isolat murni. Berikut ini gambar bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* di bawah mikroskop (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Penampang Mikroskopis Bakteri.

a) Isolat *Bacillus* dan b) Isolat *Pseudomonas* Perbesaran 1000 Kali Pra Masa Inkubasi.

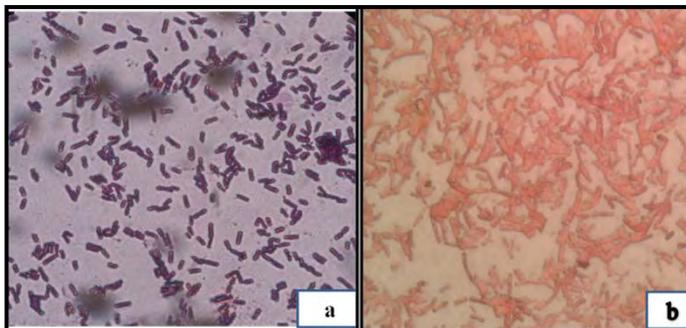
Selanjutnya hasil koloni tunggal diidentifikasi secara makroskopis dan biokimia berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteria* (Tabel 4.1). Pada proses konfirmasi didapatkan bahwa bakteri *Bacillus* memiliki karakter Gram positif, sel berbentuk batang, positif endospora, fakultatif anaerob (Lampiran 6). *Pseudomonas* memiliki karakteristik morfologi sel berbentuk batang, Gram negatif. Karakter kunci dari bakteri *Pseudomonas* adalah memiliki karakter uji oksidase positif, termasuk bakteri aerob obligat yang ditandai dengan pertumbuhan bakteri terkonsentrasi pada permukaan medium thioglikolat (Lampiran 7). Karakter kedua bakteri tersebut yang didapatkan pada proses konfirmasi sesuai dengan yang dijelaskan pada *Bergey's Manual of Determinative Bacteria* dan Madigan *et al*, 2009.

Tabel 4.1 Hasil Konfirmasi Karakter Bakteri Uji

Karakter	<i>Bacillus</i>	<i>Pseudomonas</i>
Gram	+	-
Endospora	+	-
Kebutuhan O <sub>2</sub>	Facultative Anaerob	Obligat aerob
Oksidase	-	+

Subkultur tahap kedua dilakukan pada medium cair NB (Lampiran 1) sebanyak 3 kali. Starter bakteri yang digunakan berisi isolat bakteri uji dengan kepadatan sel  $10^{10}$  sel/ml yang dihitung menggunakan Haemocytometer (Lampiran 4).

Selain dilakukan pada pra masa inkubasi, rekonfirmasi isolat bakteri uji juga dilakukan pada pasca masa inkubasi dengan langkah yang sama dengan rekonfirmasi pada tahap pra masa inkubasi sehingga didapatkan isolat murni (Gambar 4.2).



Gambar 4.2 Penampang Mikroskopis Bakteri.

a) Isolat *Bacillus* dan b) Isolat *Pseudomonas* Perbesaran 1000 Kali Pasca Masa Inkubasi.

Selanjutnya hasil koloni tunggal diidentifikasi secara makroskopis dan biokimia berdasarkan *Bergey's Manual of Determinative Bacteria* dan dibandingkan dengan hasil uji pra masa inkubasi (Tabel 4.2)

Tabel 4.2 Hasil Konfirmasi Karakter Bakteri Uji Pra dan Pasca Masa Inkubasi

Karakter	Pra Masa Inkubasi		Pasca Masa Inkubasi	
	<i>Bacillus</i>	<i>Pseudomonas</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Pseudomonas</i>
Gram	+	-	+	-
Endospora	+	-	+	-
Kebutuhan O <sub>2</sub>	Facultative Aerob	Obligat aerob	Facultative Aerob	Obligat aerob
Oksidase	-	+	-	+

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa hasil rekonfirmasi yang dilakukan menunjukkan bahwa bakteri yang berperan dalam proses degradasi yang digunakan pada pra masa inkubasi dan pasca masa inkubasi adalah isolat *Bacillus* dan isolat *Pseudomonas*.

## 4.2 Proses Biodegradasi Plastik

Proses degradasi plastik menggunakan metode kolom Winogradsky (Lampiran 8 dan 9) dengan menggunakan botol air mineral steril. Pada laboratorium, kolom Winogradsky menunjukkan bagaimana keragaman metabolisme mikroorganisme seperti adanya proses redoks, adanya proses pasokan nutrisi dan / atau energi. Kumpulan mikroorganisme yang berkembang dalam kolom terpisah ke dalam lapisan yang berbeda sesuai dengan kebutuhan redoksnya. Pembentukan lapisan sesuai dengan lingkungan dari mikroorganisme yang ada di alam. Kolom Winogradsky ini menunjukkan metabolisme yang terjadi selama masa inkubasi, dimana secara vertikal terdapat reaksi redoks yang berbeda sesuai dengan *electron acceptor*-nya masing-masing (Rogan, 2005). Selain mampu menggambarkan proses reaksi redoks yang terjadi, kolom Winogradsky juga mampu membedakan lingkungan yang terbentuk berdasarkan ketersediaan O<sub>2</sub> di dalamnya, dimana pada kolom akan terbentuk zona aerob dan zona anaerob.

Menurut Katarzyna, (2009) proses biodegradasi polimer dapat terjadi secara aerobik (dengan oksigen), atau secara anaerobik (tanpa oksigen). Dalam keadaan aerob, beberapa mikroorganisme menggunakan oksigen sebagai *electron acceptor* terakhir. Pada keadaan anaerob beberapa mikroorganisme akan menggunakan *electron acceptor* terakhir selain oksigen (seperti NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, S, CO<sub>2</sub>, Fe<sup>3+</sup> dan fumarate). Isolat *Bacillus* cenderung *facultative aerob* sedangkan isolat *Pseudomonas* memiliki karakter *aerob obligate* (Madigan *et al.*, 2002). Sehingga dalam penelitian ini diharapkan proses biodegradasi plastik dapat terjadi secara aerob dan anaerob. Proses biodegradasi dengan metode kolom Winogradsky ini dilakukan dengan menggunakan medium *Salt Mineral Medium* (MSM) (Lampiran1) tanpa sumber karbon selama 4 bulan masa inkubasi. Sumber karbon berperan penting dalam pertumbuhan mikroorganisme (Vigneshwari, 2009), dimana pada penelitian ini

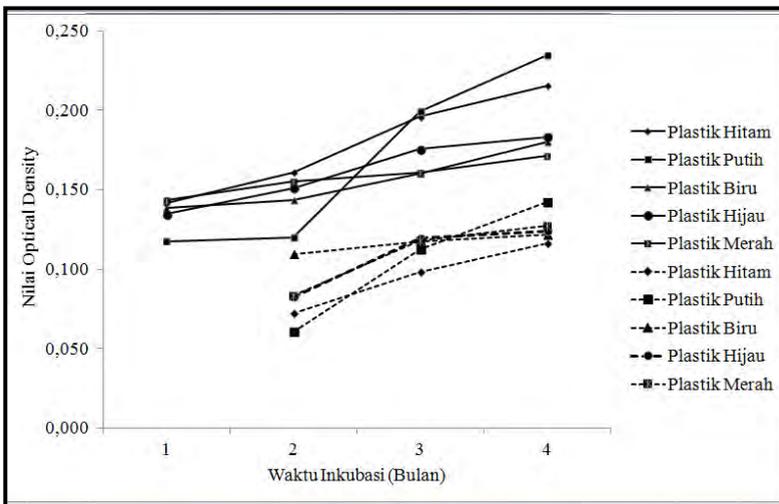
isolat bakteri uji distimulus untuk mampu menggunakan potongan plastik tersebut sebagai sumber karbon.

Pada keadaan tercekam nutrisi (seperti kekurangan sumber karbon) mikroorganisme akan cenderung membentuk lapisan biofilm. Biofilm sendiri merupakan kumpulan mikroorganisme yang membentuk lapisan dengan *extracellular polymeric substances* (EPS) sebagai pembentuk agregat sel. Formasi biofilm ini membantu bakteri yang ada di dalamnya untuk efisiensi energi selama tercekam nutrisi (Andersson, 2009). Menurut penelitian (Sivan, 2011) pembentukan biofilm pada permukaan plastik merupakan salah satu pertumbuhan yang sering terjadi pada bakteri pendegradasi plastik. Pembentukan biofilm meningkatkan sifat hidrofobik permukaan sel sehingga sel mampu melekat erat pada permukaan plastik. Hal ini memudahkan sel untuk kontak langsung dengan sumber karbon yang akan diurai. Salah satu pengukuran biofilm yang terbentuk adalah dengan mengukur densitas inokulum bakteri yang terpisah dari plastik setiap 1 bulan setelah masa inkubasi selama 4 bulan. Inokulum yang terpisah dari plastik kemudian diukur densitasnya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Sebagai pembanding juga dilakukan pengukuran pertumbuhan bakteri pada kolom air. Pengukuran densitas pada kolom air ini dilakukan pada 5 titik secara acak pada permukaan kolom air dan diukur tiap 2 minggu sekali.

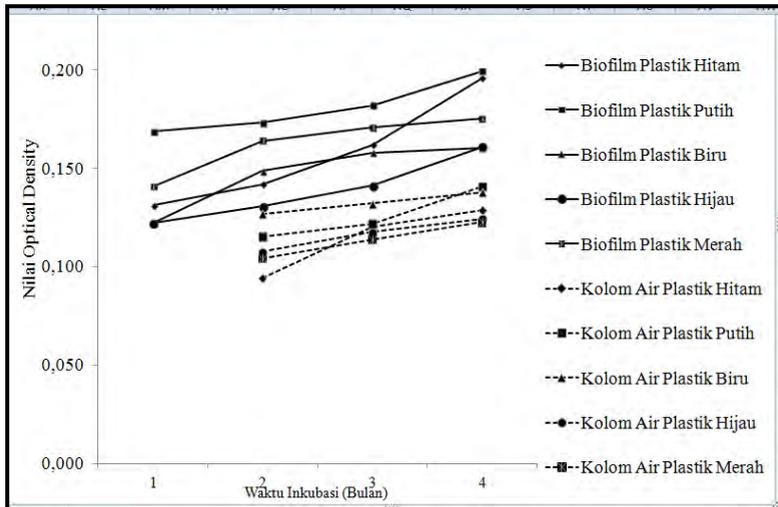
Dari proses pengukuran selama masa inkubasi selama 4 bulan menunjukkan peningkatan pertumbuhan bakteri uji berdasarkan kekeruhan (Gambar 4.3 dan Gambar 4.4). Jumlah densitas bakteri pada biofilm yang semakin meningkat setiap bulan pengamatan menunjukkan kemampuan bakteri dalam menggunakan polimer plastik sebagai sumber karbon, sehingga bakteri mampu membelah diri. Hal ini diperkuat dengan adanya regresi pertumbuhan isolat bakteri (Gambar 4.3 dan Gambar 4.4) seperti tertera pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 menunjukkan *slope* isolat *Bacillus* (Lampiran 23) plastik putih pada bulan kedua menuju bulan ketiga sebesar

1,858, sedangkan pada isolat *Pseudomonas* (Lampiran 24) sebesar 0,858.

Adanya biofilm yang menempel pada permukaan polimer diasumsikan pula sebagai salah satu tahapan biodegradasi polimer plastik seperti yang dijelaskan oleh (Shah *et al*, 2008). Biofilm sendiri adalah kumpulan mikroorganisme yang diikat oleh *extracellular polymeric substances* (EPS) sehingga terbentuk agregat sel. Pada kondisi tercekam, untuk efisiensi energi mikroorganisme akan cenderung membentuk formasi biofilm (Andersson, 2009).



Gambar 4.3 Pertumbuhan *Bacillus* Berdasarkan *Optical Density* 600 nm pada Biofilm (—) dan pada Kolom Air (----).



Gambar 4.4 Pertumbuhan *Pseudomonas* Berdasarkan *Optical Density* 600 nm pada Biofilm (—) dan pada Kolom Air (----).

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 diketahui bahwa tingkat densitas bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* pada biofilm memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dibandingkan densitas bakteri yang berada pada kolom air. Pada keadaan tercekam nutrisi (seperti kekurangan sumber karbon) mikroorganisme akan cenderung membentuk lapisan biofilm. Apabila dilihat dari biofilm yang terbentuk pada plastik warna, Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan bahwa peningkatan densitas bakteri baik *Bacillus* dan *Pseudomonas* pada plastik putih cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan jenis plastik yang lainnya. Hal ini diasumsikan berkaitan dengan tingkat kejenuhan moleku polimer. Penambahan adanya bahan aditif dan proses daur ulang meningkatkan tingkat kejenuhan molekul sehingga bakteri susah untuk melakukan degradasi (Nurminah, 2005).

Tabel 4.3 *Slope* pertumbuhan Isolat Bakteri *Bacillus*

<i>Slope</i>	Bulan 1 ke 2	Bulan 2 ke 3	bulan 3 ke 4
Plastik Hitam	0,076	0,137	0,075
Plastik Putih	0,047	1,858	0,811
Plastik Biru	0,362	1,190	1,387
Plastik Hijau	0,968	1,423	0,461
Plastik Merah	1,333	0,630	1,173

Tabel 4.4 *Slope* pertumbuhan Isolat Bakteri *Pseudomonas*

<i>Slope</i>	Bulan 1 ke 2	bulan 2 ke 3	Bulan 3 ke 4
Plastik Hitam	0,501	0,935	1,581
Plastik putih	0,462	0,858	1,727
Plastik biru	2,142	0,744	0,197
plastik hijau	0,665	0,831	1,557
platik merah	2,092	0,621	0,410

Gambar 4.3 dan 4.4 juga menunjukkan pertumbuhan biofilm *Bacillus* cenderung lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan dengan *Pseudomonas*. Sebagai contoh densitas biofilm isolat *Bacillus* pada plastik putih memiliki nilai *Optical Density* sebesar 0,120 pada bulan kedua dan meningkat menjadi 0,200 pada bulan ketiga (meningkat 0,08/1 bulan masa inkubasi). Pada isolat *Pseudomonas* dengan plastik yang sama yakni plastik putih pada bulan kedua nilai *Optical Density* sebesar 0,169 dan pada bulan ketiga mencapai 0,173 (meningkat sebesar 0,05/1 bulan inkubasi). Hal ini diperkuat dengan analisis Regresi (Lampiran 23) yang menunjukkan *slope* isolat *Bacillus* plastik putih pada bulan kedua menuju bulan ketiga sebesar 1,858, sedangkan pada isolat *Pseudomonas* (Lampiran 24) sebesar 0,858.

Hal ini terkait dengan karakter kedua isolat bakteri uji tersebut. Kedua bakteri tersebut memiliki kemampuan

penggunaan oksigen yang berbeda, *Bacillus* memiliki kecenderungan *facultative aerob* sedangkan *Pseudomonas aerob obligate* (Madigan *et al.*, 2002). Kemampuan penggunaan oksigen ini mempengaruhi tingkat pertumbuhan bakteri pada kolom Winogradsky. Kolom Winogradsky terdiri atas daerah kolom air dan kolom sedimen. Pada kolom Winogradsky tersebut akan terbentuk zona aerob dan zona anaerob. Pada permukaan kolom sedimen akan terbentuk zona aerob dan berangsur anaerob menuju dasar kolom. Karakter *Bacillus* yang cenderung *facultative aerob* menjadikan bakteri ini memiliki cakupan lingkungan yang lebih lebar dibandingkan dengan *Pseudomonas* yang *aerob obligate*. Sehingga pertumbuhan *Bacillus* pada kolom Winogradsky lebih cepat dan lebih tinggi dibandingkan dengan *Pseudomonas*. Pertumbuhan biofilm pada plastik akan mempengaruhi tingkat biodegradasi plastik.

Metode kuantitatif yang paling sederhana untuk mengukur terjadinya biodegradasi suatu polimer adalah dengan menentukan kehilangan berat dan degradabilitas polimer. Kehilangan berat ditentukan dengan menghitung selisih berat potongan plastik setelah 4 bulan masa inkubasi (Tabel 4.5 dan Tabel 4.6). Faktor koreksi diperoleh dari kontrol negatif yang berupa inkubasi plastik tanpa isolat uji. Pengukuran ini dilakukan tiap bulan.

Tabel 4.5 Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri *Bacillus*

Bakteri	Perlakuan	Persen Kehilangan Berat Plastik (%)			
		Masa Inkubasi (Bulan)			
		Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
<i>Bacillus</i>	Hijau	5 a	7 b	7 b	8 b
	Putih	4 a	7 b	8 c	9 c
	Hitam	3 a	4 b	5 b	6 b
	Biru	3 a	5 b	6 b	7 b
	Merah	5 a	5 b	6 b	7 b
Kontrol		0 a	0 a	0 a	0 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Tukey ANOVA dengan tingkat kepercayaan 0,05.

Ketika diaplikasikan dengan isolat *Bacillus* penurunan berat kering pada semua plastik uji sudah terlihat dari bulan pertama setelah masa inkubasi, namun berdasarkan analisis statistika (Lampiran 10), pada bulan pertama tidak terdapat perbedaan signifikan proses degradasi terhadap plastik uji berdasarkan warna (Tabel 4.5). Persentase kehilangan berat plastik ini selaras dengan kenaikan densitas bakteri pada biofilm. Hal ini memperkuat asumsi bahwa agen biodegradasi yang berperan adalah isolat *Bacillus* dimana pada bulan pertama dan kedua diasumsikan merupakan fase optimum isolat uji untuk melakukan proses degradasi dari total 4 bulan masa inkubasi yang dilakukan. Hal yang sama juga terlihat pada bulan kedua, degradasi pada semua plastik uji tidak berpengaruh secara signifikan meskipun persentase kehilangan berat kering terbesar terdapat pada plastik putih dan hijau bila dibandingkan dengan kontrol.

Pada bulan ketiga dan keempat isolat *Bacillus* mulai menunjukkan perbedaan signifikan antara plastik putih dengan plastik warna lain berdasarkan dari persentase kehilangan berat plastik. Pada plastik putih, isolat *Bacillus* mampu mendegradasi plastik lebih tinggi dibandingkan dengan plastik warna lain, yaitu

pada bulan ketiga biodegradasi mencapai 8% dan pada bulan keempat mencapai 9%.

Plastik hitam memiliki tingkat persentase kehilangan berat kering plastik paling rendah jika dibandingkan dengan plastik berwarna yang lainnya, yaitu hanya sebesar 6% setelah 4 masa inkubasi. Menurut BPOM (2013), kantong kresek yang beredar di pasaran adalah tergolong plastik daur ulang yang berbahaya karena ditambahkan zat pewarna berlebihan contohnya kantong plastik hitam, biru, merah dan lain-lain. Hal ini dapat terlihat dari nilai persentase kehilangan berat plastik berwarna tersebut cenderung lebih rendah dibandingkan dengan plastik putih. Penambahan adanya bahan aditif dan proses daur ulang meningkatkan tingkat kejenuhan molekul sehingga bakteri susah untuk melakukan degradasi (Nurminah, 2005). Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi biodegradasi antara lain adalah jenis polimer, karakteristik organisme, dan jenis perlakuan yang diperlukan (Shah *et al.*, 2008). Karakteristik polimer seperti berat molekul yang didapat dari berat kering plastik mampu menunjukkan proses degradasi secara kuantitatif (Artham dan Doble, 2008; Gu *et al.*, 2000).

Kecenderungan yang sama juga terjadi pada isolat *Pseudomonas* (Tabel 4.6). Pada bulan pertama hingga bulan ketiga persentase kehilangan berat plastik pada semua warna plastik uji tidak memiliki pengaruh nyata. Baru pada bulan keempat, isolat *Pseudomonas* mampu mendegradasi plastik putih lebih tinggi dibandingkan warna plastik uji lain, yakni mencapai 9%.

Tabel 4.4 Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Bakteri *Pseudomonas*

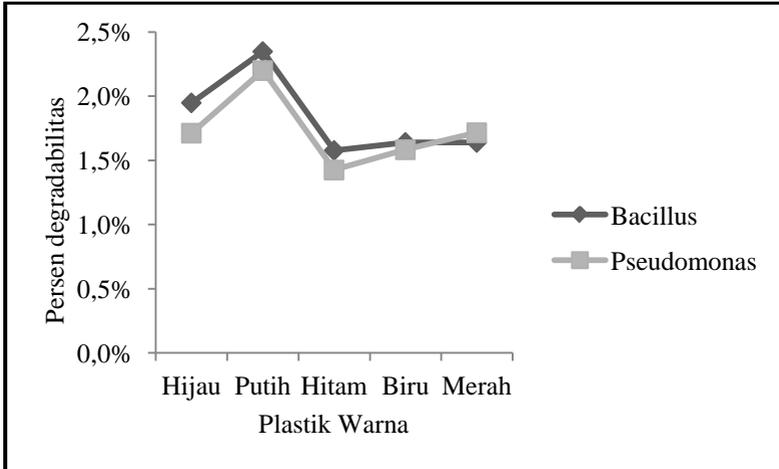
Bakteri	Perlakuan	Persen Kehilangan Berat Plastik (%)			
		Masa Inkubasi (Bulan)			
		Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Pseudomonas	Hijau	4 b	4 b	6 b	7 b
	Putih	3 b	7 b	8 b	9 c
	Hitam	3 b	3 b	5 b	6 b
	Biru	2 b	5 b	6 b	6 b
	Merah	5b	6 b	6 b	7 b
Kontrol		0 a	0 a	0 a	0 a

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada uji Tukey ANOVA dengan tingkat kepercayaan 0,05.

Mikroorganisme tidak mampu mengangkut polimer secara langsung melalui membran luar sel ke dalam selnya karena ukuran polimer dan berat molekul yang besar, tingkat kejenuhan polimer yang dipengaruhi oleh adanya zat aditif atau adanya proses daur ulang (Nurminah, 2005). Proses biokimia memecah molekul polimer yang panjang dan sulit larut dalam air sampai dapat masuk ke dalam sel. Proses ini dinamakan depolimerisasi dimana polimer mengalami depolimerisasi atau pemecahan terlebih dahulu menjadi monomer yang lebih kecil sebelum dapat diserap dan didegradasi dalam sel mikroorganisme. Terdapat dua enzim aktif yang terlibat dalam biodegradasi polimer yaitu enzim ekstraseluler dan enzim *intracellular depolymerases*. Enzim ekstraseluler dan intraseluler yang berperan dalam depolimerasi secara aktif memicu proses degradasi polimer secara biologis (Gu *et al.*, 2000). Peran lain dari bakteri pada biofilm adalah proses pemecahan dan *leaching* zat pewarna atau zat aditif lain yang ditambahkan pada polimer (Mohan, 2010).

Sebagai pembanding dilakukan pengukuran degradabilitas (Gambar 4.4 ). Degradabilitas adalah kemudahan terdegradasinya

suatu bahan polimer. Degradabilitas ditentukan dengan cara membagi kehilangan berat terhadap waktu biodegradasi. Persentase degradabilitas adalah degradabilitas x 100%.



Gambar 4.5 Persentase Degradabilitas Plastik Uji oleh Isolat Uji.

Gambar 4.5 menunjukkan data yang memperkuat data yang tertera pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Plastik warna putih memiliki tingkat degradabilitas yang tinggi, baik oleh isolat *Bacillus* maupun isolat *Pseudomonas*, dan degradabilitas yang paling rendah adalah plastik hitam. Hasil ini sesuai dengan analisis statistika yang dilakukan (Lampiran 10), dimana kedua jenis isolat yakni *Pseudomonas* dan *Bacillus* memiliki pengaruh signifikan terhadap plastik putih dibandingkan dengan plastik warna lain. Faktor tingkat kejenuhan polimer yang dipengaruhi oleh adanya zat aditif atau adanya proses daur ulang diasumsikan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi degradabilitas plastik uji berdasarkan penelitian yang dilakukan.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Isolat bakteri *Pseudomonas* dan *Bacillus* memiliki potensi dalam mendegradasi plastik warna hijau, putih, hitam, biru dan merah, meskipun warna tidak berpengaruh terhadap proses degradasi kecuali pada plastik warna putih. Potensi tersebut dapat dideteksi berdasarkan:

1. Isolat bakteri *Bacillus* dan *Pseudomonas* mampu tumbuh dalam kolom Winogradsky selama 4 bulan masa inkubasi. Isolat *Bacillus* memiliki *Optical Density* tertinggi pada plastik putih sebesar 0,234. Isolat *Pseudomonas* memiliki *Optical Density* tertinggi pada plastik putih 0,200.
2. Kemampuan biodegradasi isolat *Bacillus* dan *Pseudomonas* dapat ditunjukkan berdasarkan persentase degradabilitas plastik warna. Pada isolat *Bacillus* persen degradabilitas terbesar pada plastik putih sebesar 2,3%. Pada isolat *Pseudomonas* persen degradabilitas terbesar pada plastik putih sebesar 2,2%.

#### 5.2 Saran

Dalam penelitian terdapat beberapa saran yang penulis usulkan untuk perbaikan penelitian kedepan.

1. Plastik uji yang digunakan adalah kantong plastik yang dijual mudah di pasar dengan 5 warna yang berbeda, yaitu: merah, hitam, putih, hijau dan biru. Perlu diketahui komposisi dari kelima warna plastik uji
2. Perlu adanya uji tambahan untuk mengukur terjadinya biodegradasi pada plastik uji berdasarkan standart ASTM seperti uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)
3. Perlu dilakukan *screening* dan uji aktivitas enzim yang berperan dalam biodegradasi plastik.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR PUSTAKA

Andrady, A. L. 2000. **Assesment of Biodegradability in Organic Polymer**. In : Hamid, S. H. (Eds). New York : Handbook of Polymer Degradation. Marcel Dekker, Inc.

Artham T, Doble M (2008) Biodegradation of Aliphatic and Aromatic Polycarbonates. **Journal of Macromoleculer and Bioscience 8: 14- 24**.

Arutchelvi J, Sudhakar M, Arkatkar A, Doble M, Bhaduri S. (2008) Biodegradation of polyethylene and polypropylene. **Indian Journal of Biotechnology 7: 9-22**.

Chee, J. Y., Yoga S. S., Lau, N. S., Ling, S. C., Abed R. M. M., Sudesh K. L. 2010. Bacterially Produced Polyhydroxyalkanoate (PHA): Converting Renewable Resources into Bioplastics. **Journal of Applied Microbiology & Microbiology Biotechnology** .

Corcoran PL, Biesinger MC, Grifi M (2009) Plastics and beaches: A degrading relationship. **Marine Pollutan Bulletin 58: 80-84**.

Delvia, V. 2006. Kajian Pengaruh Penambahan Dietilen Glikol Sebagai Pemlastis pada Karakteristik Bioplastik dari Poli- $\beta$ -hidroksialkanoat (PHA) yang Dihasilkan Ralstronia Eutropha pada Substrat Hidrolisat Pati Sagu. **Skripsi**. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

Eli, Rohaeti.2005. Karakterisasi Biodegradasi Polimer. **Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA**. Yogyakarta : Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

Frazer AC. 1994. **O-methylation and other transformations of aromatic compounds by acetogenic bacteria. Acetogenesis.** New York:Chapman & Hall; p. 445–83.

Gu JD (2003) Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: **Journal of Biodeterioration and Biodegradation 52: 69-91.**

Gu, JD; Ford, TE; Mitton, DB; Mitchell, R (2000). **Microbial corrosion of metals. The Uhlig Corrosion Handbook. 2nd Edition.** New York, USA : Wiley.

Kaseem M, Hamad K, Deri F (2012) Thermoplastic starch blends: A review of recent works. **54: 165-176.**

Katarzyna, Leja, Grazyna Lewandowicz. 2009. Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymer-A review. **Polish Journal. of Environmental Study 2 : 255-266.**

Kathiresan,K. 2003. Polyethilen and Plastics Degrading Microbes From Mangrove Soil. **Rev. Biol. Trop. 51: 629-634.**

Kikkawa Y, Abe H, Iwata T, Inoue Y, Doi Y. Crystal morphologies and enzymatic degradation of melt-crystallized thin films of random copolyesters of (R)-3-hydroxybutyric acid with (R)-3-hydroxyalkanoic acids. 2002. **Journal of Polymer Degradation Stabl 76:467–78.**

Koutny,M ,Jacques Lemaire, Anne-Marie Delort. 2005. Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. **Journal of Chemosphere 64:1243–1252.**

Lee B, Pometto AL, Fratzke A, Bailey TB (1991) Biodegradation of degradable plastic polyethylene by phanerochaete and streptomyces species. **Journal of Applied Enviromental Microbiology 57: 678-685.**

Madigan, M. T., Martinko, J. M. & Parker, J. (2000). **Brock Biology of Microorganisms, 9th Edition**. Upper Saddle River, New York : Prentice-Hall.

Martinez, Luiz R, and Arturo Casadevall. 2007. *Cryptococcus neoformans* Biofilm Formation Depends on Surface Support and Carbon Source and Reduces Fungal Cell Susceptibility to Heat, Cold, and UV Light. **Journal of Applied Environmental Microbiology** 73 : 4592–4601.

Mohan, Krishna S and Tanu Srivastava. 2010. Microbial deterioration and degradation of polymeric materials. **Journal of Biochemical Technology** 2(4):210-215.

Mujiarto, Iman. 2005. Sifat dan karakteristik material plastik dan bahan aditif. **Traksi. Vol. 3. No. 2, Desember 2005.**

Nayak P, Tiwari A. 2011. Biodegradation of polythene and plastic by the help of microbial tools: a recent approach. **International Journal of Biomedical and Advance Research**, 2.

Nurminah, Mimi. 2005. Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas Serta Pengaruhnya Terhadap Bahan yang dikemas. **Skripsi**. Sumatera Utara: Fakultas Pertanian. Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Sumatera Utara.

Pometto 3rd AL, Lee B, Johnson KE (1992) Production of an Extracellular Polyethylene-Degrading Enzyme(s) by *Streptomyces* Species. **Journal of Applied Environmental and Microbiology** 58: 731-733.

Rogan, B, M. Lemke, M. Levandowsky, T. Gorrell. 2005. Exploring the Sulfur Nutrient Cycle Using the Winogradsky Column. **The American Biology Teacher**, Volume 67, No. 6.

Sepperumal, U Murali, M dan Anbusaravanan, N. 2013. Electron microscopic studies of Polyethylene terephthalate degradation potential of *Pseudomonas* species. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research** 3 :104-110.

Shah AA, Hasan F, Hameed A, Ahmed S (2008) Biological degradation of plastics: A comprehensive review. **Journal of Biotechnology** 26: 246-265.

Shakhashiri, 2010. **Polymer**. Chemical of The Week. [www.scifun.org](http://www.scifun.org).

Singh B, Sharma N. 2008. Mechanistic implications of plastic degradation. **Journal of Polymer Degradation** 93: 561-584.

Sivan, Alex. 2011. New perspectives in plastic biodegradation. **Journal of Current Opinion in Biotechnology** 22:422 – 426

Tokiwa, Yutaka, Buenaventurada P. Calabia, Charles U. Ugwu and Seiichi Aiba. 2009. Biodegradability of Plastics. **International Journal of Molecular Sciences**.

Vigneswari, K, K. Jegatheesan, S. Karthikumar. 2009. Construction of Microbial Consortium for Improved Biodegradation of Starch Blended LDPE Packaging Polymer. **Journal of Advanced Biotechnology**.



## BIODATA PENULIS

Penulis bernama Fiki Rahmah Fadlilah. Anak pertama dari empat bersaudara ini dilahirkan di Ponorogo, 3 Januari 1992 dari pasangan Mudafir dan Nila Rukhama. Penulis menempuh pendidikan dari mulai sekolah dasar di Madrasah Ibtidaiyah Ma'arif Mayak, Madrasah Tsanawiyah Darul Huda, dan menempuh studi di Madrasah Aliyah Darul Huda Mayak Ponorogo. Ketertarikan terhadap ilmu pengetahuan terlihat sejak menempuh jenjang menengah atas dengan masuk program studi IPA. Selain pendidikan formal, sejak dini penulis menempuh pendidikan Diniyah di Madrasah Miftahul Huda naungan Pondok Pesantren Darul Huda. Setelah menempuh jenjang menengah ke atas penulis berkesempatan untuk mendapatkan beasiswa Program Beasiswa Santri Berprestasi (PBSB) yang didanai oleh Kementerian Agama pada tahun 2010 dan memilih jurusan Biologi FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya untuk menimba ilmu.

Selama menempuh studi di Biologi penulis tertarik pada bidang Mikrobiologi dan Bioteknologi yang terlihat dari Program Kerja Praktek di Laboratorium Bioteknologi LIPI Cibinong, Bogor bidang produksi Biohidrogen, beberapa seminar dan program keilmiah lain seperti PKM didanai DIKTI, Juara 1 LKTIN di Institut Pertanian Bogor (IPB) dan dilanjutkan dengan penulisan Tugas Akhir yang bertema Biodegradasi Plastik oleh bakteri. Selain tertarik di Mikrobiologi penulis juga aktif pada bidang akademik lain, penulis tercatat pernah menjadi asisten praktikum Struktur Pertumbuhan Tanaman (SPT) 1, Asisten Biokimia, Asisten Fisiologi Hewan, Asisten Mikrobiologi dan Asisten Bakteriologi.

Penulis juga tertarik dengan dunia organisasi intra kampus maupun ekstra kampus (CSS MoRA ITS). Penulis pernah menjabat sebagai Sekretaris Departement KESMA HIMABITS periode 2012-2013, SC kaderisasi periode 2012-2013, staff KESMA BEM ITS periode 2011-2012, staff HUBLU CSS MoRA ITS, bendahara Olimpiade Sains dan Seni Santri (OSSPEN) di dua periode berturut regional Jawa Timur dan se- Jawa. Penulis berharap dengan penelitian ini penulis mampu menjadi pribadi yang bermanfaat dunia akhirat untuk diri penulis dan untuk lingkungan sekitar.

*Rasa Syukur dan terima kasih penulis haturkan kepada ALLAH SWT  
atas rahmat dan karuniaNya.*

*Terima Kasih tak terhingga kepada, Bapak, Ibu atas doa dan ridhonya,  
adik-adik (Fairuz, Lina, Dewi, Zidan, Zahid) dan KELUARGA BESAR  
atas doa dan motivasinya.*

*Terimakasih pula kepada orang tua kami di Surabaya, Bapak Ibu dosen  
dan karyawan Jurusan Biologi ITS atas ilmu, pengajaran dan bantuan  
yang diberikan.*

*Terimakasih Kepada KELURGA BESAR CSSMoRA ITS khususnya  
Angkatan 2010 yang menjadi keluarga, teman dan sahabat, semoga  
sillaturrahi ini hingga akhirat nanti.*

*Terimakasih Kepada KELURGA BESAR “Tursiop Truncatus“ yang  
menjadi keluarga, teman dan sahabat, semoga sillaturrahi ini hingga  
akhirat nanti.*

*KELURGA BESAR laboratorium Mikrobiologi atas keceriaan, motivasi  
dan suka duka perjuangan yang terbina selama ini (Ryan, Nia, Hefdi,  
Sidratu, Anjar, Khusnul, Amik, Shella, Afina, Laily, Andry, Zuki,  
Martha, Risa, Isna, Jeje, Anik, Mila, Alfia dan Mas Wahed)*

*“Segala Sesuatu berawal dari NIAT, niat yang BAIK akan mendapatkan sesuatu yang BAIK, niat BURUK akan mendapatkan sesuatu yang BURUK” (Al Hadits)*

## DAFTAR LAMPIRAN

		Halaman
Lampiran 1.	Komposisi Medium.....	53
Lampiran 2.	Metode Streak 16 .....	55
Lampiran 3.	Skema Peremajaan Isolat Bakteri Uji...	56
Lampiran 4.	Skema Biodegradasi Plastik.....	57
Lampiran 5.	Skema Kerja Setelah Masa Inkubasi....	58
Lampiran 6.	Karakter Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> .....	59
Lampiran 7.	Karakter Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> ...	60
Lampiran 8.	Dokumentasi Kolom Winogradsky dan Permukaan kolom Isolat <i>Bacillus</i> Selama 4 Bulan Masa Inkubasi.....	61
Lampiran 9.	Dokumentasi Kolom Winogradsky dan Permukaan kolom Isolat <i>Pseudomonas</i> Selama 4 Bulan Masa Inkubasi.....	65
Lampiran 10.	Analisis Data Statistika (Uji ANOVA dan Uji Tukey tingkat kepercayaan 0,05.....	69
Lampiran 11.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> (1 bulan masa inkubasi) .....	77

Lampiran 12.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> (2 bulan masa inkubasi) .....	79
Lampiran 13.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> (3 bulan masa inkubasi).....	82
Lampiran 14.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> (4 bulan masa inkubasi) .....	84
Lampiran 15.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> (1 bulan masa inkubasi) .....	87
Lampiran 16.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> (2 bulan masa inkubasi) .....	89
Lampiran 17.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> (3 bulan masa inkubasi) .....	92
Lampiran 18.	Tabel Pengamatan Prosentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> (4 bulan masa inkubasi) .....	94

Lampiran 19.	Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Biofilm Isolat <i>Bacillus</i> .....	97
Lampiran 20.	Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Biofilm Isolat <i>Pseudomonas</i> .....	97
Lampiran 21.	Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Kolom Air Isolat <i>Bacillus</i> .....	98
Lampiran 22.	Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Kolom Air Isolat <i>Pseudomonas</i> .....	99
Lampiran 23.	Lampiran 23. Grafik Regresi <i>Growth Rate</i> Isolat Bakteri <i>Bacillus</i> .....	100
Lampiran 24.	Lampiran 23. Grafik Regresi <i>Growth Rate</i> Isolat Bakteri <i>Pseudomonas</i> .....	102

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Komposisi Medium

#### Komposisi medium *Nutrient Agar* (NA) (Oxoid)

Komposisi	dalam g/l
'Lab –Lemco' Powder	1,0
Yeast extract	2,0
Peptone	5,0
Sodium Chloride	5,0
Agar	15,0

pH akhir medium 7, medium diautoclav selama 15 menit dengan suhu 121° C dan 1,5 atm

#### Komposisi medium *Nutrient Broth* (NB) dalam g/l

	dalam g/l
'Lab –Lemco' Powder	1,0
Yeast extract	2,0
Peptone	5,0
Sodium Chloride	5,0

pH akhir medium 7, medium diautoclav selama 15 menit dengan suhu 121° C dan 1,5 atm

## Komposisi Medium Salt Mineral (MSM)

Komposisi	g/l
Magnesium Sulfate	0,2
Calcium Chloride	0,02
Monopotassium Phosphate	1,0
Dipotassium Phosphate	1,0
Ammonium Nitrate	1,0
Ferric Chloride	0,05

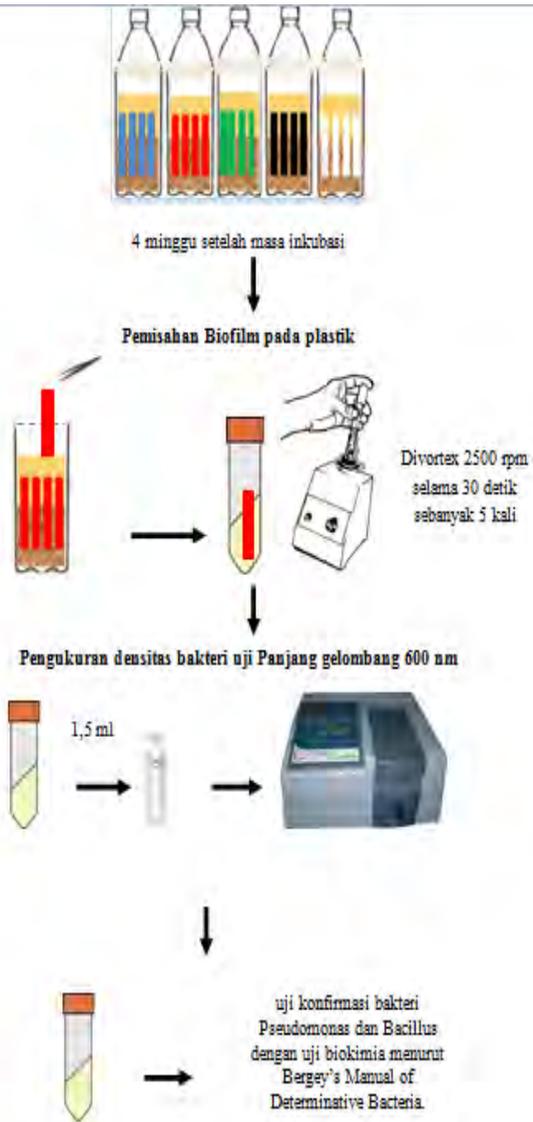
pH akhir medium 7, medium diautoclav selama 15 menit dengan suhu 121° C dan 1,5 atm, Warna akhir medium setelah diautoclave putih hingga kuning,







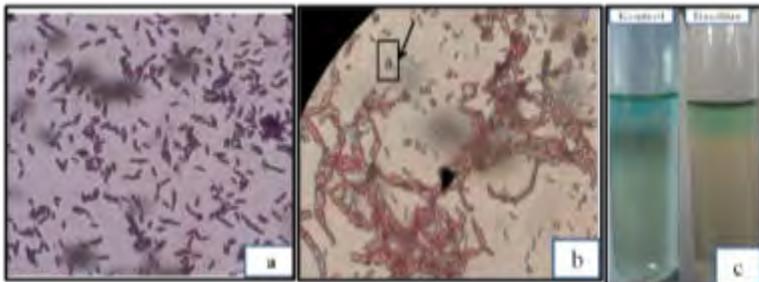
## Lampiran 5. Skema Kerja Setelah Masa Inkubasi



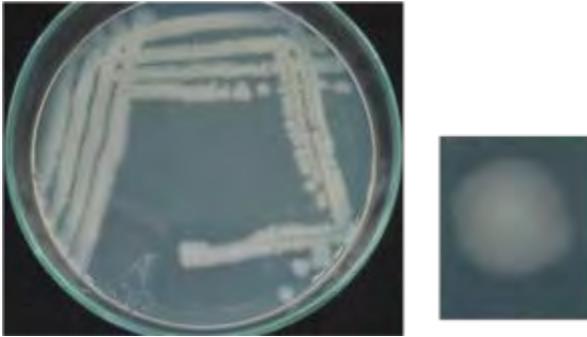
Lampiran 6. Karakter Isolat Bakteri *Bacillus*



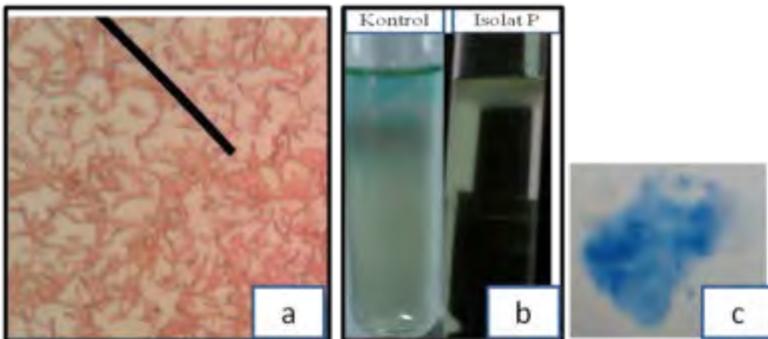
Keterangan: Hasil Streak 16 dan bentuk koloni Isolat Bakteri *Bacillus*



Keterangan : a) Gram Positif Basil, b) Pembentuk spora (Endospora), c) Aerob facultative pada medium thioglikolat.

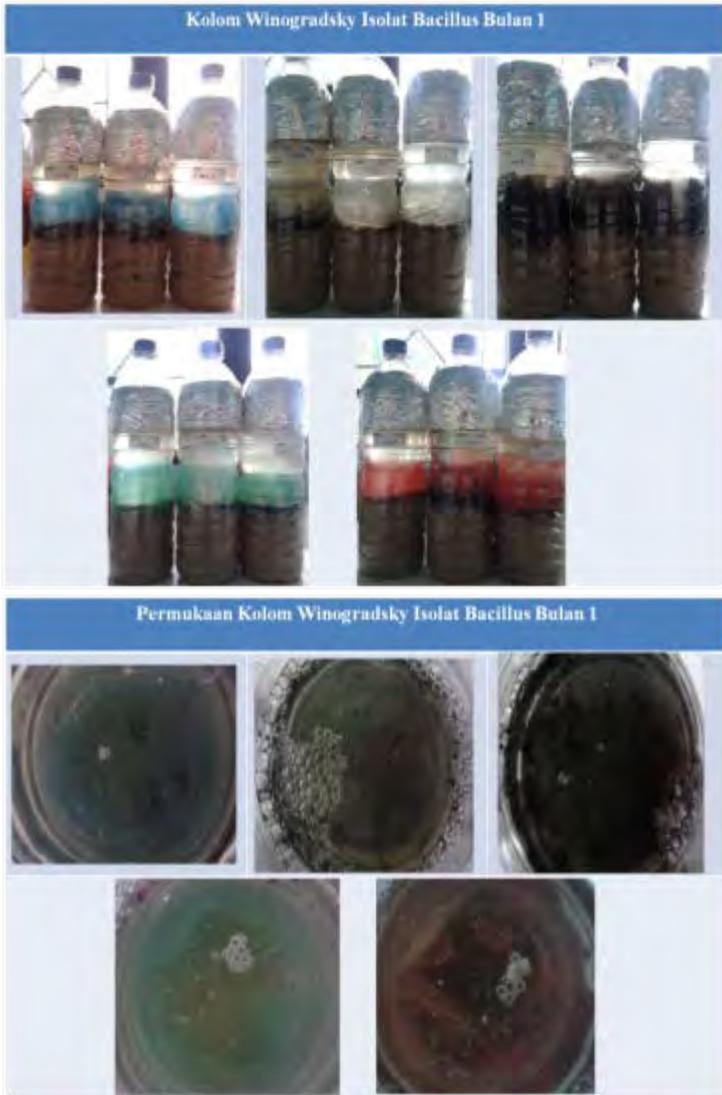
Lampiran 7. Karakter Isolat Bakteri *Pseudomonas*

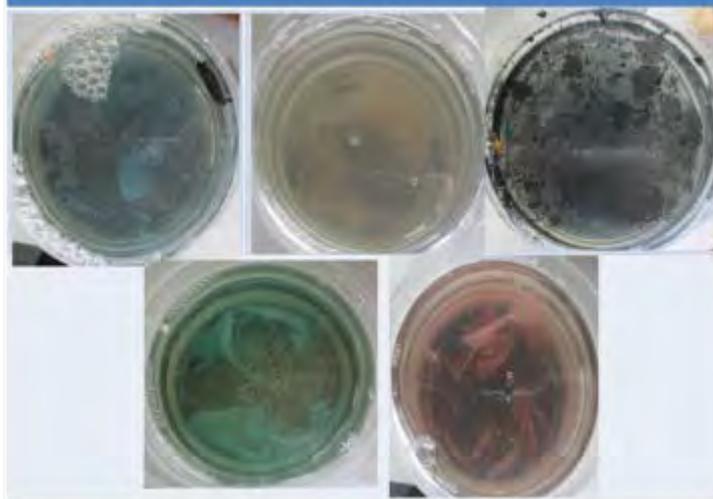
Keterangan: Hasil Streak 16 dan bentuk koloni Isolat Bakteri *Pseudomonas*

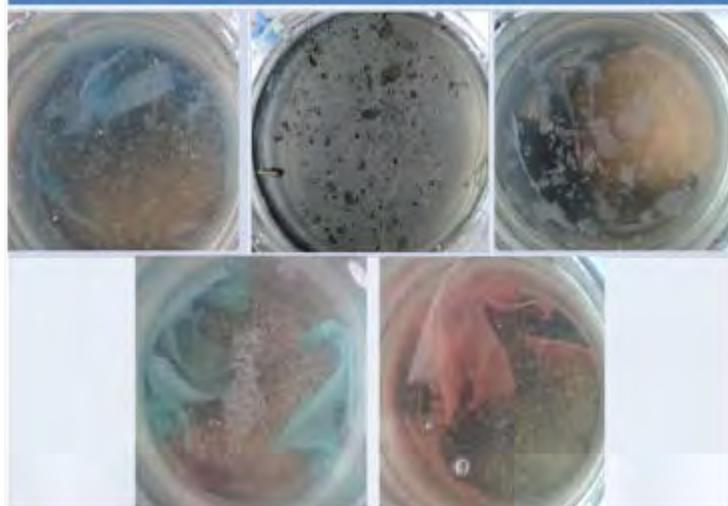


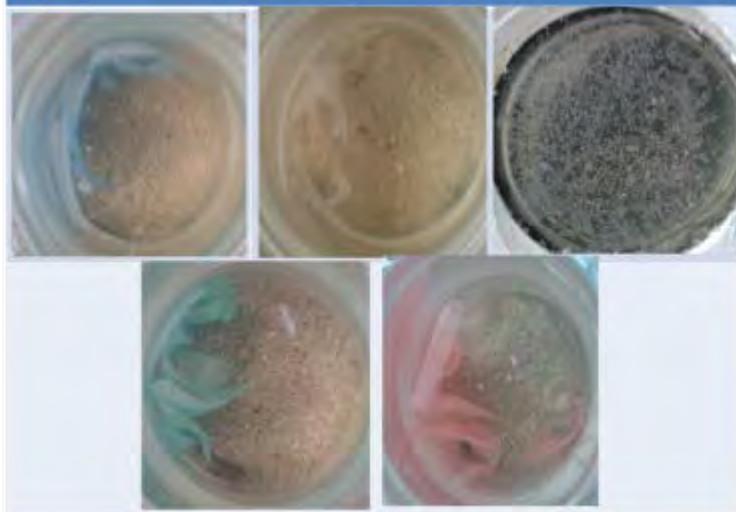
Keterangan : a) Gram Negatif Basil, b) Aerob obligat pada medium thioglikolat, c) Oksidase positif.

Lampiran 8. Dokumentasi Kolom Winogradsky dan Permukaan kolom Isolat *Bacillus* Selama 4 Bulan Masa Inkubasi

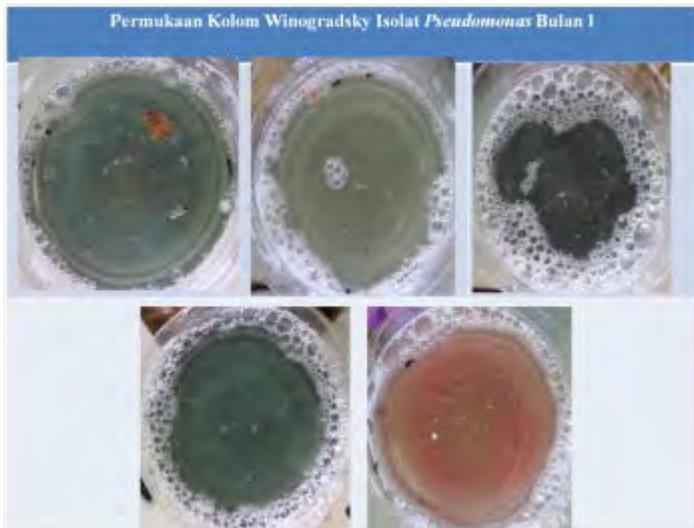


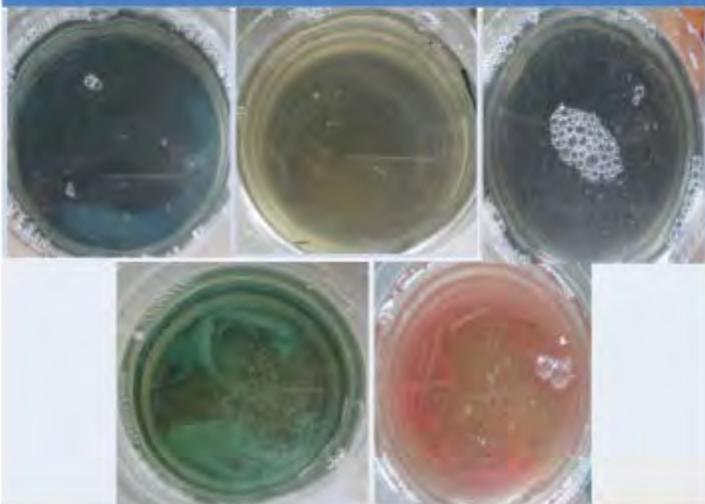
Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 2Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 2

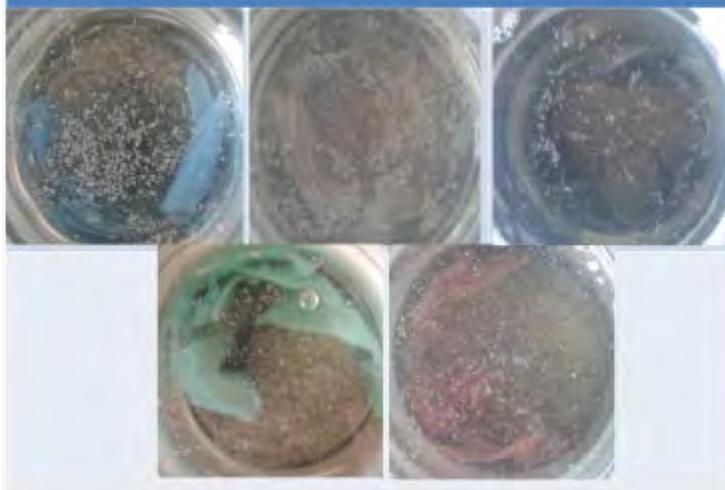
Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 3Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 3

Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 4Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Bacillus* Bulan 4

Lampiran 9. Dokumentasi Kolom Winogradsky dan Permukaan kolom Isolat *Pseudomonas* Selama 4 Bulan Masa Inkubasi



Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 2Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 2

Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 3Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 3

Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 4Permukaan Kolom Winogradsky Isolat *Pseudomonas* Bulan 4

Lampiran 10. Analisis Data Statistika (Uji ANOVA dan Uji Tukey tingkat kepercayaan 0,05

ANOVA						
pKB1	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	,015	5	,003	1,380	,249	
Within Groups	,106	48	,002			
Total	,121	53				

Multiple Comparisons						
pKB1						
Tukey HSD						
(I) platik	(J) platik	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	.01076182	.02214939	.996	-.0549752	.0764989
	hitam	.01480614	.02214939	.985	-.0509309	.0805432
	biru	.02068447	.02214939	.936	-.0450526	.0864215
	merah	-.00015346	.02214939	1.000	-.0658905	.0655836
	kontrol	.04953235	.02214939	.241	-.0162047	.1152694
putih	hijau	-.01076182	.02214939	.996	-.0764989	.0549752
	hitam	.00404432	.02214939	1.000	-.0616927	.0697814
	biru	.00992265	.02214939	.998	-.0558144	.0756597
	merah	-.01091528	.02214939	.998	-.0766323	.0548218
	kontrol	.03877053	.02214939	.506	-.0269665	.1045076
hitam	hijau	-.01480614	.02214939	.985	-.0805432	.0509309
	putih	.00404432	.02214939	1.000	-.0697814	.0616927
	biru	.00587832	.02214939	1.000	-.0598587	.0716154
	merah	-.01495960	.02214939	.984	-.0806967	.0507775
	kontrol	.03472620	.02214939	.623	-.0310109	.1004633
biru	hijau	-.02068447	.02214939	.936	-.0864215	.0450526
	putih	-.00992265	.02214939	.998	-.0756597	.0558144
	hitam	-.00587832	.02214939	1.000	-.0716154	.0598587
	merah	-.02083792	.02214939	.934	-.0865750	.0448091
	kontrol	.02884788	.02214939	.782	-.0368892	.0945849
merah	hijau	.00015346	.02214939	1.000	-.0655836	.0658905
	putih	.01091528	.02214939	.996	-.0548218	.0766523
	hitam	.01495960	.02214939	.984	-.0507775	.0806967
	biru	.02083792	.02214939	.934	-.0448091	.0865750
	kontrol	.04968581	.02214939	.238	-.0160513	.1154229
kontrol	hijau	-.04953235	.02214939	.241	-.1152694	.0162047
	putih	-.03877053	.02214939	.506	-.1045076	.0269665
	hitam	-.03472620	.02214939	.623	-.1004633	.0310109
	biru	-.02884788	.02214939	.782	-.0945849	.0368892
	merah	-.04968581	.02214939	.238	-.1154229	.0160513

## ANOVA

pKB2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,029	5	,006	8,880	,000
Within Groups	,032	48	,001		
Total	,061	53			

Multiple Comparisons						
pKB2						
Tukey HSD						
(I) plstk	(J) plstk	Mean Difference (I-J)			95% Confidence Interval	
		Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound	
hijau	putih	-.002940	.012083	1.000	-.03880	.03292
	hitam	.025087	.012083	.317	-.01077	.06095
	biru	-.015049	.012083	.812	-.02081	.05091
	merah	.018315	.012083	.656	-.01754	.05417
	kontrol	.067572*	.012083	.000	.03171	.10343
putih	hijau	-.002940	.012083	1.000	-.03292	.03880
	hitam	.028027	.012083	.206	-.00783	.06389
	biru	.017989	.012083	.673	-.01787	.05385
	merah	.021255	.012083	.501	-.01460	.05711
	kontrol	.070512*	.012083	.000	.03465	.10637
hitam	hijau	-.025087	.012083	.317	-.06095	.01077
	putih	-.028027	.012083	.206	-.06389	.00783
	biru	-.010039	.012083	.960	-.04590	.02582
	merah	-.006772	.012083	.993	-.04263	.02909
	kontrol	.042485*	.012083	.012	.00663	.07835
biru	hijau	-.015049	.012083	.812	-.05091	.02081
	putih	-.017989	.012083	.673	-.05385	.01787
	hitam	-.010039	.012083	.960	-.02582	.04590
	merah	.003266	.012083	1.000	-.03259	.03913
	kontrol	.052524*	.012083	.001	.01666	.08838
merah	hijau	-.018315	.012083	.656	-.05417	.01754
	putih	-.021255	.012083	.501	-.05711	.01460
	hitam	-.006772	.012083	.993	-.02909	.04263
	biru	-.003266	.012083	1.000	-.03913	.03259
	kontrol	.049258*	.012083	.002	.01340	.08512
kontrol	hijau	-.067572*	.012083	.000	-.10343	-.03171
	putih	-.070512*	.012083	.000	-.10637	-.03465
	hitam	-.042485*	.012083	.012	-.07835	-.00663
	biru	-.052524*	.012083	.001	-.08838	-.01666
	merah	-.049258*	.012083	.002	-.08512	-.01340

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKB3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,035	5	,007	42,170	,000
Within Groups	,008	48	,000		
Total	,043	53			

## Multiple Comparisons

pKB3		Tukey HSD				
(I) plastik	(J) plastik	Mean Difference (I-J)		Sig.	95% Confidence Interval	
			Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	-.00974436	.00607586	.600	-.0277769	.0082882
	hitam	.01947174*	.00607586	.027	.0014392	.0375043
	biru	.01110281	.00607586	.458	-.0069297	.0291353
	merah	.01353012	.00607586	.245	-.0045024	.0315626
	kontrol	.07025224*	.00607586	.000	.0522197	.0882848
putih	hijau	.00974436	.00607586	.600	-.0082882	.0277769
	hitam	.02921610*	.00607586	.000	.0111836	.0472486
	biru	.02084717*	.00607586	.015	.0028147	.0388797
	merah	.02327448*	.00607586	.005	.0052420	.0413070
	kontrol	.07999660*	.00607586	.000	.0619641	.0980291
hitam	hijau	-.01947174*	.00607586	.027	-.0375043	-.0014392
	putih	-.02921610*	.00607586	.000	-.0472486	-.0111836
	biru	-.00836893	.00607586	.740	-.0264014	.0096636
	merah	-.00594162	.00607586	.923	-.0239741	.0120909
	kontrol	.05078050*	.00607586	.000	.0327480	.0688130
biru	hijau	-.01110281	.00607586	.458	-.0291353	.0069297
	putih	-.02084717*	.00607586	.015	-.0388797	-.0028147
	hitam	.00836893	.00607586	.740	-.0096636	.0264014
	merah	.00242731	.00607586	.999	-.0156052	.0204598
	kontrol	.05914943*	.00607586	.000	.0411169	.0771819
merah	hijau	-.01353012	.00607586	.245	-.0315626	.0045024
	putih	-.02327448*	.00607586	.005	-.0413070	-.0052420
	hitam	.00594162	.00607586	.923	-.0120909	.0239741
	biru	-.00242731	.00607586	.999	-.0204598	.0156052
	kontrol	.05672212*	.00607586	.000	.0386896	.0747546
kontrol	hijau	-.07025224*	.00607586	.000	-.0882848	-.0522197
	putih	-.07999660*	.00607586	.000	-.0980291	-.0619641
	hitam	-.05078050*	.00607586	.000	-.0688130	-.0327480
	biru	-.05914943*	.00607586	.000	-.0771819	-.0411169
	merah	-.05672212*	.00607586	.000	-.0747546	-.0386896

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKB4

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,046	5	,009	45,708	,000
Within Groups	,010	48	,000		
Total	,056	53			

## Multiple Comparisons

pKB4

Tukey HSD

(I) plastik	(J) plastik	Mean Difference (I-J)		Sig.	95% Confidence Interval	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	-.01597936	.00670719	.183	-.0358856	.0039269
	hitam	.01483480	.00670719	.251	-.0050714	.0347410
	biru	.01233623	.00670719	.451	-.0075700	.0322425
	merah	.01235070	.00670719	.450	-.0075555	.0322569
	kontrol	.07795837*	.00670719	.000	.0580521	.0978646
putih	hijau	.01597936	.00670719	.183	-.0039269	.0358856
	hitam	.03081416*	.00670719	.000	.0109079	.0507204
	biru	.02831559*	.00670719	.001	.0084093	.0482218
	merah	.02833005*	.00670719	.001	.0084238	.0482363
	kontrol	.09393773*	.00670719	.000	.0740315	.1138440
hitam	hijau	-.01483480	.00670719	.251	-.0347410	.0050714
	putih	-.03081416*	.00670719	.000	-.0507204	-.0109079
	biru	-.00249857	.00670719	.999	-.0224048	.0174077
	merah	-.00248410	.00670719	.999	-.0223903	.0174221
	kontrol	.06312357*	.00670719	.000	.0432173	.0830298
biru	hijau	-.01233623	.00670719	.451	-.0322425	.0075700
	putih	-.02831559*	.00670719	.001	-.0482218	-.0084093
	hitam	.00249857	.00670719	.999	-.0174077	.0224048
	merah	.00001447	.00670719	1.000	-.0198918	.0199207
	kontrol	.06562214*	.00670719	.000	.0457159	.0855284
merah	hijau	-.01235070	.00670719	.450	-.0322569	.0075555
	putih	-.02833005*	.00670719	.001	-.0482363	-.0084238
	hitam	.00248410	.00670719	.999	-.0174221	.0223903
	biru	-.00001447	.00670719	1.000	-.0199207	.0198918
	kontrol	.06560768*	.00670719	.000	.0457014	.0855139
kontrol	hijau	-.07795837*	.00670719	.000	-.0978646	-.0580521
	putih	-.09393773*	.00670719	.000	-.1138440	-.0740315
	hitam	-.06312357*	.00670719	.000	-.0830298	-.0432173
	biru	-.06562214*	.00670719	.000	-.0855284	-.0457159
	merah	-.06560768*	.00670719	.000	-.0855139	-.0457014

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKP1

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,013	5	,003	3,524	,009
Within Groups	,035	48	,001		
Total	,048	53			

## Multiple Comparisons

pKP1		Mean Difference		Sig.	95% Confidence Interval	
(I) plastik	(J) plastik	(I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	,00429165	,01280346	,999	-,0337077	,0422910
	hitam	,00851951	,01280346	,985	-,0294798	,0465188
	biru	,01292482	,01280346	,913	-,0250745	,0509241
	merah	-,01460617	,01280346	,862	-,0526055	,0233931
	kontrol	,03682670	,01280346	,062	-,0011726	,0748260
putih	hijau	-,00429165	,01280346	,999	-,0422910	,0337077
	hitam	,00422786	,01280346	,999	-,0337714	,0422272
	biru	,00863317	,01280346	,984	-,0293661	,0466325
	merah	-,01889782	,01280346	,681	-,0568971	,0191015
	kontrol	,03253505	,01280346	,133	-,0054643	,0705344
hitam	hijau	-,00851951	,01280346	,985	-,0465188	,0294798
	putih	-,00422786	,01280346	,999	-,0422272	,0337714
	biru	,00440531	,01280346	,999	-,0335940	,0424046
	merah	-,02312569	,01280346	,472	-,0611250	,0148736
	kontrol	,02630719	,01280346	,252	-,0096921	,0663065
biru	hijau	-,01292482	,01280346	,913	-,0509241	,0250745
	putih	-,00863317	,01280346	,984	-,0466325	,0293661
	hitam	-,00440531	,01280346	,999	-,0424046	,0335940
	merah	-,02753099	,01280346	,280	-,0655303	,0104683
	kontrol	,02390188	,01280346	,434	-,0140974	,0619012
merah	hijau	,01460617	,01280346	,862	-,0233931	,0526055
	putih	,01889782	,01280346	,681	-,0191015	,0568971
	hitam	,02312569	,01280346	,472	-,0148736	,0611250
	biru	,02753099	,01280346	,280	-,0104683	,0655303
	kontrol	,05143287*	,01280346	,003	,0134336	,0894322
kontrol	hijau	-,03682670	,01280346	,062	-,0748260	,0011726
	putih	-,03253505	,01280346	,133	-,0705344	,0054643
	hitam	-,02830719	,01280346	,252	-,0663065	,0096921
	biru	-,02390188	,01280346	,434	-,0619012	,0140974
	merah	-,05143287*	,01280346	,003	-,0894322	-,0134336

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKP2

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,028	5	,006	17,739	,000
Within Groups	,015	48	,000		
Total	,044	53			

## Multiple Comparisons

pKP2  
Tukey HSD

(I) plastik	(J) plastik	Mean Difference (I-J)		Sig.	95% Confidence Interval	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	-.03295812*	.00842579	.004	-.0579650	-.0079513
	hitam	.00448054	.00842579	.995	-.0205263	.0294874
	biru	-.01075865	.00842579	.796	-.0357655	.0142482
	marah	-.02170295	.00842579	.123	-.0467098	.0033039
	kontrol	.03916971*	.00842579	.000	.0141629	.0641766
putih	hijau	.03295812*	.00842579	.004	.0079513	.0579650
	hitam	.03743866*	.00842579	.001	.0124318	.0624455
	biru	.02219947	.00842579	.109	-.0028074	.0472063
	marah	.01125518	.00842579	.764	-.0137517	.0362620
	kontrol	.07212784*	.00842579	.000	.0471210	.0971347
hitam	hijau	-.00448054	.00842579	.995	-.0294874	.0205263
	putih	-.03743866*	.00842579	.001	-.0624455	-.0124318
	biru	-.01523919	.00842579	.470	-.0402460	.0097677
	marah	-.02618349*	.00842579	.035	-.0511903	-.0011766
	kontrol	.03468917*	.00842579	.002	.0096823	.0596960
biru	hijau	.01075865	.00842579	.796	-.0142482	.0357655
	putih	-.02219947	.00842579	.109	-.0472063	.0028074
	hitam	.01523919	.00842579	.470	-.0097677	.0402460
	marah	-.01094430	.00842579	.784	-.0359512	.0140626
	kontrol	.04992836*	.00842579	.000	.0249215	.0749352
marah	hijau	.02170295	.00842579	.123	-.0033039	.0467098
	putih	-.01125518	.00842579	.764	-.0362620	.0137517
	hitam	.02618349*	.00842579	.035	.0011766	.0511903
	biru	.01094430	.00842579	.784	-.0140626	.0359512
	kontrol	.06087266*	.00842579	.000	.0358658	.0858795
kontrol	hijau	-.03916971*	.00842579	.000	-.0641766	-.0141629
	putih	-.07212784*	.00842579	.000	-.0971347	-.0471210
	hitam	-.03468917*	.00842579	.002	-.0596960	-.0096823
	biru	-.04992836*	.00842579	.000	-.0749352	-.0249215
	marah	-.06087266*	.00842579	.000	-.0858795	-.0358658

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKP3

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,035	5	,007	10,854	,000
Within Groups	,031	48	,001		
Total	,066	53			

## Multiple Comparisons

pKP3 Tukey HSD		Mean Difference			95% Confidence Interval	
(I) plastik	(J) plastik	(I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
hijau	putih	-.02586242	.01201752	.279	-.0615292	.0098043
	hitam	.01083401	.01201752	.944	-.0248327	.0465007
	biru	.00088020	.01201752	1.000	-.0347865	.0365469
	merah	-.00636494	.01201752	.995	-.0420317	.0293018
	kontrol	.05762652*	.01201752	.000	.0219598	.0932992
putih	hijau	.02586242	.01201752	.279	-.0098043	.0615292
	hitam	.03669643*	.01201752	.040	.0010297	.0723632
	biru	.02674262	.01201752	.245	-.0089241	.0624094
	merah	.01949748	.01201752	.588	-.0161692	.0516492
	kontrol	.08348894*	.01201752	.000	.0478222	.1191557
hitam	hijau	-.01083401	.01201752	.944	-.0465007	.0248327
	putih	-.03669643*	.01201752	.040	-.0723632	-.0010297
	biru	-.00995381	.01201752	.961	-.0458205	.0257129
	merah	-.01719895	.01201752	.708	-.0528657	.0184678
	kontrol	.04679251*	.01201752	.004	.0111258	.0824592
biru	hijau	-.00088020	.01201752	1.000	-.0365469	.0347865
	putih	-.02674262	.01201752	.245	-.0624094	.0089241
	hitam	.00995381	.01201752	.961	-.0257129	.0458205
	merah	-.00724514	.01201752	.990	-.0429119	.0284216
	kontrol	.05674632*	.01201752	.000	.0210796	.0924130
merah	hijau	.00636494	.01201752	.995	-.0293018	.0420317
	putih	-.01949748	.01201752	.588	-.0551642	.0161692
	hitam	.01719895	.01201752	.708	-.0184678	.0528657
	biru	.00724514	.01201752	.990	-.0284216	.0429119
	kontrol	.06399146*	.01201752	.000	.0283247	.0996582
kontrol	hijau	-.05762652*	.01201752	.000	-.0932992	-.0219598
	putih	-.08348894*	.01201752	.000	-.1191557	-.0478222
	hitam	-.04679251*	.01201752	.004	-.0824592	-.0111258
	biru	-.05674632*	.01201752	.000	-.0924130	-.0210796
	merah	-.06399146*	.01201752	.000	-.0996582	-.0283247

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ANOVA

pKP4						
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Between Groups	,043	5	,009	45,783	,000	
Within Groups	,009	48	,000			
Total	,051	53				

## Multiple Comparisons

pKP4		Tukey HSD						
(I) plastik	(J) plastik	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
					Lower Bound	Upper Bound		
hijau	putih	-.02285580 <sup>*</sup>	.00642845	.010	-.0419348	-.0037768		
	hitam	.01147552	.00642845	.485	-.0076035	.0305545		
	biru	.00515910	.00642845	.966	-.0139199	.0242381		
	merah	-.00014404	.00642845	1.000	-.0192230	.0189349		
	kontrol	.06850405 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0494251	.0875830		
putih	hijau	.02285580 <sup>*</sup>	.00642845	.010	.0037768	.0419348		
	hitam	.03433131 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0152523	.0534103		
	biru	.02801490 <sup>*</sup>	.00642845	.001	.0089359	.0470939		
	merah	.02271175 <sup>*</sup>	.00642845	.011	.0036328	.0417907		
	kontrol	.09135984 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0722809	.1104388		
hitam	hijau	-.01147552	.00642845	.485	-.0305545	.0076035		
	putih	-.03433131 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.0534103	-.0152523		
	biru	-.00631642	.00642845	.921	-.0253954	.0127626		
	merah	-.01161956	.00642845	.471	-.0306985	.0074594		
	kontrol	.05702853 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0379496	.0761075		
biru	hijau	-.00515910	.00642845	.966	-.0242381	.0139199		
	putih	-.02801490 <sup>*</sup>	.00642845	.001	-.0470939	-.0089359		
	hitam	.00631642	.00642845	.921	-.0127626	.0253954		
	merah	-.00530314	.00642845	.961	-.0243821	.0137758		
	kontrol	.06334495 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0442680	.0824239		
merah	hijau	.00014404	.00642845	1.000	-.0189349	.0192230		
	putih	-.02271175 <sup>*</sup>	.00642845	.011	-.0417907	-.0036328		
	hitam	.01161956	.00642845	.471	-.0074594	.0306985		
	biru	.00530314	.00642845	.961	-.0137758	.0243821		
	kontrol	.06864809 <sup>*</sup>	.00642845	.000	.0495691	.0877271		
kontrol	hijau	-.06850405 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.0875830	-.0494251		
	putih	-.09135984 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.1104388	-.0722809		
	hitam	-.05702853 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.0761075	-.0379496		
	biru	-.06334495 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.0824239	-.0442680		
	merah	-.06864809 <sup>*</sup>	.00642845	.000	-.0877271	-.0495691		

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Lampiran 11. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Bacillus* (1 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.B	5	0,074	0,071	0,003	4%
	6	0,070	0,068	0,002	3%
	7	0,048	0,047	0,001	2%
H.II.B	3	0,055	0,049	0,006	12%
	4	0,062	0,062	0	0%
	11	0,055	0,051	0,004	8%
H.III.B	5	0,072	0,067	0,005	7%
	13	0,072	0,068	0,004	6%
	14	0,063	0,063	0	0%
Rata-rata		0,063	0,061	0,003	5%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
P.I.B	5	0,054	0,053	0,001	2%
	6	0,059	0,059	0	0%
	15	0,043	0,043	0	0%
P.II.B	3	0,060	0,054	0,006	10%
	7	0,055	0,053	0,002	4%
	13	0,061	0,053	0,008	13%
P.III.B	1	0,054	0,053	0,001	2%
	5	0,061	0,06	0,001	2%
	9	0,043	0,042	0,001	2%
Rata- rata		0,054	0,052	0,002	4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
Ht.I.B	3	0,07	0,069	0,001	2%
	11	0,065	0,053	0,012	18%
	14	0,056	0,055	0,001	2%
Ht.II.B	11	0,068	0,066	0,002	3%
	13	0,051	0,051	0	0%
	15	0,072	0,072	0	0%
Ht.III.B	11	0,055	0,054	0,001	2%
	12	0,059	0,057	0,002	4%
	14	0,070	0,069	0,001	2%
Rata-Rata		0,063	0,061	0,002	4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
B.I.B	1	0,057	0,056	0,001	2%
	2	0,059	0,058	0,001	2%
	3	0,057	0,056	0,001	2%
B.II.B	5	0,054	0,053	0,001	2%
	6	0,049	0,048	0,001	2%
	8	0,066	0,065	0,001	2%
B.III.B	1	0,058	0,057	0,001	2%
	3	0,051	0,050	0,001	2%
	4	0,060	0,053	0,007	12%
Rata-rata		0,057	0,055	0,002	3%

Warna plastik	kode plastik	Berat Awal	berat akhir	berat hilang	persen
M.I.B	3	0,067	0,066	0,001	2%
	12	0,067	0,051	0,016	23%
	15	0,047	0,045	0,002	5%
M.II.B	3	0,081	0,08	0,001	1%
	8	0,067	0,065	0,002	3%
	14	0,065	0,064	0,001	2%
M.III.B	7	0,077	0,072	0,005	7%
	12	0,065	0,064	0,001	2%
	15	0,077	0,076	0,001	1%
Rata- rata		0,068	0,065	0,003	5%

Lampiran 12, Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Bacillus* (2 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.B	3	0,072	0,056	0,016	22%
	8	0,050	0,043	0,007	14%
	13	0,056	0,054	0,002	4%
H.II.B	2	0,061	0,058	0,003	5%
	7	0,052	0,046	0,006	12%
	10	0,067	0,065	0,002	3%
H.III.B	1	0,063	0,06	0,003	5%
	3	0,047	0,045	0,002	5%
	7	0,062	0,058	0,004	7%
Rata-rata		0,059	0,054	0,005	8%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
P.I.B	1	0,060	0,046	0,014	23%
	4	0,054	0,051	0,003	6%
	13	0,054	0,051	0,003	6%
P.II.B	8	0,053	0,045	0,008	15%
	9	0,059	0,055	0,004	7%
	12	0,052	0,048	0,004	8%
P.III.B	2	0,053	0,05	0,003	6%
	10	0,064	0,061	0,003	6%
	13	0,052	0,049	0,003	6%
Rata-Rata		0,056	0,051	0,005	9%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	Persen
Ht.I.B	4	0,078	0,078	0	0%
	5	0,060	0,057	0,003	5%
	6	0,067	0,064	0,003	5%
Ht.II.B	5	0,074	0,073	0,001	2%
	6	0,050	0,047	0,003	6%
	7	0,050	0,046	0,004	8%
Ht.III.B	6	0,081	0,08	0,001	1%
	8	0,075	0,073	0,002	3%
	10	0,053	0,05	0,003	6%
Rata-rata		0,065	0,063	0,002	4%

Warna	Kode	Berat	Berat	Berat	persen
-------	------	-------	-------	-------	--------

plastik	plastik	Awal	akhir	Hilang	
B.I.B	4	0,061	0,058	0,003	5%
	5	0,050	0,046	0,004	8%
	8	0,045	0,041	0,004	9%
B.II.B	2	0,069	0,065	0,004	6%
	3	0,045	0,044	0,001	2%
	7	0,055	0,051	0,004	7%
B.III.B	8	0,040	0,038	0,002	5%
	14	0,042	0,042	0	0%
	15	0,058	0,055	0,003	4%
Rata-rata		0,052	0,049	0,003	5%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	berat Akhir	Berat hilang	persen
M.I.B	4	0,075	0,069	0,006	8%
	5	0,061	0,058	0,003	5%
	6	0,063	0,06	0,003	5%
M.II.B	5	0,064	0,062	0,002	3%
	6	0,077	0,074	0,003	4%
	9	0,069	0,064	0,005	7%
M.III.B	4	0,079	0,076	0,003	4%
	5	0,054	0,05	0,004	7%
	14	0,078	0,075	0,003	4%
Rata-rata		0,069	0,065	0,004	5%

Lampiran 13. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Bacillus* (3 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.B	9	0,057	0,053	0,004	7%
	11	0,067	0,063	0,004	6%
	12	0,061	0,055	0,006	10%
H.II.B	1	0,044	0,04	0,004	9%
	8	0,067	0,064	0,003	4%
	14	0,042	0,039	0,003	7%
H.III.B	2	0,060	0,056	0,004	7%
	4	0,068	0,064	0,004	6%
	10	0,070	0,065	0,005	7%
Rata-rata		0,060	0,055	0,004	7%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
P.I.B	7	0,066	0,061	0,005	8%
	8	0,057	0,053	0,004	7%
	9	0,054	0,05	0,004	7%
P.II.B	1	0,045	0,041	0,004	9%
	2	0,064	0,06	0,004	6%
	11	0,052	0,048	0,004	8%
P.III.B	3	0,048	0,045	0,003	6%
	7	0,045	0,04	0,005	11%
	14	0,051	0,046	0,005	10%
Rata-rata		0,054	0,049	0,004	8%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat Hilang	persen
Ht.I.B	7	0,064	0,061	0,003	5%
	8	0,054	0,05	0,004	7%
	10	0,056	0,052	0,004	7%
Ht.II.B	9	0,062	0,059	0,003	5%
	10	0,068	0,065	0,003	4%
	14	0,052	0,05	0,002	4%
Ht.III.B	9	0,054	0,051	0,003	6%
	13	0,064	0,062	0,002	3%
	15	0,064	0,061	0,003	5%
Rata-rata		0,057	0,057	0,003	5%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
B.I.B	6	0,055	5%	0%	5%
	7	0,063	6%	0%	5%
	9	0,038	4%	0%	8%
B.II.B	9	0,060	6%	0%	5%
	10	0,052	5%	0%	6%
	12	0,055	5%	0%	7%
B.III.B	10	0,055	5%	0%	7%
	11	0,057	5%	0%	5%
	13	0,066	6%	0%	5%
Rata-rata		0,056	5%	0%	6%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	Berat Hilang	persen
M.I.B	11	0,076	0,072	0,004	5%
	13	0,064	0,06	0,004	6%
	14	0,068	0,065	0,003	4%
M.II.B	2	0,065	0,06	0,005	8%
	4	0,070	0,067	0,003	4%
	10	0,071	0,067	0,004	6%
M.III.B	2	0,076	0,072	0,004	5%
	6	0,048	0,045	0,003	6%
	8	0,050	0,047	0,003	6%
Rata-rata		0,065	0,062	0,004	6%

Lampiran 14. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Bacillus* (4 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.B	1	0,069	0,064	0,005	7%
	4	0,072	0,067	0,005	7%
	15	0,060	0,055	0,005	8%
H.II.B	6	0,066	0,062	0,004	6%
	13	0,070	0,066	0,004	6%
	15	0,067	0,062	0,005	7%
H.III.B	6	0,061	0,056	0,005	8%
	12	0,060	0,054	0,006	10%
	15	0,049	0,044	0,005	10%
Rata-Rata		0,064	0,059	0,005	8%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	Berat Hilang	persen
P.I.B	3	0,054	0,05	0,004	7%
	14	0,048	0,042	0,006	13%
	11	0,058	0,053	0,005	9%
P.II.B	6	0,059	0,053	0,006	10%
	14	0,061	0,056	0,005	8%
	15	0,059	0,054	0,005	8%
P.III.B	11	0,066	0,062	0,004	6%
	12	0,049	0,043	0,006	12%
	15	0,046	0,041	0,005	11%
Rata-Rata		0,056	0,050	0,005	9,4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
Ht.I.B	9	0,070	0,066	0,004	6%
	15	0,072	0,068	0,004	6%
	12	0,062	0,059	0,003	5%
Ht.II.B	3	0,059	0,055	0,004	7%
	4	0,069	0,065	0,004	6%
	8	0,063	0,058	0,005	8%
Ht.III.B	1	0,048	0,045	0,003	6%
	2	0,055	0,051	0,004	7%
	3	0,060	0,056	0,004	7%
Rata-Rata		0,062	0,0581111	0,004	6,3%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat Hilang	Persen
B.I.B	10	0,044	0,041	0,003	7%
	11	0,055	0,051	0,004	7%
	14	0,064	0,062	0,002	3%
B.II.B	11	0,046	0,042	0,004	9%
	13	0,045	0,043	0,002	4%
	15	0,046	0,043	0,003	7%
B.III.B	7	0,045	0,042	0,003	7%
	9	0,054	0,05	0,004	7%
	12	0,037	0,034	0,003	8%
Rata-Rata		0,048	0,045	0,003	6,6%

Warna Plastik	Kode Plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	Persen
M.I.B	2	0,052	0,048	0,004	8%
	9	0,048	0,045	0,003	6%
	10	0,066	0,062	0,004	6%
M.II.B	1	0,075	0,07	0,005	7%
	11	0,071	0,067	0,004	6%
	13	0,067	0,063	0,004	6%
M.III.B	1	0,047	0,043	0,004	9%
	3	0,052	0,049	0,003	6%
	9	0,077	0,072	0,005	6%
Rata-Rata		0,061666 7	0,0576667	0,004	6,6%

Lampiran 15. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Pseudomonas* (1Bulan Masa Inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.P	1	0,058	0,057	0,001	2%
	2	0,060	0,058	0,002	3%
	4	0,071	0,067	0,004	6%
H.II.P	8	0,051	0,049	0,002	4%
	9	0,074	0,072	0,002	3%
	14	0,058	0,056	0,002	3%
H.III.P	6	0,055	0,053	0,002	4%
	7	0,058	0,055	0,003	5%
	8	0,056	0,054	0,002	4%
Rata-rata		0,060	0,058	0,002	4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
P.I.P	6	0,054	0,052	0,002	4%
	10	0,054	0,052	0,002	4%
	11	0,056	0,054	0,002	4%
P.II.P	4	0,062	0,06	0,002	3%
	8	0,046	0,045	0,001	2%
	14	0,049	0,048	0,001	2%
P.III.P	6	0,055	0,053	0,002	4%
	7	0,062	0,06	0,002	3%
	8	0,050	0,048	0,002	4%
Rata-Rata		0,054	0,052	0,002	3%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
Ht.I.P	2	0,069	0,068	0,001	1%
	3	0,053	0,05	0,003	6%
	8	0,084	0,083	0,001	1%
Ht.II.P	2	0,055	0,054	0,001	2%
	4	0,065	0,062	0,003	5%
	9	0,068	0,064	0,004	6%
Ht.III.P	7	0,056	0,056	0,000	0%
	8	0,068	0,067	0,001	2%
	10	0,059	0,057	0,002	4%
Rata-Rata		0,064	0,062	0,002	3%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
B.I.P	8	0,050	0,048	0,002	4%
	9	0,050	0,049	0,001	2%
	10	0,063	0,061	0,002	3%
B.II.P	2	0,061	0,06	0,001	2%
	8	0,050	0,048	0,002	4%
	12	0,061	0,059	0,002	4%
B.III.P	3	0,058	0,057	0,001	2%
	8	0,057	0,057	0,000	0%
	11	0,059	0,058	0,001	2%
Rata-rata		0,057	0,055	0,001	2%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
M.I.P	3	0,055	0,053	0,002	4%
	4	0,064	0,051	0,013	20%
	7	0,056	0,053	0,003	6%
M.II.P	1	0,074	0,073	0,001	1%
	2	0,052	0,05	0,002	4%
	3	0,073	0,069	0,004	6%
M.III.P	13	0,07	0,069	0,001	1%
	14	0,055	0,055	0	0%
	15	0,041	0,039	0,002	5%
Rata-rata		0,060	0,057	0,003	5%

Lampiran 16. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Pseudomonas* (2 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.P	3	0,075	0,072	0,003	4%
	5	0,078	0,075	0,003	4%
	7	0,069	0,068	0,001	1%
H.II.P	1	0,052	0,05	0,002	4%
	2	0,058	0,056	0,002	4%
	13	0,064	0,063	0,001	2%
H.III.P	5	0,041	0,04	0,001	2%
	10	0,062	0,058	0,004	7%
	12	0,059	0,056	0,003	5%
Rata-rata		0,062	0,060	0,002	4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	Berat berhilang	Persen
P.I.P	1	0,059	0,054	0,005	9%
	8	0,045	0,04	0,005	11%
	15	0,067	0,059	0,008	12%
P.II.P	3	0,053	0,048	0,005	9%
	5	0,066	0,062	0,004	6%
	6	0,056	0,051	0,005	9%
P.III.P	10	0,057	0,053	0,004	7%
	11	0,059	0,054	0,005	9%
	12	0,051	0,049	0,002	4%
Rata-Rata		0,057	0,052	0,005	8%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	Berat Hilang	Persen
Ht.I.P	7	0,077	0,075	0,002	3%
	9	0,053	0,051	0,002	4%
	11	0,060	0,058	0,002	3%
Ht.II.P	5	0,070	0,068	0,002	3%
	7	0,057	0,055	0,002	4%
	8	0,059	0,056	0,003	5%
Ht.III.P	4	0,057	0,055	0,002	4%
	5	0,056	0,054	0,002	4%
	6	0,067	0,065	0,002	3%
Rata-Rata		0,062	0,060	0,002	4%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
B.I.P	6	0,056	0,053	0,003	5%
	12	0,061	0,058	0,003	5%
	14	0,050	0,047	0,003	6%
B.II.P	9	0,049	0,046	0,003	6%
	11	0,050	0,048	0,002	4%
	13	0,051	0,048	0,003	6%
B.III.P	2	0,043	0,041	0,002	5%
	4	0,048	0,045	0,003	7%
	13	0,057	0,056	0,001	2%
Rata-rata		0,052	0,049	0,003	5%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat Hilang	persen
M.I.P	13	0,077	0,075	0,002	3%
	14	0,049	0,046	0,003	6%
	15	0,062	0,059	0,003	5%
M.II.P	4	0,067	0,063	0,004	6%
	5	0,068	0,063	0,005	7%
	10	0,061	0,056	0,005	8%
M.III.P	1	0,072	0,068	0,004	6%
	6	0,054	0,052	0,002	4%
	8	0,067	0,06	0,007	11%
Rata-rata		0,064	0,060	0,004	6%

Lampiran 17. Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Pseudomonas* (3 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.P	12	0,044	0,041	0,003	7%
	13	0,068	0,065	0,003	4%
	14	0,042	0,037	0,005	12%
H.II.P	3	0,053	0,048	0,005	9%
	10	0,075	0,073	0,002	3%
	12	0,057	0,054	0,003	5%
H.III.P	1	0,046	0,044	0,002	4%
	2	0,057	0,055	0,002	4%
	15	0,057	0,055	0,002	4%
Rata-rata		0,055	0,052	0,003	6%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
P.I.P	7	0,055	0,05	0,005	9%
	9	0,060	0,055	0,005	8%
	12	0,060	0,055	0,005	8%
P.II.P	1	0,059	0,053	0,006	10%
	10	0,053	0,047	0,006	11%
	11	0,058	0,054	0,004	7%
P.III.P	3	0,054	0,051	0,003	6%
	5	0,063	0,059	0,004	6%
	15	0,055	0,05	0,005	9%
Rata-rata		0,057	0,003	0,005	8%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
Ht.I.P	5	0,070	0,068	0,002	3%
	10	0,067	0,062	0,005	7%
	12	0,083	0,08	0,003	4%
Ht.II.P	1	0,069	0,065	0,004	6%
	4	0,065	0,063	0,002	3%
	14	0,053	0,05	0,003	6%
Ht.III.P	1	0,069	0,066	0,003	4%
	12	0,055	0,053	0,002	4%
	13	0,053	0,05	0,003	6%
Rata-rata		0,065	0,062	0,003	5%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	Berat hilang	persen
B.I.P	11	0,044	0,04	0,004	9%
	13	0,062	0,06	0,002	3%
	15	0,050	0,047	0,003	6%
B.II.P	1	0,056	0,054	0,002	4%
	3	0,063	0,06	0,003	5%
	4	0,051	0,048	0,003	6%
B.III.P	1	0,046	0,043	0,003	7%
	9	0,060	0,057	0,003	5%
	10	0,057	0,053	0,004	7%
Rata-rata		0,054	0,051	0,003	6%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
M.I.P	1	0,076	0,073	0,003	4%
	2	0,067	0,064	0,003	5%
	12	0,079	0,075	0,004	5%
M.II.P	11	0,061	0,057	0,004	7%
	14	0,072	0,059	0,013	18%
	15	0,069	0,065	0,004	6%
M.III.P	2	0,048	0,045	0,003	6%
	10	0,069	0,067	0,002	3%
	12	0,066	0,063	0,003	5%
Rata-rata		0,067	0,063	0,004	6%

Lampiran 18, Tabel Pengamatan Persentase Kehilangan Berat Plastik oleh Isolat Bakteri *Pseudomonas* (4 bulan masa inkubasi)

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
H.I.P	6	0,057	0,053	0,004	7%
	8	0,069	0,064	0,005	7%
	9	0,081	0,077	0,004	5%
H.II.P	7	0,069	0,065	0,004	6%
	11	0,042	0,037	0,005	12%
	15	0,057	0,053	0,004	7%
H.III.P	9	0,060	0,056	0,004	7%
	11	0,070	0,067	0,003	4%
	14	0,059	0,055	0,004	7%
Rata-Rata		0,063	0,059	0,004	6,9%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat Hilang	Persen
P.I.P	1	0,059	0,053	0,006	10%
	2	0,059	0,053	0,006	10%
	3	0,046	0,042	0,004	9%
P.II.P	4	0,062	0,057	0,005	8%
	9	0,049	0,043	0,006	12%
	13	0,058	0,054	0,004	7%
P.III.P	1	0,057	0,052	0,005	9%
	2	0,051	0,046	0,005	10%
	3	0,054	0,05	0,004	7%
Rata-Rata		0,055	0,05	0,005	9%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat Hilang	persen
Ht.I.P	6	0,059	0,055	0,004	7%
	9	0,053	0,05	0,003	6%
	15	0,079	0,075	0,004	5%
Ht.II.P	9	0,068	0,063	0,005	7%
	10	0,079	0,076	0,003	4%
	12	0,061	0,057	0,004	7%
Ht.III.P	1	0,069	0,065	0,004	6%
	2	0,072	0,068	0,004	6%
	3	0,063	0,06	0,003	5%
Rata-Rata		0,067	0,063	0,004	6%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
B.I.P	2	0,041	0,039	0,002	5%
	5	0,062	0,058	0,004	6%
	7	0,062	0,059	0,003	5%
B.II.P	10	0,048	0,045	0,003	6%
	14	0,055	0,051	0,004	7%
	15	0,067	0,063	0,004	6%
B.III.P	5	0,063	0,059	0,004	6%
	6	0,060	0,056	0,004	7%
	15	0,048	0,044	0,004	8%
Rata-Rata		0,06	0,05	0,004	6%

Warna plastik	Kode plastik	Berat Awal	Berat akhir	berat hilang	persen
M.I.P	9	0,069	0,065	0,004	6%
	10	0,057	0,053	0,004	7%
	11	0,054	0,05	0,004	7%
M.II.P	6	0,066	0,06	0,006	9%
	12	0,082	0,077	0,005	6%
	13	0,070	0,065	0,005	7%
M.III.P	7	0,072	0,067	0,005	7%
	9	0,082	0,078	0,004	5%
	11	0,054	0,05	0,004	7%
Rata-Rata		0,067	0,063	0,005	7%

Lampiran 19. Rekapitulasi *Optical Density* Biofilm Isolat *Bacillus*

Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Biofilm Isolat <i>Bacillus</i>				
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Ht	0,141	0,161	0,196	0,215
P	0,118	0,120	0,200	0,234
B	0,138	0,144	0,160	0,180
H	0,135	0,151	0,176	0,183
M	0,143	0,155	0,161	0,172

Lampiran 20, Rekapitulasi *Optical Density* Biofilm Isolat *Pseudomonas*

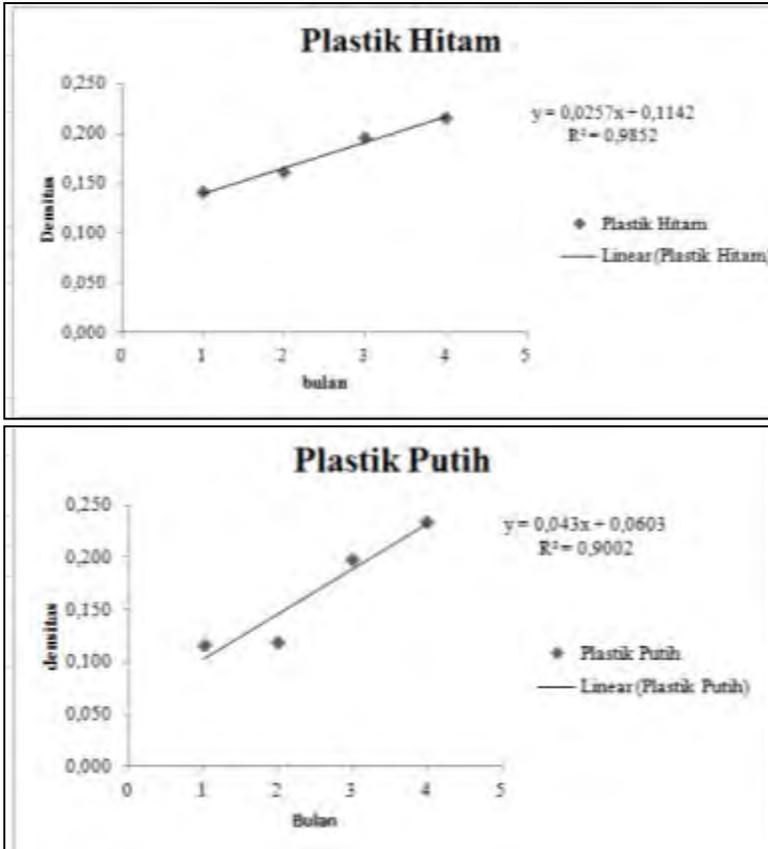
Rekapitulasi <i>Optical Density</i> Biofilm Isolat <i>Pseudomonas</i>				
	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Ht	0,131	0,142	0,162	0,196
P	0,169	0,173	0,182	0,200
B	0,122	0,149	0,158	0,160
H	0,122	0,131	0,141	0,161
M	0,141	0,164	0,171	0,176

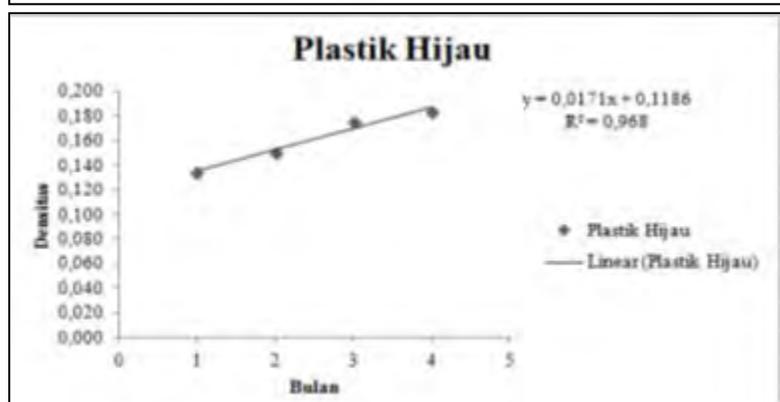
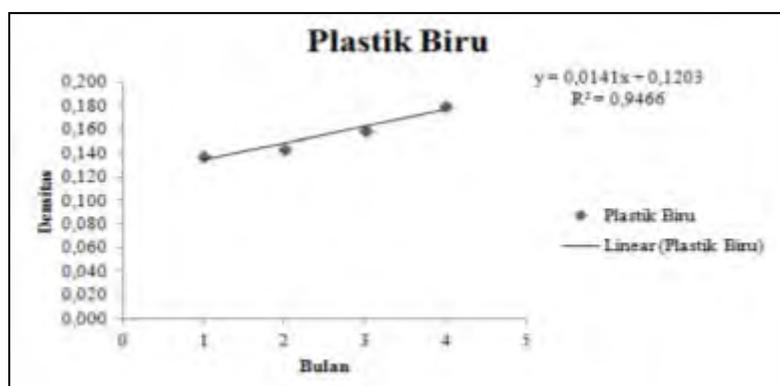
Lampiran 21. Rekapitulasi *Optical Density* Kolom Air Isolat *Bacillus*

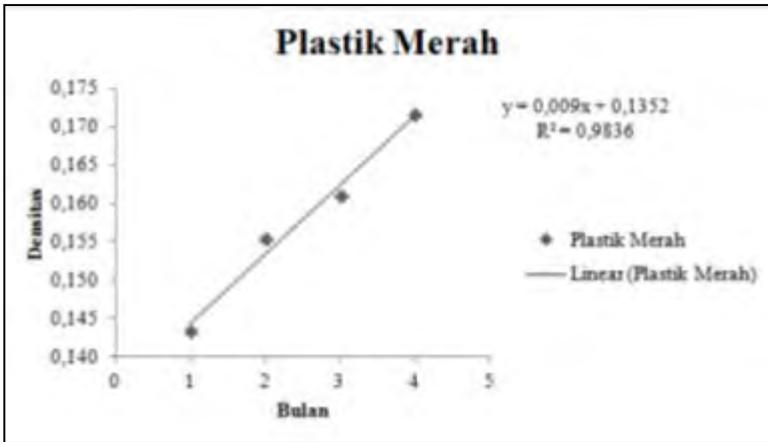
	<b>OD kolom 1</b>	<b>OD kolom 2</b>	<b>OD kolom 3</b>
<b>Ht 1</b>	0,03	0,083	0,113
<b>Ht 2</b>	0,053	0,1	0,1
<b>Ht 3</b>	0,134	0,112	0,135
	0,072	0,098	0,116
<b>P1</b>	0,039	0,076	0,137
<b>P2</b>	0,041	0,099	0,136
<b>P3</b>	0,102	0,162	0,153
	0,061	0,112	0,142
<b>H1</b>	0,081	0,128	0,121
<b>H2</b>	0,13	0,15	0,137
<b>H3</b>	0,118	0,075	0,107
	0,110	0,118	0,122
<b>B1</b>	0,049	0,153	0,142
<b>B2</b>	0,059	0,089	0,132
<b>B3</b>	0,14	0,116	0,098
	0,083	0,119	0,124
<b>M1</b>	0,114	0,162	0,144
<b>M2</b>	0,06	0,078	0,08
<b>M3</b>	0,133	0,115	0,158
	0,083	0,118	0,127

Lampiran 22. Rekapitulasi *Optical Density* Kolom Air Isolat *Pseudomonas*

	<b>OD kolom 1</b>	<b>OD kolom 2</b>	<b>OD kolom 3</b>
<b>H1</b>	0,035	0,1	0,121
<b>H2</b>	0,135	0,138	0,153
<b>H3</b>	0,113	0,123	0,112
	0,094	0,120	0,129
<b>P1</b>	0,137	0,125	0,137
<b>P2</b>	0,136	0,143	0,123
<b>P3</b>	0,073	0,098	0,162
	0,115	0,122	0,141
<b>H1</b>	0,134	0,138	0,137
<b>H2</b>	0,107	0,115	0,15
<b>H3</b>	0,14	0,144	0,127
	0,127	0,132	0,138
<b>B1</b>	0,098	0,111	0,135
<b>B2</b>	0,112	0,122	0,122
<b>B3</b>	0,113	0,12	0,116
	0,108	0,118	0,124
<b>M1</b>	0,078	0,098	0,133
<b>M2</b>	0,12	0,122	0,12
<b>M3</b>	0,115	0,121	0,115
	0,104	0,114	0,123

Lampiran 23. Grafik Regresi *Growth Rate* Isolat Bakteri *Bacillus*





Lampiran 24. Grafik Regresi *Growth Rate* Isolat Bakteri *Pseudomonas*

