

# Potensi Mikroorganisme Air Sampah Mangrove untuk Mendegradasi Plastik Hitam

Neneng U. Hasanah dan Maya Shovitri

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: maya@bio.its.ac.id

**Abstrak**— Plastik telah menjadi salah satu bahan industri utama karena sifat fisiknya yang unggul sehingga banyak digunakan untuk menghasilkan produk. Namun jumlah plastik yang dikonsumsi tiap tahunnya semakin meningkat secara signifikan dan menimbulkan dampak pada jumlah plastik yang dibuang ke lingkungan. Upaya pengelolaan sampah plastik telah banyak dilakukan salah satunya adalah biodegradasi menggunakan aktivitas mikroorganisme. Penelitian terdahulu oleh Ainayah dan Shovitri (2014), menunjukkan bahwa inokulum dari tanah sampah mampu mendegradasi plastik. Sebagai upaya eksplorasi mikroorganisme pendegradasi plastik, pada penelitian ini inokulum yang digunakan adalah inokulum dari air sampah mangrove (M), karena beberapa jenis mikroorganisme di substrat mangrove berpotensi untuk mendegradasi plastik (Wang et al., 2003); isolat yeast *Debaryomyces R1.10* (Y); dan inokulum I dari penelitian plastik terdahulu (Ainayah dan Shovitri, 2014). Penelitian ini menggunakan metode inkubasi dalam pasir steril selama 3 bulan untuk mengetahui potensi ketiga inokulum di atas untuk mendegradasi kantong plastik belanja warna hitam. Parameter yang diamati adalah kehilangan berat kering plastik (%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap jenis inokulum memiliki kemampuan yang berbeda dalam mendegradasi plastik. Inokulum tunggal yeast *Debaryomyces R1.10* memiliki kemampuan tertinggi dalam mendegradasi plastik hitam sebesar 10,4%.

**Kata Kunci**—Air Sampah Mangrove, Biodegradasi, Plastik, Yeast.

## I. PENDAHULUAN

PLASTIK bukanlah bahan baru dalam dunia industri karena telah ditemukan sejak tahun 1847 di mana resin termoplastik seluloid pertama diproduksi dari reaksi selulosa dengan asam nitrat [1]. Plastik menjadi salah satu bahan industri karena sifat fisiknya yang unggul. Plastik tergolong cukup fleksibel, memiliki ketahanan kimia yang tinggi, lentur, volumenya besar dibandingkan dengan rasio berat yang dimiliki, serta produksi yang cukup mudah jika dibandingkan dengan bahan logam [2]. Jumlah plastik yang dikonsumsi tiap tahunnya semakin meningkat secara signifikan. Banyaknya penggunaan plastik tersebut menimbulkan dampak pada jumlah sampah plastik di lingkungan. Menurut pernyataan [3], sampah plastik menyumbang sekitar 7% dari sampah rumah tangga. Tidak seperti sampah yang lain seperti sampah dapur dan kertas, sampah plastik sangat sulit untuk didegradasi.

Biodegradasi merupakan degradasi bahan kimia dari suatu material seperti polimer yang dilakukan dengan memanfaatkan kerja mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan alga. Biodegradasi juga diartikan sebagai suatu jenis degradasi yang melibatkan aktivitas biologis. Proses biodegradasi mengarah pada degradasi dan asimilasi polimer oleh mikroorganisme hidup untuk memproduksi hasil degradasi [4]. Menurut pernyataan [5], degradasi plastik secara enzimatik dengan hidrolisis memiliki 2 tahap proses: yang pertama adalah enzim terikat pada substrat polimer kemudian mengkatalisis pemecahan molekul. Polimer yang telah terdegradasi menjadi oligomer dengan berat molekul kecil kemudian dimineralisasi menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O.

Mikroorganisme dapat tumbuh pada rhizosfer, yaitu area kaya eksudat dari tanaman, salah satunya adalah mangrove. Eksudat tanaman mengandung karbohidrat, asam organik, vitamin, dan banyak senyawa penting lainnya [6]. Banyak bakteri potensial yang berhasil diisolasi dari ekosistem mangrove seperti bakteri pemfiksasi nitrogen, *phosphate solubilizers bacteria*, *photosynthetic anoxygenic sulfur bacteria*, *methanogenic* dan *methane oxidizing bacteria*. Menurut penelitian [7], salah satu komponen kimia yang digunakan sebagai bahan pembuatan produk plastik adalah asam phthalate. Asam phthalate tersebut dapat didegradasi menggunakan mikroorganisme yang diisolasi dari sedimen mangrove.

Yeast adalah mikroorganisme uniseluler yang membelah secara aseksual dengan cara pertunasan (*budding*) atau fisi (*fission*) dan sel individualnya memiliki ukuran panjang berkisar 2-3 µm hingga 20-50 µm dan ukuran lebar sekitar 1-10 µm [8]. Meskipun yeast biasa dikaitkan dengan proses fermentasi yang menghasilkan produk seperti bir dan roti, namun salah satu yeast yang menyerupai fungi yaitu *Aureobasidium pullulans*, telah diteliti dapat mendegradasi polivinil klorida (PVC) yang mengandung plastik [9].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh [10] mikroorganisme yang terdapat pada tanah sampah yang diinkubasi pada kolom *Winogradsky* mampu mendegradasi plastik hitam, putih, merah, hijau, dan biru dengan presentase kehilangan berat kering yang berbeda-beda. Plastik merah dengan rata-rata kehilangan berat plastik sebesar 1,4%, plastik hijau kehilangan berat plastik rata-ratanya sebesar 1,5%, plastik putih kehilangan berat plastik sebesar 1%, dan plastik hitam sebesar 1,9%. Hasil yang paling baik ditunjukkan pada

biodegradasi plastik biru dengan presentase rata-rata kehilangan berat plastik selama 4 bulan masa inkubasi adalah sebesar 2%.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi mikroorganisme air sampah mangrove dan inokulum dari penelitian plastik terdahulu [10], serta yeast tunggal *Debaryomyces R1.10* untuk mendegradasi kantong plastik belanja warna hitam.

## II. METODOLOGI

### A. Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Juni 2015 di Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Jurusan Biologi FMIPA ITS Surabaya.

### B. Prosedur Kerja

#### 1. Persiapan Plastik Uji

Plastik uji dipotong dengan ukuran 10x3 cm. Plastik uji disterilkan dengan direndam alkohol 70% selama kurang lebih 30 menit dan dikeringanginkan sekaligus dengan UV pada *Laminair Air Flow* selama 30 menit selanjutnya dioven pada suhu 80°C selama 24 jam. Kemudian dipapar dengan sinar UV selama 30 menit dan ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui berat kering awal plastik dan diberi tanda untuk masing-masing plastik uji.

#### 2. Pengambilan Air Sampah Mangrove

Air sampah diambil dari timbunan sampah plastik pada genangan air di sekitar area tumbuh pohon Mangrove. Air sampah dipisahkan dari kotoran daun dan sampah padat lain secara manual dan menggunakan saringan. Selanjutnya penyaringan bertingkat dilakukan untuk memisahkan air sampah dari alga, bentos, dan plankton menggunakan saringan *whatman* ukuran 1 hingga menghasilkan air sampah sebanyak 350 ml untuk masing-masing botol inkubasi.

#### 3. Persiapan Inokulum Tanah Sampah

Kolom *Winogradsky* yang pada penelitian sebelumnya digunakan untuk menginkubasi bakteri dari tanah sampah untuk mendegradasi plastik dengan *Mineral Salt Medium*, dikocok hingga kedua medium homogen kemudian ditunggu selama 1 jam sampai tanah sampah mengendap kembali ke bagian bawah kolom. Cairan berwarna keruh yang berada pada bagian kolom air kemudian diambil menggunakan pipet dalam keadaan aseptis di dalam *Laminair Air Flow* dan dibuat subkultur dengan medium *Nutrient Broth* (NB) sehingga didapatkan total starter sebanyak 2000 ml.

#### 4. Peremajaan dan Pembuatan Starter Yeast

Isolat murni yeast diinokulasikan pada medium *Yeast Malt Extract Agar* (YMEA) dengan metode gores secara aseptis dalam *Laminair Air Flow*, diinkubasi selama 48 jam. Isolat kemudian disubkultur hingga didapatkan total starter 2000 ml.

#### 5. Biodegradasi Plastik

Metode yang digunakan adalah metode destruktif dengan botol plastik berukuran 600 ml, berisi 300 gr pasir steril dan 350 ml medium *Mineral Salt Medium* (MSM) untuk reaktor dengan inokulum dari penelitian plastik terdahulu [10] (I) dan inokulum tunggal yeast *Debaryomyces R1.10* (Y). Sedangkan untuk inokulum alami air sampah mangrove (M) hanya

ditambahkan dengan 300 gr pasir steril. Kantong plastik belanja warna hitam dimasukkan sebanyak 3 potong ke dalam 3 variasi perlakuan yang berbeda tersebut dengan 3 kali ulangan. Kontrol plastik menggunakan botol berisi pasir steril dan *Mineral Salt Medium* tanpa tambahan inokulum dan berisi 3 potong plastik uji. Kontrol yeast tanpa plastik berisi pasir steril, *Mineral Salt Medium* dan inokulum yeast tanpa ditanami plastik uji. Kontrol mangrove berisi pasir steril dan air sampah mangrove yang telah disterilisasi dan berisi 3 potong plastik uji. Plastik uji dimasukkan ke dalam botol menggunakan pinset steril hingga tertanam pada pasir steril kemudian botol ditutup dan dilakukan inkubasi selama 12 minggu. Berat kering plastik dihitung setiap 3 minggu untuk mengetahui adanya penurunan berat kering plastik dalam proses biodegradasi oleh mikroorganisme.

#### 6. Pengukuran Parameter Pengamatan

##### Pengukuran Densitas Sel di Kolom Air

Pengukuran densitas sel dilakukan setiap 3 minggu selama 12 minggu masa inkubasi dengan mengambil 2 ml cairan pada kolom air di dalam masing-masing reaktor uji yang telah dikocok dan ditunggu mengendap kemudian dimasukkan ke dalam kuvet untuk pengukuran densitas sel menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm untuk sel bakteri dan 540 nm untuk sel yeast. Pengukuran OD dilakukan dengan 3 kali ulangan pada kolom air di masing-masing reaktor uji.

##### Pemisahan dan Pengukuran Densitas Sel Biofilm

Potongan plastik diambil dari reaktor uji setiap 3 minggu selama 12 minggu masa inkubasi dengan menggunakan pinset secara aseptis. Masing-masing potongan plastik dimasukkan ke dalam botol Falcon berisi 30 ml aquades steril dan disentrifuge dengan kecepatan 2000 rpm selama 30 detik dan diulang sebanyak 5 kali. Biofilm yang telah terpisah dari plastik kemudian diukur densitasnya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang bakteri (600 nm) dan yeast (540 nm).

##### Persentase Kehilangan Berat Plastik

Potongan plastik yang telah terpisah dari biofilm disemprot dengan alkohol 70% dan dikeringanginkan. Setelah kering, potongan plastik dioven pada suhu 80°C selama 24 jam, dan ditimbang berat keringnya menggunakan neraca analitik. Digunakan rumus perhitungan kehilangan berat plastik sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan Berat} = \frac{W_1 - W_f}{W_1} \times 100 \%$$

$W_1$  = Berat kering awal sebelum degradasi (g)

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

#### Karakterisasi Sederhana Mikroorganisme Pendegradasi Plastik

Dari masing-masing reaktor uji berusia 12 minggu, diambil 1 ml kemudian dimasukkan ke dalam 9 ml aquades steril sehingga menghasilkan isolat konsentrasi  $10^{-1}$ , kemudian dituang sebanyak 100  $\mu$ l ke dalam 3 cawan Petri berisi *nutrient agar* (NA) untuk bakteri dan *yeast malt extract agar* (YMEA) untuk yeast, diratakan ke seluruh bagian permukaan

medium dengan menggunakan *Drygalski* dan diinkubasi dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24-48 jam dan dihitung jumlah koloni serta diamati bentuk, elevasi, margin, ukuran, dan warna sesuai identifikasi morfologis bakteri dan yeast (Gambar 3.1). Pengenceran dilanjutkan dengan konsentrasi 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, hingga 10<sup>-10</sup> dan dituang pada 3 cawan Petri kemudian dilakukan pengamatan morfologis serta penghitungan jumlah koloni tiap masing-masing tahap pengenceran.

7. Rancangan Penelitian dan Analisa Data

Rancangan percobaan biodegradasi plastik yang dilakukan adalah Rancangan Acak Lengkap dengan menggunakan 3 kali ulangan untuk tiap perlakuan selama 12 minggu. Hasil yang didapatkan kemudian dianalisa menggunakan *Analysis of Variance (ANOVA) One Way* dengan tingkat kepercayaan 95% untuk membandingkan hasil degradasi ketiga sumber inokulum terhadap plastik uji dengan hipotesis sebagai berikut:

H<sub>0</sub> = hasil degradasi setiap sumber inokulum tidak berpengaruh signifikan terhadap degradasi plastik uji.

H<sub>1</sub> = hasil degradasi setiap sumber inokulum berpengaruh signifikan terhadap plastik uji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan kemampuan ketiga jenis inokulum (I, Y, M) dalam mendegradasi plastik hitam yang cenderung tidak stabil. Pada akhir masa inkubasi (12 minggu) terlihat bahwa Inokulum I mendegradasi plastik hitam sebesar 1,5%; Inokulum M sebesar 0,4%; Inokulum Y sebesar 3%. Terjadi kenaikan dan penurunan kemampuan degradasi oleh masing-masing jenis inokulum selama 12 minggu masa inkubasi.

Tabel 1. Persentase (%) Rata-Rata Kehilangan Berat Kering Plastik

Ino-kulum	Masa Inkubasi			
	3 Minggu	6 Minggu	9 Minggu	12 Minggu
I	3,047 ab	0,344 ab	4,013 a	1,479 ab
M	0,730 ab	4,819 a	1,468 b	0,375 b
Y	10,433 a	1,369 ab	0,709 b	3,333 a
KM	0,000 b	0,000 b	0,000 b	0,000 b
K	0,000 b	0,000 b	0,000 b	0,000 b

Keterangan: inokulum dengan alfabet yang berbeda memiliki perbedaan yang signifikan berdasarkan analisa statistika menggunakan *One-Way ANOVA* dengan tingkat kepercayaan 95%.

- I : Inokulum Campur
- M : Inokulum Air Sampah Mangrove
- Y : Inokulum Yeast *Debaryomyces* R1.10
- KM : Kontrol Mangrove
- K : Kontrol MSM

Secara statistika, tidak terlihat adanya perbedaan nyata pada masing-masing jenis inokulum dalam mendegradasi plastik hitam hingga 6 minggu masa inkubasi. Perbedaan nyata baru terlihat setelah inkubasi dilanjutkan pada minggu ke-9 hingga minggu ke-12.

Inokulum Y memiliki nilai rata-rata persentase kehilangan berat plastik setelah 3 minggu masa inkubasi sebesar 10%. Padahal jika dilihat pada tabel nilai *optical density* biofilm λ 540 nm, kerapatan sel pada masing-masing inokulum memiliki nilai yang hampir sama (Tabel 1 dan Tabel 2). Sehingga Inokulum Y dapat dikatakan memiliki kemampuan untuk mengawali biodegradasi plastik yang cukup baik. Setelah 3 minggu - 9 minggu masa inkubasi, kerapatan sel Inokulum Y

di kolom air lebih tinggi dibandingkan yang menempel pada permukaan plastik (biofilm) (Tabel 2). Kerapatan sel Inokulum Y yang cenderung lebih besar pada kolom air didukung oleh [14] yang menyebutkan bahwa beberapa genus yeast seperti *Debaryomyces* dapat tumbuh di dasar, menimbulkan endapan putih, dan mampu melayang di dalam media cair sehingga memungkinkan nilai *optical density* pada kolom air lebih besar dibandingkan dengan biofilm.

Tabel 2. Nilai Rata-Rata *Optical Density*

Optical Density	Inokulum	Masa Inkubasi			
		3 Minggu	6 Minggu	9 Minggu	12 Minggu
Biofilm λ 600 nm	I	0,018	0,009	0,027	0,011
	M	0,026	0,04	0,047	0,047
	Y	-	-	-	-
	KM	0,025	0,065	0,05	0,084
	K	0,004	0,01	0,01	0,017
Kolom Air λ 600 nm	I	0,04	0,048	0,026	0,06
	M	0,002	0,09	0,015	0,027
	Y	-	-	-	-
	KM	0,008	0,01	0,01	0,15
	K	0,004	0,013	0,01	0,012
Biofilm λ 540 nm	I	0,02	0,011	0,033	0,017
	M	0,028	0,04	0,05	0,023
	Y	0,027	0,016	0,045	0,04
	KM	0,027	0,082	0,055	0,1
	K	0,018	0,011	0,01	0,017
Kolom Air λ 540 nm	I	0,03	0,052	0,032	0,073
	M	0,01	0,086	0,015	0,054
	Y	0,11	0,09	0,11	0,021
	KM	0,008	0,011	-0,005	0,2
	K	0,002	0,012	0,01	0,032

Keterangan:

- I : Inokulum Campur
- M : Inokulum Air Sampah Mangrove
- Y : Inokulum Yeast *Debaryomyces* R1.10
- KM : Kontrol Mangrove
- K : Kontrol MSM

Persentase kehilangan berat plastik oleh Inokulum Y setelah 12 minggu masa inkubasi meningkat dengan nilai kerapatan sel pada biofilm yang lebih besar dibandingkan di kolom air (Tabel 1 dan Tabel 2). Hal tersebut menunjukkan adanya proses adaptasi selama 12 minggu masa inkubasi oleh inokulum Y dalam melakukan proses degradasi plastik. Inokulum Y yang cenderung lebih padat pada kolom air, pada panen terakhir terlihat membentuk biofilm pada permukaan plastik. Yeast lazim ditemukan pada rawa garam dan ekosistem mangrove dimana mereka memegang peranan penting pada jaring-jaring makanan detritus pada lingkungan pesisir [15]. Ketahanannya terhadap kondisi ekstrim membuat inokulum yeast menghasilkan angka degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan inokulum lainnya.

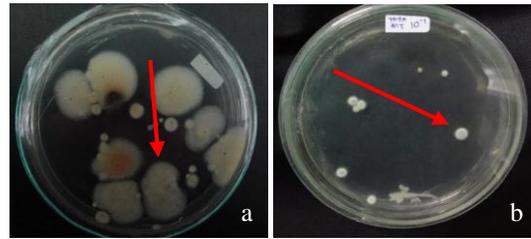
Inokulum M menunjukkan nilai persentase kehilangan berat plastik yang paling tinggi dibandingkan dengan inokulum lainnya setelah 6 minggu masa inkubasi. Di masa inkubasi yang sama, pertumbuhan Inokulum M lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kerapatan sel inokulum lainnya, baik di biofilm maupun di kolom air (Tabel 1 dan Tabel 2). Nilai kerapatan sel bakteri dideteksi dengan nilai serapan OD λ 600 nm dan sel yeast dengan nilai serapan OD λ 540 nm. Hal tersebut diduga berkorelasi positif terhadap proses

biodegradasi oleh Inokulum M. Namun, kerapatan sel Inokulum M terlihat lebih besar di kolom air dibandingkan dengan di biofilm (Tabel 2) yang menunjukkan bahwa mikroorganisme pada inokulum yang diambil dari air sampah mangrove (M) bersifat melayang dan tidak menempel pada permukaan plastik. Menurut pernyataan [11], mikroorganisme yang hidup pada air sampah mangrove terbiasa mendapatkan materi organik dalam jumlah besar dari ekosistem mangrove dalam bentuk detritus dan menggunakannya dalam jaringan-jaringan makanan yang sangat luas pada ekosistem mangrove. Sementara pada botol inkubasi, mikroorganisme hanya memiliki plastik yang menjadi satu-satunya sumber karbon sehingga pertumbuhan mikroorganisme yang ditunjukkan melalui nilai *optical density* tidak dapat mencapai titik terbaiknya.

Inokulum I memiliki nilai persentase kehilangan berat plastik paling besar setelah 9 minggu masa inkubasi (Tabel 1). Baik persentase kehilangan berat plastik maupun nilai *optical density* pada biofilm dan kolom air Inokulum I cenderung stabil karena telah mengalami adaptasi dari penelitian sebelumnya. Menurut [12], dalam kondisi kekurangan nutrisi atau sumber karbon, mikroorganisme menggunakan nutrisi yang terbatas tersebut secara maksimal untuk tetap tumbuh meskipun secara perlahan. Hal tersebut terlihat pada pertumbuhan sel Inokulum I yang menunjukkan nilai yang stabil dengan angka yang rendah pada tiap masa panen dalam proses mendegradasi masing-masing warna plastik (Tabel 2) dengan hasil degradasi plastik yang cenderung stabil (Tabel 1). Menurut [13], mikroorganisme melakukan adaptasi terhadap semua perubahan ekstrim dari kondisi lingkungan optimum. Perubahan tersebut menimbulkan stres pada suatu mikroorganisme. Besarnya perubahan akan menentukan apakah organisme tersebut dapat bertahan hidup atau berhenti melakukan pertumbuhan, atau meningkatkan waktu fase lag dan menurunkan nilai pertumbuhan atau mikroorganisme tersebut akan mati. Pada beberapa mikroorganisme, toleransi terhadap kondisi ekstrim dapat dipaksa hingga pada batas maksimum jika sel memiliki kemampuan cukup untuk beradaptasi pada lingkungan yang kondisinya kurang optimum.

Persentase kehilangan berat plastik juga terjadi pada botol inkubasi kontrol (Tabel 1). Kontrol yang digunakan ada 2, yaitu: (1) kontrol dengan hanya medium mineral minimal (MSM) tanpa inokulum, dan (2) kontrol menggunakan air sampah mangrove steril.

Kontrol (1) terlihat menunjukkan degradasi plastik 0% dengan nilai *optical density* pada kolom air dan biofilm yang juga stabil mendekati angka nol. Sedangkan pada kontrol (2), tidak menunjukkan adanya degradasi plastik (0%) namun terlihat adanya pertumbuhan mikroorganisme yang cukup tinggi pada biofilm maupun pada kolom air yang ditunjukkan oleh nilai *optical density*. Hal tersebut mungkin terjadi karena perlakuan sterilisasi yang tidak maksimal dan kesalahan pada saat proses penanaman plastik. Setelah dilakukan karakterisasi makroskopis terhadap koloni yang hidup pada kontrol (2) (Gambar 1), terlihat bahwa koloni yang muncul cenderung berbeda dibandingkan dengan koloni yang muncul pada Inokulum M.



Gambar 1. (a) Koloni yeast Kontrol Mangrove (KM) (→); (b) Koloni yeast Inokulum Mangrove (M) (→).

Sehingga dimungkinkan adanya kontaminasi ketika proses penanaman di awal. Persentase kehilangan berat plastik yang terjadi di kontrol dapat digunakan sebagai faktor koreksi untuk semua jenis inokulum dalam mendegradasi plastik.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Inokulum air sampah mangrove (M), inokulum campur (I), dan inokulum yeast *Debaryomyces* R1.10 (Y) memiliki kemampuan yang berbeda dalam mendegradasi plastik. Inokulum tunggal yeast R1.10 genus *Debaryomyces* memiliki kemampuan tertinggi dalam mendegradasi plastik hitam sebesar 10,4%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

N.U. Hasanah mengucapkan banyak terima kasih pada ibu Dr. rer. nat. Maya Shovitri atas bimbingannya. Kepada ibu N.D. Kuswytasari, S.Si., M.Si dan ibu Dini Ermavitalini, S.Si., M.Si atas masukannya. Terima kasih kepada LPPM ITS atas Hibah Penelitian Unggulan PT dengan no kontrak 003246.96/IT.2.11/PN.08/2015. Kepada keluarga, teman, dan sahabat atas dukungannya selama ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Aguado and D. Serrano, *Feedstock Recycling of Plastic Wastes*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry (1999).
- [2] Z. Shah, F. Hasan, L. Krumholz, D.F. Aktas, and A.A. Shah, "Degradation of Polyester by Newly Isolated *Pseudomonas aeruginosa* Strain MZA-85 and Analysis of Degradation Products by GC-MS". *International Biodeterioration & Biodegradation* 77 p. 114-122. Elsevier (2012).
- [3] E.N. Ramsden, *Chemistry of The Environment*. Cheltenham: Stanley Thornes Publishers Ltd (1996).
- [4] K. Leja, and G. Lewandowicz, "Polymers Biodegradation and Biodegradation Polymers: a Review". *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 19, No. 2. 255-266. Poznan (2009).
- [5] Y. Tokiwa, B.P. Calabia, C.U. Ugwu, and S. Aiba, "Biodegradability of Plastics". *Int. J. Mol. Sci.* 10(9), 3722-3742 (2009).
- [6] C.R. Elevitch, *The Overstory Book: Cultivating Connections with Trees 2<sup>nd</sup> Edition*. Hawaii: Permanent Agriculture Resources (2004).
- [7] Y. Wang, Y. Fan, and J.D. Gu, "Degradation of Phthalic Acid and Dimethyl Phthalate by Aerobic Microorganisms". *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* Vol 9. 63-66 (2003).
- [8] K. Kavanagh, *Fungi: Biology and Applications*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd (2006).
- [9] I.L. Pepper, C.P. Gerba, and T.J. Gentry, *Environmental Microbiology 3<sup>rd</sup> Edition*. London: Elsevier (2009).
- [10] D.N. Ainiyah dan M. Shovitri, "Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom *Winogradsky*". *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS* Vol. 3, No. 2, 2337-3520 (2301-928X Print). Surabaya (2014).

- [11] H. Thatoi, B.C. Behera, R.R. Mishra, and S.K. Dutta, "Biodiversity and Biotechnological Potential of Microorganisms from Mangrove Ecosystems: a Review". *Ann Microbiol DOI 10.1007/s 13213-012-0442-7*. Milan: Springer (2011).
- [12] D.K. Button, "Kinetics of Nutrient-Limited Transport and Microbial Growth". *Microbiological Reviews*. Alaska (1985).
- [13] B. Ray, "Impact of Bacterial Injury and Repair in Food Microbiology: Its Past, Present, and Future". *J Food Pret 49(8): 651-5* (1986).
- [14] Jumiayati, S.H. Bintari, dan I. Mubarak. "Isolasi dan Identifikasi Khamir Secara Morfologi di Tanah Kebun Wisata Pendidikan Universitas Negeri Semarang". *Biosaintifika 4(1)*. Semarang (2012).
- [15] K.D. Hyde. *Fungi in Marine Environments*. Hong Kong: Fungal Diversity Press (2002).