

Degradasi Kantong Plastik *Oxo-Degradable* dan Limbah Polietilena Menggunakan Metode Kolom Winogradsky

Hanifah Fitrah Putri Wiasih^a, Reviana Inda Dwi Suyatmo^{b*}

^{a,b}Teknik Kimia Polimer, Politeknik STMI Jakarta, Indonesia, 10510

*Corresponding author: revianastmi@gmail.com

Diterima: 30 Desember 2023, Direvisi: 02 Februari 2024, Diterbitkan: 07 Februari 2024

Abstrak

Saat ini penggunaan polimer semakin meluas dimana menurut Badan Pusat Statistik, Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik setiap tahunnya. Plastik polimer membutuhkan waktu lama untuk terurai. Untuk mempercepat degradasi plastik, diproduksi kantong plastik yang lebih cepat terurai serta pengembangan metode kolom Winogradsky. Pada metode ini, polimer dan bakteri ditempatkan dalam wadah yang sama. Bakteri selanjutnya akan mengonsumsi polimer dan memecah ikatannya. Degradasi dapat dikatakan berhasil dengan terlihatnya penurunan massa polimer. Pada penelitian ini, diamati degradasi untuk jenis kantong plastik *oxo-degradable*, limbah polietilen densitas tinggi (HDPE), dan limbah polietilen densitas rendah (LDPE) selama 30 hari. Variabel yang diamati adalah perubahan massa, pH, temperatur, dan gugus fungsi, serta dilakukan juga pemodelan dekomposisi dengan memperkirakan waktu yang diperlukan agar plastik dapat terdegradasi 99% dengan menggunakan pemodelan kinetika mendekati orde 0, 1, dan 2. Hasil yang didapatkan, ketiga limbah mengalami penurunan massa hingga 60%; 3%; dan 1%, serta perubahan pH menjadi 4 pada hari ke-1, kemudian menjadi 6 dan konstan dari hari ke-5 hingga hari ke-30. Temperatur pada ketiga limbah fluktuatif namun cenderung meningkat, berkisar antara 29-33°C. Hasil pengujian gugus fungsi menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran yang terjadi mengindikasikan adanya reaksi degradasi. Berdasarkan pemodelan degradasi, diperoleh orde 1 paling mendekati untuk kantong plastik *oxo-degradable* dan limbah LDPE dimana kedua jenis polimer ini diprediksi akan terdegradasi 99% dalam kurun waktu 166 hari dan 450 hari. Untuk limbah HDPE, data yang dikumpulkan tidak cocok didekati oleh pemodelan orde 0, 1, maupun 2.

Kata kunci: degradasi, kolom Winogradsky, limbah HDPE, limbah LDPE, plastik *oxo-degradable*

Abstract

In order to speed up the degradation of plastic, plastic bags are produced that decompose faster and the Winogradsky column method is developed. In this method, polymer and bacteria are placed in the same container. Bacteria will then consume the polymer and break the bonds. Degradation can be said to be successful with the appearance of a decrease in polymer mass. In this research, degradation was observed for oxo-degradable plastic bags, high-density polyethylene waste (HDPE), and low-density polyethylene waste (LDPE) for 30 days. The variables that were observed were mass decrease, pH, temperature, and functional groups, and decomposition modeling was also done by estimating the time required for plastic to degrade by 99% by using kinetic modeling order 0, 1, and 2. The three types of polymer experienced a mass decrease of up to 60%; 3%; and 1%, and the pH changed to 4 on the 1st day, then to 6, and constant from the 5th day to the 30th day. The temperature of the three wastes fluctuated but tend to increase, ranging between 29-33°C. The results of functional group testing showed a shift in the wavenumber of polymer. The shift indicated the stretching of the polymer due to degradation. Based on the degradation modeling, the 1st order was obtained closest to degradation of oxo-degradable plastic bags and LDPE waste where these two types of polymers were predicted to be degraded by 99% within 166 days and 450 days. For HDPE waste, the collected data was not suitable to be approached by 0, 1, or 2-order kinetic modeling.

Keywords: degradation, Winogradsky column, HDPE waste, LDPE waste, oxo-degradable plastic

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan polimer semakin luas merambah hampir di semua bidang.

Tidak hanya untuk penggunaan secara individu, perusahaan juga memanfaatkan polimer untuk kegiatan operasionalnya.

Perusahaan juga menggunakan polimer sebagai wadah untuk pengemasan bahan baku dan bahan penunjang, seperti penggunaan karung yang terbuat dari plastik jenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) sebagai wadah pengemasan bahan baku. Selain itu penggunaan jeriken yang terbuat dari *High Density Polyethylene* (HDPE) juga banyak digunakan sebagai wadah kemasan bahan penunjang seperti wadah cairan kimia heksana dan sabun cair.

Wadah heksana dan sabun berupa jeriken yang berasal dari plastik jenis HDPE dan wadah material bahan baku dan aditif berupa karung plastik yang berasal dari plastik jenis LDPE ini akan menjadi limbah. Sementara di saat yang bersamaan Indonesia semakin banyak dipenuhi oleh limbah plastik. Menurut Badan Pusat Statistik, Indonesia menghasilkan hingga 64 juta ton sampah plastik di setiap tahunnya. Tumpukan sampah ini akan membahayakan kesehatan manusia karena dapat mencemari lingkungan. Terlebih lagi, sampah plastik adalah membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi sempurna secara alami, maka hal ini akan menjadi masalah yang serius jika dibiarkan (Nisah, 2018).

Salah satu upaya untuk mempercepat degradasi polimer adalah pembuatan plastik *degradable*. Plastik *degradable* merupakan plastik yang dapat digunakan seperti plastik pada umumnya, namun membutuhkan waktu yang lebih sedikit untuk terdegradasi. Plastik *degradable* hanya membutuhkan hanya beberapa tahun untuk terdegradasi. Waktu tersebut termasuk singkat dibandingkan dengan plastik konvensional yang umumnya dapat terdegradasi pada ratusan hingga ribuan tahun. Salah satu cara untuk membuat plastik *degradable* adalah dengan menggunakan penambahan zat aditif. Plastik yang kerap kali disebut *oxo-*

degradable ini merupakan plastik yang terbuat dari polimer namun ditambahkan aditif pada saat pembuatannya untuk mempercepat proses degradasi. Degradasi adalah proses putusnya rantai polimer menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Degradasi polimer dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti *thermal degradation*, *oxidative degradation*, dan *biodegradation* (Reza et al., 2019).

Salah satu metode biodegradasi untuk degradasi polimer adalah metode kolom Winogradsky. Metode ini memanfaatkan mikroba yang diletakkan kedalam wadah yang sama dengan limbah yang akan diuji, kemudian mikroba akan mengkonsumsi plastik sehingga plastik terdegradasi. Seperti yang dilakukan oleh Filayani (2020), yang melakukan uji degradasi dengan menggunakan metode kolom Winogradsky. Penelitian dilakukan dengan cara menempatkan plastik polietilen yang diuji berupa plastik kresek putih yang belum pernah digunakan, bersamaan dengan 250 gram tanah yang berasal dari tempat pembuangan sampah (TPS), dan 125 ml minuman probiotik yang mengandung bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. Hasil yang didapatkan bahwa plastik polietilen terdegradasi hingga 19,47% (Filayani, 2020).

Disintegrasi rantai pada proses degradasi mempengaruhi berat yang dimiliki polimer. Polimer yang terdegradasi yang semakin banyak akan menyebabkan semakin besar polimer mengalami kehilangan massa. Pada penelitian Anah et al. (2020), yang melakukan uji biodegradasi plastik jenis LDPE dengan metode kolom Winogradsky dan menghitung perubahan massa limbah berupa plastik LDPE sebelum dan sesudah uji biodegradasi. Pada sampel A (tanah 40 gram) dan sampel B (tanah 80 gram) mengalami persentase penurunan massa sebesar 7,86% dan 13,16%.

Selain dengan menghitung perubahan massa yang terjadi pada polimer, analisis *Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) juga dapat digunakan untuk melihat efektivitas degradasi. Hal ini dikarenakan disintegrasi rantai polimer yang juga mengakibatkan perubahan gugus fungsi polimer. Analisis FTIR merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk melihat gugus fungsi yang terkandung. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rohmah et al. (2018), bahwa degradasi plastik dengan menggunakan jamur *aspergillus terreus*. Perubahan *peak* pada panjang gelombang gugus OH menunjukkan perubahan gugus hidroksil. Perubahan gugus hidroksil juga mengindikasikan adanya aktivitas enzim *monooksigenase* oleh jamur sebagai bagian dari pemecahan rantai polietilen.

Keberhasilan degradasi dipengaruhi oleh kondisi penelitian, seperti pH dan temperatur. Nilai pH adalah derajat keasaman suatu bahan terdiri dari 14 angka yang dikategorikan menjadi tiga kategori, yaitu asam, basa, dan netral (Basuki, 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Damayanti et al. (2020), yang melakukan degradasi dengan menggunakan metode kolom Winogradsky. Salah satu yang diperhatikan dalam penelitiannya adalah kondisi pH tercatat pada penelitiannya pH berkisar antara 6-7. Selain pH, temperatur juga dapat mempengaruhi degradasi karena akan mempengaruhi kondisi bakteri yang bertugas mendegradasi limbah. Temperatur yang baik bagi pertumbuhan bakteri ditandai dengan meningkatnya persentase penurunan massa, karena penurunan massa menandakan adanya bakteri yang tumbuh dan mengkonsumsi limbah. Penelitian yang dilakukan oleh Filayani (2020) menyatakan bahwa temperatur yang terbaik dalam menurunkan massa polimer adalah 27°C.

Proses degradasi umumnya dijelaskan

secara semi-kuantitatif yang berisikan persentase degradasi yang didapatkan setelah proses degradasi dengan kurun waktu tertentu. Hasil data ini dapat menyimpulkan efektivitas suatu percobaan degradasi, namun tidak dapat dilakukan untuk memprediksi dalam jangka waktu yang panjang. Untuk itu, dilakukanlah pemodelan kinetika dengan menghitung data pengukuran yang sudah dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan pemodelan kinetika (Rossetti et al., 2021). Terdapat tiga sampel yang dilakukan pemodelan kinetika orde 0, 1, dan 2, akan tetapi setiap sampel memiliki kecocokan terhadap jenis orde berbeda. Melalui pemodelan kinetika, waktu sampel terdegradasi hingga 99% dapat diprediksi (Rossetti et al., 2021).

Berdasarkan apa yang sudah diuraikan di atas, penulis tertarik untuk menguji degradasi polimer berupa kantong plastik *oxo-degradable*, limbah HDPE, limbah LDPE dengan menggunakan metode kolom Winogradsky. Penelitian ini diharapkan dapat mempercepat waktu degradasi kantong plastik *oxo-degradable*, limbah HDPE, limbah LDPE sehingga dapat mempercepat waktu yang dibutuhkan plastik untuk terdegradasi.

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol air minum kemasan ukuran 1,5 liter, termometer, neraca digital, kertas pH indikator asam-basa *universal*, dan FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) Thermo Scientific-Nicolet Is50. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kantong plastik *degradable* yang berasal dari minimarket, limbah HDPE yang berasal dari limbah jeriken bekas pelarut, limbah LDPE yang berasal dari limbah karung plastik, alkohol 70% merk Seino, minuman probiotik merk Yakult yang mengandung bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, tanah TPS

Bantar Gebang, pupuk Organik cair merk Multitonik yang mengandung C organik sebanyak 8,01%, N sebanyak 4,49%, P₂O₅ sebanyak 3,93% dan K₂O sebanyak 5,67%.

Limbah polimer dipotong menjadi ukuran 10 cm x 5 cm, kemudian limbah direndam di dalam alkohol 70% selama 30 menit dan ditimbang massanya. Preparasi media uji mengacu pada penelitian Filayani (2019), dimana botol air minum kemasan berukuran 1,5 liter diisi 250 g tanah TPS, kemudian ditambahkan 130 mL minuman probiotik dan 20 mL pupuk organik cair. Limbah polimer kemudian dimasukkan ke dalam media uji selama 30 hari. Setiap 5 hari, limbah dikeluarkan untuk diukur massa limbah polimer, temperatur dan pH tanah. Pengukuran massa dilakukan dengan menggunakan neraca digital, pengukuran temperatur menggunakan termometer, dan pengukuran pH menggunakan kertas indikator asam basa universal yang dicelupkan pada tanah media penelitian yang sudah dilarutkan dengan air. Limbah polimer sebelum dan setelah 30 hari degradasi juga diuji gugus fungsi menggunakan FTIR sesuai ASTM E1252. Data perubahan massa polimer selanjutnya dijadikan referensi untuk pemodelan kinetika degradasi.

Pemodelan kinetika degradasi didekati dengan neraca massa pada reaktor batch sebagai berikut :

$$V \frac{dC_A}{dt} = kC_A^n V \quad (1)$$

Keterangan :

C_A = konsentrasi limbah polimer diwakili oleh massa polimer

n = orde reaksi degradasi

Untuk orde 0, maka :

$$V \frac{dm}{dt} = km^0 V \quad (2)$$

$$dm = kdt \quad (3)$$

$$\int_{m_0}^{m_t} dm = k \int_0^t dt \quad (4)$$

$$m_t - m_0 = kt \quad (5)$$

Keterangan :

m₀ = massa polimer sebelum degradasi

m_t = massa polimer selama waktu degradasi

Dengan cara yang sama, diperoleh persamaan (6) untuk pendekatan orde 1 dan persamaan (7) untuk pendekatan orde 2 sebagai berikut.

$$\ln \frac{m}{m_0} = kt \quad (6)$$

$$\frac{1}{m_t} - \frac{1}{m_0} = kt \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengukuran Massa

Hasil yang didapatkan dari pengujian perubahan massa adalah adanya perubahan berupa penurunan massa yang terjadi terhadap ketiga limbah polimer. Kantong plastik *oxo-degradable*, dan limbah *polyethylene* mengalami perubahan massa, namun beberapa hasil pengukuran massa tidak mengalami perubahan antara hari sebelum dan sesudah perlakuan, hal ini dikarenakan perubahan massa yang terjadi cukup kecil sehingga tidak dapat terdeteksi oleh timbangan yang digunakan. Penurunan paling besar dialami oleh kantong plastik *oxo-degradable* yang mengalami penurunan massa hingga 0,06 gram. Terjadi perbedaan perubahan penurunan massa yang dialami oleh ketiga sampel, yaitu pada plastik *oxo-degradable* penurunan mencapai 60%, limbah HDPE 3%, dan limbah LDPE 1%.

Tabel 1. Hasil pengukuran massa

Hari ke-	Massa (gr)		
	Kantong plastik <i>oxo-degradable</i>	Limbah HDPE	Limbah LDPE
0	0,10	10,76	0,71
5	0,08	10,72	0,71
10	0,08	10,72	0,71
15	0,07	10,71	0,70
20	0,04	10,71	0,70
25	0,04	10,70	0,70

30	0,04	10,70	0,69
-----------	------	-------	------

Plastik *oxo-degradable* memiliki penurunan massa yang paling signifikan, hal ini kemungkinan disebabkan karena plastik *oxo-degradable* menggunakan aditif oxium yang mengandung *cobalt salt* sehingga dapat membantu proses pemutusan rantai yang terjadi pada degradasi. Pada HDPE dan LDPE jika ditinjau dari kerapatannya, LDPE memiliki kerapatan yang lebih rendah dibanding kerapatan HDPE sehingga lebih mudah terdegradasi. Pada penelitian ini LDPE memiliki penurunan massa yang lebih sedikit yaitu hanya 1% dibandingkan dengan HDPE yang dapat terdegradasi sebanyak 3%. Hal ini dapat disebabkan oleh kontaminan yang mungkin terkandung pada sampel LDPE dimana sampel LDPE yang digunakan berasal dari limbah karung plastik dan sampel HDPE berasal dari limbah jeriken pelarut. Meskipun sampel sudah dicuci, kemungkinan masih ada kandungan pelarut yang terbawa.

Penelitian yang serupa yaitu degradasi plastik *polyethylene* menggunakan metode kolom Winogradsky dengan dan tanpa bantuan bakteri asam laktat (Filayani, 2020). Hasil yang didapatkan limbah dengan bantuan bakteri asam laktat terdegradasi lebih cepat dibandingkan degradasi dengan sampel yang tidak ditambahkan bakteri. Sampel dengan bakteri mengalami penurunan persentase 3,27% di hari ke-10, dan menurun kembali hingga 19,47% di pengujian hari ke-20, dan menurun sebanyak 6,70% di pengujian hari ke-30. Sehingga total penurunan yang terjadi pada limbah dengan bantuan bakteri asam laktat adalah sekitar 29%. Hal ini membuktikan bahwa metode kolom Winogradsky dengan bantuan bakteri asam laktat dapat mempercepat waktu degradasi HDPE dan LDPE. Hanya saja penurunan massa pada penelitian Filayani (2020) lebih signifikan dibandingkan dengan

penelitian ini. Hal ini dapat disebabkan oleh penggunaan tempat tanah TPS yang berbeda sehingga kandungan yang dimiliki tanah juga akan berbeda dan mempengaruhi proses degradasi. Selain itu, perbedaan penurunan massa juga dapat dipengaruhi oleh kondisi operasi yaitu temperatur dan pH.

Penelitian lain pernah dilakukan oleh Sembiring & Novitasari (2015), yang melakukan degradasi terhadap plastik *degradable* dengan menuangkan cairan mineral *salt* medium yang mengandung bakteri kemudian memasukan sampel uji kedalamnya. Hasil yang didapatkan selama 30 hari, massa plastik menurun hingga 9,86%. Nilai ini lebih kecil dari penurunan massa yang dialami plastik *degradable* menggunakan metode kolom Winogradsky pada penelitian ini yaitu 60%.

3.2 Pengukuran pH dan Temperatur

Nilai pH yang dihasilkan pada penelitian ini terbilang konstan. Pada pengukuran pertama pH yang didapatkan adalah 4, kemudian di pengujian berikutnya konstan pada nilai 6 dari hari ke-5 hingga pengujian hari ke-30. Hal ini sejalan dengan penelitian bahwa bakteri *Lactobacillus bulgaricus* yang dimanfaatkan pada degradasi tumbuh pada kisaran pH 3 sampai dengan 7 (Khoironi et al., 2021).

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH

Hari ke-	pH		
	Kantong plastik <i>oxo-degradable</i>	Limbah HDPE	Limbah LDPE
0	4	4	4
5	6	6	6
10	6	6	6
15	6	6	6
20	6	6	6
25	6	6	6
30	6	6	6

Penelitian degradasi menggunakan kolom Winogradsky pernah dilakukan oleh Damayanti (2020) yang menggunakan plastik kuning dan plastik hitam. Plastik kuning berkurang dengan persentase terbanyak pada pH 6,9 sedangkan pada plastik hitam berkurang dengan persentase terbanyak pada pH 7,9.

Selain pengukuran pH, temperatur yang merupakan kondisi operasional juga perlu dilakukan pengukuran. Media penelitian diletakan di luar ruangan sehingga temperatur pada media penelitian tidak stabil. Di awal penelitian temperatur mencapai 29°C yang disebabkan oleh penambahan minuman probiotik dan pupuk organik cair. Peletakan limbah dilakukan berbaris dan mendekati matahari maka pada pengujian seterusnya temperatur yang dimiliki ketiga limbah akan bervariasi.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Temperatur

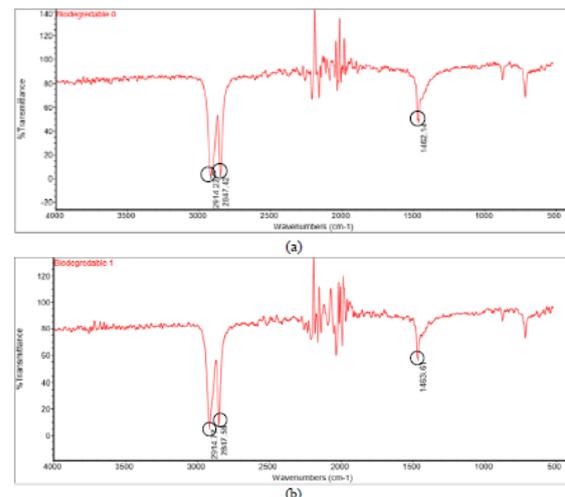
Hari ke-	Temperatur, °C		
	Kantong plastik <i>oxo-degradable</i>	Limbah HDPE	Limbah LDPE
0	29	29	29
5	33	31	30
10	35	31	31
15	32	31	30
20	31	31	32
25	32	32	33
30	33	32	33

Pada plastik *degradable* temperatur awal 29°C karena masih dipengaruhi oleh temperatur minuman probiotik dan pupuk cair karena baru saja ditambahkan. Pada pengukuran hari ke-5 temperatur naik menjadi 33°C, dan naik kembali pada pengujian hari ke-10 menjadi 35°C. Pada pengujian hari ke-15 dan ke-20 temperatur mengalami penurunan menjadi 32°C dan 31°C. Pada pengujian ke-25 dan ke-30

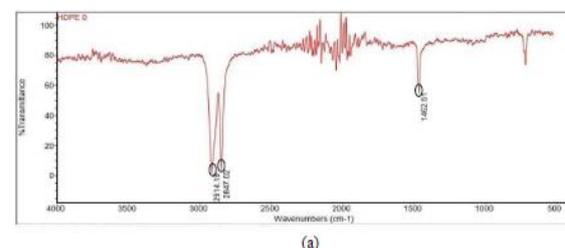
kembali mengalami kenaikan menjadi 32°C dan 33°C. Temperatur pada limbah LDPE hanya mengalami penurunan temperatur satu kali yaitu pada pengujian hari ke-15 menjadi 30°C, sedangkan pengujian hari pertama hingga terakhir mengalami kenaikan temperatur. Pada HDPE, temperatur yang terhitung tidak pernah mengalami penurunan, hanya kenaikan yang konstan di kisaran temperatur 29°C hingga 32°C. Penelitian yang serupa juga mendapatkan persentase penurunan massa terbanyak baik pada limbah yang dengan ataupun tanpa bakteri asam laktat pada kondisi temperatur 28°C (Filayani, 2020).

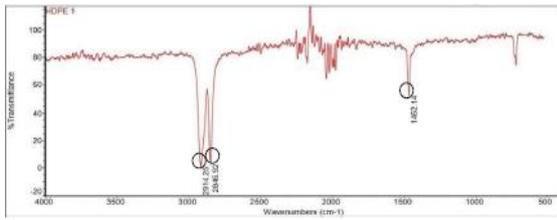
3.3 Pengujian Gugus Fungsi

Pengujian gugus fungsi dilakukan dengan menggunakan alat FTIR, setelah diuji dan mendapatkan hasilnya terdapat perbedaan antara limbah sebelum dan sesudah degradasi dapat dilihat pada Gambar 1-3.



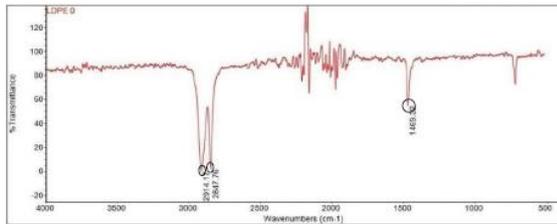
Gambar 1. Hasil Analisis FTIR Untuk Kantong Plastik *oxo-degradable* (a) sebelum degradasi (b) setelah degradasi



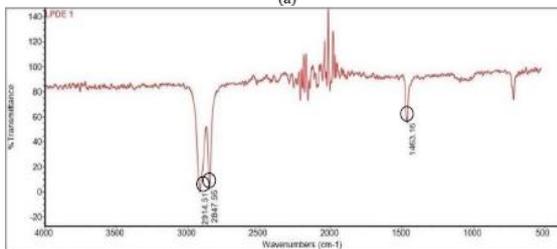


(b)

Gambar 2. Hasil Analisis FTIR Untuk HDPE (a) sebelum degradasi (b) setelah degradasi



(a)



(b)

Gambar 3. Hasil Analisis FTIR Untuk LDPE (a) sebelum degradasi (b) setelah degradasi

Tabel 4. Hasil Pengujian Gugus Fungsi

Limbah	Sebelum Degradasi		Setelah Degradasi		Gugus Fungsi	Range
	(a)	(b)	(a)	(b)		
Kantong plastik <i>oxo-degradable</i>	2914	2,10	2914	6,66	Alkana	2850-2970*
	2847	3,58	2847	9,18	Aldehid	2700-2900**
	1462	48,40	1463	57,59	Alkana	1340-1470*
Limbah HDPE	2914	3,19	2914	2,57	Alkana	2850-2970*
	2847	5,29	2846	4,51	Aldehid	2700-2900**
	1462	56,94	1462	53,88	Alkana	1340-1470*
Limbah LDPE	2914	1,79	2914	1,73	Alkana	2850-2970*
	2847	3,39	2847	3,34	Aldehid	2700-2900**
	1469	56,46	1463	57,07	Alkana	1340-

		1470*
Keterangan	(a) Bilangan Gelombang	
	(b) % Transmitan	
Sumber	(Widyadari, 2020)*, (Douglas, 2018)**	

Kantong plastik *oxo-degradable* dengan tambahan aditif oxium, umumnya berbasis *polyethylene* (Khoironi et al., 2021), maka sebagai perbandingan dapat digunakan penelitian yang menggunakan plastik jenis *polyethylene* sebagai sampel ujinya, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Asmi et al. (2022). Kantong plastik hitam berbasis HDPE digunakan sebagai matriks, yang kemudian dilakukan biodegradasi selama 4 bulan. Sampel uji sebelum dan sesudah degradasi dilakukan uji gugus fungsi menggunakan FTIR. Hasilnya, terdapat kenaikan % transmitan pada sampel setelah degradasi. Hal ini serupa dengan penelitian kali ini yang mengalami kenaikan pada sampel kantong plastik *oxo-degradable*.

Tabel 5. Perbandingan Gugus Fungsi Plastik *Oxo-Degradable*

Sumber	Sebelum Degradasi		Setelah Degradasi		Gugus Fungsi	Struktur Kimia
	(a)	(b)	(a)	(b)		
(Asmi, 2022)	2915	42	2950	47	Alkana	C-H
	2848	46	2847	51	Alkana	C-H
	8728	86	8746	90	Alkana	C-H
Diteliti	2914	2	2914	6	Alkana	C-H
	2847	3	2847	9	Aldehid	C=O
	1462	48	1463	57	Alkana	C-H
Keterangan	(a) Bilangan Gelombang		(b) % Transmitan			

Pada penelitian yang dilakukan oleh Shofi & Anindita (2022) disebutkan bahwa perbedaan persentase transmittan terjadi akibat adanya peregangan pada rantai polimer yang mengindikasikan terjadinya degradasi oleh mikroba. Nilai persentase transmittan semakin mendekati angka 100% maka polimer semakin bersifat tipis karena tidak menyerap sinar *infra merah* yang dipancarkan dari FTIR. Dengan kata

lain, meningkatnya persentase transmitan mengartikan terjadinya proses degradasi. Dari Tabel 5 dapat terlihat bahwa pada referensi mengalami kenaikan persentase transmitan pada sampel sesudah degradasi di setiap puncak. Sejalan dengan data penelitian, bahwa nilai persentase transmitan mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan adanya proses degradasi yang terjadi.

Pada limbah HDPE dan LDPE terjadi pergeseran nilai transmitan, namun berbeda dengan yang dialami oleh kantong plastik *oxo-degradable*, pergeseran bilangan transmitan yang dialami sampel setelah degradasi adalah penurunan yang tidak signifikan. Hal ini dapat terjadi, dikarenakan adanya kontaminan yang mempengaruhi bilangan transmitan. Selain pergeseran nilai transmitan, limbah HDPE dan limbah LDPE juga mengalami pergeseran pada bilangan gelombang.

Pergeseran bilangan gelombang terjadi salah satunya dikarenakan adanya puncak-puncak yang intensitasnya lebih kecil, sehingga mengindikasikan terjadinya peregangan struktur pada sampel akibat proses degradasi (Ni'mah et al., 2010). Pada Tabel 5 terlihat bahwa pergeseran bilangan gelombang terjadi pada data referensi maupun data penelitian. Walaupun pergeseran yang dialami masih dalam rentang bilangan gelombang yang sama, namun pergeseran yang terjadi mengindikasikan adanya peregangan polimer akibat degradasi.

3.4 Pemodelan Kinetika

Pemodelan kinetika dihitung untuk memprediksikan waktu yang dibutuhkan limbah untuk terdegradasi 99%. Pemodelan kinetika menggunakan data yang sudah dikumpulkan sebelumnya yaitu mengenai perubahan massa. Nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai konstanta (k) hasil pemodelan dapat dilihat pada tabel berikut. Nilai k selanjutnya digunakan

untuk memprediksi waktu degradasi polimer sebanyak 99%.

Tabel 6. Koefisien determinasi dan konstanta degradasi pemodelan kinetika

Sampel	Nilai	Orde		
		0	1	2
Kantong plastik	R^2	0,8908	0,8811	0,8434
	k	-0,0023	-0,0340	0,5390
<i>oxo-degradable</i>				
Limbah HDPE	R^2	0,3490	0,3503	0,3516
	k	-0,0024	-0,0002	-0,0005
Limbah LDPE	R^2	0,8037	0,8023	0,8008
	k	-0,0005	-0,0008	0,0011

Tabel 7. Estimasi waktu degradasi berdasarkan pemodelan

Orde Kinetika	Lama Waktu Terdegradasi 99%, hari	
	Kanting Plastik <i>Oxo-Degradable</i>	Limbah LDPE
0	39	120
1	67	420
2	166	89.425

Berdasarkan penelitian Ozili (2023) bahwa nilai R^2 yang baik dan dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah diatas 0,6. Nilai R^2 yang didapatkan pada limbah HDPE adalah 0,3, sehingga tidak dapat dilakukan perhitungan lebih lanjut. Dengan kata lain, pemodelan orde 0, 1, dan 2 tidak cocok untuk mewakili degradasi limbah HDPE pada penelitian ini. Oleh karena itu diperlukan uji coba pemodelan jenis lain atau perlu dilakukan pengambilan data yang lebih lama agar penurunan massa lebih signifikan.

Hasil pemodelan kantong plastik *oxo-degradable* orde 0, tidak relevan dengan penelitian yang dilakukan karena pada hasil pemodelan, limbah akan terdegradasi selama 39 hari, namun setelah dilakukan percobaan selama 30 hari, limbah tidak mengalami kerusakan fisik, melainkan hanya menjadi lebih tipis dari sebelumnya.

Jika dilihat dari nilai R^2 , orde 1 memiliki nilai yang lebih tinggi, maka dapat disimpulkan bahwa kantong plastik *oxo-degradable* dapat terdegradasi selama 67 hari. Kantong plastik *oxo-degradable* yang baru dapat terdegradasi secara alami selama 2 tahun (Khoironi et al., 2021)

Pada limbah LDPE, penelitian yang pernah dilakukan oleh Ghatge et al. (2020), menyebutkan bahwa LDPE akan terdegradasi sempurna secara alami selama 12-32 tahun, maka pemodelan yang relevan adalah pemodelan kinetika mendekati orde 1, dimana limbah LDPE memiliki waktu 89.425 hari atau setara dengan 15 tahun untuk terdegradasi 99%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kantong plastik *oxo-degradable*, limbah HDPE, limbah LDPE mengalami penurunan massa selama proses degradasi, dengan penurunan massa terbesar pada kantong plastik *oxo-degradable* yaitu sebesar 60%. Sesudah degradasi selama 30 hari, plastik *oxo-degradable*, limbah HDPE, dan limbah LDPE mengalami perubahan transmittansi yang mengindikasikan terjadinya reaksi degradasi polimer. Berdasarkan pemodelan kinetika orde 1, kantong plastik *oxo-degradable* dapat terdegradasi 99% selama 67 hari, dan limbah LDPE dapat terdegradasi selama 14 tahun. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan degradasi dapat dilakukan lebih lama agar data yang diperoleh lebih banyak dan penurunan massa limbah lebih terlihat serta dicoba pendekatan pemodelan lainnya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P2M) Politeknik STMI Jakarta atas bantuan dana dan dukungannya dalam penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anah, I., Aniriani, G. W., & Sulistiono, E. (2020). Biodegradasi Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) menggunakan Kolom Winogradsky. *Jurnal Envivscience*, 4(2), 96. <https://doi.org/10.30736/4ijev.v4iss2.210>
- Asmi, N., Baharuddin, M., & Febryanti, A. (2022). *Skrining* Mikrobiologi Pendegradasi Plastik Dari Tanah Dan Uji Biodegradasi Dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 15(1), 151–163. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v15i1.19826>
- Basuki, K. H. (2021). Aplikasi Logaritma dalam Penentuan Derajat Keasaman (pH). *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*, 7(1), 29–38. <https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/DPNPMunindra/article/view/5605>
- Damayanti, N., Sulaiman, N., & Ibrahim, N. (2020). Plastic Biodegradation by *Pseudomonas aeruginosa* UKMCC1011 Using A Modified Winogradsky Column. *Science and Engineering*, 7(2), 7. <https://doi.org/10.27512/sjppi-ukm/se/a17052020>
- Filayani, M. I. (2019). Proses degradasi plastik jenis polietilen menggunakan tanah tempat pembuangan sampah (TPS) IAIN Tulungagung Dan Yakult Menggunakan Kolom Winogradsky. *Prosiding Seminar Nasional Hayati*, 7(September), 40–45–40–45. <https://proceeding.unpkediri.ac.id/index.php/hayati/article/view/602>
- Filayani, M. I. (2020). Uji Degradasi Plastik Polietilen Menggunakan Metode Kolom Winogradsky Dengan Penambahan *Lactobacillus Bulgaricus* Dan *Streptococcus Thermopilus Polyethhylene Plastic Degradation*

- Test Using The Winogradsky Column Method With *Lactobacillus Bulgaricus* and str. *Jurnal Lentera Bio*, 9(2), 153–157. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v9n2.p153-157>
- Ghatge, S., Yang, Y., Ahn, J. H., & Hur, H. G. (2020). Biodegradation of Polyethylene: A Brief Review. *Applied Biological Chemistry*, 63(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00511-3>
- Khoironi, A., Huda, K., Hambyah, I., & Dianratri, I. (2021). Pengaruh Mikroplastik Polietilen Dan Oxo-Degradable (Oxium) Pada Pertumbuhan Mikroalga *Tetraselmis Chuii*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 211–218. <https://doi.org/10.14710/jil.19.2.211-218>
- Damayanti, Nelvi., Sulaiman, Norela., Ibrahim, Nazlina. (2020). Plastic Biodegradation by *Pseudomonas aeruginosa* UKMCC1011 Using A Modified Winogradsky Column. *Jurnal Ilmiah PPI-IKM*, 7(2), 43-49. <https://doi.org/10.27512/sjppi-ukm/se/a17052020>
- Ni'mah, Y. L., Atmaja, L., & Juwono, H. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Film Plastik HDPE Pengemas Herbisida Menggunakan Filler Abu Layang Kelas F. *Indonesian Journal of Chemistry*, 9(3), 348–354. <https://doi.org/10.22146/ijc.21497>
- Nisah, K. (2018). Pembuatan Plastik Biodegradable Dari Polimer Alam. *Elkawnie*, 4(2). <https://doi.org/10.22373/ekw.v4i2.2849>
- Ozili, P. K. (2023). The Acceptable R-Square In Empirical Modelling For Social Science Research. *Social Research Methodology and Publishing Results: A Guide to Non-Native English Speakers*, January 2023, 134–143. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-6859-3.ch009>
- Reza, C. G., Setiati, R., & Husla, R. (2019). Evaluasi Efektifitas Mekanisme EOR pada Injeksi Polimer. *Seminar Nasional Cendekiawan Ke 5, January 2019*, 1–5. <https://trijurnal.lemlit.trisakti.ac.id/semnas/article/view/5656/4445>
- Rohmah, U. M., Shovitri, M., & Kuswytasari, N. D. (2018). Degradasi Plastik Oleh Jamur *Aspergillus terreus* (LM 1021) Pada pH 5 dan 6; Serta Temperatur 250C dan 350C. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), 60–65. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.37207>
- Rossetti, I., Conte, F., & Ramis, G. (2021). Kinetic Modelling of Biodegradability Data of Commercial Polymers Obtained under Aerobic Composting Conditions. *Eng*, 2(1), 54–68. <https://doi.org/10.3390/eng2010005>
- Sembiring, E., & Novitasari, Y. (2015). *Degradation of Degradable Plastics on Several Solid*. 93–106. https://multisite.itb.ac.id/ftsl/wp-content/uploads/sites/8/2015/11/E10_-Emenda_Degradation-of-Dedradable.pdf
- Shofi, A. N., & Anindita, F. D. (2022). Review : Efektivitas Degradasi Plastik Oleh *Aspergillus terreus*. *Prosiding Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu UNAYA, Lm 1021*, 127–133. <https://proceeding.unnes.ac.id/snipa/article/view/1345>