

FOTODEGRADASI (DEGRADASI ABIOTIK) KANTONG PLASTIK POLIETILENA YANG MENGANDUNG ADITIF OXO-DEGRADABLE

(PHOTODEGRADATION (ABIOTIC DEGRADATION) OF POLYETHYLENE BAG CONTAINING OXO-DEGRADABLE ADDITIVES)

Arie Listyarini dan Wiwik Pudjiastuti

Balai Besar Kimia dan Kemasan Kementerian Perindustrian Jakarta

E-mail : me.aurora.2646@gmail.com

Received : 28 Maret 2014; Revised : 02 April 2014; Accepted : 10 April 2014

ABSTRAK

Penelitian fotodegradasi kantong polietilena (PE) yang mengandung aditif *oxo-degradable* dilakukan karena begitu maraknya kantong plastik polietilena yang diklaim dapat terdegradasi dengan cahaya di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji fotodegradasi plastik *oxo* yang ditemukan di supermarket atau pasar lokal di Indonesia dan dibandingkan dengan plastik PE tanpa aditif *oxo*. Plastik *oxo* didegradasi dalam *UV chamber* ATLAS pada suhu 50 °C dengan kontrol iradiasi $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$ pada panjang gelombang lampu UV 340 nm sesuai ASTM D 5208. Perubahan sifat fisik yaitu nilai kuat tarik dan elongasi saat putus diperiksa pada rentang waktu 0 jam sampai dengan 250 jam. Perubahan struktur kimia diperiksa dengan *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)* dan dibandingkan struktur sebelum dan sesudah diberikan paparan iradiasi sinar UV. Rata-rata plastik yang mengandung aditif *oxo-degradable* mencapai nilai elongasi saat putus kurang dari 5% setelah dipapar sinar UV selama 120 jam sampai dengan 140 jam. Hasil penelitian menunjukkan nilai elongasi saat putus merupakan parameter yang paling sensitif dalam fotodegradasi ini. Nilai kuat tarik turun sebanding dengan lama paparan sinar UV. Spektrum keton karbonil dan ester karbonil ditemukan pada spektrum *FT-IR* plastik *oxo* setelah diberi paparan UV 250 jam.

Kata kunci: Fotodegradasi, Plastik *oxo-degradable*, Polietilena (PE), *UV Chamber* ATLAS, Sifat fisik

ABSTRACT

Research on photodegradation of polyethylene bags containing oxo degradable additives is being done because of its widespread use by supermarket and local shops in Indonesia, and the claim that it can be degraded by light. The aim of this research is to assess the photodegradation of oxo-plastic which was found in local shop in Indonesia and compared with PE without oxo-degradable additives. Degradation of oxo-plastic was investigated using ATLAS UV chamber at 50 °C with control irradiance at $0.78 \pm 0.02 \text{ W/m}^2$ at 340 nm as per ASTM D 5208. The physical properties changes, such as tensile strength and elongation at break, were determined by universal testing machine at UV exposure for 0 hour to 250 hours until it was brittle or can not be determined anymore. The structural changes before and after UV exposure was determined by FT-IR. The results showed that polyethylene film containing oxo-degradable additives reach less than 5% elongation at break after 120 hours to 140 hours UV exposure. Experimental results showed that elongation at break was the most sensitive parameter to the fotodegradation. Tensile strengths value decreased by increasing time of UV exposure. Spectrum of carbonyl ketones and carbonyl esters was found in FT-IR spectrum of oxo-plastic after 250 hours of UV exposure.

Key words: Photodegradation, Oxo-plastic, Polyethylene (PE), ATLAS UV Chamber, Physical properties

PENDAHULUAN

Penggunaan produk-produk plastik terutama dari poliolefin sebagai kemasan sekali pakai meningkat signifikan pada saat ini karena sifat mekanik yang baik, ringan, dan dapat dipakai berulang kali. Seiring meningkatnya kebutuhan plastik, masalah sampah juga

meningkat karena poliolefin tidak mudah terurai pada kondisi lingkungan alami. Pengolahan sampah tradisional termasuk daur ulang, insinerasi, dan pemendaman digunakan untuk mengatasi sampah plastik ini. Salah satu jenis poliolefin yang dapat didegradasi adalah

poliolefin dengan aditif *oxo-degradable* (Ammala *et al.* 2011).

Saat ini, hampir semua pusat grosir, supermarket atau toko menggunakan kantong plastik PE *oxo-degradable* sebagai kantong belanja. Penambahan aditif *oxo-degradable* pada pembuatan kantong plastik PE membuat kantong plastik ini diklaim sebagai plastik *oxo-degradable* yang dapat hancur dengan paparan cahaya. Beberapa produsen plastik *oxo-degradable* mengklaim setelah dua tahun, plastik akan terurai sebanyak 90 %. Kehadiran plastik *oxo-degradable* pada pasar Indonesia membawa wacana baru masyarakat tentang plastik *biodegradable*.

Teknologi pembuatan plastik *oxo-degradable* ini sebenarnya bukan teknologi baru tetapi kehadirannya pertama kali pada tahun 80-an masih diragukan (Davis 2006), dan dipertanyakan tentang potensi toksisitas dari aditifnya dan kemungkinan efek negatif pada proses daur ulang polimer konvensional (Kyrikou *et al.* 2007; Roy *et al.* 2011).

Penambahan aditif *oxo-degradable* diharapkan plastik PE akan mudah dihancurkan dengan adanya cahaya. Oleh sebab itu dilakukan penelitian degradasi plastik PE *oxo-degradable* dengan menggunakan iradiasi UV dalam UV chamber ATLAS sebagai akselerasi kondisi sinar dan panas lingkungan dan dibandingkan dengan plastik PE konvensional tanpa penambahan aditif *oxo-degradable*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pada penelitian ini digunakan tiga buah kantong plastik dengan aditif *oxo-degradable* dari tiga produsen yang berbeda di Indonesia dan kantong belanja plastik PE konvensional tanpa penambahan aditif *oxo-degradable*.

Metode

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Paparan iradiasi sinar UV dalam UV chamber ATLAS

Kantong plastik PE *oxo-degradable* dengan kantong plastik PE konvensional dipotong berbentuk persegi panjang dengan ukuran 25 cm x 7,5 cm sehingga dapat dimasukkan ke dalam tempat sampel chamber ATLAS UV 2000. Ketebalan masing-masing kantong plastik dicari yang seragam yaitu sekitar 18 μm . Kondisi paparan adalah pada suhu 50 °C dengan iradiasi sebesar $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$ dan menggunakan lampu UV dengan panjang

gelombang 340 nm. Siklus paparan dalam penelitian ini adalah 20 jam lampu UV dan 4 jam kondensasi. Lama maksimal paparan adalah 250 jam sesuai dengan ASTM D 5208.

b. Karakterisasi

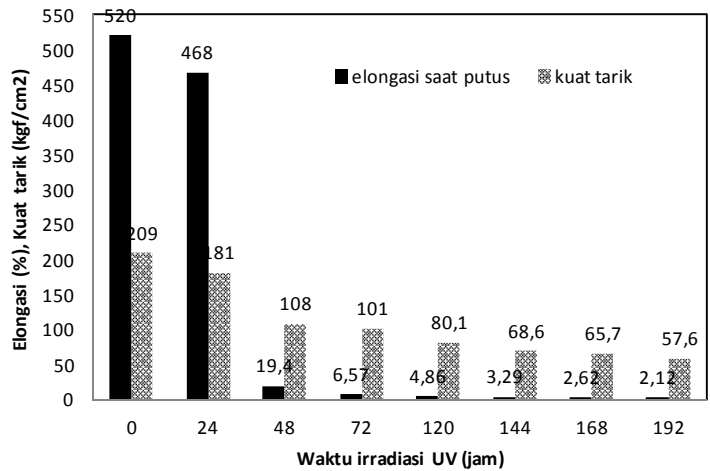
Masing-masing sampel diperiksa kuat tarik dan elongasi saat putus dengan *Universal Testing Machine (UTM)* Strogaph-M1 Toyoseiki pada kondisi pengujian $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ RH $50 \pm 5\%$ sesuai *American Society for Testing and Materials (ASTM)* D 882 dengan variasi waktu paparan UV 0, 24, 48, 72, 144, 168 dan 192 dan 250 jam.

Struktur kimia sampel sebelum paparan UV dan perubahan sesudah paparan UV diperiksa dengan *Fourier Transform Infra Red (FT-IR)* Agilent Cary 600.

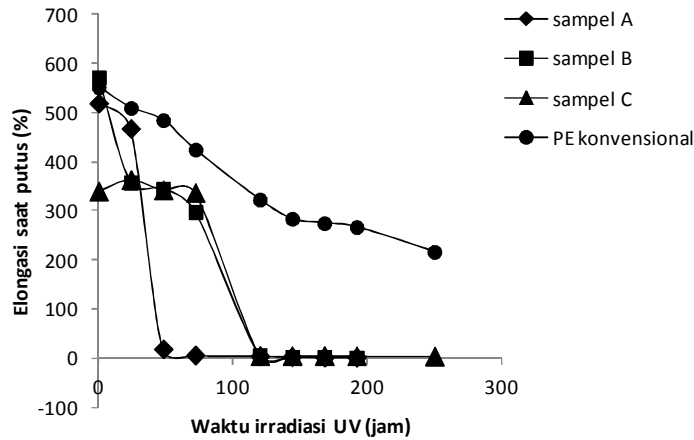
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kantong plastik dengan label *oxo-degradable* dipaparkan dengan sinar UV iradiasi $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$ dan suhu 50 °C menunjukkan penurunan nilai kuat tarik seperti halnya penurunan elongasi saat putus diperlihatkan pada Gambar 1. Nilai elongasi karena penurunannya yang signifikan menjadi parameter yang paling sensitif untuk degradasi dengan iradiasi UV. Hasil ini, yang juga diamati oleh Jeon *et al.* (2014) adalah karakteristik dari degradasi polimer yang tidak hanya dengan iradiasi UV tetapi juga dengan iradiasi gamma (Yashchuk *et al.* 2012). Penurunan elongasi saat putus berbagai plastik *oxo-degradable* yang digambarkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 ini diperoleh dua perbedaan profil degradasi yang teramati. Sampel A menunjukkan peningkatan elongasi saat putus selama 48 jam perlakuan yang diamati, diikuti dengan penurunan elongasi saat putus yang cepat. Hal ini dapat disebabkan karena adanya plastisisasi yang diberikan oleh rantai-rantai berat molekul rendah yang dihasilkan pada tahap pertama fotodegradasi atau degradasi abiotik ini (Yashchuk *et al.* 2012). Di sisi lain, sampel lain memiliki penurunan yang dramatis walaupun dengan dosis rendah sinar UV. Hal ini sangat berbeda oleh karena perbedaan sifat fisika-kimia dalam material kantong belanja plastik tersebut. Nilai elongasi semua sampel plastik *oxo-degradable* mencapai nilai kurang dari 5% setelah diberi paparan iradiasi UV sekitar 120 jam. Menurut ASTM D 3826, suatu plastik disebut polietilena *fotodegradable* bila nilai elongasinya kurang dari 5 % setelah diberi paparan iradiasi UV selama 250 jam.



Gambar 1. Degradasi mekanik/fisik dari plastik *oxo-degradable* dari pusat grosir (sampel A) Indonesia setelah iradiasi UV pada $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, 50°C

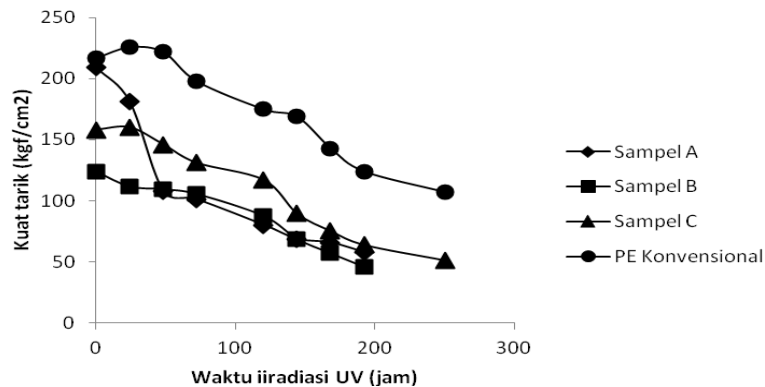


Gambar 2. Elongasi saat putus vs waktu irradiasi UV pada $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, 50°C . untuk beberapa kantong plastik *oxo-degradable* pasar lokal Indonesia

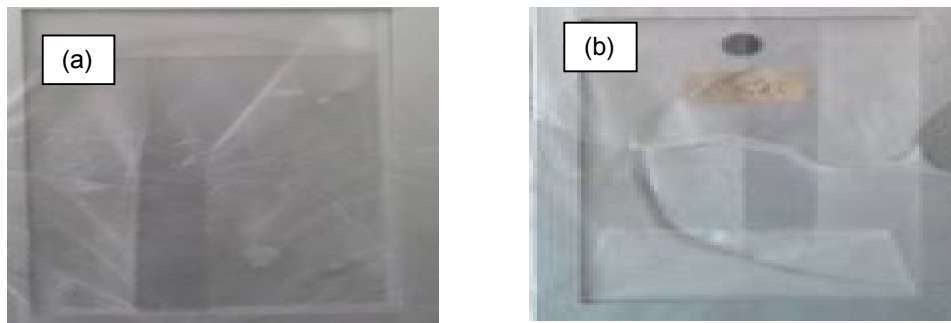
Karena semua sampel yang diperiksa kecuali untuk kantong belanja plastik PE konvensional setelah waktu paparan iradiasi selama 120 jam telah mencapai elongasi $< 5\%$ maka dapat dikatakan sebagai polietilena *photodegradable*. Untuk kantong plastik PE konvensional nilai elongasi setelah diiradiasi UV selama 250 jam mengalami penurunan hanya 50% dari nilai awalnya yaitu dari 552% menjadi 217% .

Perbandingan nilai kuat tarik dari semua sampel kantong plastik dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai kuat tarik rata-rata semua sampel baik sampel A, B, dan C yang diuji mengalami penurunan sekitar 30% dari nilai awal ketika nilai elongasi plastik sudah kurang

dari 5% atau rapuh. Profil yang didapatkan pada penurunan kuat tarik kantong belanja plastik *oxo-degradable* hampir sama semua yaitu mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu iradiasi sinar UV. Penurunan kuat tarik ini tidak signifikan penurunan nilai elongasi saat putus. Seperti halnya penurunan nilai elongasi saat putus, sampel kantong belanja plastik PE konvensional mengalami penurunan yang lebih rendah dibandingkan dengan penurunan nilai kuat tarik plastik *oxo-degradable*. Plastik seperti pada Gambar 4 a dan 4 b bisa dilihat kenampakkan menjadi rapuh atau *brittle* ketika mendapat paparan iradiasi UV sampai 250 jam.



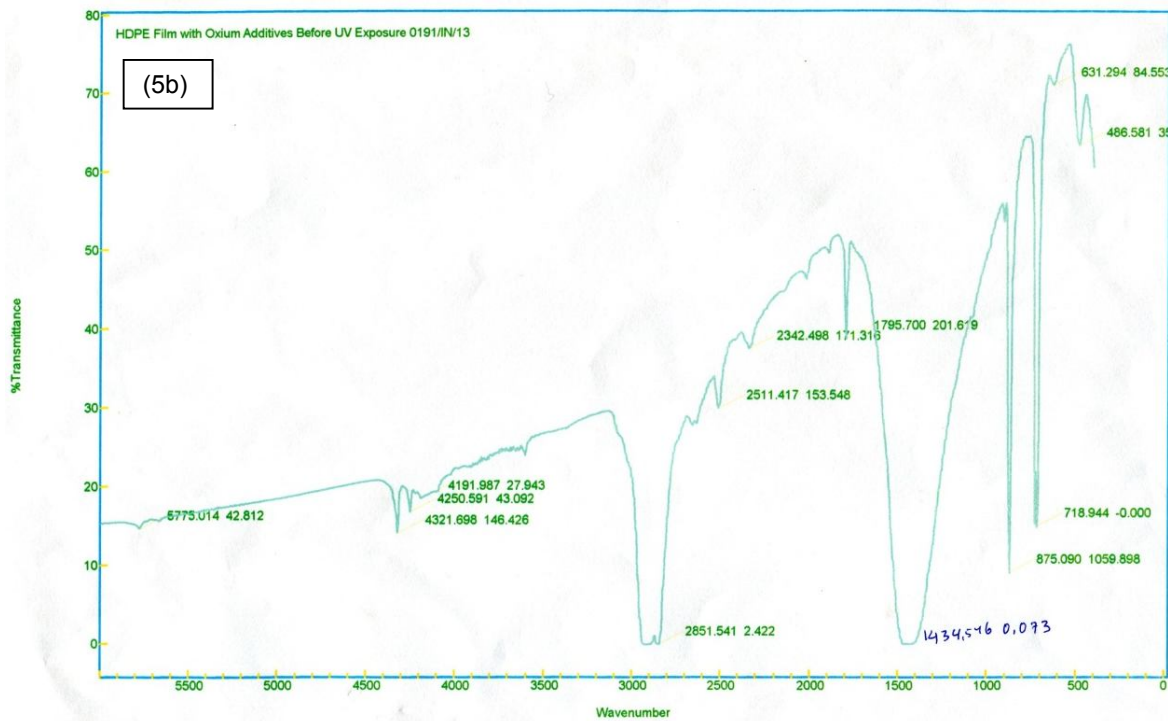
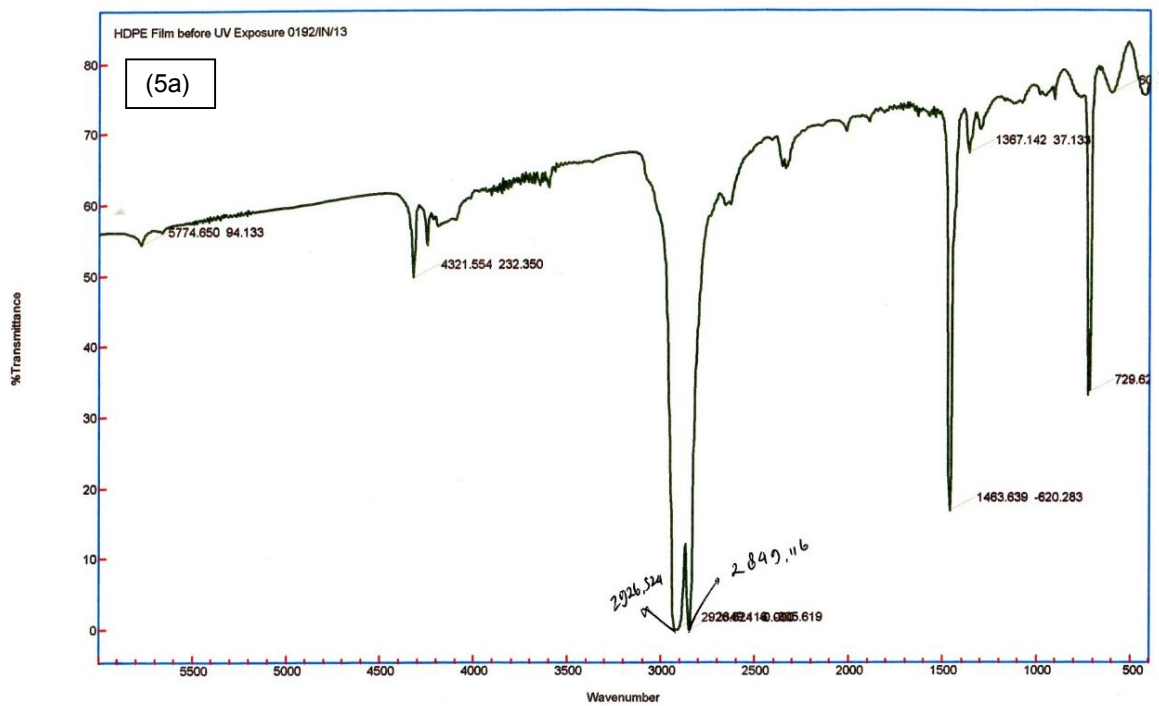
Gambar 3. Kuant tarik vs. waktu iradiasi UV pada $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$. untuk beberapa kantong plastik *oxo-degradable* pasar lokal Indonesia



Gambar 4. (a) Visual kantong plastik *oxo-degradable* sebelum diiradiasi UV dan (b) sesudah iradiasi UV pada $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$ selama 250 jam

Perubahan struktur kimia yang terjadi selama degradasi dipelajari dengan menggunakan spektrum *FT-IR*. Untuk mengetahui perbandingan spektrum *FT-IR* digunakan kantong belanja plastik PE konvensional dan kantong plastik *oxo-degradable* dari produsen yang sama. Spektrum kedua sampel tersebut sebelum diberikan iradiasi UV dapat dilihat pada Gambar 5 a dan 5 b. Puncak-puncak pada kedua spektrum kantong belanja plastik menunjukkan gugus-gugus yang ada pada struktur kimia sampel tersebut. Karena berbahan dasar sama ditemukan puncak yang sama di antara keduanya yaitu pada daerah bilangan gelombang sekitar 2900 cm^{-1} sampai dengan 2800 cm^{-1} yang merupakan daerah C-H yang ditunjukkan kembali pada puncak yang terjadi di

bilangan gelombang sekitar 1430 cm^{-1} sampai dengan 1465 cm^{-1} . Puncak-puncak pada spektrum secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1. Perbedaan yang diperoleh pada spektrum terdapat pada puncak di bilangan gelombang 1795 cm^{-1} dan 875 cm^{-1} . Kedua puncak ini dihasilkan karena adanya penambahan aditif *oxo-degradable* pada proses pembuatan kantong belanja plastik sehingga ditemukan pada spektrum kantong belanja plastik *oxo-degradable* sedangkan di kantong belanja plastik PE konvensional tidak ditemukan. Puncak pada bilangan gelombang 1795 cm^{-1} diperkirakan adalah gugus karbonil (C=O) (Skoog 2007). Adanya gugus karbonil pada plastik *oxo-degradable* dapat menjadi inisiator proses degradasi secara fotodegradasi (Chiellini 2006).



Gambar 5. Spektrum FT-IR (a) kantong belanja plastik PE konvensional dan (b) kantong belanja plastik *oxo-degradable* sebelum iradiasi UV

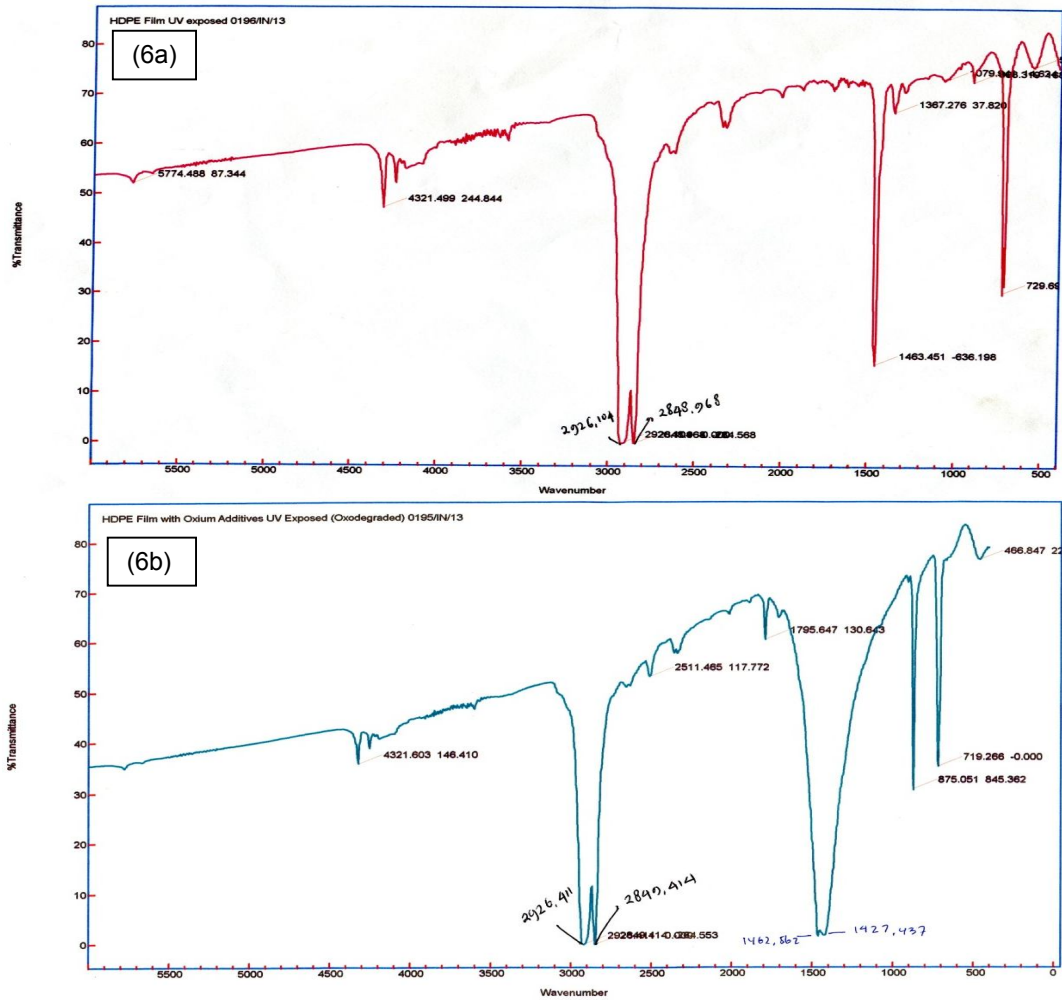
Tabel 1. Perbandingan nilai puncak pada spektrum *FT-IR* sampel kantong belanja plastik PE konvensional dan kantong belanja plastik *oxo-degradable* sebelum diiradiasi *UV* (Skoog 2007)

No	Bilangan gelombang (cm^{-1}) dan gugus yang ditunjukkan	
Kantong belanja plastik PE konvensional		
1.	2926	
2.	2849	
3.	1463	C-H alkana, alkena (olefin)
4.	729	
Kantong belanja plastik <i>oxo-degradable</i>		
1.	2851	
2.	1434	C-H alkana, alkena (olefin)
3.	718	
4.	1795	C=O
5.	875	Puncak tidak teridentifikasi

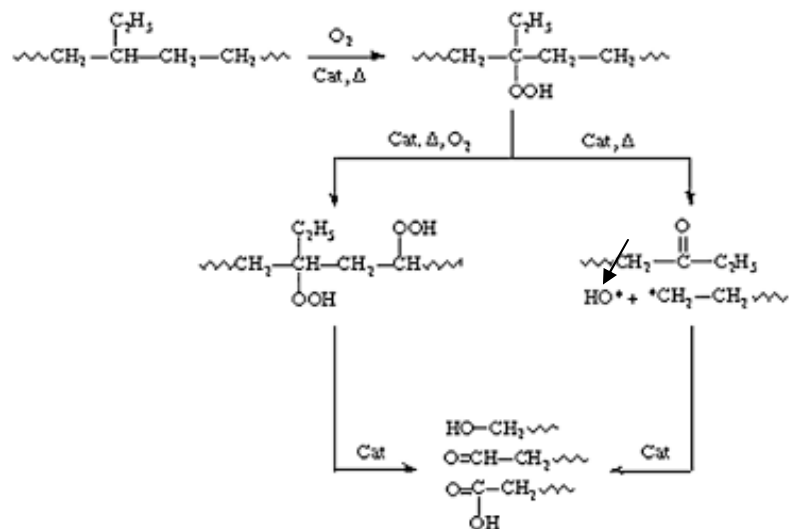
Spektrum *FTIR* kedua kantong plastik ditunjukkan pada Gambar 6 a dan 6 b. Kantong belanja plastik PE konvensional tidak menunjukkan perubahan pada puncak-puncak yang terjadi. Hal ini menjelaskan tidak terdapat reaksi yang menyebabkan perubahan struktur kimia pada PE. Fotodegradasi hanya menyebabkan penurunan sifat mekanik/fisik karena adanya pemutusan rantai PE menjadi berat molekul yang lebih rendah (Vijayvargia 2014). Kantong belanja plastik *oxo-degradable* mengalami penurunan intensitas pada puncak di bilangan gelombang 875 cm^{-1} dan 718 cm^{-1} dan adanya puncak baru pada daerah bilangan gelombang sekitar 1715 cm^{-1} yang ditunjukkan pada anak panah Gambar 6 b. Penurunan intensitas ini menunjukkan gugus yang memberikan puncak pada daerah bilangan gelombang 875 cm^{-1} dan 718 cm^{-1} ini ada yang bereaksi membentuk senyawa baru walaupun masih ditemukan rantai PE. Berdasar hal ini,

dibutuhkan proses degradasi lebih lanjut untuk kantong belanja plastik *oxo-degradable* selain fotodegradasi yaitu degradasi biotik untuk melengkapi proses degradasi (Yashchuk 2012).

Ketidakstabilan poliolefin pada proses fotodegradasi dapat dipastikan karena kehadiran gugus karbonil dan gugus hidroperoksida yang terbentuk selama proses pembuatan produk poliolefin (Ammala 2011). Gambar 7 menggambarkan beberapa produk yang terbentuk sebagai hasil pada proses fotodegradasi PE. Gugus hidroperoksida (-CH-OOH) adalah produk utama oksidasi dan tidak stabil secara panas atau fotolitik. Gugus ini terdekomposisi menghasilkan dua radikal, yang masing-masing berperan pada proses reaksi berantai. Kehadiran gugus karbonil menunjukkan reaksi oksidasi telah berlangsung dan juga berarti bahwa material menjadi rentan untuk terjadi proses degradasi selanjutnya (Ammala 2011; Chiellini 2006; Klaus 2007).



Gambar 6. Spektrum FT-IR (a) kantong belanja plastik PE konvensional dan (b) kantong belanja plastik oxo-degradable sesudah iradiasi UV pada $0,78 \pm 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{nm}$, 50°C selama 250 jam



Gambar 7. Mekanisme reaksi radikal polietilena (Chiellini 2006)

KESIMPULAN

Elongasi saat putus merupakan parameter yang sensitif untuk menunjukkan bahwa proses fotodegradasi telah berlangsung yang ditunjang oleh spektrum *FT-IR*. Pada kantong belanja plastik *oxo-degradable* menunjukkan nilai elongasi < 5 % setelah diberikan paparan sinar *UV* selama 250 jam sedangkan untuk plastik PE konvensional nilai elongasi saat putusnya masih menunjukkan nilai yang tinggi yaitu sekitar 217 %. Pembentukan gugus karbonil pada fotodegradasi kantong belanja plastik *oxo-degradable* ditunjukkan adanya puncak di bilangan gelombang 1715 cm^{-1} pada spektrum *FT-IR*nya yang tidak dijumpai pada spektrum *FT-IR* kantong belanja plastik PE konvensional. Reaksi fotodegradasi merupakan reaksi oksidasi yang merupakan tahap awal untuk degradasi polietilena selanjutnya hingga polietilena dengan sempurna didegradasi dan menjadi habis di lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis haturkan untuk laboratorium kemasan bahan dan ritel Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK) sebagai tempat pelaksanaan penelitian dan laboratorium instrumen BBKK untuk penggunaan *FT-IR*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammala, A., Stuart Bateman, Katherine Dean, Eustathios Petinakis, Parveen Sangwan, Susan Wong, Qiang Yuan, Long Yu, Colin Patrick, KH Leong. 2011. An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Progress in Polymer Science*. 36.: 1015 – 1049.
- American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM D 5208-01: Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics*. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM D 882-10: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting*. Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials. 2010. *ASTM D 3826-02: Standard Practice for Determining Degradation End Point in Degradable Polyethylene and Polypropylene Using a Tensile Test*. Philadelphia.
- Chiellini, E., A Corti, S D'Antone dan R Baciu. 2006. Oxo-biodegradable carbon backbone polymers – Oxidative degradation of polyethylene under accelerated test conditions. *Polymer Degradation and Stability* 91: 2739 – 2747.
- Davis, G. 2006. The characterisation of two different degradable polyethylene (PE) sacks. *Materials Characterization*. 57: 314 – 320.
- Jeon, Hyun Jeong dan Mal Nam Kim. 2014. Degradation of linear low density polyethylene (LLDPE) exposed to UV-irradiation. *European Polymer Journal*. 52: 146 – 153.
- Klaus, Jakub. 2007. *Oxo-degradable polyethylene films*. Master Thesis. Faculty of Technology Tomas Bata University, Zlin.
- Kyrikou, I., Demetres Briassoulis, Miltiadis Hiskakis dan Epineia Babou. 2011. Analysis of photo-chemical degradation behaviour of polyethylene mulching film with pro-oxidants. *Polymer Degradation and Stability* 96: 2237 – 2252.
- Roy, P., M Hakkarainen, I Varma dan A Albertsson. 2011. Degradable polyethylene: Fantasy or reality. *Environmental Science and Technology*. 45 (10): 4217 – 4227.
- Skoog, D.A., F James Holler dan Stanley R Crouch. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Edisi 6. Thomson Brooks/Cole. USA.
- Vijayvargia, R., Bhadoria AKS dan Ajay Kumar Nema. 2014. Photo and biodegradation performance of polyethylene blended with photodegradable additive ferrocene (Part-I). *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research* 3: 153 – 170.
- Yashchuk, O., FS Portillo, EB Hermida. 2012. Degradation of polyethylene film samples containing oxo-degradable additives. *Procedia Materials Science*: 439 – 445.