

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kehidupan manusia tidak pernah lepas dari plastik. Plastik membawa berbagai kemudahan dalam kehidupan ini. Industri pangan secara luas menggunakan plastik untuk berbagai macam kebutuhan seperti pengemas makanan, peralatan makan dari plastik. Selain itu, pencemaran plastik juga menjadi permasalahan serius yang perlu ditanggapi. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan bahwa plastik hasil dari 100 toko atau anggota Asosiasi Pengusaha Ritel Indonesia (APRINDO) dalam waktu 1 tahun telah mencapai 10,95 juta lembar sampah kantong plastik. Jumlah plastik tersebut setara dengan luasan 65,7 hektar kantong plastik. Sehingga, Indonesia adalah negara peringkat kedua setelah Cina dalam menghasilkan sampah plastik di perairan, yaitu sebesar 187,2 juta ton (Jambeck *et al.*, 2015). Selain itu, bahan dasar yang digunakan untuk membuat plastik pada umumnya adalah minyak bumi. Plastik berbahan dasar minyak bumi memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungannya karena sulit untuk diurai menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dan sederhana. Diperlukan waktu yang lama, yakni puluhan tahun untuk dapat mengurai plastik. Sehingga, limbah plastik yang sulit untuk diurai ketika tidak diolah dengan baik dapat menjadi pencemar lingkungan yang sulit untuk dihilangkan secara alami.

Untuk mengatasi pencemaran limbah plastik berbahan dasar minyak bumi, digunakan *biopolymer* sebagai bahan dasar pengganti plastik dengan bahan baku minyak bumi (Süfer, 2017). *Biopolymer* adalah polimer yang memiliki sifat *biodegradable* atau dapat dengan mudah diurai oleh mikroorganisme. Salah satu biopolimer yang sering digunakan sebagai bahan pengganti adalah *polylactic acid* (PLA). PLA adalah *polyester* alifatik linear yang dibuat dari proses polikondensasi asam laktat atau polimerisasi ionik laktida (Shah *et al.*, 2008). *Biopolymer* seperti PLA memiliki sifat *biodegradable*, sehingga PLA sering digunakan sebagai bahan pengganti plastik sintetis yang terbuat dari minyak tanah. PLA terbuat dari hasil fermentasi bahan yang dapat diperbaharui seperti jagung, kentang, tebu, dan singkong. Pada industri pangan, PLA digunakan sebagai bahan pembuat botol plastik, gelas plastik, *overwrap*, dan lainnya (Oz, 2017).

Untuk pengolahan limbah plastik berbahan dasar biopolimer seperti PLA, metode *biodegradation* adalah metode yang banyak digunakan (Kale *et al.*, 2015). Metode *biodegradation* merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam pengolahan limbah PLA karena PLA memiliki *biodegradability* yang baik (Ahmed, 2018). Akan tetapi, proses biodegradasi PLA secara alami adalah proses yang memakan waktu yang lama. Sehingga, banyak penelitian yang dilakukan untuk menemukan isolat murni dari mikroorganisme yang dapat mengurai PLA (Qi *et al.*, 2017).

Banyak *review* dan penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui dan mengumpulkan mikroorganisme yang dapat mengurai PLA. Namun, belum ada *review* yang membandingkan kemampuan berbagai macam mikroorganisme yang berperan dalam penguraian PLA untuk menemukan mikroorganisme yang dapat mengurai secara optimal. Dalam *review* ini, penulis ingin melihat dari sudut pandang yang jarang digunakan, yaitu melalui kemampuan masing-masing mikroorganisme yang telah teridentifikasi dapat mengurai PLA. Kemudian, mengumpulkan dan membandingkan kemampuan antar suatu mikroorganisme dengan lainnya dengan melihat berbagai macam aspek dari metode yang digunakan seperti sampel yang digunakan, asal mikroorganisme, dan lainnya supaya dapat dilihat mikroorganisme dan metode manakah yang dapat mengurai dengan efisien.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.1.1. Plastik

Plastik adalah polimer sintesis rantai panjang yang terbuat dari monomer turunan senyawa petrokimia yang kemudian ditambahkan bahan kimia. (Shimao, 2001). Plastik pada umumnya terbuat dari campuran bahan organik dan inorganik seperti silikon, karbon, hidrogen, oksigen, dan klor (Seymour, 1899; Shah *et al.*, 2008). Plastik merupakan bahan yang serba guna dan secara luas digunakan karena sifat plastik yang ringan, *inert*, relatif murah, serta memiliki ketahanan dan kekuatan yang baik (Kale *et al.*, 2015). Karena itu, plastik banyak digunakan dalam berbagai macam industri dan salah satu industri besar yang menggunakan plastik adalah industri makanan. Dalam industri makanan, fungsi plastik yang paling sering digunakan adalah sebagai bahan pembungkus makanan. Jenis plastik yang digunakan sebagai bahan pengemas makanan adalah *polyethylene* (LDPE, MDPE, HDPE, LLDPE), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyvinyl chloride* (PVC), *polyurethane* (PUR), *polyethylene terephthalate* (PET), *polybutylene*

terephthalate (PBT), dan *polylactic acid* (PLA) (Vona *et al.*, 1965 dalam Shah *et al.*, 2007). Dari sekian banyak jenis plastik yang dapat diurai, PLA memiliki potensi penggunaan yang sangat tinggi karena sifat PLA yang lebih baik daripada plastik lainnya (Bhatia *et al.*, 2007; Nampoothiri *et al.*, 2010; Ouchi & Ohya, 2003; Qi *et al.*, 2017; R. Wang *et al.*, 2009).

1.1.2. Polylactic Acid (PLA)

Polylactic acid (PLA) atau *polylactide* adalah *polyester* alifatik linear yang dibuat dari proses polikondensasi asam laktat, polimerisasi ionik laktida, dan polimerisasi *ring-opening* (Shah *et al.*, 2008). Dari ketiga metode tersebut, metode polimerisasi *ring-opening* laktida adalah metode yang sering digunakan dalam proses pembuatan PLA. Terdapat 2 jenis asam laktat yaitu *L-lactic acid* dan *D-lactic acid*. Monomer asam laktat penyusun PLA akan menentukan jenis polimer PLA yang terbentuk. Terdapat 3 macam bentuk polimer PLA yang dapat terbentuk ketika membuat PLA dari laktida, *LL-lactide* dari dua *L-lactate*, *DD-lactide* dari dua *D-lactate*, dan *DL-lactide* atau *meso-lactide* dari kombinasi satu *L-lactate* dan satu *D-lactate* (Qi *et al.*, 2017). Sehingga, terdapat 3 macam stereokimia PLA dengan penyusun yang berbeda-beda, yaitu *Poly (L-lactide)* (PLLA), *poly (DL-lactide)* (PDLLA), *poly (D-lactide)* (PDLA) (Qi *et al.*, 2017). PLA dalam kondisi padat dapat bersifat amorf, semi kristal, dan kristal tergantung dari komposisi monomernya. Polimer semi kristal memiliki daerah amorf dan kristal. PLA bersifat semi kristal ketika kandungan *d-isomer* dalam polimer kurang dari 6%. PLA bersifat amorf ketika kandungan *d-isomer* dalam polimer lebih dari 6%. Homopolimer yang terdiri dari *L-isomer* akan bersifat kristal (Karamanlioglu *et al.*, 2017)

Asam laktat yang digunakan sebagai bahan pembuatan PLA dapat diproduksi dari proses fermentasi jagung, kentang, tebu, dan (John *et al.*, 2008; Murariu & Dubois, 2016; Süfer, 2017). PLA memiliki sifat nontoksik, dapat dikomposkan, biodegradable, biocompatible, bioabsorbable, transparan, serta memiliki kemampuan *modulus* dan mekanis yang tinggi (F. J. Li *et al.*, 2016; Süfer, 2017; Zhou *et al.*, 2016) Dalam industri pangan, PLA digunakan sebagai bahan *cup* atau gelas plastik, pembungkus makanan, botol plastik, *overwrap*, dan *blister pack*. PLA banyak digunakan dalam industri pangan karena PLA adalah bahan yang termasuk dalam kategori *Generally Recognized as Safe* (GRAS),

sehingga kontak langsung antar PLA dengan bahan pangan dianggap aman (Süfer, 2017). Selain itu, PLA juga dapat diserap dengan aman oleh tubuh manusia sehingga PLA juga digunakan secara luas dalam dunia medis (Premraj & Doble, 2005).

1.1.3. PLA *Biodegradation*

Limbah plastik dapat diolah dengan cara ditimbun, dibakar, dan didaur ulang. Akan tetapi, pengolahan plastik yang tidak tepat dapat menimbulkan berbagai masalah seperti munculnya *persistent organic pollutants* (POPs), akibat pembakaran PVC yang menimbulkan *furan* dan *dioxin* (Jayasekara *et al.*, 2005; Shah *et al.*, 2008). Salah satu alternatif pengolahan plastik yang tidak menimbulkan POPs adalah dengan metode degradasi. Pada penguraian PLA, proses utama yang terjadi adalah pemotongan ikatan ester pada PLA. Selain itu, penguraian PLA dapat terjadi akibat efek dari banyak faktor seperti hidrolisis, enzymolisis, oksidasi, fotodegradasi, termolisis, dan biodegradasi (Nampoothiri *et al.*, 2010; Qi *et al.*, 2017). *Biodegradability* plastik bergantung kepada karakteristiknya. Faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan *biodegradability* plastik antara lain adalah struktur kimia, berat molekul, elastisitas, struktur polimer, luas permukaan, dan struktur kristal dari polimer. Umumnya, *biodegradabilitas* polimer berkurang seiring dengan bertambahnya berat molekul polimer. Selain itu, morfologi polimer juga berpengaruh terhadap *biodegradability* polimer karena enzim akan lebih mudah menyerang daerah polimer yang amorf. Hal ini dikarenakan molekul pada daerah polimer yang amorf lebih longgar sehingga lebih mudah mengalami pemutusan rantai polimer (Saini, 1998).

Biodegradasi adalah proses penguraian menggunakan mikroorganisme. Dalam proses ini, mikroorganisme memiliki peran penting sebagai produsen enzim yang akan memecah ikatan PLA lalu menggunakannya sebagai sumber energi utama untuk bertahan hidup. Proses biodegradasi PLA dimulai dengan ekskresi enzim ekstraselular *depolymerase* oleh bakteri. Kemudian enzim *depolymerase* akan menyerang ikatan ester intramolekular pada PLA, sehingga terbentuklah oligomer, dimer, dan monomer dari PLA. Kemudian senyawa dengan berat molekular yang rendah akan diserap oleh mikroorganisme dan mengalami proses dekomposisi menjadi karbon dioksida, air, atau metana oleh enzim interselular (Qi *et al.*, 2017)

Pada lingkungan alami, PLA merupakan bahan yang sulit mengalami degradasi dibanding dengan poliester biodegradable lainnya (Qi *et al.*, 2017; Tokiwa & Calabia, 2006). Percobaan penguburan PLA dalam tanah menunjukkan bahwa dibutuhkan waktu yang lama bagi PLA untuk mulai terurai (Ohkita & Lee, 2006; Qi *et al.*, 2017). Dalam percobaan penguburan dalam tanah, sampel PLA tidak siap terurai walau telah dikubur selama 20 bulan. Hal ini dikarenakan mikroorganisme pengurai PLA tersebar secara terbatas di tanah (Tokiwa & Jarerat, 2004). Sehingga penelitian tentang isolat murni mikroorganisme banyak dilakukan. Kelompok mikroorganisme yang telah teridentifikasi mampu mengurai PLA antara lain adalah *actinomycetes*, bakteri, dan kapang (Qi *et al.*, 2017)

Pengamatan penguraian PLA dapat dilakukan dengan beberapa metode. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah metode yang digunakan untuk mengamati struktur dan ikatan kimia dari suatu bahan pada skala mikroskopis. SEM memiliki kelebihan yakni dapat memproyeksi topografi gambar 3 dimensi secara detil melalui berbagai macam sensor yang digunakan. Kelemahannya adalah harga alat dan operasionalnya yang mahal serta ukuran alat yang besar (Singh, 2016). *Atomic force microscopy* (AFM) adalah metode lain yang dapat digunakan untuk menggambarkan permukaan dari suatu bahan termasuk polimer, keramik, komposit, dan kaca. Berbeda dari mikroskop elektron yang hanya dapat memberi proyeksi atau gambaran 2 dimensi, AFM dapat memproyeksikan profil permukaan dalam 3 dimensi secara nyata. Dibandingkan dengan SEM, AFM dapat menghasilkan gambar lebih jelas daripada SEM, tetapi kelemahannya adalah AFM dapat memproyeksikan daerah maksimal dalam satuan mikrometer dengan luas daerah *scan* maksimal 150 x 150 mikrometer, sedangkan SEM dapat memproyeksikan daerah dalam milimeter dengan kedalaman daerah juga dalam milimeter (Sinha Ray, 2013). *Thermogravimetri* (TGA) adalah metode yang digunakan untuk mengukur stabilitas termal suatu bahan, termasuk polimer. Melalui metode ini, perubahan massa dalam bahan diukur bersamaan dengan peningkatan suhu. Melalui metode ini, *moisture* dan *volatile content* dari bahan juga dapat diukur (Ebnesajjad, 2014). Kalorimetri adalah metode yang digunakan untuk mengukur karakteristik termal suatu bahan. *Differential Scanning Calorimetries* (DSC) adalah alat yang digunakan untuk menganalisa temperatur yang menentukan suhu dan aliran panas dari perubahan bahan sebagai fungsi dari waktu dan

suhu (Gilll *et al.*, 2010). *Fourier Transform Infra-red* (FTIR) spektrofotometri adalah metode yang digunakan untuk menganalisa ikatan molekular bahan melalui pembacaan posisi dari pita absorpsi inframerah sebagai panjang gelombang (Mohamed *et al.*, 2017).

1.1.4. Faktor Penguraian PLA

Faktor yang mempengaruhi penguraian PLA dapat dibagi menjadi dua yakni faktor lingkungan dan karakteristik polimer. Karakteristik polimer PLA yang dapat mempengaruhi penguraian antara lain berat molekular, kemurnian, kristalinitas, suhu *glass transition* dan *melting point*. Faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi adalah suhu, pH, kelembaban, dan enzim yang dihasilkan mikroorganisme. Kelembaban, suhu, dan pH yang optimal akan memberi dampak positif terhadap kecepatan penguraian PLA. Enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme juga dapat berguna sebagai katalis dari proses penguraian polimer (Ahmed *et al.*, 2018). Dalam penelitian tentang PLA, berat molekul dari plastik PLA selalu dicantumkan. Hal ini dikarenakan berat molekul polimer akan memiliki pengaruh terhadap karakteristik dari polimer tersebut (Perego *et al.*, 1996). Berat molekul polimer adalah total berat atom yang terdapat dari seluruh molekul penyusun polimer. Berat molekul polimer sendiri mengindikasikan rata-rata panjang dari polimer. Semua molekul penyusun polimer memiliki berat molekul yang berbeda-beda. Terdapat 2 cara untuk menghitung berat molekul polimer. Cara yang pertama adalah menghitung M_n atau *number-average molecular weight*, cara yang kedua adalah menghitung M_w atau *weight-average molecular weight*. Berikut ini adalah rumus M_n dan M_w .

$$M_n = \frac{\sum iN_i M_i}{\sum iN_i} \quad M_w = \frac{\sum iN_i M_i^2}{\sum iN_i}$$

Dimana i adalah jumlah molekul penyusun dalam polimer, N_i adalah jumlah molekul yang memiliki berat molekul M_i . Rasio $M_w : M_n$ disebut *molar mass dispersity index* atau *polydispersity index* (PDI). Jika semua molekul penyusun polimer memiliki ukuran yang seragam, maka nilai M_w dan M_n adalah sama, sehingga PDI akan menunjukkan nilai 1. Semakin besar nilai PDI, semakin tidak merata persebaran berat molekul suatu polimer. Persebaran berat molekul polimer juga memiliki dampak terhadap karakteristik polimer tersebut (Mckeen, 2013; Rogosic *et al.*, 1996; Viéville *et al.*, 2011). PLA dengan berat molekul rendah ($M_w < 100.000$ D) memiliki karakteristik tekstur yang rapuh dan tidak

memiliki transparansi yang bagus serta lebih mudah mengalami penguraian. Sedangkan PLA dengan berat molekul tinggi karakteristik tekstur yang kuat, transparan serta lebih tahan terhadap penguraian. Proses hidrolisis pada bagian PLA yang kristal terjadi lebih lama daripada bagian amorf karena air lebih mudah diserap ke dalam bagian amorf. Dalam penguraian PLA, mikroorganisme memiliki peran penting sebagai penghasil enzim yang mampu mengurai secara langsung PLA dengan berat molekular yang tinggi (Karamanlioglu *et al.*, 2017). Penguraian PLA terjadi melewati 2 tahapan proses yakni abiotik dan biotik. Dalam proses penguraian PLA, proses yang pertama terjadi adalah proses penguraian secara abiotik diikuti dengan proses penguraian secara biotik. Penguraian PLA secara abiotik terjadi melalui hidrolisis rantai PLA secara kimiawi, kemudian diikuti dengan penguraian PLA secara biotik melalui mikroorganisme yang mengurai polimer yang telah dipecah menjadi biomassa, air, dan karbon dioksida dalam kondisi aerobik atau metana, hidrokarbon, dan biomassa dalam kondisi anaerobik (Karamanlioglu *et al.*, 2017)

1.1.5. Fokus Review

Review literatur lain tentang PLA lebih membahas pokok permasalahan bahwa apakah suatu mikroorganisme bisa mengurai PLA dan memberikan kompilasi mikroorganisme yang dapat mengurai PLA. Dalam review ini, penulis ingin melihat dari sudut pandang yang jarang digunakan, yaitu melalui kemampuan masing-masing mikroorganisme yang telah teridentifikasi dapat mengurai PLA. Kemudian, mengumpulkan dan membandingkan kemampuan antar suatu mikroorganisme dengan lainnya dengan melihat berbagai macam aspek dari metode yang digunakan seperti sampel yang digunakan, asal mikroorganisme, dan lainnya supaya dapat dilihat mikroorganisme dan metode manakah yang dapat mengurai dengan efisien.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses penguraian PLA oleh mikroorganisme, mengetahui faktor yang mempengaruhi kerja mikroorganisme dalam penguraian PLA, serta membandingkan metode penguraian PLA untuk menemukan metode penguraian PLA yang paling optimal.