

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan dan penumpukan sampah menjadi masalah global dan masalah lingkungan yang semakin serius. Beberapa bahan organik tertentu sulit didegradasi dalam kurun waktu cepat secara alami, contohnya plastik yang menjadi barang yang paling sering digunakan untuk keperluan sehari-hari. Kemudahan dalam penggunaan plastik telah banyak menjadi pengganti bahan lain seperti kayu, logam dan kaca.

Plastik biasanya digunakan sebagai bahan baku suatu produk dan juga sebagai pengemas berbagai produk sehari-hari. Plastik yang sering digunakan merupakan polimer sintetik, memiliki sifat fisik yang kuat, tidak mudah rapuh dan stabil untuk digunakan. Namun, ada beberapa kelemahan polimer sintetik antara lain adalah sifatnya yang tidak tahan panas dan berpotensi menyebabkan kontaminasi melalui transmisi monomernya ke produk yang dikemas (Coniwanti *et al.*, 2014).

Beberapa jenis plastik diproduksi dengan bentuk, struktur, daya tahan yang berbeda-beda, seperti plastik nilon, polistirena, polipropilena, polikarbonat, poliuretan, polietilena, politetrafluoroetilena dan polivinil klorida. Menurut data Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang tahun 2018, sampah plastik mendominasi sebesar 18,18% limbah sampah dari keseluruhan jumlah sampah yang ada di tempat pembuangan akhir di Kabupaten Semarang. Limbah plastik yang terus bertambah setiap tahunnya akan sulit terurai dan akan membutuhkan lahan lebih banyak lagi untuk menampungnya. Polimer memiliki sifat yang sangat stabil sehingga plastik tidak dapat didegradasi dalam waktu yang singkat secara alami dan berdampak pada peningkatan jumlah plastik yang terus terakumulasi di lingkungan menyebabkan limbah plastik yang dibuang membutuhkan waktu yang sangat lama untuk degradasi (Shimao, 2001).

Polietilena (PE) adalah salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti kantong plastik yang terbuat dari jenis *low density polyethylene* (LDPE). Berbagai macam jenis plastik sintetik yang diproduksi di dunia,

polietena mencapai sekitar 64% dari keseluruhan produksi plastik (Sangale *et al.*, 2012). Pada tahun 2015, keseluruhan jumlah produksi plastik jenis LDPE di dunia mencapai 64 juta ton/tahun (Geyer *et al.*, 2017). LDPE merupakan salah satu jenis plastik sintetik yang bersifat *non-biodegradable* atau tidak mudah terdegradasi oleh mikroorganisme, sehingga menyebabkan masalah lingkungan. Plastik polietilena memiliki sifat hidrofobik dan tidak mudah bereaksi secara kimia sehingga sulit untuk terurai. Plastik dapat diproduksi menjadi beragam jenis tetapi tidak semua mikroba memiliki kemampuan untuk mendegradasi semua jenis plastik.

Pengolahan limbah plastik yang paling banyak digunakan saat ini adalah dengan cara daur ulang. Beberapa cara daur ulang yang dilakukan adalah pelelehan, pencetakan plastik dan perajangan plastik. Sisa plastik yang tidak didaur ulang biasanya akan dibiarkan tertumpuk di tanah dan banyak yang dibuang ke dalam laut. Pengelolaan limbah plastik lainnya dapat dilakukan dengan cara penimbunan dan pembakaran. Namun, plastik yang tertimbun dalam tanah akan mempengaruhi kualitas air tanah serta dapat menyebabkan mineral-mineral dalam tanah berkurang sehingga lahan menjadi tidak subur. Sedangkan plastik yang dibakar akan menghasilkan asap yang mengandung HCN dan CO₂ yang berbahaya sehingga dapat meningkatkan pemanasan global (Purwaningrum, 2016). Berdasarkan data yang dikumpulkan oleh *Dives Clean Action* dengan melakukan *sampling* sampah di bawah laut, sepanjang tahun 2020 rata-rata terdapat 13,59% sampah plastik daur ulang yang dibuang di perairan laut sekitar Pulau Pramuka. Limbah sampah plastik yang dibuang ke laut dapat berdampak pada keseimbangan ekosistem laut yang dapat menyebabkan kematian bagi biota laut.

Pemerintah telah mencoba beberapa upaya untuk menanggulangi permasalahan limbah plastik, salah satunya adalah pendekatan metode secara biologis. Metode biologis yang dilakukan adalah biodegradasi pada plastik. Mikroba pengurai plastik dapat memanfaatkan polimer sebagai substrat pertumbuhannya selama biodegradasi berlangsung (Sangale *et al.*, 2012). Saat degradasi berlangsung, mikroorganisme dapat berperan melakukan dekomposisi material-material. Metode seperti biodegradasi menggunakan mikroorganisme memiliki kelebihan dapat meningkatkan laju degradasi tanpa merusak lingkungan sekitar (Asmita *et al.*, 2015).

Salah satu lokasi yang umum untuk mendapatkan mikroorganisme pendegradasi plastik adalah Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan bakteri *indigenus* dari tempat pembuangan akhir, seperti bakteri tanah *Acinetobacter* sp sebagai pendegradasi polietilen (Ainiyah & Shovitri, 2014). Mikroorganisme sangat adaptif terhadap lingkungan dan mengeluarkan endoenzim dan eksoenzim yang mendegradasi substrat menjadi komponen yang lebih sederhana. Komponen tersebut dimanfaatkan sebagai sumber karbon dan energi oleh mikroorganisme.

Metode penyinaran dengan sinar UV A pada mikroorganisme dapat meningkatkan kemampuan mikroorganisme untuk dapat mengubah struktur sel saat melakukan replikasi kembali sehingga berpotensi dapat menyebabkan mutasi. Hal tersebut dapat memengaruhi pertumbuhan dan kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi plastik. Sinar UV merupakan mutagen yang efektif untuk mempengaruhi kerusakan struktur sel dan kemampuan replikasi pada mikroorganisme. Menurut penelitian Radha *et al.* (2012), penggunaan sinar UV dengan gelombang yang panjang dapat merusak struktur sel seperti merubah struktur DNA tanaman sehingga dapat menyebabkan mutasi.

Pemilihan lokasi tempat pembuangan akhir Jatibarang Semarang untuk mendapatkan mikroorganisme pendegradasi plastik dikarenakan populasi mikroorganisme TPA Jatibarang memiliki kemungkinan paling besar bahwa telah beradaptasi dengan sumber karbon berupa plastik. Hal ini juga dikaitkan dengan banyak ditemukan plastik yang sudah sangat lama terkubur di tanah disekitar lokasi TPA. Sejauh ini penelitian mengenai isolat bakteri dari tempat pembuangan akhir (TPA) Jatibarang Semarang sebagai agen biodegradasi plastik LDPE yang disinari UV A masih belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan bakteri tanah terhadap radiasi sinar UV A yang memiliki kemampuan mendegradasi plastik LDPE, dan melihat pengaruh penggunaan sinar UV A terhadap efektivitas bakteri saat proses penguraian plastik LDPE.

1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Plastik

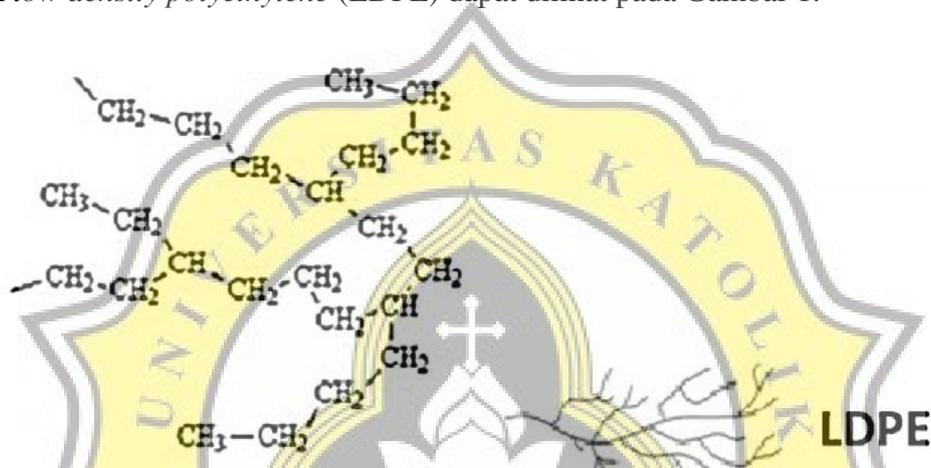
Plastik adalah suatu polimer yang mempunyai sifat yang kuat, tidak rapuh dan tahan air. Polimer merupakan suatu bahan yang terdiri atas unit molekul yang disebut monomer. Jika monomernya sejenis maka disebut homopolimer, dan jika monomernya berbeda akan menghasilkan kopolimer. Plastik yang pertama kali dibuat secara komersial adalah nitroselulosa. Material plastik telah berkembang pesat dan sekarang mempunyai peranan yang sangat penting di bidang elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, *furniture*, konstruksi, kemasan kosmetik, mainan anak - anak dan produk - produk industri lainnya.

Sifat dari plastik sintesis adalah stabil dan memiliki struktur yang kuat sehingga susah didegradasi dan terakumulasi di lingkungan secara alami. Beberapa jenis bahan polimer dapat didegradasi secara alami oleh mikroorganisme tertentu tetapi ada juga yang bersifat *non-degradable*. Jenis plastik *non-degradable* yang paling sering ditemukan adalah Polyethylene (LDPE, HDPE and LLDPE), Polyethylene Terephthalate (PET), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), Polybutylene Terephthalate (PBT), Polyurethane (PUR), Polyvinyl Chloride (PVC) dan nylons (Bhardwaj et al., 2012).

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah plastik yang dapat dicetak berulang-ulang dengan adanya panas. Yang termasuk plastik *thermoplast* antara lain: Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Stirena Akrlonitril (SAN), nylon, Polyethylene Terephthalate (PET), Polybutylene Terephthalate (PBT), Polyoxymethylene (POM) dan Polycarbonate (PC). Sedangkan plastik *thermoset* adalah plastik yang tidak dapat dicetak kembali karena bangun polimernya berbentuk jaringan tiga dimensi. Yang termasuk plastik *thermoset* adalah Polyurethane (PU), Urea Formaldehyde (UF), Melamine Formaldehyde (MF), polyester dan epoksi. Plastik dapat mengalami biodegradasi karena polimer yang terhidrolisis oleh enzim dan dapat rusak secara kimiawi.

1.2.2. *Low Density Polyethylene (LDPE)*

Etilena merupakan monomer paling sederhana yang dapat berpolimerisasi. Proses pembentukan melalui polimerisasi adisi dan inisiasi radikal-bebas menggunakan tekanan tinggi sekitar (1000-3000 atm) dan suhu tinggi (300-500°C), kemudian senyawa ini membentuk polietilena. *Low density polyethylene (LDPE)* merupakan jenis plastik yang rantai sampingnya sulit terbentuk dikarenakan tidak beraturan sehingga menghasilkan kerapatan rendah sekitar ($<0,94 \text{ g cm}^3$) dibandingkan polietilena linier sempurna. Struktur molekul *low density polyethylene (LDPE)* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *Low Density Polyethylene* (Sen & Raut, 2015)

Sifat yang memiliki tekstur kuat, fleksibel, dapat ditembus cahaya dan permukaan yang agak berlemak merupakan karakteristik plastik LDPE. Plastik jenis ini resisten terhadap senyawa kimia jika di bawah suhu 60°C , memiliki sifat proteksi terhadap uap air yang baik tetapi lemah terhadap gas-gas yang lain seperti oksigen (Karuniastuti, 2013). LDPE merupakan salah satu plastik yang dapat didaur ulang dan digunakan untuk barang dengan fleksibilitas yang baik tetapi kuat. Beberapa produk yang dihasilkan menggunakan plastik jenis LDPE adalah tempat makanan, botol dengan tekstur yang lunak dan plastik kemasan. Produk dari bahan jenis LDPE tidak mudah dihancurkan tetapi memiliki *grade* yang baik jika digunakan sebagai wadah menyimpan makanan.

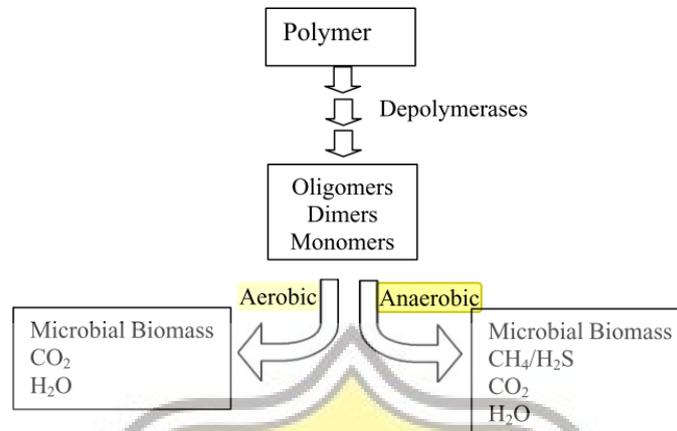
Plastik LDPE dapat aman digunakan karena sifatnya yang sulit bereaksi secara kimiawi dengan makanan atau minuman yang dikemas. LDPE dapat menjadi pilihan yang bagus bagi pengusaha bidang industri karena harganya yang lumayan terjangkau bagi masyarakat dengan kualitas ketahanan yang baik.

1.2.3. Degradasi Plastik

Degradasi plastik adalah pemecahan molekul plastik dari rantai yang kompleks menjadi lebih pendek. Proses degradasi dapat terjadi karena adanya panas, sinar matahari dan air. Proses degradasi adalah modifikasi atau mengubah sifat polimer dengan cara menguraikan ikatan rantai utama dan mengurangi berat molekul. Contohnya adalah polisakarida selulosa yang diurai menjadi monosakrida (glukosa). Pada saat proses degradasi terjadi, berat molekul, komposisi kimia, fleksibilitas ikatan dan formasi ikatan akan berubah. Proses degradasi polimer dapat dipengaruhi beberapa faktor, seperti panas, sinar matahari, faktor alam lainnya dan umur (Pudjiastuti *et al.*, 2012). Degradasi yang terjadi pada polimer pada dasarnya berkaitan dengan terjadinya perubahan sifat karena ikatan rantai dari makromolekul. Pada molekul polimer linear, terjadi reaksi yang mengurangi panjang rantai atau massa molekulnya.

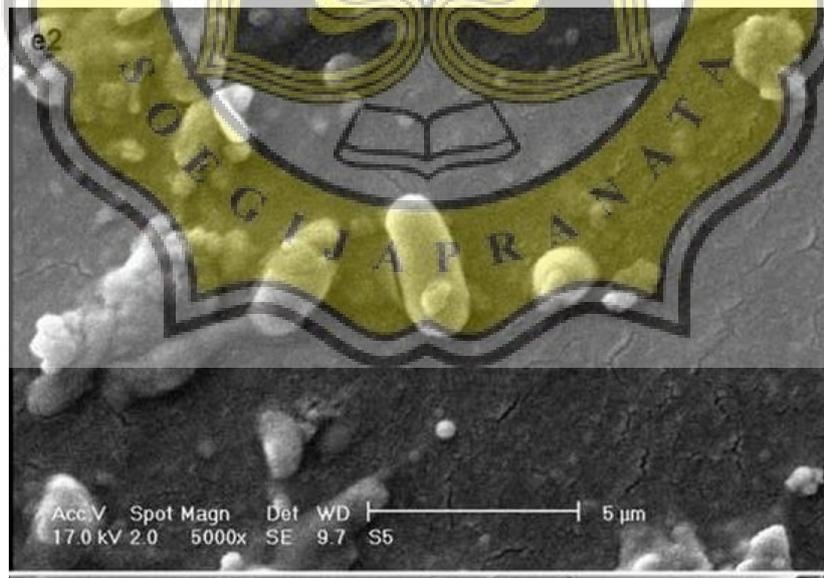
Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses degradasi adalah kelembaban, pH, struktur kimia plastik, suhu, ketersediaan oksigen dan nutrisi untuk agen pendegradasi. Degradasi plastik dapat berlangsung pada suhu optimal yaitu 20 - 40°C. Kondisi pH dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri karena beberapa jenis bakteri dapat bertahan di kondisi pH basa dan pH asam (Sangale *et al.*, 2012). Plastik menjadi sumber karbon yang digunakan oleh agen pendegradasi (mikroorganisme) dalam metabolisme dan pertumbuhan selama degradasi terjadi. Biodegradasi adalah metode degradasi yang menggunakan mikroorganisme untuk mengurai plastik. Biodegradasi terbagi menjadi 2 jenis yaitu secara aerobik dan anaerobik. Proses biodegradasi secara aerobik membutuhkan O₂ sedangkan pada proses anaerobik tidak membutuhkan O₂. Proses aerobik menghasilkan lebih banyak energi dan mampu mendukung populasi mikroorganisme yang lebih besar dibandingkan secara anaerobik. Hal ini karena secara termodinamika O₂ adalah akseptor elektron yang lebih efisien daripada CO₂ dan SO₄²⁻

(Gu, 2003). Mekanisme biodegradasi polimer secara aerob dan anaerob dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Biodegradasi Polimer Secara Aerob dan Anaerob (Gu, 2003)

Proses degradasi diawali dengan pembentukan koloni bakteri pada permukaan plastik yang disebut *biofilm*. Proses melekatnya bakteri pada permukaan plastik sehingga terbentuk *biofilm* menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penggambaran SEM dari Permukaan Plastik (Esmaeili *et al.*, 2013)

1.2.4. Metode Biodegradasi

Penggunaan plastik yang meningkat setiap harinya membuat jumlah plastik yang terurai tidak sebanding dengan plastik yang menumpuk di tempat pembuangan akhir, sehingga salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengolah limbah plastik adalah dengan biodegradasi. Plastik jenis LDPE dan plastik sejenisnya yang dibuat dari minyak bumi memiliki nilai degradabilitas yang rendah sehingga sulit didegradasi.

Biodegradasi merupakan suatu proses dimana mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mendegradasi atau memecah polimer alam seperti selulosa dan lignin maupun polimer sintetik seperti polistirena dan polietilena. Mekanisme awal yang terjadi pada biodegradasi adalah fotodegradasi yaitu mengubah gugus rantai utama dengan adanya gugus karbonil yang kemudian terjadi oksidasi karbon pada rantai polimer (Leja & Lewandowicz, 2010). Reaksi oksidasi karbon yang terjadi menghasilkan gugus fungsional, tetapi dengan berat molekul yang lebih rendah. Gugus fungsional yang dihasilkan dapat mengubah sifat hidrokarbon dari hidrofobik menjadi hidrofilik yang menyebabkan permukaan dari polimer memiliki kemampuan untuk menyerap air sehingga dapat mempermudah mikroorganisme untuk melakukan proses degradasi (Hadad *et al.*, 2005)

Sifat hidrofilik dari permukaan plastik dapat meningkatkan kemampuan mikroorganisme untuk menempel pada plastik kemudian bertumbuh dan membentuk koloni (Usha *et al.*, 2011). Mikroorganisme atau bakteri yang sudah tumbuh dan membentuk koloni di permukaan plastik akan memecah polimer kompleks dari plastik sehingga menjadi senyawa yang lebih sederhana. Pemecahan polimer ini dibantu oleh enzim intraseluler dan ekstraseluler depolimerase yang dapat mempermudah pengangkutan senyawa yang dipecah menjadi karbon dan sumber energi bagi mikroorganisme tersebut. Mikroorganisme akan mengabsorpsi plastik dan terjadi metabolisme. Produk yang dihasilkan pada metabolisme aerob adalah karbon dioksida dan air sedangkan produk yang dihasilkan pada metabolisme anaerob adalah metana, karbon dioksida dan air (Usha *et al.*, 2011).

Mekanisme biodegradasi dari plastik dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimianya. Struktur kimia, titik leleh, berat molekul, sifat hidrofilik dan hidrofobik, serta luas permukaan sangat mempengaruhi kecepatan proses degradasi (Tokiwa *et al.*, 2009). Menurut Nur (2019), biodegradasi dipengaruhi beberapa faktor penting dalam prosesnya, meliputi:

1. Suhu

Suhu yang meningkat dapat menyebabkan energi kinetik pada enzim dan molekul substrat meningkat. Suhu yang terlalu tinggi dapat mengganggu dan merusak kerja enzim sedangkan jika terlalu rendah kerja enzim akan terhambat.

2. pH

Selama proses degradasi dilakukan, pH adalah faktor yang memiliki peran penting untuk kinerja enzim. Enzim hanya bisa mengurai substrat pada pH tertentu untuk mendegradasi secara optimal.

3. Sumber nitrogen

Biasanya bahan yang berperan sebagai sumber nitrogen adalah urea, ammonium sulfat dan ammonium nitrat. Sumber nitrogen mempengaruhi cepat dan lambatnya biodegradasi suatu substrat.

4. Kelembaban

Kelembaban yang rendah dapat menyebabkan menurunnya kelarutan nutrisi di dalam substrat sedangkan kelembaban yang tinggi dapat mempengaruhi enzim yang akan dihasilkan selama proses biodegradasi.

5. Substrat

Komponen dan ukuran dari senyawa yang menyusun substrat menjadi faktor penting dalam proses biodegradasi. Ukuran substrat yang lebih kecil dan komponen senyawa yang lebih sederhana akan mempercepat degradasi. Sedangkan ukuran substrat yang lebih besar dan komponen senyawa yang lebih kompleks membutuhkan waktu degradasi yang lebih lama.

Beberapa genus mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi plastik dari jenis fungi dan bakteri di antaranya adalah *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas* sp., *Azotobacter*, *Ralstonia eutropha*, *Halomonas* sp., *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas* sp., *Azotobacter* sp., *Ralstonia eutropha* dan *Halomonas* sp. (Chee *et al.*, 2010). Selain itu *Bacillus brevis*, *Acidovorax delafieldii*, *Paenibacillus*

amylocticus, *Bacillus pumilus* (Hayase *et al.*, 2004), *Bordetella petrii*, *Pseudomonas aeruginosa* (Liu *et al.*, 2010), *Shewanella* sp. adalah contoh bakteri pendegradasi bioplastik (Sekiguchi *et al.*, 2011). Pada saat proses biodegradasi terjadi, mikroorganisme akan membuat koloni di permukaan plastik yang akan mengeluarkan eksoenzim yang dapat memecah polimer menjadi monomer - monomer. Monomer tersebut akan digunakan oleh mikroorganisme menjadi sumber metabolisme untuk pertumbuhan sehingga plastik menjadi terdegradasi.

Proses biodegradasi polimer oleh mikroba berhubungan dengan kemampuan mikroba untuk beradaptasi dengan substrat yang baru (Zusfahair *et al.*, 2007). Karbon merupakan sumber makanan untuk berbagai mikroba, untuk itu medium yang digunakan harus sesedikit mungkin mengandung karbon, sehingga bakteri dapat mengalami pertumbuhan. Pengamatan hasil biodegradasi ditentukan dengan menghitung persentase kehilangan bobot sesuai dengan variasi waktu yang ditentukan.

1.2.5. Metode Induksi Sinar Ultraviolet (UV)

Kegunaan dari radiasi sinar UV adalah untuk membentuk keragaman mikrobiologis dan fungsinya di ekosistem, atau dapat juga digunakan untuk mengembangkan kemampuan biokatalitik dari mikroorganisme untuk suatu tujuan tertentu. Radiasi sinar UV dapat dibagi menjadi tiga golongan yaitu UV A (320-400 nm), UV B (280-320 nm) dan UV C (10-280 nm) (Santos *et al.*, 2012).

Sinar ultraviolet (UV) yang digunakan untuk induksi bisa memberikan efek mutageniknya dengan cara menarik elektron yang ada di dalam molekul. Perlakuan sinar UV dapat menarik elektron yang ada pada molekul DNA sehingga membentuk ikatan ekstra antara molekul DNA dengan pirimidin yang berdekatan (Suribabu *et al.*, 2014). Pirimidin dimer dapat mengubah bentuk DNA dalam sel sehingga dapat menyebabkan masalah dalam replikasi sel dan menyebabkan mutasi pada perbaikan mekanisme sel. Pada *Streptomyces griseoaurantiacus*, induksi sinar UV dapat meningkatkan kemampuannya dalam menghasilkan β -glucosidase dan endoglucanase (Kumar, 2015).

Menurut *Santos et al.* (2012), sinar UV dengan panjang gelombang yang lebih pendek akan mampu membunuh dan mengurangi aktivitas dari mikroorganisme tersebut, sedangkan panjang gelombang yang lebih tinggi akan mempengaruhi kerusakan DNA dan menghasilkan susunan genetik yang baru sehingga mikroorganisme tersebut memiliki ketahanan yang baik terhadap kondisi ekstrim. Reaksi DNA terhadap UV A memiliki respon positif yang baik terhadap pertumbuhan generasi *reactive oxygen species* (ROS), karbonilasi protein dan oksidasi lemak *thiobarbituric reactive substances* (TBARS).



1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penggunaan sinar UV A dapat berdampak terhadap efektivitas isolat bakteri tanah yang diperoleh dari TPA Jatibarang, Semarang dalam menguraikan plastik *low density polyethylene* (LDPE) dan mengetahui persentase susut bobot plastik dari proses biodegradasi dengan bakteri kontrol dan bakteri perlakuan (penyinaran UV A).

