

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah merupakan masalah yang dihadapi seluruh dunia dari waktu ke waktu. Akumulasi sampah dapat menjadi bencana berskala global. Ancaman terjadinya penumpukan sampah akibat jumlah penduduk dunia semakin lama semakin meningkat, sehingga dapat menyebabkan meningkatnya jumlah sampah. Indonesia berada pada peringkat 4 di dunia dalam jumlah penduduk, hal ini sangat mempengaruhi jumlah sampah yang dihasilkan. Indonesia tercatat menghasilkan sampah 64 hingga 67 juta ton sampah pertahun. Salah satu penyumbang tingginya sampah yang dihasilkan di Indonesia adalah tempat pembuangan akhir (TPA) Jatibarang yang menghasilkan sampah hingga 310.250 Ton/tahun atau 850 ton/hari (Saptogiri, 2017). Berdasarkan Direktorat Pengelolaan Sampah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2017, komposisi sampah di Indonesia terdiri atas sampah organik (60%) dan sampah non-organik (40%). Plastik merupakan penyumbang terbesar dalam sampah non-organik sebesar 14% (KLHK, 2017).

Plastik merupakan bentuk polimer hidrokarbon rantai panjang yang terbentuk atas jutaan monomer yang saling berikatan dan sangat sulit diuraikan oleh mikroorganisme (Trisunaryanti, 2018 dalam Qodriyatun, 2018). Plastik banyak diolah menjadi berbagai alat yang diperlukan manusia. Hal ini dikarenakan bahan plastik mempunyai keunggulan, yaitu: ringan, mudah dibentuk, anti karat, tahan terhadap bahan kimia, dan isolator listrik yang baik (Tsakona & Maria Rucevska, 2020). Namun plastik merupakan bahan yang mudah terbakar sehingga berpotensi menyebabkan kebakaran. Asap dari material plastik yang terbakar sangat berbahaya karena mengandung gas-gas beracun seperti hidrogen sianida (HCN) dan karbon monoksida (CO). Maka penanganan sampah plastik memerlukan pembakaran yang sempurna sehingga tidak menghasilkan gas beracun. Plastik yang tertimbun di tanah dan tidak teruraikan oleh mikroorganisme akan menyebabkan kerusakan rantai makanan dalam tanah. Akibatnya dapat membunuh organisme pengurai dalam tanah seperti cacing karena berkurangnya O₂ dan mineral-mineral dalam tanah yang menjadi makanan dan tempat berlindung. Selain itu

Polychlorinated Biphenyls (PCB) yang tidak terurai meskipun dimakan oleh organisme atau tumbuhan akan menjadi rantai racun yang dapat berdampak pada manusia jika mengkonsumsi organisme atau tumbuhan yang mengkonsumsi PCB (Purwaningrum 2016 dalam Qodriyatun 2018).

Tim ilmuwan lintas bidang memprediksi pada tahun 2040 akan ada penambahan sampah plastik sebanyak 710 juta ton (Lau *et al.*, 2020). Hal ini dipicu karena kurangnya kepedulian masyarakat akan lingkungan dengan menggunakan alat dan bungkus makanan berbahan plastik sekali pakai. Plastik untuk penggunaan sehari-hari memang disarankan untuk satu kali penggunaan saja untuk menghindari bahaya seperti bahan penyusun plastik bermigrasi ke dalam pangan, namun hal itu mengakibatkan meningkatnya persentase sampah plastik di Indonesia (BPOM, 2016). Data KLHK menyebutkan bahwa Indonesia menghasilkan sampah kantong plastik sebanyak 10,95 juta lembar/tahun/100 gerai (Ekawati, 2016). Kantong plastik yang dihasilkan oleh suatu negara dapat menjadi sumber ancaman kesehatan dan keselamatan masyarakat, karena dapat mengakibatkan banjir yang disebabkan tersumbatnya saluran air. Oleh karena itu, beberapa negara membuat kebijakan khusus dalam penggunaan kantong plastik, seperti Indonesia yang telah melarang penggunaan kantong plastik sekali pakai pada pusat perbelanjaan, toko swalayan, dan pasar rakyat (Knoblauch *et al.*, 2018).

Produksi plastik secara global seperti plastik *high-density polyethylene* (HDPE) merupakan plastik dalam golongan *polyethylene* (PE) yang paling banyak dihasilkan oleh kota besar, salah satunya terdapat pada kota Semarang dengan persentase plastik berbahan HDPE sebesar 6% dari keseluruhan sampah yang berada dalam TPA Jatibarang Semarang (Tsakona & Rucevska, 2020; Handayani *et al.*, 2009). Pada umumnya Bahan HDPE digunakan untuk membuat produk yang memiliki kekuatan dan tahan akan bahan kimia seperti kantong plastik, ember, botol susu, botol shampo, jerigen. Plastik HDPE diproses dengan menggunakan sumber daya alam berupa bahan bakar fosil sebagai energi untuk proses manufaktur. Terdapat lebih dari 30 jenis plastik primer yang telah dibuat, 97-99% jenis plastik yang ada berasal dari bahan bakar fosil dan 1-3% berbasis tanaman (European Bioplastics, 2016).

Di Indonesia, salah satu kasus bahaya plastik yang tercatat adalah telur ayam dari Tropodo yang merupakan telur dengan konsentrasi kedua tertinggi mengandung dioksin (Arisandi *et al.*, 2019). Pada kasus Tropodo, ayam yang dilepaskan di luar kandang akan mencari makanan di tanah dekat dengan pabrik tahu yang menggunakan sampah plastik sebagai bahan bakar. Ayam akan mematak makanan dari tanah disekitarnya, lalu mencerna sejumlah tanah dalam pencernaannya sehingga menjadikan ayam tersebut sebagai sampel aktif dari keberadaan zat-zat kimia yang ada dalam tanah. Zat kimia tersebut merupakan *presistent organic pollutants* (POPs) yang akan larut dalam lemak dan akan terakumulasi dalam telurnya. Satu telur ayam diperkirakan mengandung dioksin (200 pg TEQ g⁻¹ lemak), yaitu 70 kali lipat lebih tinggi daripada *tolerable daily intake* (TDI) yang ditetapkan oleh otoritas keamanan makanan *European Food Safety Authority* (EFSA) (Arisandi *et al.*, 2019).

Jumlah sampah yang semakin lama semakin menumpuk, memerlukan suatu metode yang efektif untuk mengatasi sampah agar jumlahnya dapat berkurang. Penelitian tentang metode biodegradasi plastik banyak dilakukan. Tujuan dilakukan metode biodegradasi adalah untuk membentuk mikroorganisme yang aktif dan efektif dalam mendegradasi plastik HDPE. Bakteri tanah akan diisolasi sehingga mendapatkan kultur murni. Penggunaan bakteri yang diisolasi dari tanah tempat pembuangan sampah merupakan salah satu kriteria pemilihan bakteri yang cocok untuk mendegradasi plastik. Kriteria ini merupakan pendekatan klasik dalam studi biodegradasi, dimana bakteri yang digunakan merupakan bakteri dari lingkungan tanah yang terkontaminasi plastik *Polyethylene* dalam waktu bertahun-tahun (Nayak & Tiwari, 2011). Bakteri yang telah lama berada dalam tanah terkontaminasi PE tidak memerlukan penyesuaian untuk mendegradasi plastik jenis PE. Hal ini disebabkan karena bakteri sudah beradaptasi di dalam tanah sehingga terbiasa mendegradasi PE sebagai sumber karbon. Bakteri yang diambil dari tanah perlu diseleksi dan dipilih karena bercampur dengan bakteri tanah biasa, sehingga mendapatkan kultur murni yang memiliki potensi dan efektivitas paling tinggi untuk mengurai HDPE. Bakteri tersebut akan dimutasi dengan dipapar sinar *ultraviolet* (UV) untuk melihat perbandingan pengaruh pemancaran UV A pada isolat mikroorganime dalam kemampuannya mengurai plastik HDPE. Kemampuan metabolisme suatu bakteri dipengaruhi oleh genom bakteri tersebut, sehingga peningkatan performa degradasi bakteri dapat dilakukan dengan

mutasi induksi genom menggunakan sinar UV (Stanbury *et al.*, 2017). Penggunaan sinar UV A untuk memutasi bakteri secara induksi dipilih karena UV A memiliki gelombang tinggi (320-400 nm) yang stabil untuk mutasi bakteri, dibandingkan penggunaan gelombang rendah yang memiliki resiko membunuh bakteri lebih besar. Berdasarkan pada metode tersebut maka perlu melakukan uji degradasi plastik HDPE menggunakan bakteri yang sudah diperoleh Setiawan *et al.*, (2019). Isolat bakteri yang diperoleh dari tempat pembuangan akhir (TPA) Jatibarang Semarang dilakukan induksi menggunakan sinar UV A untuk mengetahui efektivitasnya dalam menguraikan plastik HDPE.

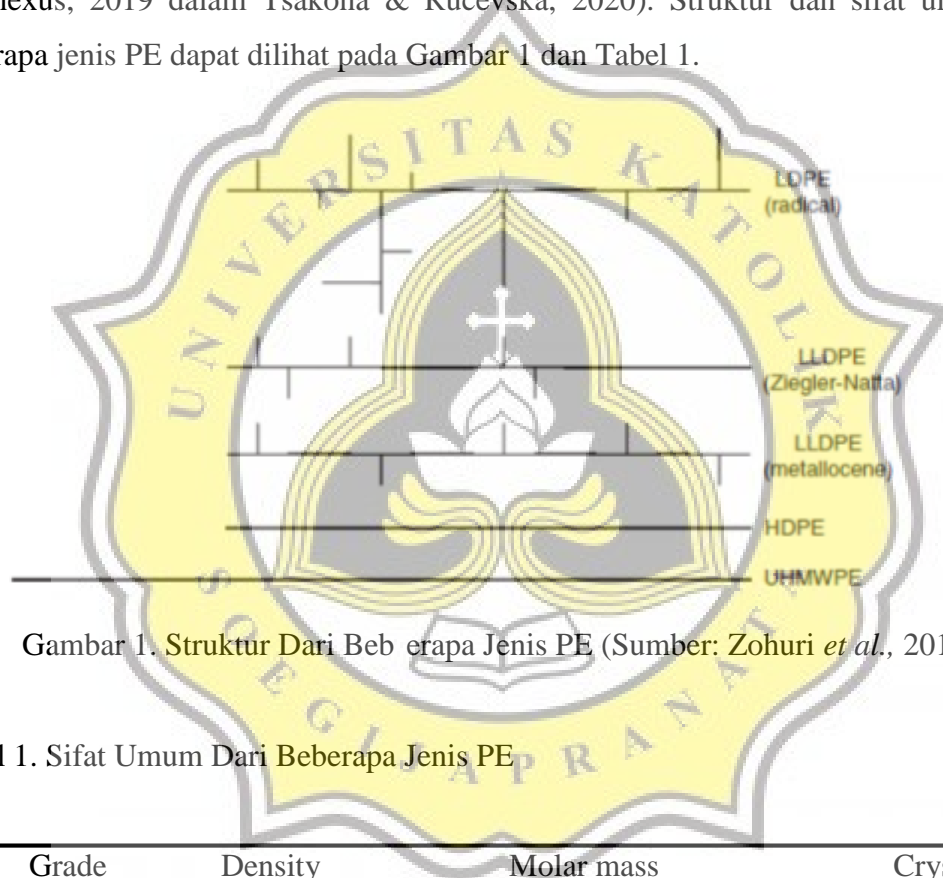
1.2. Tinjauan Pustaka

1.2.1. Plastik

Plastik adalah produk sintetis (buatan manusia) yang dibuat dari sumber daya bahan bakar fosil atau non-fosil (bio-plastik) yang terbuat dari sumber daya hayati terbarukan. Plastik berbahan fosil atau sering disebut plastik konvensional dibagi menjadi 2 kategori yaitu *Thermoplasts* dan *Thermosets* (Tsakona & Rucevska, 2020). *Thermoplasts* merupakan jenis plastik yang akan lunak saat dipanaskan dan mengeras saat ada proses pendinginan. Sifat plastik ini memungkinkan plastik *Thermoplasts* dicetak ulang dan didaur ulang tanpa mempengaruhi sifat fisik material. Contoh *Thermoplasts* adalah *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS) dan *polyvinyl chloride* (PVC). *Thermosets* merupakan plastik yang dibuat dengan cara dicetak sekali dan tidak bisa dilembutkan dan dibentuk kembali. Contoh plastik jenis ini adalah *phenolic resins*, *amino resins*, *polyester resins*, dan *polyurethanes* yang dapat digunakan untuk sektor yang memerlukan daya tahan dari panas tinggi seperti produk elektronik dan peralatan.

Plastik sangat sering digunakan oleh manusia karena memiliki kelebihan dibanding dengan material lain yaitu kuat, ringan, fleksibel, tahan karat, tidak mudah pecah, mudah dibentuk dan masih banyak keunggulan plastik dibanding material lainnya. Plastik menjadi pilihan utama untuk digunakan oleh industri yang berskala besar karena sifatnya mudah diubah bentuk sesuai yang diinginkan serta dan harga produksi yang relatif lebih murah dari bahan lainnya. Salah satu produksi yang menggunakan plastik adalah industri

dibidang makanan, plastik digunakan sebagai tempat atau kemasan makanan. Sebanyak 69% plastik yang digunakan di dunia adalah plastik jenis *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyvinyl chloride* (PVC), *polyurethane* (PUR) (Geyer, 2017). Plastik jenis *polyethylene* memiliki berbagai jenis yang dibedakan berdasarkan kepadatan dan percabangannya. Plastik struktur ikatan bercabang (*Low-density polyethylene* (LDPE)), ikatan lurus/linier (*high-density polyethylene* (HDPE) dan *linear low-density polyethylene* (LLDPE)), *Ultra-high-molecular-weight polyethylene* (UHMWPE). LDPE dan HDPE merupakan plastik jenis PE yang sering digunakan (Omnexus, 2019 dalam Tsakona & Rucevska, 2020). Struktur dan sifat umum dari beberapa jenis PE dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Struktur Dari Beberapa Jenis PE (Sumber: Zohuri *et al.*, 2012)

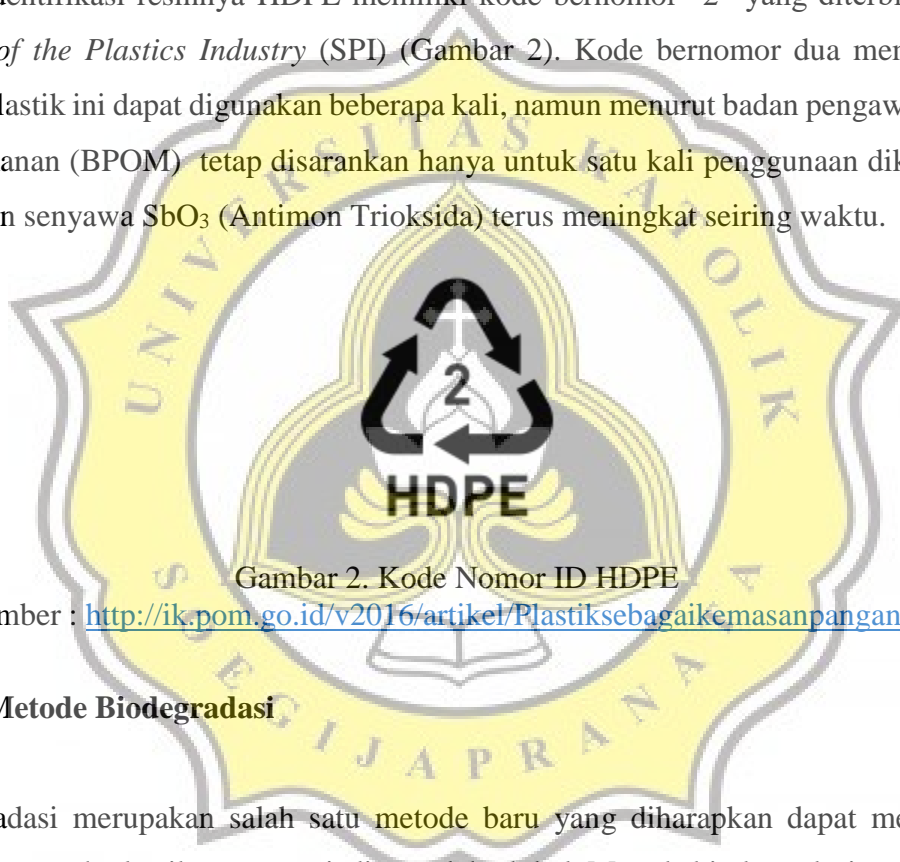
Tabel 1. Sifat Umum Dari Beberapa Jenis PE

Grade	Density (g cm ⁻³)	Molar mass g mol ⁻¹	Crystallinity (%)
HDPE	0,940-0,965	10 ³ -10 ⁷	55-95
LDPE	0,915-0,930	8,9 x 10 ⁴ -4,7 x 10 ⁵	30-55
LLDPE	0,90-0,94	5,0 x 10 ⁴ -5,0 x 10 ⁵	40-60
VLDPE	0,89-0,91	5,8 x 10 ⁴ -1,2 x 10 ⁵	25-40
ULDPE	~0,86		15
UHMWPE	0,93	>10 ⁶	≥50

Sumber: Zohuri *et al.*, 2012

1.2.2. High-Density Polyethylene (HDPE)

High-Density Polyethylene merupakan jenis plastik dengan rumus kimia $(C_2H_4)_n$. Plastik jenis ini terbentuk dari proses polimerisasi *ethylene* (CH_2) dengan ditambahkan berbagai metal dan beberapa katalis seperti *ZN catalysts*, *Phillips catalysts*, *metallocene catalysts*, dan *FI catalysts* (Zohuri *et al.*, 2012). HDPE memiliki beberapa keunggulan dibanding plastik lainnya seperti kuat, rapat, fleksibel dan ketahanan yang lebih baik terhadap berbagai jenis bahan kimia dikarenakan ikatan C – H dalam strukturnya (Selke, 2019). Untuk identifikasi resinnya HDPE memiliki kode bernomor “2” yang diterbitkan oleh *Society of the Plastics Industry* (SPI) (Gambar 2). Kode bernomor dua memiliki arti bahwa plastik ini dapat digunakan beberapa kali, namun menurut badan pengawasan obat dan makanan (BPOM) tetap disarankan hanya untuk satu kali penggunaan dikarenakan pelepasan senyawa SbO_3 (Antimon Trioksida) terus meningkat seiring waktu.



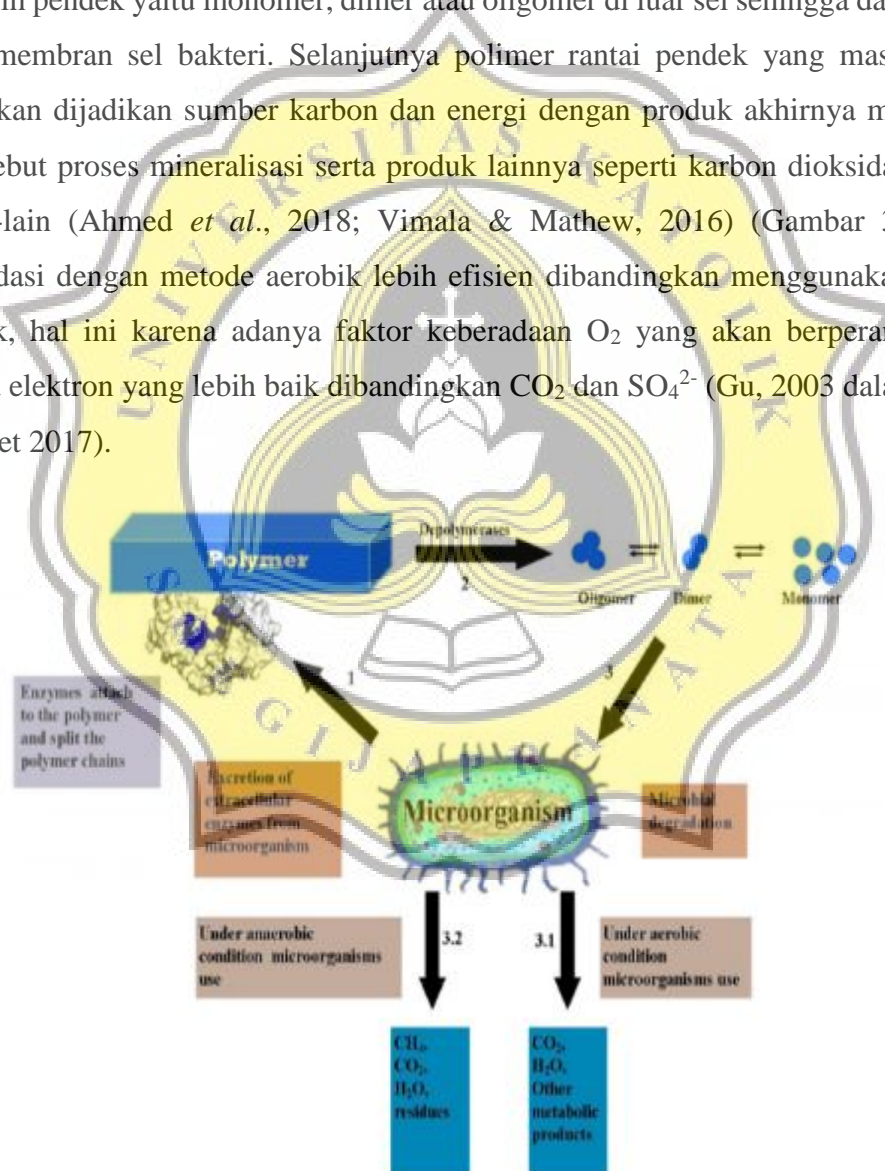
Gambar 2. Kode Nomor ID HDPE

(Sumber : <http://ik.pom.go.id/v2016/artikel/Plastiksebagaikemasanpangan.pdf>)

1.2.3. Metode Biodegradasi

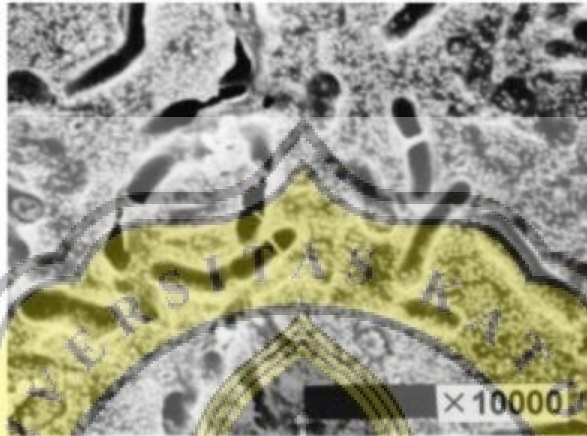
Biodegradasi merupakan salah satu metode baru yang diharapkan dapat mengurangi masalah sampah plastik yang menjadi masalah global. Metode biodegradasi memerlukan mikroorganisme untuk mendegradasi objek, sehingga perlu dilakukan isolasi bakteri spesifik pendegradasi plastik *polyethylene*. Uji biodegrasi dilakukan dengan cara menginkubasi polimer di dalam wadah yang berisi media untuk tumbuh dan isolat mikroorganisme. Mekanisme degradasi plastik oleh mikroorganisme dipacu oleh tidak adanya sumber karbon selain plastik, membuat bakteri harus melekat pada plastik untuk memulai proses biodegradasi. Karakteristik plastik yang tidak dapat larut dalam air (*hidrophobic*) membuat mikroorganisme pendegradasi yang bersifat larut dalam air

(*hydrophilic*) perlu mengeluarkan makromolekul biosurfaktan yang bersifat *amphiphilic* (*hydrophobic* dan *hydrophilic*). Biosurfaktan membantu bakteri melekat pada substrat polimer *hydrophobic*, sehingga dapat mendepolimerisasi polimer pada plastik. Banyaknya biosurfaktan yang dihasilkan oleh bakteri mempengaruhi kemampuan bakteri dalam menempel pada plastik/polimer. Proses depolimerisasi memerlukan enzim ekstraseluler dikarenakan ukuran dan kurangnya kelarutan dalam air pada bahan polimer yang menyebabkan bakteri tidak dapat langsung mendegradasinya. Enzim ekstra seluler berperan untuk mengkonversi atau mendegradasi polimer plastik yang kompleks menjadi rantai lebih pendek yaitu monomer, dimer atau oligomer di luar sel sehingga dapat masuk melalui membran sel bakteri. Selanjutnya polimer rantai pendek yang masuk dalam bakteri akan dijadikan sumber karbon dan energi dengan produk akhirnya menjadi air yang disebut proses mineralisasi serta produk lainnya seperti karbon dioksida, metana, dan lain-lain (Ahmed *et al.*, 2018; Vimala & Mathew, 2016) (Gambar 3). Proses biodegradasi dengan metode aerobik lebih efisien dibandingkan menggunakan metode anaerobik, hal ini karena adanya faktor keberadaan O_2 yang akan berperan menjadi penerima elektron yang lebih baik dibandingkan CO_2 dan SO_4^{2-} (Gu, 2003 dalam Pathak & Navneet 2017).

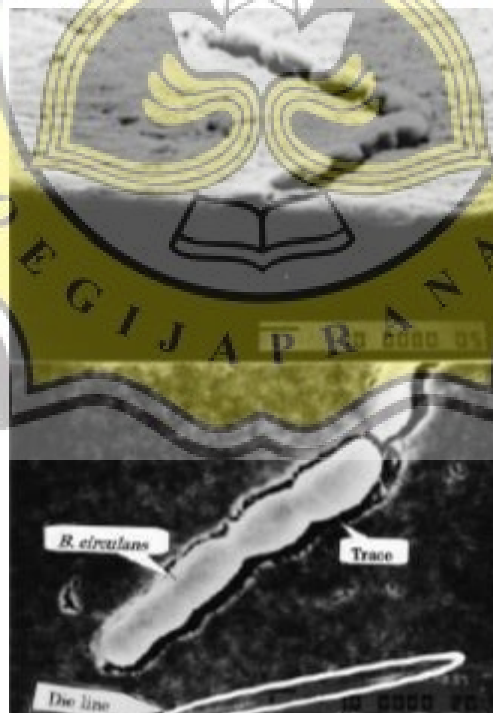


Gambar 3. Mekanisme biodegradasi plastik dalam kondisi aerobik dan anaerobik (Sumber: Ahmed *et al.*, 2018)

Proses melekatnya bakteri pada plastik sebelum bakteri mulai mendegradasi plastik telah diteliti oleh Watanabe *et al.*,(2008) (Gambar 4 dan 5). Pada Gambar 4 dan 5 dapat dilihat keberadaan koloni bakteri pendegradasi plastik pada permukaan plastik menggunakan *scanning electron microscope* dengan perbesaran X10000 dalam mode vakum tinggi. Hasil SEM menjadi petunjuk adanya proses pelekatan bakteri untuk mendegradasi plastik secara langsung.



Gambar 4. Gambar SEM dari Permukaan Plastik (Sumber: Watanabe *et al.*, 2008)



Gambar 5. Gambar SEM dari *Bacillus circulans* pada permukaan plastik (Sumber: Watanabe *et al.*, 2008)

Degradasi plastik secara alami membutuhkan waktu yang sangat lama. Hal ini dikarenakan sifat dari plastik yang tidak larut dalam air (*hidrophobic*), kurangnya gugus fungsi, dan berat molekulnya yang tinggi sehingga tidak bisa langsung didegradasi oleh mikroba. Penggunaan berbagai perlakuan atau metode dapat digunakan untuk mempercepat proses degradasi plastik, sehingga diharapkan dapat mengurangi jumlah sampah secara signifikan.

Awasthi *et al.*, (2017) menggunakan bakteri *Klebsiella pneumoniae* CH001 untuk mendegradasi HDPE dengan penambahan perlakuan menggunakan panas. Sebelum diinkubasi, plastik HDPE dioven selama 10 hari dalam suhu 70 °C untuk meningkatkan biodegradasi. Pada uji ini *Klebsiella pneumoniae* CH001 dapat mendegradasi plastik sebesar 18,4% selama 60 hari masa inkubasi.

Skariyachan *et al.*, (2017) menggunakan bakteri hasil isolasi dari kotoran sapi yang terkontaminasi oleh plastik untuk mendegradasi plastik HDPE. Pada tahap isolasi bakteri, didapatkan 4 isolat murni (A, B, C, D) yang kemudian akan dikombinasikan sehingga mendapatkan 11 kombinasi bakteri yang berbeda (Ab, Ac, Ad. Persen degradasi plastik HDPE tertinggi didapatkan pada kombinasi menggunakan gabungan keempat isolat murni (ABCD) dengan persen massa hilang sebesar 60%. Sedangkan pada penggunaan isolat bakteri secara individu (A/B/C/D) didapatkan persen degradasi sebesar 15,2-18,4 %. Pada penelitian Skariyachan dilakukan inkubasi selama 120 hari dengan diberi penambahan kondisi thermal dengan suhu 55 °C.

Balasubramanian *et al.*, (2014) menggunakan metode dengan cara menggabungkan beberapa perlakuan yaitu fisik, kimia, biologi untuk meningkatkan degradasi dari HDPE. Sebelum masa inkubasi, plastik diberi beberapa perlakuan terlebih dahulu yaitu panas 50 °C selama 72 jam, dipaparkan sinar UV 60 jam, direndam dalam senyawa KMnO₄/HCl selama 8 jam. Setelah itu, bakteri akan diinkubasi di media yang telah dioptimasi dengan ditambahkan *A. terreus* MF12 selama 30 hari. Nilai degradasi tertinggi yang didapatkan sebesar 20.8% pada bakteri dengan kode FT10.

1.2.4. Metode Induksi Sinar *Ultraviolet* (UV)

Induksi mutasi adalah perubahan genetik disebabkan oleh usaha manusia yang dilakukan untuk mendapatkan meningkatkan keragaman suatu spesies. Suatu makhluk hidup yang telah mengalami perubahan gen akibat dari mutasi genetik disebut dengan mutan (Sutapa & Kasmawan, 2016). Salah satu metode yang digunakan dalam mengubah suatu genetik makhluk hidup adalah induksi menggunakan sinar UV.

Spektrum dari sinar UV memiliki panjang gelombang 100-400 nm. Sinar UV dibagi menjadi sinar UV-A (λ 320-400 nm), sinar UV-B (λ 280-320 nm) dan sinar UV-C (λ 100-280 nm). Sinar UV dapat berasal dari alam ataupun buatan manusia. Sumber UV alam berasal dari radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan matahari. Radiasi matahari tersebut sebagian terserap oleh atom oksigen dan membentuk lapisan ozon sedangkan sebagian lainnya yang sampai ke bumi (terrestrial) intensitasnya lebih rendah meliputi UV dengan panjang gelombang 290-400 nm. Sumber UV buatan manusia ada 3 jenis yaitu *incandescent*, lampu neon, dan lampu UV (Alatas, 2001).

Sinar UV dapat digunakan untuk mengurangi aktivitas mikroorganisme, membunuh mikroorganisme atau bisa digunakan untuk meningkatkan kemampuan mikroorganisme. Fungsi dari sinar UV ditentukan oleh panjang gelombang yang digunakan. Panjang gelombang rendah akan membunuh bakteri sedangkan panjang gelombang yang tinggi akan memutasi mikroorganisme sehingga akan mengubah struktur DNA, protein, atau lemak pada mikroorganisme (Santos *et al.*, 2013). DNA memiliki reaksi yang sangat kuat terhadap aktivitas sinar UV A, ditunjukkan dengan pertumbuhan generasi *Reactive Oxygen Species* (ROS), oksidasi lemak (TBARS), dan karbonilasi protein (Santos *et al.*, 2013). Efek mutagenik yang diakibatkan sinar UV dikarenakan adanya penarikan elektron dalam molekul. *excitation* atau meningkatnya energi elektron dalam molekul DNA mengakibatkan terbentuknya ikatan ekstra antara pirimidin yang berdekatan (Suribabu *et al.*, 2014). Menurut Goodarzi (2016), mutasi pada mikroorganisme yang diinduksi dengan menggunakan penyinaran UV diketahui efektif untuk menyeleksi mikroorganisme dalam peningkatan produksi zat aktif secara biologis dan mampu meningkatkan aktivitasnya. Pirimidin dimer dapat mengubah bentuk dari DNA dalam sel

yang menyebabkan masalah selama replikasi, bahkan perbaikan mekanismenya dapat menyebabkan mutasi. Berdasarkan Witkin (1969), Tiga mekanisme perbaikan DNA pada *E.Coli* setelah terpapar sinar UV dapat meningkatkan kemampuan untuk bertahan hidup. Prinsip kerja tiga mekanisme tersebut adalah ketika DNA rusak akibat dari penyinaran UV, perbaikan DNA mulai bekerja dengan cara menghilangkan dimer pirimidin dalam DNA dan membentuk lesi kulit sekunder yang diinduksi oleh dimer pirimidin yang tidak diperbaiki.

1.2.5. Metode Perhitungan Bakteri

Pengukuran kekeruhan biomassa merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perhitungan jumlah sel. Karakteristik bakteri yang menyerap cahaya sebanding dengan volume total sel. Semakin banyak jumlah mikroba atau semakin besar ukurannya dalam biakan cair, hasil pengukuran kekeruhan akan meningkat begitupun sebaliknya. Spektrofotometer dan standar McFarland merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai kekeruhan suatu suspensi sel secara cepat. Nilai kekeruhan dapat juga disebut *optical density* (OD) yang merupakan absorpsi cahaya dengan panjang gelombang umumnya 520–700 nm. Pengukuran nilai *Optical Density* (OD) ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan bakteri. Menurut (Lestienne *et al.*, 2005). Panjang gelombang 520–700 nm digunakan karena sel bakteri pada umumnya lebih mudah menyerap pada panjang gelombang ini.

McFarland merupakan metode yang digunakan untuk membandingkan larutan berisi bakteri gram negatif dengan skala dari 0,5 hingga sepuluh, skala yang didapatkan akan menunjukkan konsentrasi bakteri per mL (Zapata & Ramirez, 2015). Nilai McFarland didapatkan ketika distorsi *background* hitam sama di larutan standard McFarland dan larutan suspensi bakteri (Zapata & Ramirez, 2015). Standard McFarland digunakan untuk menentukan perkiraan konsentrasi sel pada larutan BaCl₂ 1% dan H₂SO₄ 1% dengan satuan CFU/mL dan dirancang untuk memperkirakan konsentrasi bakteri yang memiliki bentuk batang gram-negatif seperti *Escherichia Coli*. Skala yang didapatkan kemudian dicocokkan dengan Tabel standar McFarland sehingga mendapatkan perkiraan suspensi bakteri dalam larutan. Tabel standar McFarland dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar McFarland

Cat No.	McFarland Standard	1% BaCl ₂ (mL)	1% H ₂ SO ₄ (mL)	Approximate Bacterial Suspension / mL
TM50	0,5	0,05	9,95	1,5 x 10 ⁸
TM51	1	0,1	9,9	3 x 10 ⁸
TM52	2	0,2	9,8	6 x 10 ⁸
TM53	3	0,3	9,7	9 x 10 ⁸
TM54	4	0,4	9,6	1,2 x 10 ⁹
TM55	5	0,5	9,5	1,5 x 10 ⁹
TM56	6	0,6	9,4	1,8 x 10 ⁹
TM57	7	0,7	9,3	2,1 x 10 ⁹
TM58	8	0,8	9,2	2,4 x 10 ⁹
TM59	9	0,9	9,1	2,7 x 10 ⁹
TM60	10	1	9	3 x 10 ⁹

Sumber: McFarland, 1907 dalam Zapata & Ramirez, 2015

1.3. Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui dampak mutasi secara induksi dengan menggunakan sinar UV A terhadap efektivitas isolat mikroorganisme yang diperoleh dari TPA Jatibarang, Semarang dalam menguraikan HDPE. Mengetahui kemampuan degradasi dari mikroorganisme yang diperoleh dari TPA terhadap plastik HDPE secara umum.