

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sampah Plastik

Sampah dapat didefinisikan sebagai sesuatu yang dibuang karena sudah tidak dapat digunakan ataupun sudah tidak disukai dan tidak dibutuhkan yang merupakan bagian dari kegiatan manusia dan keberadaannya bukan tidak disengaja (Chandra, 2006). Didalam Undang-Undang Pengelolaan Sampah Nomor 18 tahun 2008 menyatakan sampah adalah sisa kegiatan sehari – hari manusia dan/atau dari proses alam yang berbentuk padat.

Sampah plastik adalah jenis sampah yang banyak ditemukan , hal ini disebabkan karena bahan plastik adalah bahan yang sangat dominan dalam menunjang kebutuhan sehari –hari masyarakat. Sampah plastik dilaut merupakan hasil dari timbunan sampah plastik yang berasal dari kegiatan manusia baik dilaut itu sendiri seperti offshore, fishing, kapal pesiar juga kegiatan manusia didaratan yang menghasilkan sampah plastik yang kemudian terbawa oleh angin, air limpasan (*water run off*) maupun secara langsung dibuang ke laut (Nerland et al.,2014).

Plastik merupakan bahan berbasis polimer dimana dalam pembuatannya melalui proses polimerisasi monomer dari gas,batu bara ataupun minyak bumi dengan berbagai bahan aditif yang ditambahkan untuk menghasilkan sifat plastik yang ringan, fleksibel dan tahan lama (Hammer,2012) . Sekitar 4 % dari produksi minyak di dunia digunakan sebagai bahan baku plastik dan dibutuhkan sejumlah produksi minyak yang sama untuk energy dalam proses pembuatan plastik. Derraik (2002) dan Thompson et el (2009) menjelaskan bahwa sifat plastik yang ringan, sangat fleksibel karena mudah dibentuk, kuat, memiliki daya tahan terhadap korosi

dan tahan lama, selain juga secara ekonomis sangat murah menjadi alasan utama pemilihan plastik sebagai bahan yang banyak digunakan diindustri, domestik maupun jenis – jenis bahan pendukung kebutuhan manusia yang lain. Plastik mengandung berbagai jenis bahan kimia yang digunakan dalam proses pembuatannya dengan tujuan pewarnaan, memberikan sifat fleksibel dan daya tahan pada plastik. Plastik memiliki kemampuan untuk menyerap polutan organik yang persisten (POPs) dan berbagai jenis polutan lain serta mentransfernya ke dalam organisme sehingga terjadi bioakumulasi didalamnya (Andrady, 2011).

Sifat plastik yang tahan lama itu pula yang menyebabkan plastik menjadi masalah bagi lingkungan perairan laut ketika dia terbuang dan terakumulasi dilaut baik dipermukaan laut, badan air laut maupun disedimen. Plastik yang mengandung senyawa kimia pada proses pembuatannya juga memiliki kemampuan untuk melepaskan dan mendistribusikan kontaminan ke lingkungan sebagaimana tercemarnya lingkungan oleh polutan kimia berbahaya, serta mampu menyerap kontaminan dari lingkungan (Teuten et al.,2009; Gauquie et al., 2015).

Berbagai jenis plastik diproduksi sesuai dengan panjang rantai dan gugus fungsional penyusunnya yang ditujukan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Ada beberapa jenis plastik yang paling mendominasi dalam sampah plastik terutama yang ditemukan didalam lingkungan perairan laut, hal ini sangat dipengaruhi oleh sumber-sumber sampah plastik tersebut. Galgani (2015) menjelaskan bahwa sumber –sumber sampah plastik juga dipengaruhi oleh aktifitas masyarakat yang tinggal didaerah pesisir didekat perairan laut tersebut dimana volume sampah bisa menacapi 7700 buah sampah /km² . Dalam tulisannya Lambert (2014) membuat laporan tentang berbagai sumber sampah plastik yang berada dilaut yaitu hasil run

off water sampah yang dibuang didaratan yang kemudian terbawa oleh arus sungai menuju laut, sampah plastik yang secara langsung dibuang kedalam laut akibat aktifitas manusia yang tinggal didaerah pesisir, sifat sampah plastik yang ringan menyebabkan sampah plastik mudah terbawa angin hingga terdampar dilaut, berbagai kegiatan dilaut itu sendiri seperti penambangan minyak lepas pantai, kapal pesiar, kapal kargo dll, serta hasil buangan limbah domestik dan industri yang pembuangannya berakhir dilaut.

Sampah plastik saat ini menjadi sebuah fenomena baru tentang jumlah sampah yang mendominasi pencemaran diwilayah perairan laut (Li et al., 2016) dan telah mendorong dikeluarkannya berbagai peraturan tentang produksi, penggunaan dan manajemen pengelolaan sampah plastik. Untuk memahami fenomena sampah plastik didalam lingkungan perairan laut dibutuhkan pemahaman tentang karakteristik plastik itu sendiri, baik jenis plastik , bahan kimia penyusun, senyawa aditif yang berpotensi untuk lepas kedalam lingkungan perairan serta sifat kimia dan sifat fisik plastik tersebut.

Keberadaan sampah plastik didalam lingkungan dibedakan dalam 2 jenis berdasarkan ukurannya , yaitu mikro plastik dan makro plastic . Mikroplastik terbagi dalam dua tipe yaitu mikroplastik primer dan mikro plastik sekunder, tergantung dari sumber plastik tersebut (Barnes et al., 2009). Mikroplastik primer sebagian besar berasal dari produk – produk industri dan domestik (Betts, 2008; Moore, 2008) seperti misalnya produk kosmetika , obat-obatan Patel et al (2009), pelapis akrilik dan melamin yang digunakan untuk membersihkan cat (0,25 – 1,7 mm) Browne, et al (2007) yang ukurannya sangat bervariasi sebagai contoh untuk granul polietilen dan polipropilene adalah < 5 mm sedangkan polistiren

adalah <2 mm , dan bahkan penemuan terbaru oleh Browne et al (2015) adalah < 1 mm. Sedangkan mikroplastik sekunder merupakan hasil dari degradasi plastik berukuran besar yang terfragmentasi menjadi berukuran kecil didalam perairan laut (Ryan et al., 2009) , hal ini merupakan bagian dari proses pelapukan sehingga plastik menjadi rapuh (Arthur et al., 2009) maupun proses fotodegradasi oleh sinar matahari yang menyebabkan terjadinya oksidasi dari matrik polimer sehingga merusak ikatan senyawa kimia dan membentuk elemen atau senyawa yang lebih sederhana atau disebut proses breakdown (Barnes et al.,2009). Tipe mikroplastik sekunder adalah yang paling banyak ditemui diperairan laut (Gregory and Andrady,2003), dan akan menjadi pokok bahasan didalam penelitian ini.

Makroplastik merupakan plastik yang memiliki ukuran > 25 mm (Romeo et al., 2015) dan saat ini menjadi global isu sebagai jenis sampah terbanyak yang mencemari perairan laut dan meskipun plastik ini berukuran besar tetapi berbagai penelitian telah menunjukkan bukti adanya berbagai spesies laut seperti burung laut dan ikan yang mengkonsumsi sampah makroplastik secara regular akibat sifat alamiah hewan tersebut yang tidak selektif dalam memilih sumber makanannya (Derraik, 2002;Teuten et al.,2007).

Tabel 2. Jenis –jenis plastik yang umumnya ditemukan dilingkungan alami
(*Andrady,2011; Ghosh et al,2013*)

Tipe	Spesifik grafiti	Penggunaan/aplikasi	Efek kesehatan
Poliester (PES)	1,4	Fiber dan tekstil	Iritasi pada mata dan pernafasan
Polietilen tereftalat (PET)	1,37	Botol air minum sekali pakai, plastik microwave, film plastik, tabung, pipa, plastik yang mudah dibentuk.	Bersifat karsinogenik pada manusia
Polietilen (PE)	0,91 – 0,96	Pemakaian skala luas untuk bahan-bahan yang murah seperti botol plastik dan kantong plastik supermarket	Menyebabkan kanker, perubahan genetik, bronkitis kronik, penyakit kulit dan disfungsi hati
Polivinil Klorida (PVC)	1,38	Pipa saluran, frame jendela, lantai, pelapis tempat mandi dan pelapis lantai	
Polipropilene (PP)	0,94		Melepas bahan kimia estrogenik yang menyebabkan perubahan struktur sel manusia
High-density Polietilen (HDPE)	0,93-0,97	Tutup botol, sedotan minum, container yogurt dan beberapa jenis container makanan.	
Low density Polietilen (LDPE)	0,917 -0,93	Botol deterjen, botol susu, plastik yang mudah dibentuk.	
Policarbonat (PC)	1,05	Furniture outdoor, pelapis lantai, pelapis kamar mandi, film. Kaca mata, compact disk, pengaman jendela, lensa, keyboard.	Bisphenol akan lepas dari polycarbonat dan menyebabkan kanker, sakan fungsi hati, perubahan ketahanan insulin dan fungsi otak.

2.2. Karakteristik plastik untuk pengemas berbahan polimer Polietilen tereftalat (PET) dan Polipropilen (PP)

Plastik bahan pengemas merupakan jenis plastik yang paling mendominasi jumlah sampah plastik. Penggunaan jenis plastik ini yang sebagian besar hanya untuk sekali pakai (Single use plastik) menyebabkan jumlah sampah plastik berupa plastik kemasan semakin meningkat dari waktu ke waktu seiring dengan perubahan gaya hidup masyarakat dalam menggunakan jenis plastik ini untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari dalam mengemas produk makan, minuman maupun produk-produk kebutuhan hidup sehari-hari lainnya. Dalam tulisannya, Andrady and Neal (2009) menyatakan bahwa jenis polimer yang sangat umum digunakan dalam jumlah besar-besaran adalah high-density polyethylene (HDPE), low-density polyethylene (LDPE), polyvinyl chloride (PVC), polystyrene (PS), polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET), dan diantara jenis polimer tersebut, PET dan PP adalah mayoritas jenis plastik yang mendominasi jumlah sampah plastik dimana keduanya memiliki sifat fisika dan kimia yang berbeda.

Plastik yang disebut sebagai material berbahan dasar polimer tersusun oleh monomer-monomer, dimana ada yang tersusun dari monomer yang sama disebut sebagai homopolimer dan ada yang disusun dari monomer yang memiliki setidaknya 2 jenis monomer yang berbeda (kopolimer).

Dalam mempelajari proses degradasi plastik, selain faktor lingkungan, karakteristik ataupun sifat-sifat polimer plastik memberikan peran yang sangat penting. Sifat-sifat polimer tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor terkait dengan struktur molekul dari polimer tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat polimer adalah :

1. Panjang rantai/jumlah monomer (length of chains)

Semakin panjang suatu rantai polimer dengan dengan jumlah monomer yang semakin banyak akan menyebabkan semakin banyak gaya antar molekul antara rantai-rantai penyusunnya sehingga kekuatan polimer akan bertambah.

2. Tingkat percabangan pada rantai (branching chains)

Ketidakteraturan rantai-rantai polimer disebabkan oleh banyak cabang sehingga akan mengurangi kerapatan dan kekerasan polimer itu sendiri, namun akan menaikkan fleksibilitasnya.

3. Ikatan silang (cross linking)

Termoplas tidak memiliki cross linking, hanya gaya antar molekul yang lemah sehingga bersifat lunak. Sebaliknya termoset memiliki cross linking yang kuat berupa ikatan kovalen sehingga bersifat keras dan susah meleleh.

4. Susunan rantai satu terhadap lainnya

Susunan rantai satu terhadap yang lainnya dapat bersifat teratur membentuk daerah kristalin dan acak membentuk daerah amorf. Polimer yang membentuk daerah kristalin akan lebih kuat karena rantai-rantainya tersusun rapat tetapi bersifat kurang fleksibel sedangkan yang tersusun oleh daerah amorf cenderung lebih mudah rapuh.

5. Gugus fungsi pada monomer

Adanya gugus fungsi polar seperti OH dan Amina $-NH_2$ pada monomer dalam polimer akan mengakibatkan terbentuknya ikatan hydrogen yang menyebabkan kekuatan gaya antar molekul polimer meningkat dan akan menaikkan kekerasan polimer.

6. Penambahan zat aditif

Kebanyakan polimer diberikan zat aditif untuk memperbaiki sifat asalnya dan memperoleh karakteristik sesuai yang diinginkan. Zat aditif tersebut bisa berupa , zat plastis (plasticisers) yang berguna untuk melunakkan polimer pada jenis polimer termoset; zat pengisi/penguat untuk meningkatkan kekuatan polimer; stabilisator untuk meningkatkan kekuatan terhadap dekomposisi oleh panas, sinar UV dan oksidator; pigmen untuk pewarnaan, dan penghamab nyala api agar polimer tidak mudah terbakar.

(RSC, Advancing the Chemical Sciences)

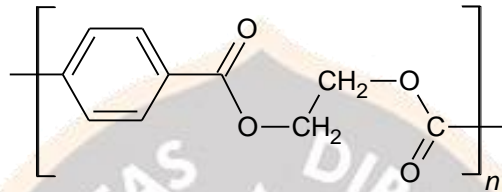
Dalam mempelajari mekanisme proses degradasi pada plastik didalam lingkungan perairan, hal yang sangat penting adalah membuat klasifikasi plastik kedalam dua group yaitu plastik yang tersusun dari hanya karbon pada cincin utama (karbon- karbon backbone) dan plastik dengan heteroatom pada cincin utamanya. Plastik yang termasuk dalam group karbon karbon backbone adalah Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polistiren (PS) dan Poli Vinil Karbonat (PVC), sedangkan plastik dengan cincin utama heteroatom adalah Polietilen tereftalat (PET) dan Poli Uretan (PU) (Gewert et al.,2015).

Sebagian besar polimer bahan dasar plastik kemasan adalah jenis polimer yang bersifat termoplas seperti polietilen tereftalat (PET) dan polipropilen (PP) yang keduanya memiliki sifat kimia, sifat fisik, fungsi dan dampak positif-negatif yang berbeda.

A. Polietilen tereftalat (PET)

Sebagian besar plastik yang digunakan untuk bahan pengemas ataupun wadah sekali pakai baik untuk makanan maupun minuman terbuat dari plastik

berbahan dasar polimer polietilen tereftalat (PET) . Tipe plastik ini disarankan untuk penggunaan sekali pakai karena sifatnya yang tidak tahan panas dan beresiko menyebabkan tumbuhnya bakteri jika dipakai ulang (Mortula,2013). Penggunaan sekali pakai jenis plastik PET ini meningkatkan jumlah sampah plastik disistem perairan maupun didarat.



Gambar 1. Struktur molekul monomer dari polietilen tereftalat (PET)

Plastik PET dengan kode daur ulang 1 ini merupakan plastik berbahan dasar polimer yang memiliki sifat kimia seperti dalam tabel dibawah ini :

Tabel 3. Sifat kimia dan fisika Polietilen tereftalat (PET) (*Sumber: Awaja .F and Pavel. D , 2005, ASTM D570 and ISO 62*)

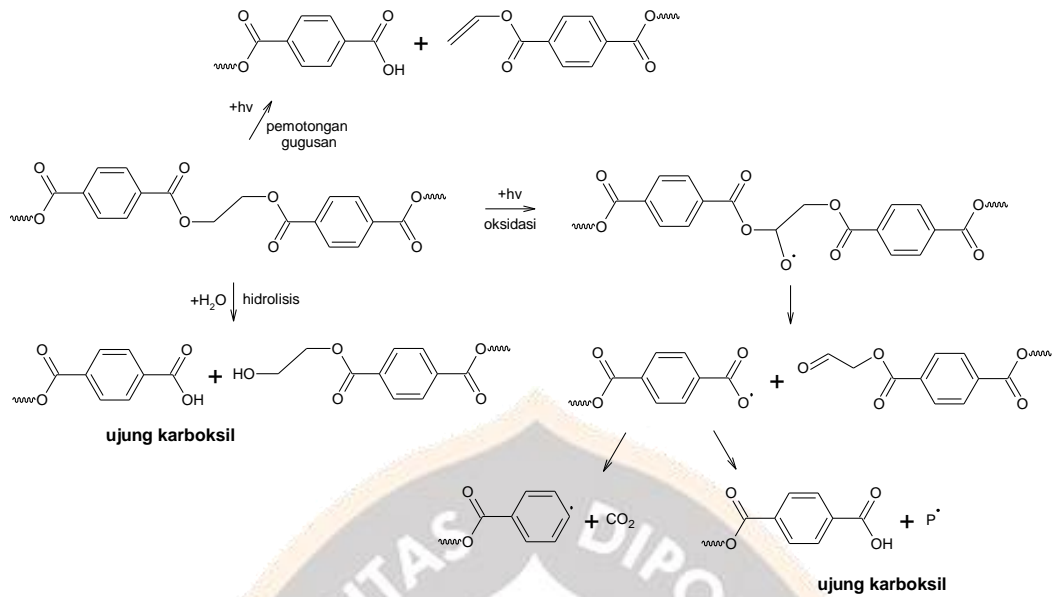
Sifat kimia atau fisika	Nilai (satuan)
Kode daur ulang	1
Berat Molekul (pengulangan unit)	192 (gmol ⁻¹)
Densitas	1,41 (gcm ⁻³)
Titik leleh	265°C
Titik didih	>350 °C
Tensile strength	1700 Mpa
Absorpsi air (setelah 24 jam)	0,5% 0,16 (ASTM D570)
Kristalinitas	0,1-0,2 (ISO 62)
Amorfous	Semi kristal (1,455 g/cm3) 1,38 g/cm3

Lebih lanjut, PET juga dikenal sebagai poliester dengan struktur molekul yang mengandung dua gugus hidroksil (OH) dan asam tereftalat yaitu asam

aromatik dikarboksil, asam dengan struktur molekul yang mengandung cincin karbon (atau aromatik) enam-sisi yang besar, dan dua kelompok karboksil (COOH), sehingga dapat digambarkan bahwa polimer PET merupakan pengulangan dari monomer yang tersusun oleh tereftalat, ester, etilen dan ester. Di bawah panas dan katalis, gugus hidroksil dan karboksil akan bereaksi membentuk ester (CO-O) (Woodall, L.C et al., 2014; Venkatachalam et al., 2012; Farzi et al., 2019). Kehadiran cincin aromatik besar dalam PET memberikan sifat kaku, kuat, hidrolitik, tidak tahan terhadap pelarut kimia (Venkatachalam et al., 2012) dan Higroskopis (Ma, T et al., 2003; CWC Best Practices in PET Recycling, 1997; Nowak, 2010). Jika ditinjau dari keberadaan ikatan rangkap etilen (C=C), maka PET akan memberikan sifat hidrofobik, tetapi jika ditinjau dari keberadaan ester (C-O) energinya yang rendah menyebabkan mudah putus dan bersifat hidrofilik. Berbagai asumsi tentang sifat hidrofilik/hidrofobik dari PET disampaikan oleh beberapa peneliti yang menghubungkannya dengan keberadaan ester pada struktur molekul PET. Venkatachalam et al (2012) menyatakan bahwa ester pada PET merupakan gugus fungsi yang berperan penting dalam proses degradasi PET didalam sistem perairan, tetapi Farzi et al (2019) menyatakan bahwa keberadaan gugus ester pada PET menyebabkan PET lebih tahan dari proses biodegradasi dibandingkan jenis plastik yang lain. Di sisi lain Gewert et al (2015) menyatakan bahwa plastik berbahan dasar polimer yang terdiri dari karbon dan atom hetero dalam rantai utama memiliki stabilitas termal yang kurang dibandingkan dengan polimer dengan rantai utama karbon-karbon, plastik ini berpotensi rentan terhadap pembelahan hidrolitik pada ikatan ester maupun ikatan amida. Venkatachalam et al (2012) menuliskan hasil penelitiannya bahwa viskositas dan stabilitas yang

diakibatkan oleh sedikit sifat moisture (lembab) dari PET menyebabkan PET mudah mengalami degradasi hidrolitik didalam sistem perairan. Summers et al (1999) menyatakan bahwa didalam sistem perairan PET akan mengalami degradasi hidrolitik dengan baik , sedangkan proses hidrolisis tersebut mampu menghasilkan asam karboksilat dan gugus fungsional alkohol yang juga mengarahkan pada penurunan berat molekul dan peningkatan asam karboksilat (Thomas et al.,2011). Selain perubahan struktur molekul, perubahan yang tidak kalah penting untuk diamati secara fisik pada plastik PET akibat degradasi hidrolitik dan foto degradasi di dalam sistem perairan adalah terjadinya perubahan warna (discoloration), terjadinya kerutan (stiff), pemotongan rantai (chain scission), berkurangnya berat molekul, pembentukan asetaldehid dan terjadinya ikatan silang (cross-link) (Ventkatachalam et al.,2012).

Sifat hidrofilik dan hidrofobik pada permukaan plastik sangat berperan penting dalam proses degradasi , hal ini dikarenakan oleh potensi terjadinya heteroagregasi yang menjadi bagian dari proses serangan mikroorganisme dipermukaan plastik. PET memiliki kecenderungan sifat hidrolitik disebabkan keberadaan ikatan C=O, ikatan ini merupakan faktor kunci dalam meningkatkan sifat hidrolitik pada permukaan polimer Lai et al.,2006. Pengurangan kekasaran pada permukaan PET juga mampu meningkatkan sifat hidrofilik pada PET selain juga kontribusi ikatan CO karena ikatan CO berkontribusi secara fundamental pada peningkatan hidrofilisitas permukaan.

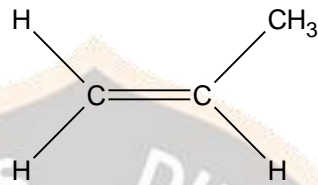


Gambar 2. Mekanisme degradasi abiotik PET (Gewert et al.,2015)

Dalam proses identifikasi jenis polimer polietilen tereftalat menggunakan teknik FTIR Asensio et al,2009 memberikan hasil identifikasi peak yang muncul untuk PET yaitu pada 1713 cm^{-1} ($C=O$), 1241 cm^{-1} ($C-O$ stretch), 1094 cm^{-1} ($C-O$ stretch), dan 720 cm^{-1} Aromatik CH out of plane bond, sedangkan Loakeimidis et.al (2016) melaporkan hasil yang serupa dimana ada 5 peak utama yang teridentifikasi pada polimer PET yaitu 1715 cm^{-1} , 1245 cm^{-1} , 1100 cm^{-1} , 870 cm^{-1} dan 730 cm^{-1} yang masing –masing mewakili Ketones dan ester ($C=O$), ether aromatic dan ester ($C-O$), ether alifatik ($C-O$), Aromatik ($C-H$) dan Eter alifatik dan aromatik ($C-H$) bond. Proses degradasi pada PET di dalam sistem perairan diantaranya adalah degradasi foto-oksidasi, degradasi hidrolitik, degradasi mekanik dan biodegradasi (Gewert et al.,2005). Degradasi foto-oksidasi pada PET ditandai dengan beberapa perubahan diantaranya perubahan warna, pemutusan rantai (chain scission) yang menurunkan berat molekul, pembentukan asetaldehid, terjadinya crosslinking dan terbentuknya jel sedangkan degradasi hidrolitik dengan melibatkan H_2O akan memberikan produk akhir degradasi berupa asam karboksilat

dan hidroksil ester (Awaja & Pavel., 2005). Degradasi termal pada PET mampu membentuk vinyl ester dan group karboksil yang karena reaksi transesterifikasi dari vinil ester menghasilkan vinil alkohol yang secara serentak menghasilkan asetaldehid.

B. Polipropilen (PP)



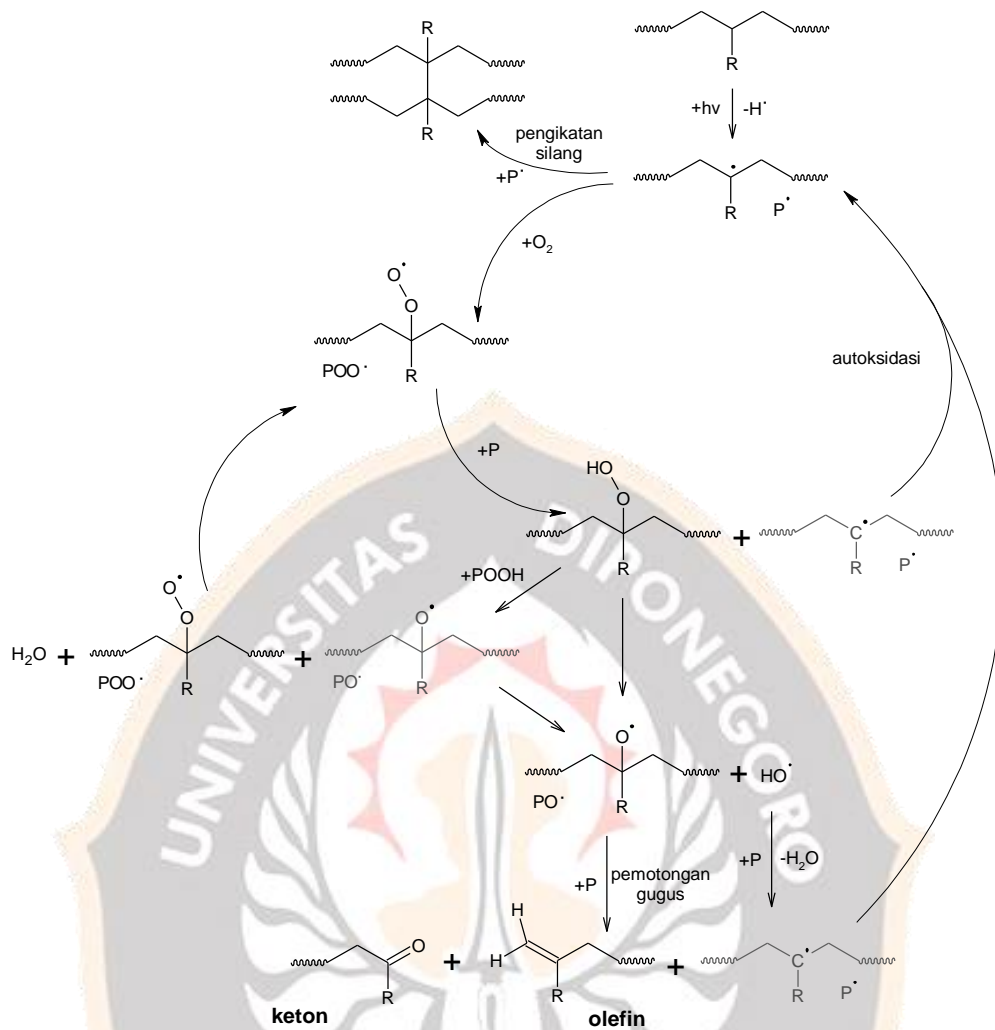
Gambar 3. Struktur molekul monomer dari polipropilen (PP)

Tabel 4. Sifat kimia dan fisika Polipropilen (PP) (*sumber : ILSI Europe Report Series; Howe , 1999; Erik, 1999, ASTM D570*)

Sifat kimia atau fisika	Nilai (satuan)
Kode daur ulang	5
Berat Molekul (pengulangan unit)	42,07 (g/mol)
Densitas	0,94 g/cm ³
Titik leleh	459 K
Tensile strength	31-41 Mpa
Absorpsi air (setelah 24 jam)	0.01-0.03 (%)
Kritalinitas	0,01-0,02 (ASTM D570) Intermediate Kristalin
Amorfous	0,946 g/cm ³ 0,855 g/cm ³

Polipropilen (PP) termasuk dalam golongan poliolefin dengan berat molekul tinggi dimana strukturnya adalah hidrokarbon linier yang tersusun hanya oleh atom karbon pada cincin utamanya (Arutchelvi et al ,2007) , memiliki densitas relatif paling rendah yaitu 0,94 g/cm³(David ,1999;Cole ,2011 and Schimanski ,2018) dan memiliki sifat hidrofobik akibat ketidak polarannya. PP mempunyai tiga

konfigurasi stereokimia yang dapat dibedakan menjadi isotaktik, sindiotaktik dan ataktik dimana isotaktik PP (i-PP) adalah jenis PP yang paling banyak dikonsumsi dikarenakan sifatnya yang mudah digunakan, memiliki ketahanan terhadap panas yang tinggi, secara fisik tidak transparan, tahan terhadap pelarut kimia sehingga cocok untuk menyimpan makanan dan minuman dan dapat disterilisasi untuk keperluan medis (Schimanski, 2018; Bertin et al., 2010, Philip Tice, 2002). Dikarenakan sifat hidrofobik dan berat molekul PP yang tinggi juga tingkat kekasaran permukaan (roughness) PP yang lebih tinggi dibandingkan PET, menyebabkan PP akan sulit mengalami biodegradasi secara langsung. Proses biodegradasi pada PP harus didahului dengan proses degradasi abiotik, salah satu proses degradasi abiotik untuk menginisiasi degradasi pada PP adalah degradasi oksidatif yang membutuhkan oksigen dari lingkungannya untuk menghasilkan gugus karbonil, ester, keton dan asam yang lebih polar sehingga mampu meningkatkan sifat hidrofilik dari PP (Shah et al., 2008; Gewert et al., 2015; Arutchelvi et al., 2008; Arkatkar et al., 2009). Dalam penelitiannya, Singh et al. (2008) menemukan bahwa karbon tertier pada PP menyebabkan keberhasilan biodegradasi pada PP menurun dan meningkatkan resistensi PP terhadap biodegradasi aerobik. Lebih lanjut Muthukumar et al. (2015) dalam tulisannya menyatakan bahwa karena polipropilen memiliki rantai utama karbon-karbon yang panjang menyebabkan polipropilen sulit mengalami proses biodegradasi secara langsung, degradasi harus diawali dengan fotodegradasi dan degradasi kimia untuk memutus rantai karbonnya sehingga menurunkan berat molekulnya dan meningkatkan sifat hidrofiliknya untuk kemudian akan lebih mudah untuk mengalami proses biodegradasi.



Gambar 4. Mekanisme degradasi abiotik pada polipropilen (Gewert et al.,2015)

Pada gambar 4. menjelaskan terjadi beberapa proses perubahan struktur kimia polipropilen pada mekanisme proses foto-degradasi dan degradasi oksidatif diantaranya adalah random chain scission, branching, crosslinking dan pembentukan dari group fungsional yang mengandung oksigen, yang semua proses tersebut mampu meningkatkan kemampuan PP dalam proses biodegradasi dimana dalam proses biodegradasi ini polimer akan terkonversi dalam bentuk monomer yang diikuti dengan proses mineralisasi dari monomer (Shah et al.,2008). Maldovan et al (2012) menyatakan bahwa salah satu proses degradasi yang memegang peranan penting pada polipropilen adalah degradasi oksidatif yang oleh

analisis FTIR menunjukkan produk akhir degradasi berupa gugus karbonil pada bilangan gelombang 1850-1630 cm^{-1} yang mampu memicu pemotongan cincin (chain scission) dan ikatan menyilang (crosslinking), kemudian muncul gugus hidroksil (3650-3200 cm^{-1}), methylene (1680-1620 cm^{-1}) dan vinyl (908 cm^{-1})

Dalam proses identifikasi jenis polimer polipropilen menggunakan teknik FTIR Asensio et al,2009 memberikan hasil identifikasi peak yang muncul untuk PP yaitu pada 2950 (C-H stretch), 2915 (C-H stretch), 2838 (C-H stretch), 1455 (CH_2 bend), 1377 (CH_3 bend), 1166 (CH bend, CH_3 rock, C-C stretch), 997 (CH_3 rock, CH_3 bend, CH bend), 978 (CH_3 rock, C-C stretch), 840 (CH_2 rock, C- CH_3 stretch), 808 (CH_2 rock, C-C stretch). Moldovan et al (2012) menyatakan bahwa munculnya spektra pada bilangan gelombang 1377 cm^{-1} (group metilen), 3000-2750 cm^{-1} (CH_2 asimetris) dan vibrasi metilen pada 1468 cm^{-1} merupakan ciri khas dari polipropilen.

2.3. Perairan Pesisir Kota Semarang

Melakukan suatu kajian terhadap sampah plastik di pesisir tidak lepas dari pemahaman tentang ekosistem dari pesisir itu sendiri sebagai media dimana sampah plastik akan diobservasi Odum (1996), mendefinisikan ekosistem sebagai tempat pertukaran bahan-bahan antara bagian – bagian yang hidup dan yang tidak hidup didalam sistem. Dimana didalam ekosistem itu sendiri terdapat dua komponen yang saling berinteraksi satu sama lain yaitu komponen biotik dan komponen abiotik. Sedangkan didalam UU No.1 tahun 2014 tertuang definisi ekosistem sebagai kesatuan komunitas tumbuh-tumbuhan, hewan, organisme dan non organisme lain serta proses yang menghubungkannya dalam membentuk

keseimbangan stabilitas dan produktivitas. Ada berbagai macam ekosistem di bumi ini dan salah satu contoh ekosistem itu adalah ekosistem perairan , dan pesisir merupakan salah satu jenis ekosistem perairan.

Dahuri et.al , 2001 seperti yang tertuang didalam UU No.27 tahun 2007 yang diperbaharui dalam UU No.1 tahun 2014 tentang PWP3K (Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil) memberikan definisi tentang daerah pesisir sebagai daerah pertemuan antara darat dan laut;kearah darat meliputi bagian daratan, baik kering maupun terendam air, yang masih dipengaruhi sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air asin; sedangkan kearah laut meliputi bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses – proses alami yang terjadi di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar maupun yang disebabkan oleh kegiatan manusia didarat seperti penggundulan hutan dan pencemaran. Wilayah pesisir dalam hal ini adalah ekosistem pesisir yang memiliki hubungan bebas dengan laut terbuka dan menerima masukan air tawar dari daratan.

Keterkaitan yang erat antara daratan dan pesisir menyebabkan setiap dampak yang disebabkan oleh pencemar di wilayah daratan di hulu juga akan dirasakan di wilayah pesisir. Kondisi ini tentu saja juga berlaku pada distribusi sampah plastik dari hulu menuju wilayah pesisir (Muhtadi dkk,2017).

Perairan pesisir menurut UU No.1 tahun 2014 adalah laut yang berbatasan dengan daratan, meliputi perairan sejauh 12 mill laut diukur dari garis pantai, perairan yang menghubungkan pantai dan pulau-pulau , estuari, teluk, perairan dangkal, rawa payau, dan laguna (Rangkuti dkk, 2017). Wilayah perairan pesisir masih dibagi lagi kedalam dua jenis lingkungan yaitu lingkungan bentik (horizontal) dan lingkungan pelagik (vertikal) (Rangkuti , dkk,2017). Secara lebih

spesifik, batas area yang dipilih dalam penelitian ini termasuk didalam lingkungan pelagik pada zona neritik, yaitu daerah laut dangkal dengan kedalaman kurang dari 200 meter dimana sinar matahari masih dapat berkontribusi dalam memberikan cahayanya sebagai energi bagi kehidupan produsen di dasar laut. Pada zona neritik dapat ditemukan ekosistem dan komunitas yang mampu menghasilkan produktivitas primer, seperti ekosistem lamun, ekosistem terumbu karang, dan komunitas rumput laut. Berbagai jenis biota juga hidup di zona neritik ini diantaranya adalah plankton, bentos dan nekton (kepiting, ikan, udang dan berbagai mamalia laut). Keanekaragaman biota yang ada di zona ini sangat berlimpah, hal ini disebabkan tingginya unsur hara dan berbagai zat terlarut yang merupakan hasil distribusi dari daratan (Muhtadi dkk, 2017). Kelimpahan biota di zona ini merupakan faktor penting dalam proses degradasi sampah plastik di sistem perairan pesisir.



Gambar 5. Kondisi lingkungan perumahan di daerah pesisir Tambak Lorok, Kota Semarang

Kota Semarang yang merupakan ibukota propinsi Jawa Tengah berada antara $6^{\circ} 5' - 7^{\circ} 10'$ LS dan $109^{\circ} 35' - 110^{\circ} 50'$ BT dengan luas wilayah 373,70 km² dengan batas utara adalah laut jawa. Semarang memiliki peran penting dalam sistem perekonomian di Jawa Tengah terutama karena adanya pelabuhan yang menjadi sarana transportasi laut baik untuk penumpang maupun barang.

Kegiatan disepanjang pesisir laut Semarang yang diwarnai dengan kehidupan nelayan maupun wisatawan laut juga merupakan bagian yang sangat penting dalam roda perekonomian kota Semarang, hal ini juga yang menjadikan laut di kota Semarang sangat perlu untuk mendapat perhatian khusus dalam rangka pengembangan potensi laut dan juga kajian tentang pencemaran akibat aktifitas di daerah pesisir dan di laut kota Semarang.

Karakteristik laut kota Semarang secara keseluruhan , baik fisik maupun kimia masih dibawah ambang batas baku mutu yang ditetapkan Kep Men LH No. 51 tahun 2004 (Riyadi ,2005). Meskipun ada beberapa parameter yang masih harus diperhatikan jika menyangkut kualitas air yang cukup memenuhi baku mutu guna budidaya laut.

Kampung Tambak Lorok merupakan kampung nelayan terbesar (Mussadun 2016) yang berlokasi di Kelurahan Tanjungmas, kecamatan Semarang Utara dengan luas daerah pemukiman lebih kurang 101 Ha dan jumlah penduduk 570 KK (Dimitra, 2012). Tambak Lorok juga merupakan salah satu daerah pesisir yang memberikan kontribusi besar dalam memenuhi kebutuhan hasil laut di wilayah kota Semarang pada khususnya dan Jawa tengah pada umumnya. Kondisi lingkungan di daerah pesisir Tambak Lorok ini sangat identik dengan sampah dan

kemiskinan, hal ini saling terkait satu sama lain , dimana kebiasaan hidup sehari-hari dengan menimbun dan membuang sampah yang didominasi oleh sampah plastik juga merupakan faktor yang merusak sumberdaya perikanan dan mencemari perairan. Sampah Plastik tidak lagi menjadi masalah bagi sebagian penduduk di daerah ini karena sampah plastik juga dimanfaatkan sebagai bahan untuk menguruk ataupun menaikkan tinggi permukaan tanah yang mengalami penurunan akibat abrasi air laut.

Tingkat pencemaran di perairan pesisir tambak lorok sangat dipengaruhi oleh kebiasaan masyarakat Tambak Lorok, kota Semarang dan pesisir , tentu saja juga masih melibatkan kontribusi sumber – sumber sampah plastik yang lain diantaranya sampah plastik yang dibawa oleh aliran sungai banjir kanal timur yang bermuara di perairan pesisir Tambak Lorok dan masih aktif hingga saat ini, juga sampah dari industri disekitar area pesisir Tambak Lorok serta berbagai aktifitas di perairan pesisir Tambak Lorok termasuk nelayan dan budidaya kerang hijau.

2.4. Pengaruh budaya dan peran kebijakan pemerintah pada perilaku masyarakat terhadap plastik

Masyarakat Indonesia adalah masyarakat yang sangat majemuk, dengan tingkat pendidikan dan tingkat ekonomi yang sangat heterogen. Pemahaman masyarakat tentang bahaya plastik maupun sampah plastik tidak secara merata dimiliki oleh setiap individu. Gaya hidup juga menjadi salah satu faktor yang memicu tingginya konsumsi masyarakat terhadap plastik. Masyarakat yang umumnya tinggal di daerah perkotaan maupun sub-urban, cenderung memilih pola hidup yang praktis, sehingga pemilihan berbagai produk makanan dan minuman

dengan menggunakan kemasan plastik sekali pakai dianggap adalah alternatif yang tepat untuk mendukung kehidupan sehari –hari. Sayangnya, gaya hidup ini tidak diikuti dengan kesadaran dalam mengelola sampah plastik yang dihasilkan, sehingga budaya membuang sampah tanpa menyeleksi dan mengklasifikasikan sampah adalah cerminan yang melekat pada kebiasaan masyarakat kita sehari-hari.

Upaya pemerintah untuk memfasilitasi masyarakat salah satunya dengan berbagai program edukasi tentang pengelolaan sampah serta menyediakan fasilitas untuk pembuangan sampah dirasa tidak cukup maksimal untuk mendukung kesadaran masyarakat agar melakukan manajemen sampah dengan baik, sehingga sampah plastik dari hasil pemakaian plastik sekali pakai tetap akan terbuang tercampur bersama sampah jenis lain yang memiliki potensi berakhir disistem perairan.

Suatu penelitian mengkaji tentang hubungan budaya suatu daerah dengan perilaku masyarakat menuliskan bahwa perilaku masyarakat sangat dipengaruhi oleh kebiasaan mayoritas individu yang ada disekitarnya, tingkat pendidikan, pekerjaan, usia, jenis aktifitas lain diluar rumah , program televisi yang ditonton dan bahkan komunitas yang diikuti sangat mempengaruhi kesadaran individu tersebut dalam manajemen sampah dengan cara menyeleksi jenis sampah sebelum membuangnya ketempat pembuangan sampah(Crociata, 2015).

Pemerintah melalui Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah semula diharapkan dapat menjadi acuan kebijakan yang mempercepat efektifitas penanganan pengelolaan sampah secara nasional serta di tingkat pemerintah daerah (provinsi dan kabupaten). Semangat mendasar dari UU 18/2008 adalah mengedepankan strategi pengurangan timbunan sampah dan

penanganan sampah yang sulit terurai oleh alam, seperti plastik, dengan mengamanatkan secara substantif pentingnya perluasan tanggungjawab produsen (Extended Producers Responsibility/EPR). Hanya saja, sangat disayangkan, hingga kini penegakan aturan EPR tersebut jalan di tempat (lihat Pasal 15 UU 18/2008).

Dalam hal penggunaan kemasan untuk bahan makanan dan minumanpun pemerintah telah memberikan aturan dalam undang-undang dan peraturan pemerintah yaitu UU No.7/1996 tentang pangan yang didukung oleh peraturan pemerintah Nomor 28 tahun 2004 tentang keamanan mutu dan gizi pangan. Pada undang –undang No.7/1996 bagian keempat pasal 16 tentang kemasan pangan tertulis :

1. Setiap orang yang memproduksi pangan untuk diedarkan dilarang menggunakan bahan apapun sebagai kemasan pangan yang dinyatakan terlarang dan atau yang dapat melepaskan cemaran yang merugikan atau membahayakan kesehatan manusia.
2. Pengemasan pangan yang diedarkan dilakukan melalui tata cara yang dapat menghindarkan terjadinya kerusakan dan atau pencemaran.
3. Pemerintah menetapkan bahan yang dilarang digunakan sebagai kemasan pangan dan tata cara pengemasan pangan tertentu yang diperdagangkan

Mensubsitusi plastik dengan alternatif bahan lain seperti kertas, gelas, aluminium kayu dan kulit, nampaknya merupakan ide yang sangat bagus untuk mengurangi pemakaian bahan dasar plastik, tetapi secara ekonomi, biaya produksi, penyediaan sumber bahan baku bahkan karakteristik material sendiri tetap sulit untuk bisa menggantikan peran plastik, sebagai contoh, botol plastik PET sekali pakai untuk mineral water dengan kapasitas 500 mL memiliki berat kosong 30

gram, sedangkan suatu kontainer yang terbuat dari glass dengan volume yang sama akan mencapai berat material 141 gram , hal ini menjadi logis jika sulit membandingkan plastik dengan material lain untuk fungsi yang sama.

Dalam menyelesaikan persoalan sampah plastik yang tertumpuk disistem perairan maupun didaratan, membersihkan sampah yang nampak oleh mata bukanlah solusi yang tepat, sedangkan proses daur ulang (recycle) akan menambah emisi carbon, sehingga mengurangi produksi dan konsumsi plastik terutama plastik sekali pakai (Single use plastic) jauh lebih tepat (McDermott,2016).

Masyarakat sangat berperan penting dalam menanggulangi dampak sampah plastik, tentu dengan dukungan penuh pemerintah sebagai pemegang kebijakan. Masyarakat yang sadar dalam menggunakan plastik secara efisien dan melakukan manajemen yang baik dalam proses pembuangan sampah akan sangat membantu dalam proses mengurangi peningkatan jumlah sampah plastik. Dimulai dengan kesadaran akan pentingnya membuang sampah pada tempat yang tepat, menggunakan bahan plastik tidak berlebihan dan cermat dalam memilih bahan – bahan pendukung kebutuhan sehari – hari yang berbahan non plastik tentunya akan memberikan pengaruh besar terhadap berkurangnya dampak sampah plastik bagi lingkungan.

Thompson, 2009 dalam tulisannya memberikan beberapa alternatif solusi dalam menangani krisis terhadap masalah plastik yaitu :

1. Mengurangi pemakaian bahan plastik,
2. Desain teknologi untuk mendaur ulang plastik,
3. Meningkatkan kapasitas untuk merecycle
4. Menciptakan bahan baku biologis sebagai pengganti polimer dalam plastik,








5. Strategi dalam mengurangi sampah
6. Penerapan analisa green chemistry life-cycle
7. Merevisi pendekatan dalam analisa resiko/dampak
8. Gabungan aksi dari masyarakat, industri, ilmuwan dan pemerintah sebagai pengambil keputusan.

Pada kajian yang lain, Pettipas, 2016 dalam tulisannya menjelaskan tentang strategi untuk mengurangi polusi sampah plastik disistem perairan yaitu :

1. Strategi hukum dan manajemen pengelolaan sampah
2. Pendidikan, dan menumbuhkan kesadaran
3. Mengidentifikasi sumber-sumber sampah plastik
4. Peningkatan pemantauan dan penelitian lebih lanjut

Dengan strategi diatas diharapkan masyarakat ikut berperan aktif dalam mengurangi jumlah sampah plastik tentu saja dengan dukungan dari pemerintah dan ilmuwan yang berkompeten dalam bidang yang berkaitan dengan sampah plastik.

Lebih lanjut, salah satu upaya dalam mendukung pengetahuan masyarakat tentang penggunaan plastik kemasan yang tepat , pada tahun 1998 The Society of Plastic Industry, Amerika mengeluarkan kode-kode khusus untuk mengidentifikasi kemasan plastik agar diketahui kemasan yang termasuk didalam food grade, seperti yang tercantum pada gambar dibawah ini :

1	2	3	4	5	6	7
PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	OTHER
polyethylene terephthalate	high-density polyethylene	polyvinyl chloride	low-density polyethylene	polypropylene	polystyrene	other plastics, including acrylic, polycarbonate, polyactic fibers, nylon, fiberglass
soft drink bottles, mineral water, fruit juice containers and cooking oil	milk jugs, cleaning agents, laundry detergents, bleaching agents, shampoo bottles, washing and shower soaps	trays for sweets, fruit, plastic packing (bubble foil) and food foils to wrap the foodstuff	crushed bottles, shopping bags, highly-resistant sacks and most of the wrappings	furniture, consumers, luggage, toys as well as bumpers, lining and external borders of the cars	toys, hard packing, refrigerator trays, cosmetic bags, costume jewellery, audio cassettes, CD cases, vending cups	an example of one type is a polycarbonate used for CD production and baby feeding bottles
						

Gambar 6. Kode pada plastik kemasan dan penggunaannya

Peraturan lain yang digunakan untuk pengemasan bahan pangan adalah peraturan yang dibuat oleh CODEX Alimentarius Commission (CAC), yaitu suatu lembaga food standart dibawah naungan Food and Agricultural Organization (FAO) dan World Health Organization (WHO) yang bertugas menangani standart pangan.

Memberikan pendidikan dan pemahaman yang tepat kepada masyarakat tentang bahaya plastik jika tidak dimanfaatkan secara tepat serta bahaya sampah plastik bagi lingkungan hidup diharapkan dapat mengurangi sumber-sumber sampah plastik, karena manusia adalah sumber utama dari sampah plastik, sedang organisme nonhuman adalah organisme pertama yang merasakan dampak dari sampah plastik tersebut sebelum dampak itu akhirnya sampai kemanusia melalui udara, air maupun rantai makanan (Boowmeester,2015).

2.5 Degradasi Plastik di dalam sistem perairan.

Di dalam lingkungan perairan laut, sampah plastik yang berada dipermukaan air laut akan memiliki potensi yang lebih besar untuk terpapar oleh sinar matahari dan sifat oksidatif dari atmosfer yang bekerjasama dengan sifat hidrolitik air yang akan menyebabkan material plastik akan menjadi rapuh dan terfragmentasi (Lambert et al,2014). Salah satu fenomena yang sangat penting didalam lingkungan perairan laut yang akan menentukan nasib sampah plastik adalah proses degradasi. Secara umum plastik akan dikatakan terdegradasi jika terjadi perubahan pada sifat –sifat polimer penyusun plastik tersebut yang disebabkan oleh reaksi kimia yang melibatkan pemutusan ikatan rantai polimer (Mohan, 2010).

Degradasi merupakan salah satu fenomena penting yang terjadi pada plastik di dalam sistem perairan. Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai metode untuk meneliti proses degradasi yang paling optimal untuk digunakan. Lucas et al (2008) ; Singh and Sharma (2008) ;Arkatkar et al (2009) mengembangkan metode degradasi dengan melibatkan sinar ultra violet untuk fotodegradasi, kemudian degradasi oksidatif yang memanfaatkan peroksida khususnya untuk degradasi polimer poliolefin seperti polietilen kemudian degradasi hidrolitik pada perairan dengan kondisi alkalin . Lambert et al (2017) mempertimbangkan keterlibatan unsur abiotik lingkungan perairan seperti gelombang, turbulen, perubahan cuaca yang ekstrim, tekanan akibat perbedaan kedalaman dan bahkan usia plastik saat terpapar disistem perairan. Pengembangan metode degradasi terus berlanjut hingga kajian secara detail proses biodegradasi yang dilakukan oleh Arutchelvi et al (2008) dan Sowmya et al (2014).

Degradasi pada polimer dapat didefinisikan sebagai hasil dari proses kimia, fisika dan biologi yang akan menyebabkan pemutusan ikatan (bond scission) pada rantai senyawa sehingga menghasilkan perubahan struktur molekul (Shah et al., 2008). Lebih lanjut Singh and Sharma (2008) menggambarkan degradasi pada plastik sebagai proses perubahan sifat dari molekul polimer plastik tersebut yang mengakibatkan hilangnya kekuatan tensil dari polimer plastik, perubahan sifat mekanik yang selanjutnya mengakibatkan turunnya rata-rata berat molekul dari senyawa tersebut. Venkatachalam, et al (2012) memberikan gambaran yang lebih detail tentang degradasi pada polimer sebagai suatu proses kimia yang tidak hanya menyebabkan perubahan komposisi kimia dari polimer tersebut tetapi juga sifat fisik dari polimer sehingga polimer yang terdegradasi akan mengalami perubahan warna, formasi rantai pada molekul, berat molekul, distribusi berat molekul, sifat Kristal (Crystallinity) dari polimer, kelenturan dari rantai molekul (Tensile strength), percabangan dan kemampuan molekul untuk berikatan melalui bantuan radiasi (Cross-linking).

Dua hal utama yang berperan penting dalam proses degradasi plastik didalam sistem air laut yaitu faktor karakteristik dari plastik tersebut yang meliputi densitas (kerapatan), kristalinitas, massa molar dan tensile strength (kekuatan Tarik) . Faktor kedua adalah faktor abiotik dari air laut yang meliputi pH, salinitas air laut, fluktuasi air laut, temperatur, curah hujan dan faktor biotik didalam air laut seperti berbagai jenis jamur, alga, plankton dan berbagai organisme laut tingkat rendah lainnya yang ikut berperan dalam menyelesaikan proses degradasi.

Berbagai faktor terlibat dalam menentukan laju degradasi baik faktor abiotik maupun biotik. Suatu polimer pada plastik akan mengalami perubahan baik secara

fisik maupun sifat kimia melalui suatu proses degradasi yang bertahap. Tahap awal dari degradasi plastik didalam perairan laut adalah foto-degradasi yang melibatkan faktor abiotik dimana radiasi sinar ultra violet akan menyebabkan polimer plastik (PBM) akan kehilangan sifat mekanik (mechanical integrity) dan daya tariknya (tensile strength) yang diikuti oleh penurunan berat molekul rata –rata (Singh and Sharma, 2008). Gewert et al (2015) menyatakan bahwa faktor abiotik yang berperan dalam mengawali proses pemutusan rantai pada polimer dengan ikatan karbon-karbon seperti polipropilen adalah radiasi sinar UV dan Oksidasi. Selain faktor abiotik berupa temperatur, radiasi sinar matahari dan paparan senyawa kimia yang berpengaruh dalam proses degradasi kimia, turbulensi udara dan air, penebaran akibat akumulasi plastik di alam, tekanan akibat cuaca seperti salju juga menjadi penyebab terjadinya degradasi mekanik di lingkungan (Lucas et al, 2008). Bertin et al (2010) melakukan penelitian terhadap plastik dengan bahan dasar polimer polipropilen menggambarkan besarnya pengaruh jumlah oksigen , temperatur dan konsentrasi baik dari polipropilen maupun peroksida terhadap proses degradasi dari polimer tersebut. Abiotik memiliki peran yang penting dalam proses degradasi. Penurunan tensile strength (daya tarik) dan hilangnya luas permukaan pada plastik dijadikan metode standart untuk mengindikasikan adanya degradasi secara kimia telah berlangsung (O’Brine ,2010 ;Thompson, 2009). Selanjutnya , setelah proses degradasi secara kimia yang melibatkan faktor abiotik berlangsung, plastik akan siap untuk mencapai tahap degradasi berikutnya yang melibatkan faktor biotik , tahap ini disebut sebagai biodegradasi.

Proses biodegradasi ini terjadi pada polimer yang ikatannya tidak stabil sehingga mudah dihidrolisis, biasanya polimer jenis ini mengandung gugus fungsi

Ester anhidra dan amida, juga memiliki rantai yang hidrofilik sehingga bisa dihidrolisis selain juga memiliki kristalinitas yang rendah (Middleton, 1998). Biodegradasi sendiri dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu kultur dari mikroorganisme dalam memanfaatkan polimer sintetik sebagai sumber karbon untuk dirinya (Sivan, et al., 2006). Lebih lanjut Lucas et al (2008) menggambarkan proses biodegradasi sebagai proses dekomposisi dari senyawa akibat dari kerja mikroorganisme dan kerja tersebut mendorong terjadinya proses recycle pada karbon dan mineralisasi dari senyawa organik. Mikroorganisme adalah faktor biotik utama yang berperan dalam proses biodegradasi.

Analisis dalam proses degradasi abiotik dan biotik sering dilakukan secara terpisah untuk lebih memahami fenomena yang terjadi dalam tiap proses degradasi tersebut meskipun evolusi yang terjadi pada proses biodegradasi (degradasi biotik) sering tergantung pada permulaan dan kelanjutan dari reaksi yang terjadi pada proses degradasi abiotik (Palmisano et al., 1992)

Setelah plastik mengalami perubahan struktur molekul akibat degradasi oleh ultra violet, degradasi oksidatif maupun degradasi hidrolitik, mekanisme selanjutnya yang berperan penting dalam proses degradasi adalah biodegradasi dimana mikroorganisme akan menyerang permukaan polimer dan menetap didalam biofilm membentuk suatu koloni, pembentukan biofilm ini adalah indikator utama terjadinya kerusakan material plastik (Longo, 2011), hal ini disebabkan selama aktifitas mikrobial, mikroorganisme membentuk struktur protein yang disebut enzim yang bertanggung jawab pada metabolisme dan kerusakan (breakdown) unsur didalam polimer kedalam unsur-unsur yang lain. Secara umum yang teridentifikasi di dalam biofilm adalah bakteri, jamur, alga dan protozoa. Tingkat

perubahan sifat fisik dan kimia , serta struktur molekul senyawa organik yang diakibatkan degradasi oleh mikroorganisme disebut sebagai biodegradability senyawa organik (Mohee ,2006).

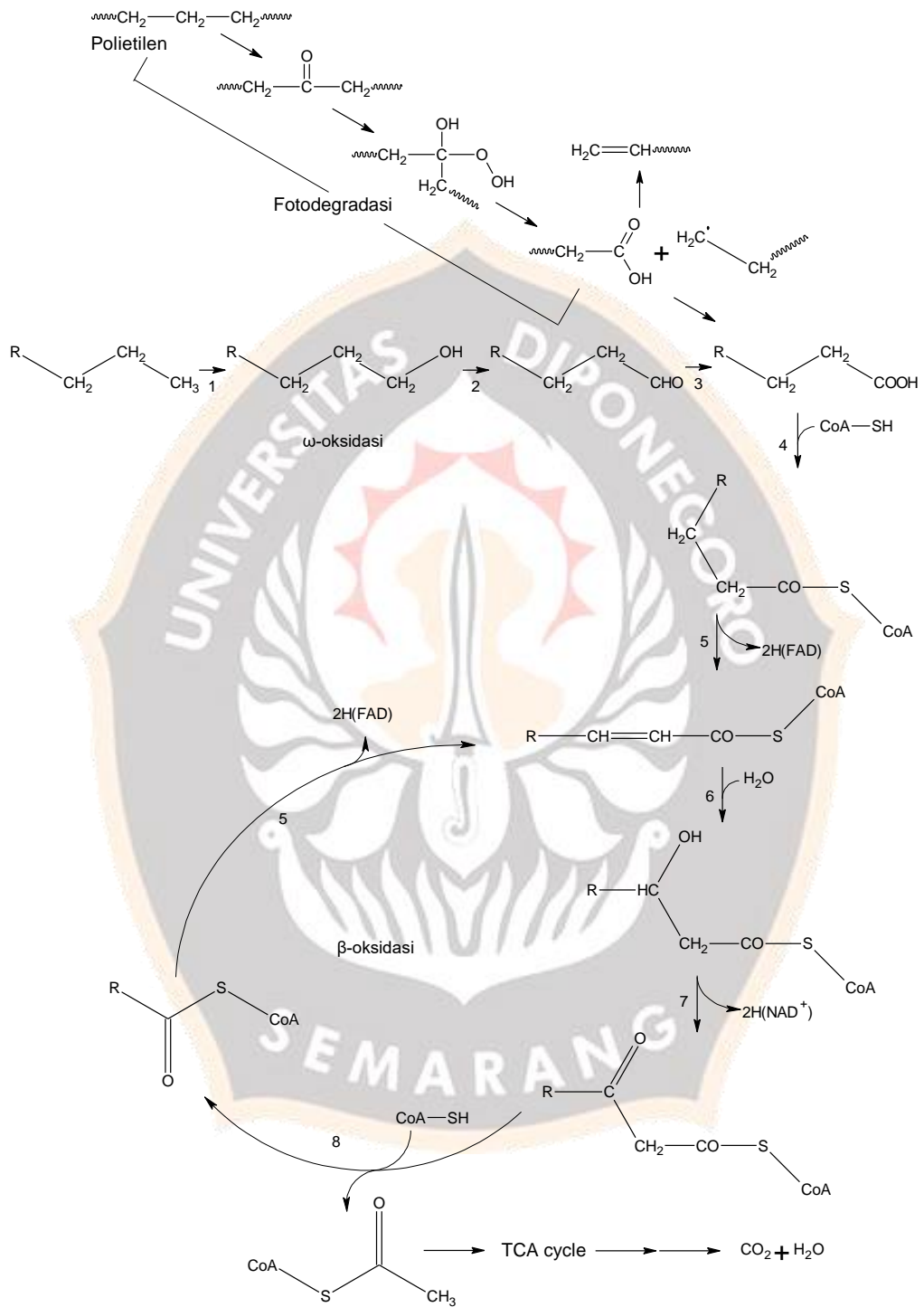
Pada kedalaman air laut tertentu, paparan sinar matahari dan proses oksidasi oleh atmosfer tidak dapat bekerja lagi secara maksimal pada proses degradasi plastik (Browne et al,2008; Watters et al, 2010), ditambah lagi dengan berkurangnya keberagaman dan densitas komunitas mikroba, menyebabkan minimalnya proses biodegradasi di kedalaman air laut, sehingga Barnes et al (2009) menyimpulkan bahwa bahan – bahan polimer tidak terdegradasi secara biologi di dalam kedalaman air laut tetapi hancur menjadi bagian – bagian yang lebih kecil diakibatkan oleh gelombang dan partikel sedimen , proses ini disebut sebagai degradasi mekanik. Hal ini juga dijelaskan lebih detail pengaruh posisi sampah plastik didalam badan air terhadap proses degradasi plastik, dimana plastik yang melayang dipermukaan sistem perairan akan mendapatkan paparan yang maksimal oleh sinar ultra violet dan mendapatkan pengaruh oksigen yang besar dari atmosfer dalam proses oksidasi sehingga dengan dukungan sifat hidrolitik air akan menyebabkan plastik akan rapuh dan terfragmentasi oleh faktor – faktor abiotik ini (Lambert ,2014), disisi lain, pada kedalaman sistem perairan (bottom) pengaruh sinar matahari dan oksidasi nyaris tidak ada sehingga faktor abiotik dianggap sangat rendah , pada kondisi ini biodegradasi menjadi proses paling dominan dengan mengandalakan keberagaman biota didasar sistem perairan dan densitas dari komunitas mikroba (Browne et al, 2008; Walters et al, 2010), meskipun hasil penelitian dari Barnes et al (2009) menunjukkan bahwa plastik tidak sepenuhnya mengalami biodegrasi secara sempurna tetapi peranan aksi gelombang disistem

perairan dan grinding oleh partikel sedimen lebih mendominasi dalam proses kehancuran dan terfragmentasinya plastik (Barnes et.al, 2009).

Densitas dari plastik yang memberikan pengaruh terhadap daya apung (buoyancy) plastik dan menentukan keberadaan plastik di dalam badan air (Water column) merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan. Hal ini dikarenakan mikroorganisme seperti plankton hidup di badan air sehingga berpotensi melakukan biofouling pada plastik yang terakumulasi di badan air. Biofouling (kolonisasi mikroorganisme di permukaan plastik setelah plastik berada di lingkungan perairan) akan mempengaruhi daya apung plastik, dimana biofouling mampu meningkatkan berat massa dari plastik sehingga menurunkan daya apung yang mengakibatkan plastik dengan densitas rendah seperti polietilen mampu tenggelam (sink) ke dasar laut (Thompson et al., 2013). Fragmentasi tidak akan mempengaruhi daya apung selama tidak mengubah densitas plastik.

Dalam proses degradasi plastik di lingkungan, banyak faktor yang mempengaruhi suatu proses degradasi plastik dengan hasil degradasi yang berbeda. Degradasi yang diakibatkan oleh faktor abiotik seperti paparan sinar matahari dan proses oksidasi akan menghasilkan hilangnya tensile strength (kekuatan daya tarik), hilangnya sifat lentur atau menjadi rapuh (brittleness) dan berubahnya struktur molekul tanpa kehilangan massa yang berarti (Sharma, 2015; Potts, 1984), sedangkan akibat degradasi mekanik akan menghasilkan plastik yang terfragmentasi menjadi mikroplastik dalam ukuran yang berubah dari bentuk awalnya (primary plastik) (Suseela dan Toppo, 2006). Parameter Abiotik dalam proses degradasi sangat berperan dalam melemahkan struktur polimer (Helbling et al., 2006; Ipekoglu et al., 2007) dimana terkadang faktor abiotik akan bekerja secara

bersamaan dengan biotik ataupun menjadi inisiasi untuk kerja biotik pada tahap berikutnya .



Gambar 7. Mekanisme degradasi pada polietilen dan polipropilen (Vasile C,1993)

Arutchelvi et al (2008), melakukan studi khusus tentang biodegradasi pada polietilen dan polipropilen menjelaskan bahwa mikroorganisme hanya dapat menyerang permukaan plastik jika permukaan polimer plastik tersebut bersifat hidrofilik, kenyataannya, polipropilen memiliki fungsional group CH_2 sehingga permukaan polipropilen bersifat hidrofobik. Hal ini menyebabkan, serangan mikroorganisme pada permukaan plastik polipropilen membutuhkan bantuan proses degradasi kimia yang meliputi proses oksidasi dan hidrolisis untuk membuat permukaan polipropilen menjadi hidrofilik. Dari gambar 7. Vasile (1993) menggambarkan mekanisme biodegradasi yang diawali oleh degradasi kimia. Langkah awal yang terjadi adalah fotooksidasi, dimana radiasi ultra violet menyebabkan terbentuknya radikal yang diikuti dengan absorpsi oksigen oleh polimer yang menghasilkan produk berupa group karbonil. Group karbonil akan mengalami reaksi degradasi Norrish tipe 1 dan Norrish tipe 2 yang mengarahkan terjadinya pembelahan (cleavage) ikatan C-C sehingga membentuk polimer dengan berat molekul rendah yang teroksidasi (fragmentasi). Terbentuknya molekul dengan berat yang rendah inilah yang mampu meningkatkan sifat hidrofilik dari polimer. Tahap berikutnya adalah tahap biodegradasi dimana 2 karbon asetil CoA masuk ke dalam siklus TCA dan secara sempurna hasil akhir biodegradasi yaitu proses asimilasi menghasilkan produk $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Wolfgang, 2008 memberikan mekanisme yang hampir sama dimana rantai yang panjang ($\text{C}_{10} - \text{C}_{24}$) akan terdegradasi lebih cepat. Rantai yang pendek ($< \text{C}_9$) memiliki sifat yang beracun bagi banyak jenis organisme. Monoterminal oksidasi adalah cara utama yang merupakan hasil dari pembentukan alkohol, aldehid dan asam lemak. B-oksidasi dari asam lemak menghasilkan bentuk Asetil-CoA, yang kemudian memberikan

produk degradasi TAC (Tricarboxyl Acid Cycle), TCA berfungsi sebagai substrat dari energy metabolisme dan membentuk blok untuk biosintesis dari biomassa sell dan pertumbuhannya untuk kemudian memberikan hasil akhir produk asimilasi berupa CO₂, H₂O dan biomass. Tahap berikutnya dari proses degradasi adalah biodegradasi oleh mikroorganisme dimana hidrolisis abiotik, foto-oksidasi dan disintegrasi fisik telah mampu meningkatkan kemampuan plastik untuk mengalami proses biodegradasi (Muthukumar et al.,2015)

Fenomena degradasi pada plastik didalam sistem perairan berkaitan erat dengan produk degradasi yang menjadi sumber pencemar baru didalam sistem perairan, sehingga identifikasi keberadaan mikroplastik yang salah satunya berasal dari produk degradasi plastik perlu dilakukan. Pengambilan sampel dari sistem perairan berupa sedimen dan air laut untuk identifikasi keberadaan mikroplastik adalah langkah penting dalam mempelajari tingkat cemaran dalam sistem perairan (Loder, et al .,2015). Wang et al (2017) dan Hidalgo –Ruz et al (2012) memberikan pernyataan yang sama dari hasil studinya tentang identifikasi mikroplastik didalam sistem perairan, dimana identifikasi plastik secara visual menggunakan mikroskop untuk melihat potensi keberadaan mikroplastik dan membedakannya dengan material organik maupun anorganik adalah langkah utama dalam proses identifikasi mikroplastik didalam sistem perairan. Lebih lanjut, Loder et al.,2015 menuliskan bahwa ada dua langkah dalam proses identifikasi plastik, yaitu Identifikasi secara visual menggunakan mikroskop dan identifikasi melalui struktur kimia penyusunnya menggunakan berbagai jenis instrumen seperti FTIR, analisa C:H:N, Pyrolysis-GC-MS, Raman Spectroscopy dan IR-Spectroscopy. Beberapa kriteria dalam proses identifikasi mikroplastik yang memberikan acuan dalam

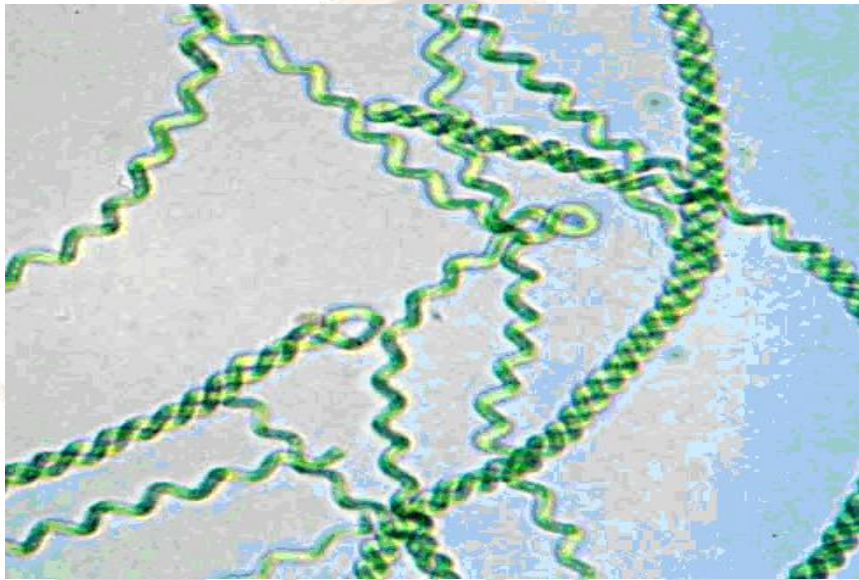
mengidentifikasi keberadaan mikroplastik sehingga terhindar dari kesalahan identifikasi akibat keberadaan material pengganggu yang memiliki kemiripan seperti fragment sel, bagian tubuh binatang laut, alga maupun rumput laut kering, dan berbagai material anorganik mikro (polutan padat) , Noren et al.,2007 dan Doyle et al.,2011, memberikan kriteria sebagai berikut :

- Material yang diduga mikroplastik ataupun fiber tidak memiliki struktur organik yang nampak secara visual
- Fiber harus tebal dan lentur dengan 3 dimensi yang dapat dibedakan dari material yang berasal dari material yang bersifat biologis
- Partikel yang diduga plastik harus jernih/bening dan memiliki warna yang homogen
- Sifat transparan dari partikel tersebut harus ditentukan oleh mikroskop dengan perbesaran tinggi agar dapat dibedakan dari partikel yang berasal dari material biologis.

2.6 Peranan mikroalga *Spirulina sp* dalam proses biodegradasi plastik dan pengaruh mikroplastik terhadap pertumbuhan mikroalga *Spirulina Sp*

Spirulina sp merupakan organisme planktonik yang bersifat autotrof, tidak memiliki inti sel sejati (prokariotik), menyerupai spiral, berfilamen dengan warna biru hijau (Cyanobacterium) yang sangat populer didalam industri makanan dan obat-obatan karena mengandung makro-mikro nutrisi dan protein yang sangat tinggi (Habib,2008 dan Hariyati,2008). Theivandran et al (2015) melaporkan kandungan protein, lipid, glikogen dan asam amino yang terdapat dalam *Spirulina sp Fusiformis* sedangkan Widianingsih et al (2008) menuliskan tentang

kandungan nutrisi didalam *Spirulina sp* plantesis termasuk didalamnya lipid, protein dan karbohidrat yang bermanfaat sebagai sumber pangan dan energi. *Spirulina sp* sebagai cyanobacteria mampu membantu dalam proses oksidasi dengan mensupply oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesisnya (Cerniglia et al.,1980). *Spirulina sp* tahan pada PH tinggi sehingga tidak mudah mati oleh bakteri maupun jamur.

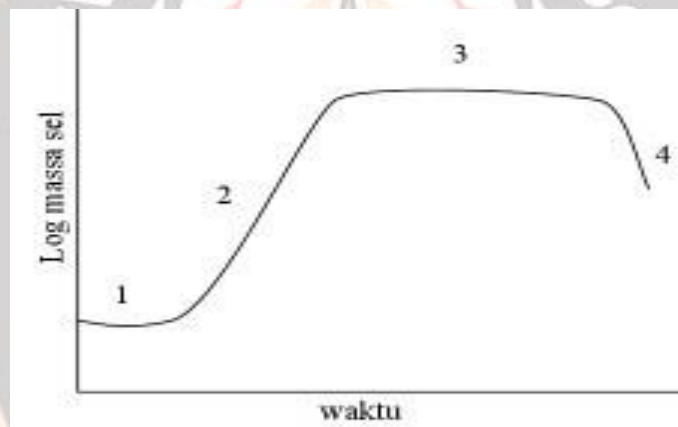


Sumber :MS.C Biotechnology

Gambar 8. Bentuk spiral dari *Spirulina sp*

Spirulina sp dapat ditemukan diperairan laut di Indonesia termasuk juga disepanjang laut jawa, tumbuh dan berkembang biak sangat baik serta mudah dibudidayakan dengan beberapa perlakuan yang dapat diaplikasikan dalam skala besar maupun skala laboratorium. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam budidaya alga jenis *Spirulina sp* ini adalah faktor kondisi yang mempengaruhi pertumbuhannya yaitu nutrisi (pupuk), asupan cahaya, PH yang terjaga alkalinitasnya (ph 8-9) dan CO₂ (Hadiyanto, 2012).

Perubahan konsentrasi alga *Spirulina sp* yang merupakan indikator pertumbuhannya dapat diamati secara kasat mata dengan melihat warna dari alga tersebut dan diperjelas dengan hasil analisa optical density dari alga yang berada didalam media hidupnya yaitu air .Masa pertumbuhan spirulina Sp dapat diukur berdasarkan biomasnya maupun jumlah sel dalam mediumnya (Hadiyanto dan Maulana Adzim, 2012) . Masa pertumbuhan ini oleh Becker (1974) dapat digambarkan dengan grafik dalam keadaan mikroalga homogen pada sistem batch (terakumulasi) dengan kondisi suplai nutrient yang telah ditentukan, sedangkan Fogg dan Thake (1987) menggambarkan fase pertumbuhan mikroalga sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik pertumbuhan mikroalga

Dimana,

1 = fase Lag yaitu fase adaptasi mikroalga dalam medium baru

2 = fase eksponensial (fase log) yang menunjukkan fase kecepatan pertumbuhan mikroalga yang dihitung berdasarkan kenaikan biomasnya dan selisih waktu yang dibutuhkan , dapat dituliskan dalam sebuah persamaan sebagai berikut :

$\mu(\text{growth rate}) = (\ln X_2/X_0)/\Delta t$, selanjutnya kondisi 2 ini akan mencapai penurunan fase log dimana biomass telah mencapai tahap populasi maksimum sehingga kebutuhan makanan pada medium berkurang.

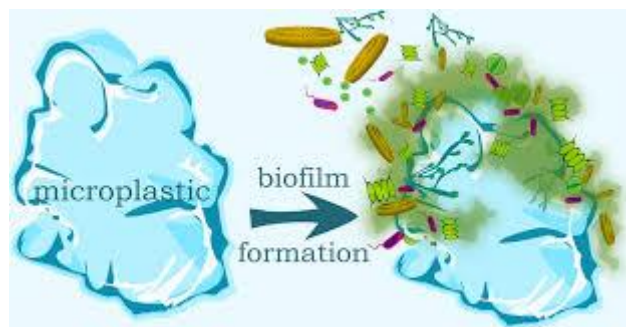
3 = fase stasioner, dimana tidak ada lagi pertumbuhan mikroalga atau kecepatan mikroalga, pada fase ini jumlah sel mikroalga yang hidup sama dengan jumlah sel yang mati

4 = fase kematian, dimana sel mikroalga yang mati lebih banyak dibandingkan sel mikroalga yang hidup.

Mikroorganisme khususnya alga memiliki kemampuan untuk menghasilkan senyawa bertekstur lengket yang disebut EPS (Extracellular Polymeric Substances) yaitu suatu senyawa polimer alami dengan berat molekul tinggi yang dikeluarkan oleh mikroorganisme ke lingkungan, merupakan pembentuk koloni utama pada material-material seperti batu, dinding dan lain-lain yang berperan sebagai biodeteriorasi (Treub, 1988). EPS memiliki peran penting dalam proses biodegradasi, dimana keberadaan EPS akan menjadi media tumbuh bagi mikroba dan memicu terbentuknya heteroagregasi yang melibatkan plastik, mikroba dan detritus (Long et al., 2015). EPS mengandung eksopolisakarida, lipid, protein dan senyawa lain, tetapi untuk *Spirulina sp* kandungan yang paling dominan didalam EPS nya adalah Eksopolisakarida Sheng et al (2010); Sharma et al (2015); Nur, et al (2019) disisi lain polimer merupakan sumber senyawa organik termasuk karbon untuk memenuhi kebutuhan hidup mikroorganisme (Sharma et al., 2015). EPS yang merupakan suatu enzim dengan situs hidrofilik dan hidrofobik, sangat menguntungkan ketika dia berperan dalam menyerang situs hidrofobik pada permukaan plastik dikarenakan situs hidrofobik dari EPS ini

mampu menyerap polutan organik (Spath et al.,1998). Flemming and Leis (2002) menjelaskan bahwa EPS dalam agregat mikrobial mempunyai banyak situs yang mampu menyerap logam dan senyawa organik seperti senyawa aromatik, alifatik dalam protein dan area hidrofobik dalam karbohidrat . Dalam artikel yang lain Gu et al (2003) menjelaskan bahwa EPS dari mikroalga mampu memecah (Breakdown) ikatan polimer yang kompleks untuk menghasilkan cincin yang lebih pendek yang akan meningkatkan hidrofilitas permukaan plastik sehingga melalui membran semi permeable mampu dilewatkan oleh membran bakteri yang memanfaatkan plastik menjadi sumber karbon.

Mikroalga, dalam hal ini *Spirulina sp*, pada medianya membutuhkan substrat, oksigen dan nutrient untuk dapat hidup dan menghasilkan EPS. EPS akan dihasilkan oleh mikroalga pada saat kondisi normal, dan akan meningkat produksi EPSnya jika mikroalga berada pada kondisi stasionary dan stress (Nur et al.,2019 ; Kumar et al.,2017). Kemampuan mikroorganisme dalam memproduksi EPS dan komposisi dari EPS itu sendiri sangat dipengaruhi oleh faktor nutrisi tipe substrat, fase pertumbuhan dari mikroorganisme tersebut, dan kondisi eksternal dalam medianya (Sheng et al.,2010). Kondisi yang mampu memicu stress pada Mikroalga *Spirulina sp* adalah kondisi ketika ketersediaan nutrisi (Abdullahi et al.,2006) dan cahaya terlalu berlebihan dan juga produksi EPS yang terlalu tinggi dikarenakan EPS itu sendiri bersifat toksik bagi *Spirulina sp*. Selanjutnya , senyawa EPS ini mampu membentuk khelat media sekitarnya yang menyebabkan meningkatnya kelarutan dan ketersediaan nutrisi yang lebih besar (Venkataraman,1972).



Gambar 10. Serangan mikroorganisme pada permukaan plastik untuk membentuk biofilm

Keberadaan mikroplastik didalam suatu media tumbuh *Spirulina sp* memberikan nilai keuntungan dan kerugian bagi keberlangsungan hidup *Spirulina sp*. Ketersediaan sumber karbon akibat keberadaan mikroplastik seharusnya mampu mendorong pertumbuhan *Spirulina sp* yang lebih cepat, tetapi produksi EPS yang berlebihan akibat berlebihnya sumber nutrient menyebabkan *Spirulina sp* mengalami stress dan menurunkan laju pertumbuhannya (Sjolemma et al., 2016 ;kumar et al.,2017). Lebih lanjut Sjolemma et al.,2017 dalam penelitiannya juga membuktikan bahwa keberadaan mikroplastik memberikan efek shading bagi distribusi cahaya yang dibutuhkan *spirulina Sp*.

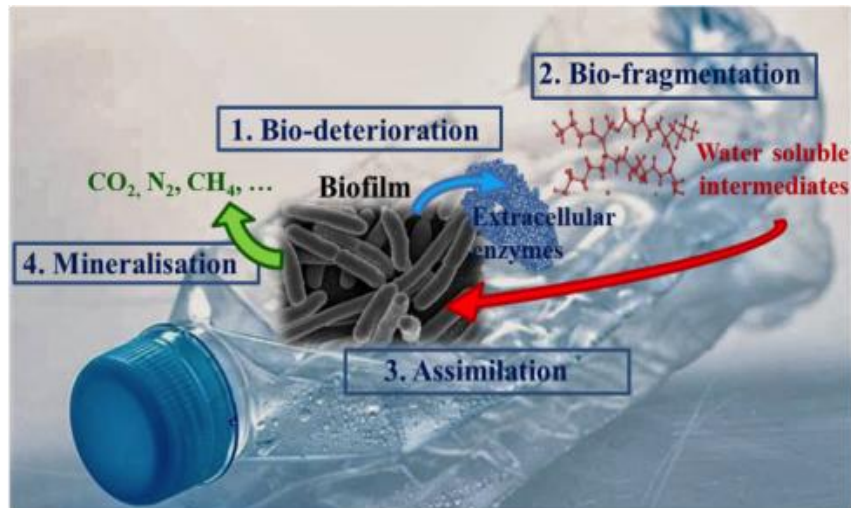
Pada biodegradasi dimana proses degradasi pada plastik melibatkan faktor biotik yang memanfaatkan senyawa polimer yaitu plastik sebagai substrat bagi pertumbuhan dan energinya akan menghasilkan produk akhir dari proses biodegradasi lengkap berupa biomassa mikroba dalam lingkungan aerobik dengan terbentuknya biofilm. Biofilm yang merupakan kumpulan mikroorganisme yang dikelilingi EPS ini melekat dipermukaan plastik , secara mata telanjang dapat dikenali dari teksturnya yang licin dan berwarna hijau (Suseela et al.,2006) akan memanfaatkan plastik sebagai sumber karbon yang kemudian dioksidasi oleh oksigen dari lingkungannya termasuk oksigen yang dihasilkan oleh *Spirulina sp*

untuk kemudian menghasilkan produk asimilasi berupa CO₂ (evolusi CO₂), H₂O dan biomass. Konsumsi oksigen oleh mikroorganisme (mikroba dan jamur) didalam biofilm untuk membentuk CO₂ adalah indikator utama dalam proses biodegradasi (Hoffmann.,1997;Shah et al.,2008;Arkatkar.,2009).

Provokasi biofilm dalam memicu perubahan sifat fisika dan sifat kimia plastik dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Perubahan sifat fisika (Physical deterioration), pembentukan biofilm mikroba dikaitkan dengan sekresi senyawa polimer ekstraseluler (EPS) yang memperkuat kohesi dari biofilm dan adhesi permukaan plastik, dimana EPS masuk ke pori-pori plastik sehingga mikroorganisme dapat tumbuh didalamnya, hal ini menyebabkan ukuran pori-pori membesar sehingga memicu keretakan dan melemahkan sifat fisik dari plastik itu sendiri (Bonhomme et al., 2003)
2. Perubahan sifat kimia (Chemical deterioration), pembentukan komunitas mikroba pada plastik yang bermacam-macam berpotensi melepaskan senyawa-senyawa asam seperti asam nitrit (HNO₂), asam nitrat (HNO₃) , Asam sulfat (H₂SO₄) serta berbagai asam organik seperti asam oksalat (H₂C₂O₄), asam fumarat (HO₂CCH=CHCO₂H), asam glutaric, glyoksal (OCHCHO) dan asam oksaloasetik (HO₂CC(O)CH₂CO₂H) , kondisi ini mengubah PH didalam pori-pori yang menyebabkan degradasi berlangsung cepat dan terus menerus sehingga mengubah mikrostruktur pada matrik plastik.

Faktor penting yang berperan didalam pembentukan biofilm adalah gaya elektrostatik, muatan permukaan, hidrofobik permukaan dan ketersediaan kation (Bhaskar et al., 2005).



Sumber: *Oceans.taraexpeditions.org*, 2014

Gambar 11. Tahapan pada proses biodegradasi plastik oleh mikroorganism

Kolonisasi pada sampah plastik dilautan oleh mikroorganism telah dikaji pada tahun 1970 saat ditemukanya diatom dan mikroba lain pada sampah plastik (Carpenter et al, 1972, Colton et al, 1974). Kolonisasi dari mikroorganism dalam jumlah besar ini disebut sebagai biofouling (Suseela dan Toppo,2006). Proses biodegradasi oleh mikroorganism pada plastik merupakan fenomena yang sangat kompleks karena melibatkan berbagai faktor dan melalui beberapa step. Lucas et al (2008) memberikan gambaran tentang tahapan-tahapan pada proses biodegradasi plastik dengan mirkoorganism seperti pada gambar 3. Yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bio-deterioration , yaitu suatu tahap dimana mikroorganism dan jenis organisme dekomposer lain melakukan perusakan fisik dan kimia

(deterioration) yang akan menghasilkan degradasi superfisial yang mengubah sifat mekanis, fisik dan kimia dari plastik,

2. Bio-fragmentation, yaitu suatu tahap dimana terjadi aksi katalitik yang memisahkan polimer pada plastik kedalam bentuk oligomer, dimer atau monomer oleh ekto-enzim atau radikal bebas yang disekresikan / dikeluarkan oleh mikroorganisme,
3. Assimilation, yaitu mengkarakterisasi penggabungan molekul yang kemudian diangkut dalam sitoplasma dalam metabolisme mikroba,
4. Mineralisation, yaitu tahap degradasi molekul lengkap yang menghasilkan ekskresi metabolit yang teroksidasi sepenuhnya (CO_2 , H_2O dan biomassa pada kondisi aerobik) dan (CO_2 , CH_4 , H_2O dan biomassa pada kondisi anaerobik) (Arutchelvi J et al., 2008)

Suseela dan Toppo (2006) melakukan penelitiannya dengan mengumpulkan kantong plastik yang terbuang dibadan air, plastik dengan jenis polimer Politen (High-low Density polietilen) ini ditemukan dalam kondisi penuh dengan alga yang tumbuh dipermukaannya, dimana alga tersebut membentuk koloni yang ditandai dengan penampakan fisik berupa tekstur yang berlendir, mudah robek, rapuh dan berwarna hijau. Pada kondisi ini, plastik polietilen mengalami desintegrasi (terpotong-potong) menjadi serpihan plastik berukuran kecil hingga mikro yang merupakan bagian dari fase dekomposisi akibat dari aktifitas mikroorganisme didalam lingkungan akuatik. Uji biodegradasi plastik oleh Spirulina dilakukan dengan beberapa instrumen diantaranya Fourier Transform Infrared (FT-IR) spektroskopi. Hasil penelitian Jackson (1996) menunjukkan bahwa FTIR adalah teknik yang tepat untuk digunakan dalam identifikasi makromolekul dan sistem

biologi kompleks seperti jaringan dan sel, hal ini disebabkan adanya bimolekuler yang sangat familiar didalam *Spirulina* seperti asam nukleat, protein, lipid dan karbohidrat (Theivandran et al., 2015), dimana keberadaannya nampak pada daerah FTIR didalam spektra 3428-3320 hingga 620-490 dalam frekwensi yang berbeda. Dalam kondisi aerobik, mikroba memanfaatkan oksigen untuk mengoksidasi karbon dan membentuk karbon dioksida sebagai salah satu produk utama metabolisme.

Analisa FTIR juga dilakukan pada biomassa *Spirulina Sp* itu sendiri untuk melihat pengaruh keberadaan mikroplastik terhadap kandungan elemen organik dengan adanya perubahan gugus fungsional organiknya. Dmytryk et al (2014) membrikan data hasil analisis FTIR untuk identifikasi gugus fungsional organik pada *Spirulina Sp* yaitu peak yang mucul pada panjang gelombang $861,48 \text{ cm}^{-1}$ ditujukan pada polisakarida, $1049,44$ untuk $\gamma\text{C-C/CO}, \gamma\text{OH}$, $1150,86$ untuk polisakarida dan polisakarida eter, $1241,96$ untuk amida, polisakarida dan ester, $1400,08$ untuk group karboksil, $1454,64$ untuk cincin alkil, $1541,50$ untuk amida kedua, $1654,16$ untuk protein amida pertama, $2874,17$, $2917,79$ dan $2960,11$ untuk cincin alkil dan selanjutnya $3302,49$ untuk amina. Hasil identifikasi Dmytryk, et al (2014) ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melihat perubahan struktur organik *Spirulina Sp* setelah mengalami perlakuan dengan mikroplastik.

2.7 Dampak sampah plastik bagi lingkungan hidup

Mikroplastik yang merupakan produk dari proses degradasi mengandung senyawa kimia yang memiliki potensi untuk lepas selama plastik berada diperairan. Kecepatan lepasnya senyawa aditif dari plastik sangat dipengaruhi oleh ukuran

molekul dari senyawa aditif tersebut, tentu saja semakin kecil ukuran molekul senyawa aditif tersebut maka semakin cepat akan terlepas dari plastik itu sendiri, NIVA, 2014. Berbagai faktor yang mempengaruhi transportasi kontaminan dari dan ke partikel mikroplastik diantaranya adalah konsentrasi gradien, proses penyerapan (sorption process, karakteristik kontaminan, jenis polimer, ukuran dan konformasi dari partikel mikroplastik, degradasi dan erosi polimer, biofouling, turbulen air laut, temperatur, salinitas, lapisan batas, sedimen dan kemampuan menelan organisme laut (Ingestion).

Akumulasi plastik didalam lingkungan perairan memberikan potensi kontaminasi senyawa kimia yang berbahaya yang tidak hanya disebabkan oleh lepasnya polutan organik yang persisten (POPs) dari permukaan plastik dan proses pelepasan (Leaching) bahan aditif kimia dari plastik, tetapi juga karena lepasnya senyawa kimia yang diakibatkan oleh proses degradasi polimer plastik itu sendiri (Rochman,2015 and Lambert,2014).

Mikroplastik baik yang primer maupun yang merupakan produk dari proses degradasi hampir ditemukan disetiap spesies laut akibat dari ukurannya yang mudah ditelan dan dijerat oleh organisme laut tingkat rendah (Nelson, 2013). Lebih lanjut, Lambert,2014 juga menemukan adanya mikroplastik yang terakumulasi didalam konsumen yang tidak selektif seperti ikan, jenis kerang kerangan dan berbagai jenis hasil laut yang kemudian dikonsumsi oleh konsumen tingkat kedua dan ketiga termasuk manusia.

Kerang hijau atau disebut sebagai Asian Green Mussels (*Perna Veridis*) merupakan family kerang kerangan yang memiliki nilai ekonomi tinggi (Normah, 2016) yang sangat umum dikonsumsi oleh manusia dan merupakan salah satu hasil

laut andalan bagi nelayan di daerah pesisir Tambak Lorok. Disebabkan oleh kandungan nutrisinya yang tinggi serta rasa yang enak, kerang jenis ini sangat banyak disukai oleh masyarakat di Indonesia. Kerang hijau ini dibudidayakan dengan cara menancapkan bambu di area perairan laut dengan kedalaman tertentu, kemudian kerang akan tumbuh menempel di bambu - bambu tersebut yang biasa disebut dengan rumpon.

Kerang hijau termasuk dalam jenis organisme laut yang tidak selektif tetapi memiliki sistem penyaring untuk menyaring partikel organik, plankton dan mikroorganisme laut lainnya, sehingga kontaminan yang ditelan tidak akan memberikan efek toksik untuk tubuhnya tetapi dapat terakumulasi di dalam tubuh kerang tersebut.

Aktivitas Kerang hijau dalam mengambil makanan ke dalam tubuhnya dipengaruhi oleh temperatur, konsentrasi dari makanan dan terutama oleh salinitas. Salinitas sangat mempengaruhi kinerja kerang hijau dalam mengonsumsi apapun sebagai makannya, karena salinitas yang akan mengatur tingkat kerja osmoregulasi, dimana tingkat kerja osmoregulasi sangat berperan dalam mengatur energi tubuh kerang dalam memasukkan setiap material yang masuk ke dalam tubuhnya.

Kemampuan Kerang hijau dalam mengakumulasi kontaminan di dalam tubuhnya menyebabkan kerang hijau mampu menjadi indikator dalam mengukur tingkat pencemaran di lingkungan perairan laut.



Gambar 12. Rumpon bambu tempat menempelnya kerang hijau yang dibudidaya oleh nelayan Tambak Lorok

2.8. Upaya mengurangi dampak pencemaran sampah plastik

Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran sampah plastik, diantaranya dengan mengurangi pemakaian plastik dari tingkat domestik hingga industri dan menggantikannya dengan bahan lain yang lebih mudah terdegradasi dan memiliki sifat toksik yang relative rendah jika dibandingkan dengan plastik. Melakukan berbagai inovasi yang salah satunya adalah membuat degradable plastik juga merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari pencemaran sampah plastik, meskipun biayanya relative lebih mahal jika dibandingkan dengan jenis plastik berbahan polimer.