

POTENSI BAKTERI SEDIMEN MANGROVE DALAM MENDEGRADASI PLASTIK MENGGUNAKAN METODE KOLOM WINOGRADSKY

ACHMAD CHUSNUN NI'AM^{1*}, SITI IRHAYATUL AINIYAH¹, RHENNY RATNAWATI², ILHAM SETIAWAN³

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arief Rachman Hakim 100, Surabaya, 60117, Indonesia
2. Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII/4, Surabaya, 60234, Indonesia
3. Jurusan Biologi, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Jl. Dukuh Menanggal XII/4, Surabaya, 60234, Indonesia

*Email: ach.niam@gmail.com

ABSTRAK

Plastik merupakan suatu material industri dengan banyak kelebihan ekonomis sehingga diproduksi dan digunakan meluas hampir di seluruh aspek kehidupan manusia. Namun, plastik memiliki kekurangan yaitu sulit terurai di lingkungan karena ikatan rantai karbon yang panjang. Akibatnya, diperlukan lebih dari satu dekade agar plastik terdegradasi dan termineralisasi ke lingkungan. Peningkatan jumlah konsumsi plastik tentu menambah dampak akibat sampah plastik yang dibuang ke lingkungan. Biodegradasi adalah salah satu upaya untuk mengelola sampah plastik. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis potensi bakteri yang diisolasi dari sedimen Mangrove Wonorejo Surabaya dalam mendegradasi plastik Polyethylene, Polypropylene, dan Polystyrene menggunakan metode Kolom Winogradsky. Substrat yang digunakan adalah pasir dan tanah, dengan Bushnell-Haas broth sebagai media tumbuh bakteri, dan plastik uji ukuran 10x3 cm. Persen degradasi dihitung berdasarkan selisih berat kering sebelum dan sesudah masa inkubasi selama 12 minggu. Sebanyak 17 isolat bakteri berhasil diisolasi dari masing-masing sumber sampel. Persen degradasi terbesar ditemukan pada sampel sedimen mangrove di titik 3 substrat pasir sebesar 82.3% untuk jenis Polypropylene diikuti titik 5 pada substrat tanah sebesar 34.1 untuk jenis Polystyrene. Plastik jenis Polyethylene lebih sulit terdegradasi daripada Polystyrene dan Polypropylene

Kata kunci: biodegradasi, Kolom Winogradsky, plastik, sedimen mangrove.

ABSTRACT

Plastic is an industrial material with numerous economic advantages so that it is produced and widely used in almost all aspects of human life. However, plastic has the disadvantage that it is difficult to decompose in the environment because of the long carbon chain bonds. As a result, it can take more than a decade for plastic to degrade and mineralize into the environment. The increase in the amount of plastic consumption certainly adds to the impact due to plastic waste being dumped into the environment. Biodegradation is one effort to manage plastic waste. The purpose of this study was to analyze the potential of bacteria isolated from the Wonorejo Mangrove sediments in Surabaya in degrading polyethylene, polypropylene and polystyrene plastics using the Winogradsky Column method. The substrate used was sand and soil, with Bushnell-Haas broth as a growth medium for bacteria, and a 10x3 cm test plastic. The percent degradation was calculated based on the difference in dry weight before and after the 12-week incubation period. A total of 17 bacterial isolates were successfully isolated from each sample source. The greatest percentage of degradation was found in mangrove sediment samples at point 3 on the sand substrate at 82.3% for the Polypropylene followed by point 5 on the soil substrate at 34.1 for the Polystyrene. Polyethylene is more difficult to biodegrade than Polystyrene and Polypropylene.

Keywords: biodegradation, Winogradsky column, plastics, mangrove sediment.

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan suatu material industri dengan banyak kelebihan ekonomis seperti; lebih ringan, bersifat isolator, tahan lama, serta proses pembuatannya murah (Hourston, 2010) sehingga diproduksi dan digunakan meluas dalam memenuhi kehidupan manusia. Plastik tersusun dari minyak bumi, gas alam, maupun batubara (Ramest, 2011) dengan derajat polimerisasi hingga 10.000 (Krzan, 2012). Kelebihan plastik yang ekonomis membuat jumlah konsumsi plastik meningkat sehingga jumlah sampah yang dibuang ke lingkungan juga bertambah (Ni'am A.C., 2019) (Ni'am A.C, 2022) (Joshi, 2010). Secara khusus, plastik yang hanya mengandung karbon-karbon (C-C) kurang rentan terhadap degradasi karena kurangnya gugus yang dapat terhidrolisis. Penanganan konsumsi plastik diatur dalam PP Nomor 81 Tahun 2012 tentang pengelolaan sampah. Upaya yang dilakukan diantaranya yaitu 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), penetapan kantong plastik berbayar sejak tahun 2016, dan diciptakannya kantong plastik biodegradable yang diklaim mampu terurai secara alami di lingkungan dengan waktu singkat. Di Kota Surabaya, penanganan mengenai penggunaan plastik diatur dalam Peraturan Wali Kota Nomor 16 tahun 2022 tentang Pengurangan Penggunaan Kantong Plastik di Kota Surabaya.

Biodegradasi merupakan proses degradasi yang melibatkan aktivitas biologis, dimana prosesnya mengarah pada degradasi dan asimilasi polimer oleh mikroorganisme untuk memproduksi hasil degradasi (Leja, 2009). Biodegradasi dapat digunakan sebagai solusi potensial untuk pengelolaan sampah plastik dengan bantuan mikroorganisme sehingga eksplorasi mikroorganisme pendegradasi plastik dari berbagai sumber perlu dilakukan. Secara umum, bakteri berperan sebagai konsumen, pengurai, dan pemelihara siklus biogeokimia di lingkungan.

Mikroorganisme yang diisolasi dari air sampah mangrove mempunyai kemampuan mendegradasi plastik hitam (Hasanah, 2015). Penelitian serupa menemukan bakteri *Pseudomonas* sp. mampu mendegradasi plastik putih sebesar 3,3% dan plastik transparan sebesar 4,5% selama 3 bulan masa inkubasi (Sriningsih, 2015). Bakteri *Pseudomonas* sp. dilaporkan mempunyai kemampuan degradasi pada plasti jenis polyethylene pada suhu 30°C dengan masa inkubasi selama 12 hari (Tribedi, 2014). Maka besar kemungkinan mikroorganisme dari sedimen mangrove juga berpotensi untuk mendegradasi plastik (Y Wang, 2003). Selain dari sedimen mangrove, inokulum yang didapatkan dari tanah yang tertimbun sampah mampu mendegradasi plastik (Ainiyah, 2014). Potensi adanya bakteri di dalam tanah yang mampu mendegradasi plastik perlu dilakukan investigasi pada berbagai jenis plastik. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah menganalisis morfologi dan jenis potensi bakteri yang diisolasi dari sedimen mangrove Wonorejo Surabaya dalam mendegradasi plastik (*Polyethylene, Polypropylene, dan Polystyrene*) menggunakan metode Kolom Winogradsky. Ruang lingkup pengamatan biodegradasi dilakukan pada morfologi dan jenis bakteri berdasarkan pewarnaan gram.

2. METODE

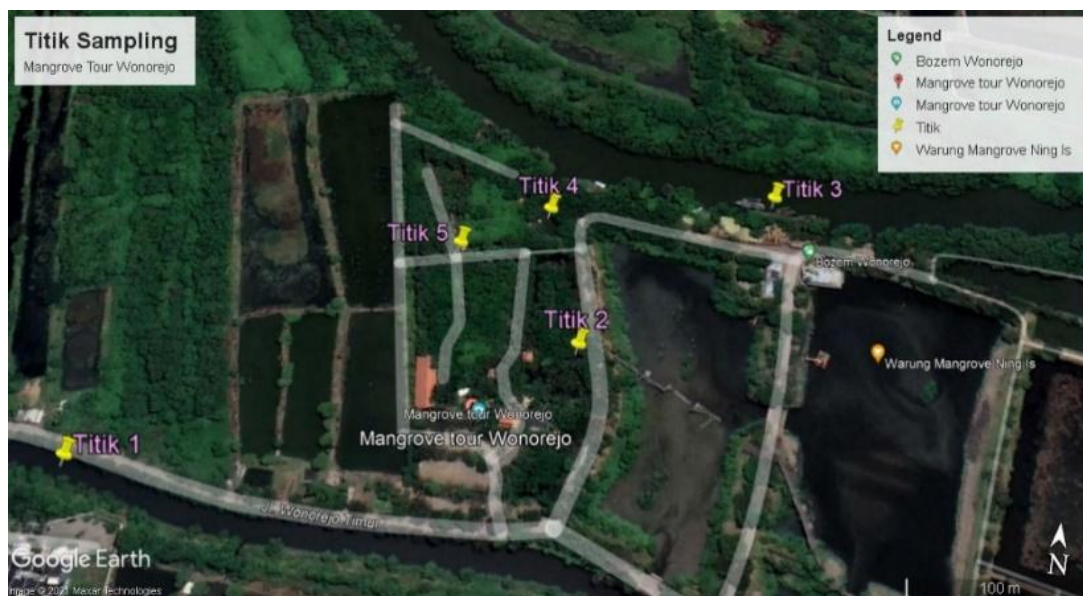
Bakteri yang digunakan diisolasi dari sedimen mangrove yang diperoleh dari Hutan Mangrove Wonorejo Kota Surabaya Jawa Timur. Sedimen mangrove yang diambil berasal dari 5 titik lokasi. Pengambilan sampel sedimen mangrove dilakukan pada 5 titik berbeda yang telah ditentukan mengingat adanya perbedaan lingkungan air tawar, laut dan darat. Sampel sedimen diambil secara acak pada area yang berbeda dengan tujuan untuk memperoleh informasi tentang variasi bakteri yang berbeda. Sampel diambil berjarak satu sama lain dimaksudkan untuk mengurangi variasi lokal sekaligus untuk mendapatkan perbandingan

variasi bakteri. Sampel diambil secara langsung dari sedimen mangrove menggunakan Van Veen grab sampler pada kedalaman 10 cm dari permukaan tanah yang terendam air, kemudian disimpan dalam wadah dengan label (T1,T2,T3,T4,T5) dan dilakukan pengecekan suhu dan pH pada kondisi perairan (Tabel 1).

Tabel 1. Titik sampling sedimen mangrove

Titik	Area	Koordinat	Suhu (°C)	pH
T1	Sungai	7°18'32.79" S 112°49'10.75" E	29 °C	7,8
T2	Hutan mangrove	7°18'29.59" S 112°49'19.81" E	29 °C	7,3
T3	Sungai	7°18'25.69" S 112°49'23.66" E	30 °C	8,1
T4	Hutan Mangrove	7°18'26.54" S 112°49'18.92" E	30 °C	7,6
T5	Hutan Mangrove	7°18'27.59" S 112°49'17.18" E	30 °C	7,6

Sebagai salah satu metode biodegradasi, Kolom Winogradsky diklaim mampu meningkatkan pertumbuhan berbagai mikroba baik aerobik atau anaerobik (Anderson, 1999). Kolom Winogradsky digunakan dalam skala laboratorium untuk mempelajari dan menggambarkan hubungan independen mikroorganisme yang saling mempengaruhi dalam lingkungan yang telah ditentukan, agar berkembang dengan memanfaatkan nutrisi dan energi yang ada di dalam kolom (Martinko, 2000).



Gambar 1. Titik Pengambilan Sedimen Mangrove

Isolasi bakteri

Sampel lumpur sedimen pada masing-masing titik ditimbang seberat 1 gram kemudian dihomogenisasi dalam larutan NaCl 0,9% sebanyak 9 ml. Suspensi yang diperoleh diambil 1 ml dengan pipet dan ditetaskan pada cawan petri yang berisi media nutrient agar, kemudian diratakan dengan batang sebar. Media diinkubasi pada suhu ruang selama 48 jam dalam

ruangan tertutup. Koloni bakteri yang tumbuh pada media kemudian diamati morfologinya, dan dilanjutkan dengan uji pewarnaan gram.

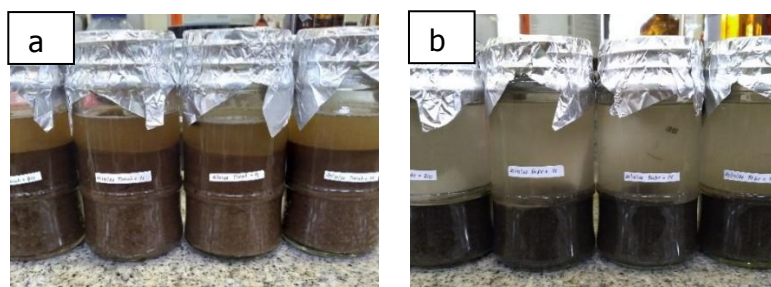
Preparasi plastik uji

Plastik uji yang digunakan adalah jenis plastik PE, PP, dan PS. Plastik uji masing-masing dipotong dengan ukuran 10x3 cm, kemudian disterilkan menggunakan alkohol 70% selama 30 menit lalu dikeringkan-anginkan pada *Laminar Air Flow (LAF)* selama 30 menit, dan dioven selama 24 jam pada suhu 80°C. Selanjutnya plastik uji ditimbang berat kering awalnya menggunakan neraca analitik. Proses sterilisasi plastik uji pada sinar *ultraviolet (UV)* dalam *Laminar Air Flow* dimaksudkan untuk mengeliminasi mikroorganisme yang menempel pada plastik uji. Warna plastik uji ditentukan pada warna putih dan transparan, hal ini dimaksudkan agar sinar UV dapat menembus kedua permukaan plastik sehingga proses sterilisasi merata. Selain itu proses sterilisasi membutuhkan waktu 30 menit agar bakteri yang tidak diinginkan bisa mati, sehingga tidak akan memengaruhi proses inkubasi pada kolom Winogradsky (Hasanah, 2015).

Modifikasi Kolom Winogradsky

Kolom dirancang dari toples kaca berukuran 800 ml yang tersusun atas dua lapisan. Lapisan pertama adalah substrat sebanyak 300 g, dan lapisan kedua adalah media Bushnell Haas broth (BH) yang ditambahkan sebanyak 350 ml hingga membentuk lapisan tipis di atas substrat, kemudian dicampurkan dengan koloni bakteri yang tumbuh dari setiap sumber sampel. Plastik uji ditanam menggunakan pinset steril dan dibenamkan ke dalam substrat. Setelahnya toples kaca ditutup dengan aluminium foil. Kolom Winogradsky diinkubasi selama 12 minggu dengan pengamatan berkala setiap 3 minggu sekali. Media BH dibuat dengan mencampurkan magnesium sulphate 0,2 g/L, calcium chloride 0,02 g/L, monopotassium phosphate 1 g/L, dipotassium phosphate 1 g/L, ammonium nitrate 1 g/L, dan ferric chloride 0,05 g/L dalam 1 liter aquades. Media BH kemudian ditambahkan KOH 40% sebanyak 10 tetes untuk menetralkan pH. Selanjutnya media BH disterilisasi menggunakan autoklaf selama 30 menit pada tekanan 15 psi.

Kolom Winogradsky dirancang menggunakan metode destruktif dimana toples kaca diisi substrat sebanyak 300 gram, kemudian ditambah media Bushnell Haas 350 mL hingga membentuk lapisan tipis media di atas permukaan substrat. Plastik uji ukuran 10x3 cm dimasukkan ke dalam toples menggunakan pinset steril hingga tertanam pada substrat. Hal ini dikarenakan pada saat proses degradasi, mikroba membutuhkan substrat sebagai media melekat dan tumbuh. Semakin besar ukuran substrat dan semakin kompleks penyusunnya maka proses biodegradasi berlangsung semakin lama, begitupun sebaliknya (Dias, 2007). Kolom Winogradsky ditutup menggunakan aluminium foil agar tidak terkontaminasi dari udara luar, serta untuk menciptakan kondisi anaerob pada kolom. Kolom diinkubasi dalam ruangan tertutup selama 12 minggu dengan pengamatan rutin secara berkala setiap 3 minggu sekali.



Gambar 2. Kolom winogradsky (a) substrat tanah dan (b) substrat pasir

(Sumber : Dokumentasi Pribadi, 2022)

Persentase Degradasi Plastik

Persen degradasi plastik uji dihitung berdasarkan selisih berat kering awal sebelum dan sesudah masa inkubasi. Berat kering plastik uji ditimbang menggunakan neraca analitik OHAUS PX224/e dengan empat angka dibelakang koma, setiap 3 minggu sekali selama masa inkubasi 12 minggu.

$$\% \text{ weight loss} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad 1)$$

Keterangan :

A = Berat kering awal plastik sebelum degradasi (g)

B = Berat kering akhir plastik setelah degradasi (g)

Identifikasi Bakteri Sedimen Mangrove

Koloni bakteri yang tumbuh pada medium NA dilakukan pengamatan morfologinya untuk mengetahui; bentuk, diameter, margin, elevasi, karakteristik optic, dan warna pigmentasi. Kemudian dilakukan uji pewarnaan gram untuk mengelompokkan bakteri gram positif dan gram negatif berdasarkan perbedaan dinding sel isolat bakteri yang menyerap warna yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodegradasi Plastik

Plastik uji sebelum diinkubasi dalam kolom Winogradsky akan disterilisasi menggunakan sinar UV pada LAF selama 30 menit. Tahapan ini disebut fotodegradasi, yaitu sebagai permulaan proses degradasi secara abiotik menggunakan sinar UV tanpa disertai aktivitas mikroorganisme. Tahap perendaman dalam alkohol dan pemaparan sinar UV pada plastik uji dimaksudkan untuk membuka serat plastik sehingga memudahkan bakteri untuk menempel di permukaan plastik uji. Setelah itu, ditimbang berat kering plastik uji untuk mengetahui berat kering awal yang kemudian akan dibandingkan dengan berat kering akhir setelah melewati proses inkubasi dalam kolom Winogradsky. Kolom Winogradsky umumnya digunakan pada skala laboratorium untuk menciptakan ekosistem tiruan dengan beberapa factor pengaruh yang telah dikontrol. Kolom dibuat dengan tujuan untuk mempelajari komunitas mikroba dalam memanfaatkan lingkungan sekitarnya sebagai sumber makanan (Madigan, 2012). Kolom Winogradsky mempunyai 2 lapisan yaitu lapisan substrat sebagai lapisan pertama, dan lapisan kedua yaitu media Bashnell-Haas. Lapisan ini dibedakan agar terbentuk kondisi aerob pada bagian permukaan kolom dan anaerob di dasar kolom (Martinko, 2000).

Uji biodegradasi dilakukan selama masa inkubasi 12 minggu dengan pengamatan setiap 3 minggu sekali pada berat kering plastik uji. Penimbangan dilakukan untuk mencari selisih berat kering plastik uji sebelum dan setelah masa inkubasi, sehingga diperoleh persen degradasi. Pengamatan setelah masa inkubasi 3 minggu menunjukkan bahwa bakteri tumbuh dengan baik di semua sampel. Hal ini ditandai dengan adanya kekeruhan pada kolom. Sejalan dengan pernyataan (Dwijoseputro, 2005) yang menyatakan bahwa pertumbuhan mikroba pada media cair dapat dilihat dari adanya kekeruhan, atau terdapat endapan.

Setelah masa inkubasi selama 9 minggu, perbedaan pada penurunan berat kering plastik uji mulai terlihat. Setelah masa inkubasi selama 9 minggu, pertumbuhan bakteri banyak ditemukan pada bagian dasar kolom yang ditandai dengan terbentuknya endapan

(Dwijoseputro, 2005). Hal ini menunjukkan bakteri yang tumbuh memanfaatkan sumber karbon pada plastik uji dengan baik. Penurunan berat kering plastik ini semakin bertambah besar di akhir pengamatan minggu ke-12. Masing-masing sampel memiliki perbedaan penurunan berat kering plastik dikarenakan perbedaan kemampuan degradasi bakteri yang diisolasi dari sumber sampel yang berbeda. Pengamatan selama 12 minggu masa inkubasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan persentase pada masing-masing substrat yang dapat dilihat pada Tabel 2. Sampel substrat tanah dan sedimen mangrove titik 5 mempunyai rata-rata persen degradasi tertinggi sebesar 34.1% untuk plastik uji PS. Sedimen mangrove pada titik ini merupakan daerah hutan mangrove yang perairannya tidak dipengaruhi oleh pasang surut muara. Di lokasi tersebut didominasi oleh detritus dikarenakan melimpahnya serasah yang berguguran dari tanaman mangrove.

Substrat pasir diasumsikan mempunyai sedikit mineral yang diperlukan bakteri untuk, sehingga bakteri hanya mengandalkan media Bushnell-Haas dan plastik uji sebagai sumber nutrisi. Sedangkan pada substrat tanah, diperoleh 3 isolat bakteri yang berbeda. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Purnobasuki, 2005) jika beberapa bakteri mengisi pori-pori tanah yang menjadikannya komponen dasar dari fungsi ekologis lingkungan. Berdasarkan hal tersebut dapat diasumsikan terdapat isolat bakteri yang berasal dari substrat tanah itu sendiri.

Tabel 2. Persen degradasi plastik uji substrat pasir dan substrat tanah setelah masa inkubasi 12 minggu

Sampel	Jenis Plastik	Degradasi (%)			
		Rerata (%)	stdv	Rerata (%)	stdv
		Substrat Pasir		Substrat Tanah	
Sedimen mangrove titik 1	PE	0.7	0.0	0.4	0.4
	PP	7.1	2.4	9.8	11.1
	PS	12.8	2.5	9.6	10.7
Sedimen mangrove titik 2	PE	0.4	0.1	0.5	0.4
	PP	20.4	6.1	26.9	23.0
	PS	5.5	1.6	17.4	16.0
Sedimen mangrove titik 3	PE	0.6	0.1	0.5	0.4
	PP	82.3	0.0	8.0	7.6
	PS	3.8	1.1	16.1	14.0
Sedimen mangrove titik 4	PE	0.3	0.3	0.2	0.2
	PP	6.5	5.8	8.2	7.4
	PS	9.9	8.7	2.0	2.2
Sedimen mangrove titik 5	PE	0.6	0.1	0.4	0.4
	PP	10.5	0.0	6.4	5.6
	PS	6.0	5.2	34.1	30.0

Adanya perbedaan ini menunjukkan jenis isolat bakteri yang berbeda memiliki kemampuan yang berbeda pula dalam mendegradasi plastik (Glass, 1989). Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik masing-masing mikroorganisme (enzim intraseluler atau ekstraseluler), yang mempengaruhi proses metabolisme dalam proses degradasi (Gu, 2000).

Faktor lain yang mempengaruhi proses degradasi adalah perubahan sifat hidrofobik plastik menjadi hidrofilik. Oleh karena itu, dilakukan fotodegradasi pada plastik uji sebelum diinkubasi dalam Kolom Winogradsky. Hal ini bertujuan untuk mengubah gugus rantai utama, dari gugus karbonil menjadi gugus fungsional dengan berat molekul yang rendah

(Leja, 2009) sehingga memudahkan mikroorganisme melekat dan melakukan degradasi (Hadad, 2005). Sifat hidrofobik pada polietilena menjadikan plastik tahan terhadap biodegradasi karena dapat menghambat efisiensi degradasi oleh mikroorganisme dalam waktu singkat (Watanabe M., 2003). Sedangkan mikroorganisme membutuhkan substrat yang bersifat hidrofilik agar dapat melakukan degradasi (Hadad, 2005).

Biodegradasi yang terdapat pada Polyethylene terjadi melalui *direct consumption* atau absorption pada molekul kecil oleh mikroba dan mekanisme β -oxidation (Watanabe M., 2003). Polyethylene memiliki sifat hidrofobitas yang sangat tinggi sehingga tidak dapat larut dalam media air maka membuat biodegradasi PE menjadi lebih sulit. Biodegradasi PE adalah hasil dari berbagai faktor yang melibatkan persiapan dan perlakuan awal polimer yang digunakan untuk penyelidikan degradasi mikroba, pelarut yang digunakan untuk memfasilitasi pelarutan substrat PE dan berbagai zat yang disekresikan oleh mikroorganisme. Oleh karena itu, biodegradasi PE merupakan proses yang kompleks (Yan Zhang, 2022).

Polystyrene adalah termoplastik aromatik dengan *backbone* C-C. Mirip dengan PE, sifat hidrofobik PS membuatnya tahan terhadap pelarutan dalam media berair, sehingga mengurangi interaksi dengan enzim. Kolonisasi dan pembentukan biofilm melalui perlekatan permukaan mikroba merupakan langkah awal untuk menjadikan permukaan lebih hidrofilik dan mengaktifkan proses biodegradasi (Yan Zhang, 2022)

Identifikasi Bakteri

Isolat bakteri yang diambil dan diidentifikasi adalah bakteri yang dapat membentuk biofilm pada permukaan plastik uji selama masa inkubasi dari masing-masing sampel. Sampel masing-masing diambil sebanyak 1 mL kemudian ditumbuhkan pada nutrient agar dan diinkubasi selama 48 jam dalam ruangan tertutup. Bakteri yang tumbuh masih berupa campuran, sehingga bakteri perlu dipindahkan ke media nutrient agar baru untuk proses pemurnian bakteri yang akhirnya diperoleh isolat bakteri yang seragam. Identifikasi bakteri yang dimaksud meliputi identifikasi makrofologi dan pewarnaan gram. Identifikasi bakteri bertujuan untuk mengetahui karakteristik bakteri dalam sampel sedimen mangrove dan air lindi. Identifikasi dilakukan dengan dua pengamatan yaitu pengamatan makroskopik dan pengamatan mikroskopik. Identifikasi makrofologi berupa pengamatan makroskopik isolat bakteri yang dilakukan dengan mengamati permukaan atas (*top verse*) dan bawah (*reverse*) koloni bakteri yang tumbuh pada media nutrient agar dalam cawan petri. Hal ini bertujuan untuk mengetahui morfologi koloni bakteri berdasarkan karakteristiknya (Dwijoseputro, 2005).

Semua isolat bakteri dari masing-masing sampel memiliki karakteristik yang berbeda. Sedangkan pada sampel sedimen mangrove diperoleh sebanyak 17 isolat bakteri yang berbeda, dan satu isolat jamur. Isolat jamur ditemukan pada sampel sedimen mangrove titik 5, hal ini ditandai oleh terbentuknya endapan putih pada dasar kolom. Beberapa genus yeast dapat tumbuh di dasar, melayang dalam media cair, dan menimbulkan endapan putih. Hal ini didukung oleh pernyataan bahwa posisi detritus dalam jaring-jaring makanan di lingkungan pesisir dipegang oleh yeast sehingga mereka dapat ditemukan pada rawa garam dan ekosistem mangrove (Hyde, 2002) (Jumiati, 2012).

Hasil pewarnaan gram didapatkan 9 isolat bakteri gram positif dan 8 isolat bakteri gram negatif. Seluruh isolat bakteri memiliki bentuk coccus (bulat). Hasil dari pengamatan tersebut menunjukkan bahwa isolat bakteri pendegradasi plastik memiliki perbedaan karakter gram, hal ini dikarenakan tempat diambilnya sampel yang berbeda. Sehingga kondisi lingkungan ikut mempengaruhi kehidupan bakteri di dalamnya (Joutey, 2014).

Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan pengecatan gram dan pengecatan sederhana. Pewarnaan gram bertujuan untuk mengamati morfologi sel bakteri dan mengetahui kemurnian sel bakteri dimana bakteri terbagi menjadi dua jenis gram yakni gram positif dan gram negatif (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik morfologi bakteri

Sampel	Bentuk	Karakteristik optik	Warna Pigmentasi	Gram
Tanah/SM 1	irregular	tidak tembus cahaya	putih	negatif
Pasir/SM1	irregular	tidak tembus cahaya	putih	negatif
Tanah/SM2	circular	tidak tembus cahaya	merah	negatif
Pasir/SM2	circular	tidak tembus cahaya	putih	negatif
Tanah/SM3	circular	tidak tembus cahaya	putih	negatif
Pasir/SM3	irregular	opaque	putih	positif
Tanah/SM4	irregular	opaque	putih	negatif
	irregular	opaque	putih	positif
Pasir/SM4	irregular	opaque	putih	negatif
	irregular	tidak tembus cahaya	kuning	negatif
Tanah/SM5	irregular	opaque	keruh	positif
	irregular	tidak tembus cahaya	putih	positif
	circular	tidak tembus cahaya	putih	positif
Pasir/SM5	circular	tidak tembus cahaya	merah	negatif
	irregular	tidak tembus cahaya	putih	negatif

Bakteri gram positif terlihat berwarna ungu karena asam-asam ribonukleat pada sitoplasma sel-sel gram positif membentuk ikatan yang lebih kuat dengan kompleks ungu kristal violet sehingga ikatan kimiawi tersebut tidak mudah dipecahkan oleh pemucat warna. Reaksi tersebut didasarkan atas perbedaan komposisi kimiawi dinding sel. Sel gram positif mempunyai dinding dengan lapisan peptidoglikan yang tebal dan bakteri gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tipis dibanding bakteri gram positif (Sunatmo, 2007). Bakteri gram negatif terlihat berwarna merah hingga merah muda. Bakteri gram negatif mengandung lipid dan lemak dalam presentase yang lebih tinggi daripada bakteri gram positif (Sudarsono, 2008).

Pengamatan menggunakan mikroskop menunjukkan bakteri gram positif akan berwarna ungu karena dapat menahan kompleks pewarna primer yaitu gram A (kristal violet) sampai akhir prosedur pewarnaan. Bakteri gram negatif akan berwarna merah ketika diamati menggunakan mikroskop karena tidak dapat mempertahankan kompleks warna kristal violet dengan pembilasan cat gram C (alkohol aseton), lalu terwarnai oleh pewarna tandingan berupa cat gram D (safranin) yang akan terserap pada dinding selnya (Cappucino, 2001).

KESIMPULAN

Seluruh isolat bakteri berhasil diisolasi dari sumber sampel. Persen degradasi terbesar pada masing-masing plastik uji yaitu; Plastik PP sebesar 82,3% pada sampel sedimen mangrove titik 3 substrat pasir. Plastik PS sebesar 34.1% pada sampel sedimen mangrove titik 5 substrat tanah. Plastik jenis *Polyethylene* lebih sulit terdegradasi daripada *Polystyrene* dan *Polypropylene*. Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi bahwa penggunaan plastik jenis *Polyethylene* harus dikurangi mengingat jenis tersebut sulit untuk didegradasi.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Lingkungan Universitas PGRI Adi Buana Surabaya dan Jurusan Biologi Universitas PGRI Adi Buana Surabaya sebagai fasilitator selama penelitian penulis berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Sriningsih, M. S. (2015). Potensi Isolat Bakteri *Pseudomonas* sebagai Pendegradasi Plastik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2): E67-E70.
- Abbasian F, L. R. (2015). A Pyrosequencing-based Analysis of Microbial Diversity Governed by Ecological Conditions in The Winogradsky Column. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 1115-1126.
- Anderson D.C., H. R. (1999). The Winogradsky Column & Biofilms: Models for Teaching Nutrient Cycling & Succession in An Ecosystem. *The American Biology Teacher*, 61 (6), 453-459.
- Arnstein, S. R. (1969). A Ladder of Citizen Participation. In R. T. Gates, & F. Stout (Eds.), *The City Reader* (2nd ed.). New York: Routledge Press.
- Borer, M. I. (2010). From Collective Memory to Collective Imagination: Time, Place, and Urban Redevelopment. *Symbolic Interaction*, 33(1), 96-144.
- D.N. Ainiyah, M. S. (2014). Bakteri Tanah Sampah Pendegradasi Plastik dalam Kolom Winogradsky. *Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol.3, No.2*, 2337-3520.
- Dwijoseputro. (2005). *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Jakarta: Djambatan.
- Hadad, S. G. (2005). Biodegradation of Polyethylene by The Thermophilic Bacterium *Brevibacillus borstelensis*. *Journal of Applied Microbiology*, 98: 1093-1100.
- Hourston, D. (2010). *Degradation of Plastic and Polymers*. 3rd edition Bryson, J.A (revision) vol 2, 18: 53 - 18: 77.
- Hyde, K. (2002). *Fungi in Marine Environments*. Hong Kong: Fungal Diversity Press.
- J.D. Gu, T. F. (2000). *Microbial Degradation and Deterioration of Polymeric Material*. New York: John Wiley and Sons.
- J.E. Glass, G. S. (1989). *Agricultural and Synthetic Polymers, Biodegradation and utilization*. Washington DC: American Chemical Society.
- Joutey, W. B. (2014). *Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganism*. Maroko: Intech.
- K. Leja, G. L. (2010). Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(2): 255-266.
- Krzan, A. (2012). Biodegradable Polymers and Plastics. *Plastice, Central Europe*, 1-8. Retrieved from *Plastice, Central Europe*.
- Leja, d. G. (2009). Polymes Biodegradation and Biodegradation Polymers: a Review. *Polish Journal of Environmental Studies Vol.19, No.2*, 255-266.
- M. Wanatabe, F. K. (2003). Computational Method for Analysis of Polyethylene Biodegradation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 161: 133-144.
- M.O.S. Dias, a. C. (2007). Eficient Colling of Fermentationin Ethanol Production. *Sugar Journal*, 70: 11-17.
- M.T. Madigan, J. M. (2012). *Brock Biology of Microorganism 13th ed*. San Fransisco: Benjamin Cummings.
- M.T. Martinko, P. a. (2000). *Biology of Microorganisms 9th Edition*. New York: Prentice-Hall.
- Mac Leod, D. (1992). *Post-Modernism and Urban Planning*. Retrieved June 25, 2010, from <http://www3.sympatico.ca/david.macleod/POMO.HTM>
- Neneng U. Hasanah, M. S. (2015). Potensi Mikroorganisme Air Sampah Mangrove untuk Mendegradasi Plastik Hitam. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2): E45-E49.

- Ni'am A.C, F. H.-F.-J. (2022). Microplastics in Sediments of East Surabaya, Indonesia: Regional Characteristics and Potential Risks. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.
- Ni'am A.C., S. J. (2019). Plastic debris in sediments from the east coast of Surabaya. *The 1st International Conference on Advanced Engineering and Technology*. Surabaya: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- P. Tribedi, A. S. (2014). Cell Surface Hydrophobicity: A Key Component in The Degradation of Polyethylene Succinate by *Pseudomonas* sp. *Journal of Applied Microbiology*, 116, 295-303.
- PA Joshi, S. J. (2010). Isolation and Characterization of Poly-B Hydroxyalkanoate Producing Bacteria From Sewage Sample. Retrieved from *Journal of Cell and Tissue Research* Vol 10 2165-2168:
- Poston, J. D., & Bouvier, L. F. (2010). *An Introduction to Demography*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Purnobasuki, H. (2005). *Tinjauan Perspektif Hutan Mangrove*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Ramest, P. &. (2011). Biodegradation of Low Density Polyethylene (LDPE) by Fungi Isolated From Municipal Landfill Area. *Journal Microbiology Biotechnology Research*, 1(4): 131-136.
- Stoica, R.-I. (2006 [2005]). *Heterotopia Urbana: Some Conceptual Considerations of Urban Heritage*. Forum UNESCO University and Heritage 10th International Seminar "Cultural Landscapes in the 21st Century". Newcastle-upon-Tyne.
- Voskuil, R. P. (1996). *Bandoeng: Beeld van Een Stad (Indonesian ed.)*. (S. M. Supardan, S. Sumardi, N. Darsono, & I. I. Yousda, Trans.) Bandung: Dept. Planologi and Jagaddhita.
- Watanabe M., F. K. (2003). Computational method for analysis of polyethylene biodegradation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*.
- Xi, Z. (2004). Comparison between American and Chinese Community Building. Retrieved May 10, 2007, from COMM-ORG: The On-Line Conference on Community Organizing and Development: <http://comm-org.wisc.edu/papers2004/zhangxi.htm>
- Y Wang, Y. F. (2003). Degradation of Phtalic Acid and Dimethyl Phtalate by Aerobic Microorganisms. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology* Vol.9, 63-66.
- Yan Zhang, J. N. (2022). Biodegradation of polyethylene and polystyrene: From microbial deterioration to enzyme discovery . *Biotechnology Advances*.