

## Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pengurai Mikroplastik *Polyethylene Terephthalate* dari Sedimen Ekosistem Mangrove Pasir Putih

Alifia Rizky Novitasari<sup>1</sup>, Woro Hastuti Satyantini<sup>2</sup>, Sapto Andriyono<sup>3</sup>, Nor Sa'adah<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Bioteknologi Perikanan dan Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga

<sup>2</sup>Departemen Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga

<sup>3</sup>Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Airlangga

Jl. Dr. Ir. H. Soekarno, Mulyorejo, Kec. Mulyorejo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60115 Indonesia

<sup>4</sup>Departemen Teknologi Rekaya Operasi Kapal, Politeknik Bumi AKPELNI

Jl. Pawiyatan Luhur II/17, Bendan Duwur, Semarang, Jawa Tengah 50235 Indonesia

\*Corresponding author, Email : Woro\_hs@fpk.unair.ac.id

**ABSTRAK:** *Polyethylene terephthalate* (PET) adalah salah satu polimer termoplastik paling banyak tersedia di pasar. PET digunakan untuk produksi botol atau wadah untuk minuman, seperti air, minuman ringan berkarbonasi, minuman jus, dan industri makanan. *Polyethylene terephthalate* (PET) ditemukan melimpah pada sedimen ekosistem mangrove di Pasir Putih Wonorejo pada musim hujan sebanyak 59%. Studi terbaru telah menunjukkan bahwa bakteri indigenous sedimen mangrove mampu mendegradasi mikroplastik. Sehingga, tujuan penelitian ini adalah menemukan potensi agen biodegradasi mikroplastik dari bakteri indigenous sedimen ekosistem mangrove di Pasir Putih Wonorejo. Bakteri diisolasi pada April 2022 dari sedimen ekosistem mangrove. Metode yang digunakan diawali dengan isolasi bakteri dari sedimen ekosistem mangrove Pasir Putih Wonorejo, kemudian digunakan untuk uji degradasi mikroplastik *polyethylene terephthalate* dan mengetahui jenis bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi mikroplastik. Hasil isolat bakteri yang didapat sebanyak 16 bakteri. Potensi bakteri yang menjadi agen biodegradasi dengan penurunan berat mikroplastik isolat bakteri SPP.1.1.3. sebesar 8,73%. Identifikasi molekuler dengan cara ekstraksi DNA 16S rRNA menunjukkan jenis *Pseudoaltoromonas caenipelagi* dengan homologi 99% pada database *National Center Biotechnology Information*. Hasil ini membuktikan bahwa bakteri indigenous memiliki kemampuan sebagai agen biodegradasi mikroplastik.

**Kata kunci:** *polyethylene terephthalate*, bakteri indigenous, biodegradasi, Pasir Putih Wonorejo

### **Biodegradation of Polyethylene Terephthalate using Indigenous Bacteria in Mangrove Ecosystem Sediment**

**ABSTRACT:** *Polyethylene terephthalate* (PET) is one of the most widely available thermoplastic polymers on the market. PET is used for the production of bottles or containers for beverages, such as water, carbonated soft drinks, juices, and the food industry. *Polyethylene terephthalate* (PET) is found abundantly in mangrove ecosystem sediments in Pasir Putih Wonorejo during the rainy season as much as 59%. Recent studies have shown that indigenous mangrove sediment bacteria are able to degrade microplastics. Thus, the purpose of this study was to find potential agents for biodegradation of microplastics from indigenous bacteria in mangrove ecosystem sediments Pasir Putih Wonorejo. Bacteria were isolated in April 2022 from mangrove ecosystem sediments. The method used begins with the isolation of bacteria from mangrove ecosystems sediments from Pasir Putih Wonorejo, then were used to assay biodegradation of polyethylene terephthalate microplastics and to determine the types of bacteria that has ability to degrade microplastics. The results of isolated bacterial obtained were 16 bacterias. The potential bacteria that becoming agents of biodegradation by decreasing the weight of microplastic isolate SPP.1.1.3. by 8,73%. Molecular identification by extraction of DNA 16SrRNA showed the type of *Pseudoaltoromonas caenipelagi* with 99% homology in the *National Center Biotechnology Information* database. These results prove that indigenous bacteria have the ability as microplastic biodegradation agents.

**Keyword:** *polyethylene terephthalate*, indigenous bacteria, biodegradation, Pasir Putih Wonorejo

## PENDAHULUAN

Pencemaran plastik di laut adalah masalah yang meningkat di seluruh dunia, 300 juta ton plastik diproduksi setiap tahun dan diperkirakan sekitar 150 juta ton plastik saat ini telah mencemari lautan. Diperkirakan 1-2.5 juta ton plastik setiap tahun dibuang ke lautan (Tylianakis dan Ferrini, 2021). Hampir semua sektor ekonomi menghasilkan limbah padat. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingginya limbah padat adalah pertumbuhan penduduk, ekonomi, pendidikan, pekerjaan, pola konsumsi (Lestari dan Trihadiningrum, 2019). *Polyethylene terephthalate* biasa disingkat dengan PET, PETE atau dengan kode identifikasi resin daur ulang #1 adalah salah satu polimer termoplastik paling banyak tersedia di pasar. PET digunakan untuk produksi botol atau wadah untuk minuman, seperti air, minuman ringan berkarbonasi, minuman jus, dalam bentuk lembaran atau *film* dan industri makanan (Nisticò, 2020).

*Polyethylene terephthalate* (PET) ditemukan melimpah pada sedimen ekosistem mangrove di Pasir Putih Wonorejo pada musim hujan sebanyak 59%. Produk PET cenderung terendapkan di sepanjang aliran sungai Wonorejo, limpasan air hujan membawa semua material terapung, termasuk PET hingga ke Muara Sungai dan Pasir Putih Wonorejo (Kurniawan dan Imron, 2019b). Plastik sebagai polimer organik sintetik memiliki sifat tahan lama, ringan, kuat, mudah dibentuk dan persisten. Tanpa penggunaan plastik yang efektif dan pengelolaan sampah yang baik, polusi plastik akan meningkat di lingkungan. Selanjutnya, plastik berukuran besar dapat didegradasi menjadi ukuran kecil (Firdaus *et al.*, 2020) dengan cara fisika, biologi maupun mekanis (Corcoran, 2020).

Fragmen-fragmen plastik yang berukuran kecil dan memiliki ukuran <5 mm disebut dengan mikroplastik (Yuan *et al.*, 2020). Mikroplastik sangat berbahaya bagi organisme hidup dan ditemukan di dalam organisme hidup, terutama biota laut. Mikroplastik ada di dalam tubuh organisme terjadi karena tidak bisa membedakan antara makanan dan plastik (Kurniawan dan Imron, 2019a) dan mengakibatkan kematian pada biota laut (Auta *et al.*, 2017a). Mikroplastik tidak secara langsung berada di dalam air, karena kolonisasi biofilm pada mikroplastik dan heteropolimerisasi mikroplastik dengan pengotor lainnya, yang akan mendorong tenggelamnya mikroplastik (Niu *et al.*, 2021). Mikroorganisme yang mengkolonisasi pada permukaan polimer dan membentuk biofilm. Mikroorganisme ini terkadang mengeluarkan enzim ekstraseluler yang bekerja pada bahan polimer. Biofilm tersebut terlibat dalam biodegradasi permukaan plastik dan mungkin memainkan peran penting dalam biodegradasi mikroplastik (Auta *et al.*, 2018). Mikroplastik juga dapat menjadi sumber karbon potensial untuk beberapa mikroorganisme pengurai plastik tertentu (Niu *et al.*, 2021).

Penelitian sebelumnya mendapatkan bakteri pada sedimen ekosistem mangrove di Peninsular Malaysia, antara lain *Bacillus* sp. dan *Rhodococcus* sp. sebagai pendegradasi mikroplastik yang dilakukan oleh Auta *et al.*, (2018). Curren dan Leong (2019) mendapatkan bakteri *Erythrobacter*, *Vibrio* dan *Pseudomonas* yang dapat mendegradasi mikroplastik dari sampel sedimen ekosistem mangrove di Singapore. Penelitian Widyanto *et al.*, (2021) mendapatkan bakteri *Bacillus paramycooides* dari sampel *Isopora palifera* yang dapat mendegradasi mikroplastik selama 7 hari.

Penelitian mengenai bakteri pendegradasi mikroplastik sangat penting untuk menanggulangi permasalahan pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan. Ekosistem mangrove Pasir Putih Wonorejo tercemar oleh *polyethylene terephthalate*, sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi mikroplastik PET. Kelimpahan bakteri indigenous atau bakteri yang hidup berasosiasi di ekosistem laut terutama di sedimen dapat menjadi salah satu solusi dalam mendegradasi mikroplastik yang ramah lingkungan, cara alami dan tidak mencemari lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan potensi agen biodegradasi mikroplastik dari bakteri indigenous sedimen ekosistem mangrove di Pasir Putih Wonorejo dan mengetahui jenis bakteri yang memiliki kemampuan mendegradasi mikroplastik *Polyethylene terephthalate*.

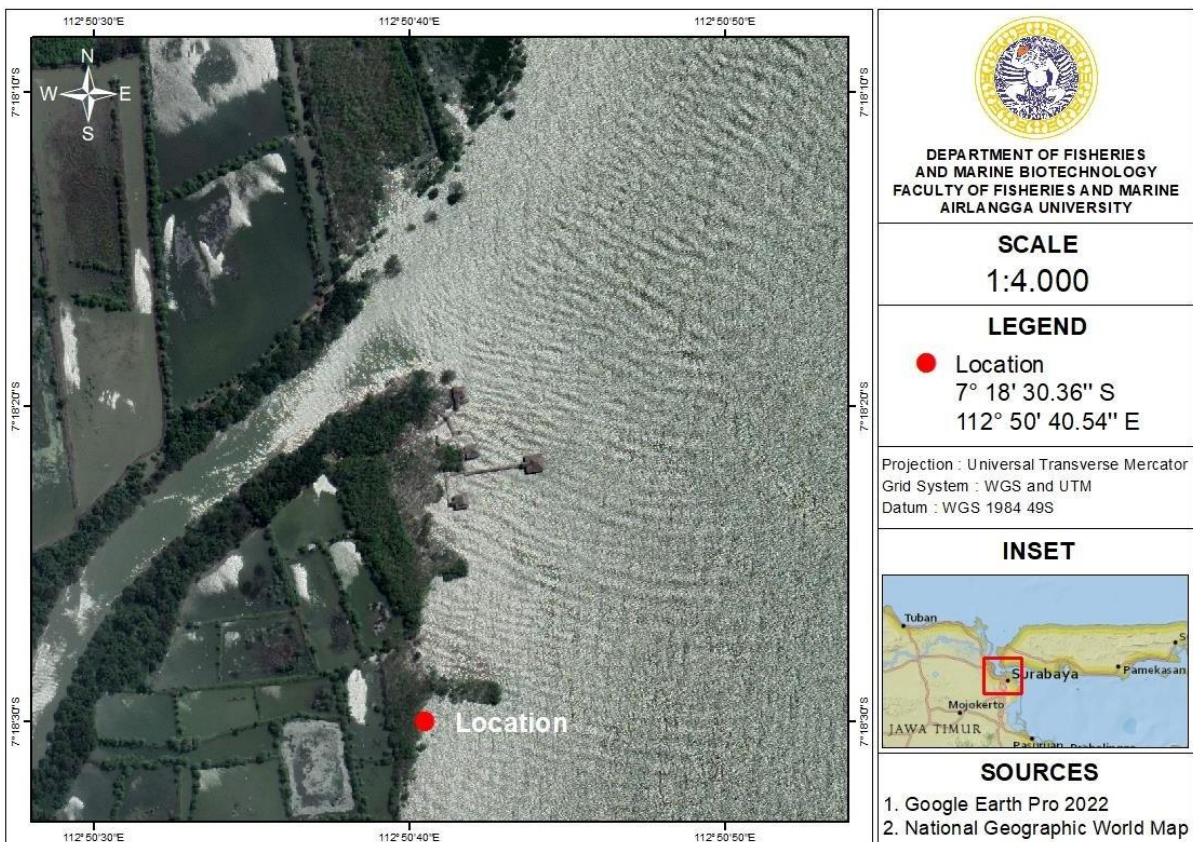
## MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada Januari hingga Agustus 2022 di Kawasan Pasir Putih, Kelurahan Wonorejo, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya. Pengambilan sampel sedimen

dilakukan dengan metode *purposive random sampling* yaitu suatu metode pengambilan sampel yang dilakukan dengan mengambil subjek bukan berdasarkan strata, random atau daerah tetapi berdasarkan atas adanya tujuan tertentu (Hanifah, 2016 dalam Pratiwi *et al.*, 2019). Sedimen yang diperoleh dimasukkan kedalam plastik *ziplock* dan diberi label sesuai lokasi, waktu dan tanggal pengambilan dan disimpan pada *cool box* dan dibawa menuju laboratorium Prof. Nidom Foundation.

Sampel sedimen sebanyak 1 gram dimasukkan kedalam tabung reaksi yang berisi 9 ml air laut steril dan didapatkan pengenceran  $10^{-1}$ , kemudian di ambil 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi selanjutnya untuk mendapatkan pengenceran  $10^{-2}$ , demikian selanjutnya hingga mendapat pengenceran sampel  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  dan  $10^{-5}$ . Dari pengenceran  $10^{-1}$ ,  $10^{-3}$  dan  $10^{-5}$  diambil 50  $\mu\text{L}$  disebar kedalam cawan petri yang mengandung media zobell dan diratakan menggunakan *spreader*. Kemudian, diinkubasi pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$ - $30^{\circ}\text{C}$  selama 2x24 jam. Koloni bakteri yang tumbuh diamati atau diidentifikasi bentuk koloni, warna dan tekstur koloninya dengan acuan buku mikrobiologi umum (Waluyo, 2007).

Bakteri hasil identifikasi ditumbuhkan kembali sebagai kultur murni pada media Zobell yang baru dan diinokulasi dalam *shaker* pada suhu  $29^{\circ}\text{C}$  hingga mencapai fase log (absorbansi 1.-0 pada 600 nm). Kepadatan sel inokulum disesuaikan menjadi  $3.8 \times 10^8$  CFU/ ml. 10% dari kultur fase log diinokulasi ke dalam labu erlenmeyer yang mengandung 100 ml media Zobell dan 0.5 g mikroplastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang disterilkan (diameter  $\pm 2.4$  mm) untuk uji degradasi mikroplastik. Optikal density (OD) dan pH dipantau setiap 10 hari selama 40 hari. Semua percobaan dilakukan dalam 3 kali ulangan (Auta *et al.*, 2017b). Mikroplastik diambil dan dibersihkan menggunakan dengan etanol 70% dan kemudian dikeringkan. Berat mikroplastik diukur menggunakan neraca analitik. Berikut rumus penurunan berat mikroplastik *polyethylene terephthalate* (Auta *et al.*, 2017b).



**Gambar 1.** Lokasi pengambilan sampel sedimen

Proses perbanyak sel bakteri yang menghasilkan degradasi tertinggi dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada media *Luria-Bertani* cair. Kultur bakteri di-*shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 18 jam pada suhu 37°C. Ekstraksi DNA dilakukan dengan metode chelex (Widyananto *et al.*, 2021). Identifikasi secara molekuler dilakukan dengan menggunakan *Polimerase Chain Reaction* (PCR) 16S rRNA. Primer yang digunakan untuk PCR 16S rRNA adalah primer universal untuk bakteri, *forward primer* 27f (5'- AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') (Weisburg *et al.*, 1991) dan *reverse primer* 1492r (5'- TACGGHTACCTTGTTACGACTT-3') (Reysenbach *et al.*, 1992). Perlakuan temperatur yang digunakan pada PCR adalah: denaturasi pada suhu 95°C selama 3 menit, kemudian 30 siklus annealing pada suhu 48°C selama 1 menit, extension pada suhu 72°C selama 1 menit dan denaturasi kembali pada suhu 95°C selama 1 menit, 72°C selama 7 menit. Volume reaksi yang digunakan dalam amplifikasi yaitu 50 µL (Widyananto *et al.*, 2021).

Visualisasi produk PCR 16S rRNA ini dilakukan melalui elektroforesis dengan cara memasukkan 5 µl produk PCR menggunakan mikropipet dan dimasukkan ke dalam sumur gel agarose. Alat kemudian dijalankan dengan voltase 100 V selama ± 30 menit atau hingga warna biru produk PCR berada pada setengah bagian gel. Terakhir, pita hasil PCR dapat dilihat dengan menggunakan alat *gel-doc*. Analisis sekuens menggunakan program MEGA 11.0.11 (Kumar *et al.*, 2018). dan analisis similaritas atau kesamaan urutan sekuens dianalisis menggunakan internet melalui program *database Basic Local Alignment Search Tool* (BLAST) pada *National Center for Biotechnology Information* (NCBI).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian didapatkan isolat bakteri yang hidup pada sedimen di Pasir Putih Wonorejo sebanyak 16 isolat bakteri. Isolat bakteri yang teridentifikasi secara morfologi koloni memiliki karakteristik berbeda, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Kelimpahan bakteri di ekosistem mangrove Pamurbaya dapat dipengaruhi oleh antropogenik, rumah bagi burung yang bermigrasi dan berbagai macam organisme akuatik. Ekosistem mangrove juga merupakan zona untuk organisme akuatik maupun ikan untuk mencari makan yang dapat mempengaruhi kelimpahan bakteri. Penelitian yang sama Nathan *et al.*, (2019) menjelaskan bahwa daerah ekosistem mangrove yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut dengan vegetasi mangrove yang lebat akan mengakibatkan salinitas lebih tinggi. Perubahan kandungan karbon, nitrogen, sulfat, pH dan salinitas dapat dikaitkan dengan variasi struktur kelimpahan bakteri di ekosistem mangrove. Faktor utama yang mempengaruhi kelimpahan bakteri didorong oleh salinitas dan ketersediaan senyawa organik dan anorganik di ekosistem mangrove. Sedimen yang ditanam mangrove memiliki keanekaragaman bakteri yang lebih tinggi daripada sedimen yang tidak terdapat tanaman mangrove. Penelitian Tong *et al.*, (2019) menyatakan bahwa penanaman mangrove memiliki efek positif pada keanekaragaman bakteri di lahan basah mangrove.

Potensi degradasi mikroplastik menggunakan isolat bakteri pada media Zobell yang mengandung *polyethylene terephthalate* (PET) selama 40 hari berpengaruh terhadap berat mikroplastik dengan menghitung persentase penurunan berat (%) dan laju konstanta (K). Setelah 40 hari, persentase penurunan berat PET terbesar dengan kode isolat SPP.1.1.3 sebesar 8,73% dengan laju konstanta penurunan berat (K) 0,0023 g/hari dan waktu paruh (t) 303 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa isolat bakteri mengeluarkan enzim spesifik yang mampu menurunkan berat mikroplastik PET. Isolat bakteri mampu mengkatalisis reaksi metabolisme yang berkontribusi pada pemecahan mikroplastik PET. Penelitian yang dilakukan oleh Auta *et al.*, (2018) degradasi *polypropylene* yang dilakukan menggunakan bakteri *Bacillus* sp. strain 27 dan *Rhodococcus* sp. strain 36 mendapatkan penurunan berat sebesar 6,4% dan 4% selama 40 hari. Bakteri *Rhodococcus* sp. strain 36 menunjukkan laju konstanta mikroplastik *polypropylene* sebesar 0,002 g/hari dengan waktu paruh 346 hari. Tingkat serapan yang lebih tinggi diduga karena susunan genetik mikroorganisme dan ukurannya yang lebih besar. Isolat bakteri *Bacillus* sp. strain 27 menunjukkan laju konstanta sebesar 0,001 g/hari dan waktu paruh yang lebih lama sekitar 693 hari.

**Tabel 1.** Hasil isolasi bakteri yang diperoleh

Kode Isolat	No.	Warna	Ukuran	Bentuk	Elevasi	Margin
SPP.1.1.	1	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
	2	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
	3	Hijau	Kecil	Circular	Flat	Entire
	4	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
	5	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
SPP.1.2.	1	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
	2	Kuning	Kecil	Circular	Flat	Entire
	3	Kuning	Kecil	Circular	Flat	Entire
	4	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
SPP.1.3.	1	Putih	Sedang	Circular	Flat	Entire
	2	Kuning	Sedang	Circular	Flat	Entire
	3	Kuning	Kecil	Circular	Flat	Entire
	4	Kuning	Kecil	Circular	Flat	Entire
SPP.3.1.	1	Putih	Kecil	Circular	Flat	Entire
SPP.3.2.	1	Putih	Kecil	Circular	Flat	Entire
SPP.3.3.	1	Putih	Kecil	Circular	Flat	Entire

Keterangan: SPP: sedimen pasir putih, angka pertama: pengenceran, angka kedua: ulangan.

**Tabel 2.** Analisis penurunan berat mikroplastik

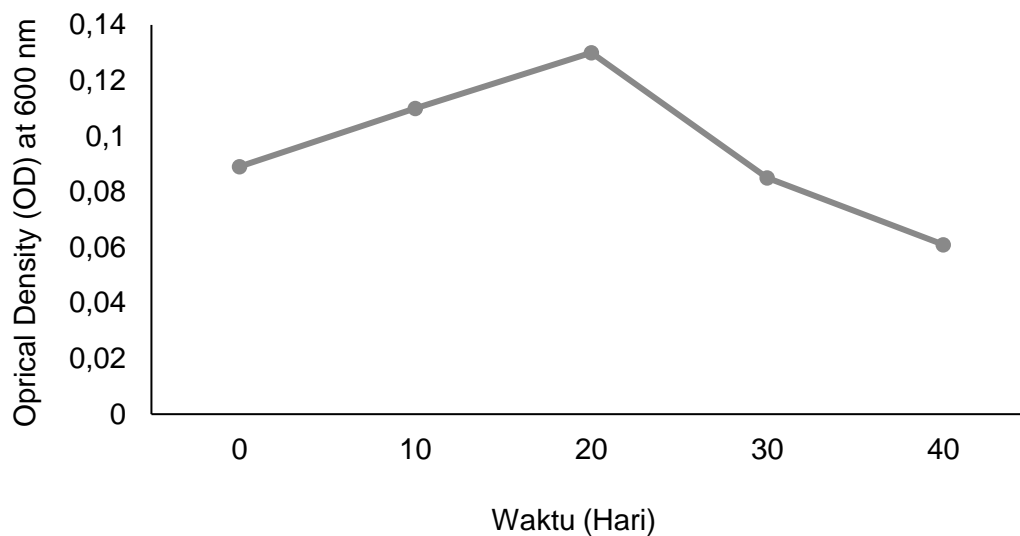
Kode Isolat	No.	Berat Awal	Berat Akhir	%	K	t (Half-life) day
SPP.1.1.	1	0,5055	0,4931	2,45	0,0006	1116,36
SPP.1.1.	3	0,5358	0,4890	8,73	0,0023	303,66
SPP.1.2	2	0,5038	0,5000	0,75	0,0002	3661,99
SPP.1.3	2	0,5230	0,5130	1,40	0,0004	1962,24

Fase pertumbuhan isolat bakteri diikuti oleh fase lag, eksponensial, stasioner dan kematian dapat dilihat pada Gambar 2. Respon pertumbuhan menunjukkan pola pertumbuhan yang sama pada isolat bakteri merespon mikroplastik secara eksponensial diamati pada hari ke-0 hingga hari ke-10 laju pertumbuhan pada isolat bakteri SPP.1.1.3. 0.110 absorbansi (ABS) dibandingkan pada hari ke-0. Peningkatan laju pertumbuhan yang diamati melalui *optical density* (OD) yang diukur pada hari ke-10 menunjukkan respon yang tinggi dari isolat bakteri pada paparan mikroplastik PET. Pertumbuhan bakteri pada hari ke-20 meningkat yang menunjukkan adanya pertumbuhan isolat yang tinggi menjadi 0.130 ABS. Peningkatan pertumbuhan isolat bakteri disebabkan oleh pemanfaatan dari media dalam uji degradasi mikroplastik, yang mengakibatkan biodegradasi mikroplastik PET. Penurunan tajam pertumbuhan isolat terjadi setelah hari ke-20 hingga hari ke-40 pada uji degradasi mikroplastik PET. Penurunan fase yang dicapai oleh isolat diakibatkan oleh lisis sel, penipisan nutrisi atau adanya produk penghambat dalam kultur media.

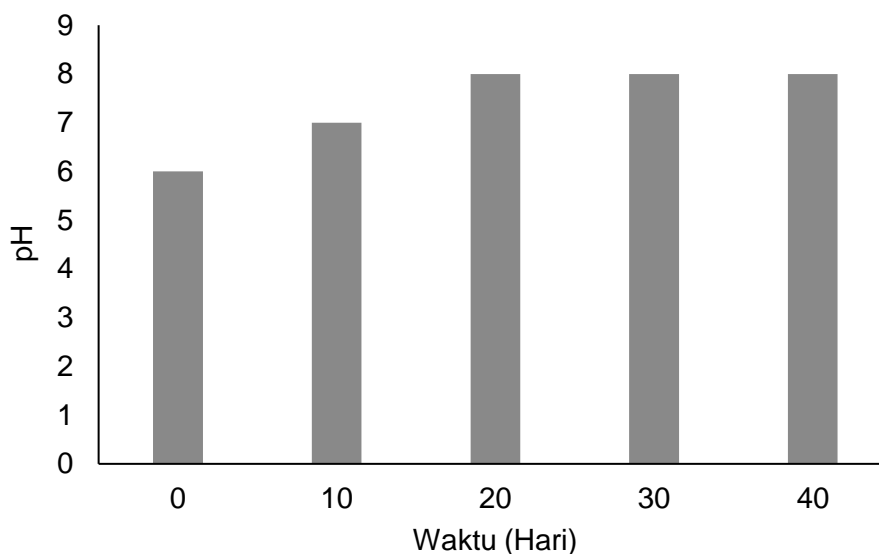
pH merupakan faktor kunci untuk kelangsungan hidup dan aktivitas mikroorganisme karena memiliki pengaruh penting pada populasi mikroba, aktivitas enzim dan laju degradasi (Auta *et al.*, 2018). Gambar 3. mengilustrasikan perubahan pH pada media Zobell cair dengan mikroplastik PET selama 40 hari uji degradasi dengan isolat bakteri SPP.1.1.3. Variasi pH serupa diamati untuk isolat bakteri SPP.1.1.3. pH meningkat mulai dari hari ke-0 hingga ke-10 dari 6 menjadi 7 dan pada hari ke-20 hingga hari ke-40 pH terus meningkat dari 7 menjadi 8. Hasil menunjukkan bahwa nilai pH tersebut merupakan pH optimum untuk pertumbuhan isolat. Pada penelitian yang sama Auta *et al* (2018) menyatakan bahwa pH memiliki peran penting bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Peningkatan pH menuju kisaran pH basa seiring waktu dapat dikaitkan dengan produksi dan akumulasi senyawa aromatik dasar dan/ atau metabolit lain dalam media yang ditambahkan mikroplastik PP.

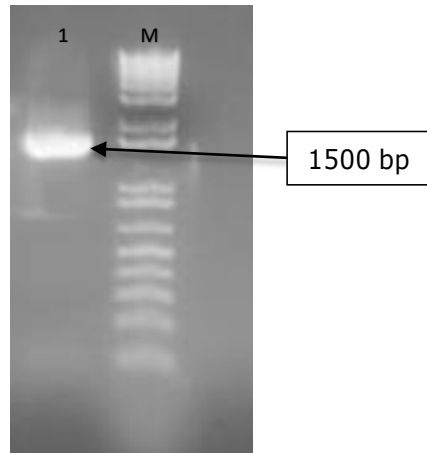
Berdasarkan dari proses amplifikasi DNA dengan metode PCR yang telah dilakukan diperoleh hasil visualisasi dengan elektroforesis seperti pada Gambar 4. yang menunjukkan bahwa terdapat satu pita DNA hasil ekstraksi DNA. Pita-pita DNA amplicon terlihat terang di ukuran 1500 bp. Jenis bakteri yang mampu mendegradasi mikroplastik yaitu *Pseudoalteromonas caenipelagi* yang menunjukkan homologi 99% similaritas dengan BLAST pada *National Center for Biotechnology Information*. Pengurain PET yang diisolasi dari sedimen adalah hasil inokulasi dalam media cair dan ditambah mikroplastik PET selama 40 hari. Terbukti bahwa *Pseudoalteromonas caenipelagi* mampu mendegradasi PET sebesar 8,73%. Penelitian Dong *et al* (2021) menjelaskan bahwa bakteri *Pseudoalteromonas* mampu mendegradasi berbagai jenis polimer,



**Gambar 2.** Kurva Pertumbuhan Isolat Bakteri SPP.1.3.3.



**Gambar 3.** Kurva pH isolat bakteri SPP.1.3.3. selama uji degradasi mikroplastik



**Gambar 4.** Hasil amplifikasi panjang untai DNA

termasuk *polyethylene* (PE), *low density polyethylene* (LDPE), *high density polyethylene* (HDPE) dan *polypropylene* (Dong *et al.*, 2021). Du *et al* (2022) menjelaskan bahwa bakteri *Pseudoalteromonas* sp. berperan dalam mendegradasi mikroplastik. Park dan Kim (2019) menyatakan bahwa penurunan berat mikroplastik disebabkan oleh metabolisme bakteri dan penguraian mikroplastik *polyethylene*. Nathan *et al.*, (2019) mendapatkan bakteri *Pseudoalteromonas* spp. di ekosistem mangrove Puthuvypeen, India. Puthuvypeen merupakan ekosistem pesisir yang dipengaruhi langsung oleh pasang surut air laut. Komponen nutrisi dalam sedimen mempengaruhi adanya mikroorganisme bakteri pada ekosistem tersebut.

## KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan isolat bakteri yang hidup pada sedimen di Pasir Putih Wonorejo sebanyak 16 isolat bakteri. Potensi degradasi mikroplastik menggunakan isolat bakteri pada media Zobell yang mengandung *polyethylene terephthalate* (PET) selama 40 hari berpengaruh terhadap berat mikroplastik dengan persentase penurunan berat PET dengan kode isolat SPP.1.1.3 sebesar 8,73% dengan laju konstanta penurunan berat (K) 0,0023 g/hari dan waktu paruh (t) 303 hari. Jenis bakteri yang mampu mendegradasi mikroplastik yaitu *Pseudoalteromonas caenipelagi* yang menunjukkan homologi 99% similaritas dengan BLAST pada *National Center for Biotechnology Information*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Auta, H.S., Emenike, C.U., & Fauziah, S.H. 2017a. Distribuiton and Importance of Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Sources, Fate, Effects, and Potential Solutions. *Environment International*, 102: 165-176. DOI: 10.1016/j.envint.2017.02.013
- Auta, H.S. Emenike, C.U., & Fauziah, S.H. 2017b. Screening of *Bacillus* Strains Isolated from Mangrove Ecosystems in Peninsular Malaysia for Microplastic Degradation. *Environmental Pollution*. 231: 1552-1559. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.09.043
- Auta, H.S. Emenike, C.U., Jayanthi, B., & Fauziah, S.H. 2018. Growth Kinetics and Biodeterioration of Polypropylene Microplastics by *Bacillus* sp. and *Rhodococcus* sp. Isolated from Mangrove Sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 127: 15-21. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.036
- Corcoran, P.L. 2020. Degradationn of Microplastics in the Environment. Handbook of Microplastics in the Environment. DOI: 10.1007/978-3-030-10618-8\_10-1
- Curren, E., & Leong, S.C.Y. 2019. Profiles of Bacterial Assemblages from Microplastic of Tropical

- Coastal Environments. *Science of the Total Environment*, 655: 313-320. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.250
- Dong, H., Chen, Y., Wang, J., Zhang, Y., Zhang, P., Li, X., Zou, J & Zhou, A. 2021. Interaction of Microplastics and Antibiotic Resistance Genes and Their Effects on the Aquaculture Environment. *Journal of Hazardous Materials*, 403: p.123961. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.123961
- Du, Y., Liu, Z., Dong, X., & Yin, Z. 2022. A Review on Marine Platisphere: Biodiversity, Formation, and Role in Degradation. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20: p.975:988. DOI: 10.1016/j.csbj.2022.02.008.
- Firdaus, M., Trihadiningrum, Y., & Lestari, P. 2020. Microplastic Pollution in the Sediment of Jagir Estuary, Surabaya City, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 150: p.110790.
- Kumar, A., Stetcher, G., Li, M., Knyaz, C., & Tamura, K. 2018. Mega X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Across Computing Platforms. *Molecular Biology and Evolution*. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110790
- Kurniawan, S.B., & Imron, M.F. 2019a. The Effect of Tidal Fluctuation on the Accumulation of Plastic Debris in The Wonorejo River Estuary, Surabaya, Indonesia. *Environmental Technology and Innovation*, 15: 100420. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100420
- Kurniawan, S.B., & Imron, M.F.. 2019b. Seasonal Variation of Plastic Debris Accumulation in The Estuary of Wonorejo River, Surabaya, Indonesia. *Environmental Technology and Innovation*, 16: p.100490. DOI: 10.1016/j.eti.2019.100490
- Lestari, P., dan Trihadiningrum, Y. 2019. The Impact of Improper Solid Waste Management to Plastic Pollution in Indonesia Coast and Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 149: p.110505. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110505
- Nathan, V.K., Vijayan, J., & Ammini, P. 2019. Comparison of Bacterial Diversity from Two Mangrove Ecosystems from India Through Metagenomic Sequencing. *Regional Studies in Marine Science*, 35: p.101184. DOI: 10.1016/j.rsma.2020.101184
- Nisticò, R. 2020. Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry. *Polymer Testing*. 90: p.106707. DOI: 10.1016/j.polymertesting.2020.106707
- Niu, L., Li, Y., Li, Y., Hu, Q., Wang, C., Hu, J., Zhang, W., Wang, L., Zhang, C., & Zhang, H. 2021. New Insights into The Vertical Distribution and Microbial Degradation of Microplastics in Urban River Sediment. *Water Research*, 188: p.116449. DOI: 10.1016/j.watres.2020.116449
- Park, S.Y., & Kim, C.G. 2019. Biodegradation of Mirco-Polyethylene Particles by Bacterial Colonization of a Mixed Microbial Consortium Isolated from a Landfill Site. *Chemosphere*, 222: 527-533. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.159
- Pratiwi, A.D., Widyorini, N., & Rahman, A. 2019. Analisis Kualitas Perairan Berdasarkan Total Bakteri Coliform Di Sungai Plumbon, Semarang. *Journal of Maquares*, 8(3):211-220. DOI: 10.14710/marj.v8i3.24258
- Reysenbach AL, Giver LG, Wichkham GS, & Pace NR. 1992. Differential Amplification of rRNA genes by Polymerase Chain Reaction. *Applied and Environmental Microbiology*, 58:3417-3418. DOI: 10.1128/aem.58.10.3417-3418.1992
- Tong, T., Li, R., Wu, S., & Xie, S. 2019. The distribution of sediment bacterial community in mangroves across China was governed by geographic location and eutrophication. *Marine pollution bulletin*, 140:198-203. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.01.046
- Tyllianakis, E., & Ferrini, S. 2021. Personal Attitudes and Beliefs and Willingness to Pay to Reduce Marine Pollution in Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 173: 113120. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.113120
- Waluyo, Lud. 2007. Mikrobiologi Umum. Penerbit Universitas Muhammadiyah Malang.
- Weisburg, W.G., Barns, S.M., Pelletier, D.A., & Lane, D.J. 1991. 16S Ribosomal DNA Amplification for Phylogenetic Study. *Journal of Bacteriology*, 173: 698-703. DOI: 10.1128/jb.173.2.697-703.1991
- Widyananto, P.A., Muchlissin, S.I, Sabdono, A., Yulianto, B., Hamki, F.S., & Radjasa, O.K. 2021. Biodegradation of Polyethylene Microplastic using Culturable Coral Associated Bacteria Isolated from Corals of Karimunjawa National Park. *Indonesian Journal of Marine Science*.



26(4): 237- 246. DOI: 10.14710/ik.ijms.26.4.237-246

Yuan, J., Ma, J., Sun, Y., Zhou, T., Zhao, Y., & Yu, F. 2020. Microbial Degradation and Other Environmental Aspects of Microplastics/ Plastics. *Science of The Total Environment*. 715: p.136968. DOI: 10.14710/ik.ijms.26.4.237-246