

Karakterisasi sampah plastik yang terakumulasi di Pelabuhan Timur, Kamal, Bangkalan dan aktivitas degradasinya oleh bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*)

Abdus Salam Junaedi^{1*}, Muhammad Zainuri¹, Haryo Triajie¹, Putri Wahyuningtyas¹, Maftuh Ahnan¹

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan
Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura
Jl. Raya Telang Kamal, Bangkalan, Jawa Timur, Indonesia. 69162
*E-mail: abdus.salamj@trunojoyo.ac.id

Abstrak: Plastik merupakan polimer sintetis yang memiliki sifat stabil dan tahan terhadap degradasi alami. Salah satu cara untuk mengurangi akumulasi plastik di lingkungan perairan adalah menggunakan mikroorganisme sebagai agen biodegradasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur parameter kualitas perairan, mengkarakterisasi jenis plastik yang ditemukan di stasiun pengambilan sampel, dan membandingkan aktivitas degradasi plastik oleh formulasi bakteri *indigenous* air limbah cucian garam dengan formulasi bakteri kontrol. Seluruh data pengukuran kualitas perairan, karakteristik jenis plastik, dan data aktivitas degradasi plastik dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Lokasi pengambilan sampel berada pada Perairan Pelabuhan Timur sampai Perairan Karang-Kiring, Kamal, Bangkalan. Hasil parameter kualitas air menunjukkan nilai DO yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 3,0 mg/L; 3,35 mg/L; dan 2,4 mg/L. Nilai pH yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 8,0; 7,7; dan 7,8. Nilai suhu yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 26,9°C; 27,7°C; dan 27,3°C. Karakteristik plastik yang ditemukan di stasiun 1, 2, dan 3 didominasi oleh jenis plastik LDPE (*Low-Density Polyethylene*). Aktivitas degradasi plastik terbaik ditunjukkan oleh formulasi bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*), yaitu nilai rata-rata berat awal sebesar 0,0019 dan berat akhir sebesar 0,0012, sehingga diketahui hasil presentase kehilangan berat kering sebesar 40% persentase berat kering plastik. Penelitian ini menunjukkan potensi formulasi bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*) sebagai agen biodegradasi plastik yang efektif dan berkontribusi positif terhadap pengembangan bioteknologi lingkungan, serta dapat dijadikan sebagai acuan bagi industri dan pemangku kebijakan dalam pengelolaan limbah plastik secara berkelanjutan.

Kata Kunci: air limbah cucian garam (*bittern*), bakteri *indigenous*, biodegradasi, formulasi, plastik

Abstract: Plastic is a synthetic polymer that has stable properties and is resistant to natural degradation. One approach to reducing plastic accumulation in aquatic environments is the use of microorganisms as biodegradation agents. This study aimed to measure water quality parameters, characterize the types of plastics found at sampling stations, and compare plastic degradation activity between *indigenous* bacterial formulations from salt-washing wastewater (*bittern*) and control bacterial formulations. All data on water quality measurements, plastic type characteristics, and plastic degradation activity were analyzed descriptively and quantitatively. The sampling locations were located in the eastern port waters to the Karang-Kiring waters, Kamal, Bangkalan. The results of water quality parameters showed that the dissolved oxygen (DO) values obtained from stations 1, 2, and 3 were 3.0 mg/L, 3.35 mg/L, and 2.4 mg/L, respectively. The pH values obtained from stations 1, 2, and 3 were 8.0, 7.7, and 7.8, respectively. The temperatures recorded at stations 1, 2, and 3 were 26.9°C, 27.7°C, and 27.3°C, respectively. The plastic characteristics found at stations 1, 2, and 3 were dominated by LDPE (Low-Density Polyethylene). The best plastic degradation activity was shown by the *indigenous* bacterial formulation from salt-washing wastewater (*bittern*), with an average initial weight of 0.0019 and a final weight of 0.0012. Thus, it was found that the percentage of dry weight loss was 40% of the dry weight of the plastic. This study demonstrates the potential of *indigenous* bacterial formulations from salt-

Cara Sitasi:

Junaedi, A. S., Zainuri, M., Triajie, H., Wahyuningtyas, P., Ahnan, M. (2025). Karakterisasi sampah plastik yang terakumulasi di Pelabuhan Timur, Kamal, Bangkalan dan aktivitas degradasinya oleh bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*). *Teknosains: Media Informasi Sains dan Teknologi*, 19(3), 437-450. <https://doi.org/10.24252/teknosains.v19i3.62406>

Diajukan 3 November 2025; Ditinjau 19 November 2025; Diterima 31 Desember 2025; Diterbitkan 07 Januari 2026
Copyright © 2025. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

washing wastewater (bittern) as effective plastic biodegradation agents and their positive contribution to the development of environmental biotechnology. Furthermore, these findings can serve as a reference for industry and policymakers in the sustainable management of plastic waste.

Keywords: salt washing wastewater (bittern), indigenous bacteria, biodegradation, formulation, plastic

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan termasuk salah satu persoalan yang sangat serius dan rumit yang kerap menyertai pesatnya pertumbuhan. Di Indonesia sendiri, terdapat berbagai macam sumber pencemaran yang sangat berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan (Sompotan & Sinaga, 2022). Putra et al. (2024) menyatakan bahwa meski plastik telah menjadi bagian integral dari kehidupan modern karena sifatnya yang ringan, tahan lama, fleksibel, dan murah, justru menimbulkan ancaman lingkungan serius di seluruh dunia. Produksi plastik global telah melonjak dari angka 2 juta ton pada tahun 1950 hingga lebih dari 600 juta ton pada 2022, dan hanya kurang dari 10% yang berhasil didaur ulang, sementara sebagian besar berakhir di tempat pembuangan atau mencemari lingkungan air dan darat (Lestari et al., 2024). Kawasan Pelabuhan Timur merupakan wilayah dengan aktivitas manusia yang tinggi, seperti kegiatan pelabuhan, perikanan, dan permukiman pesisir, yang berkontribusi besar terhadap timbunan sampah plastik. Penggunaan plastik sekali pakai, aktivitas bongkar muat, serta pengelolaan sampah masyarakat yang belum optimal menyebabkan akumulasi sampah plastik di perairan sekitar pelabuhan. Kondisi ini tidak hanya mencemari lingkungan laut dan mengancam biota, tetapi juga menciptakan habitat bagi bakteri indigenous yang telah beradaptasi terhadap tekanan pencemaran plastik, sehingga berpotensi memiliki kemampuan biodegradasi yang lebih baik.

Akbar & Maghfira (2023), menyatakan bahwa limbah plastik telah menjadi ancaman serius bagi lingkungan global maupun Indonesia. Plastik populer digunakan karena ringan, murah, dan tahan lama. Hal ini menjadikan plastik sulit terurai secara alami karena dapat memakan waktu hingga ratusan tahun untuk mendegradasi tumpukan plastik yang terdapat dalam tanah dan air. Setiap tahunnya, sekitar 7,8 juta ton limbah plastik dihasilkan, lebih dari setengahnya sekitar 4,9 juta ton, tidak dikelola secara memadai dan dibuang secara sembarangan atau dibiarkan tidak terangkut dan sebagian akhirnya hanyut ke sungai dan laut (Purwaningrum, 2016). Hal ini berdampak menjadi cemaran ekosistem laut dan mengancam biota, serta menimbulkan berbagai masalah sosial dan ekonomi seperti penyumbatan saluran air, risiko bagi kesehatan melalui pembakaran sampah plastik, dan gangguan pada mata pencaharian masyarakat pesisir.

Sampah laut merupakan material padat buatan manusia yang terbuang dan menetap di lingkungan pesisir serta laut yang didominasi karena sifatnya yang sulit terurai. Aktivitas manusia, terutama pariwisata di kawasan pantai menjadi sumber utama sampah ini, dengan total sekitar 90% yang berasal dari daratan dan terbawa ke laut melalui aliran sungai maupun langsung yang ditinggalkan oleh pengunjung pantai. Penelitian Yona et al. (2023) pada lima pantai di pesisir selatan Jawa Timur menemukan bahwa sampah plastik sekali pakai mendominasi sekitar 80% dan seluruh lokasi dikategorikan kotor hingga sangat kotor berdasarkan standar CCI. Kondisi ini menunjukkan lemahnya pengelolaan sampah dan rendahnya kesadaran masyarakat yang berdampak pada estetika

pantai, kesehatan ekosistem laut, dan potensi kerugian sosial-ekonomi di sektor pariwisata.

Faustine (2023) menyatakan bahwa saat ini, berbagai cara pengelolaan limbah plastik di laut telah dikembangkan mulai dari upaya pencegahan melalui edukasi dan pengurangan penggunaan plastik sekali pakai, pengumpulan sampah laut melalui program bersih pantai dan teknologi pengumpul sampah, hingga pemanfaatan limbah plastik tersebut melalui daur ulang atau konversi menjadi bahan yang berguna. Fachrul et al. (2021) menyatakan bahwa degradasi plastik oleh mikroba ini masih berlangsung secara lambat dan belum efektif untuk semua jenis plastik, pendekatan ini memberi harapan besar sebagai solusi alami dan berkelanjutan untuk mengurangi sampah plastik di laut. Bakteri-bakteri yang diisolasi dari sampah plastik di perairan laut seperti genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, dan *Rhodococcus* telah terbukti mampu mendegradasi plastik melalui aktivitas enzimatik yang memecah rantai polimer plastik menjadi senyawa yang lebih sederhana (Fatti et al., 2025).

Bakteri *indigenous* yaitu mikroba lokal yang telah beradaptasi di lingkungan asalnya, kini menjadi ujung tombak inovasi dalam bioremediasi plastik. isolat *Bacillus* sp. (ISL8) mampu mengurangi plastik PET sebesar sekitar 7 % (Rohmayani et al., 2023). Empat isolat lokal di antaranya *B. cereus* yang diisolasi dari perairan Ambon Bay mampu melakukan degradasi LDPE mikroplastik tertinggi. Pernyataan tersebut dipertegas oleh penelitian yang dilakukan oleh Saputri et al. (2025) dengan hasil bakteri *indigenous* yang mampu mendegradasi limbah plastik sebesar 25% yang diperoleh dari (BB4). Formulasi bakteri pendegradasi plastik penting untuk dilakukan agar dapat meningkatkan efektivitas dan stabilitas proses biodegradasi limbah plastik oleh suatu konsorsium bakteri. Fatti et al. (2025) menyatakan bahwa formulasi bakteri pendegradasi plastik sangat penting karena dapat meningkatkan kestabilan dan kemampuan bakteri dalam proses biodegradasi limbah plastik.

Penelitian yang dilakukan oleh Han et al. (2020) menunjukkan bahwa konsorsium dari kedua strain bakteri *Arthrobacter* sp. dan *Streptomyces* sp. memiliki efek yang jauh lebih besar terhadap sifat degradasi plastik dibandingkan dengan strain individual. Strain *Arthrobacter* sp. mampu menurunkan sudut kontak air (*water contact angle/WCA*) dari film PE yang tidak dirawat (UPF) sebesar 2,7%, sementara *Streptomyces* sp. menurunkan WCA sebesar 5,3%, namun konsorsium kedua strain ini mampu menurunkan WCA hingga 5,5%. Cai et al. (2023) mengkombinasikan strain *Bacillus* sp. dan *Paenibacillus* sp. yang diisolasi dari sedimen tempat pembuangan akhir untuk membuat konsorsium bakteri campuran yang mampu mendegradasi hingga 14,7% mikropartikel PE setelah 60 hari inkubasi. Formulasi bakteri ini mampu membentuk biofilm tebal pada permukaan PE yang telah mengalami pelapukan dan menyebabkan perubahan pada karakteristik reologi dan topografi permukaan, dengan penurunan diameter rata-rata partikel mikroplastik sebesar 22,8%. Pernyataan dari Salinas et al. (2023) menunjukan bahwa konsorsium yang dipilih dari pengayaan selektif dalam kultur dengan LLDPE dalam bentuk serbuk (powder) lebih efektif dibandingkan dengan konsorsium yang dipilih dalam kultur dengan LLDPE dalam bentuk film, menghasilkan pengurangan berat mikroplastik antara 2,5% hingga 5,5%. Beberapa anggota konsorsium menunjukkan berbagai aktivitas enzimatik yang terkait dengan degradasi polimer plastik yang sulit didegradasi, dengan strain *P. aeruginosa* REBP5 dan *P. allopitida* REBP7 yang menonjol.

Berdasarkan uraian latar belakang, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengukur parameter kualitas perairan, mengkarakterisasi jenis plastik yang ditemukan di stasiun pengambilan sampel, serta membandingkan aktivitas degradasi plastik oleh

formulasi bakteri indigenous air limbah cucian garam dengan formulasi bakteri kontrol. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi pengelolaan limbah plastik berbasis bioteknologi, sekaligus memperkaya pemahaman mengenai potensi pemanfaatan mikroorganisme dalam mendukung keberlanjutan lingkungan perairan

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Bulan September sampai dengan Oktober tahun 2025. Penelitian meliputi pengukuran parameter kualitas perairan meliputi DO, pH dan suhu, pengambilan sampel plastik dilakukan dengan cara menentukan titik stasiun dan per stasiun ditentukan 3 titik lokasi pengambilan, dimana pada titik 1 menandakan pasang tertinggi dan titik 3 menandakan surut terendah (Gambar 1). Cara pengambilan sampel dilakukan pemasangan transek kemudian plastik yang ada dalam transek diambil semua dan dilakukan karakterisasi jenis plastik, serta proses degradasi limbah plastik. Pengukuran parameter kualitas perairan dan pengambilan sampel plastik bertempat di perairan kawasan Pelabuhan Timur sampai Karang kiring, Kamal, Bangkalan, Jawa Timur pada 3 stasiun dan setiap stasiunnya dilakukan 3 kali ulangan. Sampel plastik yang dipilih pada saat proses sampling yaitu berupa kantong kresek berwarna hitam. degradasi limbah plastik dilakukan di Laboratorium Biologi Laut dan Laboratorium Dasar Universitas Trunojoyo Madura.



Gambar 1 Peta lokasi pengambilan sampel

Kegiatan penelitian aktivitas degradasi limbah plastik ini menggunakan beberapa alat sebagai pendukung penelitian, di antaranya seperti pH meter, DO meter, transek ukuran 1x1 meter, GPS, dan kamera. Sedangkan bahan yang digunakan adalah kresek hitam dan isolat bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*). Pengukuran parameter kualitas perairan dilakukan dengan cara mengamati pH yang dilakukan dengan cara mengkalibrasi alat pH meter terlebih dahulu, kemudian menentukan 1 titik untuk tempat pengukuran pH. Adapun pengukuran DO dan suhu dilakukan dengan cara mengkalibrasi alat DO meter terlebih dahulu, kemudian menentukan 1 titik untuk tempat

pengukuran DO dan suhu (Salinas *et al.*, 2023) Adapun karakterisasi limbah plastik yang berhasil ditemukan dari kegiatan sampling dikarakterisasi berdasarkan parameter warna, jenis, panjang, lebar, jumlah, dan kode plastik. Selanjutnya, limbah plastik ditentukan jenis plastik penyusunnya berdasarkan kategori PE, PP, LDPE, PET, OTHER, PVC, PS, HDPE yang merujuk pada Andrady (2017).

Aktivitas degradasi plastik dilakukan dengan cara menyiapkan isolat bakteri indigenous air limbah cucian garam BB6, BB7, dan BB9 yang telah diketahui kemampuan dan aktivitas degradasi plastik (kategori sedang) di antara jenis isolat bakteri indigenous air limbah cucian garam yang lain (Saputri *et al.*, 2025). Kemudian ketiga jenis isolat bakteri *indigenous* air limbah cucian garam ini diformulasikan menjadi satu konsorsium mikroba dalam media sintetik cair, yaitu *Yeast Extract Broth* (YEB) + Glukosa 0,1% dengan nilai kerapatan optik (*optical density*) sebesar 0,5 A. Selanjutnya sampel plastik ditimbang sebagai berat awal, kemudian dimasukkan kedalam formulasi dilakukan inkubasi selama 7x24 jam dengan perlakuan menggunakan orbital shaker dengan kecepatan 50 rpm dan dilakukan pengecekan nilai pH, OD, dan TPC setiap harinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter kualitas air

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan pada saat pengambilan sampel limbah plastik di Perairan Pelabuhan Timur sampai dengan Perairan Karang Kiring, Kamal Bangkalan. Hasil pengukuran kualitas air diperoleh dari 3 stasiun dengan menggunakan 3 kali ulangan meliputi parameter pH, suhu, dan *dissolved oxygen* (DO). Hasil pengamatan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran kualitas air

Parameter	Stasiun			Standar Baku Mutu	Sumber
	1	2	3		
DO (mg/L)	3,0	3,5	2,4	4	PP No 82 Tahun 2001
pH	8,0	7,7	7,8	6,5-8,5	PP Nomor 22 Tahun 2021
Suhu (°C)	26,9	27,7	27,3	-	PP Nomor 22 Tahun 2021

Tabel 1 yang menunjukkan nilai pH, suhu, dan DO. Nilai DO yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 3,0 mg/L; 3,35 mg/L; dan 2,4 mg/L. Nilai pH yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 8,0; 7,7; dan 7,8. Nilai suhu yang diperoleh dari stasiun 1, 2, dan 3 secara berurutan, yaitu 26,9°C; 27,7°C; dan 27,3°C. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, baku mutu air laut untuk perairan pelabuhan yaitu 6,5-8,5 untuk pH; alami untuk suhu; dan tidak ada standar baku mutu untuk DO. Berdasarkan standar baku mutu tersebut, nilai pH masih memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Suryono dan Rochaddi, (2017) di pesisir timur Kota Semarang yang melaporkan nilai pH sekitar 7,1–7,8 dan suhu 29,3–30,4°C, hal ini menandakan bahwa kondisi perairan masih stabil baik secara kimia maupun fisika. Namun, nilai DO (*dissolved oxygen*) yang diperoleh di ketiga stasiun, yaitu 2,4–3,35 mg/L, tergolong rendah dan menunjukkan indikasi menurunnya kualitas perairan. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Patty *et al.* (2019) di perairan Waigeo Barat, Raja Ampat yang melaporkan bahwa nilai DO berada pada kisaran 5,90–8,48 mg/L pada lapisan permukaan. Rendahnya DO di lokasi penelitian diduga disebabkan oleh

tingginya aktivitas antropogenik di area pelabuhan seperti pembuangan limbah organik dan keterbatasan sirkulasi air yang menyebabkan penurunan oksigen terlarut.

Pencemaran pada perairan pelabuhan ini juga berasal dari kegiatan masyarakat di sekitar pelabuhan yang masih belum dapat menjaga lingkungannya dengan baik seperti halnya kegiatan pembuangan sampah yang tidak terkelola dengan baik dan pada akhirnya wilayah pesisir juga dijadikan sebagai tempat buangan sampah domestik. Hal ini didukung oleh laporan Purba et al. (2019) yang menyatakan bahwa sampah yang berserakan di wilayah pesisir pantai akan dapat menurunkan kualitas perairan, salah satunya adalah kandungan oksigen terlarut (OD), akibatnya kondisi perairan menjadi tidak stabil karena komponen sampah yang berserakan di wilayah pesisir tidak dapat diuraikan dengan baik sehingga akan berdampak pada kesehatan ekosistem perairan. Tidak hanya, itu Thushari & Senevirathna (2020) menegaskan bahwa hal ini akan dapat memicu turunnya populasi biota perairan lokal seperti ikan kecil, *crustacea*, *molusca* akibat akumulasi dan tumpukan sampah berlebih yang ada di wilayah pesisir.

2. Karakteristik limbah plastik

Karakteristik limbah plastik yang ditemukan di Perairan Kamal, Kabupaten Bangkalan diidentifikasi berdasarkan jenis, ukuran, warna, jumlah, dan kondisi plastik yang ditemukan pada masing-masing ulangan setiap stasiunnya. Karakterisasi dilakukan dengan mengambil limbah plastik yang berada di dalam transek berukuran 1 x 1 m pada setiap stasiun dengan tiga titik pengambilan (Tabel 1). Hasil karakterisasi limbah plastik disajikan pada Tabel 2 sampai Tabel 10.

Tabel 1. Lokasi titik pengambilan limbah plastik di Perairan Kamal, Kabupaten Bangkalan

Stasiun	Titik Pengambilan	Titik Koordinat
1	1	Lot-7.172545° Log 112.725573°
	2	Lot -7.171726° Log 112.725585°
	3	Lot -7.172627° Log 112.72543°
2	1	Lot -7.171112° Log 112.733159°
	2	Lot -7.171116° Log 112.733197°
	3	Lot -7.171256° Log 112.733275°
3	1	Lot -7.171273° Log 112.738787°
	2	Lot -7.1714° Log 112.738772°
	3	Lot -7.171443° Log 112.738782°

Tabel 2. Karakteristik plastik Stasiun 1 ulangan 1

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan pakan kucing	Kuning putih (robek)	32	20	1	PP
2	Kemasan pakan ayam	Putih hijau	26	18	1	PP
3	Plastik bening	Bening	37	27	1	LDPE
4	Kemasan minyak goreng (Sunco)	Bening kuning (robek)	29	22	1	PP
5	Kemasa kopi (Robusta Singa)	Hijau	21,5	9,5	1	PP
6	Kresek hitam	Hitam (agak pudar)	41	21,2	1	LDPE
7	Kemasan Sunlight	Hijau	22,5	16	1	PET
8	Kemasan kecap Bango	Biru	14	11,7	1	PET
9	Plastik bening	Bening (agak kotor dan robek)	38,7	25	1	LDPE
10	Kemasan Fruit Tea	Merah Oren	31	9,8	1	PP
11	Kresek hitam	Hitam (Robek)	31	9,8	1	LDPE

Keterangan: PP = Polypropylene, LDPE = Low-Density Polyethylene, PET = Polyethylene Terephthalate

Tabel 3 Karakteristik plastik Stasiun 1 ulangan 2

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan Milo	Hijau putih	9	9	1	PP
2	Kemasan Spix Mie goreng	Putih merah	19	7	2	PP
3	Kemasan Nextar	Hitam emas	19	7	1	PP
4	Kemasan jajan mie goreng	Putih (pudar dan tulisannya sudah hilang)	9,6	8,7	1	PP
5	Plastik bening	Bening	7	4,3	1	LDPE
6	Plastik bening	Bening berlumut	12,5	7,6	1	LDPE
7	Plastik bening	Bening (berlumut dan agak pudar)	19	18,9	1	LDPE
8	Kemasan Soklin	Putih (robek dan rusak)	21	15	1	Other
9	Plastik bening	bening	17	7	1	LDPE

Keterangan: PP = Polypropylene, LDPE = Low-Density Polyethtlene

Tabel 4. Karakteristik plastik Stasiun 1 ulangan 3

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan Kiko	Bening buram	30	7	1	PE
2	Kemasan Indomie Goreng	Putih merah (robek)	19	15	1	LDPE
3	Kemasan Jaipong Kacang	Hitam pink	9,4	7,5	1	LDPE
4	Kemasan Gery Toya-toya	Coklat (robek)	13	8	1	LDPE
5	Plastik label Maizon	Biru	19,6	8	1	PVC
6	Kemasan Ajinomoto	Bening (pudar)	14,5	12	1	LDPE
7	Plastik potongan Mie Sedap	Hitam (sobekan)	12	2,5	1	LDPE
8	Plastik potongan Indomie	Putih (sobekan)	12	4	1	LDPE
9	Kemasan Mie sedap	Bening oren (robek)	17	13	1	LDPE
10	Plastik bening	Bening (pudar dan berlumut)	17	7	1	LDPE
11	Potongan Pop Ice	Bening (sobek)	9,5	7	1	PVC

Keterangan: PE = Polyethylene, LDPE = Low-Density Polyethtlene, PVC = Polyvinyl Chloride

Tabel 5. Karakteristik plastik Stasiun 2 ulangan 1

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan botol Club	Bening (pudar)	30	7	1	PET
2	Plastik bening	Bening	14	11	1	LDPE
3	Sedotan plastik	Biru	23	1	1	PP
4	Kemasan botol plastik	Putih (robek dan rusak)	10	7	1	PET
5	Kemasan botol Le Mineral	Bening (rusak dan kotor)	22	9	1	PET
6	Kemasan Sunligth	Hijau (robek)	17	11,5	1	PET
7	Kemasan jajan Kuda Mas	Hijau bening (pudar)	17	11	1	PP
8	Kemasan botol gelas Cleo	Bening (pudar)	10	6	1	PET
9	Kemasan Wings Biru	Biru	16,5	11	1	Other
10	Kemasan Pepsodent	Putih (pudar)	16	11	1	PP
11	Kresek hitam	Hitam (robek)	20	6	1	LDPE

Keterangan: PET = Polyethylene Terephthalate, LDPE = Low-Density Polyethtlene, PP = Polypropylene

Tabel 6. Karakteristik plastik Stasiun 2 ulangan 2

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan plastik minyak	Bening kotor	34	20	1	Other
2	Kemasan plastik minyak	Bening kotor buram	49	18,8	1	Other
3	Kemasan botol gelas Power F	Ungu putih (rusak dan pudar)	11	7	1	PET
4	Plastik bening	Bening dan kotor	24	10	1	LDPE
5	Sedotan	Biru	23	1	1	PP
6	Kemasan Royale So Klin	Hitam emas	9,5	6,5	1	Other
7	Tutup plastik	Bening	15,5	15,5	1	HDPE
8	Kressek hitam	Hitam	30	10	1	LDPE
9	Plastik bening	Bening	18	8	1	LDPE

Keterangan: PET = Polyethylene Terephthalate, LDPE = Low-Density Polyeththlene, HDPE = High-Density Polyethylene

Tabel 7. Karakteristik plastik Stasiun 2 ulangan 3

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan makanan (Duosus)	Putih (sobek)	17	13	1	PP
2	Plastik bening	Bening (sobek)	18	8	1	LDPE
3	Kemasan Soklin	Biru bening (warna sudah pudar dan robek)	13	11	1	OTHER
4	Kemasas minuman (Nata de Coco)	Bening buram	10	6	1	PET
5	Plastik biru	Biru	25	10	1	LDPE
6	Plastik bening	Bening	18	10	1	LDPE
7	Plastik bening	Buram dan berlumut	30	9	1	LDPE

Keterangan: PP = Polypropylene, LDPE = Low-Density Polyeththlene, PET = Polyethylene Terephthalate

Tabel 8. Karakteristik plastik Stasiun 3 ulangan 1

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Plastik <i>bubble wrap</i>	putih	44	12	1	LDPE
2	Plastik bening	Bening dan sedikit berlumut	27	9	1	LDPE
3	Sendok plastik	Putih	16	4	1	PS
4	Sedotan hitam	Hitam	20	1	1	PP
5	Plastik bening	bening	25	9	1	LDPE
6	Kemasan alumunium	Putih biru	19	7	1	OTHER

Keterangan: LDPE = Low-Density Polyeththlene, PP = Polypropylene, PS = Polystyrene

Tabel 9. Karakteristik plastik Stasiun 3 ulangan 2

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Kemasan botol minum	Botol bening	30	9	1	HDPE
2	Plastik bening	Bening dan sedikit kotor	37	26	1	LDPE
3	Kemasan roti tawar	Biru putih	36	19	1	LDPE
4	Kemasan obat	Putih	4	4	1	OTHER
5	Sterofoam	Putih (robek)	10	7	1	OTHER

Keterangan: HDPE = High-Density Polyethylene, LDPE = Low-Density Polyeththlene

Tabel 10. Karakteristik plastik Stasiun 3 ulangan 3

No	Jenis	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jumlah	Kode Jenis Plastik
1	Sterofoam	Putih (robek)	17	8	1	Other



Gambar 2. Hasil karakteristik plastik di Stasiun 1 pada titik pengambilan 1 (A), titik pengambilan 2 (B), dan titik pengambilan 3 (C)

Gambar 2.A menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik pada stasiun 1 titik pengambilan 1, yaitu di dekat Pelabuhan Timur. Terdapat 11 jenis plastik yang berada di dalam transek berukuran 1 x 1 m. Kebanyakan plastik yang ditemukan sudah dalam kondisi robek, warna pudar, dan memiliki ukuran yang cukup besar. Limbah plastik yang ditemukan cenderung merupakan sampah rumah tangga seperti kemasan makanan, kemasan minyak goreng, kemasan kopi, kemasan sabun dan plastik bening maupun hitam. Gambar 2.B menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 1 titik pengambilan 2. Limbah plastik yang ditemukan lebih sedikit dibandingkan pada stasiun 1 titik pengambilan 1. Limbah plastik yang ditemukan hanya terdapat 9 jenis, yang didominasi oleh plastik bening. Gambar 2.C menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 1 titik pengambilan 3. Limbah plastik yang ditemukan sama dengan stasiun 1 titik pengambilan 1, yaitu 11 jenis, jenis yang ditemukan yaitu kemasan makanan dan minuman, dan terdapat plastik bening. Ukuran limbah plastik yang ditemukan beragam mulai dari sedang sampai besar.

Ramadhan & Mustakim (2021) menunjukkan bahwa limbah plastik yang ditemukan di wilayah pesisir memiliki variasi bentuk dan karakteristik yang bergantung pada sumbernya seperti kemasan makanan, botol, dan kantong sekali pakai. Secara umum, limbah plastik tersebut memiliki tingkat kerapuhan tinggi akibat paparan sinar matahari dan gesekan dengan pasir laut yang menyebabkan perubahan warna serta penurunan massa. Sementara itu, Novarini et al. (2021) melaporkan bahwa limbah plastik rumah tangga yang digunakan dalam proses pirolisis memiliki struktur fisik padat, warna homogen, dan kadar air rendah yang berpengaruh terhadap efisiensi konversi energi selama proses pemanasan. Hasil dari kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa perbedaan sumber dan kondisi lingkungan menyebabkan variasi karakteristik limbah plastik, baik dari segi fisik maupun kimia yang berimplikasi pada metode pengelolaan dan pemanfaatannya.



Gambar 3. Hasil karakteristik plastik di Stasiun 2 pada titik pengambilan 1 (A), titik pengambilan 2 (B), dan titik pengambilan 3 (C)

Gambar 3.A menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik pada stasiun 2 titik pengambilan 1, yaitu berada di dekat area perumahan. Total limbah plastik yang ditemukan adalah 11 jenis di antaranya kemasan botol, sedotan plastik, kemasan makanan, kemasan botol gelas, kemasan sabun, dan kresek hitam. Gambar 3.B menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 2 titik pengambilan 2. Jenis limbah plastik yang ditemukan pada lokasi ini lebih banyak dari limbah plastik yang ditemukan di stasiun 2 titik pengambilan 1, yaitu terdapat 9 jenis plastik yang ditemukan. Gambar 3.C menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 2 titik pengambilan 3. Jenis limbah plastik yang ditemukan pada lokasi ini paling sedikit dibandingkan jenis limbah plastik yang ditemukan pada stasiun 2 titik pengambilan 1 dan 2 sebelumnya. Limbah plastik yang ditemukan terdapat 4 jenis. Stasiun 2 ini didominasi oleh kode jenis plastik LDPE (*Low-Density Polyeththlene*).

Evode et al. (2021) melaporkan bahwa limbah plastik memiliki karakteristik utama berupa ketahanan terhadap degradasi biologis, ringan, dan bersifat hidrofobik sehingga sulit terurai di lingkungan alami. Hal tersebut menegaskan bahwa plastik seperti *polyethylene* (PE) dan *polypropylene* (PP) bersifat *inert* dan memiliki densitas rendah, menyebabkan plastik mudah mengapung dan tersebar luas di perairan. Sementara itu, Kibria et al. (2023) menjelaskan bahwa karakteristik limbah plastik tidak hanya ditentukan oleh komposisi kimia, tetapi juga oleh struktur fisik dan aditif yang digunakan dalam proses manufaktur. Misalnya, plastik *polyvinyl chloride* (PVC) yang memiliki kandungan klorin yang tinggi sehingga berpotensi melepaskan senyawa beracun saat terpapar panas, sedangkan *polystyrene* (PS) memiliki struktur yang rapuh dan mudah terfragmentasi menjadi mikroplastik.



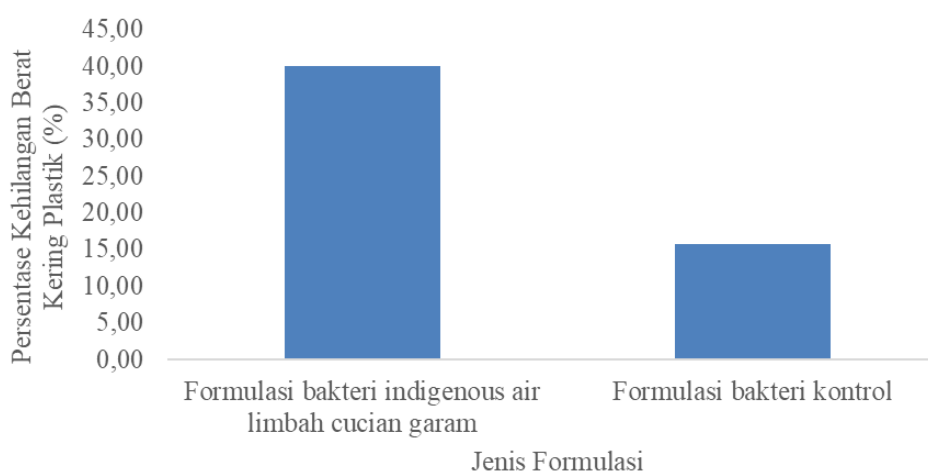
Gambar 4. Hasil karakteristik plastik di Stasiun 3 pada titik pengambilan 1 (A), titik pengambilan 2 (B), dan titik pengambilan 3 (C)

Gambar 4.A menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik pada stasiun 3 titik pengambilan 1, yaitu berada di dekat area saluran pembuangan air. Limbah plastik yang ditemukan sejumlah 6 jenis di antaranya plastik *wrap*, plastik bening, sendok plastik, sedotan hitam, dan kemasan akumunium. Gambar 4.B menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 3 titik pengambilan 2. Jenis plastik yang ditemukan pada lokasi ini lebih sedikit jumlahnya dibandingkan pada stasiun 3 titik pengambilan 1, yaitu 5 jenis. Jenis plastik yang ditemukan di antaranya kemasan botol minuman, plastik bening, dan kemasan makanan. Gambar 4.C menunjukkan hasil karakterisasi limbah plastik yang ditemukan di stasiun 3 titik pengambilan 3. Jenis plastik yang ditemukan hanya 1 jenis, yaitu potongan sterofoam. Stasiun 3 ini berlokasi di dekat saluran pembuangan air.

Maryudi et al. (2015) menjelaskan bahwa karakteristik limbah plastik secara umum ditandai oleh kadar air yang rendah, berat jenis ringan, serta kestabilan termal yang tinggi sehingga sulit terurai secara alami. Hasil analisis termogravimetri menunjukkan bahwa sebagian besar limbah plastik mengalami proses dekomposisi pada rentang suhu tinggi, yaitu antara 200–800°C. Hal ini menandakan ketahanan material terhadap perubahan kimia maupun fisik di lingkungan. Sebaliknya, Niu et al. (2024) mengemukakan bahwa karakteristik limbah plastik sangat dipengaruhi oleh struktur molekul, tingkat kristalinitas, dan komposisi aditif yang digunakan selama proses produksi. Plastik dengan struktur molekul yang lebih rapat dan mengandung bahan penstabil memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap proses degradasi alami seperti paparan sinar UV dan aktivitas mikroba. Perbandingan kedua hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa meskipun karakteristik dasar limbah plastik sama-sama bersifat kuat, ringan, dan resisten terhadap degradasi, perbedaan komposisi bahan dan kondisi lingkungan sangat menentukan laju pelapukan serta dampak pencemarannya terhadap ekosistem.

3. Aktivitas degradasi plastik

Aktivitas degradasi plastik dilakukan selama 7x24 jam dengan perlakuan orbital shaker dengan kecepatan 50 rpm, perhitungan nilai OD, pH, dan TPC, dan Perhitungan presentase berat kering plastik. Hasil presentase berat kering plastik disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Grafik persentase kehilangan berat kering

Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi bakteri *indigenous* air limbah cucian garam (*bittern*) memiliki kemampuan degradasi plastik yang lebih tinggi

dibandingkan formulasi kontrol, dengan persentase kehilangan berat kering mencapai sekitar 40,00%, sedangkan formulasi kontrol hanya sekitar 15,68%. Nilai kehilangan berat kering yang tinggi menunjukkan aktivitas enzimatik mikroorganisme yang lebih efektif dalam memecah ikatan polimer pada plastik. Formulasi bakteri indigenous air limbah cucian garam (*bittern*) mengandung konsorsium bakteri yang memiliki kemampuan biodegradasi lebih kuat, misalnya dari genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, atau *Acinetobacter*, yang dikenal menghasilkan enzim oksidatif dan hidrolitik seperti laccase dan esterase yang berperan dalam degradasi polietilen (Danso et al., 2019).

Perbedaan aktivitas antara kedua formulasi ini dapat disebabkan oleh variasi komposisi dan sinergi antarstrain bakteri di dalamnya. Konsorsium bakteri yang lebih seimbang dalam memanfaatkan sumber karbon dan menghasilkan enzim pelengkap dapat mempercepat proses degradasi plastik (Skariyachan et al., 2016). Menurut penelitian Auta et al. (2017), kombinasi mikroba dari lingkungan perairan mampu meningkatkan efisiensi degradasi karena adanya proses komplementer dalam pemecahan rantai polimer panjang. Selain itu, kondisi lingkungan seperti pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi pada medium kultur juga berpengaruh terhadap efektivitas aktivitas biodegradasi (Wei & Zimmermann, 2017).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran parameter kualitas air (fisikokimia: pH, temperatur, DO) di Perairan Pelabuhan Timur sampai dengan Perairan Karang Kiring, Kamal, Bangkalan pada stasiun 1, 2, dan 3 adalah 3,0 mg/L; 3,5 mg/L; 2,4 mg/L (DO). 8,0; 7,7; 7,8 (pH) serta 26,9; 27,7; 27,3 (suhu). Hasil pengukuran parameter kualitas air menunjukkan bahwa kualitas air di Pelabuhan Timur sampai dengan Perairan Karang Kiring, Kamal, Bangkalan masih memenuhi standar baku mutu. Hasil karakterisasi plastik menunjukkan bahwa jenis plastik yang ditemukan didominasi oleh sampah domestik, yaitu jenis LDPE. Aktivitas degradasi plastik terbaik ditunjukkan oleh formulasi bakteri indigenous air limbah cucian garam (*bittern*) dibandingkan dengan formulasi bakteri kontrol dengan nilai persentase berat kering sebesar 40,00% dan 15,68%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim peneliti dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Trunodjoyo Madurayang telah memberikan pendanaan Hibah Riset Mandiri tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., & Maghfira, A. (2023). Pengaruh sampah plastik dalam pencemaran air laut di Kota Makassar. *Riset Sains dan Teknologi Kelautan*, 6(1), 25–29. <https://doi.org/10.62012/sensistek.v6i1.24234>.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>.
- Cai, Z., Li, M., Zhu, Z., Wang, X., Huang, Y., Li, T., Gong, H., & Yan, M. (2023). Biological degradation of plastics and microplastics: A recent perspective on associated mechanisms and influencing factors. *Microorganisms*, 11(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071661/>.
- Danso, D., Chow, J., & Streit, W. R. (2019). Plastics: Environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(19), e01095-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>.
- Evode, N., Qamar, S. A., Bilal, M., Barceló, D., & Iqbal, H. M. N. (2021). Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100142>.

- Fachrul, M. F., Rinanti, A., Tazkiaturrizki, T., Agustria, A., & Naswadi, D. A. (2021). Degradasi mikroplastik pada ekosistem perairan oleh bakteri kultur campuran *Clostridium sp.* dan *Thiobacillus sp.* *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 6(2), 304–316. <https://doi.org/10.25105/pdk.v6i2.9935>.
- Fatti, C., Rumampuk, N. D. C., Gerung, G. S., Wullur, S., Mamujaja, J. M., & Ginting, E. L. (2025a). Isolation and potential of plastic-degrading bacteria from plastic waste. *Jurnal Ilmiah Platax*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.35800/jip.v13i1.58358>.
- Fatti, C., Rumampuk, N. D. C., Gerung, G. S., Wullur, S., Mamujaja, J. M., & Ginting, E. L. (2025b). Isolation and potential of plastic-degrading bacteria from plastic waste. *Jurnal Ilmiah Platax*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.35800/jip.v13i1.58358>.
- Faustine, V. I. (2023). Upaya pengurangan sampah plastik di laut Indonesia berdasarkan Konvensi Basel 1980 dalam rangka pemenuhan target Sustainable Development Goals ke-1. *Belli Ac Pacis*, 8(2), 90. <https://doi.org/10.20961/belli.v8i2.74531>.
- Han, Y.-N., Wei, M., Han, F., Fang, C., Wang, D., Zhong, Y.-J., Guo, C.-L., Shi, X.-Y., Xie, Z.-K., & Li, F.-M. (2020). Greater biofilm formation and increased biodegradation of polyethylene film by a microbial consortium of *Arthrobacter sp.* and *Streptomyces sp.* *Microorganisms*, 8(12), 1979. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121979>.
- Kibria, Md. G., Masuk, N. I., Safayet, R., Nguyen, H. Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic waste: Challenges and opportunities to mitigate pollution and effective management. *International Journal of Environmental Research*, 17(1), 20. <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>.
- Lestari, B., Yumni, A., Ramadhani, C., Adelya Putri, F., Syifa Salsabila, N., Haviza Purba, N., Azzuhra Fadhillah, S., Rizki Wardani Simanjuntak, S., & Syahfitri, Y. (2024). Pemanfaatan limbah plastik melalui inovasi ecobricks di Desa Setia Tawar Barat. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Nusantara (JPMN)*, 4(2), 106–112. <https://doi.org/10.35870/jpmn.v4i2.3109>.
- Maryudi, M., Setyawan, M., Noni, N., & Yahayor, S. (2015). Essential characteristics of plastics waste for pyrolysis process: Comparison of selected packaging plastics and PVC. *Jurnal Teknologi*, 77(23), 41–45. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6685>.
- Muhammad Nizar Arvila Putra, Nadia Ardyta Zahrani, Tsabita Az Zahra, Berliana Clara Bella, Arsyah Ghaniyyah Hariyadi, Dhea Salsa Fadhlila, Sunny Akrom Al Abiyyu, Rahma Rini Khalisa Firdausi, Marchiko Naufal Justicio, Ahmad Kamalul Albar, & Pandu Firmansyah. (2024). Sampah plastik sebagai ancaman terhadap lingkungan. *Aktivisme: Jurnal Ilmu Pendidikan, Politik dan Sosial Indonesia*, 2(1), 154–165. <https://doi.org/10.62383/aktivisme.v2i1.725>.
- Niu, Y., Pan, F., Shen, K., Yang, X., Niu, S., Xu, X., Zhou, H., Fu, Q., & Li, X. (2024). Status and enhancement techniques of plastic waste degradation in the environment: A review. *Sustainability*, 16(21), 9395. <https://doi.org/10.3390/su16219395>.
- Novarini, Kurniawan, S., Rusdianasari, & Bow, Y. (2021). Kajian karakteristik dan energi pada pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE). *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 5(1), 61–70. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i1.190>.
- Patty, S. I., Ibrahim, P. S., & Yalindua, F. Y. (2019). Oksigen terlarut dan apparent oxygen utilization di perairan Waigeo Barat, Raja Ampat. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 7(2), 52–57. <https://doi.org/10.30869/jtech.v7i2.379>.
- Purba, N. P., Handyman, D. I. W., Pribadi, T. D., Syakti, A. D., Pranowo, W. S., Harvey, A., & Ihsan, Y. N. (2019). Marine debris in Indonesia: A review of research and status. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 134–144. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.057>.
- Purwaningrum, P. (2016). Upaya mengurangi timbunan sampah plastik di lingkungan. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 8(2), 141–147. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>.
- Ramadhan, R. N., & Mustakim, M. (2025). Karakteristik sampah makroplastik pada Pantai Kampung Baru Kabupaten Penajam Paser Utara dan Pantai Biru Kersik Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Tropical Aquatic Sciences*, 4(1), 17–24. <https://doi.org/10.30872/tas.v4i1.1141>.
- Salinas, J., Carpena, V., Martínez-Gallardo, M. R., Segado, M., Estrella-González, M. J., Toribio, A. J., Jurado, M. M., López-González, J. A., Suárez-Estrella, F., & López, M. J. (2023). Development of plastic-degrading microbial consortia by induced selection in microcosms. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1143769. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1143769>.
- Saputri, W. D., Ardani, A. M., Junaedi, A. S., & Triajie, H. (2025). Effectiveness of indigenous bacteria of salt-washing wastewater (bittern) as plastic waste degraders. *Airlangga Journal of Innovation Management*, 6(1), 13–29. <https://doi.org/10.20473/ajim.v6i1.65188>.

- Skariyachan, S., Manjunatha, V., Sultana, S., Jois, C., Bai, V., & Vasist, K. S. (2016). Novel bacterial consortia isolated from plastic garbage processing areas demonstrated enhanced degradation for low density polyethylene. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(18), 18307–18319. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7000-y>.
- Sompotan, D. D., & Sinaga, J. (2022). Pencegahan pencemaran lingkungan. *Saintekes: Jurnal Sains, Teknologi dan Kesehatan*, 1(1), 6–13. <https://doi.org/10.55681/saintekes.v1i1.2>.
- Suryono, C. A., & Rochaddi, B. (2017). Kualitas perairan di daerah fishing ground nelayan kerang di pesisir timur Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(1), 42-47. <https://doi.org/10.14710/jkt.v20i1.1353>.
- Thushari, G. G. N., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*, 6(8), e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>.
- Wei, R., & Zimmermann, W. (2017). Microbial enzymes for the recycling of recalcitrant petroleum-based plastics: How far are we? *Microbial Biotechnology*, 10(6), 1308–1322. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12710>.
- Yona, D., Nooraini, P., Putri, S. E. N., Sari, S. H. J., Lestariadi, R. A., & Amirudin, A. (2023). Spatial distribution and composition of marine litter on sandy beaches along the Indian Ocean coastline in the south Java region, Indonesia. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1220650. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1220650>.