Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
5 (2) 2025, Page 11608-11618

Karakteristik Distribusi Sampah Laut dan Evaluasi Indeks Kebersihan Pantai di Wilayah Pesisir Kota Ambon: Studi Kasus Muara Kali Wairuhu desa Galala

Laole[1], Aniesa Nabila[2], Kamal Mewar[3], Salim Souwakil[4]
[1,2]Dosen Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Muhammadiyah Maluku
[3,4] Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Muhammadiyah Maluku
Corresponding Author: Aniesa Nabila e-mail: iklumm30@gmail.com

Published: August, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis karakteristik distribusi sampah laut dan evaluasi indeks kebersihan pantai di Muara Kali Wairuhu, Desa Galala, Kota Ambon. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan teknik Transek sistematis bertingkat pada area sampling seluas 125 m² yang terdistribusi dalam lima sub-transek berukuran 5m × 5m. Inventarisasi sampah laut mengidentifikasi 232 item marine debris dengan massa total 7.318,62 gram, menunjukkan dominasi material polimer sintetis (plastik) sebesar 44,8% (n=104 item) dan material kaca-keramik 37,5% (n=87 item). Analisis distribusi spasial mengungkapkan heterogenitas yang ekstrem dengan kepadatan bervariasi dari 0,20 hingga 3,04 items/m² antar sub-transek. Evaluasi Clean Coast Index (CCI) menunjukkan kepadatan plastik rata-rata 0,832 item/m² yang mengklasifikasikan lokasi penelitian dalam kategori "kotor" dengan nilai CCI 10-20. Variabilitas spasial CCI yang signifikan (0-2 hingga >20) mengindikasikan adanya hotspot akumulasi debris dengan sub-transek 1 dan 5 mencapai status "sangat kotor" (CCI >20). Temuan ini mengkonfirmasi bahwa sistem estuari Kali Wairuhu telah mengalami deteriorasi kapasitas asimilatif alamiah dan memerlukan implementasi strategi pengelolaan debris yang komprehensif dan site-specific untuk mencegah progresivitas degradasi ekosistem menuju kondisi irreversible.

Kata kunci: marine debris, Clean Coast Index, distribusi spasial, ekosistem estuari, pengelolaan pesisir

ABSTRACT

This study analyzes the characteristics of marine debris distribution and evaluates the coastal cleanliness index in Muara Kali Wairuhu, Galala Village, Ambon City. The research methodology used a quantitative approach with a stratified systematic transect technique in a sampling area of 125 m² distributed in five sub-transects measuring 5m × 5m. The marine debris inventory identified 232 items of marine debris with a total mass of 7,318.62 grams, showing the dominance of synthetic polymer (plastic) materials of 44.8% (n=104 items) and glass-ceramic materials of 37.5% (n=87 items). Spatial distribution analysis revealed extreme heterogeneity with densities varying from 0.20 to 3.04 items/m² between sub-transects. A Clean Coast Index (CCI) evaluation showed an average plastic density of 0.832 items/m² which classified the research site in the "dirty" category with a CCI value of 10-20. Significant CCI spatial variability (0-2 to >20) indicates the presence of debris accumulation hotspots, with sub-transects 1 and 5 achieving "foul" status (CCI >20). These findings confirm that the Wairuhu River estuary system has experienced a deterioration of its natural assimilative capacity and requires the implementation of a comprehensive and site-specific debris management strategy to prevent the progression of ecosystem degradation to irreversible conditions.

Keywords: marine debris, Clean Coast Index, spatial distribution, estuarine ecosystems, coastal management

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Pencemaran sampah laut (marine debris) telah menjadi salah satu permasalahan lingkungan global yang mengancam keberlanjutan ekosistem pesisir dan laut. Menurut Jambeck et al. (2015), Indonesia menempati posisi kedua dunia sebagai kontributor sampah plastik ke laut dengan estimasi 0,48-1,29 juta ton per tahun. Kondisi ini diperparah oleh karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan garis pantai mencapai 99.093 km, dimana aktivitas antropogenik di wilayah pesisir berkontribusi signifikan terhadap input sampah laut melalui sistem sungai dan muara.

Kota Ambon sebagai ibukota Provinsi Maluku memiliki karakteristik wilayah pesisir yang kompleks dengan sejumlah sungai yang bermuara langsung ke Teluk Ambon. Kondisi geografis ini menciptakan potensi akumulasi sampah laut yang tinggi, terutama di area muara sungai yang berfungsi sebagai jalur transport debris dari daerah aliran sungai menuju lingkungan laut. Teluk Ambon yang merupakan semi-enclosed bay dengan sirkulasi air terbatas memiliki kapasitas self-purification yang rendah, sehingga akumulasi sampah laut dapat berdampak jangka panjang terhadap kualitas lingkungan pesisir.

Muara Kali Wairuhu di Desa Galala merupakan salah satu sistem muara penting di Kota Ambon yang mengalami tekanan antropogenik tinggi akibat aktivitas pemukiman, pertanian, dan industri kecil di daerah aliran sungainya. Berdasarkan observasi lapangan, area ini menunjukkan indikasi pencemaran sampah laut yang signifikan, namun belum pernah dilakukan assessment komprehensif menggunakan metode standar internasional untuk evaluasi tingkat pencemaran dan indeks kebersihan pantai.

Indeks Kebersihan Pantai (Beach Cleanliness Index) merupakan parameter penting dalam penilaian kualitas lingkungan pesisir yang dikembangkan oleh European Environment Agency (EEA) dan diadopsi secara luas dalam program monitoring marine debris. Indeks ini memberikan klasifikasi kuantitatif tingkat pencemaran berdasarkan densitas, komposisi, dan distribusi spasial sampah laut yang dapat digunakan sebagai basis pengambilan keputusan dalam pengelolaan pesisir terpadu.

Penelitian marine debris di Indonesia telah berkembang pesat dalam dekade terakhir, namun sebagian besar fokus pada wilayah pesisir Jawa dan Sumatera (Cordova et al., 2019; Syakti et al., 2017; Purba et al., 2019). Studi di wilayah Indonesia Timur, khususnya Maluku, masih sangat terbatas meskipun memiliki karakteristik oceanografi dan antropogenik yang berbeda dengan wilayah Indonesia Barat. Hal ini menciptakan gap pengetahuan yang signifikan dalam pemahaman pola distribusi dan karakteristik marine debris di perairan tropis Indonesia bagian timur.

Pengelolaan sampah laut di tingkat daerah masih menghadapi kendala dalam hal ketersediaan data baseline yang akurat dan metodologi assessment yang terstandarisasi. Mayoritas program pembersihan pantai di Indonesia masih bersifat reaktif tanpa didasari oleh assessment komprehensif mengenai sumber, distribusi, dan karakteristik debris. Kondisi ini menyebabkan kurang efektifnya upaya mitigasi dan pencegahan pencemaran sampah laut di tingkat lokal.

Pemerintah Indonesia melalui Rencana Aksi Nasional Penanganan Sampah Laut 2018-2025 telah menetapkan target pengurangan sampah laut sebesar 70% pada tahun 2025. Pencapaian target ini memerlukan dukungan data ilmiah yang robust mengenai status terkini pencemaran sampah laut di berbagai wilayah pesisir Indonesia, termasuk wilayah Indonesia Timur yang selama ini kurang mendapat perhatian.

Ekosistem muara memiliki peran strategis dalam transport dan akumulasi marine debris karena berfungsi sebagai interface antara sistem terestrial dan marine. Karakteristik hidrodinamika muara yang didominasi oleh proses mixing antara air tawar dan air laut menciptakan kondisi yang kondusif untuk sedimentasi dan akumulasi debris dengan densitas dan ukuran tertentu. Pemahaman mengenai pola distribusi spasial marine debris di ekosistem muara menjadi kunci dalam pengembangan strategi intercepted pollution sebelum debris mencapai lingkungan laut terbuka.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik distribusi sampah laut dan mengevaluasi indeks kebersihan pantai di Muara Kali Wairuhu, Desa Galala sebagai representasi kondisi pencemaran marine debris di wilayah pesisir Kota Ambon. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan database marine debris Indonesia bagian timur dan menjadi basis ilmiah untuk penyusunan strategi pengelolaan sampah laut yang efektif di tingkat lokal dan regional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2025 di Muara Kali Wairuhu, Desa Galala, Kecamatan Sirimau, Kota Ambon, Provinsi Maluku. Lokasi penelitian dipilih berdasarkan pertimbangan: (1) representativitas sebagai muara sungai urban di Kota Ambon, (2) aksesibilitas untuk sampling, (3) adanya indikasi pencemaran sampah laut berdasarkan observasi pendahuluan, dan (4) posisi strategis sebagai input point debris dari daerah aliran sungai ke Teluk Ambon.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian deskriptif analitik. Metode survey lapangan diterapkan untuk mengumpulkan data primer mengenai distribusi, komposisi, dan karakteristik sampah laut di area penelitian. Pendekatan spasial digunakan untuk menganalisis pola distribusi debris menggunakan metode transek yang diadaptasi dari protokol NOAA Marine Debris Monitoring and Assessment Project (Lippiatt et al., 2013) dan OSPAR Beach Litter Monitoring (OSPAR Commission, 2010).

Sampling dilakukan menggunakan metode stratified systematic transect pada area transek utama berukuran 100m × 80m (8.000 m²) yang mewakili zona intertidal muara. Dari area tersebut, dipilih 5 sub-transek sampling berukuran 5m × 5m (25 m² per sub-transek) yang tersebar secara sistematik untuk menangkap variasi spasial distribusi debris. Total area sampling adalah 125 m² atau 1,56% dari total area transek utama. Sampling dilakukan pada kondisi surut terendah untuk memaksimalkan area yang dapat

disurvey dan meminimalkan bias akibat pengaruh pasang surut. Waktu sampling disesuaikan dengan prediksi pasang surut dari BMKG kota Ambon.

Sampel sampah laut yang telah terkumpul dikelompokkan ke dalam kategori berdasarkan jenis material sesuai dengan klasifikasi internasional untuk penelitian sampah laut. Kategori utama meliputi plastik, kaca, logam, karet, kayu, dan material lainnya yang tidak termasuk dalam kelompok utama. Setiap sampel yang diperoleh didokumentasikan secara visual dengan menggunakan kamera digital untuk keperluan verifikasi dan analisis lebih lanjut. Proses identifikasi dan klasifikasi sampel dilakukan di Laboratorium Fakultas Perikanan dan Kehutanan Universitas Maluku dengan kondisi terkontrol untuk memastikan akurasi pengelompokan. Setiap kategori sampah ditimbang menggunakan timbangan digital dengan akurasi 0,1 gram dan dihitung jumlah itemnya berdasarkan kategori pengelompokan yang telah ditetapkan.

Data yang diperoleh dari pengumpulan sampel dianalisis secara deskriptif menggunakan pendekatan kuantitatif sesuai dengan pedoman pemantauan sampah laut yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2020. Analisis data meliputi tiga parameter utama yaitu komposisi sampah, kepadatan sampah, dan berat jenis sampah untuk setiap kategori material.

Perhitungan persentase komposisi sampah dilakukan menggunakan formula:

$$\text{Komposisi (\%)} = \frac{\text{Jumlah Item Sampah per Kategori}}{\text{Total Jumlah Item Sampah}} \times 100\%$$

Parameter kepadatan sampah dihitung berdasarkan jumlah item sampah per satuan luas area sampling dengan formula:

$$\text{Kepadatan (item/m}^2\text{)} = \frac{\text{Total Jumlah Item Sampah}}{\text{Luas Area Sampling}}$$

Berat jenis sampah untuk setiap kategori material dihitung menggunakan formula:

$$\text{Berat Jenis (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{Total Berat Sampah per kategori}}{\text{Luas Area Sampling}}$$

Indeks Kebersihan Pantai dihitung menggunakan formula European Environment Agency (EEA, 2014):

Beach Cleanliness Index (BCI) = Total debris items / Transect area (items/100m)

Klasifikasi tingkat kebersihan:

Tabel 1.Klasifikasi pantai berdasarkan CCI (Alkalay et al. 2007).

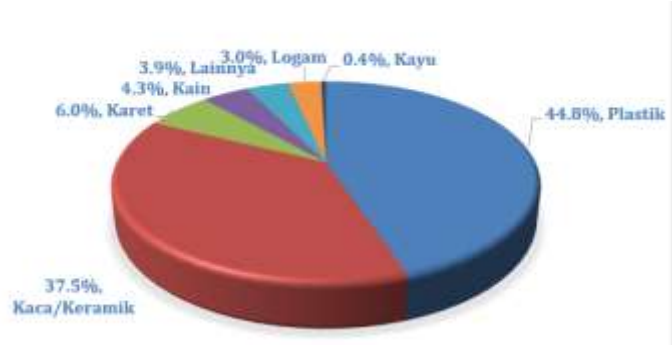
Kepadatan (item/m²)	Hasil CCI	Klasifikasi pantai	Deskripsi pantai
0-0,1 item/m²	0-2	sangat bersih	tidak terlihat sampah
0,1-0,25 item/m²	5-Feb	bersih	tidak terlihat sampah pada area yang luas
0,25-0,5 item/m²	10-May	sedang	beberapa potongan sampah dapat terdeteksi
0,5-1 item/m²	20-Oct	kotor	banyak limbah di pantai
lebih dari 1 item/m²	20+	sangat kotor	sebagian besar pantai tertutup dengan debris plastik

Seluruh perhitungan dilakukan menggunakan software statistik untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil analisis. Data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram untuk memudahkan interpretasi hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi dan Distribusi Sampah Laut

Inventarisasi sampah laut yang dilakukan di muara Kali Wairuhu mengungkapkan heterogenitas yang signifikan dalam komposisi dan distribusi spasial debris antropogenik. Survei komprehensif yang mencakup lima sub-transek berhasil mengidentifikasi 232 item sampah dengan massa total 7.318,62 gram (densitas rata-rata 31,5 g/item), menunjukkan variabilitas distribusi yang sangat tinggi antar lokasi sampling (CV = 60,6%). Nilai koefisien variasi yang melebihi 50% mengindikasikan heterogenitas spasial yang substansial, mengkonfirmasi adanya hotspot akumulasi debris dan zona dengan tingkat kontaminasi yang relatif rendah.



Gambar. 1 Komposisi sampah laut

Analisis kategorisasi berdasarkan protokol NOAA Marine Debris menunjukkan dominasi signifikan material polimer sintetis (plastik) sebesar 44,8% (n=104 item), diikuti oleh material inorganik non-logam berupa fragmen kaca-keramik dengan kontribusi 37,5% (n=87 item). Stratifikasi kategori kaca-keramik menunjukkan dominasi fragmen kaca (60,9%, n=53 item) dibandingkan keramik (39,1%, n=34 item), yang mengindikasikan kontribusi signifikan dari wadah minuman kaca dan peralatan rumah tangga sebagai sumber debris, kedua kategori material utama ini secara kumulatif menyumbang 82,3% dari total debris yang teridentifikasi, mengkonfirmasi karakteristik antropogenik yang kuat pada akumulasi sampah laut di wilayah kajian dengan predominasi material konsumsi domestik.

Stratifikasi lebih lanjut terhadap kategori plastik mengungkapkan bahwa kemasan plastik (plastic packaging) mendominasi dengan 44 item (42,3% dari total plastik), diikuti oleh kantong plastik (plastic bags) sebanyak 35 item (33,7% dari total plastik). Temuan ini mengkoroborasi pola global dominasi single-use plastics (SUPs) dalam kontaminasi lingkungan perairan, khususnya di zona transisi darat-laut seperti muara sungai yang berfungsi sebagai pathway utama transport debris antropogenik dari sumber terestrial menuju ekosistem marine.

Distribusi massa per item menunjukkan inversi hierarki yang signifikan dibandingkan dengan distribusi numerik. Analisis berdasarkan massa mengungkapkan dominasi material kaca-keramik sebesar 29,5% (2.158,28 g), diikuti oleh kain dengan kontribusi 23,0% (1.684,79 g), dan karet 18,5% (1.354,44 g). Material plastik, meskipun mendominasi secara numerik (44,8% dari total item), hanya menyumbang 15,9% (1.163,38 g) dari total massa debris. Disparitas ini mengindikasikan perbedaan densitas material yang substansial, dimana plastik cenderung berupa fragmen kecil dan lightweight debris, sementara kaca-keramik dan material tekstil (kain) memiliki massa per unit yang signifikan lebih besar.

Tabel 2. Komposisi Material Debris Berdasarkan Jumlah Item dan Massa

Material	Jumlah Item	Persentase (%)	Massa (g)	Persentase Massa (%)	Massa Rata-rata per Item (g)	Kategori Dominasi
Plastik	104	44,8	1.163,38	15,9	11,2	Dominan (count)
Kaca-Keramik	87	37,5	2.158,28	29,5	24,8	Dominan (mass)
Kain	10	4,3	1.684,79	23,0	168,5	Sub-dominan
Karet	14	6,0	1.354,44	18,5	96,7	Signifikan
Logam	7	3,0	295,69	4,0	42,2	Minor
Kayu	1	0,4	276,34	3,8	276,3	Minor
Lainnya	9	3,9	385,70	5,3	42,9	Minor
TOTAL	**232**	**100,0**	**7.318,62**	**100,0**	**31,5**	-

Kategori material dengan kontribusi minor secara massa meliputi logam (4,0%, 295,69 g), kayu (3,8%, 276,34 g), dan material lainnya (5,3%, 385,70 g). Rasio massa-to-count yang tinggi pada kategori kain (rata-rata 168,5 g/item) dan kaca-keramik (rata-rata 24,8 g/item) dibandingkan plastik (rata-rata 11,2 g/item) mengkonfirmasi karakteristik fisik yang berbeda dari debris yang terakumulasi. Temuan ini memiliki implikasi penting dalam konteks environmental loading dan potensi dampek ekologis, dimana large-sized debris berkontribusi lebih signifikan terhadap biomassa total kontaminan meskipun jumlahnya relatif lebih sedikit.

Distribusi spasial debris menunjukkan heterogenitas yang ekstrem dengan kepadatan bervariasi dari 0,20 items/m² hingga 3,04 items/m². Sub-transek 1 mengalami akumulasi debris tertinggi dengan kepadatan 3,04 items/m² (32,8% dari total debris), didominasi oleh plastik (1,92 items/m², 63,2% dari sub-transek) dan kain (0,36 items/m²). Sub-transek 4 menunjukkan kepadatan tinggi dengan 2,76 items/m² (29,7%), dimana kaca-keramik mendominasi (1,76 items/m², 63,8% dari sub-transek) diikuti plastik (0,88 items/m²). Sub-transek 3 dan 5 menunjukkan kepadatan moderate dengan 1,68 items/m² dan 1,60 items/m² respectively, sementara sub-transek 2 mengalami kontaminasi minimal dengan hanya 0,20 items/m² (2,2%).

Tabel 3. Analisis Kepadatan Debris per Material dan Sub-transek

Material	Sub-transek 1	Sub-transek 2	Sub-transek 3	Sub-transek 4	Sub-transek 5	Kepadatan Rata-rata (items/m²)
Plastik	1,92	0,16	0,00	0,88	1,20	0,83

Kaca-keramik	0,12	0,00	1,52	1,76	0,08	0,70
Karet	0,32	0,00	0,00	0,00	0,24	0,11
Kain	0,36	0,00	0,00	0,00	0,04	0,08
Logam	0,24	0,00	0,00	0,04	0,00	0,06
Lainnya	0,08	0,04	0,16	0,08	0,04	0,08
TOTAL	**3,04**	**0,20**	**1,68**	**2,76**	**1,60**	**1,86**

Analisis kepadatan per material mengungkapkan pola pengelompokan yang sangat berbeda untuk setiap kategori debris. Material plastik menunjukkan distribusi yang relatif merata dengan kepadatan tertinggi di sub-transek 1 (1,92 items/m²) dan terendah di sub-transek 3 (0,00 items/m²), menghasilkan kepadatan rata-rata 0,83 items/m² di semua transek. Pola distribusi plastik yang Luas ini mengkonfirmasi karakteristik transportabilitas tinggi dari polimer ringan debris yang dapat terdispersi secara efektif oleh arus dan angin. Sebaliknya, material kaca-keramik menunjukkan pola pengelompokan yang sangat terkonsentrasi dengan akumulasi masif di sub-transek 3 (1,52 items/m²) dan sub-transek 4 (1,76 items/m²), sementara pada sub-transek lainnya hampir tidak ditemukan. Kepadatan rata-rata kaca-keramik (0,70 items/m²) yang mendekati nilai plastik meskipun memiliki jumlah total yang lebih rendah mengindikasikan terjadinya akumulasi selektif berdasarkan ukuran, dimana material berat yang tidak dapat mengapung cenderung mengendap pada lokasi-lokasi spesifik dengan kondisi hidrodinamik yang mendukung proses deposisi.

Evaluasi Status Kebersihan Pantai Berdasarkan Indeks Debris

Penerapan Clean Coast Index (CCI) menurut Alkalay et al. (2007) yang difokuskan pada debris plastik memberikan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat kontaminasi di muara Kali Wairuhu. Dengan kepadatan plastik rata-rata sebesar 0,832 item/m², lokasi penelitian ini masuk dalam kategori "kotor" dengan nilai CCI 10-20, yang sesuai dengan klasifikasi internasional yang menyatakan adanya "banyak limbah di pantai". Evaluasi spasial menunjukkan adanya variasi yang signifikan antar sub-transek, di mana sub-transek 1 dan 5 dengan kepadatan plastik masing-masing 1,92 item/m² dan 1,20 item/m² telah melampaui ambang batas kategori "extremely dirty" (CCI >20), yang mengonfirmasi karakteristik "sebagian besar pantai tertutup dengan debris plastik.

Tabel 4. Perhitungan CCI per Sub-transek:

Sub-transek	Plastik (items)	Kepadatan Plastik (items/m²)	Nilai CCI	Klasifikasi
1	48	1,92	>20	Sangat Kotor
2	4	0,16	2-5	Bersih
3	0	0,00	0-2	Sangat Bersih
4	22	0,88	10-20	Kotor
5	30	1,20	>20	Sangat Kotor

Sebaliknya, sub-transek 2 dan 3 menunjukkan status yang sangat berbeda, yakni "bersih" hingga "sangat bersih" (CCI 0-5) dalam hal debris plastik, dengan kepadatan yang sangat rendah (0,16 item/m² dan 0,00 item/m²). Namun, paradoksnya, kedua sub-transek ini didominasi oleh akumulasi besar material

kaca-keramik (0,00 dan 1,52 item/m², berturut-turut). Fenomena segregasi material yang spesifik ini menunjukkan adanya mekanisme sortasi hidrodinamik dalam sistem estuari yang secara geografis relatif seragam, yang mengakibatkan pemisahan selektif antara plastik ringan dan material anorganik berat. **Sub-transek 4** menunjukkan status "kotor" dengan kepadatan plastik 0,88 item/m², namun juga mengalami akumulasi bersama kaca-keramik (1,76 item/m²), yang menandakan zona kontaminasi campuran dengan beban material ganda.

Untuk keseluruhan area studi, kepadatan plastik sebesar 0,832 items/m² yang berada pada rentang 0,5-1 items/m² dengan klasifikasi status 'kotor' mengimplikasikan bahwa sistem estuari Kali Wairuhu telah mengalami deteriorasi kapasitas asimilatif alamiah secara substansial. Kondisi ini menunjukkan bahwa ekosistem telah kehilangan kemampuan self-purification dan berada dalam kondisi jenuh terhadap beban polutan. Oleh karena itu, diperlukan implementasi tindakan intervensi antropogenik yang mendesak dan komprehensif untuk mencegah progresivitas degradasi ekosistem menuju status 'sangat kotor' yang berpotensi menjadi irreversible."

Analisis Distribusi Spasial dan Implikasinya terhadap Sumber Pencemaran

Distribusi sampah menunjukkan pola heterogen yang signifikan antar sub-transek. Sub-transek 1 mencatat akumulasi tertinggi (76 item; 3.655,15 g), sementara sub-transek 2 menunjukkan densitas terendah (5 item; 44,35 g). Pola distribusi ini mengindikasikan adanya point source pollution yang kemungkinan bersumber dari aktivitas pemukiman di hulu sungai dan variasi hidrodinamika lokal.
Konsentrasi tinggi kaca/keramik di sub-transek 3 dan 4 (38 dan 44 item) menunjukkan karakteristik debris yang berbeda, kemungkinan berasal dari limbah konstruksi atau aktivitas domestik spesifik. Hal ini sesuai dengan teori transport sedimen Hjulström-Sundborg, dimana material dengan densitas tinggi cenderung terakumulasi di zona energi rendah seperti muara sungai.

Implikasi Terhadap Kualitas Lingkungan Pesisir

Rasio berat terhadap jumlah item memberikan insight penting tentang karakteristik fragmentasi debris. Plastik menunjukkan rasio rendah (11,19 g/item), mengindikasikan tingkat fragmentasi tinggi yang berpotensi membentuk mikroplastik. Sebaliknya, kaca/keramik dan kain menunjukkan rasio tinggi (24,81 g/item dan 168,48 g/item), menandakan debris dalam kondisi utuh yang berpotensi menyebabkan entanglement pada biota laut.

Berdasarkan Ocean Health Index (OHI) framework, akumulasi debris dengan densitas >200 items/km² dikategorikan sebagai pencemaran berat yang dapat menurunkan nilai indeks kebersihan pantai hingga 40-60%. Kondisi ini mengindikasikan perlunya intervensi manajemen yang komprehensif untuk restorasi kualitas lingkungan pesisir.

KESIMPULAN

Survei marine debris mengungkapkan predominasi material polimer sintetis yang mencapai 44,8% (n=104) dari total sampel, dengan material kaca-keramik menempati posisi kedua sebesar 37,5% (n=87). Agregasi kedua kategori ini berkontribusi 82,3% terhadap total debris, mengindikasikan karakteristik pencemaran yang didominasi limbah konsumen domestik. Analisis sub-kategori plastik memperlihatkan prevalensi kemasan sekali pakai (42,3%) dan kantong plastik (33,7%), yang konsisten dengan tren global akumulasi single-use plastics di zona litoral.

Distribusi spasial debris menunjukkan heterogenitas yang ekstrem dengan kepadatan bervariasi dari 0,20 hingga 3,04 items/m² antar sub-transek, menghasilkan koefisien variasi sebesar 60,6% yang mengindikasikan adanya hotspot akumulasi debris dan zona dengan tingkat kontaminasi yang relatif rendah. Sub-transek 1 mengalami akumulasi debris tertinggi (3,04 items/m²) yang didominasi plastik, sementara sub-transek 2 menunjukkan kontaminasi minimal (0,20 items/m²). Fenomena segregasi material yang spesifik menunjukkan adanya mekanisme sortasi hidrodinamik yang mengakibatkan pemisahan selektif antara plastik ringan dan material anorganik berat.

Evaluasi Clean Coast Index mengklasifikasikan lokasi penelitian dalam kategori "kotor" dengan kepadatan plastik rata-rata 0,832 item/m² (CCI 10-20). Variabilitas spasial CCI yang signifikan menunjukkan sub-transek 1 dan 5 telah melampaui ambang batas kategori "sangat kotor" (CCI >20), sementara sub-transek 2 dan 3 menunjukkan status "bersih" hingga "sangat bersih" (CCI 0-5). Kondisi ini mengkonfirmasi bahwa sistem estuari Kali Wairuhu telah mengalami deteriorasi kapasitas asimilatif alamiah secara substansial dan kehilangan kemampuan self-purification.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat (DRTPM) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan serta LLDIKTI XII atas pendanaan hibah penelitian 2025 Skema Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak:133/C3/DT.05.00.PL/2025. Ini merupakan bagian dari Penelitian tentang Identifikasi dan Karakteristik Sampah Laut di Teluk Ambon Dalam.

DAFTAR PUSTAKA

Alkalay, R., Pasternak, G., & Zask, A. (2007). Clean-coast index—A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management*, 50(5-6), 352-362. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.10.002

Cordova, M. R., Nurhasanah, N., Riani, E., & Nurjhani, M. (2019). Macro marine debris in the northern part of Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 188-196. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.054

Cordova, M. R., Nurhati, I. S., Riani, E., Nurhasanah, & Iswari, M. Y. (2019). Unprecedented plastic-made karst cave entrance in Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 141, 40-43.
https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.025

Cordova, M. R., Purwiyanto, A. I. S., & Suteja, Y. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in the northern coastal waters of Surabaya, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 183-188. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.040

European Environment Agency (EEA). (2014). *Marine litter watch: Implementation guidelines*. EEA Technical Report No. 17/2014. European Environment Agency, Copenhagen.

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste is being inputted from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771. https://doi.org/10.1126/science.1260352

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Pedoman pemantauan sampah laut Indonesia*. Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3, Jakarta.

Lippiatt, S., Opfer, S., & Arthur, C. (2013). *Marine debris monitoring and assessment: Recommendations for monitoring debris trends in the aquatic environment*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD.

OSPAR Commission. (2010). *Guideline for monitoring marine litter on the beaches in the OSPAR maritime area*.
OSPAR Agreement 2010-02. OSPAR Commission, London.

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

Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364(1526), 1999-2012. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207

Syakti, A. D., Bouhroum, R., Hidayati, N. V., Koenawan, C. J., Boulkamh, A., Sulistyo, I., ... & Wong-Wah-Chung, P. (2017). Beach macro-litter monitoring and floating microplastics in a coastal area of Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1-2), 217-225. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.046

Syakti, A. D., Hidayati, N. V., Jaya, J. V., Siregar, S. H., Yude, R., Suhendy, Ahmadian, Wong-Wah-Chung, P., & Doumenq, P. (2018). Simultaneous grading of microplastic size sampling in the Small Islands of Bintan water, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 593-600. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.005

UNEP. (2009). *Marine litter: a global challenge*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

UNEP. (2016). *Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. United Nations Environment Programme, Nairobi.

Van Sebille, E., Wilcox, C., Lebreton, L., Maximenko, N., Hardesty, B. D., Van Franeker, J. A., Eriksen, M., Siegel, D., Galgani, F., & Law, K. L. (2015). A global inventory of small floating plastic debris. *Environmental Research Letters*, 10(12), 124006. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/124006

Widianarko, B., & Hantoro, I. (2018). Microplastics in the environment: occurrence, distribution, and toxicity concerns. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(2), 138-150. https://doi.org/10.14710/jil.16.2.138-150