



Penilaian pertama sampah laut antropogenik di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe

First assessment of anthropogenic marine debris in the Cut Mamplam Mangrove Ecosystem, Lhokseumawe City

Received: 30 October 2025, Revised: 11 December 2025, Accepted: 12 December 2025
DOI: 10.29103/aa.v12i3.25107

Hayatun Nufus^a, Rika Astuti^b, Roni Arif Munandar^b, Fitra Wira Hadinata^c, Syahrial^{*d}, Ekamaida^e, Muhammad Fauzan Isma^f, Haqqy Rerian Erlangga^g, dan Nella Tri Agustini^h

^a Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Teuku Umar, Aceh, Indonesia.

^b Program Studi Sumber Daya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Teuku Umar, Aceh, Indonesia.

^c Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat, Indonesia.

^d Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia.

^e Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia.

^f Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Aceh, Indonesia.

^g Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Peternakan dan Perikanan, Universitas Samawa, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.

^h Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia.

Abstrak

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan SLA, menganalisa struktur mangrove dan mengetahui hubungan antara kelimpahan SLA dengan kerapatan mangrove. SLA dan tegakan mangrove dikumpulkan dengan menarik transek garis sepanjang 40 m sejajar garis pantai dan dibuat petak-petak contoh berukuran 10 x 10 m sebanyak empat plot. Statistik one way ANOVA digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata kelimpahan SLA, sedangkan uji Shapiro-Wilk dan korelasi Spearman dilakukan untuk menganalisa hubungan antara kelimpahan SLA dan struktur mangrove. Total 11923 item SLA ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam dengan kelimpahannya berkisar antara 47075 – 76900 item/ha. Selanjutnya tegakan mangrovenya ditemukan sebanyak 4 spesies dengan spesies *Avicennia alba* sebagai pemilik kerapatan pohon, anakan dan semai tertinggi (3275 ± 5158 ind/ha, 2800 ± 1932.18 ind/ha dan 132500 ± 75883.68 ind/ha). Hubungan SLA dengan kerapatan mangrove menunjukkan hubungan yang tidak terlalu kuat dan ditemukan tidak signifikan antara pohon dewasa, anakan maupun semainya ($p > 0.05$) terhadap jumlah SLA yang tertahan di ekosistem mangrove Cut Mamplam. Kajian ini merupakan langkah awal dalam menilai dampak SLA terhadap vegetasi mangrove dan pemantauan yang berkelanjutan, sehingga terinisiasinya kesadaran publik dan strategi masa depan untuk pemantauan serta pengelolaan pesisir dan laut yang lebih baik.

Kata kunci: Cut Mamplam; Kelimpahan; Kerapatan; Pencemaran; Plastik

Abstract

This study aimed to determine the presence of AMD, analyze mangrove structure, and determine the relationship between AMD and mangrove density. AMD and mangrove stands were collected using a 40 meter transect line parallel to the shoreline, and four 10 x 10 m plots were created. One-way ANOVA statistics were used to test the mean differences in SLA telling, while the Shapiro-Wilk test and Spearman correlation were performed to analyze the relationship between SLA telling and mangrove structure. A total of 11923 AMD items were found in the Cut Mamplam mangrove ecosystem, with a density ranging from 47075 to 76900 items/ha. Furthermore, four species of mangrove trees were found in the mangrove stands, with *Avicennia alba* having the highest tree, sapling, and seedling densities (3275 ± 5158 ind/ha, 2800 ± 1932.18 ind/ha, and 132500 ± 75883.68 ind/ha). The relationship between AMD and mangrove density was not very strong, with no significant associations between adults, saplings, or seedlings ($p > 0.05$) on the amount of AMD retained in the Cut Mamplam mangrove ecosystem. This study is an initial step in assessing the impact of AMD on mangrove vegetation and sustainable monitoring, leading to the initiation of public awareness and future strategies for improved coastal and marine monitoring and management.

Keywords: Cut Mamplam; Density; Plastic; Pollution; Reporting

*Korespondensi: Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Malikussaleh.
Tel: +62-85189450036
E-mail address: syahrial.marine@unimal.ac.id

1. Introduction

Sampah Laut Antropogenik (SLA) merupakan segala jenis sampah padat buatan manusia yang berakhir di laut (Murshed et al., 2022; Salazar et al., 2022; Robin et al., 2023; Hassan et al., 2024; Rao, 2025) dengan plastik adalah jenis yang paling banyak ditemukan (Seeruttan et al., 2021; Luo et al., 2021; Salazar et al., 2022; Fong et al., 2023; Mugilarasan et al., 2023), kemudian juga ditemukan puntung rokok, karet, kaca, logam (kaleng), kayu, kain, alat elektronik hingga peralatan penangkapan ikan yang hilang atau dibuang begitu saja (Seeruttan et al., 2021; Luo et al., 2021; Poluan et al., 2023; Syananta et al., 2025; Abejo et al., 2025). UNEP (2005) mendefinisikan SLA sebagai bahan padat persisten yang diproduksi atau diproses secara langsung maupun tidak langsung, sengaja atau tidak sengaja dan dibuang atau ditinggalkan di lingkungan laut. SLA terbawa dan masuk ke lingkungan laut melalui pembuangan sampah yang tidak tepat atau pengelolaan yang buruk (Dabrowska et al., 2021; Garcés-Ordóñez et al., 2021; Mugilarasan et al., 2021; Dey et al., 2024; Hahladakis, 2024), kemudian juga dibawa oleh aliran air hujan (Pasternak et al., 2021; Bettim et al., 2021; Villafane et al., 2023; Winston et al., 2023; Isnain dan Mutaqin, 2023), kapal (Dabrowska et al., 2021; Sinaei et al., 2021; Novikov et al., 2021; Diem et al., 2023; Sandaruwan et al., 2023) serta aktivitas-aktivitas minyak lepas pantai (Novikov et al., 2021; Bergmann et al., 2022; Mankaa dan Traverso, 2023; Shin et al., 2024; Li et al., 2024).

Perhitungan mengenai kuantitas SLA global masih sulit dipahami hingga sekarang ini. Pada tahun 1997 misalnya, masukan SLA global ke lingkungan laut diperkirakan mencapai 6.4 juta ton per tahun (UNEP, 2005). Akan tetapi McKinsey & Company – Ocean Conservancy (2015) menyatakan bahwa jumlah total SLA yang dilepaskan ke lingkungan laut sejak tahun 1950 hingga 2015 diperkirakan mencapai 150 juta ton. Berbedanya pendapat mengenai besaran SLA yang telah masuk ke lingkungan laut menyebabkan sebagian orang kebingungan. Walaupun begitu, satu hal yang pastinya adalah kejadian pencemaran SLA telah terjadi di mana-mana (Islam et al., 2022). Harper dan Fowler (1987) menyatakan bahwa SLA pertama kali dilaporkan pada tahun 1960 karena ditemukan burung laut mengkonsumsi plastik. Namun sekarang ini SLA telah menjadi masalah global yang semakin berkembang beriringan dengan isu-isu kontemporer lainnya seperti keanekaragaman hayati yang hilang (Habibullah et al., 2022), perubahan iklim (Dobson et al., 2021) dan peristiwa pengasaman laut (Leung et al., 2022). Menurut Ferrigno et al. (2021) dan Savoca et al. (2021) SLA sangat berdampak negatif pada kehidupan laut, kemudian secara tidak langsung mempengaruhi kesehatan manusia (Geremia et al., 2023; Thiagarajan dan Devarajan, 2025) serta juga mempengaruhi perekonomian dari suatu wilayah ataupun dari suatu negara (biasanya melalui sektor perikanan dan pariwisata) (Aretoulak et al., 2021; McIlgorm et al., 2022).

Di sisi lain, mangrove yang terdiri dari 70 spesies (Tripathi et al., 2016) hingga 73 spesies (Sandilyan dan Kathiresan, 2012), mencakup 60 – 75% dari garis pantai tropis dan subtropis (Holguin et al., 2001) atau sekitar 2% dari luasan permukaan bumi (Setyawan dan Winarno, 2006) dengan persentase sebaran luas terbesar berada di 5° LU – 5° LS (Giri et al., 2011) telah diakui memberikan kontribusi besar terhadap nilai-nilai penting dan jasa ekosistem di wilayah pesisir maupun lautan (Efriyeldi et al., 2023; Syahrial et al., 2023; Putri et al., 2024) seperti beragam makanan, sumberdaya material dan habitat untuk ikan, udang hingga kepiting (Erlangga et al., 2022; Nufus et al., 2023). Selain itu,

ekosistem mangrove juga memberikan pertahanan adaptif dalam mengurangi gelombang laut, badai dan sebagai garis pertahanan pertama melawan banjir maupun erosi (Menendez et al., 2020); mengimbangi kenaikan permukaan air laut (Krauss et al., 2014); menahan lumpur dan perangkap sedimen yang diangkut oleh aliran air permukaan (Martin et al., 2019); pencegah intrusi air laut ke daratan (Zainuri et al., 2017); penyerap karbon dan melindungi lingkungan dari efek bahaya radiasi UV-B (Alongi, 2014) serta menjadi penetralisir pencemaran perairan pada batas tertentu (Lam et al., 2023).

Martin et al. (2019) menyatakan bahwa mangrove bertindak sebagai penyerap sekaligus penghalang SLA sebelum menyebar ke lingkungan laut, dimana akar mangrove dapat menjebak benda-benda plastik yang mengambang, baik yang dibuang langsung, ditinggalkan ataupun diangkut oleh air maupun angin; sehingga secara tidak langsung perakaran mangrove telah membentuk penyaringan yang efektif. Namun dengan banyaknya plastik yang tersaring oleh perakaran mangrove akan menyumbat saluran-saluran pasang surut dan berdampak terhadap habitat laut dekat pantai maupun biota-biota yang ada di dalamnya (Cheshire et al., 2009). Menurut Faizal et al. (2022) pasang surut dan angin merupakan kekuatan pendorong utama yang mengendalikan pola pergerakan SLA. Di saat pasang, arus mendorong sampah ke arah daratan atau pesisir, kemudian di saat surut, sampah terbawa kembali ke arah laut lepas, sehingga fenomena ini membuat pergerakan SLA menjadi kompleks (Noya dan Tuahatu, 2021). Dengan terendahnya ekosistem mangrove di saat pasang berlangsung, ini memungkinkan penetrasi puing-puing SLA secara terus menerus terlepas, terdampar dan tertahankan dengan jangka waktu yang lama, hal ini dapat merugikan vegetasi mangrove itu sendiri maupun bagi biota-biota asosiasi karena degradasi SLA berlangsung lambat dan masukannya juga terjadi secara terus menerus yang menyebabkan akumulasi bertahap (Duke et al., 2014). Appadoo et al. (2020) menyatakan bahwa SLA dapat mengakibatkan kerusakan, pencekikan, penggeseran, penekanan habitat dan kematian langsung spesies-spesies hewan maupun tumbuhan, mempengaruhi komposisi fisika kimia sedimen mangrove, mengurangi produksi primer mangrove, menurunkan kualitas air di lingkungan sekitar serta menimbulkan biaya langsung/tidak langsung terhadap ekonomi lokal akibat penghindaran wisatawan yang datang.

Meskipun nilai ekonomi ekosistem mangrove mencapai 14000 – 16000 USD/ha/tahun (Barbier et al., 2011), kemudian dampak SLA yang semakin meluas seiring berjalannya waktu dan kajian terkait keberadaan SLA di ekosistem mangrove hingga saat ini masih sedikit yang dilakukan oleh para ahli (karena kajian tidak dilakukan secara menyeluruh atau merata). Hal ini sangat memerlukan perhatian serius untuk pengendalian sumber pencemaran SLA di ekosistem mangrove agar tidak terjadi peningkatan yang signifikan dikemudian hari termasuk di Indonesia dan terkhusus di wilayah Cut Mamplam Kota Lhokseumawe Provinsi Aceh. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan SLA, menganalisa struktur mangrove dan mengetahui hubungan antara kelimpahan SLA dengan struktur mangrove di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe, karena kajian ini merupakan studi pertama yang menggunakan metodologi standar terhadap status keberadaan SLA di wilayah Cut Mamplam. Walaupun Putri et al. (2024) telah pernah melakukan kajian terhadap struktur mangrove Cut Mamplam, namun masih belum menghubungkannya dengan keberadaan SLA.

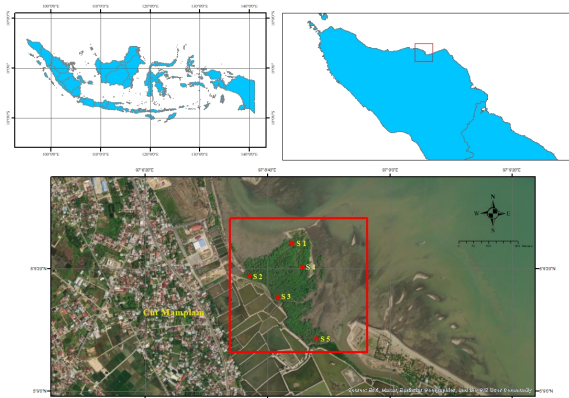


Gambar 1. Foto-foto SLA yang ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe; A = Busa; B = Kaca; C = Kain; D = Karet; E = Kayu; F = Kertas; G = Logam; H = Plastik.

2. Materials and Methods

2.1. Waktu dan tempat

Kajian dilakukan pada bulan Mei 2023 di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe dengan lokasinya ditetapkan lima (5) stasiun pengamatan (Gambar 1); dimana masing-masing stasiun pengamatan memiliki karakteristik yang berbeda-beda yaitu pada Stasiun 1 berada pada koordinat 5°9'24.009" LU dan 97°8'45.074" BT (berhadapan langsung dengan perairan laut), Stasiun 2 berada pada 5°9'19.305" LU dan 97°8'38.742" BT (berdekatan *break water*), Stasiun 3 berada pada 5°9'14.191" LU dan 97°8'42.729" BT (berdekatan dengan pertambakan), Stasiun 4 berada pada 5°9'17.340" LU dan 97°8'46.140" BT (aktivitas masyarakat mencari kepiting bakau) serta Stasiun 5 berada pada 5°9'08.499" LU dan 97°08'47.709" BT (aktivitas masyarakat mencari kerang).



Gambar 2. Peta lokasi kajian SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe.

2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari adalah rol meter, pisau cutter, timbangan, trash bag, *Global Positioning System* (GPS), data sheet, alat tulis dan kamera. Sementara bahan yang digunakan adalah air bersih untuk membersihkan SLA dari kotoran, pertumbuhan alga ataupun organisme-organisme biologis lainnya yang menempel.

2.3. Pengumpulan SLA

SLA yang terakumulasi di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe dikumpulkan dengan menarik transek garis sepanjang 40 m sejajar garis pantai dan dibuat petak-petak contoh (plot) berukuran 10 x 10 m sebanyak empat (4) plot. Setelah terkumpul, SLA dibersihkan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran, alga ataupun organisme-organisme biologis lainnya yang menempel; kemudian SLA dibiarkan mengering di bawah sinar matahari minimal selama lima hari, selanjutnya SLA diklasifikasikan ke dalam berbagai kelas (Gambar 2); setelah pengklasifikasian SLA selesai dilakukan, SLA dibuang ke tempat sampah (Seeruttun et al., 2021). Untuk mengetahui kelimpahan SLA yang ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam dihitung menurut persamaan KLHK (2020) dengan persamaan:

$$\text{Kelimpahan Jenis (item/m}^2\text{)} = \frac{\sum \text{SLA Ditemukan (Item)}}{\text{Luas Transek (m}^2\text{)}}$$

2.4. Pengumpulan struktur mangrove

Data struktur mangrove untuk kategori pohon dikumpulkan di setiap plot berukuran 10 x 10 m yang telah dibuat untuk pengamatan SLA, kemudian setiap plot berukuran 10 x 10 m tersebut dibuat sub plot berukuran 5 x 5

m untuk pengumpulan data mangrove kategori anakan; selanjutnya di setiap sub plot berukuran 5 x 5 m dibuat lagi sub-sub plot berukuran 1 x 1 m untuk pengumpulan data mangrove kategori semai (Syahrial et al., 2017) (Gambar 3). Mangrove yang ada di setiap transek pengamatan dideterminasi, dihitung jumlah individunya dan diukur lingkar batangnya berdasarkan English et al. (1997). Selain itu untuk mengetahui kerapatan jenis mangrove di ekosistem mangrove Cut Mamplam juga dihitung berdasarkan English et al. (1997) dengan persamaannya adalah:

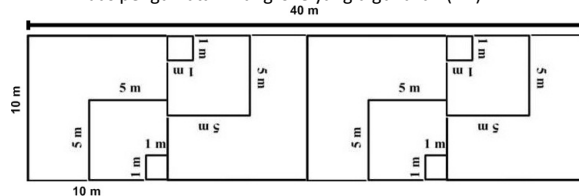
$$Di = Ni/A$$

Keterangan:

Di = Kerapatan mangrove suatu jenis (ind/ha)

Ni = Jumlah individu setiap spesies yang ditemukan (ind)

A = Luas pengamatan mangrove yang digunakan (m²)



Gambar 3. Desain pengumpulan data struktur mangrove di Cut Mamplam Kota Lhokseumawe.

2.5. Analisis Statistik

Statistik one way ANOVA dilakukan untuk menguji perbedaan rata-rata kelimpahan SLA di lima stasiun pengamatan, namun terlebih dahulu dilakukan asumsi normalitas data ($p > 0.05$). Ketika normalitas data tidak terpenuhi, maka dilakukan uji non-parametrik Mann – Whitney. Sementara uji Shapiro Wilk dan korelasi Spearman dilakukan untuk menganalisa hubungan antara kelimpahan SLA dan struktur mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe, dimana keseluruhan statistik yang digunakan dianalisis menggunakan program SPSS v26.

3. Results and Discussion

3.1. Results

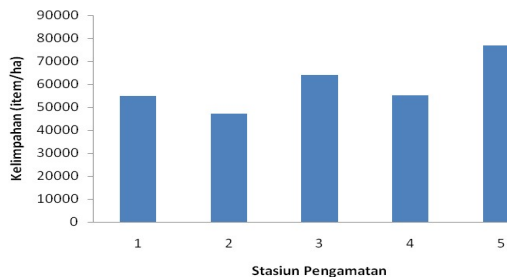
3.1.1. Kelimpahan SLA

Sebanyak 11923 item SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam telah tercatat dari lima stasiun pengamatan, dimana jenis-jenisnya terdiri dari busa, kaca, logam, kayu, plastik, kertas, karet dan kain (Gambar 4). Selain itu, kelimpahan SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam berkisar antara 47075 – 76900 item/ha (rata-rata 59615 ± 11373.25 item/ha) (Gambar 4). Hasil analisis uji Mann – Whitney menunjukkan adanya perbedaan kelimpahan SLA yang nyata atau signifikan ($p < 0.05$) antar stasiun pengamatan di ekosistem mangrove Cut Mamplam.

Tabel 1

Komposisi spesies dan kerapatan mangrove sejati di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe

Spesies	Kerapatan (ind/ha)				
	St 1	St 2	St 3	St 4	St 5
<i>Avicennia alba</i>					
Semai	112500±63966.14	115000±26457.51	132500±75883.68	60000±42526.41	35000±5773.50
Anakan	300±600	2800±1932.18	-	-	700±824.62
Pohon	3275±5158	675±222	500±216	125±95.74	1125±377.49
<i>Avicennia lanata</i>					
Semai	-	-	-	-	-
Anakan	-	-	-	-	-
Pohon	-	225±330	-	-	200±244.95
<i>Sonneratia caseolaris</i>					
Semai	-	-	-	-	-
Anakan	-	-	-	-	-
Pohon	-	-	-	75±95.74	-
<i>Rhizophora mucronata</i>					
Semai	-	-	-	-	-
Anakan	-	-	-	-	-
Pohon	-	125±150	-	125±189.3	50±57.74



Gambar 4. Kelimpahan SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam.

3.1.2. Komposisi dan kerapatan mangrove

Secara keseluruhan, empat spesies mangrove sejati yang merupakan anggota dari Acanthaceae (*Avicennia alba* dan *A. lanata*), Rhizophoraceae (*Rhizophora mucronata*) dan Lythraceae (*Sonneratia caseolaris*) ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe (Tabel 1). Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa kerapatan tertinggi ditemukan pada spesies *A. alba* baik itu kategori pohon, anakan maupun semai (masing-masing 3275 ± 5158 ind/ha, 300 ± 600 ind/ha dan 112500 ± 63966.14 ind/ha). Sementara untuk *A. lanata*, kerapatan pohon tertingginya ditemukan pada Stasiun 2 (225 ± 330 ind/ha); *S. caseolaris* pada Stasiun 4 (75 ± 95.74 ind/ha); sedangkan *R. mucronata* pada Stasiun 2 dan 4 (masing-masing 125 ± 150 ind/ha dan 125 ± 189.3 ind/ha). Selanjutnya untuk kategori anakan, spesies *A. lanata*, *S. caseolaris* maupun *R. mucronata* tidak ditemukan di dalam transek kuadrat yang dilakukan. Begitu juga untuk kategori semai dari spesies *A. lanata*, *S. caseolaris* dan *R. mucronata*.

3.1.3. Hubungan SLA dan kerapatan mangrove

Hubungan SLA dengan kerapatan mangrove menggunakan korelasi Spearman menunjukkan bahwa tidak ada hubungan antara pohon dewasa ($p > 0.05$), anakan ($p > 0.05$) maupun semai ($p > 0.05$) terhadap jumlah SLA yang tertahan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe (Tabel 2). Tabel 2 juga menunjukkan bahwa hubungan SLA terhadap kerapatan anakan dan semai mangrove Cut Mamplam memiliki hubungan yang negatif (masing-masing $r = -0.359$ dan $r = -0.400$), sedangkan hubungan SLA terhadap kerapatan pohon mangrove Cut Mamplam memiliki hubungan yang positif ($r = 0.100$), dimana kekuatan hubungan SLA dengan kerapatan mangrove secara keseluruhannya tergolong tidak kuat.

Tabel 2

Hubungan antara kelimpahan SLA dan kerapatan mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe.

Variable (n = 5)			
Dependent	Independent	r_s^a	p
Kerapatan Pohon Mangrove (ind/ha)	Kelimpahan SLA (item/ha)	0.100	0.873
Kerapatan Anakan Mangrove (ind/ha)	Kelimpahan SLA (item/ha)	-0.359	0.553
Kerapatan Semai Mangrove (ind/ha)	Kelimpahan SLA (item/ha)	-0.400	0.505

^aKoefisien korelasi Spearman

3.2. Discussion

3.2.1. Kelimpahan SLA

Jumlah SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam lebih tinggi (rata-rata 2384.6 item) bila dibandingkan dengan SLA di ekosistem mangrove Tongkaina – Sulawesi Utara (rata-rata 138 item) (Djohar et al., 2020), Mauritius (rata-rata 1612.5 item) (Seeruttun et al., 2021), Pulau Bunaken bagian timur (rata-rata 15 item) (Sundah et al., 2021), Batukaras Kabupaten

Pangandaran (203 item) (Yuniarti et al., 2023) maupun Wonorejo – Surabaya (rata-rata 1417 item) (Isdianto et al., 2024). Begitu juga halnya dengan kelimpahan, dimana SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam memiliki kelimpahan yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang ada di ekosistem mangrove Beilun (rata-rata 1630 item/ha) (Li et al., 2021) maupun Mauritius (rata-rata 3500 item/ha) (Seeruttun et al., 2021). Hal ini diduga karena SLA yang ada di ekosistem mangrove Cut Mamplam terjadi karena pelepasan, terdampar dan tertahankan dengan jangka waktu lama serta didukung oleh kondisi lingkungannya yang terbuka (perairan yang tidak tertutup oleh pulau-pulau kecil di depannya), sehingga sangat memungkinkan puing-puing SLA dari Kota Lhokseumawe maupun wilayah-wilayah sekitarnya (dengan permukiman penduduk yang padat) terbawa oleh arus ataupun angin dan terakumulasi di ekosistem mangrove Cut Mamplam.

Silva-Cavalcanti et al. (2009) menyatakan bahwa jumlah penduduk yang banyak di suatu daerah sering kali menyebabkan banyak pedagang yang menyediakan barang konsumsi dan berdampak terhadap semakin tingginya ketersediaan barang-barang konsumsi; barang-barang konsumsi yang semakin tinggi tersebut akan berdampak pula terhadap semakin besarnya pembuangan sampah. Menurut Seeruttun et al. (2021) tingginya SLA di ekosistem mangrove yang dapat dikaitkan dengan tingginya konsumsi makanan dan minuman dapat terlihat dari jenis sampah yang terlepas, terdampar ataupun tertahan pada akar-akar mangrove seperti botol PET, perlengkapan pembersih, jaring ikan, tali yang tersangkut di akar mangrove, kantong plastik hingga barang-barang plastik yang berkaitan langsung dengan makanan maupun minuman; kemudian kegiatan rekreasi laut dan transportasi jalur laut juga dapat menunjukkan muatan tinggi terhadap barang-barang plastik yang dikaitkan dengan tingginya konsumsi makanan dan minuman (Seeruttun et al., 2021). Selain itu, Cordeiro dan Costa (2010) menggunakan ukuran plot pengamatan SLA di ekosistem mangrove San Vicente – Brasil yang sama dengan kajian ini (berukuran 10 m x 10 m) dan menemukan bahwa rata-rata kelimpahan SLA San Vicente – Brasil lebih tinggi (13300 item/ha) bila dibandingkan dengan kajian ini (59615 item/ha).

3.2.2. Komposisi dan kerapatan mangrove

Jumlah spesies mangrove yang ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe lebih tinggi daripada yang ditemukan oleh Seeruttun et al. (2021) (2 spesies; *Rhizophora mucronata* dan *Bruguiera gymnorrhiza*). Namun lebih rendah daripada yang ditemukan oleh Syahrial et al. (2018) (4 spesies; *Lumnitzera littorea*, *Bruguiera cylindrica*, *Xylocarpus moluccensis* dan *R. stylosa*) dan Syahrial et al. (2020) (6 spesies; *R. apiculata*, *R. stylosa*, *B. Gymnorrhiza*, *S. caseolaris*, *R. mucronata* dan *L. racemosa*).

A. alba merupakan anggota tanaman berbunga mangrove sejati dari genus *Avicennia* (Aljahdali et al., 2021), pertumbuhannya sangat cepat dan memiliki kemampuan luar biasa dalam beradaptasi di lingkungan pesisir yang menantang dan ekstrim (Hsiung et al., 2024). Selain itu, *A. alba* juga memiliki kemampuan yang luar biasa dalam menyerap karbon dan melampaui sebagian besar hutan terestrial (Mathur et al., 2023). *A. alba* umumnya tumbuh di dekat sungai ataupun di gundukan-gundukan lumpur laut yang baru terbentuk (Mitra et al., 2022). Biasanya *A. alba* memiliki bunga berukuran kecil dan berwarna keemasan yang tersebar di suatu area dengan ujung buahnya yang panjang, meruncing serta berbentuk tetesan air mata (Torrero, 2019).

3.2.3. Hubungan SLA dan kerapatan mangrove

Tidak adanya hubungan antara pohon dewasa, anakan maupun semai terhadap jumlah SLA yang tertahan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe diduga karena disebabkan beragamnya faktor lain yang lebih dominan dalam menentukan akumulasi sampah, selain dari sekadar kerapatan mangrove itu sendiri. Menurut Cappa et al. (2023) kerapatan mangrove hanyalah salah satu dari banyak variabel yang kompleks dan tidak secara tunggal menentukan jumlah sampah yang tertahan di ekosistem mangrove, dimana interaksi antara faktor alam (hidrodinamika, geomorfologi) dan faktor manusia (sumber sampah, pengelolaan) lebih dominan dalam dinamika akumulasi sampah di ekosistem mangrove.

Dalam kajian ini, SLA ditemukan di seluruh transek kuadrat yang dilakukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe. Hal yang sama juga dijumpai oleh Seeruttun et al. (2021) bahwa SLA juga ditemukan di seluruh transek kuadrat yang dilakukannya di hutan mangrove Mauritius. Namun untuk membandingkan antara kelimpahan SLA di berbagai kawasan ekosistem mangrove di tingkat lokal, regional maupun global sebenarnya sangat menantang untuk dilakukan, ini semua disebabkan karena kondisi kerapatan mangrove, hidrodinamika dan geologi laut yang dimiliki masing-masing kawasan ekosistem mangrove berbeda-beda serta metode maupun unit pengambilan sampel SLA di ekosistem mangrovenya juga berbeda-beda (Topcu et al., 2013). Melimpahnya SLA di suatu ekosistem mangrove dapat dikaitkan dengan kemiringan lahan mangrove (Seeruttun et al., 2021).

Untuk kajian ini, kehadiran tegakan *A. alba* yang dominan dapat menambah keberadaan SLA yang semakin melimpah. Hal ini karena akar nafas yang dimiliki oleh *A. alba* sangat mampu menahan atau menjebak SLA yang terapung. Selain itu, tingginya kerapatan semai mangrove yang ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam juga dapat mempengaruhi retensi dari SLA yang terapung. Cesarini et al. (2023) menyatakan bahwa pola distribusi SLA sangat dipengaruhi oleh kepadatan penduduk setempat dan jarak dengan pusat kota, aktivitas penangkapan ikan (Pinheiro et al., 2021) hingga urbanisasi pesisir (Seeruttun et al., 2021). Selain itu, SLA yang mengapung di laut juga dapat berada dimanamana dan dapat terakumulasi bahkan di wilayah paling terpencil sekalipun (Gacu, 2022) dengan kecepatan angin maupun arus sebagai faktor utama dalam pendistribusiannya (Rynek et al., 2024). Namun bila SLA sudah berada di suatu kawasan ekosistem mangrove, maka faktor kecepatan angin dan arus laut memiliki peranan yang sangat kecil (Cordeiro dan Costa, 2010). Aliran sungai, curah hujan yang tinggi dan limpasan sungai yang tinggi juga merupakan faktor utama dalam pendistribusian SLA hingga sampai di lingkungan laut (Rech et al., 2014), sehingga memperkuat dugaan dalam kajian ini bahwa aliran-aliran sungai yang ditemukan di sekitar lokasi kajian merupakan sumber utama pembawa SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam.

4. Conclusion

Kajian ini menemukan bahwa kelimpahan SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam berkisar antara 47.075 – 76.900 item/ha dengan rata-rata $59.615 \pm 11.373.25$ item/ha, kemudian empat spesies mangrove sejati ditemukan di ekosistem mangrove Cut Mamplam Kota Lhokseumawe (*A. alba*, *A. lanata*, *R. mucronata* dan *S. caseolaris*) dengan kerapatan tertinggi ditemukan pada spesies *A. alba*, baik itu kategori pohon, anakan maupun semai (masing-masing 3275 ± 5158 ind/ha, 300 ± 600 ind/ha dan 112500 ± 63966.14 ind/ha). Selanjutnya hubungan SLA dengan kerapatan mangrove Cut Mamplam tergolong tidak kuat.

Kajian ini menginformasikan bahwa SLA selalu ditemukan di setiap transek kuadrat yang dilakukan, dimana sampah plastik merupakan penyumbang terbesarnya dan hasil ini sesuai dengan beberapa kajian yang telah dilakukan oleh para ahli yang lain. Kajian ini mengisyaratkan hendaknya dilakukan pemantauan secara berkelanjutan dengan waktu yang lebih lama ataupun pemantauan secara temporal, spasial ataupun musiman agar tergambar strategi pengelolaan SLA yang berkelanjutan di masa akan datang. Selain itu, tindakan mitigasi yang efektif hendaknya juga digalakkan untuk mengatasi terjadinya pencemaran SLA di ekosistem mangrove Cut Mamplam.

Acknowledgement

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Geuchik Gampong Cut Mamplam atas izin yang diberikan, sehingga terlaksananya kajian ini dengan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para peninjau anonim atas saran dan tanggapannya yang sangat-sangat bermanfaat.

Bibliography

- Abejo, M., Nudalo, A., Garciano, M.J., Bayon, I.P., Bayon, C.G., Guinocor, M., Linao, J., Guevara, A.M., Caya, C., and Cortes, S.T. 2025. Mangrove composition and anthropogenic marine debris survey in Camotes Group of Islands, Philippines. *Environmental Challenges*, 20: 101270.
- Aljahdali, M.O., Molla, M.H.R., and Ahammad, F. 2021. Compounds identified from marine mangrove plant (*Avicennia alba*) as potential antiviral drug candidates against WDSV, an in-silico approach. *Marine Drugs*. 19(5): 253.
- Alongi, D.M., 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, 6: 195-219.
- Appadoo, C., Seeruttun, L., and Mattan-Moorgawa, S. 2020. Macro-litter monitoring in mangroves. In: Barnardo, T., Ribbink, A.J. (Eds.), African Marine Litter Monitoring Manual. African Marine Waste Network, Sustainable Seas Trust, Port Elizabeth, South Africa, pp. 42-56.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., and Silliman, B.R. 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2): 169-193.
- Bergmann, M., Collard, F., Fabres, J., Gabrielsen, G.W., Provencher, J.F., Rochman, C.M., van Sebille, E., and Tekman, M.B. 2022. Plastic pollution in the Arctic. *Nature Reviews Earth and Environment*, 3: 323-337.
- Bettim, M., Krelling, A.P., Di Domenico, M., Cornwell, T.O., and Turra, A. 2021. Daily environmental variation influences temporal patterns of marine debris deposition along an estuarine outlet in southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 172: 112859.
- Cappa, P., Walton, M.E.M., Paler, M.K.O., Taboada, E.B., Hiddink, J.G., and Skov, M.W. 2023. Impact of mangrove forest structure and landscape on macroplastics capture. *Marine Pollution Bulletin*, 194: 115434.

- Cesarini, G., Crosti, R., Secco, S., Gallitelli, L., and Scalici, M. 2023. From city to sea: Spatiotemporal dynamics of floating macrolitter in the Tiber River. *Science of The Total Environment*, 857: 159713.
- Cheshire, A., Adler, E., Barbieri, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R.T., Kinsey, S., Kusui, E.T., and Lavine, I. 2009. UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter Regional Seas Reports and Studies No. 186 IOC Technical Series No. 83. UNEP, Nairobi.
- Cordeiro, C.A.M.M., and Costa, T.M. 2010. Evaluation of solid residues removed from a mangrove swamp in the Sao Vicente Estuary, SP, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 1762-1767.
- Dabrowska, J., Sobota, M., Swiader, M., Borowski, P., Moryl, A., Stodolak, R., Kucharczak, E., Zieba, Z., and Kazak, J.K. 2021. Marine waste — Sources, fate, risks, challenges and research needs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2): 433.
- Dey, S., Veerendra, G.T.N., Babu, P.S.S.A., Manoj, A.V.P., and Nagarjuna, K. 2024. Degradation of plastics waste and its effects on biological ecosystems: A scientific analysis and comprehensive review. *Biomedical Materials and Devices*, 2: 70-112.
- Diem, A., Tesfaldet, Y.T., Hocherman, T., Hoon, V., and Zijlemans, K. 2023. Marine litter in the Red Sea: Status and policy implications. *Marine Pollution Bulletin*, 187: 114495.
- Djohar, M.A., Boneka, F.B., Schadu, J.N.W., Mandagi, S.V., Roeroe, K.A., and Sumilat, D.A. 2020. Analisis sampah laut dan kelimpahan gastropoda di ekosistem mangrove Tongkaina, Sulawesi Utara. *Ilmiah Platax*, 8(1): 15-23.
- Dobson, A., Rowe, Z., Berger, J., Wholey, P., and Caro, T., 2021. Biodiversity loss due to more than climate change. *Science*, 374: 699-700.
- Duke, N., Nagelkerken, I., Agardy, T., Wells, S., and Van Lavieren, H. 2014. The importance of mangroves to people: A call to action. *United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP-WCMC)*.
- Efriyeldi, E., Syahrial, S., Effendi, I., Almanar, I.P., and Syakti, A.D. 2023. The mangrove ecosystem in a harbor-impacted city in Dumai, Indonesia: A conservation status. *Regional Studies in Marine Science*, 65: 103092.
- English, S., Wilkinson, C., and Baker, V. 1997. Survey Manual for Tropical Marine Resources. In: Chapter 3 Mangrove Survey. *Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia*. pp. 119-196.
- Erlangga, Gusnita, H., Syahrial, 'Akla, C.M.N., Imamshadiqin., Ezraneti, R., dan Firdaus, R. 2022. Pengaruh tingkat kerapatan dan kedewasaan mangrove dalam memerangkap sedimen di muara Sungai Langsa Kota Langsa Aceh. *Kelautan Tropis*, 25(3): 391-399.
- Ferrigno, F., Appolloni, L., Donnarumma, L., Di Stefano, F., Rendina, F., Sandulli, R., and Russo, G.F. 2021. Diversity loss in coralligenous structuring species impacted by fishing gear and marine litter. *Diversity*, 13(7): 331.
- Fong, J., Lee, S.H.R., Sun, Y., Lim, C.L., Tan, Y.A.J., Tan, Y.H., and Neo, M.L. 2023. Litter traps: A comparison of four marine habitats as sinks for anthropogenic marine macro-litter in Singapore. *Marine Pollution Bulletin*, 196: 115645.
- Gacu, J.G. 2022. Design of river floating trash traps using recycled plastic bottles and characterization of waste collected in Odiongan, Romblon Philippines. *Res. Militaris*, 12: 463-472.
- Garces-Ordóñez, O., Saldarriaga-Velez, J.F., and Espinosa-Díaz, L.F. 2021. Marine litter pollution in mangrove forests from Providencia and Santa Catalina Islands, after Hurricane IOTA path in the Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 168: 112471.
- Geremia, E., Tomajoli, M.T.M., Murano, C., Petito, A., and Fasciolo, G. 2023. The impact of micro- and nanoplastics on aquatic organisms: Mechanisms of oxidative stress and implications for human health – A review. *Environments*, 10(9): 161.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., and Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 154-159.
- Habibullah, M.S., Din, B.H., Tan, S., and Zahid, H. 2022. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 1073-1086.
- Hahladakis, J.N. 2024. A meta-research analysis on the biological impact of plastic litter in the marine biota. *Science of The Total Environment*, 928: 172504.
- Harper, P.C., and Fowler, J.A., 1987. Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (*Pachyptila* spp.) 1958-1977. *Notornis*, 34: 65-70.
- Hassan, H.O., Ayeta, E.G., Ibrahim, A.A., Omar, M.F., Abdi, S.M., Houmed, Y.K., Dirie, A.M., and Faseyi, C.A. 2024. The first assessment of marine litter on Somalian coast: The case of Liido Beach, Mogadishu. *Heliyon*, 10: e26593.
- Holguin, G., Vazquez, P., and Bashan, Y. 2001. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: An overview. *Biology and Fertility of Soils*, 33: 265-278.
- Hsiung, A.R., Ong, O.X.J., Teo, X.S., Friess, D.A., Todd, P.A., Swearer, S.E., and Morris, R.L. 2024. Determinants of mangrove seedling survival incorporated within hybrid living shorelines. *Ecological Engineering*, 202: 107235.
- Faizal, I., Purba, N.P., Martasuganda, M.K., Abimanyu, A., Akbar, M.R., and Sugianto, E. 2022. Physical control on

- marine debris spreading around Muara Gembong, Jakarta Bay. *Ecological Engineering*, 23(8): 12-20.
- Isdianto, A., Yanuhar, U., Lelono, T.D., Susilo, E., Ramadhanti, N.F.F., Nizery, S.P.R., Fathah, A.L., Batoro, J., Putri, B.M., Wardana, N.K., and Puspitasari, I.D. 2024. Komposisi dan dinamika sampah laut di kawasan ekowisata mangrove Wonorejo, Surabaya. *Fisheries and Marine Research*, 8(3): 123-134.
- Islam, M.S., Phoungthong, K., Islam, A.R.M.T., Ali, M.M., Ismail, Z., Shahid, S., Kabir, M.H., and Idris, A.M. 2022. Sources and management of marine litter pollution along the Bay of Bengal coast of Bangladesh. *Marine Pollution Bulletin*, 185: 114362.
- Isnain, M.N., and Mutaqin, B.W. 2023. Geomorphological and hydro-oceanographic analysis related to the characteristics of marine debris on the south coast of Yogyakarta, Indonesia. *Rendiconti Lincei – Scienze Fisiche e Naturali*, 34: 227-239.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2020. Pedoman Pemantauan Sampah Laut: Sampah Pantai, Sampah Terapung, dan Sampah Dasar Laut. Direktorat Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Pesisir dan Laut, Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta, Indonesia.
- Krauss, K.W., Saintilan, N., McKee, K.L., Lovelock, C.E., Cahoon, D.R., Reef, R., and Chen, L. 2014. How mangrove forests adjust to rising sea level. *New Phytologist*, 202: 19-34.
- Lam, K., Lam, Y., Ng, A.Y., So, K.K., Tam, N.F., Lee, F.W., and Mo, W. 2023. The impact of anthropogenic pollution on tidal water quality in mangrove wetlands. *Marine Science and Engineering*, 11(12): 2374.
- Leung, J.Y.S., Zhang, S., and Connell, S.D. 2022. Is ocean acidification really a threat to marine calcifiers? A systematic review and meta-analysis of 980+ studies spanning two decades. *Small*, 18: 2107407.
- Li, D., Zhao, L., Guo, Z., Yang, X., Deng, W., Zhong, H., and Zhou, P. 2021. Marine debris in the Beilun estuary mangrove forest: Monitoring, assessment and implications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(20): 10826.
- Li, Y., Kong, L., Li, Z., Su, Q., Qu, L., Wang, X., Han, J., Cheng, J., Wu, L., and Zhang, N. 2024. Distribution characteristics and ecological risk analysis of microplastics in sediments and effluents related to offshore oil and gas activities in the Bohai Sea, China. *Marine Pollution Bulletin*, 206: 116731.
- Luo, Y.Y., Not, C., and Cannicci, S. 2021. Mangroves as unique but understudied traps for anthropogenic marine debris: A review of present information and the way forward. *Environmental Pollution*, 271: 116291.
- Mankaa, R.N., and Traverso, M. 2023. Regional management options for floating marine litter in coastal waters from a life cycle assessment perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 28: 1705-1722.
- Martin, C., Almahasheer, H., and Duarte, C.M., 2019. Mangrove forests as traps for marine litter. *Environmental Pollution*, 247: 499-508.
- Mathur, A., Sharma, J.V., Priyanka., and Tyagi, A. 2023. Scope and potential of coastal ecosystem towards mitigating climate change. New Delhi: The Energy and Resources Institute (TERI). Available at: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2021-02/bluecarbon-climate-change.pdf>. Accessed October 28, 2025.
- McIlgorm, A., Raubenheimer, K., McIlgorm, D.E., and Nichols, R. 2022. The cost of marine litter damage to the global marine economy: Insights from the Asia-Pacific into prevention and the cost of inaction. *Marine Pollution Bulletin*, 174: 113167.
- McKinsey and Company – Ocean Conservancy, 2015. Stemming the tide: Land-based strategies for a plastic-free ocean. McKinsey and Company.
- Menendez, P., Losada, I.J., Torres-ortega, S., Narayan, S., and Beck, M.W., 2020. The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, 10: 4404.
- Mitra, S., Islam, F., Das, R., Urmees, H., Akter, A., Idris, A.M., Khandaker, M.U., Almikhlaifi, M.A., Sharma, R., and Emran, T.B. 2022. Pharmacological potential of *Avicennia alba* leaf extract: An experimental analysis focusing on antidiabetic, antiinflammatory, analgesic, and antidiarrheal activity. *BioMed Research International*, 2022: 7624189.
- Mugilarasan, M., Karthik, R., Purvaja, R., Robin, R.S., Subbareddy, B., Hariharan, G., Rohan, S, Jinoj, T.P.S., Anandavelu, I., Pugalanthi, P., and Ramesh, R. 2021. Spatiotemporal variations in anthropogenic marine litter pollution along the northeast beaches of India. *Environmental Pollution*, 280: 116954.
- Mugilarasan, M., Karthik, R., Robin, R.S., Subbareddy, B., Hariharan, G., Anandavelu, I., Jinoj, T.P.S., Purvaja, R., and Ramesh, R. 2023. Anthropogenic marine litter: An approach to environmental quality for India's southeastern Arabian Sea coast. *Science of The Total Environment*, 866: 161363.
- Murshed, M.F., Kamal, N.H.M., Fagbenro, O.K., Wang, L.K., and Wang, M.H.S. 2022. Solid Waste and Marine Litter Management. In: Wang, L.K., Wang, M.H.S., Hung, Y.T. (eds) *Solid Waste Engineering and Management. Handbook of Environmental Engineering*, 24. Springer, Cham.
- Novikov, M.A., Gorbacheva, E.A., Prokhorova, T.A., and Kharlamova, M.N. 2021. Composition and distribution of marine anthropogenic litter in the Barents Sea. *Oceanology*, 61: 48-57.
- Noya, Y.A., dan Tuahatu, J.W. 2021. Kepadatan dan pola transport sampah laut terapung di pesisir barat

- perairan Teluk Ambon Luar. *Penelitian Sains*, 23(1): 19-27.
- Nufus, H., Gazali, M., Alaudin, Mursawal, A., Wahyuni, S., 'Akla, C.M.N., Syahrial., dan Marlian, N. 2023. Senyawa bioaktif dan antioksidan buah mangrove *Sonneratia alba* J.E. Smith dari Desa Lhok Bubon Kecamatan Samatoga Kabupaten Aceh Barat. *Kelautan Tropis*, 26(1): 59-70.
- Pasternak, G., Ribic, C.A., Spanier, E., and Zviely, D. 2021. Stormwater systems as a source of marine debris: A case study from the Mediterranean coast of Israel. *Coastal Conservation*, 25: 27.
- Pinheiro, L.M., Junior, E.L., Denuncio, P., and Machado, R. 2021. Fishing plastics: A high occurrence of marine litter in surf-zone trammel nets of Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 173: 112946.
- Poluan, T.I.A., Sangari, J.R.R., Tilaar, F.F., Lumingas, L.J.L., Pelle, W.E., dan Lasabuda, R. 2023. Identifikasi jenis sampah laut dengan fokus kajian indeks kebersihan pantai di Pantai Karang Ria Tuminting. *Ilmiah Platax*, 11: 95-104.
- Putri, A.A., Erlangga, E., Syahrial, S., Ezraneti, R., Nufus, H., Leni, Y., and Rolin, F. 2024. Structural characterization and species composition of mangrove vegetation in Lhokseumawe, Indonesia: Insight from multivariate analysis. *Journal of Marine Studies*, 1(3): 1303.
- Rao, M.S. 2025. Hybrid deep learning approach for marine debris detection in satellite imagery using unet with ResNext50 backbone. *Applied Science and Technology Trends*, 6: 50-60.
- Rech, S., Macaya-Caquilpan, V., Pantoja, J.F., Rivadeneira, M.M., Madariaga, D.J., and Thiel, M. 2014. Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 82: 66-75.
- Robin, R.S., Ramasamy, K., Ajith, N., and Ramachandran, P. 2023. *Records of The Zoological Survey of India*, 123: 67-86.
- Rynek, R., Tekman, M.B., Rummel, C., Bergmann, M., Wagner, S., Jahnke, A., and Reemtsma, T. 2024. Hotspots of floating plastic particles across the North Pacific Ocean. *Environmental Science and Technology*, 58: 4302-4313.
- Salazar, J.A., Gonzalez, R., Navarrete, A.L., Calle, P., Alava, J.J., and Dominguez, G.A., 2022. A temporal assessment of anthropogenic marine debris on sandy beaches from Ecuador's southern coast. *Frontiers in Marine Science*, 9: 977650.
- Sandaruan, R.D.C., Bellanthudawa, B.K.A., Perera, I.J.J.U.N., Udayanga, K.A.S., and Jayapala, H.P.S. 2023. Index based approach for assessment of abundance of marine debris and status of marine pollution in Kandakuliya, Kalpitiya, Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 197: 115724.
- Sandilyan, S., and Kathiresan, K. 2012. Mangrove conservation: A global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 21: 3523-3542.
- Savoca, M.S., McInturf, A.G., and Hazen, E.L. 2021. Plastic ingestion by marine fish is widespread and increasing. *Global Change Biology*, 27: 2188-2199.
- Seeruttun, L.D., Raghbor, P., and Appadoo, C. 2021. First assessment of anthropogenic marine debris in mangrove forests of Mauritius, a small oceanic island. *Marine Pollution Bulletin*, 164: 112019.
- Setyawan, A.D., dan Winarno, K. 2006. Pemanfaatan langsung ekosistem mangrove di Jawa Tengah dan penggunaan lahan di sekitarnya; kerusakan dan upaya restorasinya. *Biodiversitas*, 7: 282-291.
- Shin, W., Tania, C., and Susanto, H.A. 2024. Transboundary environmental harm and the increasing risk of oil spills and marine debris in the semi-enclosed Arafura and Timor Seas region. *Coastal Management*, 52: 127-146.
- Silva-Cavalcanti, J.S., Barbosa de Araujo, M.C., and Ferreira da Costa, M. 2009. Plastic litter on an urban beach — A case study in Brazil. *Waste Management and Research*, 27(1): 93-97.
- Sinaei, M., Zare, R., Matin, M.T., and Ghasemzadeh, J. 2021. Marine debris and trace metal (Cu, Cd, Pb, and Zn) pollution in the stranded green sea turtles (*Chelonia mydas*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80: 634-644.
- Sundah, G.T., Schadu, J.N.W., Warouw, V., Kumampung, D.R.H., Paransa, D.S.J., and Mokolensang, J. 2021. Inventarisasi sampah anorganik pada ekosistem mangrove Pulau Bunaken bagian timur. *Ilmiah Platax*, 9(2): 262-270.
- Syahrial, Taher, D.P., Sustriani, Y., Susammesin, V.A., Mulyadi, A., Atikah, N., Lubis, K.M., Ilahi, I., Amin, B., dan Siregar, S.H. 2017. Regenerasi alami semai *Rhizophora apiculata* di kawasan industri perminyakan dan kawasan non industri Provinsi Riau. *Enggano*, 2: 208-217.
- Syahrial, Karsim, N., dan Lubis, K.M. 2018. Keanekaragaman hayati mangrove sejati di Pulau Miangas. *Maspari Journal*, 10(2): 207-216.
- Syahrial, Saleky, D., Samad, A.P.A., dan Tasabaramo, I.A. 2020. Ekologi perairan Pulau Tunda Serang Banten: Keadaan umum hutan mangrove. *Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(1): 53-68.
- Syahrial., Hatta, M., Larasati, C.E., Ruzanna, A., Muzafri, A., Hasidu, L.O.A.F., Syahrian, W., dan Zibar, Z. 2023. Analisis multivariat pada struktur komunitas mangrove di Kecamatan Rupert Utara Kabupaten Bengkalis Provinsi Riau. *Kelautan Tropis*, 26(2): 223-237.
- Syananta, C., Firdausi, M.A.D., Maheswari, M.D., Sari, S.H.J., Halisah, K.A.Z., dan Yona, D. 2025. Analisis sampah laut di Pantai Drop Off dan Batu Niti, Bali menggunakan Plastic Abundance Index (PAI). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(2): 524-531.

- Thiagarajan, C., and Devarajan, Y. 2025. The urgent challenge of ocean pollution: Impacts on marine biodiversity and human health. *Regional Studies in Marine Science*, 81: Article 103995.
- Topcu, E.N., Tonay, A.M., Dede, A., Ozturk, A.A., and Ozturk, B. 2013. Origin and abundance of marine litter along sandy beaches of the Turkish Western Black Sea Coast. *Marine Environmental Research*, 85: 21-28.
- Torrero, F.C. 2019. Antioxidant activity of *Avicennia alba* Blume, (1826) family Avicenniaceae, leaf extracts using DPPH assay. *University of Bohol Multidisciplinary Research Journal*, 6: 30-54.
- Tripathi, R., Shukla, A.K., Shahid, M., Nayak, D., Puree, C., Mohanty, S., Raja, R., Lal, B., Gautam, P., Bhattacharyya, P., Panda, B.B., Kumar, A., Jambhulkar, N.N., and Nayak, A.K. 2016. Soil quality in mangrove ecosystem deteriorates due to rice cultivation. *Ecological Engineering*, 90: 163-169.
- [UNEP] United Nations Environment Programme, 2005. Marine Litter: An Analytical Overview. UNEP: Nairobi, Kenya.
- Villafane, A.B., Ronda, A.C., Pirani, L.S.R., Picone, A.L., Lucchi, L.D., Romano, R.M., Pereyra, M.T., and Arias, A.H. 2023. Microplastics and anthropogenic debris in rainwater from Bahia Blanca, Argentina. *Heliyon*, 9: e17028.
- Winston, R.J., Witter, J.D., Tirpak, R.A., Sester, L., Jenkins, H., and Lillard, V. 2023. Abundance and composition of anthropogenic macrolitter and natural debris in road runoff in Ohio, USA. *Water Research*, 239: 120036.
- Yuniarti, M.S., Andriani, Y., Prasetyawan, N.R., Faizal, I., dan Chotimah, L.C. 2023. Identifikasi sampah laut pada ekosistem mangrove di Batukaras Kabupaten Pangandaran, Jawa Barat. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(2): 223-230.
- Zainuri, A.M., Takwanto, A., dan Syarifuddin, A. 2017. Konservasi ekologi hutan mangrove di Kecamatan Mayangan Kota Probolinggo. *Dedikasi*, 14: 1-7.