

Volume 9 Nomor 1 Tahun 2025
April 2025

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

(Journal of Environmental Sustainability Management)

Jurnal ini dikelola oleh :
Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia dan
Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) IPB University

Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH-IPB) Lantai 4
Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262, 8621085; Fax. 0251 – 8622134

Homepage jurnal : <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

E-mail : jplb@bkpsl.org / jurnalbkpsl@gmail.com

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN (JPLB)/ *Journal of Environmental Sustainability Management (JESM)*

Penanggung Jawab

Ketua Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia

Dewan Editor

Lingkungan Geofisik dan Kimia

Prof. Tjandra Setiadi, Ph.D (ITB)
Dr. M. Pramono Hadi, M.Sc (UGM)

Lingkungan Sosial dan Humaniora

Prof. Dr.Ir. Emmy Sri Mahreda, M.P (ULM)
Andreas Pramudianto, S.H., M.Si (UI)

Lingkungan Biologi (Biodiversity)

Prof. Dr. Okid Parama Astirin, M.S (UNS)
Dr. Suwondo, M.Si (Unri)

Kesehatan Masyarakat dan Kesehatan Lingkungan

Dr. Drs. Suyud Warno Utomo, M.Si (UI)
Dr. Indang Dewata, M.Sc (UNP)

Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan

Dr. Ir. Agus Slamet, DiplSE, M.Sc (ITS)
Dr. Ir. Sri Utami, M.T (UB)

Ketua Editor Pelaksana

Prof. Dr. Ir. Hefni Effendi, M.Phil (IPB)

Asisten Editor

Gatot Prayoga, S.Pi (IPB)
Fikri Sakti Firmansyah, S.Hut (IPB)
Jauhar Zainalarifin, S.Pi (IPB)
Mita Aprilia, S.Pi, M.Si (IPB)

Sekretariat

Dra. Nastiti Karliansyah, M.Si (UI)

Alamat Redaksi

Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH-IPB) Lantai 4

Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262, 8621085; Fax. 0251 – 8622134

Homepage jurnal : <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

<https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

E-mail : jplb@bkpsl.org / jurnalbkpsl@gmail.com

Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) se-Indonesia bekerjasama dengan Pusat Penelitian Lingkungan, IPB University (PPLH-IPB) mengelola bersama penerbitan JPLB sejak tahun 2017, dengan periode terbit tiga nomor per tahun. Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB) menyajikan artikel ilmiah mengenai pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan dari segala aspek. Setiap naskah yang dikirimkan ke Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan ditelaah oleh mitra bestari.

Analisis kualitas air dan limbah pertambangan nikel di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara

Water quality analysis and nickel mining waste in the Pesouha River, Southeast Sulawesi

Febrina Risky Amelia^{1*}, Hefni Effendi¹, Budi Kurniawan², Charles Andrianto³, Taufik Ahmady⁴

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, IPB University, Bogor, Indonesia

²Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, Indonesia

³Divisi Mine Environmental, PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka, Kolaka, Indonesia

⁴HSE (Health, Security and Environment), PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka, Kolaka, Indonesia

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan untuk menilai kualitas air Sungai Pesouha dan mengetahui parameter kunci penyumbang pencemaran di Sungai Pesouha dengan menggunakan beberapa jenis analisis. Analisis nilai IP (Indeks Pencemaran) berkisar dari 0,617 hingga 2,47 yang menunjukkan status kualitas air Sungai Pesouha dari kondisi baik hingga pencemaran ringan. Selain itu, hasil analisis Indeks Kualitas Air (IKA-INA) berkisar dari 79,2 (cukup baik) hingga 90,93 (sangat baik). Analisis korelasi Cr^{6+} dan besi (Fe) dalam air sebesar 0,91; TSS dan Cr^{6+} sebesar 0,85; TSS dan Fe sebesar 0,86; TSS dan IP sebesar 0,68; Cr^{6+} dan IP sebesar 0,72; serta Fe dan IP sebesar 0,6. Analisis regresi dengan menggunakan kromium heksavalen (Cr^{6+}) sebagai variabel bebas (X) dan nilai IP (Indeks Pencemaran) sebagai variabel terikat (Y), diperoleh nilai multiple R sebesar 0,722 yang menjelaskan bahwa korelasi antara X dengan Y termasuk dalam kategori kuat. Nilai Adjusted R^2 mempunyai nilai sebesar 0,46 artinya X dapat menjelaskan Y, dalam hal ini parameter Cr^{6+} dapat menjelaskan Y atau Indeks Pencemaran sebesar 46% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Persamaan regresi yang terbentuk adalah $Y = (-0,099) + (0,12)X$ artinya jika nilai $X = 0$ maka nilai Y sebesar (-0,99) dengan pengaruh positif antar parameter.

Abstract.

This study aims to assess the water quality of the Pesouha River and identify key pollution-contributing parameters using various types of analysis. The Pollution Index Analysis values range from 0.617 to 2.47, indicating quality from good to light pollution. Additionally, the Water Quality Index (WQI-INA) analysis results range from 79.2 (fairly good) to 90.93 (very good). Correlation analysis of Cr^{6+} and iron (Fe) in water is 0.91; TSS and (Cr^{6+}) is 0.85; TSS and Fe is 0.86; TSS and IP is 0.68; Cr^{6+} and IP is 0.72; Fe and IP is 0.6. Regression analysis using hexavalent chromium (Cr^{6+}) as the independent variable (X) and the Pollution Index as the dependent variable (Y) yielded a multiple R-value of 0.722, indicating a strong correlation between X and Y. The Adjusted R^2 value is 0.46, meaning X can explain Y, in this case, the parameter (Cr^{6+}) can explain Y or Pollution Indeks by 46%, and other factors influence the rest. The regression equation formed is $Y = (-0.099) + (0.12) X$, meaning that if the value of $X = 0$. then the value of Y is (-0.99) with a positive relationship between parameters.

Keywords: river pollution, mining waste, water

Kata kunci: pencemaran sungai, limbah pertambangan, air

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam pertambangan yang besar, sehingga menawarkan peluang untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi negara, terutama di bidang komoditas nikel. Sebagai produsen bijih nikel terkemuka di dunia, Indonesia memberikan kontribusi signifikan terhadap sektor ini dengan memproduksi sekitar 1.600.000 metrik ton, mewakili sekitar 48,48% dari total produksi nikel dunia (U.S. Geological Survey 2022).

* Korespondensi Penulis
Email : zfheby@gmail.com

Nickel Containing Pig Iron merupakan salah satu bahan penting untuk produksi baja tahan karat dan paduan besi-nikel lainnya. Sumber alami NCPI di Indonesia berasal dari bijih laterit, dengan temuan cadangan besar bijih laterit di Sulawesi Tenggara. Bijih laterit tipe saprolit yang berkualitas tinggi di daerah tersebut sudah dimanfaatkan untuk produksi ferronikel, sementara bijih laterit tipe limonit yang berkualitas rendah belum diolah karena kandungan nikelnya dianggap terlalu rendah (Solihin 2015). Semakin tinggi permintaan nikel di pasar global, perusahaan-perusahaan penambangan nikel di Pomalaa Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara berlomba-lomba meningkatkan produksi, yang mengakibatkan pembukaan lahan semakin masif (Hamzah *et al.* 2016).

Nikel, suatu unsur transisi yang tersebar secara luas di lingkungan, udara, air dan tanah, dapat berasal dari alam dan aktivitas manusia. Pencemaran lingkungan oleh nikel dapat terjadi akibat industri, penggunaan bahan bakar cair dan padat, serta limbah dari rumah tangga dan industri. Paparan nikel dapat menyebabkan berbagai dampak kesehatan pada manusia, termasuk alergi, penyakit kardiovaskular dan ginjal, fibrosis paru-paru, serta kanker paru-paru dan hidung. Meskipun mekanisme molekuler dari toksisitas yang disebabkan oleh nikel belum sepenuhnya diketahui, disfungsi mitokondria dan stres oksidatif diyakini memainkan peran utama dan penting dalam toksisitas logam ini (Genchi *et al.* 2020)

Aktivitas industri pertambangan nikel di Pomalaa, Provinsi Sulawesi Tenggara - Indonesia, telah memberikan pendapatan bagi pemerintah dan masyarakat. Namun, pertambangan ini telah menyebabkan dampak pada isu lingkungan. Evaluasi kualitas air menunjukkan bahwa tujuh sungai yang terletak di sekitar area industri pertambangan nikel Pomalaa masih dikategorikan dalam kondisi baik untuk menjalankan aktivitas pertambangan, akan tetapi analisis nilai Indeks Pencemar (PI) menunjukkan kualitas air sungai Baula, Huko-huko, Pesouha, Sopura dan Oko-oko diklasifikasikan sedikit tercemar dengan kategori sungai kelas II. Sementara itu, kualitas air sungai Kumoro dan Puuroda masih dalam kondisi baik (Ilham *et al.* 2017).

Menurut Zhu *et al.* (2021) sumber utama pencemaran di sungai bisa jadi sulit karena aliran air limbah yang tidak terkendali atau tumpahan bahan kimia yang tidak disengaja. Pengaruh fisik harus dipertimbangkan saat memperkirakan sumber pencemaran. PBB menetapkan tujuan pembangunan berkelanjutan (TPB) di Paris pada tahun 2015 untuk menjamin kualitas air dapat digunakan manusia yang

tercantum pada TPB 6 - Air bersih dan sanitasi. Selain itu, tujuan tersebut mencakup pelestarian ekosistem air sebagai bagian dari TPB 14 - kehidupan di bawah air dan TPB 15 - kehidupan di daratan (Pistocchi 2019).

Sungai Pesouha adalah sungai yang berada di lokasi pertambangan nikel di Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka. Sungai Pesouha tidak terlepas dari pengaruh aktivitas masyarakat, seperti pertambangan di hulu sungai, kemudian pertanian, pemukiman dan usaha tambak masyarakat di hilir sungai. Aktivitas pertambangan yang mengakibatkan pembukaan lahan secara masif, mobilisasi dan demobilisasi peralatan penunjang aktivitas eksplorasi tambang berdampak langsung maupun tidak langsung terhadap perairan sungai di sekitar lokasi tambang, air limbah dari hasil eksplorasi tambang yang dibuang ke badan air juga meningkatkan potensi pencemaran sungai.

Aktivitas penambangan di hulu sungai menyebabkan terakumulasinya limbah yang mengandung logam berat, sehingga dalam jangka panjang dapat menurunkan kualitas perairan sebelum masuk ke lokasi pertanian masyarakat. Konflik kepentingan antara upaya pelestarian lingkungan perairan dan pengelolaan tambang di hulu sungai menjadi penyebab utama meningkatnya zat pencemar di sepanjang Sungai Pesouha. Pihak-pihak terkait belum sepenuhnya menerapkan langkah-langkah untuk mengatasi masalah ini. Pengelolaan kualitas air secara sistematis dan terpadu diperlukan pemantauan berkala untuk upaya pengendalian pencemaran sungai.

Berdasarkan data yang dikaji dengan metode STORET (Hamzah 2009), menunjukkan bahwa Sungai Pesouha mengalami pencemaran sedang, dengan beban limbah mengandung logam besi berat mencapai 1.421 metrik ton/bulan. Berdasarkan Keputusan Menteri PUPR Tahun 2017 tentang Pola Pengelolaan Sumber Daya Air di Daerah Towari-Lasusua Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV mengungkapkan pada DAS Pesouha bagian hulu, tengah dan hilir juga terdapat beberapa parameter kualitas air yang melebihi baku mutu, antara lain COD, kadmium, kromium, nitrit, tembaga dan klorin bebas.

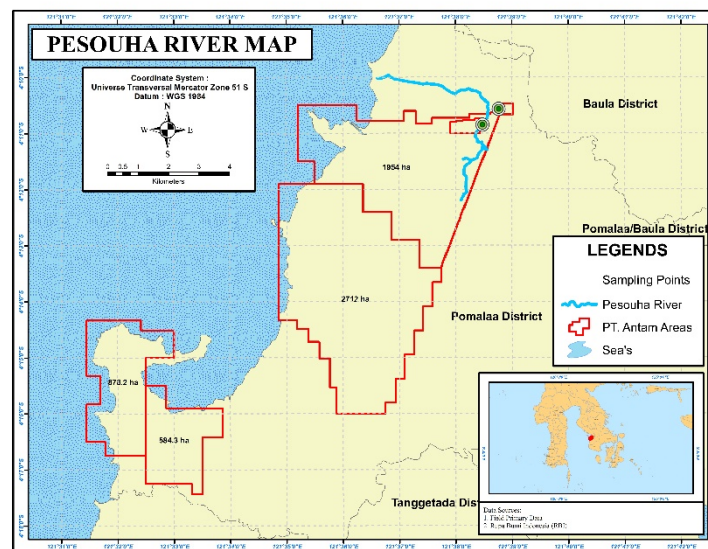
Penelitian ini bertujuan menilai kualitas air Sungai Pesouha dengan menganalisis dampak kegiatan industri pertambangan terhadap peningkatan polutan di sungai tersebut. Tujuan lainnya adalah mengidentifikasi parameter kunci yang menyumbang pada pencemaran Sungai Pesouha melalui berbagai jenis analisis diantaranya analisis

indeks pencemaran, analisis korelasi dan regresi, serta analisis kualitas air modifikasi Indonesia (IKA-INA).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan dimulai pada bulan Februari sampai Juli 2023 di Sungai Pesouha, Kecamatan Pomalaa, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara yang melintasi IUP PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka dan beberapa perusahaan tambang lain. Data kualitas air, limbah dan sedimen yang digunakan merupakan gabungan data primer dan sekunder. Analisis sampel air dilakukan di Laboratorium BBIHP Makassar. Titik pengambilan sampel dan peta lokasi penelitian disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta titik pemantauan triwulanan PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka 2022-2023.

Gambar 1 menggambarkan lokasi pengambilan sampel triwulan yang dilakukan oleh PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka. Data koordinat dari pengambilan sampel di dua titik pemantauan di Sungai Pesouha. Titik pengambilan sampel menggambarkan posisi hulu sungai (setelah pemukiman warga dan sebelum pertanian) dan hilir sungai (setelah pertanian warga).

2.2. Pengumpulan data

Jenis data yang diperoleh meliputi data primer dan sekunder. Data primer meliputi hasil uji laboratorium terhadap sampel air dan sampel limbah, data kondisi fisik lokasi, kemiringan lereng, suhu air lebar sungai, keasaman air, TSS, debit air sungai dan outlet pembuangan dari hulu ke hilir pertambangan PT. ANTAM Tbk. UBPN Kolaka. Sedangkan data sekunder yang diperoleh meliputi data suhu, curah hujan, kecepatan angin dan kelembaban udara yang bersumber dari BMKG Kolaka, data pemantauan mandiri debit limbah, pH dan TSS harian serta pemantauan kualitas sungai secara triwulanan yang bersumber dari PT. ANTAM Tbk. UBP Nikel Kolaka, data kualitas air sungai berasal dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi IV Kendari. Data yang telah diperoleh selanjutnya digunakan untuk menganalisis kualitas air dan status mutu air dengan metode Indeks Pencemaran, IKA-INA, dan korelasi-regresi sederhana.

2.3. Analisis data

2.3.1. Indeks pencemaran

Analisis kualitas air dilakukan pada kumpulan data sekunder dan primer (Suriadikusumah *et al.* 2021) yang mencerminkan tingkat kebersihan suatu sumber air pada waktu tertentu, dibandingkan dengan standar mutu air yang telah ditetapkan, disebut sebagai status mutu air. Pengukuran tingkat kontaminasi pada indikator kualitas air yang diizinkan dapat dipastikan melalui penggunaan indeks kontaminasi (Nemerow 1974 dalam Djoharam *et al.* 2018). Metode PI (*Pollution Index*) menggunakan dua indeks kualitas: rata-rata (R) dan maksimum (M). Indeks R menunjukkan tingkat rata-rata pencemaran semua parameter dalam satu pengamatan, sedangkan indeks M menunjukkan parameter dominan yang menurunkan kualitas air dalam satu pengamatan. Analisis untuk menentukan status kualitas air Sungai Cipeusing menggunakan metode Indeks Pencemaran (PI). (Nurrohman *et al.* 2019; Suriadikusumah *et al.* 2021).

Manajemen kualitas air yang berorientasi pada IP (Indeks Pencemaran) memungkinkan evaluasi kualitas suatu badan air untuk tujuan penggunaan tertentu dan pengambilan langkah-langkah perbaikan yang bersifat mandiri dan memiliki makna signifikan, dengan rumus matematika ditampilkan pada **Persamaan 1**. Nilai indeks pencemaran memiliki klasifikasi status pencemaran yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i / L_{ij})^2_M + (C_i / L_{ij})^2_R}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

Ket:

- PI_j = Indeks Pencemar bagi peruntukan (j)
 C_i = Konsentrasi parameter kualitas air hasil pengukuran
 L_{ij} = Konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam baku mutu peruntukan air (j)
 $(C_{ij}/L_{ij})_{max}$ = Nilai C_{ij}/L_{ij} maksimum
 $(C_{ij}/L_{ij})_{avg}$ = Nilai C_{ij}/L_{ij} rata-rata

Tabel 1. Klasifikasi pencemaran kualitas air berdasarkan nilai indeks pencemaran.

Klasifikasi	Status
$PI_j \leq 1,0$	Memenuhi baku mutu
$PI_j; 1,1-5,0$	Tercemar ringan
$PI_j; 5,1-10$	Tercemar sedang
$PI_j \geq 10,1$	Tercemar berat

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003

2.3.2. Indeks kualitas air dimodifikasi Indonesia (IKA-INA)

Indeks kualitas air (IKA) menghindari pembobotan subjektif dari parameter dengan menggunakan rata-rata harmonik. Ungkapan matematis dari metode Indeks Kualitas Air (IKA) ini direpresentasikan oleh rumus IKA (Tyagi *et al.* 2020). Kualitas air dinilai menggunakan metode National Sanitation's Foundation (NSF-WQI) yang telah diadaptasi menjadi metode IKA-INA dan IP (Indeks Pencemaran) sesuai dengan panduan penentuan status kualitas air (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003; Artiningrum dan Saeful 2023). Nilai IKA (Indeks Kualitas Air) adalah hasil dari penjumlahan dan perkalian masing-masing sub indeks parameter dikalikan dengan bobot parameter (**Persamaan 2**).

$$IKA - INA = \sum_{i=1}^n W_i I_{i...} \dots (1) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- IKA-INA : Nilai Indeks Kualitas Air
 W : Bobot skor akhir
 I : Nilai sub indeks
 $\sum^n$: Penjumlahan semua parameter yang dihitung dari parameter pertama sampai parameter ke-n (IKA-INA : 10 Parameter kunci)
 i : Parameter ke-i

Tabel 2. Kategori kualitas air dan status kualitas dengan metode IKA-INA.

No.	Parameter	Bobot akhir	No.	Parameter	Bobot akhir
1	DO	0,14	7	T-P	0,09
2	Fecal coliform	0,13	8	TSS	0,07
3	COD	0,12	9	NO ₃ -N	0,07
4	pH	0,12	10	TDS	0,05
5	BOD	0,11		TOTAL	1
6	NH ₃ -N	0,09			

Sumber: Ratnaningsih *et al.* (2018)

2.3.3. Analisis korelasi dan regresi

Koefisien korelasi Pearson (r) ditentukan menggunakan matriks korelasi untuk mengidentifikasi parameter kualitas air yang sangat berkorelasi dan saling terkait. Untuk menguji signifikansi pasangan parameter, dilakukan pengujian nilai p . Ada hubungan antar variabel yang menunjukkan bahwa satu variabel sebenarnya menyebabkan perubahan pada variabel lainnya (Tajmunnaher dan Chowdhury 2017).

Kecenderungan tingkat pencemaran air sungai dapat dikonfirmasi menggunakan model regresi ini. Data yang telah dihitung sebelumnya untuk sumbu Y (PIj) dan sumbu X (waktu) dimasukkan ke dalam analisis regresi untuk menghitung nilai status kualitas air. Hubungan antara PIj dan waktu dapat ditemukan melalui model regresi ini dan digunakan untuk menemukan model regresi terbaik yang menjelaskan fluktuasi nilai PIj. Nilai R^2 digunakan sebagai panduan dalam memilih model regresi yang paling cocok untuk variasi nilai PIj (Nathania *et al.* 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sungai Pesouha merupakan sungai yang berada di Kecamatan Pomalaa Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara, dimana hulu sungai berada pada titik koordinat $04^{\circ}10'54,82''S$ dan $121^{\circ}38'26,77''E$, sedangkan hilir sungai berada pada titik koordinat $04^{\circ}10'35,11''S$ dan $121^{\circ}38'41,23''E$. Hulu Sungai Pesouha berada di wilayah eksplorasi pertambangan nikel PT. ANTAM. Tbk UBPB Kolaka serta mengalir melewati beberapa lokasi tambang perusahaan lainnya. Dengan demikian, kualitas Sungai Pesouha dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya pertambangan yang berada di hulu, pertanian dan pertambangan di hilir sungai. Kualitas perairan Sungai Pesouha dan sungai lain pada umumnya juga sedikit banyak dipengaruhi oleh iklim.

Data yang diperoleh merupakan rangkaian data tahun 2022–2023, yang kemudian digunakan untuk analisis korelasi regresi, indeks pencemaran dan evaluasi indeks kualitas air (IKA–INA). Oleh karena itu, berbagai faktor, seperti pertambangan di hulu dan pertanian serta pertambangan di hilir sungai, mempengaruhi kualitas Sungai Pesouha. Iklim juga berdampak pada kualitas air Sungai Pesouha serta sungai-sungai lain pada umumnya. Jumlah hari hujan tertinggi dalam sepuluh tahun terakhir adalah 27 hari dalam sebulan yang terjadi pada bulan Agustus 2020 dan Juli 2022. Sepanjang tahun 2022 curah hujan mencapai $2718,6 \text{ mm}^3$ dengan kecepatan angin

maksimal mencapai 12 knot, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 349,5 mm³ selama 17 hari hujan.

3.1. Analisis indeks pencemaran

Berdasarkan **Tabel 3** terlihat kualitas air Sungai Pesouha selama 2 tahun dengan data tiga kali pengambilan sampel pada tahun 2022 dan dua kali pengambilan sampel pada tahun 2023. Sepanjang tahun 2022 curah hujan mencapai 2718,6 mm³ dengan kecepatan angin maksimal mencapai 12 knot, curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Maret sebesar 349,5 mm³ selama 21 hari hujan.

Tabel 3. Analisis indeks pencemaran Sungai Pesouha.

Waktu	Lokasi	Titik sampel	Indeks Pencemaran	Informasi
Januari 2022	Hulu	P1	1,757	Tercemar ringan
	Hilir	P2	0,730	Keadaan baik
Mei 2022	Hulu	P1	1,747	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,901	Tercemar ringan
September 2022	Hulu	P1	2,47	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,198	Tercemar ringan
Januari 2023	Hulu	P1	1,920	Tercemar ringan
	Hilir	P2	1,495	Tercemar ringan
Mei 2023	Hulu	P1	0,615	Keadaan baik
	Hilir	P2	1,571	Tercemar ringan

Nilai indeks tertinggi diperoleh pada pengambilan sampel bulan September dengan data debit air bulanan Sungai Pesouha diambil dari laporan pemantauan mandiri debit PT. ANTAM Tbk. UBPB Kolaka mencapai 105.408,00 m³ dan rata-rata debit sungai harian sebesar 3513,60 m³, sedangkan nilai indeks pencemaran terendah yang ditunjukkan pada pengambilan sampel pada bulan Mei 2023 memiliki debit air bulanan sebesar 37.340. m³ dan rata-rata debit harian 1204,53 m³. Besarnya debit air pada bulan September 2022 di Sungai Pesouha dapat disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Suhu udara rata-rata pada bulan September 2022 mencapai 27,9 °C dengan intensitas curah hujan bulanan mencapai 237 mm yang berasal dari akumulasi hari hujan selama 22 hari, sedangkan suhu udara rata-rata pada bulan Mei 2023 mencapai 28,6 °C dengan intensitas curah hujan bulanan mencapai 131,5 mm yang berasal dari akumulasi hari hujan selama 31 hari.

3.2. Analisis indeks kualitas air modifikasi Indonesia (IKA-INA)

Kondisi perairan Sungai Pesouha berdasarkan hasil analisis Indeks Pencemaran menunjukkan hasil yang fluktuatif, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode Indeks kualitas air modifikasi Indonesia dengan mempersempit parameter yang dianalisis, dengan menggunakan 10 parameter kunci dengan bobot yang telah ditentukan untuk masing-masing parameternya. **Tabel 4** menunjukkan nilai IKA-INA terendah terdapat pada titik sampel Q2 yang diambil pada bulan Mei 2022 dengan jumlah indeks sebesar 79,2 yang mempunyai kriteria cukup baik, sedangkan nilai indeks tertinggi terdapat pada titik P1 yang diambil pada bulan Januari 2022 dengan nilai indeks sebesar 90,93 dengan kriteria sangat baik. Selain kedua titik pengumpulan tersebut, perairan Sungai Pesouha mempunyai indeks yang cukup stabil dengan rentang nilai indeks antara 83,37-89,74.

Tabel 4. Nilai indeks kualitas air (IKA-INA).

Lokasi	Waktu	Titik sampel	IKA-INA	Kriteria
Januari 2022	Hulu	P1	90,93	Sangat baik
	Hilir	P2	86,77	Baik
Mei 2022	Hulu	P1	82,38	Baik
	Hilir	P2	79,2	Cukup baik
September 2022	Hulu	P1	88,85	Baik
	Hilir	P2	89,74	Baik
Januari 2023	Hulu	P1	87,86	Baik
	Hilir	P2	86,45	Baik
Mei 2023	Hulu	P1	83,37	Baik
	Hilir	P2	84,69	Baik

Secara keseluruhan, hasil analisis Indeks Pencemaran (IP) dan Indeks Kualitas Air Modifikasi Indonesia (IKA-INA) menunjukkan adanya keterkaitan. Berdasarkan analisis IP, kondisi perairan Sungai Pesouha berada dalam kategori baik hingga tercemar ringan. Sementara itu, analisis IKA-INA menunjukkan bahwa kondisi perairan Sungai Pesouha dapat dikategorikan cukup baik hingga sangat baik. Dari kedua analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin rendah tingkat pencemaran suatu sungai, semakin baik pula kondisi perairan sungai tersebut. Namun, analisis IKA-INA kurang mampu mendeskripsikan kondisi lingkungan perairan yang memiliki tingkat pencemaran logam berat yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan penggunaan hanya 10 parameter kunci dalam analisis tersebut, yaitu COD, BOD, Fecal coliform, Total Posfat, NH_3 , NO_3 , NO_2 , TDS, DO dan pH.

3.3. Analisis korelasi dan regresi antar parameter pencemar dan analisis indeks pencemaran

Matriks korelasi 9 parameter pencemar yang mempunyai tingkat korelasi tinggi antara lain TSS, pH, Cr^{6+} , Fe, Cd, Zn, Cu, Pb dan Co serta hasil analisa indeks pencemaran untuk mengetahui parameter penyumbang terbesar yang masuk ke badan air Sungai Pesouha. Kromium heksavalen (Cr^{6+}) menunjukkan korelasi linier positif yang signifikan dengan besi (Fe) di perairan (0,91), hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan besi (Fe) di perairan maka semakin tinggi konsentrasi kromium heksavalen (Cr^{6+}) di perairan tersebut. Menurut Effendi (2003) salah satu alasan utamanya adalah kromium tidak pernah ditemukan dalam bentuk logam murni di alam karena sumber alami kromium sangat terbatas, terutama berasal dari batuan kromit (FeCr_2O_4) dan *chromic oxide* (Cr_2O_3).

Berikut adalah **Tabel 5** tentang korelasi antara parameter pencemar dan hasil analisis Indeks Pencemaran (IP) pada lokasi penelitian di Sungai Pesouha. **Tabel 5** menggambarkan hubungan antara berbagai parameter kualitas air dan tingkat pencemaran yang diukur. Konsentrasi TSS menunjukkan korelasi linear positif yang cukup signifikan dengan kromium heksavalen (Cr^{6+}) sebesar 0,86, dengan adanya korelasi linear positif menunjukkan semakin tinggi konsentrasi kandungan TSS perairan diikuti dengan tingginya konsentrasi kromium heksavalen (Cr^{6+}). Konsentrasi TSS menunjukkan korelasi linear positif yang cukup signifikan dengan besi (Fe) sebesar 0,867. Hubungan antara indeks pencemaran dengan parameter pencemar TSS membentuk korelasi 0,68; Indeks pencemaran dengan Cr^{6+} membentuk korelasi 0,72; dan dengan Fe membentuk korelasi 0,60.

Tabel 5. Korelasi parameter pencemar dan indeks pencemaran.

	Co	Pb	Cu	Zn	Cd	Fe	TSS	pH	Cr ⁶⁺	IP
Co	1									
Pb	$1,4 \times 10^{-15}$	1								
Cu	-1	$-1,4 \times 10^{-15}$	1							
Zn	-1	$-1,4 \times 10^{-15}$	1	1						
Cd	-1	$-1,4 \times 10^{-15}$	1	1	1					
Fe	$1,2 \times 10^{-15}$	-0,210	$-1,3 \times 10^{-15}$	$-1,3 \times 10^{-15}$	$-1,3 \times 10^{-15}$	1				
TSS	$-5,1 \times 10^{-17}$	-0,400	$5,1 \times 10^{-17}$	$5,1 \times 10^{-17}$	$5,1 \times 10^{-17}$	0,867	1			
pH	$-2,5 \times 10^{-15}$	0,069	$2,4 \times 10^{-15}$	$2,4 \times 10^{-15}$	$2,4 \times 10^{-15}$	-0,278	-0,377	1		
Cr ⁶⁺	$-1,2 \times 10^{-16}$	-0,055	$1,2 \times 10^{-16}$	$1,2 \times 10^{-16}$	$1,2 \times 10^{-16}$	0,907	0,859	-0,425	1	
IP	$6,0 \times 10^{-17}$	0,137	-6×10^{-17}	-6×10^{-17}	-6×10^{-17}	0,597	0,681	-0,265	0,717	1

Korelasi positif yang signifikan antara TSS dengan kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan besi (Fe) di Sungai Pesouha menunjukkan bahwa peningkatan TSS meningkatkan konsentrasi kedua logam berat ini, yang terikat pada partikel-partikel tersuspensi. Peningkatan konsentrasi TSS, Cr^{6+} dan Fe secara langsung berkontribusi terhadap penurunan kualitas air, yang tercermin dalam nilai IP yang lebih tinggi. Hal ini menegaskan bahwa partikel tersuspensi dan logam berat merupakan faktor utama yang mempengaruhi kualitas air di Sungai Pesouha dan perlu dikendalikan untuk menjaga kesehatan ekosistem perairan.

Tabel 6 merupakan regresi yang menunjukkan hubungan antara parameter kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan Indeks Pencemaran (IP) pada lokasi penelitian di Sungai Pesouha. **Tabel 6** memberikan analisis mendalam mengenai sejauh mana konsentrasi kromium heksavalen mempengaruhi tingkat pencemaran perairan di wilayah tersebut.

Analisis regresi dengan menggunakan kromium heksavalen (Cr^{6+}) sebagai variabel bebas (X) dan Indeks Pencemaran sebagai variabel terikat (Y), diperoleh nilai multiple R sebesar 0,722 yang menjelaskan bahwa korelasi antara X dengan Y sebesar 0,722 termasuk dalam kategori kuat. Nilai Adjusted R^2 mempunyai nilai sebesar 0,46 artinya X dapat menjelaskan Y, dalam hal ini parameter (Cr^{6+}) dapat menjelaskan Y atau Indeks Pencemaran sebesar 46% dan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Persamaan regresi yang terbentuk adalah $Y = (-0,099) + (0,12)X$ artinya jika nilai $X = 0$ maka nilai Y sebesar $(-0,99)$ dengan pengaruh positif antar parameter.

Tabel 6. Regresi parameter kromium heksavalen (Cr^{6+}) dan nilai indeks pencemaran.

<u>Regression Statistics</u>								
Multiple R	0,721949							
R ²	0,52121							
Adjusted R ²	0,461362							
Standard Error	0,069332							
Observations	10							
<u>ANOVA</u>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	0,041862	0,041862	8,708803	0,018396			
Residual	8	0,038455	0,004807					
Total	9	0,080317						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0,09981	0,066698	-1,49649	0,172896	-0,25362	0,053993	-0,25362	0,053993
Indeks Pencemaran	0,120725	0,040909	2,951068	0,018396	0,026389	0,215062	0,026389	0,215062

Hasil analisis **Tabel 6** menunjukkan bahwa kromium heksavalen (Cr^{6+}) memainkan peran penting dalam menentukan kualitas air di Sungai Pesouha, meskipun faktor-faktor lain yang tidak terukur dalam analisis ini juga turut mempengaruhi tingkat pencemaran. Persamaan regresi yang dihasilkan mendukung temuan ini dengan menunjukkan hubungan positif antara Cr^{6+} dan IP, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk menyimpulkan bahwa kromium heksavalen (Cr^{6+}) adalah salah satu kontributor utama terhadap tingkat pencemaran air di wilayah tersebut.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis Indeks Pencemaran (IP) dan Indeks Kualitas Air modifikasi Indonesia (IKA-INA) terhadap data kualitas air Sungai Pesouha, status mutu air berada dalam kategori kondisi baik hingga tercemar ringan menurut IP dan cukup baik hingga sangat baik menurut IKA-INA. Parameter utama yang berkontribusi signifikan terhadap pencemaran di Sungai Pesouha adalah kromium heksavalen (Cr^{6+}), besi (Fe) dan *total suspended solid* (TSS). Kromium heksavalen (Cr^{6+}) khususnya memiliki korelasi kuat dengan nilai IP, menunjukkan bahwa kontaminasi logam berat merupakan faktor utama dalam penurunan kualitas air di wilayah tersebut.

Untuk penelitian selanjutnya di perairan lokasi pertambangan, penggunaan analisis IKA-INA kurang disarankan karena tidak mencakup parameter logam berat, yang penting untuk menilai kondisi sungai secara menyeluruh. Namun, di area non-pertambangan seperti pertanian, pemukiman, atau peternakan, analisis ini masih dapat digunakan karena hanya membutuhkan 10 parameter dan dapat mengurangi biaya penelitian. Penelitian selanjutnya disarankan untuk fokus pada penurunan beban pencemar utama seperti kromium heksavalen (Cr^{6+}), besi (Fe) dan TSS di Sungai Pesouha. Selain itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai strategi pengelolaan limbah industri pertambangan nikel di Sungai Pesouha dan sungai lainnya di Sulawesi Tenggara yang terdampak aktivitas industri ini.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Taufik Ahmady, S.T. dan Charles Andrianto, S.T. atas bantuan perizinan penggunaan data dan pendampingan penelitian di lingkup pertambangan PT. ANTAM Tbk. UBPB Kolaka.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Artiningrum T and Saeful NS. 2023. Determination of Cikapundung River water quality index using IKA-INA Method and Pollution Index. *Eduvest - Journal of Universal Studies* 3(6):1086-1097.
- Djoharam V, Riani E and Yani M. 2018. Analysis of water quality and capacity for the pollution load of the Pesanggrahan River in the DKI Jakarta Province Area. *Journal Management of Natural Resources and the Environment* 8(1):127-133.
- Effendi H. 2003. Telaah kualitas air: bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius. Yogyakarta.
- Genchi G, Carocci A, Lauria G and Sinicropi MS. 2020. Nickel: human health and environmental toxicology. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(3):679-700.
- Hamzah. 2009. Water quality study at the Pomalaa Nickel Mining Location, Southeast Sulawesi [Tesis]. IPB University. Bogor.
- Hamzah, Effendi H, Riani E, Saharuddin dan Indrasti NS. 2016. Pengembangan masyarakat pesisir di kawasan tambang nikel Pomalaa Sulawesi Tenggara [Disertasi]. IPB University. Bogor.
- Ilham, Hartono DM, Suganda E dan Nurdin M. 2017. Metal distribution at river water of mining and nickel industrial area in Pomalaa Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *Oriental Journal of Chemistry* 33(5):2599-2607.
- KepMenLHK (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup) Nomor 115 Tahun 2003 tentang pedoman penentuan status mutu air.
- Nathania NA, Sayekti RW dan Sholichin M. 2021. Studi sebaran karakteristik kualitas air dengan parameter BOD, COD, DO, NH₃-N, TSS dan pH di Waduk Sutami. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* 1(2):890-903.
- Nurrohman AW, Widyastuti M dan Suprayogi S. 2019. Evaluasi kualitas air menggunakan Indeks Pencemaran di DAS Cimanuk, Indonesia. *Ecotrophic* 13:74-84.
- Pistocchi A. 2019. An integrated perspective of multiple stressors in river ecosystems from the catchment to the continental scale. In *Multiple Stressors in River Ecosystems*, 353-374. Elsevier.
- Ratnaningsih D, Retno PL, Nazir E dan Fauzi R. 2018. Pengembangan Indeks Kualitas Air sebagai alternatif penilaian kualitas air sungai. *Jurnal Ecolab* 12(2):53-61.

- Solihin. 2015. Synthesis of Nickel Containing Pig Iron (NCPI) by using limonite type of lateritic ore from South East Sulawesi. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan* 25(1):31.
- Suriadikusumah A, Mulyani O, Sudirja R, Sofyan ET, Maulana MHR and Mulyono A. 2021. Analysis of the water quality at Cipeusing River, Indonesia using the Pollution Index method. *Acta Ecologica Sinica* 41(3):177-182.
- Tajmunnaher and Chowdhury DMAI. 2017. Correlation study for assessment of water quality and its parameters of Kushiya River, Sylhet, Bangladesh. *International Journal of New Technology and Research* 3(12):1-6.
- Tyagi S, Sharma B, Singh P and Dobhal R. 2020. Water quality assessment in terms of Water Quality Index. *American Journal of Water Resources* 1(3):34-38.
- U.S. Geological Survey. 2022. Mineral commodity summaries 2022. In *Angewandte Chemie International Edition* (Issue 703), 6(11):951-952. U.S. Government Publishing Office.
- Zhu Y, Chen Z and Asif. 2021. Identification of point source emission in river pollution incidents based on Bayesian inference and genetic algorithm: Inverse modeling, sensitivity, and uncertainty analysis. *Environmental Pollution* 285:117497.

Mendesain kelembagaan perantara nasional untuk memobilisasi pendanaan iklim di Indonesia: studi kasus BPD LH

Designing a national intermediary institution to mobilize climate finance in Indonesia: a case study of BPD LH

Ricky Karunia Lubis^{1*}, Amrie Firmansyah¹

¹Departemen Akuntansi Sektor Publik, Politeknik Keuangan Negara STAN, Tangerang Selatan, Indonesia

Abstrak.

Pendanaan iklim berperan penting dalam mengatasi isu perubahan iklim. Pendorong global telah menyediakan pendanaan yang melimpah untuk membantu negara berkembang menghadapi isu tersebut. Namun, mengingat kemampuan teknis yang terbatas dan risiko intervensi politik yang tinggi di negara berkembang, pendonor mengalami kesulitan dalam menyalurkan dana mereka. Oleh karena itu, pemerintah perlu membentuk sebuah lembaga perantara nasional yang bertugas menjembatani antara kebutuhan dan harapan para pendonor dengan pemilik proyek yang berorientasi pada lingkungan di tingkat lokal. Lembaga perantara ini akan membantu memobilisasi pendanaan yang lebih besar bagi proyek-proyek lokal yang sejalan dengan agenda iklim. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan *scoping review* untuk menganalisis masalah yang paling fundamental yang dialami oleh pendonor global dalam menyalurkan dana mereka ke negara berkembang. Selain itu, penelitian ini juga mengajukan alternatif solusi agar pemerintah dapat mempercepat mobilisasi pendanaan tersebut. Pemerintah Indonesia pada dasarnya telah mendirikan sebuah lembaga perantara nasional bernama Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup (BPD LH) yang berada di bawah Kementerian Keuangan. Namun, BPD LH masih mengalami berbagai kendala dalam melaksanakan perannya. Perbaikan lebih lanjut akan membantu BPD LH meningkatkan kemampuannya dalam menggalang dana, mendorong bauran pendanaan, dan mengembangkan kemampuan pelaksanaan proyek pada tingkat lokal.

Kata kunci: badan pengelola dana lingkungan hidup, lembaga perantara nasional, pendanaan iklim, perubahan iklim

Abstract.

Climate finance plays a critical role in addressing climate change issues. Global donors have provided substantial funding to support developing countries cope with climate change. However, due to the limited technical capabilities and high political interference risks in developing countries, donors face difficulties in disbursing their funds. Therefore, the government should set up a national intermediary to bridge the needs and expectations of the donors and local-level project beneficiaries. This intermediary will help mobilize more finance toward local-level projects pertaining to the attainment of the climate agenda. This study employs a qualitative method with a scoping review approach to analyze the most fundamental challenges faced by global donors in deploying their climate funds to developing countries. In addition, this study proposes alternative solutions for government to accelerate the mobilization of such funds. The government of Indonesia (GoI) has established a national intermediary called the Indonesian Environmental Fund (IEF) which operates under the Ministry of Finance. However, the IEF still faces various obstacles in carrying out its role. Further improvement will help enhance IEF's capacity in fundraising, promoting blended finance and strengthening project implementation capabilities at the local level.

Keywords: *climate change, climate finance, indonesian environment fund, national intermediary*

* Korespondensi Penulis
Email : mhdrickykarunia@gmail.com

1. PENDAHULUAN

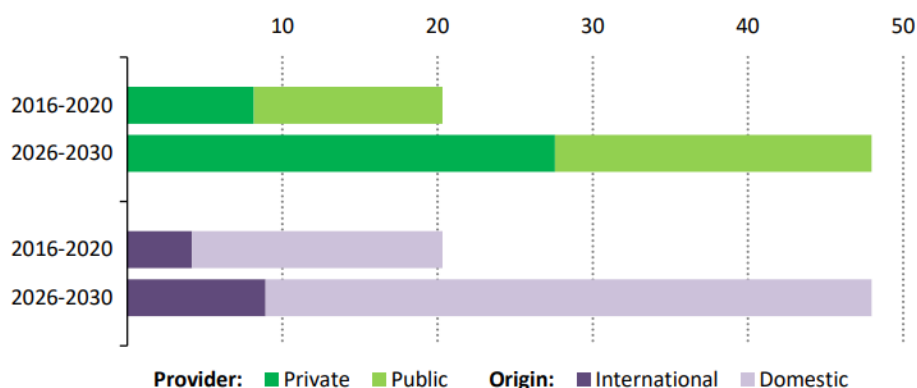
Pendanaan iklim telah lama menjadi topik yang terus dikaji di kalangan akademisi, praktisi, dan pengambil kebijakan mengingat peran pentingnya dalam mempercepat transisi menuju ekonomi rendah karbon dan berkelanjutan (Bhandary *et al.* 2021). Negara maju telah sepakat untuk memobilisasi pendanaan iklim guna membantu negara berkembang menghadapi perubahan iklim (Yamineva 2016), terutama yang terintegrasi ke dalam *Green Climate Finance* (GCF). Pendanaan ini berasal dari berbagai sumber, seperti publik, privat, bilateral, multilateral, dan pendanaan alternatif (Cui dan Huang 2018). Namun, pendanaan iklim menghadapi berbagai tantangan yang berpotensi menghambat capaian agenda iklim di negara berkembang (Fonta *et al.* 2018), terutama karena adanya ketidakselarasan (*mismatch*) antara perencanaan oleh pendonor dan pelaksanaan proyek oleh penerima manfaat (*beneficiaries*) pada tingkat lokal. Selain itu, mengingat keterbatasan dalam hal kemampuan teknis dan adanya risiko campur tangan politik di negara berkembang (Ampaire *et al.* 2017), pendonor sering kali mengalami kesulitan dalam menyalurkan pendanaan iklim. Sebagai respons atas masalah ini, pemerintah perlu menyiapkan suatu lembaga perantara nasional (*national intermediary*) yang berfungsi menjembatani kebutuhan dan ekspektasi para pihak, terutama antara pendonor dan pemilik proyek.

Lembaga perantara nasional dapat berperan sebagai katalis yang membantu memobilisasi lebih banyak pendanaan kepada proyek-proyek berbasis lingkungan pada tingkat lokal demi mewujudkan agenda iklim. Kabar baiknya, pemerintah Indonesia telah mendirikan suatu lembaga perantara nasional, yaitu Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup (BPD LH) atau dikenal sebagai *Indonesian Environment Fund* (IEF) yang berstatus sebagai Badan Layanan Umum (BLU) di bawah Kementerian Keuangan. BPD LH menyalurkan dan mendistribusikan pendanaan iklim untuk mendukung tujuan Indonesia dalam mengatasi degradasi lingkungan. Kehadiran BPD LH juga berfungsi menjembatani antara kebutuhan dan ekspektasi pendonor dengan pemilik proyek pada tingkat lokal serta memastikan agar proyek yang didanai oleh pendonor dapat dieksekusi secara efektif.

Namun sayangnya, peran BPD LH dalam menghimpun dan menyalurkan pendanaan iklim masih sangat terbatas. Perbaikan tata kelola BPD LH akan membantu

memperbesar skala dan jumlah pendanaan, mendorong bauran pendanaan, dan mengembangkan kapasitas implementasi proyek-proyek berbasis lingkungan hingga tingkat lokal. Di satu sisi, BPDH telah berhasil mengatasi risiko legal dan politik yang selama ini menjadi kekhawatiran para pendonor (CNBC 2022) karena statusnya sebagai BLU mampu memberikan keyakinan dan kepastian bahwa pemerintah akan bertanggung jawab atas implementasi dan pengawasan proyek pada tataran lokal. Namun, di sisi lain, BPDH masih mengalami keterbatasan keahlian teknis dan sumber daya manusia yang profesional serta belum terhubungnya para aktor yang relevan. BPDH seharusnya tidak hanya memainkan peran sebagai *trustee*, tetapi juga sebagai pengaktif (*enabler*) yang menghubungkan para aktor yang relevan agar arus pendanaan iklim ke Indonesia dapat mengalir lebih deras.

Pada tahun 2021, pendanaan iklim yang disalurkan oleh BPDH masih sangat minim, yaitu sebesar Rp7,36 miliar, dengan komitmen pendanaan yang ada di *pipeline* sebesar Rp27,60 miliar. Nilai tersebut masih sangat jauh dibandingkan nilai pendanaan publik yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan iklim pada tahun 2030 sebesar US\$21,2 miliar atau setara Rp339,2 triliun, sebagaimana diproyeksikan oleh *International Energy Agency* (IEA) pada **Gambar 1**. Kesenjangan yang lebar ini menunjukkan bahwa BPDH tidak akan sanggup membiayai sendiri kebutuhan pendanaan iklim tersebut. Namun demikian, BPDH dapat menjadi katalis yang berperan dalam menjembatani antara pendonor dan pemilik proyek iklim di Indonesia.

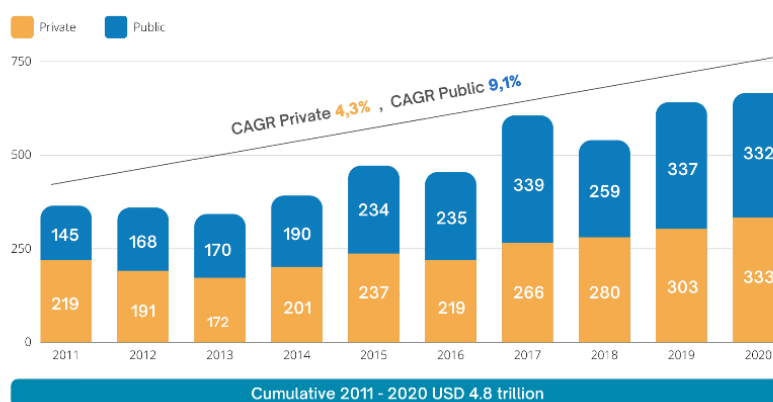


Gambar 1. Sumber pendanaan investasi energi di Indonesia 2016-2030 (miliar dollar).

Oleh karena itu, perbaikan dan penyempurnaan tata kelola BPDH sebagai ujung tombak pengelola dana iklim di Indonesia sangat mendesak, terutama untuk

memenuhi kebutuhan investasi guna mencapai tujuan iklim pada 2030. Untuk itu, BPD LH tidak dapat hanya bergantung pada aktivitas normal (*business as usual*). Diperlukan desain ulang menyeluruh terhadap tata kelola dan mekanisme kerja BPD LH untuk menghimpun dana iklim yang tersedia dan terus berkembang baik pada sektor publik maupun swasta, terutama yang berasal dari pendonor di luar negeri.

Keterbatasan sumber pendanaan yang dapat diakses oleh BPD LH juga patut disayangkan mengingat skala pendanaan iklim global yang terus bertumbuh di mana peran sektor publik berkembang lebih pesat relatif dibandingkan dengan sektor swasta (**Gambar 2**). Hal ini menunjukkan pentingnya peran sektor publik dalam mempercepat laju pendanaan iklim. Oleh karena itu, BPD LH sebagai institusi pemerintah yang khusus mengelola pendanaan lingkungan seharusnya juga dapat memainkan peran sentral dalam mengakses pendanaan ini, sehingga sumber dana yang mengalir ke proyek-proyek iklim di Indonesia semakin besar dan variatif. Untuk itu, tata kelola BPD LH perlu dirancang ulang guna meningkatkan kapasitas dan kapabilitasnya dalam menghimpun dan mengelola dana iklim secara lebih cermat serta memastikan agar implementasi proyek pada tingkat lokal dapat lebih efektif (Omukuti *et al.* 2022). Dengan kapasitas yang lebih baik, BPD LH akan dipercaya oleh pendonor global sehingga mendorong minat mereka untuk menyalurkan lebih banyak pendanaan iklim ke Indonesia. Aliran pendanaan iklim yang lebih cepat dengan skala yang lebih besar pada akhirnya akan mempercepat capaian pembangunan berkelanjutan di suatu negara (Dasgupta *et al.* 2019; Jakob *et al.* 2015).



Gambar 2. Tren pendanaan iklim global sektor publik dan swasta periode 2011-2020 (miliar dollar).

Penelitian terdahulu telah banyak membahas tentang tren investasi hijau (Eyraud *et al.* 2013), skema pendanaan iklim hijau (Afful-Koomson 2015; Yamineva

2016; Cui dan Huang 2018; Bowman dan Minas 2019) serta pentingnya lembaga perantara untuk memobilisasi pendanaan iklim tersebut ke negara berkembang (Chaudhury 2020; Choi 2015; Parag dan Janda 2014). Selain itu, penelitian terdahulu juga membahas lembaga perantara dari berbagai perspektif, seperti perantara berbasis inovasi dan penciptaan nilai (Agogu   *et al.* 2013; Bakici *et al.* 2013; de Silva *et al.* 2018; Klerkx dan Leeuwis 2009; Musiolik *et al.* 2020; Winch dan Courtney 2007) dan perantara yang berperan sebagai konsultan dalam transfer teknologi (Bessant dan Rush 1995). Penelitian terdahulu juga membahas tentang pendanaan iklim dari perspektif implementasinya pada level lokal (Omukuti *et al.* 2022), pendanaan iklim sebagai mekanisme kompensasi yang efektif bagi upaya negosiasi iklim global (Antimiani *et al.* 2017), serta faktor-faktor yang mendorong dukungan nasional terhadap pendanaan iklim (Pickering dan Mitchell 2017). Dalam konteks Indonesia, penelitian terdahulu membahas tentang hambatan dan solusi dalam mendorong pendanaan hijau di Indonesia (Liebman *et al.* 2019). Oleh karena itu, penelitian ini adalah penelitian pertama yang mendesain perantara nasional secara kelembagaan untuk mendorong laju pendanaan iklim yang secara teoritis telah banyak dikaji dalam berbagai literatur untuk kemudian dapat diterapkan di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mendesain ulang kerangka BPD LH secara kelembagaan guna mempercepat mobilisasi pendanaan iklim dari pendonor global dan menyalurkannya ke proyek-proyek berbasis lingkungan pada tingkat lokal. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan proposisi perbaikan dan penyempurnaan tata kelola agar BPD LH dapat mengakses sumber pendanaan yang tersedia secara global. Percepatan mobilisasi pendanaan iklim ke Indonesia akan membantu mewujudkan tujuan pembangunan berkelanjutan sehingga pertumbuhan ekonomi di masa depan dapat lebih resilien dan berkesinambungan.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kerangka konseptual bagi Kementerian Keuangan untuk memperbaiki dan menyempurnakan desain dan mekanisme kerja BPD LH sehingga BPD LH tidak hanya berperan sebagai *funding hub*, tetapi juga sebagai pengaktif (*enablers*) yang menghubungkan para aktor atau pihak yang relevan guna memperlancar arus pendanaan iklim ke Indonesia. Penelitian ini mengalami keterbatasan, salah satunya adalah skema BPD LH yang diajukan oleh penulis belum memperhitungkan peran lembaga perantara lain yang telah ada di Indonesia seperti

PT SMI sehingga masih perlu ekstensi kajian yang mampu mendefinisikan secara jelas proyek-proyek iklim seperti apa yang masuk ke ranah BPD LH dan PT SMI guna menghindari tumpang tindih dan konflik sektoral.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan *scoping review* yang dilakukan selama periode dua bulan dengan cakupan nasional. Pendekatan *scoping review* digunakan untuk mengidentifikasi gap pengetahuan (*knowledge gap*), menelaah sekumpulan literatur, dan mengklarifikasi konsep (Munn *et al.* 2018). *Scoping review* merupakan alat yang ideal untuk menentukan lingkup dan cakupan dari sekumpulan literatur mengenai suatu topik dan memberikan gambaran yang jelas mengenai literatur atau studi apa saja yang tersedia guna menganalisis dan mendalami topik tersebut.

Dalam penelitian ini, pendekatan *scoping review* membantu penulis mengidentifikasi masalah yang dihadapi oleh BPD LH, mengumpulkan dan menganalisis literatur yang relevan, dan mengklarifikasi konsep yang tepat agar fungsi BPD LH dapat berjalan secara lebih efektif dan efisien berdasarkan kajian-kajian ilmiah yang telah ada selama ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan multidisiplin di sepanjang analisis, dengan teori utama yang meliputi teori organisasi (Lounsbury dan Ventresca 2003), teori sistem hukum (MacCormick dan Raz 1971), dan teori perkembangan sosial (Coleman 1986). Untuk memperoleh hasil yang lebih valid, penelitian ini menggunakan triangulasi teori selain teori utama yang digunakan melalui penyandingan antara informasi yang diperoleh dari berbagai media dan literatur dengan teori-teori yang relevan, terutama yang terkait dengan pengelolaan dana iklim.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Konsep perantara nasional

Untuk memahami dan mengembangkan proyek yang memenuhi kriteria pendonor yang ketat diperlukan perencanaan proyek serta implementasi yang kuat dan dapat diukur. Jika tidak, lembaga perantara akan kesulitan mendorong pendanaan kepada proyek-proyek lokal berbasis lingkungan karena pendonor khawatir realisasi

dari dana yang mereka salurkan tidak sesuai dengan ekspektasi. Perantara nasional didirikan sebagai 'saluran' (*conduit*) untuk mengonsep, mengembangkan, merencanakan, mengimplementasikan, dan mengelola proyek-proyek iklim serta menjembatani pendanaan iklim dari pendonor kepada pemilik proyek berbasis lingkungan pada tingkat lokal dengan empat peran utama (Chaudury 2020): (1) penyedia informasi (*information providers*), (2) perantara (*brokers*), (3) perancang konsep dan proyek (*concept and project designers*), dan (4) pelaksana proyek (*project implementers*).

Pertama, perantara nasional menyediakan informasi, data, dan analisis tentang aktivitas pendanaan iklim global beserta proyek-proyeknya, yang ditujukan untuk mendorong minat yang lebih luas dari pemilik dana iklim (de Silva *et al.* 2018). Perantara nasional harus memastikan terciptanya simetri informasi antara pendonor dan pemilik proyek agar terjalin hubungan saling percaya (*mutual trust*) yang mendorong para pendonor untuk menyalurkan lebih banyak pendanaan iklim ke negara berkembang. Di satu sisi, perantara nasional harus memberikan informasi yang transparan, jelas, dan rinci terkait ketersediaan proyek-proyek yang relevan dengan kriteria pendonor sehingga layak dimasukkan ke dalam *pipeline*. Di sisi lain, perantara nasional juga harus menyediakan informasi yang jelas dan mudah dipahami kepada pemilik proyek agar dapat mengajukan proposal proyek yang sesuai dengan kriteria pendonor.

Kedua, perantara nasional bertindak menjembatani para pihak (Klerkx dan Leeuwis 2009; Winch dan Courtney 2007) mengingat interaksi langsung antara pendonor dan pemilik proyek terhambat oleh biaya transaksi yang tinggi serta kesenjangan pengetahuan dan komunikasi (Parag dan Janda 2014). Perantara nasional juga dapat membantu menyiapkan konsorsium proyek dan memfasilitasi proses pengajuan pendanaan dengan imbalan berupa *fee*. Tidak hanya menerima pendanaan iklim dari pendonor, perantara juga harus memainkan peran aktif dalam mengidentifikasi atau menyiapkan proyek yang menarik bagi pemilik dana serta menghubungkan para pihak agar proyek tersebut dapat berjalan secara efektif yang pada gilirannya akan meningkatkan aktivitas berbasis iklim di negara berkembang (Bakici *et al.* 2013; Choi 2015).

Ketiga, perantara nasional sebagai perancang konsep dan proyek tidak hanya bertindak sebagai penyedia layanan dan informasi, tetapi juga sebagai arsitek dan inisiator proyek itu sendiri (Agogué *et al.* 2013). Perantara nasional memainkan peran penting dalam mendesain dan menciptakan proyek serta mengorkestrasi aktivitas apa yang layak dipromosikan dan didanai. Kurangnya ketersediaan proyek yang berkelanjutan dan kredibel merupakan tantangan bersama di negara berkembang sehingga kreativitas dan inovasi lembaga perantara dalam menciptakan proyek-proyek berbasis iklim menjadi vital.

Keempat, perantara bertanggung jawab atas realisasi proyek-proyek iklim dengan membawa keahlian-keahlian teknis ke dalam proyek yang akan dilaksanakan mengingat negara berkembang masih mengalami keterbatasan dalam hal kapasitas mengelola proyek-proyek berbasis iklim pada tingkat lokal. Selain itu, kebanyakan proyek melibatkan lintas organisasi pemerintah sehingga keterlibatan institusi pemerintah yang relevan akan menjadi kunci dalam menjaga kesinambungan proyek di masa depan. Keempat peran di atas sangat esensial dalam membantu perantara nasional untuk menentukan bagaimana kebijakan diambil, prioritas lokal mana yang akan dipilih, proyek mana yang akan didanai, bagaimana proyek akan dilaksanakan, dan aktor mana yang akan terlibat dalam keseluruhan prosesnya.

3.2. Peran BPDH sebagai BLU (Badan Layanan Umum)

BPDH didirikan pada tahun 2019 melalui terbitnya Peraturan Menteri Keuangan (PMK) nomor 137 tahun 2019 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup sebagai unit organisasi non-Eselon di bawah Kementerian Keuangan dengan pola pengelolaan keuangan badan layanan umum. Tujuan BPDH adalah untuk mengelola dana yang dikhususkan untuk proteksi dan manajemen lingkungan. Selain itu, dana yang diamanatkan kepada BPDH juga bertujuan untuk memastikan akuntabilitas dan menjamin kepatuhan terhadap konservasi lingkungan, mendorong perubahan perilaku para pemangku kepentingan dalam aktivitas ekonomi mereka, serta membangun kepercayaan publik dan aktor internasional (Mafira *et al.* 2020).

Pembentukan BPDH sebagai BLU bertujuan untuk memangkas rantai birokrasi di mana pendonor dapat langsung menyalurkan pendanaan iklim kepada proyek yang diinginkan melalui perantara BPDH. Status BLU memungkinkan BPDH untuk

mendapatkan fleksibilitas dalam hal pengelolaan keuangan (**Tabel 1**). Fleksibilitas ini tidak akan diperoleh jika BPD LH hanya berstatus sebagai unit eselon 1 di bawah Kementerian Keuangan mengingat pola pengelolaan keuangannya yang terikat pada norma-norma penganggaran dalam UU APBN.

Sebelum adanya BPD LH, dana hibah dari pendonor untuk proyek berbasis lingkungan hidup di Indonesia harus melewati mekanisme APBN yang kemudian dialokasikan kepada kementerian dan/atau lembaga terkait. Imbasnya, dana hibah dari pendonor tidak bisa langsung ditujukan untuk proyek secara spesifik karena panjangnya rantai birokrasi, yang akhirnya menghambat minat para pendonor internasional dalam menyalurkan pendanaan iklim ke Indonesia. Status BLU memungkinkan BPD LH untuk mengelola pendanaannya, terutama yang berasal dari pendonor, secara fleksibel tanpa harus melewati mekanisme APBN. Selain itu, statusnya sebagai BLU memungkinkan BDPLH untuk menghimpun pendanaan lingkungan iklim secara lebih luas dari berbagai sumber, termasuk pendapatan dari donor internasional, pasar karbon, dan hasil pengelolaan portofolio.

Tabel 1. Perbandingan kewenangan antara BLU dan kementerian/lembaga.

	BLU (Badan Layanan Umum)	Kementerian/Lembaga
Penggunaan Dana	BLU dapat secara langsung mengelola dan membelanjakan pendapatan operasionalnya sesuai dengan rencana bisnis tanpa harus ditransfer terlebih dahulu ke rekening kas negara	Kementerian/Lembaga yang memperoleh pendapatan operasional, misalnya berupa PNBPN tidak dapat langsung menggunakannya. Pendapatan tersebut harus terlebih dahulu ditransfer ke rekening kas negara dan hanya dapat digunakan setelah dialokasikan melalui APBN
Fleksibilitas Anggaran	Belanja BLU dapat melebihi pagu anggaran sepanjang pendapatan dari PNBPN mencukupi untuk menutup defisit tersebut	Kementerian/Lembaga tidak dapat melebihi pagu anggaran sehingga harus bergantung pada realokasi anggaran pada pos lainnya
Penilaian Kinerja	Formula anggaran BLU berbasis keluaran dan dihitung berdasarkan basis akrual. Kinerja berbasis keluaran menekankan pencapaian terhadap indikator kinerja. Akuntansi akrual menyediakan indikasi kinerja	Formula anggaran pemerintah pada Kementerian/Lembaga berorientasi pada masukan (<i>input</i>) dan dihitung dengan basis kas. Kinerja berbasis masukan menekankan pada penyerapan anggaran.

	BLU (Badan Layanan Umum)	Kementerian/Lembaga
	bisnis yang lebih baik selama satu periode anggaran dibanding akuntansi berbasis kas	

Meskipun sebagian besar BLU memperoleh sumber pendanaan dari APBN, BPD LH memiliki sumber pendapatan yang lebih variatif, termasuk pendapatan dari pendonor internasional dan imbal hasil portofolio dana kelolaan. Melalui strategi manajemen risiko dan investasi yang cermat, BPD LH tidak hanya akan memperoleh sumber pendanaan yang lebih solid dan beragam, tetapi juga mampu menjangkau penerima manfaat secara lebih luas sehingga aliran pendanaan iklim bagi proyek-proyek berbasis lingkungan menjadi semakin cepat. Dengan demikian, BPD LH berpotensi memberikan dampak yang lebih besar bagi percepatan aliran pendanaan iklim dan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

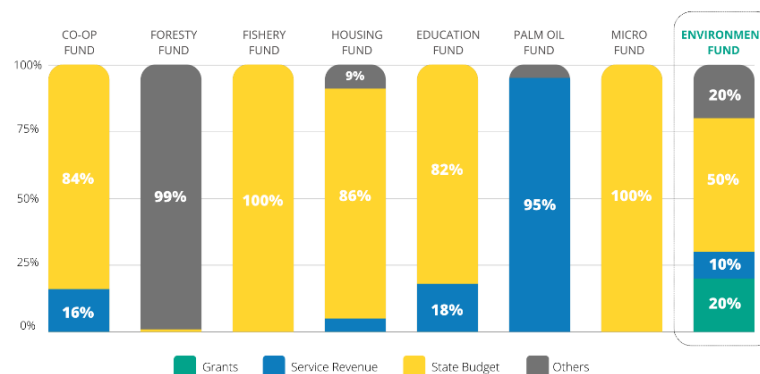
Status BPD LH sebagai BLU memungkinkan penggunaan pendapatan yang diperoleh secara langsung tanpa harus melewati siklus penganggaran konvensional. Pendapatan tersebut mencakup pendapatan imbal hasil portofolio dana kelolaan dan pendapatan *fee* atas jasa perantara yang diberikan oleh BPD LH dalam hal penyaluran pendanaan iklim dari pendonor ke penerima manfaat.

Tipe pendonor bervariasi, mulai dari lembaga multilateral seperti Bank Dunia, lembaga filantropi seperti *Ford Foundation*, hingga negara mitra seperti Norwegia. Fleksibilitas inilah yang menjadi keunggulan BPD LH sebagai BLU di mana dana iklim dari pendonor dapat langsung disalurkan ke proyek-proyek spesifik tanpa melewati siklus penganggaran APBN. Dengan demikian, pendonor akan memperoleh keyakinan yang lebih tinggi mengingat kepastian hukum dan fleksibilitas yang disediakan secara paralel oleh pemerintah guna mempercepat penyaluran dana iklim sebagai upaya dalam mengurangi emisi global.

3.3. *Proposisi skema connecting the dots*

Dengan desain saat ini, BPD LH telah mampu memainkan perannya dalam menyalurkan dan mendistribusikan pendanaan iklim ke para pemilik proyek berbasis lingkungan di tataran lokal. BPD LH juga telah berhasil mengatasi dua masalah utama yang dikeluhkan oleh pendonor global selama ini, yaitu masalah legal dan politik. Namun, mengingat adanya keterbatasan keahlian teknis dan belum terhubungnya

para aktor, peran BPD LH saat ini masih perlu ditingkatkan lebih lanjut untuk memobilisasi pendanaan iklim yang lebih masif kepada pemilik proyek pada tingkat lokal serta memastikan implementasinya berjalan sesuai ekspektasi para pendonor. Selain itu, ketergantungan BPD LH terhadap anggaran negara (APBN), yaitu sebesar 50% dari total anggaran (**Gambar 3**), perlu dikurangi dengan menginisiasi berbagai skema pendanaan kreatif yang ditujukan bagi pendonor dan investor. Ketergantungan terhadap anggaran negara akan membatasi ruang bagi BPD LH untuk mendanai lebih banyak proyek berbasis lingkungan mengingat terbatasnya fleksibilitas yang ditawarkan oleh anggaran negara.

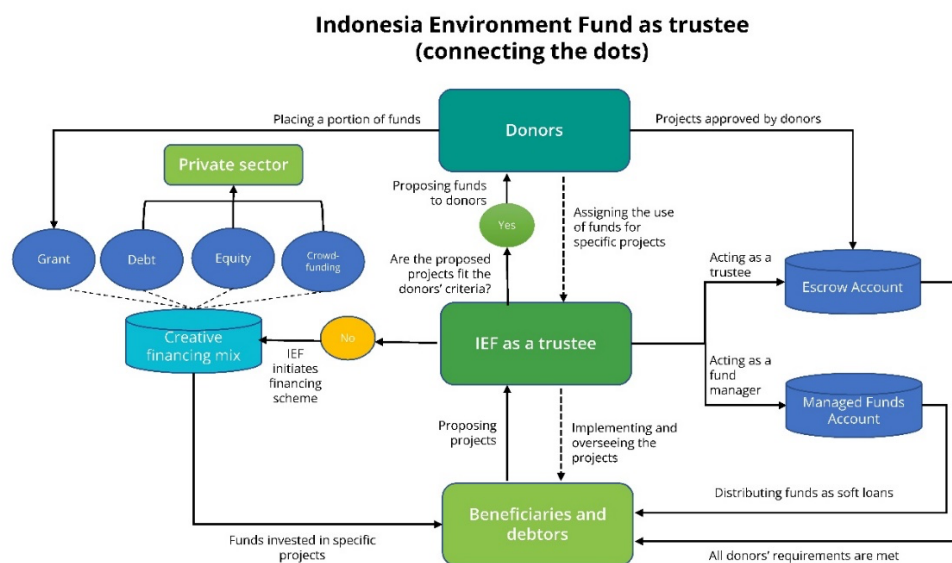


Gambar 3. Perbandingan sumber pendanaan BLU.

Sepanjang 2021, BPD LH baru menjalin kerja sama yang masih aktif dengan dua lembaga multilateral, yaitu UNDP dengan realisasi hibah sebesar Rp 6,34 miliar dan Bank Dunia dengan realisasi hibah asistensi teknis sebesar Rp 1,01 miliar. Disamping itu, BPD LH juga telah memperoleh komitmen pendanaan berupa hibah dengan dua lembaga multilateral, yaitu UNDP dan Bank Dunia, serta satu lembaga filantropi, yaitu Ford Foundation, dengan nilai komitmen masing-masing sebesar Rp 11,41 miliar, Rp 2,18 miliar, dan Rp 14,27 miliar. Sebelumnya, Indonesia juga menjalin kerja sama pendanaan iklim dengan Norwegia melalui program *Reducing Greenhouse Gas Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+). Akan tetapi, kerja sama ini kemudian diakhiri oleh Pemerintah RI pada 10 September 2021 karena pemerintah Norwegia tidak memenuhi kewajiban pembayaran *Result Based Payment* (RBP) sebesar US\$ 56 juta atas realisasi pengurangan emisi di Indonesia pada periode 2016-2017. Pemerintah Norwegia beralasan bahwa Indonesia belum memenuhi beberapa persyaratan tertentu yang pada faktanya tidak pernah tercantum dalam kesepakatan

yang telah ada. Sebagai contoh, Pemerintah Norwegia mensyaratkan evaluasi atas Balai Diklat Lingkungan Hidup (BDLH) yang sebelumnya tidak ada di dalam kesepakatan antara pemerintah Indonesia dan Norwegia (Ikhtiarin *et al.* 2023).

Dengan nilai hibah yang terealisasi hanya sebesar Rp 7,36 miliar (92,03% dari target) dan nilai komitmen hibah sebesar Rp 27,60 miliar, BPDH mengalami keterbatasan sumber daya pendanaan guna mendanai proyek-proyek berbasis lingkungan di Indonesia sehingga dibutuhkan perbaikan fundamental dan menyeluruh agar BPDH mampu memobilisasi pendanaan iklim dalam skala yang lebih luas dan nominal yang lebih besar. Sebagai alternatif pertama (**Gambar 4**), BPDH perlu didesain agar perannya sebagai pengaktif (*enabler*) yang menghubungkan berbagai aktor (*connecting the dots*) sebagaimana konsep perantara nasional yang diajukan oleh Chaudury *et al.* (2020) dan Omukuti *et al.* (2022) dapat lebih optimal.



Gambar 4. Bagan proposisi *connecting the dots*.

Pertama, dalam skema *connecting the dots*, BPDH berperan menyediakan informasi, data, dan analisis untuk menjembatani para pendonor seperti lembaga internasional, lembaga filantropi, dan negara mitra dengan pemilik proyek iklim di Indonesia yang umumnya adalah masyarakat setempat dan komunitas lokal dalam penyaluran pendanaan iklim, sejalan dengan peran sebagai penyedia informasi dan *brokers* sebagaimana konsep Chaudury (2020). Peran *trustee* yang telah dimainkan oleh BPDH saat ini dapat dilanjutkan di mana BPDH menyediakan rekening penampung (*escrow account*) bagi dana yang disalurkan oleh pendonor untuk

kemudian didistribusikan kepada penerima manfaat seperti masyarakat adat dan komunitas tani lokal setelah seluruh syarat dan ketentuan terpenuhi.

Namun, tidak cukup sampai di situ, BPD LH seharusnya tidak hanya berperan sebagai *trustee*, tetapi juga sebagai pengelola dana (*fund manager*). Hingga 2021, dari total dana kelolaan sebesar Rp1,66 triliun, BPD LH hanya menyalurkan sebagian kecil dari dana kelolaannya sebagai pinjaman mikro kepada pemilik proyek, yaitu sebesar Rp23 miliar atau hanya 1,38% dari total dana kelolaan. Hal tersebut sangat disayangkan karena BPD LH menempatkan sebagian besar dana kelolaannya yang sebesar Rp1,6 triliun ke instrumen keuangan tradisional pada perbankan (giro dan deposito). BPD LH seharusnya menyalurkan dana kelolaan sebesar itu untuk mendanai proyek-proyek berbasis iklim baik melalui instrumen pinjaman lunak.

Selain memperluas dan memperbesar skala proyek-proyek berbasis iklim, penyaluran dana kelolaan tersebut juga akan menciptakan efek *crowding-in* di mana sektor swasta akan lebih berminat menginvestasikan dananya kepada proyek-proyek berbasis lingkungan (Bhandary *et al.* 2021) mengingat adanya *risk sharing* yang ditawarkan oleh pemerintah. Hal ini juga mengingat bahwa ada potensi yang sangat besar bagi pendanaan dari sektor privat, terutama karena adanya kesenjangan investasi (*investment gap*) di negara berkembang (Zhan dan Santos-Paulino 2021). Selain itu, skema pendanaan yang lebih kreatif dan kolaboratif seharusnya diinisiasi, terutama mengingat semakin luasnya kerja sama pendanaan inovatif secara global, seperti *The Climate Finance Partnership* yang melibatkan investor swasta dan entitas publik.

Kedua, BPD LH tidak hanya menunggu pendonor untuk menawarkan pendanaan iklim, tetapi juga membuka akses yang sebesar-besarnya bagi pemilik proyek untuk mengajukan proposal proyek untuk didanai oleh pendonor. Dalam hal proposal memenuhi syarat dan kriteria yang berlaku umum yang merujuk pada standar GCF (*Green Climate Finance*) yang mencakup standar keuangan, lingkungan, perlindungan sosial, dan gender, BPD LH mengajukan dan menegosiasikannya dengan calon pendonor. Adapun instrumen keuangan yang dapat diakses ke GCF meliputi hibah, pinjaman konsesi, ekuitas, dan pendanaan berbasis hasil (*result-based finance*). Di sini, BPD LH memainkan peran penting dalam menilai kelayakan proposal dengan mengacu pada standar GCF yang berlaku umum secara global. Dalam hal proposal dianggap

tidak memenuhi kriteria pendonor tetapi prospektif untuk diimplementasikan, misalnya dalam hal proyek mengandung risiko yang tinggi tetapi efektif dalam mengurangi emisi, BPDH dapat menginisiasi skema bauran pendanaan kreatif (Kim dan Jun 2022; Rode *et al.* 2019) untuk mereduksi risiko tersebut (*de-risking*) sehingga secara finansial proyek tetap dapat dilanjutkan.

Dalam konteks ini, BPDH berperan sebagai perancang konsep dan proyek, sejalan dengan konsep perantara nasional yang digagas Chaudury (2020). Skema bauran pendanaan ini dapat mencakup instrumen keuangan seperti utang, ekuitas dan urun dana (*crowdfunding*) dengan investor swasta sebagai sasaran utamanya (Tonkonogy *et al.* 2018). Dengan partisipasi dan kolaborasi antara sektor swasta dan pemerintah, risiko proyek secara keuangan akan relatif terkendali karena adanya *risk sharing* sehingga mampu memenuhi profil risiko yang ditetapkan oleh pendonor global yang pada akhirnya akan menyalurkan dananya dalam bentuk hibah ke dalam skema bauran pendanaan tersebut.

Ketiga, BPDH bukan hanya menyalurkan pendanaan iklim dari pendonor kepada pemilik proyek dan memperoleh *fee* atas jasa perantaranya, melainkan juga bertanggung jawab menjamin agar dana tersebut benar-benar diperuntukkan bagi eksekusi proyek serta memastikan agar setiap proyek yang terealisasi menghasilkan *outcome* yang optimal sesuai yang disyaratkan oleh pendonor. Peran ini sejalan dengan konsep perantara sebagai pelaksana proyek (*project implementers*) yang diajukan oleh Chaudury (2020). Saat ini, BPDH telah membentuk *task force* berbasis proyek yang diisi oleh profesional dan staf BPDH sendiri atau biasa diistilahkan sebagai 'agen'. Para agen bertanggung jawab atas perencanaan, pelaksanaan, dan monitoring proyek serta menyusun laporan secara berkala sebagai bahan evaluasi bagi BPDH. Namun, keterbatasan sumber daya manusia yang terampil dan profesional menjadi kendala bagi BPDH sebagaimana hasil penilaian risiko (*risk assessment*) yang dilakukan oleh Pricewaterhouse Coopers (PwC) yang menunjukkan bahwa kualitas staf dan struktur organisasi masih cenderung rendah (BPDH 2021). Oleh karena itu, pelatihan dan pengembangan kualitas sumber daya manusia serta sistem remunerasi yang kompetitif menjadi krusial bagi pengelolaan proyek yang lebih baik (Burch 2010) sehingga semakin banyak pendonor yang akan mempercayai BPDH sebagai mitra perantara yang kredibel dan dapat diandalkan.

3.4. **Proposisi pengajuan BPD LH sebagai *accredited entity* (AE)**

Komitmen internasional dalam mempercepat pendanaan iklim, baik untuk mitigasi maupun adaptasi, diwujudkan ke dalam pendanaan iklim hijau (GCF) yang merupakan entitas yang beroperasi di bawah kerangka *The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) untuk membantu negara berkembang dalam menghadapi perubahan iklim (Bowman dan Minas 2019). GCF menawarkan bervariasi instrumen pendanaan iklim, yang meliputi pinjaman lunak, ekuitas, jaminan, dan hibah. GCF telah membangun mekanisme kerja sama langsung dengan entitas nasional melalui proses akreditasi (Chaudhury 2020). GCF menyalurkan pendanaan iklim melalui suatu *National Designated Authority* (NDA-GCF) yang berperan sebagai penghubung antara suatu negara dengan GCF.

Entitas yang memiliki kapasitas dalam menginisiasi dan mendorong program atau proyek iklim dapat mengajukan diri sebagai *Accredited Entities* (AE). AE merupakan mitra resmi GCF dalam penyaluran dana iklim. Sebelum menjadi mitra, GCF melakukan penilaian terhadap entitas yang mengajukan diri sebagai AE untuk memastikan apakah entitas tersebut memiliki kemampuan keuangan yang sehat serta kelayakan proyek atau program sosial yang sejalan dengan tujuan iklim. AE dapat berupa organisasi publik, swasta, non-pemerintah (NGO), subnasional, nasional, regional, atau internasional. Proyek atau program iklim yang diinisiasi oleh AE harus dijabarkan secara jelas, rinci, dan realistis untuk dijalankan serta harus mampu memenuhi standar GCF yang mencakup aspek keuangan, lingkungan, dan sosial. AE dibagi ke dalam dua kategori: *International Access Entities* (IAE) dan *Direct Access Entities* (DAE). IAE mencakup lembaga regional dan internasional seperti Bank Dunia, Bank Pembangunan Asia, dan *United Nations Development Program* (UNDP), sedangkan DAE mencakup entitas subnasional, nasional, atau regional yang terakreditasi setelah sebelumnya dinominasikan oleh NDA-GCF untuk diakreditasi oleh GCF.

Dalam konteks Indonesia, otoritas nasional yang ditunjuk oleh GCF adalah Badan Kebijakan Fiskal (BKF) Kementerian Keuangan. Pemilik proyek dalam negeri dapat mengajukan pendanaan iklim melalui AE yang pada gilirannya mengajukan *No-Objection Letter* (NOL) kepada dewan GCF, yaitu persetujuan dari pemberi hibah dari luar negeri, yang dalam hal ini adalah GCF, untuk mendanai proyek-proyek hijau di

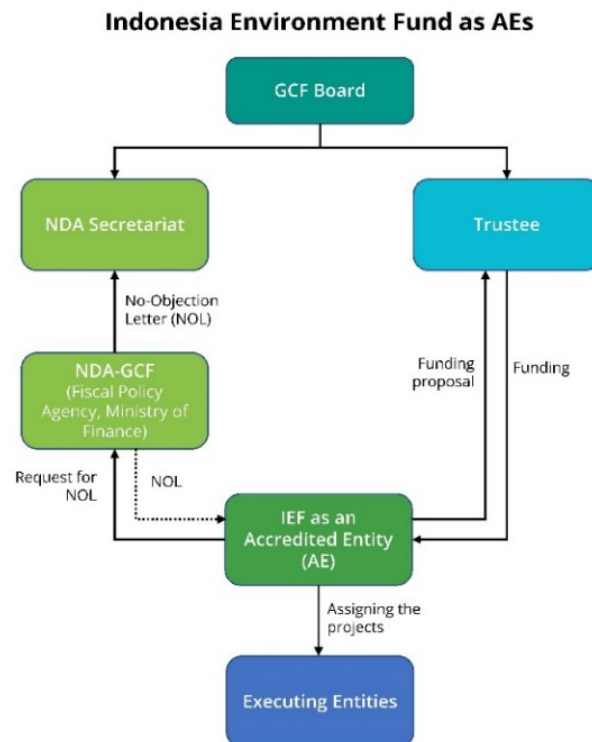
dalam negeri. Jika proyek dianggap sesuai dengan kriteria GCF, NOL akan diberikan kepada AE yang kemudian dapat menugaskan implementasinya kepada entitas yang mengeksekusi proyek tersebut (*executing entities* – EE). Saat ini, baru ada satu AE (dalam bentuk DAE) di Indonesia, yaitu PT Sarana Multi Infrastruktur (PT SMI) dengan platform SDG Indonesia One.

Lembaga nasional seperti BPD LH memiliki opsi untuk mengajukan diri sebagai AE demi mempercepat aliran pendanaan iklim, terutama yang bersumber dari GCF (**Gambar 5**). Status sebagai AE akan memperbesar skala pendanaan iklim bagi BPD LH sehingga semakin banyak proyek atau program terkait iklim yang dapat diinisiasi dan diimplementasikan hingga tingkat lokal. Dengan kata lain, selain tetap melanjutkan perannya sebagai *trustee*, *funding hub*, dan *enabler* yang menyalurkan pendanaan iklim milik para pendonor, BPD LH juga memiliki akses pendanaan iklim yang lebih besar dan luas dengan terakreditasi sebagai AE oleh dewan GCF. Status sebagai AE juga akan memberikan keleluasaan dan kewenangan bagi negara berkembang untuk menguasai kepemilikan atas proyek-proyek di dalam negeri, mulai dari berskala nasional hingga lokal (Chaudhury 2020). Kewenangan ini pada gilirannya akan memungkinkan pemerintah untuk menyesuaikan proyek-proyek yang didanai oleh GCF agar linear dengan prioritas pembangunan nasional, terutama untuk mengejar tujuan pembangunan berkelanjutan.

Sebagai benang merah, desain ulang tata kelola BPD LH dapat ditempuh melalui beberapa langkah strategis. Pertama, BPD LH harus bertindak sebagai pengaktif (*enabler*) yang menengahi antara kebutuhan dan ekspektasi pendonor dan penerima manfaat serta memainkan peran sebagai *trustee* yang mengoperasikan dan menggunakan dana tersebut untuk pelaksanaan proyek yang telah disetujui. Kedua, BPD LH harus meningkatkan kapasitas sumber daya manusianya dengan membawa lebih banyak profesional dan mengadakan lebih banyak pelatihan bagi para staf agar dapat mengelola proyek secara lebih baik.

Ketiga, penulis mengajukan dua proposisi terkait desain kelembagaan BPD LH, yaitu BPD LH tetap memainkan peran *connecting the dots* sebagai *trustee* dan *funding hub* dengan perbaikan dan penyempurnaan lebih lanjut pada tata kelola BPD LH atau BPD LH dapat mengajukan diri untuk dinominasikan oleh NDA-GCF untuk memperoleh akreditasi sebagai AE oleh GCF. Keempat, agar proyek berbasis lingkungan yang tidak

layak secara keuangan tetap dapat berjalan, BPDH perlu menyalurkan dana kelolaannya menjadi pinjaman lunak kepada investor proyek, alih-alih menempatkannya di instrumen perbankan. BPDH juga perlu aktif dalam membaurkan skema pendanaan dengan melibatkan peran investor swasta yang tidak hanya mencakup hibah dari pendonor, tetapi juga pendanaan berbasis utang dan ekuitas serta pendanaan urun dana (*crowdfunding*) sehingga pendanaan iklim yang masuk ke Indonesia menjadi lebih besar.



Gambar 5. Bagan proposisi BPDH sebagai *accredited entity* (AE).

Ketika peran-peran yang telah diuraikan sebelumnya dapat dijalankan dengan optimal, BPDH akan mampu menjadi pengaktif yang menghubungkan para pihak yang relevan sehingga aliran pendanaan iklim menjadi semakin cepat masuk ke Indonesia guna membiayai proyek-proyek berbasis lingkungan yang sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan. Ketika pendonor percaya pada kapasitas BPDH, pemerintah akan lebih leluasa mengarahkan proyek-proyek yang didanai oleh pendanaan iklim agar sejalan dengan prioritas pembangunan nasional sehingga tercapai *double dividend*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pendirian BPD LH telah mampu mengubah peta permainan (*game changer*) dalam hal penyaluran pendanaan iklim ke proyek-proyek berbasis lingkungan pada tingkat lokal. Namun, perbaikan dan penyempurnaan lebih lanjut akan membantu memperbesar dan memperluas penyaluran pendanaan iklim, mempromosikan pendanaan yang lebih kreatif, dan mengembangkan kapabilitas teknis pada tahap implementasi proyek. Implikasi pendanaan iklim tidak hanya bertujuan memenuhi tanggung jawab bersama yang diemban oleh Indonesia terkait perubahan iklim global, tetapi juga akan mempercepat capaian tujuan pembangunan berkelanjutan. Oleh karenanya, perbaikan dan penyempurnaan pada BPD LH akan membuka potensi yang besar dari pendanaan iklim karena pendonor global menjadi lebih percaya dalam menyalurkan pendanaan tersebut ke Indonesia.

Meskipun demikian, semata-mata bergantung pada pendonor akan memperlambat proses penyaluran pendanaan iklim kepada pemilik proyek. Karenanya, BPD LH perlu memainkan peran aktif dalam menghubungkan berbagai aktor yang relevan dalam mencapai tujuan utama dari pendanaan iklim. Dari perspektif *top-down*, inisiatif dapat berasal dari regulasi pemerintah, pemilik dana, dan teknologi baru untuk menarik lebih banyak pendanaan iklim dari pendonor. Sementara itu, dari perspektif *bottom-up*, inisiatif dapat bersumber dari masyarakat dan akar rumput di mana BPD LH membuka ruang seluas-luasnya bagi masyarakat untuk mengajukan proposal proyek agar dapat didanai oleh pendonor global. Dengan kata lain, BPD LH dapat memainkan peran *connecting the dots* yang menjembatani kepentingan dan kebutuhan para aktor yang terlibat dalam pendanaan iklim.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Afful-Koomson T. 2015. The Green Climate Fund in Africa: what should be different? *Climate and Development* 7(4):367–379.
- Agogu  M, Ystr m A and Le Masson P. 2013. Rethinking the role of intermediaries as an architect of collective exploration and creation of knowledge in open innovation. *International Journal of Innovation Management* 17(2).

- Ampaire EL, Jassogne L, Providence H, Acosta M, Twyman J, Winowiecki L and van Asten P. 2017. Institutional challenges to climate change adaptation: a case study on policy action gaps in Uganda. *Environmental Science and Policy* 75:81–90.
- Antimiani A, Costantini V, Markandya A, Paglialunga E and Sforza G. 2017. The Green Climate Fund as an effective compensatory mechanism in global climate negotiations. *Environmental Science and Policy* 77:49–68.
- Bakici T, Almirall E and Wareham J. 2013. The role of public open innovation intermediaries in local government and the public sector. *Technology Analysis and Strategic Management* 25(3):311–327.
- Bessant J and Rush H. 1995. Building bridges for innovation: the role of consultants in technology transfer. *Research Policy* 24(1):97–114.
- Bhandary RR, Gallagher KS and Zhang F. 2021. Climate finance policy in practice: a review of the evidence. *Climate Policy* 21(4):529–545.
- Bowman M and Minas S. 2019. Resilience through interlinkage: the Green Climate Fund and climate finance governance. *Climate Policy* 19(3):342–353.
- [BPD LH] Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup. 2021. Laporan tahunan tahun 2021 Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup [internet]. Tersedia di: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Chaudhury A. 2020. Role of intermediaries in shaping climate finance in developing countries: lessons from the Green Climate Fund. *Sustainability* 12(12).
- Choi Y. 2015. Intermediary propositions for green growth with sustainable governance. *Sustainability* 7(11):14785–14801.
- [CNBC Indonesia] The Consumer News and Business Channel Indonesia. 2022. Jurusan BPD LH efektifkan pengelolaan dana lingkungan hidup [internet]. Tersedia di: <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220929131950-8-375926/jurusan-bpdlh-efektifkan-pengelolaan-dana-lingkungan-hidup>
- Coleman JS. 1986. Social theory, social research, and a theory of action. *American Journal of Sociology* 91(6):1309–1335.
- Cui L and Huang Y. 2018. Exploring the schemes for Green Climate Fund financing: international lessons. *World Development* 101:173–187.
- Dasgupta D, Hourcade JC and Nafu S. 2019. A climate finance initiative to achieve the Paris Agreement and strengthen sustainable development. CIRED.

- de Silva M, Howells J and Meyer M. 2018. Innovation intermediaries and collaboration: knowledge-based practices and internal value creation. *Research Policy* 47(1):70–87.
- Eyraud L, Clements B and Wane A. 2013. Green investment: trends and determinants. *Energy Policy* 60:852–865.
- Fonta WM, Ayuk ET and van Huysen T. 2018. Africa and the Green Climate Fund: current challenges and future opportunities. *Climate Policy* 18(9):1210–1225.
- Ikhtiarin AD, Agustin VM, Nethan A, Yuel MVDB, Wiratma HD dan Subandi Y. 2023. Dinamika kerja sama Indonesia – Norwegia di bidang lingkungan hidup melalui program Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+) tahun 2017–2021. *Jurnal Ilmiah Dinamika Sosial* 7(1):56–65.
- Jakob M, Steckel JC, Flachslund C and Baumstark L. 2015. Climate finance for developing country mitigation: blessing or curse? *Climate and Development* 7(1):1–15.
- Kim H and Jun H. 2022. Can blended finance be a game changer in sustainable development? An empirical investigation of the “Lucas Paradox.” *Sustainability* 14(4).
- Klerkx L and Leeuwis C. 2009. Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting and Social Change* 76(6):849–860.
- Liebman A, Reynolds A, Robertson D, Nolan S, Argyriou M and Sargent B. 2019. Green finance in Indonesia: barriers and solutions. Asian Development Bank Institute. Tokyo.
- Lounsbury M and Ventresca M. 2003. The new structuralism in organizational theory. *Organization* 10(3):457–480.
- MacCormick DN and Raz J. 1971. The concept of a legal system: an introduction to the theory of legal system. Clarendon Press. Oxford.
- Mafira T, Mecca B and Muluk S. 2020. Indonesia Environment Fund: bridging the financing gap in environmental programs. *Climate Policy Initiative* 9.
- Munn Z, Peters MDJ, Stern C, Tufanaru C, McArthur A and Aromataris E. 2018. Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing

- between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology* 18(143):1–7.
- Musiolik J, Markard J, Hekkert M and Furrer B. 2020. Creating innovation systems: how resource constellations affect the strategies of system builders. *Technological Forecasting and Social Change* 153.
- Omukuti J, Barrett S, White PCL, Marchant R and Averchenkova A. 2022. The Green Climate Fund and its shortcomings in local delivery of adaptation finance. *Climate Policy* 22(9–10):1225–1240.
- Parag Y and Janda KB. 2014. More than filler: middle actors and socio-technical change in the energy system from the “middle-out.” *Energy Research and Social Science* 3(C):102–112.
- Pickering J and Mitchell P. 2017. What drives national support for multilateral climate finance? International and domestic influences on Australia’s shifting stance. *International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics* 17(1):107–125.
- Rode J, Pinzon A, Stabile MCC, Pirker J, Bauch S, Iribarrem A, Sammon P, Llerena CA, Muniz Alves L, Orihuela CE and Wittmer H. 2019. Why ‘blended finance’ could help deliver the Paris Agreement and the Sustainable Development Goals. *Environmental Research Letters* 14(9):094001.
- Tonkonogy B, Brown J, Micale V, Wang X and Clark A. 2018. Blended finance in clean energy: experiences and opportunities. Climate Policy Initiative. San Fransisco.
- Winch GM and Courtney R. 2007. The organization of innovation brokers: an international review. *Technology Analysis and Strategic Management* 19(6):747–763.
- Yamineva Y. 2016. Climate finance in the Paris outcome: why do today what you can put off till tomorrow? *Review of European, Comparative and International Environmental Law* 25(2):174–185.
- Zhan JX and Santos-Paulino AU. 2021. Investing in the Sustainable Development Goals: mobilization, channeling, and impact. *Journal of International Business Policy* 4(1):166–183.

Perbaikan kualitas air pada peternakan ayam petelur dengan penggunaan filter zeolit antimikroba

Improving water quality in laying chicken farming with the use of antimicrobial zeolit filters

Nurul A'la^{1*}, Zaenal Abidin^{1,2,3}, Irma Isnafia Arief⁴

¹Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, IPB University, Bogor, Indonesia

²Departemen Kimia, IPB University, Bogor, Indonesia

³Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, IPB University, Bogor, Indonesia

Abstrak.

Air minum di peternakan ayam sering terkontaminasi mikroba yang dapat menyebabkan sejumlah penyakit pada ayam. Bakteri *E. coli* merupakan salah satu mikroba patogen yang penanganannya dilakukan dengan pemberian antibiotik dan disinfektan berbasis klorin, namun hal tersebut dapat meninggalkan residu pada jaringan ayam dan menimbulkan resistensi sehingga mengancam kesehatan hewan, manusia dan lingkungan. Perlu alternatif lain seperti penggunaan filter zeolit antimikroba yang terbuat dari bahan alam dan tidak meninggalkan residu berbahaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air minum ayam setelah penerapan filter zeolit antimikroba dan menganalisis strategi penerapan filter di peternakan ayam. Penelitian dilakukan di peternakan ayam petelur Antoni Layer Farm, Sukabumi, Jawa Barat pada Januari hingga Juli 2022. Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian langsung, observasi, wawancara dan studi literatur. Analisis data mikroba menggunakan metode BAM dan dibandingkan dengan standar kualitas air minum berdasarkan PerMenKes (2017) dan SNI (2009). Analisis strategi dilakukan dengan analisis SWOT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter zeolit antimikroba efektif menurunkan jumlah *Escherichia coli* dan *Salmonella* pada air minum ayam tanpa meninggalkan residu yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan serta berpotensi untuk dikembangkan. Kesimpulannya penerapan filter zeolit antimikroba di peternakan ayam berkontribusi terhadap tujuan pembangunan berkelanjutan dengan meningkatkan kualitas air di peternakan ayam petelur.

Kata kunci: filter zeolit antimikroba, kualitas air, strategi, peternakan ayam, *Escherichia coli*

Abstract.

Drinking water in chicken farms is often contaminated with microbial pathogens such as Escherichia coli (E. coli), which are typically controlled using antibiotics and chlorine-based disinfectants, but it can leave residues in chicken tissues and cause resistance, threatening animal, human, and environmental health. So, it needs other alternatives, such as the use of antimicrobial zeolit filters that are made from natural materials and do not leave harmful residues. This study aims to determine the quality of chicken drinking water after applying antimicrobial zeolit filters and analyze the strategy for implementing filters in chicken farms. The study was conducted at Antoni Layer Farm, Sukabumi, West Java, from January to July 2022. Data was collected through experimentation, observation, interview, and literature study. Microbial data were analyzed using the BAM method and compared to PerMenKes (2017) and SNI (2009). Strategy analysis was conducted using SWOT analysis. The results showed that antimicrobial zeolit filters effectively reduced the number of Escherichia coli and Salmonella in chicken drinking water without leaving residues that are harmful to health and the environment and have the potential to develop. In conclusion, antimicrobial zeolit filters on poultry farms contribute to sustainable development goals by improve water quality on layer farms.

Keywords: antimicrobial zeolit filters, water quality, strategy, laying chicken farming, *Escherichia coli*

* Korespondensi Penulis
Email : alanurul373@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Kontaminasi mikroba di peternakan ayam sering terjadi pada sumber air minum dan sanitasi yang kurang baik (Maharjan *et al.* 2016). Bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) menjadi salah satu mikroba patogen yang menyebabkan sejumlah penyakit pada ayam petelur, seperti peritonitis, yaitu peradangan yang terjadi pada lapisan kuning telur. Peritonitis biasanya diawali dengan kondisi ovulasi ektopik di mana folikel pecah atau tidak masuk secara normal di saluran telur dan menyebabkan infeksi *E. coli*, kondisi terparah pada kasus ini dapat menyebabkan penurunan produksi telur hingga menyebabkan kematian (Srinivasan *et al.* 2013; Ali *et al.* 2020). Beberapa kasus lain seperti infeksi kuning telur (*omphalitis*), infeksi saluran pernapasan, *septikemia* (infeksi sistemik) dan *colibacillosis* juga disebabkan oleh bakteri *E. coli* (Swelum *et al.* 2021). Dalam penelitian Kemmett *et al.* (2014), *E. coli* berkontribusi sekitar 70% terhadap kematian anak ayam yang menunjukkan tanda-tanda *colibacillosis*.

Penanganan *E. coli* di peternakan ayam selama ini dilakukan dengan pemberian antibiotik melalui air minum, penambahan dalam pakan dan melalui suntikan. Akan tetapi, dalam beberapa penelitian ditemukan peningkatan 1,8 kali lebih besar resistensi bakteri *E. coli* sekaligus berisiko terbentuknya endapan klorin pada jaringan ayam (Susanto 2014; Wibisono *et al.* 2020). Kondisi demikian dapat menjadi peluang untuk terjadinya resistensi terhadap bakteri patogen lainnya sehingga dapat mengancam kesehatan hewan, manusia dan lingkungan. Terlebih telur ayam merupakan sumber protein hewani yang murah dan mudah didapatkan oleh semua kalangan masyarakat, sehingga dengan menjamin keamanan telur ayam dari kontaminasi mikroba, secara tidak langsung dapat memperbaiki kualitas kesehatan termasuk *stunting*.

Oleh karena itu, penanganan yang tepat dan alami sangat dibutuhkan dalam mengatasi permasalahan air minum yang terkontaminasi bakteri *E. coli*. Beberapa bahan alam dikenal memiliki kandungan antimikroba seperti batuan alam zeolit dan tembaga (Cu) (Kamila *et al.* 2023). Struktur zeolit memiliki mikropori berupa saluran dan sangkar yang menjadikan molekul air dan ion bergerak bebas, terjadinya pertukaran ion, penyerapan, difusi, dehidrasi dan katalisis (Moshoeshoe *et al.* 2017). Tembaga merupakan salah satu logam berat yang memiliki sifat antimikroba,

penggabungan kedua bahan alam tersebut dapat menghasilkan komposit yang dapat dimanfaatkan sebagai filter zeolit antimikroba (Irnawati *et al.* 2010; Kamila *et al.* 2023).

Berbagai pengujian laboratorium yang dilakukan sebelum pembuatan prototipe filter zeolit antimikroba untuk memastikan keefektifan komposit sebagai agen antimikroba dan tidak adanya ion tembaga yang ikut rilis ke dalam air (Kamila *et al.* 2023). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kualitas air minum ayam setelah penerapan filter zeolit antimikroba dan menganalisis strategi penerapan filter di peternakan ayam. Urgensi dari penelitian ini dapat dilihat dari pentingnya menjamin sumber air yang terbebas dari kontaminasi mikroba patogen dan upaya sterilisasi yang aman bagi kesehatan dan lingkungan sebagaimana dimaksud dalam Undang-undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan, dan sesuai dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/*Sustainable Development Goals* (SDGs).

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari - Juli 2022 di Peternakan Ayam Antoni Layer Farm Sukabumi dan Laboratorium Terpadu Teknologi Hasil Ternak, Fakultas Peternakan, IPB. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa pengujian kandungan mikroba di laboratorium, observasi, dan wawancara mendalam (*in-depth interview*). Data sekunder diperoleh dari studi literatur.

Data kualitas air diperoleh dengan cara pengujian sampel yang diambil sebelum dan sesudah melewati filter zeolit antimikroba yang dipasang di lokasi penelitian. Pengujian sampel terhadap bakteri *E. coli* menggunakan media *Methylene Blue Agarnutrient* (EMBA), bakteri *Salmonella* menggunakan media selektif *Xylose Lysine Deoxycholate agar* (XLDA) dan pengujian total mikroba menggunakan media non selektif *Total Plate Count* (TPC).

2.2. Prosedur analisis data

Analisis data mikroba dilakukan dengan metode BAM (FDA 2001) selanjutnya kemudian dibandingkan dengan standar kualitas air minum berdasarkan PerMenKes (2017) dan SNI (2009). Analisis strategi dilakukan dengan analisis SWOT (*Strength,*

Weakness, Opportunity, Threat). Analisis SWOT fokus pada identifikasi faktor-faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi kinerja suatu proyek, sehingga dapat menerapkan strategi yang efektif untuk mencapai tujuan jangka panjang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kualitas air minum ayam

Kualitas air minum sangat penting bagi ayam karena secara langsung berdampak pada kesehatan, pertumbuhan, dan produktivitas ayam. Air sangat penting untuk berbagai fungsi fisiologis, termasuk pencernaan, penyerapan nutrisi, dan pembentukan feses. Air yang terlihat jernih, terdapat kemungkinan mengandung bahan-bahan kimia dan mikroorganisme berbahaya bagi ayam, sehingga kualitas air minum di peternakan ayam harus selalu dipantau. Berikut pengujian kualitas air minum di peternakan ayam petelur sebelum dan sesudah diberikan *treatment* filter zeolit antimikroba (**Tabel 1**).

Tabel 1. Kandungan mikrobiologi air minum sebelum dan sesudah *treatment*.

Variabel	Instalasi filter	Perlakuan zeolit		PerMenKes No. 32 Tahun 2017
		Sebelum	Sesudah	
<i>Escherichia. coli</i> (Log CFU/mL)	1	4,03	1,16	0,00
	9	2,50	0,00	
<i>Salmonella</i> (Log CFU/mL)	1	5,57	3,82	0,00
	9	5,94	0,00	
TPC (Log CFU/mL)	1	4,71	2,09	-
	9	4,73	2,02	

3.1.1. *Escherichia coli*

Escherichia coli (*E. coli*) merupakan bakteri yang bersifat anaerob fakultatif, yaitu bakteri yang masih dapat hidup pada kondisi ada sedikit oksigen. *E. coli* digolongkan ke dalam bakteri gram negatif, berbentuk batang, dan umumnya ditemukan di saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, serta di berbagai lingkungan seperti air, tanah, dan makanan. Bakteri gram negatif, sering menunjukkan resistensi yang lebih tinggi terhadap antibiotik sehingga lebih menantang untuk diobati ketika terjadinya infeksi, yang disebabkan oleh struktur dinding sel yang kompleks. Bakteri gram negatif juga sangat mudah beradaptasi dengan lingkungan yang berbeda, sehingga memungkinkan mereka untuk bertahan hidup dalam berbagai kondisi,

termasuk lingkungan yang ekstrem, dan berkontribusi pada kemampuan mereka untuk menyebabkan infeksi di lingkungan yang beragam (Xiao 2024).

Setelah dilakukan pengujian pada sampel air minum sebelum dan sesudah pemasangan filter zeolit antimikroba, terdapat perbedaan jumlah koloni bakteri di dalam air. Jumlah koloni bakteri *Escherchia coli* sebelum pemasangan filter adalah 4,03 Log CFU/mL dan 2,50 Log CFU/mL kemudian setelah pemasangan filter zeolit antimikroba terjadi penurunan jumlah bakteri *E. coli* secara signifikan menjadi 1,16 Log CFU/mL pada hari pertama dan negatif pada hari ke 9. Kandungan *E. coli* pada air minum ayam yang telah melewati filter zeolit antimikroba sesuai dengan standar kualitas air minum yang telah diatur dalam PerMenKes No. 32 Tahun 2017, yaitu negatif.

3.1.2. *Salmonella* sp.

Salmonella sp. termasuk bakteri gram negatif yang dikenal menyebabkan penyakit yang signifikan pada manusia dan hewan. *Salmonella* sp. sangat mudah beradaptasi, mampu bertahan hidup di berbagai kondisi lingkungan, termasuk makanan yang terkontaminasi, air, dan berbagai inang hewan, yang menjadikannya penyebab utama penyakit bawaan makanan bakteri secara global. Infeksi *Salmonella* sp. biasanya ditandai dengan diare, kram perut, demam, mual, muntah, dan sakit kepala. Penularan *Salmonella* sp. biasanya terjadi melalui konsumsi produk makanan yang terkontaminasi seperti daging mentah atau setengah matang, unggas, telur, dan susu, atau melalui kontak dengan hewan yang terinfeksi atau lingkungannya. Kemampuan bakteri untuk menyebabkan penyakit semakin diperumit oleh perkembangan resistensi antimikroba (AMR), yang telah diperburuk oleh penggunaan berlebihan dan penyalahgunaan antibiotik (Xiao 2024).

Berdasarkan hasil pengujian mikroba air (**Tabel 1**), kandungan bakteri *Salmonella* sp. sebelum melewati filter sangat tinggi, yaitu 5,57 Log CFU/ml dan 5,94 Log CFU/ml, setelah melewati filter jumlah *Salmonella* turun hingga negatif. Jumlah *Salmonella* sp. setelah melewati filter sudah memenuhi standar kualitas air yang ditentukan oleh PerMenKes No. 32 Tahun 2017, yaitu negatif. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Medion (2023) persentase cemaran biologi di peternakan masih sangat tinggi dengan angka cemaran pada coliform 59%, *E. coli* 27% dan *Salmonella* 37%.

Penurunan jumlah bakteri *Escherchia coli* dan *Salmonella* setelah melewati filter disebabkan oleh adanya aktivitas antimikroba dari filter zeolit. Komposit zeolit tersebut telah mengalami berbagai perlakuan diantaranya proses adsorpsi ion tembaga dan dilakukan pemanasan. Dengan adanya tahapan tersebut, filter zeolit antimikroba tidak melepaskan ion tembaga (Cu^{2+}) yang melebihi ambang batas sehingga aman untuk digunakan dalam filtrasi air minum (Kamila et al. 2023). Ion tembaga dapat mempengaruhi bakteri melalui berbagai mekanisme, termasuk adsorpsi sel bakteri pada permukaan pembawa Cu^{2+} dan interaksi langsung ion Cu^{2+} yang dipisahkan dari komposit dengan sel bakteri. Selain itu, oksida tembaga yang terbentuk pada permukaan zeolit dapat menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang mampu merusak sel bakteri (Slavin et al. 2017), sehingga kemampuan komposit tembaga zeolit secara signifikan menurunkan populasi mikroba, terutama bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella* sp. tanpa meninggalkan residu yang berbahaya di dalam air.

3.1.3. TPC (*Total Plate Count*)

Angka cemaran TPC pada pengujian kualitas air sebelum melewati filter yaitu 4,71 Log CFU/mL pada hari ke-1 dan 4,73 Log CFU/mL pada hari ke-9. Setelah penggunaan filter zeolit antimikroba angka cemaran TPC turun secara signifikan menjadi 2,09 Log CFU/mL dan 2,02 Log CFU/mL. Namun demikian angka tersebut masih tetap tinggi jika dibandingkan dengan angka maksimum kandungan TPC yang diperbolehkan di dalam air minum ayam yaitu 2 Log CFU/mL menurut Standar Nasional Indonesia 7388 (SNI 2009). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Besung et al. (2017) di peternakan ayam pedaging di Desa Mangesta Kecamatan Penebel Kabupaten Tabanan, kandungan mikroba total di dalam air minum juga melebihi batas maksimum, yaitu 171,33 CFU/ml hingga 389,78 CFU/mL. Kandungan TPC (*Total Plate Count*) air minum ayam yang tinggi dapat beresiko pada kesehatan ayam, seperti terkontaminasinya mikroba pada daging hingga telur ayam (Halimatunnisroh et al. 2017; Fauzi et al. 2023). Tangwatcharin et al. (2009) mengungkapkan bahwa *Total Plate Count* (TPC) dalam air cenderung tinggi karena kombinasi faktor yang terkait dengan kontaminasi sumber air, proses pengolahan yang tidak memadai, dan kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan mikroba.

3.2. Strategi penerapan filter antibakteri zeolit pada Peternakan Antoni Layer Farm

Analisis peluang penerapan filter zeolit fokus pada satu lokasi penelitian di Sukabumi dengan kondisi lingkungan di sekitar peternakan mempunyai rentang suhu 25°C - 28°C pada siang hari dan 16°C - 18°C pada malam hari, dengan kelembaban berkisar antara 79% - 87%. Sehingga hasil analisis strategi penerapan filter zeolit nantinya dapat digunakan pada peternakan ayam dengan kondisi lingkungan yang menyerupai.

3.2.1. Analisis matriks *internal factor analysis summary* (IFAS)

Matriks *Internal Factor Analysis Summary* (IFAS) merupakan alat perumusan strategi efektif yang membantu untuk meringkas dan mengevaluasi kekuatan dan kelemahan utama yang dimiliki sebuah proyek dalam melakukan strategi pengembangan (Suhendah et al. 2022). Kekuatan (*Strengths*) diartikan sebagai potensi atau keunggulan yang dapat dikembangkan secara optimal pada masa depan, sedangkan kelemahan diartikan dengan faktor-faktor internal yang dapat menghambat kemampuan suatu rencana untuk mencapai tujuannya. Menurut Jesus et al. (2022) kelemahan dapat bermanifestasi dalam berbagai bentuk, seperti keterbatasan sumber daya, inefisiensi operasional, atau kesenjangan dalam kemampuan (Jesus et al. 2022) (**Tabel 2**).

Tabel 2. Matriks *Internal Factor Analysis Summary* (IFAS).

IFAS	Bobot	Rating	Skor
A. Kekuatan (<i>Strength</i>)			
1. Sumberdaya pembuatan filter zeolit antimikroba melimpah di alam	0,133	4	0,533
2. Efektivitas untuk menurunkan jumlah bakteri <i>E. coli</i> dan <i>Salmonella</i>	0,167	4	0,667
3. Meningkatkan kualitas telur	0,133	3	0,400
4. Tidak meninggalkan residu yang berbahaya di dalam air	0,156	4	0,622
5. Tidak menyisakan limbah bagi lingkungan	0,156	4	0,622
B. Kelemahan (<i>Weakness</i>)			
1. Filter zeolit antimikroba masih memerlukan pengembangan dan penelitian lanjutan	0,133	2	0,267
2. Belum tersedia akses pasar	0,122	1	0,122
Total	1,00		3,233

Berdasarkan hasil analisis matriks IFAS menunjukkan bahwa kekuatan utama dalam strategi pengembangan filter zeolit antimikroba adalah efektivitas filter untuk menurunkan jumlah bakteri *E. coli* dan *Salmonella* dengan skor tertinggi yaitu 0,667. Kemudian kekuatan lain yang memiliki skor tinggi adalah tidak meninggalkan residu yang berbahaya di dalam air dan filter zeolit tersebut tidak menyisakan limbah bagi lingkungan. Sementara hasil analisis matriks IFAS yang menunjukkan kelemahan terletak pada belum tersedianya akses pasar.

Skor total dari perhitungan matriks IFAS adalah 3,233. Skor tersebut menunjukkan posisi internal untuk pengembangan filter zeolit antimikroba termasuk dalam kategori kuat. Namun demikian, kelemahan yang ada harus tetap di perbaiki sehingga pengembangan dan penerapan filter di peternakan ayam lebih optimal.

3.2.2. Analisis matriks *eksternal factor analysis summary* (EFAS)

Matriks EFAS adalah alat strategis yang digunakan untuk mengevaluasi faktor-faktor eksternal yang dapat berdampak pada suatu proyek, yang dikategorikan ke dalam peluang dan ancaman (Widiastuti *et al.* 2018). Matriks IFAS berhubungan erat dengan matriks EFAS dalam memberikan pendekatan terstruktur untuk menganalisis faktor internal dan eksternal, yang penting untuk perencanaan strategis (Suhendah *et al.* 2022). Dalam penelitian Shpak *et al.* (2021) mengungkapkan bahwa perencanaan pengembangan strategis harus mempertimbangkan faktor lingkungan internal dan eksternal untuk meningkatkan efisiensi pasar tenaga kerja dan efektivitas manajemen secara keseluruhan. Shpak *et al.* (2021) juga menambahkan bahwa pemahaman yang komprehensif tentang faktor-faktor eksternal di seluruh aspek lingkungan, sosial budaya, ekonomi, dan kesehatan sangat penting untuk perencanaan strategis dan pengambilan keputusan yang efektif di berbagai sektor, memastikan ketahanan dan kemampuan beradaptasi dalam menghadapi tantangan eksternal.

Analisis faktor eksternal terdiri dari analisis peluang dan ancaman. Menurut Kumar dan Pravena (2023) peluang diartikan sebagai situasi yang menguntungkan untuk merencanakan dan melaksanakan strategi secara optimal. Dalam studi ini salah satu peluang penerapan filter zeolit antimikroba di peternakan ayam dapat ditinjau dari aspek *sustainability* atau keberlanjutan. Menurut Gunnarsson *et al.* (2020), mewujudkan keberlanjutan lingkungan di peternakan unggas harus memperhatikan segala aspek sebagai dampak dari proses produksi, seperti dampak lingkungan dari

produksi pakan, polusi yang disebabkan oleh sistem produksi, dan pengelolaan produk limbah berbahaya yang dihasilkan. Sedangkan ancaman merupakan elemen eksternal tetapi dapat menjadi faktor penghambat dan situasi yang tidak menguntungkan. Namun apabila ancaman ini dapat dinilai secara menyeluruh, maka strategi yang tepat dapat dikembangkan untuk mengurangi risiko dan meningkatkan kinerja secara keseluruhan (**Tabel 3**).

Tabel 3. Hasil perhitungan faktor eksternal SWOT.

EFAS	Bobot	Rating	Skor
A. Peluang (<i>Opportunities</i>)			
1. Meningkatnya tren <i>green production</i>	0,222	3	0,667
2. Regulasi pemerintah terkait keamanan pangan (<i>food safety</i>)	0,278	4	1,111
3. Ratifikasi SDGS	0,194	4	0,778
B. Ancaman (<i>Threats</i>)			
1. Penggunaan disinfektan dan antibiotik masih menjadi pilihan utama peternak ayam	0,167	1	0,167
2. Persepsi masyarakat terhadap produk baru	0,139	2	0,278
Total	1,00		3,000

Berdasarkan hasil analisis matriks EFAS, peluang terbesar untuk menerapkan filter zeolit antimikroba secara luas di peternakan ayam karena adanya regulasi dari pemerintah yang mengatur tentang keamanan pangan dari cemaran mikroba mulai dari tahap produksi hingga dapat dikonsumsi oleh masyarakat. Begitu pula tujuan pembangunan berkelanjutan/ *sustainable development goals* (SDGs) yang diatur oleh PBB, sehingga tujuan untuk mewujudkan keamanan pangan dan terpenuhinya gizi masyarakat menjadi tujuan secara global.

Meningkatnya tren *green production* juga menjadi peluang untuk merumuskan strategi penerapan filter zeolit antimikroba di peternakan ayam. *Green production* atau produksi hijau sebagai salah satu aspek yang harus diwujudkan demi mencapai *sustainability* memainkan peran penting dalam meningkatkan keberlanjutan lingkungan dan berdampak pada kesejahteraan sosial. Upaya *green production* meminimalkan dampak lingkungan, mengurangi risiko kesehatan yang terkait dengan *input* sintetis, dan memelihara ekosistem yang lebih sehat.

Istilah *green production* juga didukung oleh kehadiran *green consumer* (konsumen hijau) yang memiliki preferensi ramah lingkungan, dengan fokus pada atribut lingkungan dan fisik produk. Lebih lanjut Zhang *et al.* (2019) dalam

penelitiannya menjelaskan bahwa proporsi konsumen ramah lingkungan, preferensi konsumen ramah lingkungan, dan parameter manfaat lingkungan diidentifikasi sebagai faktor yang mempengaruhi hasil kesejahteraan sosial. Sehingga berdasarkan kesimpulan dalam penelitian Zhang *et al.* (2019) Filter zeolit antimikroba yang dikembangkan dengan material alami dan tidak meninggalkan residu berbahaya memiliki peluang untuk dilirik oleh *green consumer* untuk diterapkan di usahanya.

Ancaman terbesar terletak pada penggunaan disinfektan dan antibiotik yang masih menjadi pilihan utama peternak ayam. Studi menemukan bahwa penggunaan antibiotik dalam sistem peternakan ayam komersial kecil di Indonesia sangat tinggi, akses untuk mendapatkan obat-obatan tersebut melalui toko obat hewan lokal dengan minimnya saran dokter hewan tentang penggunaan antibiotik yang tepat dan bertanggung jawab. Biaya penggunaan antibiotik juga relatif rendah dengan produktivitas tinggi terhadap ayam yang diberikan secara rutin (Coyne *et al.* 2020).

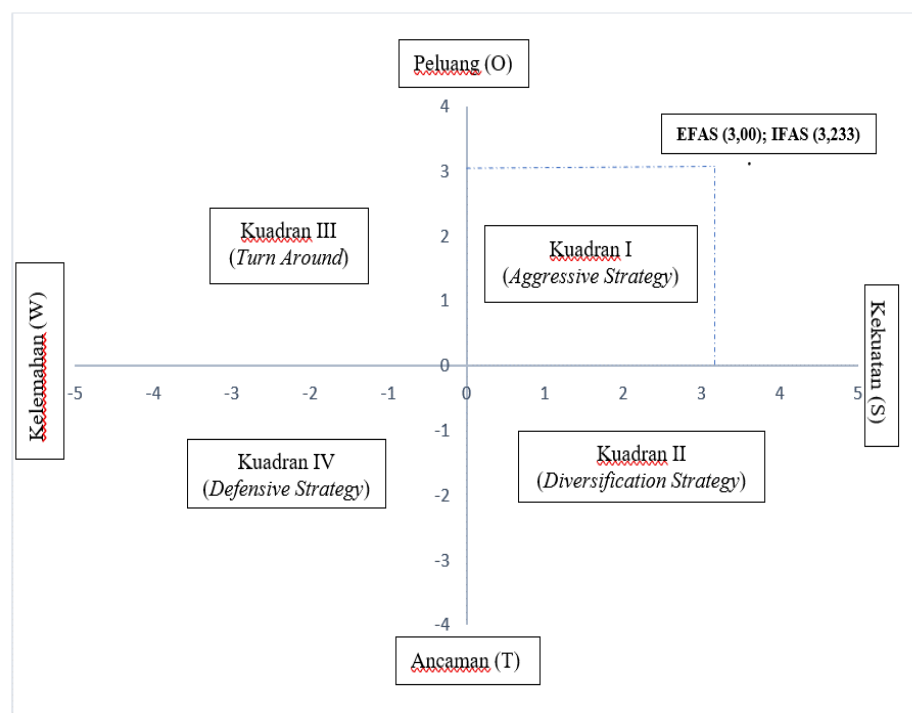
Ancaman di segi persepsi masyarakat terhadap produk baru juga menjadi masalah untuk dapat diterapkannya filter zeolit antimikroba di peternakan ayam secara meluas. Berdasarkan penelitian di Jawa Barat yang menyoroti prevalensi resistensi antibiotik yang tinggi pada *Staphylococcus aureus* di semua sampel (Rahayu *et al.* 2023). Penelitian di Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Jawa Timur mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi keputusan penggunaan antibiotik oleh peternak, seperti tekanan keuangan, kurangnya pemahaman tentang penggunaan antibiotik, dan kurangnya layanan veteriner pemerintah (Hibbard *et al.* 2023). Selanjutnya, penelitian yang dilakukan di Bogor, Jawa Barat, menemukan bahwa 78% peternak ayam pedaging menggunakan antibiotik, dan terdapat hubungan antara penggunaan antibiotik oleh peternak ayam pedaging dengan pengetahuan serta sikap mereka terhadap resistensi antibiotik (Efendi *et al.* 2022).

Begitu halnya dengan penggunaan disinfektan berbasis klorin. Disinfektan klorin sudah digunakan sejak lama oleh peternak ayam untuk mengendalikan toleransi bakteri dan resistensi antibiotik dalam rantai pasokan unggas. Penggunaan disinfektan klorin di peternakan ayam sudah merupakan praktik umum yang dilakukan secara global, termasuk di negara-negara seperti China dan Korea (Xiao *et al.* 2022). Penggunaan disinfektan dan antibiotik yang sudah lama digunakan oleh peternak ayam dapat menjadi ancaman terhadap filter zeolit antimikroba, karena

dikhawatirkan peternak akan lebih memilih produk yang telah lama mereka gunakan dibanding mencoba produk baru.

3.2.3. Matriks internal eksternal (IE)

Hasil analisis IFAS dan EFAS dikombinasi ke dalam matriks IE untuk mengetahui posisi atau letak kondisi yang ada sehingga menjadi pedoman dan acuan dalam mengambil keputusan untuk menentukan strategi penerapan filter zeolit antimikroba secara luas di peternakan ayam. Matriks IE dibentuk oleh pertemuan dua sumbu utama, yaitu sumbu X sebagai skor total IFAS dan sumbu Y yang merupakan skor total dari EFAS. Hasil kuadran disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Matriks kuadran IFAS dan EFAS strategi optimalisasi penerapan filter zeolit antimikroba.

Berdasarkan nilai IFAS (3,233) dan EFAS (3,000) berada pada posisi kuadran I (*Agresive strategy*). Kondisi ini menunjukkan bahwa strategi penerapan filter zeolit antimikroba di peternakan ayam secara luas memiliki derajat kekuatan dan peluang yang lebih tinggi dibandingkan dengan kelemahan dan ancaman yang memiliki derajat yang rendah, sehingga berpotensi untuk berkembang secara signifikan dan ekspansi pasar. Menurut David (2017), pengembangan produk dapat menjadi strategi yang efektif ketika; 1) produk yang dilakukan dapat memuaskan konsumen; 2) teknologi yang digunakan berkembang cepat; 3) penelitian dan pengembangan terus dilakukan.

Ketika suatu analisis IE berada pada kuadran I bermakna bahwa proyek tersebut memiliki strategis yang sangat baik, konsentrasi pada pasar/produk yang ada saat ini, dan ambil risiko secara agresif bila diperlukan (David 2017).

Berada pada kuadran pertama dari analisis IE sering disebut sebagai kuadran “Kekuatan-Peluang” (SO), karena dapat mewakili posisi yang menguntungkan bagi suatu proyek yang sedang dikembangkan. Posisi kuadran I menunjukkan posisi internal yang kuat dan ditempatkan dengan baik untuk memanfaatkan peluang eksternal, sehingga harus bergerak secara agresif memanfaatkan kekuatannya untuk memanfaatkan peluang pasar. Berdasarkan posisi ini, filter zeolit antimikroba dapat diterapkan pada beberapa peternakan dengan kondisi iklim yang menyerupai sebagai pilot proyek dengan melibatkan kerja sama antara pemerintah dan peternak yang sudah menerapkan konsep *green production*.

3.2.4. Perumusan matriks strategi penerapan filter zeolit antimikroba

Menurut Safitri et al. (2023) perumusan matriks SWOT melibatkan analisis sistematis kekuatan dan kelemahan internal, serta peluang dan ancaman eksternal, untuk mengembangkan rencana strategis yang memanfaatkan kekuatan, mengurangi kelemahan, memanfaatkan peluang, dan menangkal ancaman. Strategi terpilih untuk penerapan filter zeolit antimikroba di peternakan ayam berdasarkan hasil SWOT dapat diperoleh 9 strategi. Penentuan standar strategi dengan memaksimalkan kekuatan dan peluang yang ada dan meminimalkan kelemahan dan ancaman yang terjadi. Adapun 9 strategi tersebut meliputi Strategi SO (*Strengths-Opportunities*), WO (*Weakness-Opportunities*), ST (*Strengths-Threats*) dan WT (*Weakness-Threats*) seperti pada **Tabel 4**.

Berdasarkan **Tabel 4** strategi agresif yang disusun dengan mengandalkan kekuatan internal dan peluang eksternal, yaitu (1) mengoptimalkan efektivitas antimikroba pada filter zeolit tanpa meninggalkan residu berbahaya; (2) mempertahankan standar keamanan bagi produk turunannya, dan (3) menerapkan filter zeolit antimikroba pada beberapa peternakan sebagai pilot proyek dengan melibatkan pemerintah.

Tabel 4 Perumusan strategi penerapan filter zeolit antimikroba

Faktor Internal Faktor Eksternal	Kekuatan (S)	Kelemahan (W)
	1. Sumberdaya pembuatan filter zeolit antimikroba melimpah di alam (S1) 2. Efektivitas untuk menurunkan jumlah bakteri <i>E. coli</i> dan <i>Salmonella</i> (S2) 3. Meningkatkan kualitas telur (S3) 4. Tidak meninggalkan residu yang berbahaya di dalam air (S4) 5. Tidak menyisakan limbah bagi lingkungan (S5)	1. Filter zeolit antimikroba masih memerlukan pengembangan dan penelitian lanjutan (W1) 2. Belum tersedia akses pasar (W2)
Peluang (O)	Strategi SO <i>(Strengths-Opportunities)</i> 1. Mengoptimalkan efektivitas antimikroba pada filter zeolit tanpa meninggalkan residu berbahaya (S1, S2, S4, O1, O2) 2. Mempertahankan standar keamanan bagi produk turunannya (S3, O2, O3) 3. Menerapkan filter zeolit antimikroba pada beberapa peternakan sebagai pilot proyek dengan melibatkan pemerintah (S2, S4, S5, O1, O2, O3).	Strategi WO <i>(Weakness - Opportunities)</i> 1. Melibatkan pemerintah dalam pengembangan filter zeolit antimikroba (W1, O2, O3) 2. Menentukan posisi pasar strategis sekaligus memperluas promosi keunggulan filter zeolit antimikroba (W2, O1)
Ancaman (T)	Strategi ST <i>(Strengths-Threats)</i> 1. Menekankan pentingnya pendidikan dan kesadaran dalam penggunaan antibiotik dan disinfektan kepada peternak melalui pelatihan berkelanjutan (T1, S5, S4, S5) 2. Penyuluhan peternakan harus berperan aktif dalam memberikan bimbingan terkait manajemen pertanian yang selaras dengan lingkungan dan kesehatan (T2, S4, S5)	Strategi WT <i>(Weakness - Threats)</i> 1. Penelitian lanjutan dilakukan bersamaan dengan edukasi terkait efek samping penggunaan antibiotik dan disinfektan (W1, T1) 2. Melakukan kerja sama dengan peternak untuk mengaplikasikan filter zeolit antimikroba di peternakannya (W2, T2)

Menurut Nardila *et al.* (2024), strategi agresif merupakan jenis pendekatan pemasaran yang berfokus pada secara aktif mencari peluang untuk tumbuh dan memperluas bisnis, sering kali dengan mengambil langkah-langkah berani dan proaktif untuk meningkatkan pangsa pasar dan meningkatkan posisi kompetitif. Dalam perumusan strategi penerapan filter zeolit antimikroba, pengembangan produk dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dan preferensi konsumen agar dapat menarik konsumen, dalam hal ini adalah peternak ayam untuk menggunakan filter zeolit sebagai alat sterilisasi air minum. Peluang yang tersedia dalam perumusan strategi penerapan filter zeolit antimikroba juga dapat mempercepat penerapan produk filter zeolit di peternakan ayam untuk menggantikan penggunaan antibiotik dan klorin, sehingga melibatkan pemerintah untuk menerapkan filter zeolit pada beberapa peternakan ayam yang memiliki kondisi lingkungan sama dapat mempercepat pengenalan filter kepada masyarakat terutama peternak ayam.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan filter zeolit antimikroba di lokasi penelitian efektif menurunkan jumlah bakteri *E. coli* dan *Salmonella* menjadi negatif di dalam air minum ayam tanpa meninggalkan residu yang dapat membahayakan kesehatan ayam, lingkungan, dan manusia. Filter zeolit antimikroba dapat digunakan untuk mensterilkan air minum dari kontaminasi *E. coli* dan *Salmonella* di peternakan ayam baik skala besar atau skala kecil dengan kondisi iklim mikro seperti di Sukabumi serta berpotensi untuk digunakan pada skala rumah tangga.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPDP yang telah mendanai penelitian dan publikasi ini melalui skema Riset dan Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) dengan Nomor Kontrak 76/IV/KS/11/2022 dan Nomor 10279/IT3. L1/PT.01.03/P/B/2022. Terima kasih kepada Elfa Aida Kamila SSi. MSi, yang telah memberikan bantuan teknisnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ali SA, Abusiwi SB, Haouissa SA, Othman K, Azaz SA and Amer IO. 2020. Evaluation of

- microbial contamination of chicken eggs from different poultry farms in al Zawia Region. *Sci J Appl Sci Sabratha Univ* 3(1):56–61.
- Besung INK, Putra IPYP dan Suarjana IGK. 2017. Total bakteri pada air minum di peternakan ayam pedaging Desa Mengesta Kecamatan Penebel Kabupaten Tabanan. *Bul Vet Udayana* 9(2):145–149.
- Coyne L, Patrick I, Arief R, Benigno C, Kalpravidh W, McGrane J, Schoonman L, Sukarno AH and Rushton J. 2020. The costs, benefits and human behaviours for antimicrobial use in small commercial broiler chicken systems in Indonesia. *Antibiotics* 9(4):1–15.
- David F. 2017. Management strategies. 13th ed. Francis Marion University. Florence.
- Efendi R, Sudarnika E, Wibawan IWT and Purnawarman T. 2022. An assessment of knowledge and attitude toward antibiotic misuse by small-scale broiler farmers in Bogor, West Java, Indonesia. *Vet World* 15(3):707–713.
- Fauzi M, Arief II and Abidin Z. 2023. Water filter application with zeolite composite material in laying hens farm towards the egg quality. *J Indones Trop Anim Agric* 48(164):1–14.
- [FDA] Food & Drug Administration. 2001. Bacteriological analytical manual. US Food & Drug Administration. US.
- Gunnarsson S, Segerkvist KA, Wallgren T, Hjelmstedt P, Sonesson U and Hansson H. 2020. Systematic mapping of research on farm-level sustainability in finfish aquaculture. *Sustain* 12(23):1–13.
- Halimatunnisroh R, Yudiarti T dan Sugiharto. 2017. Jumlah coliform, BAL dan total bakteri usus halus ayam broiler yang diberi kunyit (*Curcuma domestica*). *J Peternak Indones* 19(2):79–84.
- Hibbard R, Chapot L, Yusuf H, Ariyanto KB, Maulana KY, Febriyani W, Cameron A, Vergne T, Faverjon C and Paul MC. 2023. “It’s a habit. They’ve been doing it for decades and they feel good and safe.”: A qualitative study of barriers and opportunities to changing antimicrobial use in the Indonesian poultry sector. *PLOS ONE* 18(10):e0291556.
- Medion. 2023. Strategi berantas colibacillosis pada ayam. Info Medion Edisi September. Bandung: Medion.
- Irnawati D, Agustiono P dan Wardhani EH. 2010. Pengaruh konsentrasi Cu dalam Cu-

- zeolit terhadap daya antibakteri pada *Streptococcus mutans*. Jurnal Zeolit Indonesia 9(2):47–53.
- Jesus TS, Mani K, Bhattacharjya S, Kamalakannan S, Von Zweck C, Ledgerd R and Federation of World Occupational Therapists. 2022. Strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) analysis for the strengthening of the occupational therapy workforce. Authorea Preprints.
- Kamila E, Abidin Z, Arief I and Trivadila T. 2023. Synthesis, characterization, antibacterial activity, and its potential application for water filter of copper oxide/zeolite composite. Journal of Water and Environment Technology Manuscript 434:1–5.
- Kemmett K, Williams NJ, Chaloner G, Humphrey S, Wigley P and Humphrey T. 2014. The contribution of systemic *Escherichia coli* infection to the early mortalities of commercial broiler chickens. Avian Pathol 43(1):37–42.
- Kumar S and Pravena K. 2023. SWOT analysis. Int J Adv Res. 8(8):784–791.
- Maharjan P, Clark T, Kuenzel C, Foy MK, Watkins S. 2016. On farm monitoring of the impact of water system sanitation on microbial levels in broiler house water supplies. J Appl Poult Res 25(2):266–271.
- Moshoeshoe M, Silas Nadiye-Tabbiruka M and Obuseng V. 2017. A review of the chemistry, structure, properties and applications of zeolites. Am J Mater Sci 2017(5):196–221.
- Nardila M, Wilujeng G, Desitama FS dan Sari R. 2024. Analisis strategi pemasaran dengan menggunakan metode SWOT pada Rumah Makan Griyo Semar Mesem. J Kaji Ekon dan Bisnis Islam 5(4):2652–2670.
- [PerMenKes] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan higiene sanitasi, kolam renang, solus per aqua dan pemandian umum. 2017.
- Rahayu T, Amarullah MR, Yabansabra A, Dixit A, Syazali M and Hermana NSP. 2023. Antibiotic resistance patterns of *Staphylococcus aureus* in chicken farms: implications for health resilience in Indonesia. Int J Appl Math Sci Technol Natl Def 1(2):37–44.
- Safitri RN, Arbainah S and Karyanti TD. 2023. Formulation of business strategy using

- SWOT method and quantitative strategic planning matrix (QSPM): (case study Surya Boutique Hotel Semarang). *Appl Account Manag Rev* 2(1):59.
- Shpak N, Muzychenko-Kozlovska O, Gvozd M and Sroka W. 2021. Simulation of the influence of external factors on the level of use of the regional tourism potential: a practical aspect. *Adm Sci* 11(3). doi:10.3390/admsci11030085.
- Slavin YN, Asnis J, Häfeli UO and Bach H. 2017. Metal nanoparticles: understanding the mechanisms behind antibacterial activity. *J Nanobiotechnology* 15(1):1–21.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 7388 tahun 2009 tentang batas maksimum cemaran mikroba dalam pangan. 2009.
- Srinivasan P, Balasubramaniam GA, Murthy TRGK and Balachandran P. 2013. Bacteriological and pathological studies of egg peritonitis in commercial layer chicken in Namakkal Area. *Asian Pac J Trop Biomed* 3(12):988–994.
- Suhendah R, Angelina A, Ricardo R and Stevansyah N. 2022. MSME business management and development with ife-efe matrix. *J Innov Community Engagem* 3(3):175–188.
- Susanto E. 2014. *Escherichia coli* yang resisten terhadap antibiotik yang diisolasi dari ayam broiler dan ayam lokal di Kabupaten Bogor [Tesis]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Swelum AA, Elbestawy AR, El-Saadony MT, Hussein EOS, Alhotan R, Suliman GM, Taha AE, Ba-Awadh H, El-Tarabily KA and El-Hack MEA. 2021. Ways to minimize bacterial infections, with special reference to *Escherichia coli*, to cope with the first-week mortality in chicks: an updated overview. *Poult Sci* 100(5):101039.
- Tangwatcharin P, Laehlah S, Hendeen F and Pechkeo W. 2009. Recontamination of total plate count, coliforms and *Escherichia coli* in drinking water. *Asian J Food Agro-Industry* 2(4):144–149
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012 tentang pangan.
- Wibisono FJ, Sumiarto B, Untari T, Effendi MH, Permatasari DA dan Witaningrum AM. 2020. Prevalensi dan analisis faktor risiko multidrug resistance bakteri *Escherichia coli* pada ayam komersial di Kabupaten Blitar. *J Ilmu Peternak dan Vet Trop (Journal Trop Anim Vet Sci)* 10(1):15.
- Widiastuti T, Rusydiana AS and Firmansyah I. 2018. Development strategy for Islamic microfinance institution in Indonesia. *Ifas-Efas Matrix Approach* 1:707–711.

- Xiao X, Bai L, Wang S, Liu L, Qu X, Zhang J, Xiao Y, Tang B, Li Y, Yang H and Wang W. 2022. Chlorine tolerance and cross-resistance to antibiotics in poultry-associated *Salmonella* isolates in China. *Front Microbiol* 12:1–11.
- Xiao Z. 2024. Antimicrobial resistance mechanisms of gram-positive and gram-negative bacteria. *McGill Sci Undergrad Res J*. 19(1):47–51.
- Zhang Z, Wang Y, Meng Q, Luan X. 2019. Impacts of green production decision on social welfare. *Sustain* 11(2):1–16.

Identifikasi jenis pohon riparian dan kualitas mata air di Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang

Identification of riparian trees and springs water quality in West Amarasi District, Kupang Regency

Agnes Manewalu¹, Netri Taloim¹, Joana Da Conceicao Belo¹, Yustina Yeni¹, Chatarina
Gradict Semiun^{1*}

¹Program Studi Biologi, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang, Indonesia

Abstrak

Pohon riparian berperan sebagai bioindikator dan agen proses fitoremediasi untuk menjaga kualitas air. Tujuan penelitian yaitu untuk mengidentifikasi pohon riparian dan kualitas air di beberapa sumber mata air Kecamatan Amarasi Barat. Metode yang digunakan dalam riset ini adalah *Quadrat Sampling Technique* yang dilakukan secara acak. Di setiap plot, peneliti melakukan identifikasi tumbuhan. Selain itu, dilakukan pengambilan data parameter abiotik kualitas air seperti DO, TDS, suhu air, pH, konduktivitas, salinitas, BOD, COD, TSS dan Pb. Analisis data meliputi indeks keanekaragaman Shannon-Wiener dan analisis gap antara data parameter kualitas air dengan kriteria kualitas air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 (kelas 1). Hasil penelitian menunjukkan Mata Air Toobaun terdiri dari 18 jenis pohon riparian, Mata Air Nekbaun 14 jenis dan Mata Air Merbaun terdiri dari 7 jenis dengan indeks keanekaragaman berkisar sangat buruk dan sedang. Selanjutnya, parameter kualitas air yang belum memenuhi kriteria kualitas air meliputi BOD, COD dan Pb.

Kata kunci: kualitas air, mata air, pohon riparian, Nusa Tenggara Timur, bioindikator

Abstract

Riparian trees act as bioindicators and phytoremediators to maintain water quality. This research aimed at identifying riparian trees and water quality in several springs in West Amarasi sub-district. The method used in this research was Quadrat Sampling Technique which was carried out randomly. In each plot, researchers carried out plant identification. In addition, abiotic data were collected on water quality parameters (DO, TDS, water temperature, pH, conductivity, salinity, BOD, COD, TSS and Pb). Data analysis included the Shannon-Wiener diversity index and gap analysis between physical and chemical water parameter data and water quality criteria according to PP RI Number 22 of 2021 (Class I). The results found that Toobaun springs consisted of 18 types of riparian trees, 14 types of Nekbaun springs. Meanwhile, in Merbaun springs there were 7 types, with a diversity index ranging from very poor to moderate. Furthermore, water quality parameters that did not fulfill the water quality criteria include BOD, COD and Pb.

Keywords: water quality, springs, riparian trees, Nusa Tenggara Timur, bioindicators

1. PENDAHULUAN

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) memiliki iklim kering semi-arid, dengan musim kemarau delapan bulan dan musim hujan empat bulan. Kondisi ini berpengaruh terhadap ketersediaan air khususnya di sumber mata air. Sumber mata air sangat berperan penting bagi makhluk hidup terlebih khusus bagi kebutuhan manusia dalam kehidupan sehari-harinya. Mata air sangat diperlukan untuk keperluan rumah tangga, aktivitas pertanian, peternakan dan perikanan (Bano *et al.* 2023). Aktivitas manusia dapat meningkatkan jumlah sampah apabila tidak dikelola dengan baik yang selanjutnya berdampak pada penurunan kualitas mata air yang dikaitkan dengan keberadaan vegetasi riparian dan air di sumber mata air.

* Korespondensi Penulis
Email : chatarinagr4dict@unwira.ac.id

Air dari mata air biasanya berkualitas baik, jernih, tawar dan menyejukkan (Sudarmadji *et al.* 2016). Kualitas air yang baik dapat diukur dari beberapa parameter fisika, kimia dan biologi. Parameter fisika meliputi suhu, salinitas, warna, padatan terlarut, daya hantar listrik, tingkat kekeruhan, rasa dan bau. Parameter kimia mencakup pH, oksigen terlarut, BOD, kadar logam dan kandungan ion. Parameter biologi meliputi keberadaan mikroorganisme yang terkandung di dalam air seperti bakteri *coliform*, virus dan plankton. Ketersediaan air yang berkualitas bagus dapat dipengaruhi oleh dua faktor yakni faktor alami dan faktor non-alami. Faktor non-alami terjadi akibat aktivitas manusia seperti limbah pertanian, limbah domestik, cuci, mandi dan pengairan. Faktor alami salah satunya adalah keberadaan vegetasi.

Vegetasi mencakup keseluruhan tumbuhan di suatu area yang berperan sebagai area penutup lahan yang terdiri dari habitus herba, perdu dan pohon (Maghfirah *et al.* 2020). Vegetasi yang paling sering mendapat tekanan aktivitas antropogenik adalah vegetasi pohon mata air atau biasa disebut pohon riparian. Pohon riparian memiliki peranan ekologis yang sangat penting, di antaranya menjaga kualitas air, pemasok serasah, sebagai habitat dan penyaring alami berbagai polutan (Semiun *et al.* 2020; Liunima *et al.* 2022). Fungsi lain pohon riparian adalah sebagai bioindikator kualitas lingkungan yaitu sebagai pendeteksi perubahan yang terjadi di lingkungan sehingga dapat memprediksi level gangguan pada lingkungan tersebut (Parmar *et al.* 2016).

Selain itu pohon riparian juga digunakan untuk meremediasi limbah organik dan anorganik sehingga kualitas air tetap terjaga dan menjadi lebih baik. Proses ini dikenal dengan istilah fitoremediasi. Tumbuhan fitoremediasi memiliki karakteristik yang khas seperti pertumbuhan yang cepat, biomassa yang tinggi, sistem perakaran yang kuat dan dalam dan kemampuan mengakumulasi konsentrasi polutan yang tinggi (Irawanto dan Afifudin 2024). Fitoremediasi adalah teknik yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan, menstabilkan, melumpuhkan, atau menghancurkan polutan baik senyawa organik maupun anorganik dari tanah dan air. Keberadaan pohon juga merupakan salah satu cara untuk mempertahankan kekuatan tanah dan kondisi mata air di dalamnya (Wahyunah *et al.* 2016). Pengolahan dan pelestarian pohon riparian dibutuhkan agar kualitas air di suatu ekosistem tetap terjaga

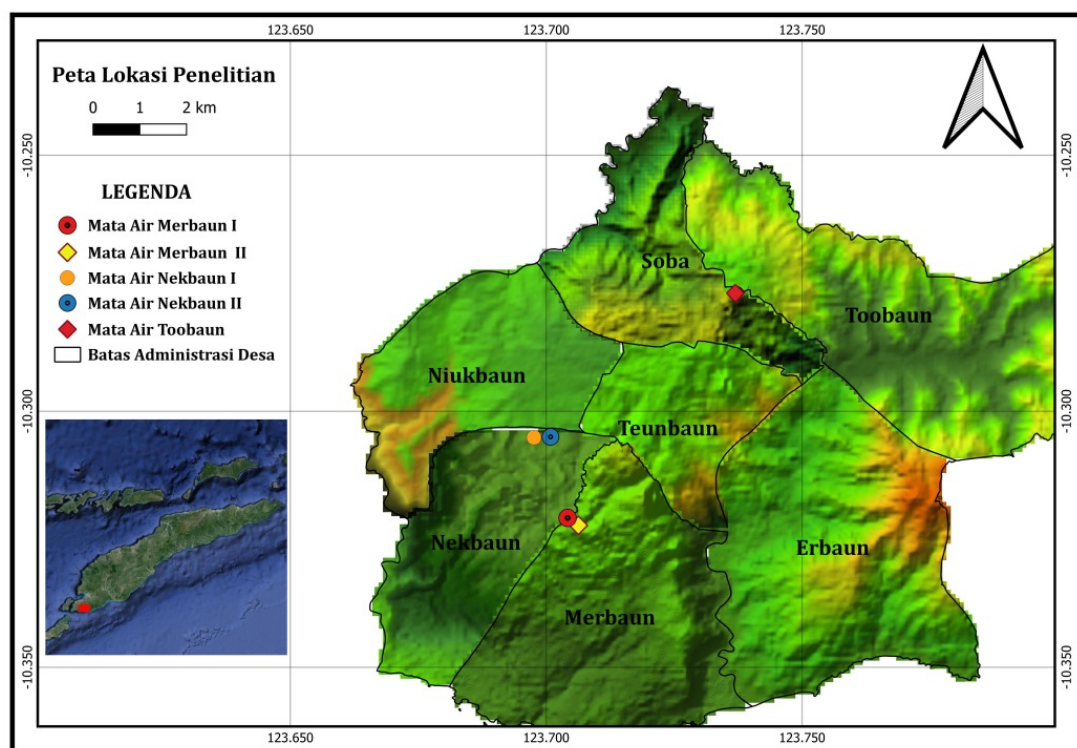
Penelitian tentang pohon riparian dalam menentukan kualitas mata air sudah dilakukan, namun kaitannya dengan kualitas air masih minim informasi, sehingga sebagai langkah awal sangat penting untuk mengidentifikasi jenis pohon riparian

melalui pendataan jenis pohon riparian dan kualitas air di mata air. Informasi yang diperoleh dapat dijadikan rekomendasi strategi yang tepat dalam rangka restorasi, rehabilitasi dan remediasi pohon riparian dan mata air yang telah mengalami degradasi.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Maret sampai Juli tahun 2024 di beberapa mata air Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Terdapat tiga desa yang menjadi lokasi penelitian, yaitu Desa Toobaun (Mata Air Toobaun), Desa Nekbaun (Mata Air Nekbaun 1 dan Nekbaun 2) dan Desa Merbaun (Mata Air Merbaun1 dan Merbaun 2) seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel.

2.2. Alat dan bahan

Alat yang digunakan meliputi GPS *Multiparameter Digital*, kamera, meter roll 50 m dan 100 m, tali rafia, etiket gantung, gunting dan alat tulis-menulis. Bahan yang digunakan adalah pohon riparian dan sampel air yang terdapat di mata air.

2.3. Prosedur Kerja

2.3.1. Pengambilan data pohon riparian

Pengambilan data pohon menggunakan *Quadrat Sampling Technique* (Fathoni *et al.* 2021) yang dilakukan secara acak. Di setiap plot, peneliti melakukan identifikasi tumbuhan. Pengenalan nama tumbuhan menggunakan nama lokal, yang dirujuk ke nama ilmiah atau nama binomial (Banilodu *et al.* 2018).

2.3.2. Pengambilan data kualitas fisika-kimia air

Pengukuran parameter kualitas fisika-kimia air terdiri atas *Dissolve Oxygen* (DO), *Total Dissolved Solids* (TDS), suhu air, pH, konduktivitas, salinitas, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan Timbal. Pengukuran suhu, TDS, konduktivitas, salinitas dan pH dilakukan secara langsung di lokasi, sedangkan untuk pengukuran parameter lainnya dilakukan di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur.

2.4. Analisis Data

Analisis data menggunakan Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (Liunima *et al.* 2022) seperti pada **Persamaan 1** dengan kategori indeks keanekaragaman pada **Tabel 1**.

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

H' = Indeks Shanon-Wiener

P_i = Proporsi kerapatan jenis ke $i = (n_i/N)$

n_i = Kerapatan jenis ke i

N = Kerapatan seluruh jenis

Tabel 1. Kategori indeks keanekaragaman (H').

Interval nilai (H')	Kategori
< 1,5	Sangat buruk
1,5 – 2,0	Buruk
2,6 – 3,0	Sedang
2,6 – 3,0	Baik
> 3,0	Sangat baik

Selanjutnya profil kualitas air di lokasi pengamatan dikaji menggunakan analisis gap (Semiun *et al.* 2023), yaitu membandingkan antara data variabel fisika kimia kualitas air yang diperoleh di lapangan dengan kriteria baku mutu kualitas air berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021. Variabel yang dapat mencapai kriteria baku mutu yang ditetapkan selanjutnya menjadi keunggulan. Sebaliknya, jika variabel tidak memenuhi baku mutu maka dianggap menjadi kelemahan dan berpotensi menjadi permasalahan ekologis di kemudian hari.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jenis pohon riparian yang ditemukan di mata air

Penelitian telah dilakukan di lima titik mata air yang berlokasi di tiga desa yaitu Toobaun (1 titik), Merbaun (2 titik) dan Nekbaun (2 titik). Berdasarkan hasil penelitian (**Tabel 2**), di Mata Air Toobaun ditemukan sebanyak 18 jenis pohon dari 13 famili dengan total 50 individu. Di Mata Air Nekbaun ditemukan sebanyak 14 jenis pohon dari 8 famili dengan total 84 individu. Mata Air Merbaun ditemukan sebanyak 7 jenis pohon dari 5 famili dengan total 52 individu. Dari ketiga lokasi tersebut, tumbuhan yang paling sering ditemukan berasal dari famili Arecaceae yaitu *Cocos nucifera* L., *Arenga pinnata*, *Areca catechu* L. dan *Corypha utan* Lamk. Jenis tumbuhan ini sengaja ditanam untuk memenuhi kebutuhan social-ekonomi masyarakat.

Tumbuhan dari famili Arecaceae selain digunakan untuk sosial budaya masyarakat setempat seperti kontruksi, kegiatan adat, sumber makanan. Arecaceae juga memiliki nilai ekologis dalam menjaga kualitas air yaitu memiliki kemampuan untuk meremediasi dan mampu beradaptasi dengan kondisi habitat mata air (Semiun *et al.* 2024). Keberadaan Arecaceae tersebar di wilayah beriklim tropis dan subtropis salah satunya Indonesia dengan jumlah Arecaceae sekitar 460 jenis dengan karakteristik morfologi yang khas, di antaranya adalah batang lurus yang menjulang tinggi di atas permukaan tanah dengan ketinggian berkisar 10 sampai 30 meter, daun menyirip dan akar serabut (Novianti *et al.* 2023).

Tabel 2. Jenis pohon riparian di tiga lokasi.

No.	Famili	Nama lokal	Nama ilmiah	ΣIndividu		
				T	N	M
1	Anacardiaceae	Mangga	<i>Mangifera indica</i> L.	3	2	2
2	Annonaceae	Kananga	<i>Cananga odorata</i> (Lamk.) Hook	1	1	-
3	Arecaceae	Lontar	<i>Borassus flabellifer</i>	1	-	-
4	Arecaceae	Tuni	<i>Corypha utan</i> Lamk.	5	15	-
5	Arecaceae	Enau	<i>Arenga pinnata</i>	3	11	20
6	Arecaceae	Kelapa	<i>Cocos nucifera</i> L.	-	19	18
7	Arecaceae	Pinang	<i>Areca catechu</i> L.		15	7
8	Euphorbiaceae	Kemiri	<i>Aleurites molucana</i> (L.) Wild.	5	-	-
9	Fabaceae	Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i>	4	-	-
10	Fabaceae	Sengon Laut	<i>Paraserianthes falcataria</i> L.	1	-	-
11	Malvaceae	Kapuk	<i>Ceiba pentandra</i>	2	-	-
12	Malvaceae	Waru	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	1	-	-
13	Meliaceae	Mahoni	<i>Swietenia mahagoni</i>	3	9	-
14	Meliaceae	Suren	<i>Toona sureni</i>	2	1	1
15	Moraceae	Loa	<i>Ficus racemosa</i>	2	-	-
16	Moraceae	Beringin	<i>Ficus benjamina</i> L.	-	1	2
17	Moraceae	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lamk.	-	2	-
18	Myrtaceae	Jambu air hutan	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & L. M. Perry	-	4	2
19	Myrtaceae	Jamblang	<i>Syzygium cumini</i> L.	-	1	-
20	Rubiaceae	Jabon Putih	<i>Anthocephalus cadamba</i>	1	-	-
21	Salicaceae	Hoek	<i>Homalium foetidum</i> (Roxb.) Benth	2	-	-
22	Sapotaceae	Torem	<i>Manilkara kanosiensis</i>	-	1	-
23	Sterculiaceae	Busi	<i>Melochia umbrelata</i>	1	-	-
24	Rhamnaceae	Bidara	<i>Ziziphus mauritiana</i>	1	-	-
25	Verbenaceae	Jati Merah	<i>Tectona grandis</i> Linn.	12	-	-
26	Verbenaceae	Jati Putih	<i>Gmelina arborea</i>	-	2	-
Jumlah				50	84	52

Keterangan: T = Desa Toobaun; N = Desa Nekbaun; M = Desa Merbaun

3.2. Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

Keanekaragaman jenis tumbuhan riparian pada ketiga lokasi mata air dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shanon-Wiener yang tergolong dalam kategori sangat buruk dan sedang (**Tabel 3**). Hal ini dikarenakan proporsi sebaran kelimpahan spesies pohon tidak merata, terdapat beberapa spesies yang sangat dominan dari famili Arecaceae yaitu *Cocos nucifera* L., *Arenga pinnata*, *Areca catechu* L. dan *Corypha utan* Lamk. Nilai indeks keanekaragaman pohon riparian yang rendah menunjukkan vegetasi pohon riparian telah mengalami gangguan antropogenik yang cukup tinggi.

Tabel 3. Nilai H' jenis pohon riparian.

No.	Mata Air	H'	Kategori
1	Toobaun	2,57	Sedang
2	Nekbaun	2,13	Sedang
3	Merbaun	1,46	Sangat buruk

Menurut Liunima *et al.* (2022), keanekaragaman vegetasi riparian baik jika sebaran kelimpahan jumlah individu pada setiap famili merata. Di sekitar mata air terdapat aktivitas antropogenik yang dapat mengubah struktur maupun fungsi dari organisme yang hidup di suatu ekosistem perairan. Gangguan ekologi seperti pencemaran lingkungan dapat membuat menurunnya jumlah kekayaan taksa, kelimpahan dan bergesernya komposisi taksa dari yang sensitif menjadi taksa yang toleran (Sudarso *et al.* 2013).

3.3 Parameter kualitas air

Hasil pengujian menunjukkan ada tiga parameter yang belum memenuhi baku mutu meliputi BOD, COD dan timbal (**Tabel 4**). Kadar BOD dan COD yang ditemukan di Mata Air Toobaun adalah 463 mg/L dan 725,82 mg/L. Pada Mata Air Nekbaun kadar BOD 84,14 mg/L (N1) dan 9,41 mg/L (N2), kadar COD 90,13 (N1) mg/L dan 12,96 mg/L (N2). Pada Mata Air Merbaun, kadar BOD 4,17 mg/L (M1) dan 9,06 (M2) dan kadar COD 11,92 mg/L (M2). Kadar COD Mata Air Merbaun (M2) memenuhi baku mutu.

Tabel 4. Kualitas air pada tiga lokasi pengamatan mata air.

Parameter	Satuan	Baku mutu*	Hasil				
			T	N		M	
				1	2	1	2
pH		6-9	6,93	6,91	6,89	7,00	7,00
Suhu	°C	Deviasi 3	26,03	25,6	25,0	26,8	26,5
Konduktivitas	µs/cm	-	587	703	702	902	954
Salinitas	psu	Air Tawar	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
TDS	ppm	1000	295,67	350	351	451	477
DO	mg/L	≥ 6	7,07	9,18	8,57	8,78	9,08
TSS	mg/L	40	3	1	6	5	3
BOD	mg/L	2	463	84,14	9,41	4,17	9,06
COD	mg/L	10	725,82	90,13	12,96	6,38	11,92
Timbal	mg/L	0,03	0,687	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007

Keterangan: T = Desa Toobaun; N = Desa Nekbaun; M = Desa Merbaun

*Sumber: PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

Tingginya kadar BOD dan COD diduga karena ada bahan organik seperti tumbuhan dan hewan mengalami pembusukan, sehingga organisme air membutuhkan oksigen terlarut untuk mendegradasi bahan buangan organik tersebut. Semiun *et al.* (2024) menemukan kadar BOD dan COD yang cukup tinggi mengindikasikan bahwa mata air telah tercemar dengan bahan organik seperti tumbuhan dan hewan mengalami pembusukan, sehingga organisme air membutuhkan oksigen dalam jumlah yang cukup banyak untuk mendegradasi bahan organik yang ada dalam air. Penelitian Wibowo *et al.* (2024) menemukan vegetasi riparian memiliki hubungan yang signifikan dengan nilai BOD ($p\text{-value} = 0.029$). Lebih lanjut penelitian tersebut menjelaskan bahwa keberadaan vegetasi riparian di area mata air mampu meningkatkan kemampuan perairan dalam mendegradasi bahan organik.

Level BOD dan COD dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik yang ditemukan di semua lokasi penelitian (Zhang *et al.* 2024). Di sekitar area mata air terdapat kegiatan berkebun, beternak, mencuci dan mandi yang berpotensi mempengaruhi kualitas fisika-kimia air. Hal ini sesuai dengan pendapat Azhar dan Dewata (2018) bahwa keberadaan BOD dan COD di lingkungan ditentukan oleh limbah organik seperti limbah rumah tangga dan limbah industri. Semakin banyak bahan organik masuk ke lingkungan perairan maka perairan menjadi tercemar (Rinaldi *et al.* 2023).

Hasil pengujian kadar timbal, pada Mata Air Toobaun sebesar 0,687 mg/L belum memenuhi baku mutu ($>0,03$ mg/L), sedangkan untuk Mata Air Nekbaun dan Merbaun telah memenuhi baku mutu ($<0,03$ mg/L). Tingginya kadar timbal pada Mata Air Toobaun diduga karena keberadaan pipa sebagai penyedot air dan keberadaan seng sebagai penutup mengalami korosif (Herman 2017). Timbal pada saluran pipa mudah terlepas dan bercampur dengan air dikarenakan faktor lingkungan, jenis dan ketebalan pipa, umur pipa dan proses korosifikasi. Menurut Handriani *et al.* (2020) timbal merupakan logam berat dengan toksisitas tinggi dan akut namun jarang ditemukan di masyarakat luas, toksisitas kronik sangat mungkin terjadi tanpa disadari seiring dengan peningkatan sumber paparan timbal di lingkungan. Timbal tidak dapat diolah oleh tubuh (Rachmawati *et al.* 2024), sehingga dapat menimbulkan masalah kesehatan serius. Penelitian Hernandez-Maravilla *et al.* (2025) menemukan konsentrasi Pb di ekosistem riparian cukup tinggi disebabkan karena tingginya aktivitas antropogenik dan kegiatan industri, yang berdampak pada penurunan kualitas air.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, di sumber Mata Air Toobaun ditemukan sebanyak 18 jenis pohon dari 13 famili dengan total 50 individu. Di sumber Mata Air Nekbaun ditemukan sebanyak 14 jenis pohon dari 8 famili dengan total 84 individu. Dan di sumber Mata Air Merbaun ditemukan sebanyak 7 jenis pohon dari 5 famili dengan total 52 individu. Hasil pengukuran kualitas air, hampir semua parameter memenuhi baku mutu, kecuali BOD, COD dan timbal. Perlu pengelolaan lokasi mata air agar kondisinya tidak terbuka, sehingga dapat meminimalkan masukan sampah dan masyarakat tidak mengonsumsi air secara langsung sebelum dimasak.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi dan kepada Universitas Katolik Widya Mandira yang telah mendanai penelitian ini dengan skim Program Kreativitas Mahasiswa Riset Eksakta (PKM-RE) tahun 2024. Kepada pemerintah daerah dan masyarakat desa yang telah memberi izin penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Azhar A dan I Dewata. 2018. Studi kapasitas beban pencemaran sungai berdasarkan parameter organik (BOD, COD Dan TSS) di Batang Lembang Kota Solok, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 2(1):76–87.
- Banilodu L, Asal A.S, Restin ML dan Paru O. 2018. Herbarium digital spesies pohon, semak dan herba di gereja tua (bekas Kampung Tajo) Desa Nginamanu Kecamatan Wolomeze Kabupaten Ngada Privinsi NTT. Kupang: Lembata G-Tukan Media.
- Bano EE, Laynurak YM, Semiun CG dan Mamulak YI. 2023. Keanekaragaman pohon riparian di beberapa mata air Desa Soba Kabupaten Kupang. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi* 4(3):211–20.
- Fathoni A, Rohman F dan Sulisetijono S. 2021. Karakter pohon area sekitar sumber mata air di Malang Raya, Jawa Timur. *Biotropika: Journal of Tropical Biology* 9(1):69–79.
- Handriani KATS, Habibah N dan Dhyana Putri IGAS. 2020. Analisis kadar timbal (Pb) pada air sumur gali di kawasan tempat pembuangan akhir sampah Banjar Suwung

- Batan Kendal Denpasar Selatan. Jurnal Sains dan Teknologi 9(1):68–75.
- Herman. 2017. Analisis kadar timbal (Pb) pada air yang melalui saluran pipa penyalur Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Makasar. Jurnal Media Analis Kesehatan 8(2):91–99.
- Hernandez-Maravilla S, Castrejon-Godinez ML, Saldarriaga-noreña HA, Tovar-Sánchez E, Rodríguez A, Rosas-Ramírez ME and Mussali-Galante P. 2025. Metal biomonitoring through arboreal species in riparian ecosystems : *Pithecellobium dulce* as a bioindicator species. Plants 14(118):1–19.
- Irawanto R and Afifudin AFM. 2024. Identification of riparian plants potential for remediation and water quality monitoring in the downstream of Brantas River, East Java. Sciscitatio 5(1):47–57.
- Liunima V, Banilodu L and Semiun CG. 2022. Composition and diversity of riparian vegetation of the Talau River , Belu regency. Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan 7(2):81–90.
- Maghfirah A, Aini A, Agustinawati, Mulyadi dan Fakhri. 2020. Analisis vegetasi tumbuhan strata pohon di kawasan pantai nipah Pulo Aceh kabupaten Aceh Besar. In *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Rniry, 1–6.
- Novianti D, Nursaidah D and Supriatna A. 2023. Karakterisasi dan keanekaragaman tumbuhan famili Arecaceae di Kampus 1 UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman (JURRIT) 2(1):65–79.
- Parmar TK., Rawtani D and Agrawal YK. 2016. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. Frontiers in Life Science 9(2):110–18.
- [PP] Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- Rachmawati S, Bernadetta P, Mardiyanto MB, Fil'ardiani NU, Khoirunnisa S dan Arta YPA. 2024. Kandungan Logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta. Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management) 8(2):219–32.
- Rinaldi, Febriana V, Razak A, Handayuni L dan Yuniarti E. 2023. Analisis kondisi sanitasi pemukiman di daerah pesisir (studi kasus: Muaro Lasak, Kota Padang). Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management) 7(3):299–308.

- Semiun CG, Retnaningdyah C and Arisoesilaningsih E. 2020. Structural modelling of riparian tree diversity and ecosystem degradation roles in determining the water quality of springs and its drains in East Java. *J. Degrade. Min. Land Manage* 8(1):2431–2438.
- Semiun CG, Mamulak YI, Pani E and Stanis S. 2023. Riparian trees and its roles to water quality in Niukbaun Spring. *Indonesian Journal of Applied Research* 4(2):123–131.
- Semiun CG, Mamulak YI dan Pani E. 2024. Riparian Tree diversity and water quality of Teunbaun Spring Kupang Regency. *Jurnal Biologi Udayana* 28(1):52–61.
- Sudarmadji S, Darmanto D, Widyastuti M and Lestari S. 2016. Springs management for sustainability domestic water supply in the South West of Merapi volcano slope. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 23(1):102.
- Sudarso J, Wardiatno Y, Setiyanto DD dan Anggraitoningsih W. 2013. Pengaruh aktivitas antropogenik di Sungai Ciliwung terhadap komunitas larva trichoptera. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 20(1):68–83.
- Wahyunah W, Krisdianto K, Kadarsah, and Rahmani DR. 2016. Canopy and porosity variation on the trees in the private green space in Loktabat Utara Banjarbaru. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)* 2(2):61–67.
- Wibowo, Cahyo FA, Pramudya AD, Muttaqin T and Pangestu MNA. 2024. The importance of riparian vegetation in maintaining spring water quality in Yeh Penet watershed, Bali, Indonesia. *Biodiversitas* 25(5):2051–2062.
- Zhang WG, Gao Y, Wang Y and Zhou J. 2024. Water Quality assessment and management strategies for Nishan reservoir, Sihe river, and Yihe river based on scientific evaluation. *Water (Switzerland)* 16(1958):1–10.

Sintesis komposit berbasis *styrofoam* dan kulit kayu galam sebagai adsorben besi pada limbah cair pertambangan intan

Synthesis of composite based on styrofoam and bark of galam as iron adsorbent in diamond mining liquid waste

Annisa Nurfadilla Nugravita^{1*}, Daniel Dirgahayu¹, Rizky Aulia Fitriani¹, Temani Gea¹, Utami Irawati¹

¹Program Studi Kimia, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia

Abstrak.

Provinsi Kalimantan Selatan dikenal dengan hasil intan yang melimpah. Namun kegiatan penambangan intan ini meninggalkan lubang galian yang airnya tidak bisa dimanfaatkan karena kadar logam berat yang sangat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan metode efektif untuk mensintesis komposit dari *styrofoam* dan selulosa dari kayu galam (*Melaleuca cajuputi*) sebagai adsorben, mengkaraktirasi komposit yang diperoleh, dan menguji kemampuan komposit dibandingkan dengan karbon aktif komersial sebagai adsorben untuk pengolahan limbah tambang intan. Isolasi selulosa didapatkan dari kulit kayu galam dan polistirena didapatkan dari *styrofoam*. Kemudian dilakukan sintesis dari hasil isolasi tersebut. Adsorpsi dilakukan dengan mengkaji pengaruh waktu kontak dan massa adsorben. Massa optimal untuk komposit, karbon aktif dan serbuk kulit kayu galam masing-masing adalah 1; 7,5; dan 5 gram. Turbiditas akhir setelah pengolahan menggunakan setiap adsorben tersebut berturut-turut adalah 1,82; 486; dan 232 NTU dari turbiditas mula-mula sebesar 1110 NTU dan hasil uji AAS menunjukkan bahwa komposit PSS-selulosa dapat menurunkan kandungan besi (Fe) dari 38,30 mg/L menjadi 24,12 mg/L.

Kata kunci: *styrofoam*, kulit kayu galam, komposit, limbah cair pertambangan intan

Abstract.

South Kalimantan Province is well known for its abundant diamond production. However, diamond mining activities leave excavation pits filled with water that cannot be utilized due to high concentrations of heavy metals. This study aims to develop an effective method for synthesizing a composite from *styrofoam*-derived polystyrene and cellulose extracted from galam wood (*Melaleuca cajuputi*) bark as an adsorbent, characterize the obtained composite, and evaluate its adsorption capability compared to commercially activated carbon for diamond mining wastewater treatment. Cellulose was isolated from galam wood bark, while polystyrene was obtained from *styrofoam*. The isolated materials were then used for composite synthesis. The adsorption process was examined by analyzing the effects of contact time and adsorbent mass. The optimal masses for the composite, activated carbon, and galam wood bark powder were found to be 1 g, 7.5 g, and 5 g, respectively. After treatment, the final turbidity levels using these adsorbents were 1.82, 486, and 232 NTU, respectively, compared to an initial turbidity of 1110 NTU. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) results indicated that the PSS-cellulose composite reduced iron (Fe) concentration from 38.30 mg/L to 24.12 mg/L.

Keywords: *styrofoam*, galam wood, composite, diamond mining wastewater

1. PENDAHULUAN

Intan merupakan galian tambang industri yang banyak ditemukan di Kalimantan Selatan dan telah menjadi sumber mata pencaharian masyarakat sejak tahun 1950-an hingga saat ini. Hasil riset menunjukkan bekas galian tambang intan di Kecamatan Cempaka, Banjarbaru masuk kategori cemar berat akibat tingginya kadar logam berat seperti besi (Fe) sebesar 0,685-2,018 mg/L yang melewati batas baku mutu air kelas I (Ijah *et al.* 2018). Logam berat merupakan golongan unsur dengan massa jenis 5 g/cm³ (Rudi *et al.* 2020).

* Korespondensi Penulis
Email: anurfadilla26@gmail.com

Logam berat merupakan pencemar berbahaya karena bersifat toksik dan berisiko bagi manusia, flora, dan fauna. Zat ini dapat berpindah melalui rantai makanan, terutama dari hasil laut yang telah terkontaminasi akibat sedimentasi logam berat di perairan (Omar *et al.* 2019; Jawed dan Pandey 2020). Logam berat menjadi masalah yang besar karena tidak ada pengolahan lebih lanjut yang menyebabkan danau bekas galian menyebabkan kekhawatiran bagi masyarakat pada saluran air (Zou *et al.* 2016).

Penambangan intan menghasilkan air asam tambang, yaitu air dengan pH kurang dari 4 akibat oksidasi mineral sulfida dan dari limbah pencucian yang mengandung ion sulfat dan logam besi (Fe) dengan konsentrasi yang sangat tinggi (Permatasari *et al.* 2022; Ighalo *et al.* 2022). Kolam bekas tambang menyebabkan kadar karbon tinggi, pH asam dan tingginya kadar logam berat besi (Fe) (Fithratullah *et al.* 2023). Kualitas air menjadi sangat penting untuk kesehatan masyarakat keberlangsungan kehidupan biota air (Hidayat 2017). Salah satu metode yang paling efektif untuk menurunkan kadar logam pada air asam tambang tersebut adalah adsorpsi (Muharrem dan Ince 2017).

Adsorpsi adalah proses penyerapan partikel atau adsorbat pada permukaan media adsorpsi yang disebut adsorben. Permukaan adsorben yang baik adalah luas dan memiliki porositas tinggi. Proses ini umumnya melibatkan material padat bergugus hidroksil ($-OH$) yang mampu mengikat logam berat (Al-Ghouti dan Da'ana 2020; Xie *et al.* 2022). Metode adsorpsi banyak digunakan karena dinilai paling praktis dan ekonomis, efisiensi, pH luas, biaya rendah (Wahyuni *et al.* 2018; Wang *et al.* 2023). Salah satu paduan adsorben yang berpotensi untuk mengadsorpsi logam berat adalah polistirena dan selulosa. Polistirena telah banyak digunakan dalam berbagai riset sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat seperti Fe dengan efisiensi adsorpsi sebesar $(39,1 \pm 3,1)\%$ (Putri *et al.* 2023) dan adsorben logam Cu^{2+} dan Ni^{2+} (Leswana *et al.* 2021). Demikian dengan selulosa telah banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair karena dinilai mudah untuk menyerap logam berat dan ion logam berat (Li *et al.* 2020). Beberapa penelitian yang telah melaporkan penggunaan selulosa dalam berbagai pengolahan limbah seperti pengolahan limbah industri perminyakan, mikropolutan, menghilangkan pewarna anionik, dan pengolahan limbah cair lainnya (Feng *et al.* 2020; Peng *et al.* 2020; Cho *et al.* 2022).

Polistirena banyak ditemukan pada bahan jenis polimer seperti limbah *styrofoam*. *Styrofoam* terdiri dari golongan 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana (Kurniawan *et al.* 2022). Pemanfaatan limbah styrofoam yang telah dimodifikasi dapat menjadi potensi adsorben pada beberapa logam berat di lingkungan. Akan tetapi, kemampuan polistirena yang diisolasi dari limbah *styrofoam* mengikat pencemar masih belum optimal sehingga dibutuhkan penambahan bahan lain untuk meningkatkan efektivitas adsorpsi tersebut, yaitu selulosa. Selulosa sendiri dapat diperoleh dengan mudah dari berbagai sumber, salah satunya dari kulit kayu galam. Galam (*Malaleuca cajuputi*) merupakan suatu tanaman kayu yang tumbuh subur di rawa secara melimpah di hutan gambut dangkal Kalimantan Selatan. Kandungan kayu galam meliputi selulosa (37%), lignin (22,85%), zat ekstraktif (4,58%), dan abu (0,92%) yang menunjukkan bahwa kandungan selulosa kayu galam sangat tinggi (Darmaji *et al.* 2020).

Berdasarkan pemanfaatan polistirena dari kombinasi limbah *styrofoam* dan limbah kayu galam sebagai adsorben terhadap limbah air bekas pertambangan intan sangat perlu dilakukan dalam meminimalkan efek negatif dari limbah tersebut terhadap lingkungan. Penelitian ini akan mengevaluasi efisiensi adsorpsi terhadap konsentrasi logam berat serta menilai potensi penerapan komposit ini dalam skala yang lebih luas untuk solusi pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan metode efektif sintesis komposit dari *styrofoam* dan serbuk kayu galam sebagai adsorben, mengidentifikasi karakter komposit dari *styrofoam* dan serbuk kayu galam, serta menguji kemampuan komposit sebagai adsorben untuk pengolahan limbah cair pertambangan intan.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik Universitas Lambung Mangkurat, mulai dari Juni hingga September 2023. Pengumpulan data dilakukan melalui eksperimen di laboratorium melalui tahapan sintesis komposit yang berasal dari limbah *styrofoam* dan limbah kulit kayu galam. Komposit hasil sintesis ini selanjutnya diuji kemampuan adsorpsinya terhadap limbah cair pertambangan intan.

2.2. Prosedur analisis data

2.2.1. Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu pengaduk magnet, *hotplate* (Type 85-2), neraca analitik (Ohaus), kertas saring, alat-alat gelas standar, dan oven. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *styrofoam*, limbah air tambang intan, limbah kulit kayu galam, *aluminium foil*, akuades, natrium sulfit 98%, kloroform, asam sulfat, etanol 96%, silika gel, dan natrium hidroksida.

2.2.2. Prosedur kerja

2.2.2.1. Preparasi sampel

Sampel *styrofoam* dipotong kecil-kecil dan dicuci dengan air mengalir hingga air bilasannya bening lalu dibilas menggunakan akuades. Pengeringan *styrofoam* dilakukan pada suhu 60°C karena memiliki titik leleh rendah sehingga akan melebur jika di atas suhu 100°C. *Styrofoam* yang telah kering kemudian dihaluskan hingga membentuk ukuran yang kecil.

Kulit kayu galam dipotong kecil-kecil, lalu dicuci dengan air mengalir hingga air bilasannya bening lalu dibilas menggunakan akuades. Limbah kulit kayu galam dikeringkan pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar air. Setelah kering, sampel dihaluskan dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam dengan menggunakan ayakan ukuran 40 dan 70 mesh.

2.2.2.2. *Pretreatment* alkali

Pre-treatment alkali dilakukan dengan melarutkan serbuk kayu galam larutan Natrium hidroksida (NaOH) 1% dengan perbandingan 1:40. Pengadukan dilakukan selama 1 jam dengan pengaduk magnet, kemudian didiamkan hingga suhu ruang. Campuran tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring lalu dibilas menggunakan akuades hingga filtrat yang dihasilkan memiliki pH netral. Penyaringan dilakukan untuk menghasilkan filtrat yang hanya terdiri dari lignin dan selulosa. Endapan yang diperoleh lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C kemudian dihaluskan.

2.2.2.3. Delignifikasi

Delignifikasi bertujuan untuk melepaskan selulosa dengan ikatan lain seperti lignin yang ada di dalam kayu galam Sampel hasil *pre-treatment* ditimbang sebanyak

2,5 gram kemudian diaduk dengan natrium sulfit pada suhu 105°C selama 2 jam, didiamkan hingga mencapai suhu ruang. Sampel lalu disaring dan dibilas dengan akuades hingga filtrat yang dihasilkan memiliki pH netral. Penyaringan dilakukan untuk menghasilkan filtrat yang hanya terdiri dari selulosa. Endapan yang diperoleh lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C kemudian dihaluskan.

2.2.2.4. Sintesis komposit

Styrofoam sebanyak 2,5 gram dimasukkan secara perlahan ke dalam 50 mL kloroform sambil diaduk hingga larut, kemudian ke dalam campuran tersebut ditambahkan 13,5 ml asam sulfat pekat, lalu ditambahkan 2,5 gram kayu galam hasil delignifikasi dan diaduk selama 3 jam. Campuran tersebut kemudian didiamkan hingga suhu ruang lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C hingga mengering.

2.2.2.5. Adsorpsi sampel menggunakan adsorben

Sebanyak 1 gram komposit dimasukkan ke dalam 250 mL limbah cair pertambangan intan sambil diaduk selama 1 jam, kemudian didiamkan selama 3 jam pertama untuk diukur nilai turbiditasnya kemudian diukur kembali nilai turbiditasnya setelah 24 jam. Sampel kemudian disaring dan filtrat yang diperoleh diukur turbiditas serta kandungan logam besi yang ada di dalamnya untuk dibandingkan dengan turbiditas kandungan logam mula-mula. Prosedur yang sama dilakukan dengan menggunakan massa komposit, serbuk kulit kayu galam, dan karbon aktif sebagai pembanding dengan bervariasi massa, yaitu 2,5 gram, 5 gram, 7,5 gram dan 10 gram.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sintesis komposit *styrofoam* dan selulosa kulit kayu galam

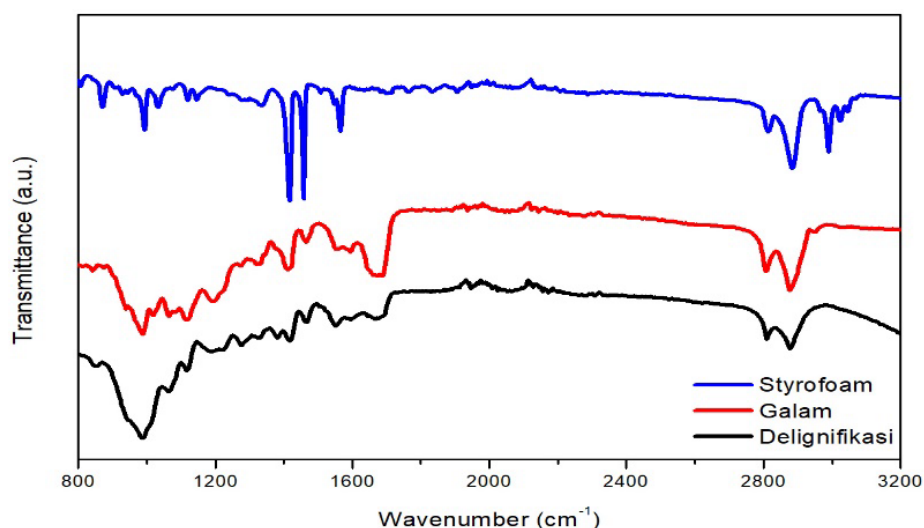
Sintesis komposit dari *styrofoam* dan serbuk kayu galam menjadi suatu dalam upaya mengembangkan material adsorben yang efisien dan ramah lingkungan. *Styrofoam* mengandung 90-95% polistirena, memiliki struktur yang ringan dan porositas yang tinggi, sehingga berpotensi sebagai material dasar dalam pembentukan komposit.

Di sisi lain, serbuk kayu galam mengandung selulosa yang memiliki gugus hidroksil aktif (Cosahan *et al.* 2023), yang berperan penting dalam interaksi dan penyerapan polutan. Dengan menggabungkan kedua material ini, dapat diperoleh komposit yang memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi terhadap polutan seperti

logam berat. Proses sintesis melibatkan pelarutan *styrofoam* dalam pelarut organik yaitu kloroform (CHCl_3) hingga terlarut sempurna. Selanjutnya, asam sulfat ditambahkan ke dalam larutan tersebut untuk memasukkan gugus sulfonat pada polimer (Lee *et al.* 2023). Setelah proses sulfonasi berlangsung, serbuk kayu galem kemudian ditambahkan dan sambil diaduk konstan untuk memastikan distribusi serbuk yang merata dalam matriks polimer yang telah tersulfonasi. Campuran yang diperoleh berbentuk kental dan hitam. Hasil sintesis dikeringkan pada suhu 100°C hingga membentuk padatan.

3.2. Karakterisasi *styrofoam*, kulit kayu galem dan hasil delignifikasi

Identifikasi gugus fungsional pada *styrofoam*, kulit kayu galem, dan hasil delignifikasi dilakukan dengan cara mengidentifikasi karakter gugus fungsi menggunakan FTIR. Hasil spektra FTIR yang muncul disajikan pada **Gambar 1**. Spektra IR dari *styrofoam* menampilkan pita serapan gugus aromatik yang ditunjukkan pada kisaran bilangan gelombang 1600 cm^{-1} dan 3100 cm^{-1} , serta pita serapan gugus alifatik pada puncak 2900 cm^{-1} . Serapan pada 1006 cm^{-1} merupakan regangan simetris kelompok $-\text{SO}_3\text{H}$ dan serapan pada panjang gelombang 1127 cm^{-1} berasal dari anion sulfonat (Al-Sabagh *et al.* 2018).



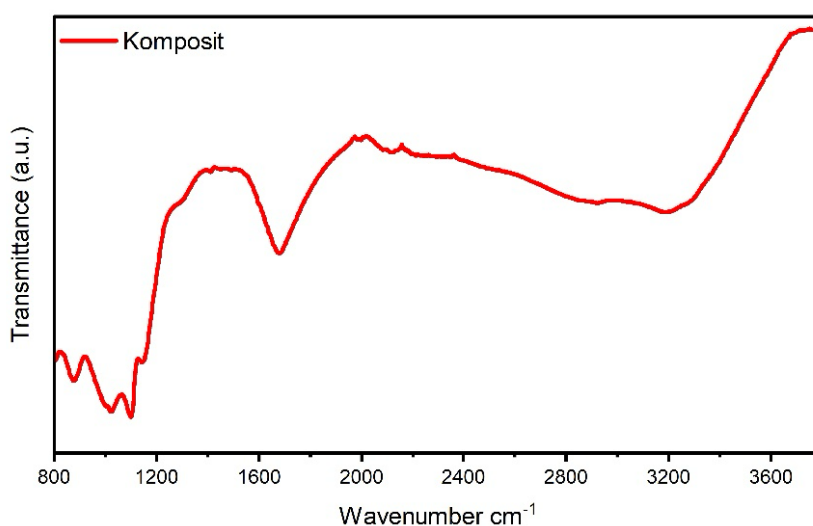
Gambar 1. Hasil uji FTIR *Styrofoam*, kulit kayu galem, dan hasil delignifikasi.

Kulit kayu galem mengandung berbagai macam senyawa dengan berbagai macam gugus fungsi. Beberapa gugus fungsi yang dapat diidentifikasi adalah gugus alifatik yang memberikan puncak serapan pada 1000 cm^{-1} dan 3000 cm^{-1} , serta gugus karbonil yang menimbulkan serapan pada bilangan gelombang 1700 cm^{-1} . Puncak

pada spektrum antara 2924 cm^{-1} hingga 2855 cm^{-1} merupakan getaran regangan C-H pada kelompok selulosa (Abzan *et al.* 2023). Akan tetapi, setelah diberi perlakuan delignifikasi, sebagian besar dari gugus karbonil tersebut menghilang karena lignin yang terlarut di dalam natrium sulfit. Spektra IR hasil delignifikasi dapat dilihat beberapa gugus fungsional yang mengkonfirmasi keberadaan selulosa di dalam hasil delignifikasi tersebut, terutama pada 1100 cm^{-1} dan 1480 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi tekuk $-\text{CH}_2$ dan gugus alifatik pada puncak 2800 cm^{-1} .

3.3. Karakterisasi produk komposit

Identifikasi gugus fungsi pada produk komposit PSS-selulosa dilakukan dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi $-\text{OH}$ di dalam komposit. Untuk mengetahui gugus tersebut digunakan arang aktif komersial sebagai pembanding dan menjadi penentu dalam mengetahui keefektifan produk komposit PSS-selulosa. Hasil spektra FTIR yang muncul disajikan pada **Gambar 2**. Sintesis komposit dilakukan dengan mereaksikan polistirena tersulfonasi (PSS) dengan hasil deliginifikasi, di mana interaksi tersebut dapat dikonfirmasi berdasarkan perubahan yang mencolok pada spektra IR komposit dari hasil sintesis.



Gambar 2. Hasil uji FTIR komposit PSS-selulosa

Hasil uji IR komposit menampilkan serapan landai yang sangat melebar pada kisaran $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$. Hal ini mengindikasikan keberadaan ikatan hidrogen antar gugus $-\text{OH}$. Keberadaan ikatan hidrogen yang terjadi akan merubah pita serapan. Selain itu, hasil yang diperoleh juga serupa dengan hasil penelitian oleh Leswana *et al.*

(2021) di mana interaksi yang terjadi antara PSS dengan kitosan menampilkan serapan yang melandai pada kisaran 3300 cm^{-1} ke atas, yang serupa dengan yang terjadi dalam penelitian ini dan diperkuat dengan spektra IR. Ikatan hidrogen berasal dari interaksi sulfonat oleh PSS yang menggeser pita serapan sehingga pita melebar dan menyebabkan pita serapan -OH tidak muncul sebagai puncak yang tajam.

3.4. Uji turbiditas

Kekeruhan mencerminkan jumlah partikel tersuspensi dalam air serta keterkaitan berbagai proses kimia, fisika, dan biologi di dalamnya. Tingginya kekeruhan sering kali menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut, bahan organik yang mudah terurai, memicu pelepasan kembali nutrien dari sedimen, dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Untuk menguji kemampuan komposit yang diperoleh, dilakukan pengukuran turbiditas atas sampel limbah yang digunakan sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan komposit. Sebagai pembandingan, adsorpsi juga dilakukan pada kulit kayu galam dan karbon aktif yang dimuat pada **Tabel 1**.

Berdasarkan **Tabel 1** tersebut dapat dilihat bahwa komposit memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mengikat pengotor yang dapat dilihat dari nilai turbiditas akhir yang lebih rendah dibandingkan ketika adsorpsi dilakukan dengan kulit kayu galam dan karbon aktif. Hal ini disebabkan oleh kombinasi sifat hidrofilik dari selulosa dan polistirena tersulfonasi yang menyediakan situs adsorpsi sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi (Tran *et al.* 2020). Massa 1 gram adsorben komposit PSS-selulosa menunjukkan hasil yang efektif untuk menurunkan kekeruhan dari 1110 NTU menjadi 1,85 NTU dengan waktu kontak selama 24 jam.

Tabel 1. Uji turbiditas komposit, kulit kayu galam, dan arang aktif.

Bahan uji	Massa (gram)	Turbiditas (NTU)						
		30 menit	60 menit	90 menit	120 menit	150 menit	180 menit	24 Jam
Kulit kayu galam	1	1399	1123	1126	1088	1068	1159	875
	2,5	972	970	930	959	973	954	705
	5	114	264	296	402	455	388	1032
	7,5	301	488	529	606	643	592	960
	10	259	234	368	438	512	408	301
Karbon aktif	1	121	98	88	75	60	50	654
	2,5	327	342	383	400	415	439	705
	5	130	180	198	227	249	267	655
	7,5	35,59	51	72	77	95	101	486
	10	37,41	60	75	86	101	111	505
Komposit PSS-selulosa	1	101	89	84	63	55	48,61	1,85
	2,5	84	68	60	53	41,82	32,37	1,92
	5	123	118,5	111	95,2	71,8	67,5	3,2
	7,5	182	133,8	105,1	83,5	72,1	70	2,76
	10	172	155,2	106,9	80	70,9	68	3,92

3.5. Uji AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis kadar logam pada sampel limbah cair menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengukur konsentrasi logam besi, sebelum dan setelah proses adsorpsi menggunakan berbagai jenis adsorben. **Tabel 2** menunjukkan data hasil pengujian kadar besi (Fe) pada sampel limbah cair yang diadsorpsi dengan kulit kayu galam, karbon aktif, dan komposit, serta efektivitas masing-masing adsorben dalam menurunkan kadar logam tersebut.

Berdasarkan **Tabel 2**, adsorben dinyatakan berperan dalam perubahan kadar kandungan logam dari sampel limbah cair pertambangan intan yang semula mengandung kadar besi (Fe) sebesar 38,30 mg/L. Perubahan kadar besi pada sampel setelah diadsorpsi dengan kulit kayu galam menunjukkan keoptimalan pada massa 10 gram dengan menurunkan kadar besi menjadi 1,92 mg/L. Penurunan kadar besi berbanding terbalik dengan massa adsorben, hal tersebut dikarenakan kulit kayu galam yang belum dilakukan preparasi memiliki semakin banyak gugus selulosa jika massa adsorbennya bertambah sehingga kadar logam dalam sampel dapat terikat. Adsorben karbon aktif menunjukkan keoptimalan di massa 2,5 gram dengan penurunan kadar besi hingga 2,04 mg/L.

Tabel 2. Hasil uji AAS terhadap kandungan logam limbah pertambangan intan.

Adsorben	Massa (gram)	Kadar besi (mg/L)
Kulit kayu galam	1	97,33
	2,5	28,92
	5	17,88
	7,5	19,07
	10	1,92
Karbon aktif	1	25,24
	2,5	2,04
	5	56,58
	7,5	73,31
	10	68,03
Komposit PSS-selulosa	1	24,12
	2,5	40,4
	5	109,45
	7,5	96,28
	10	85,97

Hasil adsorpsi menunjukkan data yang tidak konstan karena proses adsorpsi pada karbon aktif didominasi oleh adsorpsi fisika, dimana pori-pori yang dimiliki oleh karbon aktif hanya dapat mengikat pengotor dengan ukuran yang serupa sehingga pengotor yang berukuran besar tidak dapat terikat di pori-pori tersebut. Hasil adsorpsi sampel menggunakan adsorben komposit menunjukkan penurunan kadar besi hingga 24,12 mg/L dengan massa komposit sebesar 1 gram. Komposit dari campuran polistirena tersulfonasi dengan selulosa merupakan perpaduan yang tepat untuk menurunkan kadar logam pada limbah cair pertambangan intan, karena selulosa yang dimiliki oleh kulit kayu galam berhasil mengikat logam pencemar dan polistirena tersulfonasi yang berasal dari *styrofoam* dapat berperan agar selulosa tidak menjadi pengotor pada sampel. Gugus $-SO_3H$ dari sulfat membentuk matriks polimer yang menjadikan polistirena menjadi penukar ion sehingga dapat mengikat logam berat (Jia *et al.* 2019). Penelitian Tran *et al.* (2023) menyatakan bahwa polistirena tersulfonasi dapat mengikat logam berat dengan efisiensi yang tinggi dalam waktu 30 menit yang di antaranya Zn^{2+} , Cd^{2+} , dan Cu^{2+} dengan efisiensi penyisihan sebesar 98,1%, 95,5% dan 98,8%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Komposit yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik berupa serpihan berwarna gelap, yang memiliki kemampuan adsorpsi yang kuat. Berdasarkan hasil uji FTIR menunjukkan bahwa komposit yang dihasilkan terbentuk melalui interaksi antara selulosa dengan polistirena tersulfonasi (PSS), hal ini terlihat dari serapan yang muncul pada spektra IR komposit yang menunjukkan adanya ikatan baru yaitu ikatan -OH antara selulosa dengan PSS. Hasil pengukuran turbiditas menunjukkan bahwa komposit PSS-selulosa dapat menurunkan nilai turbiditas dari 1110 NTU menjadi 1,85 NTU serta hasil uji AAS menunjukkan bahwa komposit PSS-selulosa dapat menurunkan kandungan besi (Fe) dari 38,30 mg/L menjadi 24,12 mg/L. Secara keseluruhan, kemampuan komposit ini masih belum diuji pada jenis logam berat lainnya. Oleh karena itu, penulis menyarankan untuk melakukan pengembangan dan penelitian lebih lanjut untuk diuji pada logam berat lain serta dapat menemukan metode yang lebih baik agar hasil yang diperoleh maksimal.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan Riset dan Teknologi atas dana hibah PKM 2023, Ibu Utami Irawati, Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Pengendalian Penyakit, Universitas Lambung Mangkurat, dan pihak-pihak lainnya yang telah memberikan bantuan moril maupun material selama pelaksanaan penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abzan N, Abbasian A, Jonoobi M and Ghasemi I. 2023. Cellulose microfiber extraction from leftover celery pulp: Chemomechanical treatments, structural, morphological, and thermal characterization. *International Journal of Biological Macromolecules* 253:126834.
- Al-Ghouti MA and Da'ana DA. 2020. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of Hazardous Materials* 393(1):1-22.
- Al-Sabagh AM, Moustafa YM, Hamdy A, Killa HM, Ghanem RTM and Morsi RE. 2018. Preparation and characterization of sulfonated polystyrene/magnetite

- nanocomposites for organic dye adsorption. *Egyptian Journal of Petroleum* 27(3):403-413.
- Cho BG, Mun SB, Lim CR, Kang SB, Cho CW and Yun YS. 2022. Adsorption modeling of microcrystalline cellulose for pharmaceutical-based micropollutants. *Journal of Hazardous Materials* 426:1-8.
- Cosahan SR, Istikowati WT dan Itta D. 2023. Pemanfaatan kulit galam sebagai bahan baku tambahan pada pembuatan rak telur pada PT. Prima Rezeki. *Jurnal Hutan Tropis* 11(1):26-32.
- Darmaji D, Sari NM dan Yuniarti Y. 2020. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji kayu galam (*Melaleuca Cajuputi* Powell) menjadi bioetanol sumber energi alternatif terbarukan. *Jurnal Sylva Scientiae* 3(1):85-91.
- Feng C, Ren P, Huo M, Dai Z, Liang D, Jin Y and Ren F. 2020. Facile synthesis of trimethylammonium grafted cellulose foams with high capacity for selective adsorption of anionic dyes from water. *Carbohydrate Polymers* 241:1-42.
- Fithratullah R, Juwiyatri E dan Pribadi A. 2023. Identifikasi jenis plankton sebagai bioindikator perairan di Danau Seran Kecamatan Landasan Ulin, Kalimantan Selatan. *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton* 9(4):945-953.
- Hidayat L. 2017. Pengelolaan lingkungan areal tambang batubara (studi kasus pengelolaan air asam tambang (acid mining drainage) di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan). *Jurnal ADHUM* 8(1):44-52.
- Ighalo JO, Kurniawan SB, Iwuozor KO, Aniagor CO, Ajala OJ, Oba SN, Iwuchukwu FU, Ahmadi S and Igwegbe CA. 2022. A review of treatment technologies for the mitigation of the toxic environmental effects of acid mine drainage (AMD). *Process Safety and Environmental Protection* 157:37-58.
- Ijah K, Rahman M dan Rahman A. 2018. Analisis beberapa parameter fisika dan kimia di bekas lahan tambang intan Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru Provinsi Kalimantan Selatan. *Aquatic Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa* 1(2):132-142.
- Jawed A and Pandey LM. 2019. Application of bimetallic Al-doped ZnO nano-assembly for heavy metal removal and decontamination of wastewater. *Water Science and Technology* 80(11):2067-2078.
- Jia J, Fu Z, Wang L, Huang Z and Liu C. 2019. Conversion of waste polystyrene foam into sulfonated hyper-crosslinked polymeric adsorbents for cadmium removal in a fixed-bed column. *Chemical Engineering Research and Design* 142:346-354.

- Kurniawan B, Huamaira T, Hasanah S, Christina E dan At-Tsaqib JH. 2022. Modifikasi struktur polistirena menggunakan maleat anhidrida sebagai pengikat silang dan benzoil peroksida sebagai inisiator. *Asian Journal of Mechatronics and Electrical Engineering* 1(1):25-34.
- Lee G, Park SI, Shin HY, Joh HI, Kim SS and Lee S. 2023. Simultaneous reactions of sulfonation and condensation for high-yield conversion of polystyrene into carbonaceous material. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 122:426-436.
- Leswana NF, Siswanta D dan Suratman A. 2021. Sintesis membran polielektrolit komplek polistirena sulfonat-kitosan dari limbah *styrofoam* sebagai adsorben logam Cu (II) dan Ni (II). *Jurnal Farmasi Eta* 1(1):10-25.
- Li D, Tian X, Wang Z, Guan Z, Li X, Qiao H, Ke H, Lui L and Wei Q. 2020. Multifunctional adsorbent based on metal-organic framework modified bacterial cellulose/chitosan composite aerogel for high efficient removal of heavy metal ion and organic pollutant. *Chemical Engineering Journal* 383:1-9.
- Muharrem INCE and Ince OK. 2017. An overview of adsorption technique for heavy metal removal from water/wastewater: a critical review. *International Journal of Pure and Applied Sciences* 3(2):10-19.
- Omar S, Muhamad MS, Te Chuan L, Hadibarata T and Teh ZC. 2019. A review on lead sources, occurrences, health effects, and treatment using hydroxyapatite (HAp) adsorbent made from fish waste. *Water, Air, & Soil Pollution* 230:1-21.
- Peng B, Yao Z, Wang X, Crombeen M, Sweeney DG and Tam KC. 2020. Cellulose-based materials in wastewater treatment of petroleum industry. *Green Energy & Environment* 5(1) :7-49.
- Permatasari D, Rahman M dan Yasmi Z. 2022. Pengaruh pemberian dosis baking soda (natrium bikarbonat) yang berbeda terhadap kadar DO (dissolved oxygen) dengan tingkat kematian ikan budidaya di perairan bekas galian tambang intan PT. Galuh Cempaka. *AQUATIC Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan* 5(1):44-58.
- Putri FA, Widia W, Amelia A and Mahardika RG. 2023. Polystyrene sulfonate-chitosan membrane from *styrofoam* waste as the adsorbent for Fe (III) metals from ex-tin mining. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 26(11):445-450.

- Rudi NN, Muhamad MS, Te Chuan L, Alipal J, Omar S, Hamidon N, Hamid NHA, Sunar NM, Ali R and Harun H. 2020. Evolution of adsorption process for manganese removal in water via agricultural waste adsorbents. *Heliyon* 6(9):1-13.
- Tran AT, Pham TT, Nguyen QH, Hoang NT, Bui DT, Nguyen MT, Nguyen MK and van der Bruggen B. 2020. From waste disposal to valuable material: Sulfonating polystyrene waste for heavy metal removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8(5):1-15.
- Tran ATK, Hoang NTT and Nguyen PT. 2023. Optimizing sulfonation process of polystyrene waste for hardness and heavy metal removal. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 8:100396.
- Wahyuni E, Adlim dan Khaldun I. 2018. Efektivitas adsorpsi ion merkuri (II) menggunakan alternatif adsorben butiran kerikil putih yang terlapisi kitosan pada penjernih air portable. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Kimia* 3(4):129-139.
- Wang B, Lan J, Bo C, Gong B and Ou J. 2023. Adsorption of heavy metal onto biomass-derived activated carbon: review. *RSC advances* 13(7):4275-4302.
- Xie Y, Pan Y and Cai P. 2022. Hydroxyl crosslinking reinforced bagasse cellulose/polyvinyl alcohol composite films as biodegradable packaging. *Industrial Crops and Products* 176(1):1-8.
- Zou Y, Wang X, Khan A, Wang P, Liu Y, Alsaedi A, Hayat T and Wang X. 2016. Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: a review. *Environmental Science & Technology* 50(14):7290-7304.

Coral reef and seagrass ecosystem health assessment in Tiaro (LMMA), West Guadalcanal, Solomon Islands

Penilaian kesehatan ekosistem terumbu karang dan padang lamun di Tiaro (LMMA), Guadalcanal Barat, Kepulauan Solomon

Jimmy Belade^{1,2}, Taryono Kodiran³, Yusli Wardiatno^{3,4*}

¹Master Program in Coastal and Marine Resources Management, IPB University, Bogor, Indonesia

²Ministry of Fisheries and Marine Resources, Honiara, Guadalcanal, Solomon Islands

³Department of Aquatic Resources Management, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴Graduate School, IPB University, Bogor, Indonesia

Abstract.

Coral reefs, seagrass meadows and associated fish communities are essential coastal ecosystems that provide significant ecological and economic benefits. However, these habitats are increasingly threatened by anthropogenic activities and climate change. This study assessed coral cover, reef fish composition and abundance and seagrass distribution in the Tiaro Locally Managed Marine Area (LMMA), Solomon Islands, to evaluate ecosystem health and conservation effectiveness. Ecological surveys at eleven sites revealed variable coral cover, ranging from 26% to 52%, with bleaching and disease most prevalent at Kotatave (11%) and Kokomu (10%). Herbivorous fish, particularly Pomacentridae and Acanthuridae, dominated the fish assemblages, while predatory species were scarce, suggesting trophic imbalance. Seagrass coverage varied across sites, with *Cymodocea rotundata* being the most dominant species, especially at Leleona (72% coverage). The findings highlight the interdependence of coral, seagrass and fish communities and emphasize the need for integrated, community-based conservation strategies to enhance ecosystem resilience.

Keywords: community-based management, coral reef health, herbivorous fish, seagrass distribution, Tiaro LMMA

Abstrak.

Terumbu karang, padang lamun, dan komunitas ikan yang terkait merupakan ekosistem pesisir yang penting karena memberikan manfaat ekologis dan ekonomi yang signifikan. Namun, ekosistem ini semakin terancam oleh aktivitas antropogenik dan perubahan iklim. Penelitian ini mengevaluasi tutupan karang, komposisi dan kelimpahan ikan karang, serta distribusi lamun di Tiaro Locally Managed Marine Area (LMMA), Kepulauan Solomon, untuk menilai kondisi ekosistem dan efektivitas konservasi. Survei ekologi di sebelas lokasi menunjukkan variasi tutupan karang antara 26% hingga 52%, dengan pemutihan dan penyakit karang paling tinggi terjadi di Kotatave (11%) dan Kokomu (10%). Komunitas ikan didominasi oleh jenis herbivora, khususnya famili Pomacentridae dan Acanthuridae, sementara ikan predator jarang ditemukan, yang mengindikasikan ketidakseimbangan trofik. Tutupan lamun bervariasi antar lokasi, dengan *Cymodocea rotundata* sebagai spesies yang paling dominan, terutama di Leleona dengan tutupan mencapai 72%. Temuan ini menekankan adanya keterkaitan antara terumbu karang, lamun, dan komunitas ikan, serta pentingnya pendekatan konservasi berbasis masyarakat secara terpadu untuk meningkatkan ketahanan ekosistem.

Kata kunci: distribusi lamun, ikan herbivora, kesehatan karang, pengelolaan berbasis masyarakat, Tiaro LMMA

1. INTRODUCTION

Coral reefs, seagrass meadows and associated fish communities are vital in coastal ecosystems that provide several ecological and economic benefits, including biodiversity, carbon sequestration, coastal protection and fisheries production (Hoegh-Guldberg *et al.* 2009; Unsworth *et al.* 2018; Pendleton *et al.* 2019; Cavada-Blanco *et al.* 2021). Ecologically coral reefs serve as critical habitats for many marine organisms, offering shelter and food, whereas seagrass meadows play roles as

* Authors Correspondence
Email: yusli@apps.ipb.ac.id

breeding and nursery grounds for various fish, turtles, mammals and invertebrates, stabilizing sediments and enhancing carbon storage (Duarte *et al.* 2010; Unsworth *et al.* 2012; East *et al.* 2023; Lima *et al.* 2023).

The carbon sequestration potential of seagrass meadows has been widely recognized as an essential ecological function in mitigating global climate change (Serrano *et al.* 2021). Recent studies in Indonesia have shown that seagrass beds store significant amounts of carbon, making them a significant key component of climate resilience strategies in the country (Rahman *et al.* 2023). Despite their ecological importance, these two ecosystems face severe threats from human activities such as overfishing, coastal development and pollution, along with environmental stressors like coral bleaching and seagrass degradation (Waycott *et al.* 2009; Hughes *et al.* 2017). In the Pacific region, including the Solomon Islands, seagrass is experiencing significant degradation due to anthropogenic pressures such as pollution, coastal development and climate change (Brodie and N'Yeurt 2018). The decline of seagrass meadows could have extensive consequences, including the loss of essential fish habitats and the disruption of food webs, further emphasizing the need for immediate conservation measures (Waycott *et al.* 2009; Wawo *et al.* 2014; Unsworth *et al.* 2018).

Given these challenges, regular ecological assessments are essential and priority to track changes in marine ecosystem health and develop sustainable management strategies (Oliver *et al.* 2020; Wang *et al.* 2023). The economic valuation of seagrass ecosystems has also been proposed as a way to emphasize their ecological importance in coastal and marine management policies (Wawo *et al.* 2014; Wahyudin *et al.* 2018). By assigning a monetary value to seagrass ecosystem services, conservation efforts can be prioritized in marine protected areas where ecosystem degradation poses significant threats to the existence of biodiversity and local livelihoods (Wawo *et al.* 2014; Arkema *et al.* 2017).

Like other regions dealing with growing environmental pressures such as Indonesia, where overfishing and climate change threaten coastal ecosystems, the Pacific region faces similar challenges. Rising sea temperatures, ocean acidification and unsustainable fishing practices are putting marine biodiversity and local economies at risk (Bell *et al.* 2018; Bindoff *et al.* 2019). To address these concerns, many communities in the Pacific have adopted Locally Managed Marine Areas (LMMAs) as a way to protect their marine resources. LMMAs are community-led initiatives that give

local people like fishers and coastal residents, a direct role in managing the ocean areas they depend on (Govan 2009).

These initiatives typically involve no-take zones, seasonal fishing bans, and habitat restoration to support marine biodiversity and long-term ecosystem resilience (Govan *et al.* 2008; Jupiter *et al.* 2014). One example is the Tiaro Locally Managed Marine Area (LMMA), established in 2012. This project focuses on protecting coral reefs, reef fish and seagrass meadows (Jupiter *et al.* 2014). Like other LMMAs in the Pacific, its success depends on regular ecological monitoring to track changes in the environment and adjust strategies as needed (Govan *et al.* 2008). Ongoing assessments are crucial—not only for collecting data to inform decision-making but also to keep conservation efforts aligned with the changing environment and the needs of local communities (Olsson *et al.* 2004; Tuda *et al.* 2019). By regularly monitoring both ecological and social conditions, LMMAs can adapt to new challenges while ensuring that conservation remains a collaborative and effective process. This community-centered approach highlights how local action can play a key role in preserving marine ecosystems for future generations.

Despite the recognized significance of Tiaro LMMA, recent scientific data on the status of its coral reefs, reef fish populations and seagrass meadows remain limited. Previous studies in Indonesia have shown that community-based management can be effective in maintaining the ecological health of seagrass meadows (Wahyudin *et al.* 2018) and coral reef ecosystems (Govan 2009; Jupiter *et al.* 2014). However, such efforts require a strong foundation of scientific assessments and adaptive conservation strategies (Arkema *et al.* 2017; Pelletier 2020). Given the dynamic nature of marine ecosystems and increasing anthropogenic pressures, an updated assessment is necessary to evaluate the success of conservation measures and guide future management efforts (Oliver *et al.* 2020; Wang *et al.* 2023).

Coral coverage is a key indicator of reef health, as declines in coral cover often signal degradation in coral reef ecosystem (Bellwood *et al.* 2004; De'ath *et al.* 2012). Similarly, reef fish composition and abundance reflect biodiversity and trophic dynamics, despite the fact seagrass coverage provides insights into habitat stability and carbon sequestration potential (Unsworth *et al.* 2015; Robinson *et al.* 2023). In Indonesia, various studies have demonstrated that the presence of seagrass meadows

contributes to ecosystem resilience, providing a buffer against coastal erosion and supporting local fisheries productivity (Wawo *et al.* 2014; Syukur *et al.* 2017).

This study aims to assess coral coverage, reef fish abundance and composition, and seagrass distribution at eleven sites within Tiaro LMMA. Site selection was based on ecological significance, accessibility and relevance to ongoing conservation initiatives. Using standardized ecological assessment techniques, including underwater video transects and quadrat-based surveys, this study provides a comprehensive evaluation of ecosystem conditions. The findings offer a scientific basis for enhancing conservation efforts, expanding community engagement in marine protection and improving resource management strategies within Tiaro LMMA.

2. METHODOLOGY

2.1. Location and time of study

This study was conducted in Tiaro Bay, Solomon Islands, from September to October 2024 within the Tiaro Locally Managed Marine Area (LMMA). Site selection was based on ecological significance, accessibility and relevance to ongoing conservation efforts, determined through consultations with Tiaro community chiefs, the LMMA committee and the Solomon Islands National Fisheries. Eleven sites were surveyed, comprising eight locations for coral reef and fish assessments and three locations for seagrass evaluations. Data analysis and interpretation were conducted at the Faculty of Fisheries and Marine Science, IPB University, Bogor, Indonesia. **Figure 1** shows the spatial distribution of the research area and sampling site.

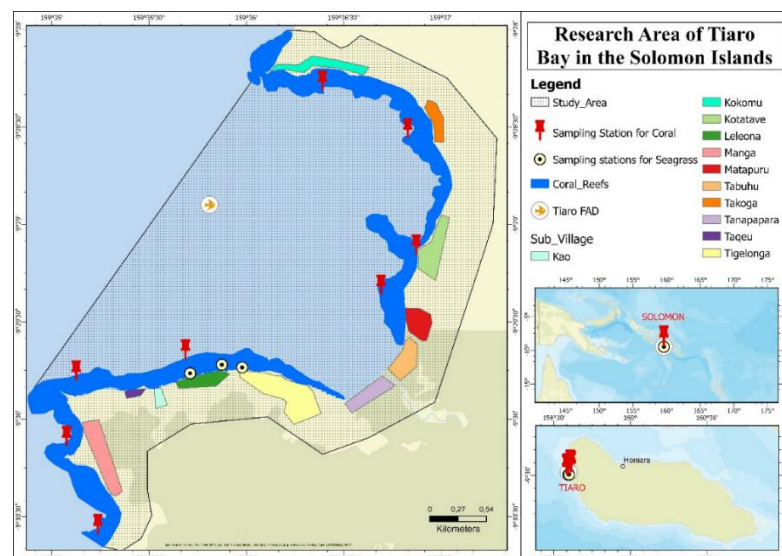


Figure 1. Map of research area and sampling site in Tiaro Locally-Managed Marine Area.

2.2. Data collection and analysis procedures

The research employed a combination of standardized ecological assessment techniques, including the Video Line Transect (VLT) method for coral and fish assessments and the Photo Line Transect (PLT) method in conjunction with quadrat-based surveys for seagrass evaluations. Video Line Transects (VLTs) were chosen to survey large coral reef areas efficiently while reducing diver bias and providing a permanent visual record for future verification (Wartenberg and Booth 2015). The photo Line Transect (PLT) method combined with quadrat sampling was chosen to capture detailed images for accurate species identification and density measurements of seagrass meadows. This approach follows established monitoring protocols to ensure consistent and reliable data collection (McKenzie 2003). Together, these methods support the study's goal of gathering precise and objective ecological data across diverse marine habitats. To conduct the surveys, a set of essential tools was utilized, including snorkel gear, an underwater camera for video documentation, a GPS device for accurate site mapping, a 25-meter measuring tape for transect establishment, waterproof paper for field recordings and 1m² quadrats for seagrass sampling. This combination of methods and equipment allowed for thorough ecological assessments while maintaining consistency and accuracy across all survey sites.

For coral and fish assessments, data collection followed the Video Line Transect (VLT) method, which was adapted from Safuan *et al.* (2015). At each site, a 25-meter transect line was deployed along the substrate, positioned perpendicular to the shoreline to capture variations in benthic cover. A diver equipped with snorkel gear recorded continuous video footage along the transect while maintaining a consistent depth from the substrate. Each site was surveyed using three replicate transects, with a 20-meter separation between them. In total, 24 transects were surveyed across the eight designated coral reef sites.

Seagrass assessments were conducted using a combination of the Photo Line Transect (PLT) method and quadrat-based sampling, modified from McKenzie and Yoshida (2009). A 25-meter transect line was placed perpendicular to the shoreline in each seagrass meadow site. Along each transect, quadrats measuring 1m² were positioned at 5-meter intervals, alternating along both sides of the transect line. Within each quadrat, high-resolution vertical-angle photographs were taken to ensure

comprehensive visual documentation of the seagrass cover. Seagrass species, including *Enhalus acoroides*, *Thalassia hemprichii* and *Cymodocea rotundata*, were identified using the Seagrass-Watch Rapid Assessment & Mapping Manual (McKenzie 2003) and the Solomon Islands Marine Assessment Guide (Green *et al.* 2006). Additional leaf and root samples were collected and preserved for further verification at the Faculty of Fisheries and Marine Science, IPB University.

Following data collection, coral reef and fish analyses were conducted using Coral Point Count with Excel extensions (CPCe) software (Kohler and Gill 2006). The recorded video footage was processed at the Faculty of Fisheries and Marine Science, where still images were systematically extracted at 0.5-meter intervals along each transect, generating a total of 50 frames per transect. Given that each study site consisted of three transects, a total of 150 still frames were analyzed per site, resulting in 1,200 frames across all sites. Coral coverage was classified into distinct substrate categories, including Acropora coral, non-Acropora coral, algae, sand and abiotic elements, following the classification system of English *et al.* (1997). Coral health was further evaluated using established classification frameworks, including those of Gomez and Yap (1988) and Hill and Wilkinson (2004), to assess live coral cover and bleaching incidence. This classification standard is presented in **Table 1**.

Table 1. Standard criteria for assessing coral health following Gomez and Yap (1988).

Condition	Percentage
Poor	0–24.9%
Fair	25–49.9%
Good	50–74.9%
Excellent	75–100%

Fish community structure was analyzed based on species composition and abundance, following the identification guide of Allen (2010) and the classification system of English *et al.* (1997). Fish species were categorized into three functional groups: target fish, which are commonly harvested in fisheries and serve as indicators of fishing pressure (e.g., parrotfish, surgeonfish, coral trout and blacktip sharks); indicator fish, which are sensitive to environmental disturbances and provide insights into reef health (e.g., butterflyfish and angelfish); and major fish, which form the dominant reef-associated fish biomass (e.g., damselfish, wrasse, blennies and triggerfish).

Seagrass cover analysis was conducted using percent cover photo standards, following the methodology outlined by McKenzie (2003). The percentage cover of each seagrass species within each quadrat was estimated based on visual calibration sheets. The total site area occupied by each species was calculated using spatial mapping techniques with GIS-based tools (ArcGIS, Esri 2020) and Coral Atlas (Allen Coral Atlas, n.d.). The seagrass condition at each site was assessed based on Fortes (1990) classification criteria, which categorize seagrass health according to coverage percentage, as shown in **Table 2**.

Table 2. Criteria of the seagrass beds condition in accordance with Fortes (1990).

Condition	Criteria (% Cover)
Excellent	76-100
Good	51-75
Fair	26-50
Poor	0-25

Environmental conditions varied across the study area, with water depth along transects ranging from 1.5 meters to over 5 meters, depending on site characteristics. The analysis framework incorporated three key ecological indicators: coral reef health, measured by live coral coverage and disease prevalence; fish abundance, evaluated through species composition and density per square meter; and seagrass habitat stability, determined by species-specific coverage percentages and overall site-wide mapping.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Coral coverage and condition

The coral coverage across study sites exhibited significant variation, with Suvatara having the highest coral cover at 52%, while Takoqa recorded the lowest at 26%. Sites such as Kokomu, Tatsau and Tavutu displayed moderate coral coverage, ranging from 36% to 37%, with relatively low variability. Conversely, Suvatara and Kotatave had higher standard deviations, indicating considerable spatial variation in coral cover. These findings suggest that while some areas within the Tiaro LMMA maintain moderate to high coral cover, others exhibit substantial degradation (**Figure 2**).

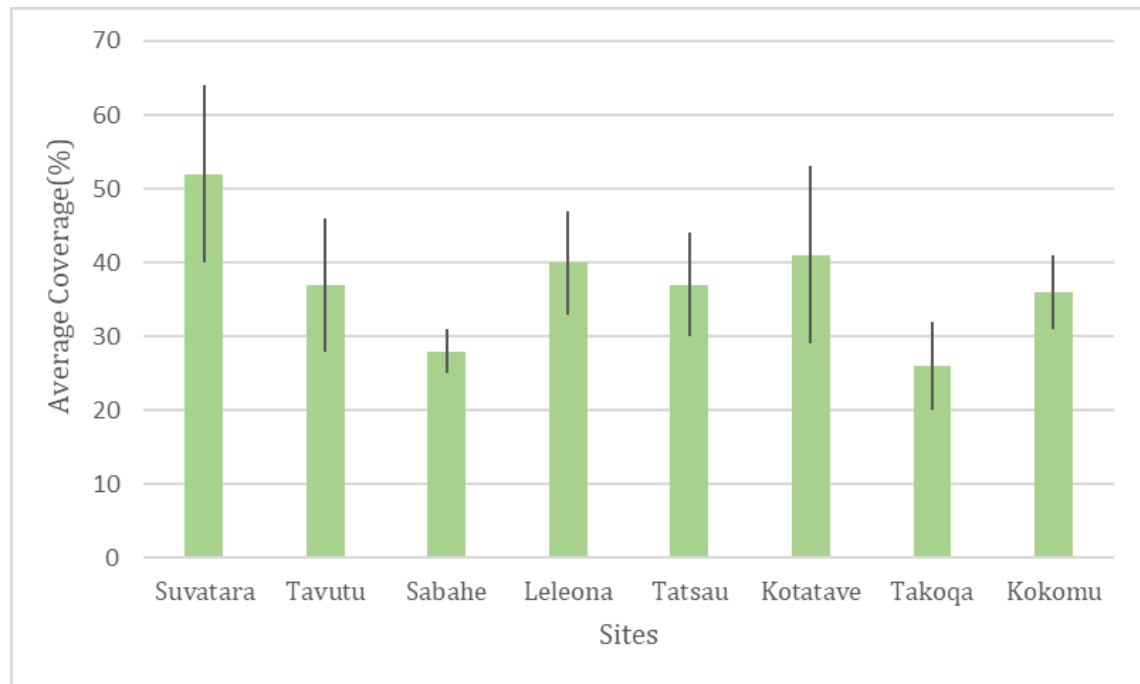


Figure 2. The condition of coral coverage in Tiaro Locally-Managed Marine Area, West Guadalcanal – Solomon Islands.

The highest coral bleaching and disease prevalence were found at Kotatave ($11\% \pm 4$) and Kokomu ($10\% \pm 3$), as seen in **Figure 3**. The condition indicated environmental stress, probably due to sedimentation, poor water quality and elevated sea surface temperatures (Harvell *et al.* 2007; Baker *et al.* 2008; Hughes *et al.* 2017). Previous studies have demonstrated that coral degradation is strongly linked to pollution, diseases, overexploitation and climate change, as reviewed by Najeeb *et al.* (2025). Similarly, Hughes *et al.* (2003) highlighted that climate-induced coral bleaching, coupled with anthropogenic stressors such as coastal development and sedimentation, significantly reduces reef resilience.

Increased sedimentation from terrestrial runoff could influence coral growth, lower recruitment rates and disturb reef ecosystem dynamics (Rogers 1990; Wenger *et al.* 2020; Tuttle and Donahue 2022). These findings align with broader studies that stress the vulnerability of coral reef ecosystems to human-induced stressors, as found by Burke *et al.* (2002), Hoegh-Guldberg *et al.* (2007) and De'ath *et al.* (2012), strengthening the imperative need for comprehensive conservation strategies in the Tiaro LMMA (Fabricius 2005; Carilli *et al.* 2009; Denley *et al.* 2020).

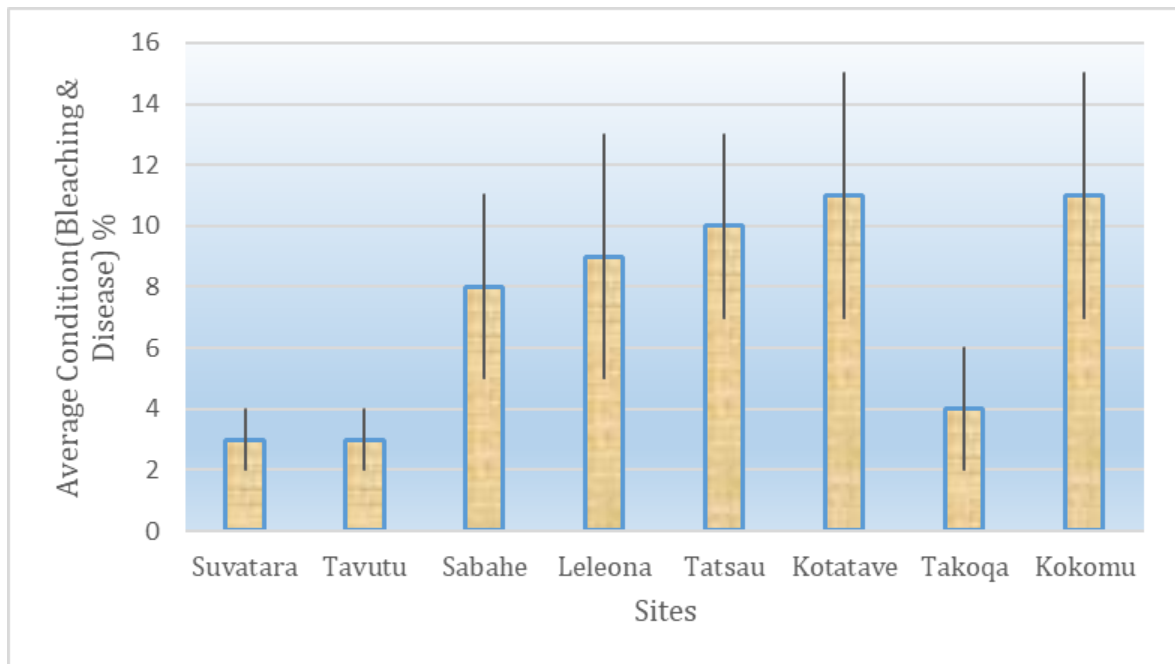


Figure 3. The average condition of coral bleaching and disease prevalence in Tiaro Locally-Managed Marine Area, West Guadalcanal – Solomon Islands.

The decline in coral cover at Takoqa, which is located near human settlements, may be attributed to increased boating activities, sedimentation and/or land-based pollution. Research has shown that human activities increase turbidity levels, limiting photosynthesis in coral ecosystems and affecting the growth of coral (Burke *et al.* 2002; Hughes *et al.* 2003; Fabricius 2005; De'ath *et al.* 2012). Furthermore, the coral reef at Kotatave, situated near a river mouth, may be experiencing higher sedimentation levels, further exacerbating bleaching susceptibility (Rogers 1990; Wenger *et al.* 2020; Tuttle and Donahue 2022). Many research findings proved that increased sedimentation could smother corals, lower larval recruitment and shift competitive dynamics between coral and macroalgae (Baker *et al.* 2008; Carilli *et al.* 2009; Hughes *et al.* 2017). These findings emphasize the need for enhanced conservation measures, particularly in the study areas which are vulnerable to runoff and anthropogenic disturbances (Denley *et al.* 2020; Tuttle and Donahue 2022).

3.2. Fish composition and abundance

The dominant fish families recorded in the study sites were Pomacentridae (Damselfish) with 850 individuals, Acanthuridae (Surgeonfish) with 394 individuals and Scaridae (Parrotfish) with 148 individuals (**Figure 4**). Other reef-associated fish, such as Labridae (Wrasse) and Chaetodontidae (Butterflyfish), were moderately

represented, while predatory species, including Serranidae (Coral Trout) and Carcharhinidae (Blacktip Shark), were remarkably scarce. The low abundance of predatory species suggests that the reef ecosystem is considered to be experiencing trophic imbalances, probably because of overfishing and/or habitat degradation, as found by Wilson *et al.* (2006), Pratchett *et al.* (2011a), and Goetze *et al.* (2018). Studies showed that loss of reef structural complexity has been linked to decreased fish biomass and shifts in trophic interactions (Graham and Nash 2013; Coker *et al.* 2014; Robinson *et al.* 2023). Additionally, herbivorous fish such as Acanthuridae and Scaridae play an ecology and critical role in maintaining reef resilience by grazing algae and controlling its overgrowth (Bellwood *et al.* 2004; Mumby and Steneck 2008).

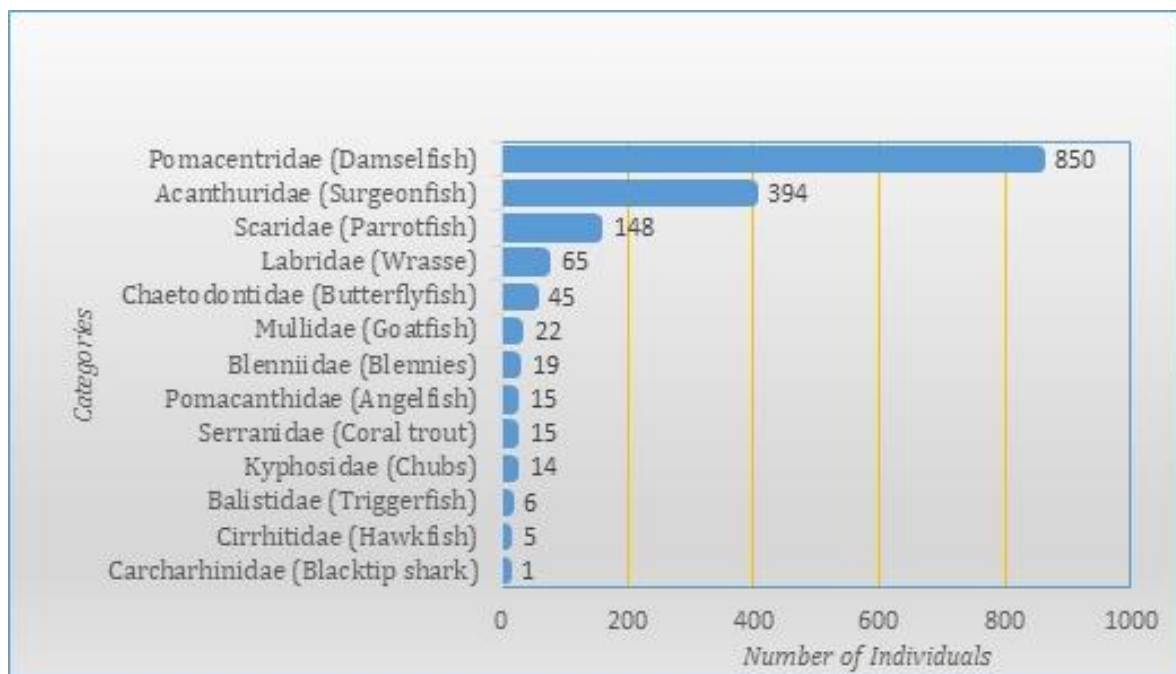


Figure 4. Composition of fish in the coral ecosystem of Tiaro Locally-Managed Marine Area, West Guadalcanal – Solomon Islands.

The highest fish abundances were recorded at Kotatave (1.2 fish/m²) and Kokomu (1.1 fish/m²), while Suvatara, Tavutu, Sabahe and Takoqa exhibited the lowest abundances at 0.8 fish/m² (**Figure 5**). The increased fish abundance in degraded coral sites suggests a proliferation of herbivorous species, such as parrotfish and surgeonfish, which often thrive in algae-dominated environments following coral mortality (Wilson *et al.* 2006; Graham *et al.* 2011; Adam *et al.* 2015). Several studies have shown that herbivorous fish play a significant role in reef resilience and health by grazing macroalgal to control its growth, thereby influencing coral recovery dynamics

(Bellwood *et al.* 2004; Mumby and Steneck 2008). However, a continued decline in coral cover may cause a fish diversity reduction, because more complex structure of reefs supports a greater variety of species (Alvarez-Filip *et al.* 2011; Pratchett *et al.* 2011a; Coker *et al.* 2014). In their study Hughes *et al.* (2010) and Graham and Nash (2013) elucidated that loss of reef structural complexity has been linked to decreased fish biomass, altered trophic interactions and the collapse of specialized reef fish populations.

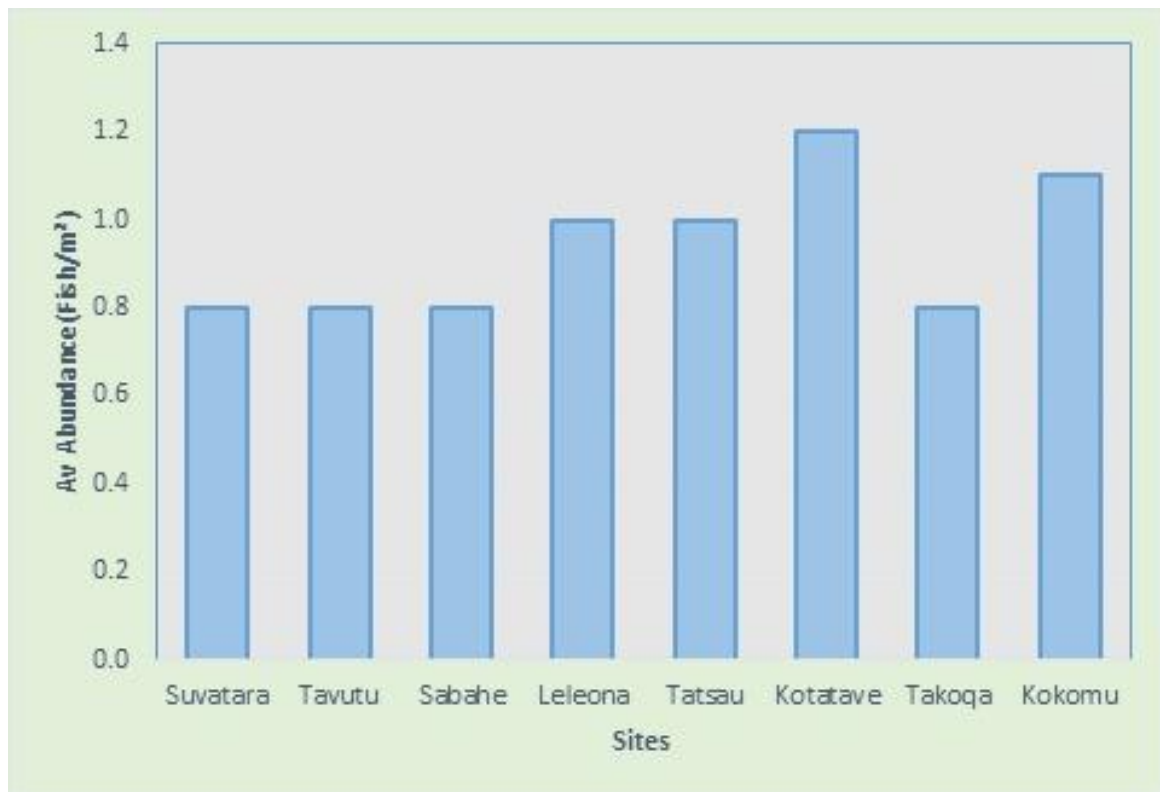


Figure 5. The abundance of fish in the coral ecosystem of Tiaro Locally-Managed Marine Area, West Guadalcanal – Solomon Islands.

The absence of large predatory fish in Tiaro LMMA suggests that further conservation efforts are necessary to enhance the enforcement of fishing regulations and restore predator populations. For comparison, some studies have shown that overfishing in seagrass habitats has led to a decline in fish biomass, affecting the sustainability of small-scale fisheries (Jones *et al.* 2004; Wahyudin *et al.* 2018). Overfishing has resulted in significant reductions in predatory fish populations worldwide, with estimates demonstrating that up to 90% of large predatory fish have been depleted in certain countries (Norse *et al.* 2012; Graham *et al.* 2015). Ecologically, this decline disrupts marine ecosystems, as the removal of top predators is believed to

lead to imbalances and cascading impacts all over the food web (Myers *et al.* 2007; Goetze *et al.* 2018; Robinson *et al.* 2023). These findings reinforce the importance of protecting predator species to maintain ecosystem balance in Tiaro LMMA (Pratchett *et al.* 2011b; Graham and Nash 2013).

3.3. Seagrass distribution, coverage and health

Seagrass distribution varied significantly among sites, with *Cymodocea rotundata* being the most dominant species across all surveyed sites. Tabani recorded a total seagrass meadow of 4,353 m², with *Cymodocea rotundata* covering 696 m² (16%), followed by *Enhalus acoroides* (827 m², 19%) and *Thalassia hemprichii* (522 m², 12%). Meanwhile, Leleona exhibited high seagrass cover (72%), predominantly *C. rotundata* (1,443 m² ±19 SD), with *Enhalus acoroides* covering 421 m² (Table 3).

Table 3. Seagrass distribution and condition in Tiaro Locally-Managed Marine Area, West Guadalcanal – Solomon Islands.

Site	Species	% Of Site Area	Total Area Seagrass Meadows (m ²)	Total Area (m ²)
Tabani	<i>Enhalus acoroides</i>	19	4,353	827 ±14
Tabani	<i>Thalassia hemprichii</i>	12	4,353	522 ±9
Tabani	<i>Cymodocea rotundata</i>	16	4,353	696 ±17
Leleona	<i>Cymodocea rotundata</i>	72	2,004	1,443 ±19
Leleona	<i>Enhalus acoroides</i>	21	2,004	421 ±18
Tseli	<i>Cymodocea rotundata</i>	25	6,614	1,654 ±5
Tseli	<i>Enhalus acoroides</i>	21	6,614	1,389 ±9

As mentioned above, seagrass plays a critical role in carbon sequestration, habitat stabilization and nursery grounds for marine species (Duarte *et al.* 2010; Serrano *et al.* 2021). Studies in Gili Maringkik, Lombok, Indonesia, has demonstrated that seagrass beds store significant amounts of carbon, making them crucial for climate change mitigation (Unsworth *et al.* 2012; Rahman *et al.* 2023). Seagrass health assessments in Tiaro LMMA using the Fortes (1990) classification indicated that while most sites exhibited moderate to good coverage, some areas showed signs of degradation, possibly due to increased sedimentation and nutrient enrichment. This problem is similar to that in Indonesia and other part of the world, where coastal development and pollution are key threats to seagrass meadows, particularly in regions where unregulated tourism and land reclamation occur and other relevant causes (Waycott *et al.* 2009; Wawo *et al.* 2014; Syukur *et al.* 2017; Unsworth *et al.*

2018). These results highlight the importance of integrating seagrass conservation into broader marine spatial planning strategies (Lima *et al.* 2023; East *et al.* 2023).

3.4. Interdependence between coral reefs, fish and seagrass ecosystems

The results of this study in Tiaro LMMA indicate that coral reef degradation is influencing fish community composition, with herbivorous fish increasing in abundance in areas with higher coral bleaching and mortality. While this shift may provide temporary resilience by controlling algal overgrowth, long-term coral decline is likely to negatively affect reef-associated fish diversity (Bellwood *et al.* 2004; Wilson *et al.* 2006; Mumby and Steneck 2008; Pratchett *et al.* 2011a; Graham and Nash 2013; Graham *et al.* 2015; Adam *et al.* 2015).

In this study, Suvatara recorded the highest coral cover at 52%, classified as 'Good', whereas Takoqa had the lowest at 26%, falling into the 'Fair' category. Meanwhile, Kotatave and Kokomu, which experienced higher levels of coral bleaching and disease ($11\% \pm 4$ and $10\% \pm 3$ respectively), also showed increased fish abundance (1.2 and 1.1 fish/m²). These sites were dominated by herbivorous fish such as Pomacentridae (850 individuals) and Acanthuridae (394 individuals), suggesting a trophic shift following coral degradation. This supports the assertion that algae-grazing fish become more prevalent as coral cover declines and algae becomes more abundant, compensating partially for the loss of structural complexity but potentially undermining long-term biodiversity.

Similarly, seagrass meadows contribute to the stability of the marine ecosystem, providing habitat for juvenile fish and buffering sedimentation impacts on coral reefs. In this study, *Cymodocea rotundata* was the most dominant across all three surveyed sites. Leleona exhibited the highest coverage at 72%, with *C. rotundata* covering 1,443 m² (± 19 SD), indicating a relatively healthy seagrass bed. In contrast, Tabani showed more moderate coverage (16%–19%), with three co-existing species. These meadows serve as essential nursery habitats and act as sediment traps, reducing turbidity and thereby indirectly supporting nearby coral reefs and inhabiting organisms.

Research in the Indo-Pacific region highlights the strong ecological connection between coral reefs, seagrass beds and fish populations. Seagrass meadows play a vital role in reducing sedimentation on nearby coral reefs while providing crucial nursery habitats for juvenile fish (Powell *et al.* 2014; Unsworth *et al.* 2018). Similarly, a study

in Fiji emphasizes that seagrass enhances fish recruitment and supports biodiversity, reinforcing the importance of integrated management across these ecosystems (Jupiter *et al.* 2014). These findings collectively stress the need to preserve interconnected habitats to maintain the resilience of marine ecosystems in Locally Managed Marine Areas (LMMAs).

The spatial pattern in Tiaro LMMA, where coral degradation coincides with herbivore dominance and variable seagrass health, demonstrates how disturbances in one component of the ecosystem can cascade into others. For instance, sites with moderate coral cover but poor fish diversity (e.g., Takoqa) may indicate that reef structure alone is insufficient to sustain fish populations without ecological balance. On the other hand, areas with healthier seagrass beds (e.g. Leleona) may help maintain ecosystem services such as fish recruitment and sediment control even as adjacent coral reefs experience stress.

These conditions in Tiaro LMMA reinforce the need for integrated marine resource management, where conservation efforts consider the interdependence of coral reefs, fish populations and seagrass ecosystems (Unsworth *et al.* 2015; Unsworth *et al.* 2018). Given the success of LMMAs in other regions, Tiaro LMMA could benefit from strengthened community engagement and long-term monitoring to enhance ecosystem resilience (Govan *et al.* 2008; Govan 2009; Jupiter *et al.* 2014; Arkema *et al.* 2017; Wahyudin *et al.* 2018; Pelletier 2020).

4. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

This study revealed varying coral cover, fish abundance and seagrass distribution across Tiaro LMMA. Herbivorous fish dominance and low predator presence indicate trophic imbalance linked to coral degradation. Seagrass meadows, particularly *Cymodocea rotundata*, support ecosystem stability. These findings highlight the ecological linkages among coral, fish and seagrass, reinforcing the need for integrated, community-based management and ongoing monitoring to sustain ecosystem health.

5. ACKNOWLEDGEMENT

The first author gratefully acknowledges IPB University for its support and thanks Dr. Wazir Mawardi and Dr. Fis Purwangka for their guidance in data analysis. We also thank the Tiaro community chiefs, LMMA committee and the Solomon Islands

Ministry of Fisheries for their assistance with site selection and fieldwork. Special appreciation goes to Mr. Peter Lausu'u, field assistants and local volunteers for their support in data collection. This research was funded by UNDP, whose support was crucial. We are especially grateful to the Tiaro Bay community for their cooperation and commitment to marine conservation. Finally, we thank the reviewer for their valuable corrections and suggestions that improved the first draft of this manuscript.

6. REFERENCES

- Adam TC, Burkepile DE, Ruttenberg BI and Paddack MJ. 2015. Herbivory and the resilience of Caribbean coral reefs: knowledge gaps and implications for management. *Marine Ecology Progress Series* 520:1–20.
- Allen, GR. 2010. Reef Fish identification: Tropical Pacific. 4th ed. New World Publications. Jacksonville, FL.
- Alvarez-Filip L, Gill JA and Dulvy NK. 2011. Complex reef architecture supports more small-bodied fishes and longer food chains on Caribbean reefs. *Ecosphere* 2(10):1–17.
- Arkema K, Fisher D and Wyatt K. 2017. Economic valuation of the Bahamian marine protected areas. Prepared for BREEF by The Natural Capital Project, Stanford University.
- Baker AC, Glynn PW and Riegl B. 2008. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 80(4):435–471.
- Bell JD, Cisneros-Montemayor A, Hanich Q, Johnson JE, Lehodey P, Moore BR, Pratchett MS, Reygondeau G, Senina I, Virdin J, Colette CC and Wabnitz CCC. 2018. Adaptations to maintain the contributions of small-scale fisheries to food security in the Pacific Islands. *Marine Policy* 88:303–314.
- Bellwood DR, Hughes TP, Folke C and Nyström M. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429(6994):827–833.
- Bindoff NL, Cheung WWL, Kairo JG, Arístegui J, Guinder VA, Hallberg R, Hilmi N, Jiao N, Karim MS, Levin L, O'Donoghue S, Purca Cuicapusa SR, Rinkevich B, Suga, T, Tagliabue A and Williamson P. 2019. Changing Ocean, Marine Ecosystems and Dependent Communities. In: Pörtner HO, Roberts DC, Masson-Delmotte V, Zhai P, Tignor M, Poloczanska E, Mintenbeck K, Alegría A, Nicolai M, Okem A, Petzold

- J, Rama B and Weyer NM (Eds.), IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (pp. 447–587). Cambridge University Press.
- Brodie G and N’Yeurt ADR. 2018. Effects of climate change on seagrasses and seagrass habitats relevant to the Pacific Islands. Pacific Marine Climate Change Report Card, Science Review 112-131.
- Burke L, Reyntar K, Spalding M and Perry A. 2002. Reefs at risk in Southeast Asia. World Resources Institute.
- Carilli JE, Norris RD, Black BA, Walsh SM and McField M. 2009. Local stressors reduce coral resilience to bleaching. PLoS ONE 4(7):e6324.
- Cavada-Blanco F, Cróquer A, Yerena E and Rodriguez JP. 2021. Flow of economic benefits from coral reefs in a multi-use Caribbean marine protected area using network theory. Frontiers in Marine Science 8:671024.
- Coker DJ, Wilson SK and Pratchett MS. 2014. Importance of live coral habitat for reef fishes. Reviews in Fish Biology and Fisheries 24:89–126.
- De’ath G, Fabricius KE, Sweatman H and Puotinen M. 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 109(44):17995-17999.
- Denley D, Metaxas A and Scheibling R. 2020. Subregional variation in cover and diversity of hard coral (Scleractinia) in the Western Province, Solomon Islands following an unprecedented global bleaching event. PLoS ONE 15(11):e0242153.
- Duarte CM, Marbà N, Gacia E, Fourqurean JW, Beggins J, Barrón C and Apostolaki ET. 2010. Seagrass community metabolism: assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. Global Biogeochemical Cycles 24(4):2010GB003793.
- East HK, Johnson JA, Perry CT, Finlay G, Musthag A, Zahir H and Floyd M. 2023. Seagrass meadows are important sources of reef island-building sediment. Communication Earth & Environment 4:33.
- English SA, Wilkinson C and Baker V. 1997. Survey manual for tropical marine resources. 2nd ed. Australian Institute of Marine Science. Townsville.
- Esri. (2020). ArcMap 10.8: Spatial analyst tool. Environmental Systems Research Institute.

- Fabricius KE. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50(2):125-146.
- Fortes MD. 1990. Seagrasses: A resource unknown in the ASEAN region. International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM) Education Series No. 5. Manila, Philippines: ICLARM. 46 p.
- Goetze JS, Langlois TJ, McCarter J, Simpfendorfer CA, Hughes A, Leve JT and Jupiter SD. 2018. Drivers of reef shark abundance and biomass in the Solomon Islands. *PLoS ONE* 13(7):e0200960.
- Gomez E and Yap H. 1988. Monitoring reef condition. In Kenchington R A and Hudson B E T (eds.). *Coral Reef Management Hand Book*. UNESCO. Regional Office for Science and Technology for South East Asia. Jakarta.
- Govan H. 2009. Status and potential of locally-managed marine areas in the South Pacific: Meeting nature conservation and sustainable livelihood targets through wide-spread implementation of LMMAs. *Coral Reef Initiatives for the Pacific (CRISP)*.
- Govan H, Aalbersberg W, Tawake A and Parks JE. 2008. Locally-managed marine areas: A guide to supporting community-based adaptive management. *Locally-Managed Marine Area Network*.
- Graham NAJ and Nash KL. 2013. The importance of structural complexity in coral reef ecosystems. *Coral Reefs* 32:315–326.
- Graham NAJ, Nash KL and Kool JT. 2011. Coral reef recovery dynamics in a changing world. *Coral Reefs* 30:283–294.
- Graham NAJ, Jennings S, MacNeil MA, Mouillot D and Wilson SK. 2015. Predicting climate-driven regime shifts versus rebound potential in coral reefs. *Nature* 518 (7537):94–97.
- Green A, Lokani P, Atu W, Ramohia P, Thomas P and Almany J. 2006. Solomon Islands Marine Assessment: Technical report of survey conducted May 13 to June 17, 2004. TNC Pacific Island Countries Report No. 1/06. The Nature Conservancy. South Brisbane.
- Harvell D, Jordán-Dahlgren E, Merkel S, Rosenberg E, Raymundo L, Smith G, Weil E and Willis B. 2007. Coral bleaching and disease: Contributors to coral decline. *Oceanography* 20(1):172–178.

- Hill J and Wilkinson C. 2004. Methods for ecological monitoring of coral reefs. Version 1. Australian Institute of Marine Science. Townsville.
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gomez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R, Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A and Hatzioiols ME. 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318(5857):1737–1742.
- Hoegh-Guldberg O, Hoegh-Guldberg H, Veron JEN, Green A, Gomez ED, Ambariyanto A and Hansen L. 2009. The Coral Triangle and climate change: ecosystems, people and societies at risk. World Wide Fund for Nature.
- Hughes TP, Baird AH, Bellwood DR, Card M, Connolly SR, Folke C, Grosberg R, Hoegh-Guldberg O, Jackson JBC, Kleypas J, Lough JM, Marshall P, Nyström M, Palumbi SR, Pandolfi JM, Rosen B and Roughgarden J. 2003. Climate change, human impacts and the resilience of coral reefs. *Science* 301(5635):929–933.
- Hughes TP, Graham NAJ, Jackson JBC, Mumby PJ and Steneck RS. 2010. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in Ecology & Evolution* 25(11):633–642.
- Hughes TP, Kerry JT, Álvarez-Noriega M, Álvarez-Romero JG anderson KD, Baird AH, Babcock RC, Beger M, Bellwood DR, Berkelmans R, Bridge TC, Butler I R, Byrne M, Cantin NE, Comeau S, Connolly SR, Cumming GS, Dalton SJ, Diaz-Pulido G, Eakin CM, Figueira WF, Gilmour JP, Harrison HB, Heron SF, Hoey AS, Hobbs JPA, Hoogenboom MO, Kennedy EV, Kuo CY, Lough JM, Lowe RJ, Liu G, McCulloch MT, Malcolm HA, McWilliam MJ, Pandolfi JM, Pears RJ, Pratchett MS, Schoepf V, Simpson T, Skirving WJ, Sommer B, Torda G, Wachenfeld DR, Willis BL and Wilson SK. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543(7645):373–377.
- Jones GP, McCormick MI, Srinivasan M and Eagle JV. 2004. Contrasting effects of habitat loss and fragmentation on coral-associated reef fishes. *Conservation Biology* 18(5):1382–1395.
- Jupiter SD, Cohen PJ, Weeks R, Tawake A and Govan H. 2014. Locally-managed marine areas: multiple objectives and diverse strategies. *Pacific Conservation Biology* 20(2):165–179.

- Kohler KE and Gill SM. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): a visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers & Geosciences* 32(9): 259–1269.
- Lima MAC, Bergamo TF, Ward RD and Joyce CB. 2023. A review of seagrass ecosystem services: providing nature-based solutions for a changing world. *Hydrobiologia* 850:2655-2670.
- McKenzie LJ. 2003. Guidelines for the rapid assessment and mapping of tropical seagrass habitats. Queensland Fisheries Service, Northern Fisheries Centre, Cairns. 46p.
- McKenzie LJ and Yoshida RL. 2009. Seagrass-Watch: Proceedings of a Workshop for Monitoring Seagrass Habitats in Indonesia. Sanur, Bali: The Nature Conservancy, Coral Triangle Center. 56p.
- Mumby PJ and Steneck RS. 2008. Coral reef management and conservation in light of rapidly evolving ecological paradigms. *Trends in Ecology & Evolution* 23(10):555–563.
- Myers RA, Baum K, Shepherd TD, Powers SP and Peterson CH. 2007. Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science* 315(5820):1846–1850.
- Najeeb S, Khan RAA, Deng X and Wu C. 2025. Drivers and consequences of degradation in tropical reef island ecosystems: strategies for restoration and conservation. *Frontiers in Marine Science* 12:1518701.
- Norse EA, Brooke S, Cheung WWL, Clark MR, Ekeland I, Froese R, Gjerde KM, Haedrich RL, Heppell SS, Morato T, Morgan LE, Pauly D, Sumaila UR and Watson R. 2012. Sustainability of deep-sea fisheries. *Marine Policy* 36(2):307–320.
- Oliver TA, Kleiber D and Hospital J. 2020. Coral reef resilience and social vulnerability to climate change: main Hawaiian Islands. PIFSC Special Publication SP-20-002a. Pacific Islands Fisheries Science Center.
- Pelletier D. 2020. Assessing the effectiveness of coastal marine protected area management: Four learned lessons for science uptake and upscaling. *Frontier in Marine Science* 7:545930.

- Pendleton L, Hoegh-Guldberg O, Albright R, Kaup A, Marshall P, Marshall N, Fletcher S, Haraldsson G and Hansson L. 2019. The Great Barrier Reef: vulnerabilities and solutions in the face of ocean acidification. *Regional Studies in Marine Science* 31:100729.
- Powell A, Smith DJ, Hepburn LJ, Jones T, Berman J, Jompa J and Bell JJ. 2014. Reduced diversity and high sponge abundance on a sedimented Indo-Pacific Reef system: implications for future changes in environmental quality. *PLoS ONE* 9(1):e85253.
- Pratchett MS, Hoey AS, Wilson SK, Messmer V and Graham NAJ. 2011a. Changes in biodiversity and functioning of reef fish assemblages following coral bleaching and coral Loss. *Diversity* 3(3):424–452.
- Pratchett MS, Wilson SK and Baird AH. 2011b. Declines in the abundance of Chaetodon butterflyfishes following extensive coral depletion. *Journal of Fish Biology* 69(5):1269–1280.
- Rahman FA, Qayim I and Wardiatno Y. 2023. Carbon stored on seagrass beds in Gili Maringkik, Lombok, Indonesia. *Biotropia* 30(1):63–73.
- Robinson JPW, Darling ES, Maire E, Hamilton M, Hicks CC, Jupiter SD, MacNeil MA, Mangubhai S, McClanahan T, Nand Y and Graham NAJ. 2023. Trophic distribution of nutrient production in coral reef fisheries. *Proceedings of the Royal Society B* 290:20231601.
- Rogers CS. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series* 62:185–202.
- Safuan M, Boo WH, Siang HY, Chark LH and Bachok Z. 2015. Optimization of coral video transect technique for coral reef survey: comparison with intercept transect technique. *Open Journal of Marine Science* 5(4):379–397.
- Serrano O, Gómez-López DI, Sánchez-Valencia L, Acosta-Chaparro A, Navas-Camacho R, González-Corredor J, Salinas C, Masque P, Bernal CA and Marbà N. 2021. Seagrass blue carbon stocks and sequestration rates in the Colombian Caribbean. *Scientific Reports* 11:11067.
- Syukur A, Wardiatno Y, Muchsin I and Kamal MM. 2017. Threats to seagrass ecology and indicators of the importance of seagrass ecological services in the coastal waters of East Lombok, Indonesia. *American Journal of Environmental Sciences* 13(3):251–265.

- Tuttle LJ and Donahue MJ. 2022. Effects of sediment exposure on corals: a systematic review of experimental studies. *Environmental Evidence* 11: 4.
- Unsworth RKF, Collier CJ, Henderson GM and McKenzie LJ. 2012. Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: Implications for coral reefs impacted by ocean acidification. *Environmental Research Letters* 7(2):024026.
- Unsworth RKF, Collier CJ, Waycott M, Mckenzie LJ and Cullen-Unsworth LC. 2015. A framework for the resilience of seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 100(1):34–46.
- Unsworth RKF, Nordlund LM and Cullen-Unsworth LC. 2018. Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters* 12(1):e12566.
- Wang C, Lin A and Liu C. 2023. Marine ecological security assessment from the perspective of emergy ecological footprint. *Frontiers in Marine Science* 9:1090965.
- Wahyudin Y, Kusumastanto T, Adrianto L and Wardiatno Y. 2018. A social ecological system of recreational fishing in the seagrass meadow conservation area on the east coast of Bintan Island, Indonesia. *Ecological Economics* 148:22–35.
- Wartenberg R and Booth AJ. 2015. Video transects are the most appropriate underwater visual census method for surveying high-latitude coral reef fishes in the southwestern Indian Ocean. *Marine Biodiversity* 45:633–646.
- Wawo M, Adrianto L, Bengen DG and Wardiatno Y. 2014. Valuation of seagrass ecosystem services in Kotania Bay Marine Nature Tourism Park, Western Seram, Indonesia. *Asian Journal of Scientific Research* 7(4):591–600.
- Waycott M, Duarteb CM, Carruthersc TJB, Orthd RJ, Dennisonc WC, Olyarnike S, Calladinea A, Fourqureanf JW, Heck KL, Hughese AR, Kendricki GA, Kenworthyj WJ, Shortk FT and Williamse SL. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106(30):12377–12381.
- Wenger AS, Harris D, Weber S, Vaghi F, Nand Y, Naisilisili W, Hughes A, Delevaux JM, Klein CJ, Watson J, Wilson JM, Dhanjal-Adams K, Malcolm HA, Grech AM, Sih T, Jupiter S, Augé SAD, Wenger AM, Gurney G and Possingham HP. 2020. Best-Practice forestry management delivers diminishing returns for coral reefs with increased land-clearing. *Journal of Applied Ecology* 57(12):2381–2392.

Wilson SK, Graham NAJ, Pratchett MS, Jones GP and Polunin NVC. 2006. Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: are reef fishes at risk or resilient? *Global Change Biology* 12(11):2220–2234.

“Clean smoke”: solusi inovatif dan efektif untuk mengurangi emisi gas karbon dan partikulat berbahaya pada asap

“Clean smoke”: innovative and effective solutions to reduce carbon gas emissions and hazardous particulates in smoke

Muhammad Khairul Mahmud¹, Fadel Izza¹, Nadya Fildzah Juniar¹, Alqauliyah¹, Alif Rahmawan Syam², Rahmiah Sjafruddin^{2*}

¹ Departemen Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

² Departemen Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia

Abstrak.

Polusi udara akibat pembakaran biomassa berskala kecil hingga besar menjadi salah satu masalah lingkungan utama yang dihadapi secara global. Kontributor utama partikulat (PM_{2.5}) dan zat organik berbahaya seperti CO masing-masing dapat ditemukan di asap dari proses pembakaran yang berpotensi untuk menyebabkan berbagai dampak buruk pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, Penelitian ini merancang alat *Clean Smoke* untuk menurunkan emisi berbahaya dari asap biomassa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu menurunkan zat berbahaya dengan efisiensi sebesar 78,65% dan terbukti menjebak senyawa organik dalam asap. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwasanya sisa cairan buangan atau asap cair yang dihasilkan alat ini menunjukkan perubahan yang signifikan dari angka kekeruhan sebesar 4,16 NTU menjadi 25,5 NTU dimana kenaikan angka ini mengindikasikan bahwasanya alat dan karbon aktif yang menjadi penyerap, mampu mengikat partikulat organik berbahaya dan melarutkannya pada air secara signifikan. Penggunaan *Clean Smoke* berpotensi besar dalam mengurangi paparan emisi beracun dari pembakaran di sektor industri kecil, menengah, hingga besar, serta mendukung pencapaian target *global zero-net emission* dan lingkungan yang lebih sehat.

Kata kunci: *Clean Smoke*, emisi, partikulat, karbon aktif, asap

Abstract.

Many environmental problems currently faced globally are related to air pollution, primarily originating from biomass combustion on both small or large scales. Major contributors to particulate matter (PM_{2.5}) and harmful organic substances such as CO can be found in the smoke from the combustion process. These particulates and toxic substances have been known to have adverse effects on human health. This study presents the design and development of a device called *Clean Smoke*, which has an efficiency rate of 78.65% in reducing harmful substances in air emissions and effectively trapping organic compounds from biomass. In addition, the test results showed that the residual waste liquid or liquid smoke produced by this tool showed a significant turbidity increase from 4.16 NTU to 25.5 NTU, indicating the ability of the tool and activated carbon to bind hazardous particulates in water. With further development, *Clean Smoke* device could significantly reduce exposure to emissions and toxic substances from combustion processes in small to large-scale industries, thereby contributing to a healthier environment and supporting the global goal of achieving zero-net emissions.

Keywords: *Clean Smoke*, emission, particulate, activated carbon, smoke

1. PENDAHULUAN

Saat ini, polusi udara sudah menjadi penyebab kematian terbesar di dunia jika dibandingkan dengan rokok tembakau, infeksi parasit, AIDS dan penyakit menular lainnya (Martins dan da Graça 2023). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mengakui bahwa polusi udara merupakan ancaman yang paling signifikan bagi manusia (World Health Organization 2021). Sumber polusi yang signifikan di daerah pemukiman adalah pembakaran biomassa dari pembakaran kayu yang telah terbukti

*Korespondensi Penulis
Email : rahmiah.sjafruddin@poliupg.ac.id

menghasilkan distribusi partikel dengan ukuran yang bervariasi tergantung dari fase pembakarannya (Harni *et al.* 2023).

Partikulat PM₁₀ dan PM_{2,5} telah menjadi perhatian regulasi kualitas udara di berbagai negara maju (Andrew Price-Allison *et al.* 2021). Hampir 50% populasi dunia telah terpapar polusi udara dari pembakaran bahan bakar padat seperti kayu untuk memasak, pemanasan dan kebutuhan energi (Pillarisetti *et al.* 2023). Kabut asap menyebabkan setidaknya 84,5% populasi menderita penyakit jantung, 76,8% iritasi mata, 44,8% iritasi hidung, 45,5% iritasi tenggorokan dan penderita batuk meningkat sebesar 41,6% (Chanana *et al.* 2023). Partikulat PM_{2,5} berasal dari proses pembakaran yang berkontribusi terhadap 10,2 juta kematian dini setiap tahunnya (Flanagan *et al.* 2023).

Asap pembakaran juga mengeluarkan bahan kimia beracun seperti karbon monoksida (CO) yang menghambat respirasi seluler, formaldehida (HCHO) yang bersifat karsinogenik dan nitrogen dioksida (NO₂) yang memicu iritasi sistem pernapasan hingga asma (Kashtan *et al.* 2023). Selain itu, paparan partikulat PM_{2,5} dalam waktu atau jangka pendek dan jangka panjang dari pembakaran kayu telah terbukti berdampak negatif pada proses metabolisme yang melibatkan stres oksidatif dan inflamasi (Nassan *et al.* 2021). Partikulat (PM) yang dilepaskan dari proses pembakaran biomassa juga mampu mempengaruhi kondisi atmosfer pada tingkat radiasinya melalui efek langsung, yakni menyerap dan menyebarkan radiasi matahari sehingga berujung pada perubahan iklim global dan tidak langsung, yakni peningkatan albedo awan melalui akumulasi inti kondensasi awan (Suriyawong *et al.* 2023).

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan dan mengurangi dampak asap terutama partikulat (PM) dan gas-gas berbahaya yang ditimbulkan dari proses pembakaran kayu ataupun biomassa adalah dengan terobosan proses pencucian asap melalui pembuatan alat yang diberi nama "Clean Smoke". Perancangan alat pencucian asap telah dirancang oleh Bianchini *et al.* (2018) dengan menggunakan tabung silinder isian pelat dengan sistem pencucian polutan dengan aliran yang berlawanan. Sama halnya dengan yang dilakukan oleh Sukmajaya *et al.* (2023) dengan merancang alat filter asap yang dilengkapi penyaring berbahan spons atau busa dan ruang pencuci asap dengan air. Hasil yang diperoleh adalah kandungan gas tak berwarna dan beracun serta berbau tidak enak (HCHO) sebesar 0,123, senyawa

organik volatil total (TVOC) sebesar 0,690 dan pH air sebesar 5,3 pada pembakaran sampah sebanyak 3,5 kg dengan lama waktu 4 jam.

Rancangan alat *Clean Smoke* merupakan inovasi alat pencucian asap yang dilengkapi dengan penyaring dan penjerap berupa karbon aktif untuk menurunkan atau menghilangkan kandungan polutan yang berbahaya pada asap. Kelebihan penggunaan karbon aktif sebagai penyaring dan penyerap karena memiliki luas pori yang besar sehingga efisiensi penjerapan bahan polutan dari asap lebih maksimal. Karbon aktif dipasang pada pelat dengan bentuk hexagonal dan menjadi bahan isian pada alat *Clean Smoke*. Karbon dibuat dari ampas tebu yang akan diaktivasi menggunakan larutan kalium hidroksida 5N (KOH). Menurut Sjafruddin et al. (2021) dengan menggunakan karbon aktif teraktivasi berbahan ampas tebu memiliki daya jerap terhadap zat organik (zat warna) dengan kisaran 169,91 - 198,22 mg adsorbat/g adsorben dan persen removal MB 96-99%. Kebaruan dari rancangan alat ini adalah adanya susunan pelat yang berisi karbon aktif pada menara *Clean Smoke*. Karbon yang digunakan sudah diaktivasi dengan tujuan agar proses penyaringan dan penyerapan polutan-polutan yang terkandung di dalam asap terjadi secara optimal sehingga asap betul-betul bersih dari kandungan polutan. tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk menentukan kemampuan alat *Clean Smoke* dalam menurunkan kandungan gas karbon monoksida (CO) yang tercuci dengan air dan menentukan pengaruh alat karbon aktif pada kolom atau menara *Clean Smoke* untuk menurunkan kandungan gas karbon monoksida (CO).

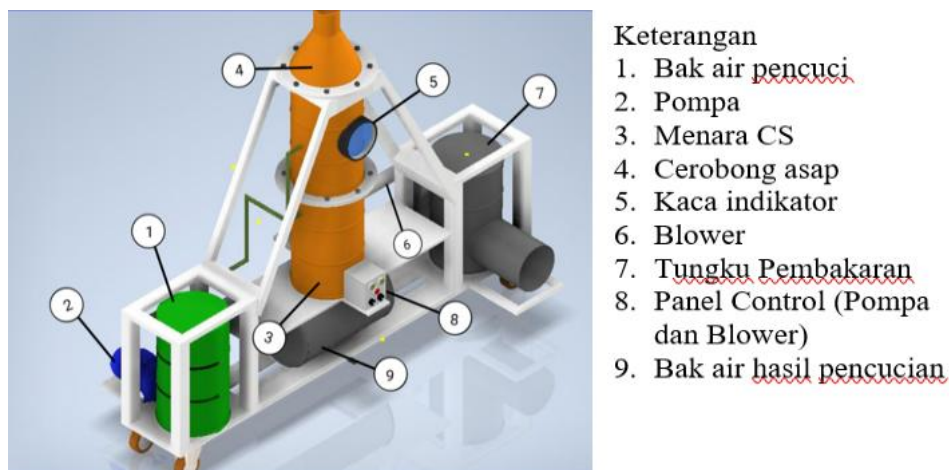
2. METODOLOGI

2.1. Waktu dan lokasi penelitian

Waktu pembuatan alat dimulai dari bulan Mei sampai dengan bulan Agustus tahun 2024. Tempat pelaksanaan terbagi menjadi dua, yakni pembuatan karbon aktif dan analisis air pencucian dari *Clean Smoke* dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia, Kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang dan pembuatan alat *Clean Smoke* dilakukan di Bengkel Las Karya Syam yang berada di Jalan Poros Mangga Tiga Blok H5/13, Makassar.

2.2. Pembuatan alat *Clean Smoke*

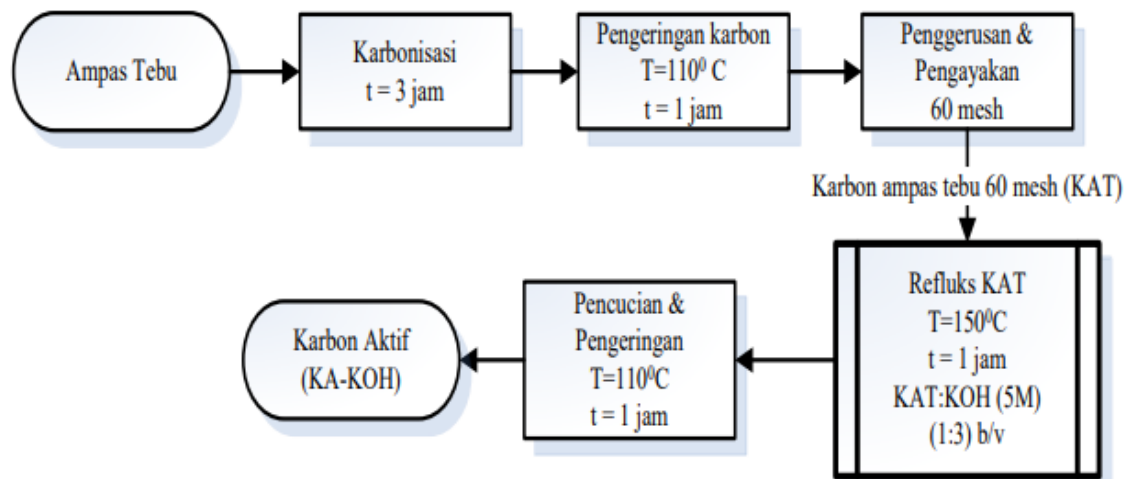
Menara *Clean Smoke* berbentuk silinder berbahan *stainless steel* yang dilapisi dengan *coating* anti karat. Tinggi menara *Clean Smoke* 1,18 meter dengan diameter 30 cm, volume menara *Clean Smoke* sebesar 0,083 m³. Bagian dalam menara *Clean Smoke* dilengkapi dengan dua buah pelat karbon aktif yang dipasang sebagai tempat kontak antara gas dan air. Gas masuk kolom *Clean Smoke* dari bagian bawah yang mengalir melewati pelat karbon aktif, sementara air disemprotkan melalui bagian atas kolom *Clean Smoke*. Kontak antara gas dan air terjadi dengan mekanisme lawan arah (*counter current*). Alat *Clean Smoke* dilengkapi dengan alat penunjang berupa alat kontrol, blower, bak air pencuci, pompa, pipa, valve, bak penampungan air hasil pencucian asap, tungku pembakaran dan cerobong gas. Adapun rancangan alat *Clean Smoke* seperti pada **Gambar 1**.



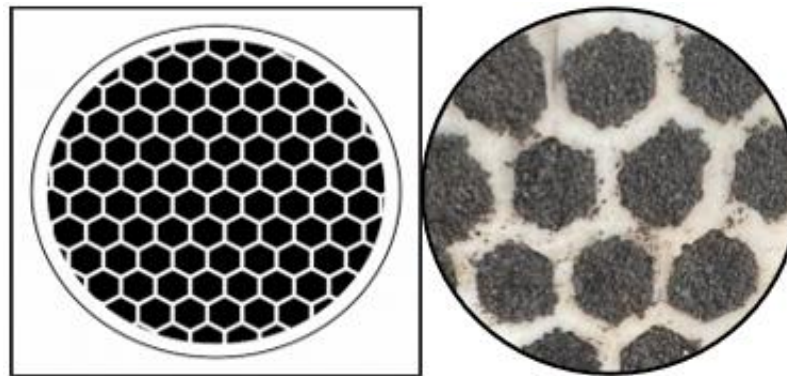
Gambar 1. Spesifikasi rancangan alat *Clean Smoke*.

2.3. Pembuatan karbon aktif

Arang aktif yang digunakan terbuat dari ampas tebu. Proses pembuatan arang aktif dapat dilihat pada **Gambar 2**. Karbon aktif yang dihasilkan dibentuk pada pelat (PE) tahan korosi yang pada permukaannya di bentuk lubang struktur hexagonal yang diisi dengan karbon aktif. Karbon aktif berukuran 60 mesh dicampur dengan bahan perekat (10%) yang kemudian dicetak pada pelat PE (**Gambar 3**). Pelat karbon aktif dipasang di dalam menara *Clean Smoke* secara bersusun yang berfungsi sebagai tempat kontak antara asap dan air, di samping itu karbon aktif juga sebagai adsorben yang dapat menjerap kandungan pada asap.



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan dan aktivasi arang aktif.



Gambar 3. Pelat bahan isian karbon aktif.

2.4. Pengujian kerja alat *Clean Smoke*

Pengujian alat *Clean Smoke* bertujuan untuk menguji kemampuan alat untuk mencuci dan memurnikan asap. Tahap pengujian alat *Clean Smoke* melalui dua uji coba yakni; 1) pengujian kandungan gas karbon monoksida (CO) pada asap yang dilewatkan pada menara *Clean Smoke* tanpa semburan air dan pelat isian karbon aktif (kandungan CO awal pada asap); dan 2) pengujian kandungan gas karbon monoksida (CO) pada asap yang dilewatkan pada menara *Clean Smoke* yang dikontakkan dengan semburan air melewati pelat karbon aktif (kandungan CO) yang dicuci dan dimurnikan dalam menara *Clean Smoke*. Alat pengujian gas CO menggunakan alat *smart sensor* ST8900. Sementara material partikulat dipantau dengan mengukur parameter kekeruhan (*turbidity*) air pencuci asap yang keluar pada bagian bawah menara *Clean Smoke* dengan alat Turbidimeter dan komponen pada air pencuci asap dianalisis dengan Gas Kromatografi MS (GC MS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Prinsip kerja alat *Clean Smoke*

Alat *Clean Smoke* merupakan sebuah prototipe yang bertujuan untuk mereduksi jumlah karbon monoksida (CO) dan partikulat berbahaya di asap pembakaran kayu. Alat ini dibuat dengan memakai alat-alat yang mudah dijangkau dan didapatkan di sekitar kita. Alat *Clean Smoke* dilengkapi dengan alat kontrol yang terdiri atas dua tombol. Tombol sebelah kiri untuk menghidupkan pompa air dan tombol sebelah kanan untuk menghidupkan blower. Blower berfungsi untuk menghisap asap masuk ke dalam menara *Clean Smoke* dengan pengaturan laju alir asap melalui bukaan katup inlet pada blower (1/2) setara dengan laju 0,00838 L/s. Sementara pompa dijalankan melalui panel kontrol sebelah kiri yang mengalirkan air dari bak penampung menuju menara *Clean Smoke*. Laju alir air pencuci asap diatur melalui bukaan valve (½) dengan laju alir air berkisar 0,264 L/s.

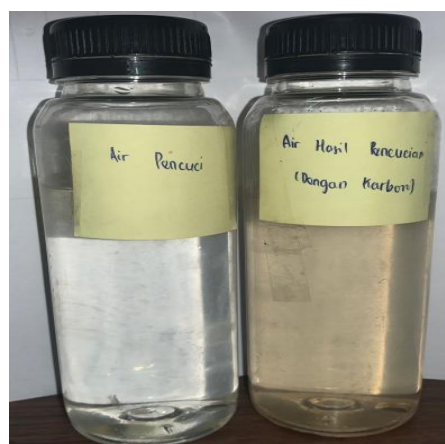
Asap mengalir dari bagian bawah menara *Clean Smoke* melewati pelat karbon aktif dan air disemburkan dari bagian atas menara *Clean Smoke*. Mekanisme kontak antara asap dan air terjadi secara lawan arah (*counter current*) dengan tujuan waktu kontak terjadi lebih lama, sehingga kandungan asap berupa gas CO dan partikulat akan terlucuti. Pelat karbon aktif yang dipasang di dalam Menara *Clean Smoke* berfungsi sebagai tempat kontak antara asap dan air sekaligus sebagai adsorben bahan penjerap kandungan asap. Hasil uji coba alat *Clean Smoke* dengan dua tahapan pengujian yakni penentuan kandungan asap yang dilewatkan pada menara *Clean Smoke* tanpa bahan isian karbon dan tanpa air pencucian. Pada uji coba tahap pertama diperoleh hasil kandungan gas CO pada asap sekitar 520 ppm (CO awal). Kemudian tahapan pengujian kedua dengan melewatkan asap pada menara *Clean Smoke* yang dilengkapi dengan pelat karbon aktif dan pencucian asap dengan air diperoleh hasil gas CO sebesar 111 ppm (CO akhir). Kemampuan alat *Clean Smoke* dalam menurunkan kandungan gas CO dapat ditentukan dengan **Persamaan 1**.

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan gas CO pada asap} &= \frac{\text{gas CO awal} - \text{gas CO akhir}}{\text{gas CO awal}} \times 100\% \dots \dots \dots (1) \\
 &= \frac{(520 - 111) \text{ ppm}}{520 \text{ ppm}} \times 100 \\
 &= 78,6\%
 \end{aligned}$$

Kemampuan alat *Clean Smoke* dalam mencuci dan memurnikan asap diperoleh hasil sebesar 78,6%. Artinya, alat *Clean Smoke* dapat beroperasi dengan baik, namun belum mampu menurunkan kadar gas CO pada asap secara maksimal. Kandungan CO pada asap yang dicuci dan dimurnikan pada alat *Clean Smoke* masih relatif tinggi yakni sebesar 111 ppm jika dibandingkan dengan standar Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 261/MENKES/SK/II/1998 tentang Nilai Ambang Batas Karbon Monoksida di tempat kerja sebesar 25 ppm.

3.2. Pengujian kekeruhan asap cair

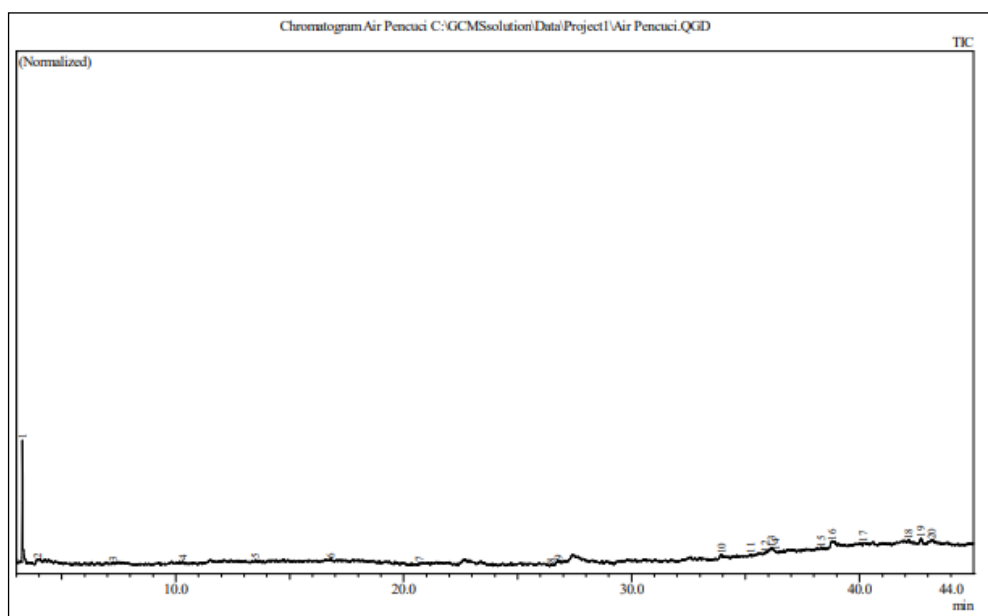
Kemampuan alat *Clean Smoke* untuk menurunkan partikulat asap diuji dengan melihat hasil air pencuci asap. Air pencuci asap diperoleh di bawah menara pada bak penampungan. Adapun air hasil pencuci asap secara visual dapat dilihat pada **Gambar 4**. Secara visual dapat terlihat bahwa air pencuci awal (air di sebelah kiri) mengalami perubahan warna dan turbidity setelah terjadi kontak antara air dan asap (air di sebelah kanan). Perubahan warna terjadi karena kandungan partikulat pada asap tercuci dengan air. Kandungan partikulat diukur dengan parameter kekeruhan (turbidity). Pengujian parameter turbidity air pencuci asap sebesar 4,16 NTU. Sementara turbidity air pencuci (air pencuci awal) diperoleh kadar sebesar 25,5 NTU, artinya ada peningkatan kandungan partikulat sebesar 83,7%. Menurut Handriyani *et al.* (2020), kekeruhan merupakan parameter menggambarkan sifat optik air berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap oleh partikulat-partikulat yang terkandung pada air yang dianalisis. Biasanya, padatan tersuspensi (baik itu zat organik maupun anorganik seperti logam) yang menyebabkan kekeruhan dalam air.



Gambar 4. Air hasil pencucian asap.

3.3. Pengujian kandungan air buangan dengan GC-MS

Metode pengukuran GC-MS merupakan metode identifikasi komponen dalam suatu campuran sampel yang biasanya tergolong sebagai senyawa yang mudah menguap. Alat GC-MS memiliki dua bagian penting, yakni kromatografi gas dan spektrometri massa yang berfungsi sebagai pendeteksi atau detektor. Tujuan dilakukannya pengujian ini agar sampel yang dianalisis dengan berkas elektron dapat dicatat hasilnya secara kuantitatif oleh spektrometri massa yang menghasilkan suatu spektrum fragmen ion positif yang nantinya menampilkan berat molekul dari senyawa yang terkandung dalam sampel (Margareta dan Wonorahardjo 2023). Air hasil pencucian asap selanjutnya diuji dengan instrumen GC-MS untuk mendeteksi komponen yang terkandung dalam air hasil pencucian. Melalui pembacaan kromatogram air pencuci (**Gambar 5**), ditemukan setidaknya berbagai variasi senyawa organik yang terkandung dalam air pencuci.



Gambar 5. Kromatogram air pencuci.

Puncak-puncak yang terlihat pada kromatogram menunjukkan bahwa air hasil pencucian asap mengandung 20 jenis senyawa organik yang merupakan asam lemak atau turunannya. Dari 20 senyawa tersebut, terdapat 4 senyawa dominan yang direpresentasikan oleh puncak 1, 2, 13 dan 16. Keempat senyawa dominan tersebut secara berurutan dengan kelimpahan relatif dan waktu retensi (menit) secara berurutan adalah 1 1-Aminoisopropane-1-Carboxylic Acid-D3(30,71%/3,276), 2

Acetic Acid (8,50%/3,94), 13 Lupeol (10,44%/36,16) dan 16 .gamma.-Sitostenone (11,20%/38,79).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian alat menunjukkan kemampuan alat *Clean Smoke* untuk menurunkan gas karbon monoksida (CO) sebesar 78,65%. Kandungan pada air pencuci asap memiliki kekeruhan sebesar 25,5 NTU yang menunjukkan ada peningkatan kekeruhan sebesar 83,7% yang disinyalir merupakan kandungan partikulat pada asap yang terikut dengan air pencuci. Kandungan pada air pencuci asap memiliki kandungan senyawa volatil yang terdiri atas 20 puncak dengan komponen dominan adalah 1 1-Aminoisopropane-1-Carboxylic Acid-D3(30,71%/3,276), 2 Acetic Acid (8,50%/3,94), 13 Lupeol(10,44%/36,16) dan 16 .gamma.-Sitostenone (11,20%/38,79).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Andrew P A, Mason PE, Jones JM, Barimah EK, Jose G, Brown AE, Ross AB and Williams A. 2021. The impact of fuelwood moisture content on the emission of gaseous and particulate pollutants from a wood stove. *Combustion Science and Technology* 195(1):133-152.
- Bianchini A, Pellegrini M, Rossi J and Saccani C. 2018. Theoretical model and preliminary design of an innovative wet scrubber for the separation of fine particulate matter produced by biomass combustion in small size boilers. *Biomass and Bioenergy* 116.
- Chanana I, Sharma A, Kumar P, Kumar L, Kulshreshtha S, Kumar S and Patel S. 2023. Combustion and stubble burning: a major concern for the environment and human health. *Fire* 79(6).
- Flanagan E, Malmqvist E, Rittner R, Gustafsson P, Källén K and Oudin A. 2023. Exposure to local, source-specific ambient air pollution during pregnancy and autism in children: a cohort study from Southern Sweden. *Scientific Reports* 13.
- Handriyani KATS, Habibah N and Dhyana Putri IGAS. 2020. Analisis kadar timbal (Pb) pada air sumur gali di kawasan tempat pembuangan akhir sampah Banjar Suwung Batan Kendal Denpasar Selatan. *Jurnal Sains dan Teknologi* 9(1):68-75.

- Harni SD, Saarikoski S, Kuula J, Helin A, Aurela M, Niemi JV, Kousa A, Ronkko T and Timonen H. 2023. Effects of emission sources on the particle number size distribution of ambient air in the residential area. *Atmospheric Environment* 293:2.
- Kashtan YS, Nicholson M, Finnegan C, Ouyang Z, Lebel ED, Michanowicz DR, Shonkoff SBC and Jackson RB. 2023. Gas and propane combustion from stoves emits benzene and increases indoor air pollution. *Environmental Science and Technology* 57:9653.
- Margareta MAH dan Wonorahardjo S. 2023. Optimasi metode penetapan senyawa eugenol dalam minyak cengkeh menggunakan gas chromatography-mass spectrum dengan variasi suhu injeksi. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains* 6(2):95-103.
- Martins NR and da Graça GC. 2023. Health effects of PM_{2.5} emissions from woodstoves and fireplaces in living spaces. *Journal of Building Engineering* 79:2.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 416 Tahun 1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air.
- Nassan FL, Wang C, Kelly RS, Lasky-Su JA, Vokonas PS, Koutrakis P and Schwartz JD. 2021. Ambient PM_{2.5} species and ultrafine particle exposure and their differential metabolomic signatures. *Environment International* 151.
- Pillarisetti A, Alnes LWH, Ye W, McCracken JP, Canuz E and Smith KR. 2023. Repeated assessment of PM_{2.5} in Guatemalan kitchens cooking with wood: implications for measurement strategies. *Atmospheric Environment* 295.
- Sjafruddin R, Fajar, Lasire, Rosalin, Fitri Z dan Aisyah N. 2021. Adsorpsi metilen biru dengan karbon tanpa aktivasi dan teraktivasi larutan KOH. *SNP2M* 6.
- Sukmajaya I, Arifin J dan Mujibburahman. 2023. Rancang bangun filter tungku pembakaran sampah minim asap untuk mengurangi pencemaran udara.
- Suriyawong P, Chuetor S, Samae H, Piriyakarnsakul S, Amin M, Furuuchi M, Hata M, Inerb M and Phairuang W. 2023. Airborne particulate matter from biomass burning in Thailand: recent issues, challenges, and options. *Heliyon* 9.
- World Health Organization. 2021. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization.

The effect of stranded marine debris on the mangrove ecosystem in the coastal area of Liquiça Municipality of Timor-Leste

Dampak sampah laut yang terdampar di ekosistem mangrove di wilayah pesisir Liquiça, Timor-Leste

Alzira de Jesus Dos Santos^{1*}, Ario Damar^{1,2}, Sigid Haryadi¹, Abilio da Fonseca³

¹Coastal and Marine Resource Management Study Program, IPB University, Bogor, Indonesia

²Center for Coastal and Marine Resource Studies (CCMRS), IPB University, Bogor, Indonesia

³Directorate of Research and Statistic, Ministry of Commerce and Industry, Dili, Timor-Leste

Abstract.

This study aims to determine the types, abundance and composition of the stranded marine debris and its impact on the mangrove ecosystem in Liquiça Municipality, Timor-Leste. Data were collected from 6 September 2024 to 30 October 2024 at three stations using surveys and direct field observations. Analysis was conducted both quantitatively and qualitatively. Seven types of debris were identified : plastic, metal, glass, rubber, fabric, organic and other inorganic waste. Plastic was the most dominant at all stations, Station 1 recorded the highest debris abundance at 1.62 items/m², with plastic waste also dominating by category at Stations 1 and 3 (155 items/m² and 137 items/m²). Station 1 also had the heaviest debris weight at 4,339 g/m² and the largest volume at 235 cm³/m². The findings indicate that stranded marine debris does have a negative impact on the mangrove ecosystem, significant negative correlation between the weight of marine debris and macrozoobenthos. However no correlation between debris and mangrove's seedlings was found.

Keywords: marine debris, mangrove, macrozoobenthos, coastal area, Liquiça Municipality

Abstrak.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis, kelimpahan, dan komposisi sampah laut terdampar serta dampaknya terhadap ekosistem mangrove di Liquiça, Timor-Leste. Pengumpulan data dilakukan pada 6 September 2024 hingga 30 Oktober 2024 dengan menerapkan teknik survei dan observasi lapangan langsung di tiga stasiun. Data dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Tujuh jenis sampah ditemukan di lokasi penelitian, yaitu plastik, logam, kaca, karet, kain, sampah organik dan sampah anorganik lainnya. Sampah Plastik adalah yang paling dominan di semua stasiun. Stasiun 1 mencatat kelimpahan sampah tertinggi pada 1,62 item/m², dengan sampah plastik juga mendominasi berdasarkan kategori di stasiun 1 dan 3 (155 dan 137 item/m²). Stasiun 1 juga memiliki berat sampah terberat pada 4.339 g/m² dan volume terbesar pada 235 cm³/m². Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah laut yang terdampar memberikan dampak negatif terhadap ekosistem mangrove, karena ditemukan korelasi negatif yang jelas dan signifikan antara berat sampah laut dengan makrozoobentos. Namun tidak ditemukan korelasi antara sampah dengan bibit mangrove.

Kata kunci: sampah laut, mangrove, makrozoobentos, wilayah pesisir, Liquiça

1. INTRODUCTION

Coastal area are dynamic interface zones characterized by the continuous interaction and evolving balance between land, water and atmosphere that driven by both natural process and anthropogenic activities (Beatley *et al.* 2002). These zones also define as the transitional area between land and sea, encompassing the coastal environment, adjacent hinterland and coastal waters (Setyawan *et al.* 2016). While it holds high importance for life because its wealth of natural resources, this area is also heavily influenced by land-derived factors such as runoff and sedimentation, as well as

* Authors Correspondence
Email: alzirade@apps.ipb.ac.id

marine influences like tides and water quality (Wibisono 2011). These complex factors result in problems such as pollution and waste impacts on coastal ecosystems and large part of marine debris is entering the sea via rivers (Zamdial *et al.* 2017).

Debris is also characterized as solid waste material that comes from human activity and is no longer needed (Wijayanti *et al.* 2023). Waste from the water and land such as plastic waste is one of the problems faced by the whole world today, including Timor-Leste (Gusti *et al.* 2023). Timor-Leste is one of the Small Island Developing States (SIDS) that is most affected by the negative effects of plastic waste on the environment, human rights, and human health (Lachmann *et al.* 2017).

An estimated 56.6 tons of unmanaged waste is released daily and is believed to enter the marine environment in Timor-Leste through indiscriminate and unregulated dumping. In 2010, around 20,690 tons of plastic waste was dumped into the waters and its impacts on marine and coastal biodiversity have not been fully documented due to lack of management (Jambeck *et al.* 2015). Poor waste management will result serious issues such as water pollution, flooding during the rainy season, and fires in the dry season (Harefa and Pharmawati 2022) that can happen in Liquiça if the attention is not taken from now.

Liquiça is one of the Municipalities in Timor-Leste that has a coastline in Regency of Bazartete and located near Dili the city of Timor-Leste, the mangrove area is densely settled and contains a variety of both inorganic and organic waste (Paulus *et al.* 2020). This pollution not only harms marine life but also leads bioaccumulating of toxic substances in the food chain, furthermore the issue becomes more complicated with persistent plastic waste (Priatna *et al.* 2024). Due to the problems caused by marine pollution on coastal ecosystems at the research location, this study seeks to evaluate the condition of stranded marine waste and its effects on mangrove ecosystems. Specifically, this study aimed to assess the quality of the mangrove community structure and the presence of macrozoobenthos in relation to marine debris.

2. METHODOLOGY

2.1. Location and time of study

This research was conducted from September to October 2024 in the mangrove ecosystem of Regency Bazartete, Liquiça Municipality, Timor-Leste. The sampling area consisted of three stations, namely in the villages of Tibar, Ulmera and Motaikun

(**Figure 1**). The selection of the sampling location considered the presence of coastal mangroves, settlements and piles furthermore, the Liquiça Municipality is a place for garbage disposal from all Municipalities in Timor-Leste.

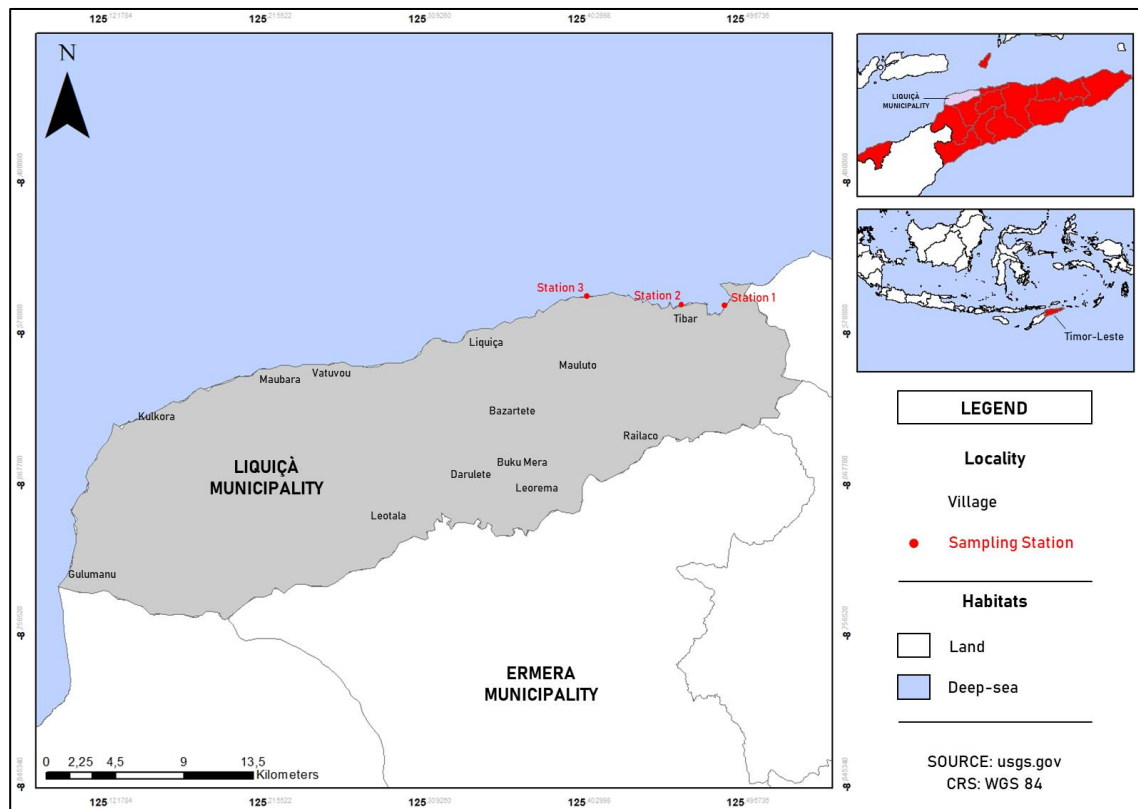


Figure 1. Map of research location and sampling sites in mangrove forests in Bazartete, Liquiça Municipality of Timor-Leste.

2.2. Data collection

Marine debris sampling at observation points and additional measurements were carried out at three stations where Station 1 is in Tibar Village, Station 2 is in Ulmera Village, and Station 3 is in Motaikun Village. The sampling method applied in the mangrove area used the line transect method. Marine debris that has settled was collected, put into sacks/plastic, dried and sorted, and the type, weight and number of marine debris was recorded (Eriksson *et al.* 2013). In addition, direct observations were also carried out in the field. The length of the transect line around it depended on the distribution of waste in the area where there are mangroves. Waste distribution was observed by marking 5 quadrat transect plots at each station with a size of 5 x 5 meters, while for biological sampling of mangroves 5 plots were made with a size of 10 x 10 meters (**Figure 2**).

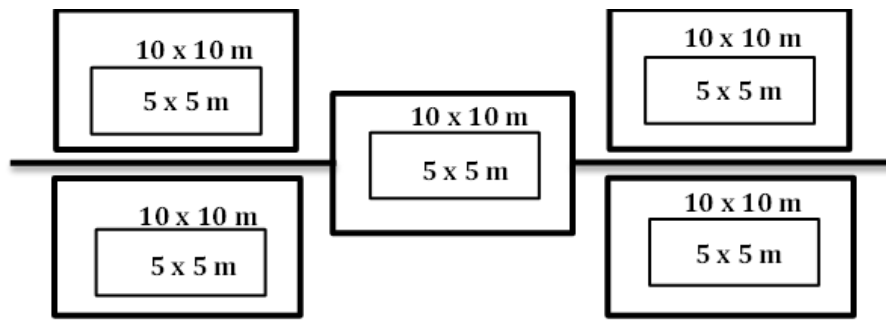


Figure 2. Sketch of quadrat transect plot in marine debris and mangrove data collection.

Sampling of macrozoobenthos epifauna in the mangrove area was carried out using line transects on marine debris transect plots with subplots, where each transect plot was divided into 5 parts, namely subplots, each of which has size of 1 x 1 m which can be seen in **Figure 3** (Bai'Un 2021). Macrozoobenthos was sample from each subplot using a shovel to a depth of 20 cm once for each plot. Macrozoobenthos that had been filtered were placed in clean clear plastic bag and then taken to be identified according to their type.

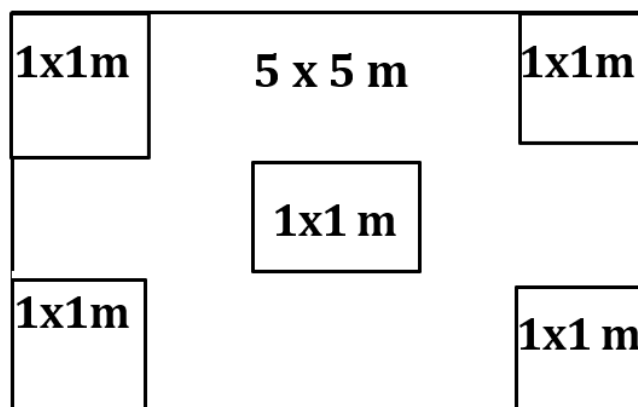


Figure 3. Sketch of transect placement for macrobenthos data collection.

2.3. Data analysis

2.3.1. Marine debris

Analysis of marine debris data was carried out on the type, weight and volume of debris (Johan *et al.* 2020). Classification of various types of waste followed NOAA in Opfer *et al.* (2012) and used the categories plastic, metal, glass, rubber, fabric, organic and other inorganic. To determine marine debris abundance and composition on Liquiça Municipality, look all factors such the weight and quantity. The following formula explains the density and relative density of marine debris (Coe and Rogers 1997) in **Equation 1**, **Equation 2** and **Equation 3**.

$$\text{Abundance of marine debris (item/m}^2\text{)} = \frac{\text{amount of waste}}{\text{area (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Mass of marine debris (gr/m}^2\text{)} = \frac{\text{waste weighth}}{\text{area (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Composition marine debris (\%)} = \frac{\text{waste weighth per category (g)}}{\text{total weighth of waste (g)}} \dots\dots\dots (3)$$

2.3.2. The effect of marine debris on mangrove ecosystems

2.3.2.1. Mangrove species density

Species density (D_i) was calculated by dividing the total number of type I mangrove stands by the sampling region's area (Bengen 2001). The following formula (**Equation 4**) was used to determine the kind that was found.

$$D_i = \frac{N_i}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Description:

D_i = Mangrove species density

N_i = Number of species of mangroves stands

A = Sampling area

2.3.2.2. Macrozoobenthos

Macrozoobenthos samples were evaluated using the density index formula to determine the population size of each type of benthic organism. The density of benthos at various locations was examined, especially between locations affected by waste and those not affected by waste. The following formula (**Equation 5**) was used to determine the density of related biota (Fitriana 2006).

$$\text{Total density} = \frac{\text{number individuals of the species (Ind)}}{\text{area size (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots (5)$$

2.3.2.3. Water quality

Direct field observation (in situ) was used to collect water quality data around the location where stranded marine debris was found. Water quality data was analyzed descriptively to describe the condition of water quality and the level of pollution found around the mangrove area (Kurniawan 2013).

2.3.2.4. Sediment/substrate quality

At each transect plot, the substrate was sampled to about 20 cm depth using scope and placed in a plastic bag. Each bag was labelled with the plot and stations name and taken to the laboratory for analysis. The parameters measured from the sample were: Grain size of substrate, type of substrate and C-organic content.

2.3.2.5. Correlation statistical unit

The following step is to conduct correlation tests to determine whether there is a relationship between the variables. The analysis result is assessed according to the significance and strength of the link indicated by the correlation coefficient value r . The formula for calculating correlation as Steel and Torrie (1995), is as follows **Equation 6**. The correlation category of the relationship between the two variables is divided based on **Table 1**.

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{(S_{xx})(S_{yy})}} \dots\dots\dots (6)$$

Description:

r = Correlation coefficient

S_{xy} = Distribution of x and y variable values

S_{xx} = Diversity of variable x values

S_{yy} = Diversity of variable y values

Table 1. The correlation category of the relationship between the two variables (Steel and Torrie 1995).

Interval	Category
0.00	No correlation
> 0.00 - 0.25	Very weak correlation
> 0.25 - 0.50	Sufficient correlation
> 0.50 - 0.75	Strong correlation
> 0.75 - 1.00	Very strong correlation

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Research site description

This study was conducted along the mangrove coastline of Liquiça Municipality, located on the northwestern coast of Timor-Leste, approximately 30 kilometers west of the capital, Dili. The area lies in a tropical coastal zone affected by monsoonal climate, characterized by wet season from November to April and dry season from May to October. It receives an average annual rainfall of around 1,500 mm that affects the seasonal dynamic of debris accumulation along the shore (Asian Development Bank 2016). Plastics, fishing nets, rope and glass bottles were among the stranded marine debris found in the area surrounding the mangrove forest's silt layers and prop root system according to field observations.

3.2. Type of marine debris/waste

Observations at 3 stations in the research site, various types of waste were found, the dominant which was plastic waste. The highest amount of plastic waste was found at Station 1 (Tibar) with a weight of 4339 g/m², a total number of 155 items/m² and 235 cm³/m². At the third station (Motaikun), a weight of 2695 g/m², a total number of 111 items/m² and a volume of 181 cm³/m² was observed. At Station 2 (Ulmera), a mass of 2008 g/m² with a number of 111 items/m² and a volume of 146 cm³/m² was observed. For the total weight of all waste combined, the first station contained 10814 gr/m², then the third station with a total weight of waste of 6451 g/m² and the second station was lower because it had a total weight of waste of 6042 g/m² (**Table 2**).

Table 2. Type and weight of marine debris in research location.

Category	Station 1 (Tibar)			Station 2 (Ulmera)			Station 3 (Motaikun)		
	N (item/m ²)	W (gr/m ²)	V (cm ³ /m ²)	N (item/m ²)	W (gr/m ²)	V (cm ³ /m ²)	N (item/m ²)	W (gr/m ²)	V (cm ³ /m ²)
Plastic	155	4.339	235	111	2.008	146	137	2.695	181
Metal	33	427	10	4	127	4	3	331	6
Glass	2	592	5	1	113	5	3	309	7
Rubber	2	300	10	8	948	13	4	850	15
Fabric	9	2.171	32	16	1.297	87	5	1.380	45
Organic	23	2.219	55	2	695	6	1	560	3
Other Inorganic	8	766	31	9	854	27	6	326	27
Total	232	10.814	378	151	6.042	288	159	6.451	283

Notes:

N = number of item; W = weight ; V = volume

3.3. Abundance of stranded marine debris

The weight of stranded marine debris at Station 1 was higher than Station 2 and Station 3. The volume of waste items at Station 1 was higher than at Stations 2 and 3. Likewise, the density of waste at Station 1 was also higher than at Station 3 and the lowest was observed at Station 2 (**Figure 4**).

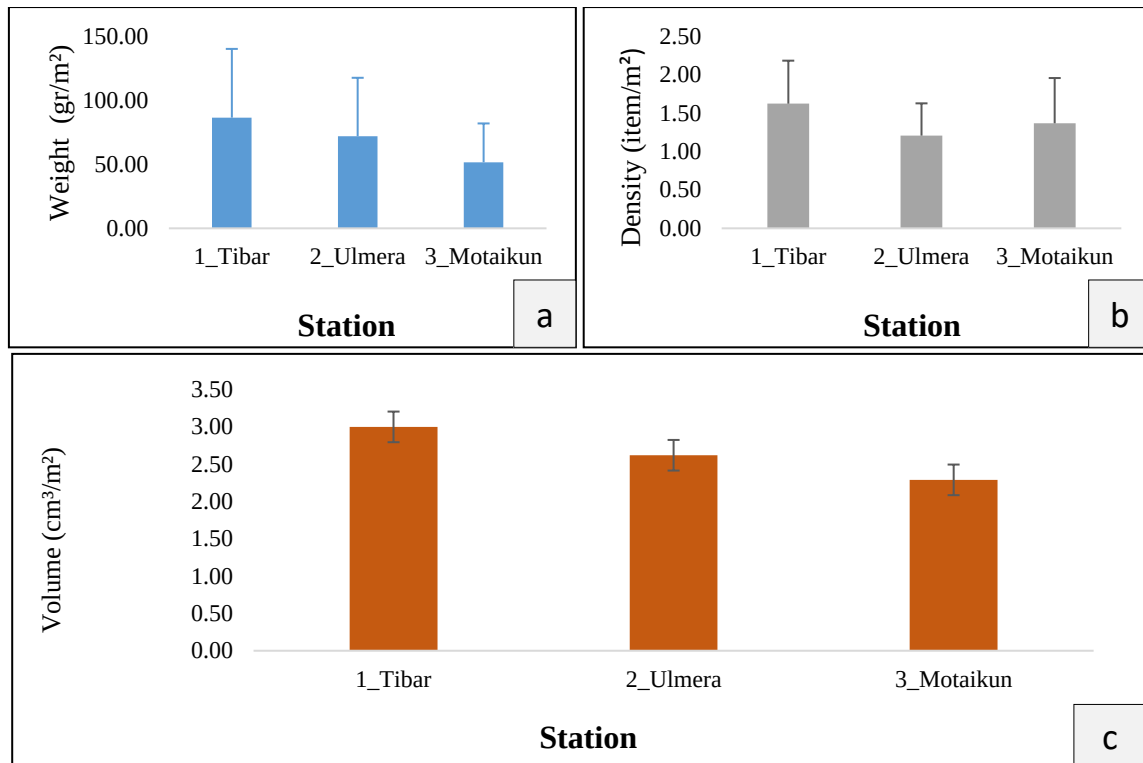


Figure 4. Abundance of stranded marine debris at mangrove in the study area; a) weight of of stranded marine debris; b) density of stranded marine debris; and c) volume of stranded marine debris.

3.4. Composition of marine debris

Plastic waste was the most frequently found and dominated the weight of waste at each station, with the highest percentage at Station 3, followed by Station 1 and the second station. In terms of abundance, the composition was even more strongly dominated by plastic. It was highest at Station 3 followed by Station 2 and Station 1. The proportion of plastic in terms of volume likewise was highest at Station 3, followed by Station 1 and Station 2 (**Figure 5**). These results indicate that plastic is the main source of pollution, and the high weight, abundance and volume of plastic at all three stations show that plastic waste is not only accumulated in one area but is widespread in several locations.

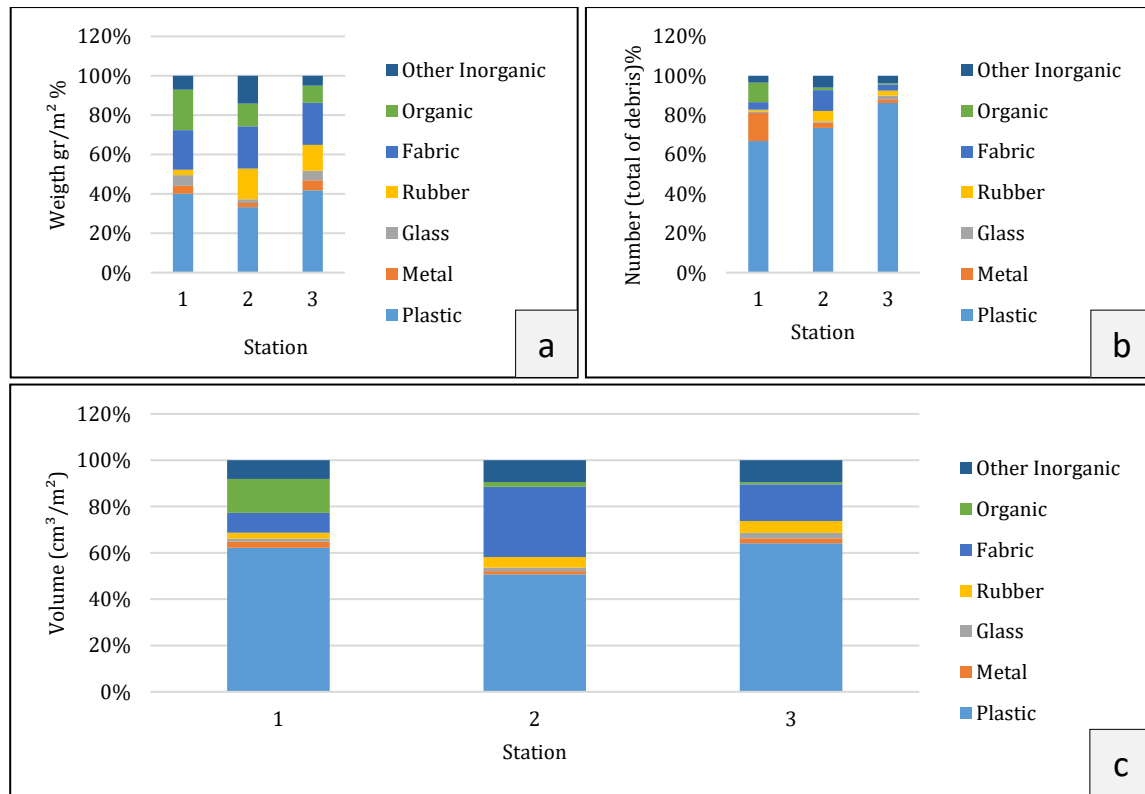


Figure 5. Composition of marine debris stranded at the research location; a) weight composition; b) density composition; and c) volume composition.

3.5. Mangrove type density

Based on the analysis of mangrove vegetation density, there are four types of mangroves found at the three observation stations, namely *Burquiera gymnorhiza*, *Rizophora stylosa*, *Sonneratia alba* and *Sonneratia ovata*. At Station 1 there were mangrove trees of the type *Rizophora stylosa* and *Sonneratia alba* and seedlings of the type *Rizophora stylosa*.

At Station 2, the type of *Rizophora stylosa* tree was found and *Sonneratia alba*, the category of seedlings contained the types *Rizophora stylosa* and *Sonneratia alba*. Station 3 is a location close to residential areas but there are 4 types of mangrove trees, namely *Burquiera gymnorhiza*, *Rizophora stylosa*, *Sonneratia alba* and *Sonneratia ovata*. There are also 3 types of mangrove seedlings, namely *Rizophora stylosa*, *Sonneratia alba* and *Sonneratia ovata* (Figure 6).

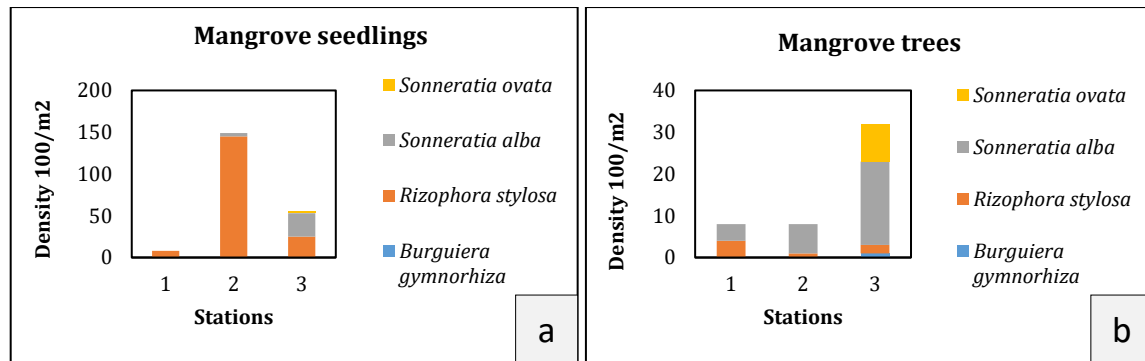


Figure 6. Mangrove type density in each station; a) mangrove seedling and b) mangrove trees.

3.6. Density of macrozoobenthos and epifauna

The results of the macrozoobenthos and epifauna density analysis show that the macrozoobenthos density is highest at the second station with 14 species, dominated by *Strombus labiatus* (**Figure 7**). The third station has a lower macrozoobenthos density than the second station, but higher than the first station with 17 species found. At the first station, the density of macrozoobenthos is relatively lower when compared to Stations 2 and 3.

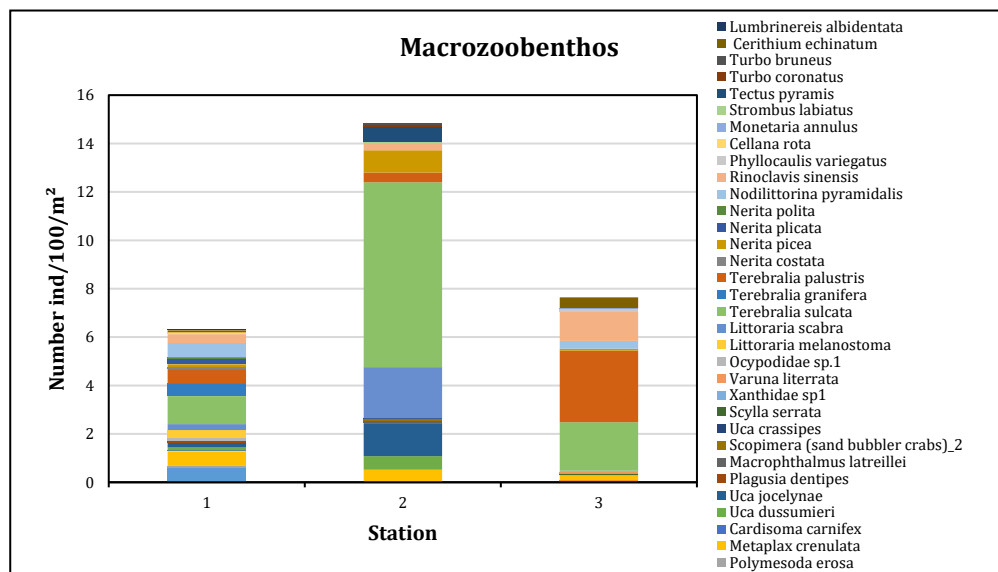


Figure 7. Species abundances of macrozoobenthos found at each station.

3.7. Sea water quality in the coastal waters

The results showed that salinity levels were relatively moderate at all station. The pH was within the range considered suitable for the survival and health of most aquatic organisms. The water temperature was relatively warm, in accordance with tropical coastal ecosystems. Meanwhile, dissolved oxygen (DO) levels were found to be sufficient to support aquatic life (**Figure 8**).

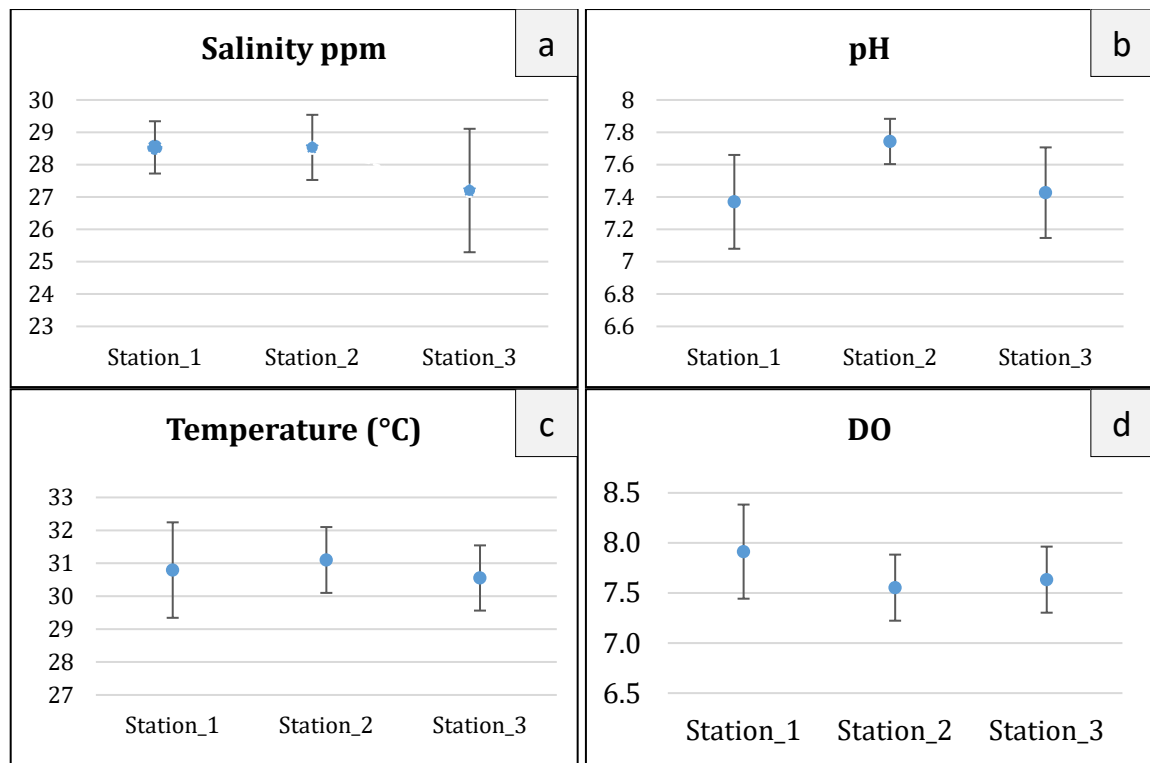


Figure 8. Sea water quality in the coastal waters; a) salinity; b) pH; c) temperature; and d) dissolved oxygen (DO).

3.8. Substrate

The result showed that sand was the dominant substrate component at all three stations, with variations in the proportion of clay and dust. Station 1 had a higher sand content compared to finer particles and the C-Organic content in the substrate was relatively low. Station 2 also showed a sandy substrate with lower C-Organic matter content. Station 3, sand remained dominant, but clay was also present in significant amounts, while the dust fraction was lower, C-Organic was slightly higher compared to the other two stations although overall it was still in the low range (**Figure 9**).

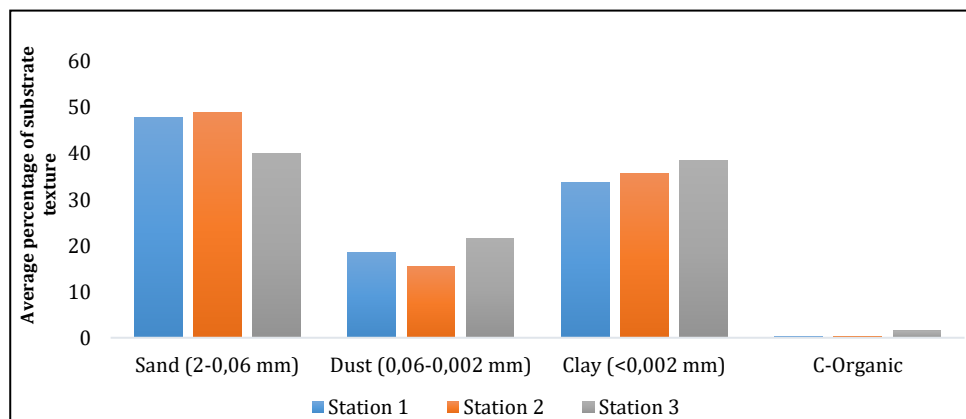


Figure 9. The average percentage of substrate texture in each station.

3.9. Correlation

The weight of waste and the mangrove ecosystem, namely macrozoobenthos, showed a correlation value of -0.3352, indicating a moderate negative relationship between the weight of marine debris and the abundance of macrozoobenthos in Administrative Bazartete, Liquiça Municipality, which means that there is a tendency that the higher the weight of marine debris in the research location, the lower the abundance of macrozoobenthos (**Figure 10**). However, the density of marine debris and mangrove seedlings, there is a value of $r = -0.0594$, only showed non-significant negative correlation. The results show that when the density of waste increases, the density of mangrove seedlings tends to decrease (**Figure 11**).

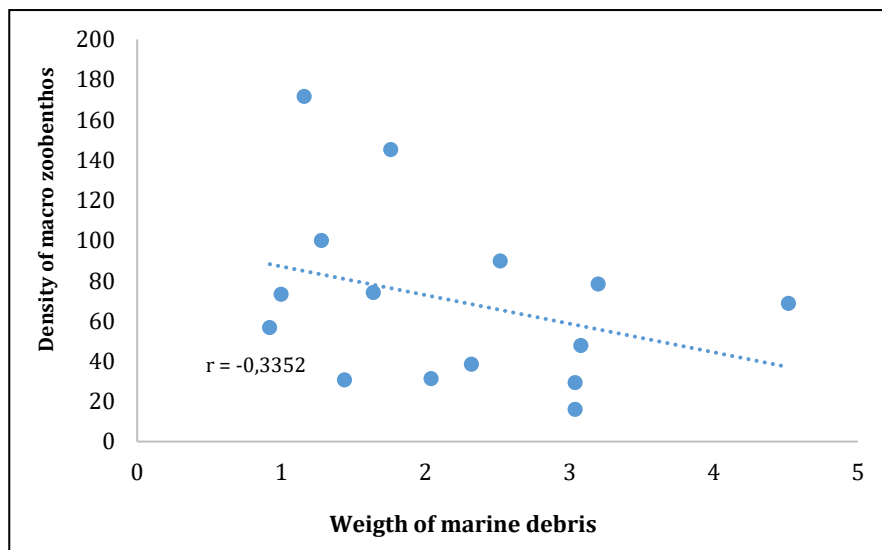


Figure 10. Correlation of marine debris weight to macrozoobenthos.

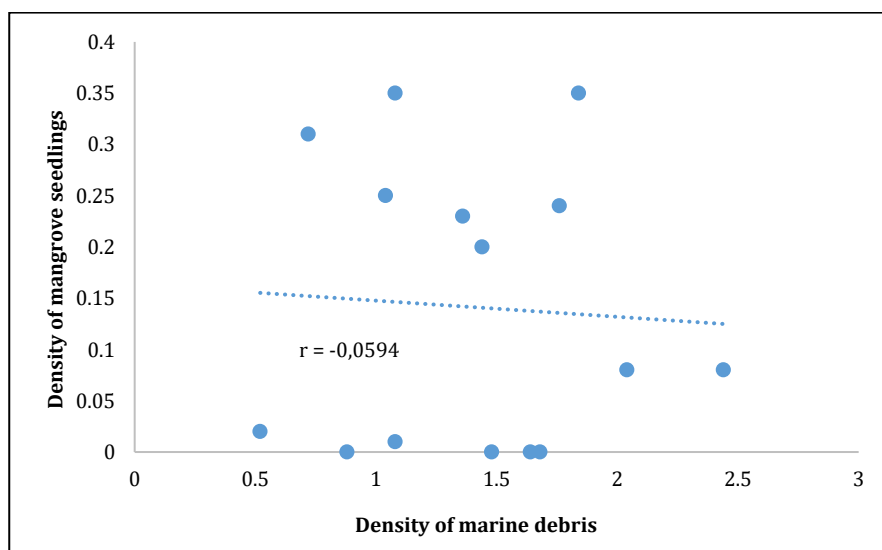


Figure 11. Correlation of marine debris density to density of mangrove seedlings.

Based on the results of the study, it can be concluded that plastic is the most common type of waste found and dominates in terms of weight composition, abundance and volume at the three stations. The types of plastic waste found came from plastic such as plastic beverage bottles, plastic bottle caps, plastic bags, plastic bags for dogs, plastic medicine bottles, plastic pipes, plastic balls, plastic electricity tokens, plastic cups and snack packaging. Numerous plastic waste materials have the potential to damage the ecosystem, which implies that their presence may lower soil fertility (Ruhayat *et al.* 2023) and results of this study are in accordance with the majority of studies on the composition of marine waste which is dominated by plastic waste in coastal areas around the world (Araújo *et al.* 2018). Van *et al.* (2021) said that most global studies on marine pollution would classify plastic as the most common type of contamination.

The station with the most waste was Station 1 which was very close to human settlements. The distance between the nearest houses to the mangrove area was only 5 m. In a study of marine debris in coastal North Sulawesi, Indonesia approximately 80% of marine debris came human activities on land which are transported through rivers and 20% came from activities at sea especially in coastal area (Patuwo *et al.* 2020).

Plastic is the material most widely used by the public because it is a material that has high flexibility, is light, strong, durable and the price can be said to be cheap or affordable (Tuahatu and Tuhumury 2022). Due to its high usage and poor management, plastic is disposed of carelessly and when it rains, river water will carry it to the sea where it accumulates in coastal areas, which will have a negative impact. Apart from its high utility in society, plastic waste has significant negative effects on both the environment and socio-economic aspects (Arifianti *et al.* 2024). Marine debris can harm the environment by causing the extinction of targeted and non-target species and can pose a direct health risk to aquatic biota (Sagita *et al.* 2022). Plastic waste can have an impact on sediment, especially on biota that live in sediment, and thus disrupt aquatic ecology, both via biotic and abiotic effects in the ecosystem (Sherlin *et al.* 2023).

The research area has environmental pollution and human activities that can cause damage to mangrove. This demonstrated by the low densities seen at all stations and the minimal diversity of mangrove, only four species were identified. However, the diversity of macrozoobenthos was very higher at Station 2 then 3 and 1. Correlation studies were conducted at three locations to measure the impact of marine debris on the mangrove ecosystem. The results of the study will provide a picture that describes the relationship between waste weight and the presence of macrozoobenthos. From **Figure 10**, it can be seen that the correlation between the weight of marine debris and macrozoobenthos is -0.3352, which means that there is a negative correlation between the two variables. This shows that when the weight of marine debris increases, the density of macrozoobenthos tends to decrease and vice versa, reflecting results from a study in North Kalimantan (Salim *et al.* 2019). Meanwhile, the density of mangrove seedlings with the density of marine debris has a weak negative relationship because the results of the correlation analysis between the two variables show $r = -0.0594$, which means that although there is a tendency for mangrove seedling density to decrease along with the increase in marine debris. Salestin *et al.* (2021) stated that organic waste also has an impact on mangrove plants including mangrove seedlings.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

The types of waste identified at the research location include various types of waste such as plastic, metal, glass, rubber, fabric, organic and other inorganic and the most dominant type of marine debris at the three stations was plastic. The impact of marine waste on mangrove ecosystems was detected on the density of macrozoobenthos, nevertheless its impact on mangrove community was insignificantly revealed. Recommendations are the need for education and public awareness, improved waste management and monitoring or further research.

5. ACKNOWLEDGMENT

I sincerely thank the Archipelagic and Island States (AIS) Forum, the United Nations Development Programme, UNDP, and the Government of Indonesia for awarding us the Innovator Scholarship in collaboration with the IPB University Program on International Master Program in Small Island Studies. I would like to say thank you very much to UNDP Indonesia who has sponsored this program. Also, I

would like to express my gratitude to all parties who have supported and contributes to my research special lecturers and colleagues at UNTL Timor-Leste University and would like to thank the editor and both anonymous reviewers for their constructive comments on an earlier version of this manuscript.

6. REFERENCES

- Araújo MCB, Silva CJS and Costa MF. 2018. Anthropogenic litter on beaches with different levels of development and use: A snapshot of a coast in Pernambuco (Brazil). *Frontiers in Marine Science* 5(233):1–10.
- Arifianti DN, Yona D and Sari SHJ. 2024. Composition of marine debris on the coast of Banyuwangi, East Java. *Journal of Marine and Coastal Science* 13(3):102–112.
- [ADB] Asian Development Bank. 2016. State of the Coral Triangle: Timor-Leste. ADB Publications.
- Bai'un NH. 2021. Keanekaragaman makrozoobentos sebagai indikator kondisi perairan di ekosistem mangrove Pulau Pari, Kepulauan Seribu. *Journal of Fisheries and Marine Research* 5(2):227–238.
- Beatley T, Brower JD and Schwab KA. 2002. An Introduction to coastal zone management second edition (2nd Ed.). Island Press.
- Bengen DG. 2001. Pedoman teknis pengenalan dan pengelolaan ekosistem mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan (PKSPL IPB). Bogor.
- Coe JM and Rogers DB. 1997. Marine debris. Springer. New York.
- Eriksson C, Burton H, Fitch S, Schulz M and Hoff JVD. 2013. Daily accumulation rates of marine debris on Sub-Antarctic Island Beaches. *Marine Pollution Bulletin* 66(1–2):199–208.
- Fitriana YR. 2006. Diversity and abundance of macro-zoobenthos in mangrove rehabilitation forest in Great Garden Forest Ngurah Rai Bali. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 7(1):67–72.
- Gusti MM, Nirmala IW and Mahmiah. 2023. Pengaruh sampah plastik terhadap kelimpahan semai mangrove di Tambak Wedi Surabaya. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)* 4(1):42–51.
- Harefa NY and Pharmawati K. 2022. Pengolahan sampah organik di Kota Gunungsitoli. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 6(1):33–44.

- Jambeck JR, Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R and Law KL. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347(6223):768–771.
- Johan Y, Renta PP, Muqsit A, Purnama D, Maryani L, Hiriman P, Rizky F, Astuti A F and Yunisti T. 2020. Analisis sampah laut (marine debris) di Pantai Kualo Kota Bengkulu. *Jurnal Enggano* 5(2):273–289.
- Kurniawan E. 2013. Distributed hydrologic model pada DAS di Bandar Lampung berbasis Sistem Informasi Geografis [Disertasi]. Universitas Lampung. Lampung.
- Lachmann F, Almroth BC, Henrikke B, Broström G, Corvellec H, Gipperth L, Hasselöv M, Karlsson T and Nilsson P. 2017. Marine Plastic litter on Small Island Developing States (SIDS): Impacts and measures. Swedish Institute for the Marine Environment Report. University of Gothenburg.
- Opfer S, Arthur C and Lippiatt S. 2012. NOAA marine debris shoreline survey field guide [Report]. www.marinedebris.noaa.gov
- Patuwo NC, Manengkey HWK, Pelle WEPE, Schaduw JNW, Manembu I and Ngangi ELA. 2020. Karakteristik sampah laut di Pantai Tumpaan Desa Tateli Dua Kecamatan Mandolang Kabupaten Minahasa. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis* 8(1):70–83.
- Paulus AC, Lady CS and Aludin AA. 2020. Sebaran jenis sampah laut dan dampaknya terhadap kepadatan populasi dan keanekaragaman makrozoobentos pada kawasan ekowisata mangrove di pesisir Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang. *Jurnal Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Nusa Cendana* 1:105–118.
- Priatna YY, Tarigan BJ, Triputra MF and Kustiwan I. 2024. Penerapan kerangka kerja DPSIR terhadap sampah dan dampaknya pada lingkungan di kawasan wisata Pantai Pangandaran. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 8(3):307–325.
- Ruhyat R, Marie IA, Tjintamani D, Sari E, Hartini H, Nilamsari D, Alexsandra JJ, Herliana S, Nabilah I, Muharam G and Melianto Y. 2023. Studi pengelolaan sampah terpadu skala kawasan Desa Ciangsana, Kecamatan Gunung Putri, Kabupaten Bogor. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal Of Environmental Sustainability Management)* 7(2):199–214.
- Sagita A, Sianggaputra MD and Pratama CD. 2022. Analisis dampak sampah plastik di laut terhadap aktivitas nelayan skala kecil di Jakarta. *Buletin Ilmiah Marina Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan* 8(1):1–11.

- Salestin CB, Soewarlan LC and Pulus CA. 2021. Kajian komposisi dan kepadatan jenis sampah laut pada kawasan ekowisata mangrove di Kelurahan Oesapa Barat, Kota Kupang. *Jurnal Bahari Papadak* 2(2):31–34.
- Salim G, Dori R and Rahmah A. 2019. Hubungan kerapatan mangrove dengan kelimpahan gastropoda di kawasan konservasi mangrove dan bekantan (KKMB) Kota Tarakan. *Jurnal Harpodon Borneo* 12(2):9–19.
- Setyawan WB, Kusmanto E, Hasanudin M, Lutan RY, Rahayuningsih SK and Muhajirin. 2016. Mengelola kawasan pesisir yang tererosi secara terpadu. Riset Unggulan Kedeputian Ilmu Kebumihan, Pusat Penelitian Oseanografi—LIPI. Jakarta.
- Sherlin FF, Nor S and Nirmalasari IW. 2023. Dampak sampah anorganik terhadap vegetasi mangrove tingkat semai di ekosistem mangrove Wonorejo Surabaya. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)* 4(2):82–96.
- Steel GD and Torrie TH. 1995. Prinsip dan prosedur statistik: Suatu pendekatan biometric. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Tuahatu JW and Tuhumury NC. 2022. Sampah laut yang terdampar di pesisir Pantai Hative Besar pada musim peralihan 1. *Jurnal Triton* 18(1):47–54.
- Van GE, Campbell M, Wallace P and Hewitt CL. 2021. Marine debris on New Zealand Beaches—Baseline data to evaluate regional variances. *Frontiers in Environmental Science* 9(700415):1–9.
- Wibisono AG. 2011. Pengaruh environmental performance dan environmental disclosure terhadap economic performance pada perusahaan pertambangan dan pemegang HPH/HPHTI yang terdaftar di BEI [Skripsi]. Program Studi Akuntansi, Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Wijayanti AN, Dhokhikah Y and Rohman A. 2023. Analisis partisipasi masyarakat terhadap pengelolaan sampah di Kecamatan Summersari, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal Of Environmental Sustainability Management)* 7(1):28–45.
- Zamdial Z, Hartono D, Bakhtiar D and Nofridiansyah E. 2017. Studi identifikasi kerusakan wilayah pesisir di Kabupaten Mukomuko Provinsi Bengkulu. *Jurnal Enggano* 2(2):196–207.

JURNAL PENGELOLAAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT

ISSN 2598-0017 | E-ISSN 2598-0025

Vol. 9 No. 1, April 2025

Analisis kualitas air dan limbah pertambangan nikel di Sungai Pesouha, Sulawesi Tenggara (Febrina Risky Amelia, Hefni Effendi, Budi Kurniawan, Charles Andrianto, Taufik Ahmady)	1-14
Mendesain kelembagaan perantara nasional untuk memobilisasi pendanaan iklim di Indonesia: studi kasus BPD LH (Ricky Karunia Lubis, Amrie Firmansyah)	15-35
Perbaikan kualitas air pada peternakan ayam petelur dengan penggunaan filter zeolit antimikroba (Nurul A'la, Zaenal Abidin, Irma Isnafia Arief)	36-53
Identifikasi jenis pohon riparian dan kualitas mata air di Kecamatan Amarasi Barat, Kabupaten Kupang (Agnes Manewalu, Netri Taloim, Joana Da Conceicao Belo, Yustina Yeni, Chatarina Gradict Semiun)	54-64
Sintesis komposit berbasis styrofoam dan kulit kayu galam sebagai adsorben besi pada limbah cair pertambangan intan (Annisa Nurfadilla Nugravita, Daniel Dirgahayu, Rizky Aulia Fitriani, Temani Gea, Utami Irawati)	65-78
Coral reef and seagrass ecosystem health assessment in Tiaro (LMMA), West Guadalcanal, Solomon Islands (Jimmy Belade, Taryono Kodiran, Yusli Wardiatno)	79-100
"Clean smoke": solusi inovatif dan efektif untuk mengurangi emisi gas karbon dan partikulat berbahaya pada asap (Muhammad Khairul Mahmud, Fadel Izza, Nadya Fildzah Juniar, Alqauliyah, Alif Rahmawan Syam, Rahmiah Sjafruddin)	101-110
The effect of stranded marine debris on the mangrove ecosystem in the coastal area of Liquiça Municipality of Timor-Leste (Alzira de Jesus Dos Santos, Ario Damar, Sigid Haryadi, Abilio da Fonseca)	111-127

Tersedia secara *online* di <https://journal.bkpsl.org/index.php/jplb>

Sekretariat Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (JPLB)

Gedung Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Lantai 4

Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Telp. 0251 – 8621262; Fax. 0251 – 8622134

e-mail : jplb@bkpsl.org / jurnalbkpsl@gmail.com



9 772598 002001



9 772598 001004